

# Von der Systeminnovation zur strategischen Geschäftsmodellinnovation in der Energiewende

## Die Rolle von Innovationskaskaden am Beispiel von *Power-to-Gas* und *Algae-to-X*

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor rerum oeconomicarum (Dr. rer. oec.)

Dipl. Ök. Dorothea Schostok



**BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL**



Vorgelegt an den Vorsitzenden des Promotionsausschusses  
Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Ulrich Braukmann  
Fakultät der Wirtschaftswissenschaften  
Schumpeter School of Business and Economics  
Bergische Universität Wuppertal

Rektor Bergischen Universität Wuppertal  
Univ.-Prof. Dr. Lambert T. Koch

Dekan Schumpeter School of Business and Economics  
Univ.-Prof. Dr. Nils Crasselt

1. Gutachter

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Fishedick  
Schumpeter School of Business and Economics, Bergische Universität Wuppertal  
Vizepräsident Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

2. Gutachter

Univ.-Prof. Dr. Peter Witt  
Lehrstuhlinhaber Technologie- und Innovationsmanagement  
Schumpeter School of Business and Economics, Bergische Universität Wuppertal

Datum der Einreichung: 22. November 2017

Datum der Disputation: 10. April 2018

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20190327-110303-1

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3A468-20190327-110303-1>]

Für Mama.

## Geleitwort

Um den ungebremst fortschreitenden Klimawandel zu begrenzen, ist eine stufenweise Dekarbonisierung des Energiesystems notwendig, die bereits bis zur Mitte dieses Jahrhunderts weitgehend erreicht sein muss. Hierfür bedarf es einer konsequenten und erfolgreichen Umgestaltung des Energiesystems. Mit einer derartigen Energiewende sind Investitionsimpulse ebenso verbunden wie eine Innovationsdynamik. Dabei nehmen Systeminnovationen eine zentrale Treiberfunktion zur Dekarbonisierung des Energiesystems ein.

Die Dissertation von Dorothea Schostok beschäftigt sich mit der Rolle von Systeminnovationen und deren Übertragung in strategische Geschäftsmodellinnovationen. Sie stellt dabei eine in gleicher Weise inspirierende wie herausfordernde Frage, nämlich wie sich die Dekarbonisierung des Energiesystems für Unternehmen der Energiewirtschaft und energie- respektive treibhausgasintensiven Industrie rentieren kann. Dabei handelt es sich mit Blick auf die Energiewirtschaft um ein hochaktuelles und anspruchsvolles Thema. Dies gilt nicht nur vor dem Hintergrund der anspruchsvollen politischen Vorgaben, sondern auch aufgrund der Tatsache, dass sich mit der Entwicklung neuer Technologien neue Gestaltungsmöglichkeiten ergeben. Auf der anderen Seite ist der Sektor mit einer hohen Komplexität und Dynamik des Systems sowie mit steigenden Unsicherheiten verbunden, mit denen sich die Unternehmen konfrontiert sehen.

Schon der Titel der Arbeit von Dorothea Schostok deutet zurecht an, dass technologische Innovationen für die Gestaltung der notwendigen Transformationsprozesse im Energiesystem nicht ausreichend sind, sondern ein ganzheitlicheres, breiteres Verständnis von Innovationsprozessen notwendig ist. Der Begriff der Systeminnovation nimmt dies auf, indem er technische Innovationen in den Kontext von sozialen und infrastrukturellen Innovationen stellt. Die angestrebten Systemveränderungen werden aber nur dann erfolgreich und hinreichend schnell zu gestalten sein, wenn die Wirtschaftsakteure auf dem Weg mitgenommen werden und ihnen hinreichende Rahmenbedingungen eingeräumt werden die Geschäftsmöglichkeiten auszuschöpfen. Die zentrale Herausforderung besteht entsprechend in der Entwicklung und Umsetzung von strategischen Geschäftsmodellinnovationen, die auf Systeminnovationen aufsetzen.

Auf der Basis einer umfangreichen Literaturanalyse und -auswertung in den Disziplinen strategisches Management und strategisches Innovationsmanagement schafft die vorliegende Arbeit einen umsichtigen sowie vielschichtigen theoretischen Rahmen. Die sich anschließende empirische Untersuchung befasst sich mit der ganzheitlichen Analyse zweier Systeminnovationen: Mit der Fallstudie „*Power-to-Gas* (P2G)“ greift sie ein derzeit sehr intensiv in der Diskussion befindliches potientielles neues Geschäftsfeld für die Unternehmen heraus. Dagegen adressiert die zweite Fallstudie zur aquatischen Biomasse ein bisher noch kaum erschlossenes Geschäftsfeld, welches in der Arbeit erstmals konzeptionell als „*Algae-to-X* (A2X)“ fundiert wird.

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass für die Überführung von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen ein neuer Ansatz notwendig ist. Mit dem Konzept der „Innovationskaskaden“ betritt Dorothea Schostok dabei gewissermaßen Neuland. An den beiden gewählten Beispielen P2G und A2X wird deutlich, dass Innovationsprozesse aufgrund der Komplexität, Vielschichtigkeit, Dynamik und vor allem der vielen Interdependenzen im System in Kaskaden zu denken sind. Jeder Entwicklungsschritt erfordert nach der Umsetzung Folgeaktivitäten und löst infolge von Lerneffekten, Wechselwirkungen und Rückkopplungsschleifen, die zuvor noch nicht erkennbar waren, weitere Innovationsimpulse aus. Das in der Theorie noch relativ junge Konzept der Innovationskaskaden wird in der Arbeit theoretisch fundiert und empirisch unterlegt. Damit werden für die Umsetzung des Transformationsprozesses der Energiewende wichtige Erkenntnisse gewonnen.

Mit ihrer sehr guten Arbeit leistet Dorothea Schostok einen sehr wertvollen Beitrag für die Wissenschaft und Praxis, die mit der Energiewende verbundenen Herausforderungen aktiv aufzugreifen, die dafür notwendigen Instrumente zu identifizieren und damit konkrete Innovationsansätze auszulösen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Fishedick

Schumpeter School of Business and Economics, Bergische Universität Wuppertal  
Vizepräsident Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

„Die reinste Form des Wahnsinns ist es,  
alles beim Alten zu belassen und gleichzeitig zu hoffen,  
dass sich etwas ändert.“

*Albert Einstein*

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungs- und Zeichenverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	X
Tabellenverzeichnis .....	XII
Teil A: Herausforderungen für Systeminnovationen und Ableitung des Forschungsbedarfs .....	
1 Bezugsrahmen: Dekarbonisierung des Energiesystems .....	2
1.1 Klimawandel und Energiewende.....	2
1.2 Energiewende und Systeminnovationen.....	6
2 Forschungsdesign .....	8
2.1 Hypothesen, Forschungsfragen und Ziel der Arbeit.....	8
2.2 Methodische Herangehensweise .....	12
2.3 Aufbau der Arbeit.....	17
Teil B: Theoretische Einbettung strategischer Geschäftsmodellinnovationen als Instrument des strategischen (Innovations-)Managements .....	
3 Strategisches Management .....	20
3.1 Definitionen und Grundlagen .....	21
3.1.1 Strategie.....	22
3.1.1.1 Drei Dimensionen einer Strategie und ihre Wesensmerkmale ....	22
3.1.1.2 Strategietypologie .....	27
3.1.2 Management .....	33
3.1.2.1 Multifunktionale Perspektive.....	33
3.1.2.2 Management-Dimensionen .....	38
3.1.3 Strategisches Management.....	41
3.1.3.1 Theoretische Entwicklung und Philosophie.....	41
3.1.3.2 Begriffsbestimmung entlang der Management-Funktionen .....	43
3.2 Prozessmodell zur Strategieentwicklung.....	47
3.3 Theoretische Einbettung des strategischen Managements .....	50
3.3.1 Forschungsbereiche und -strömungen.....	50
3.3.2 Forschungsansätze.....	52
3.3.2.1 Überblick.....	52
3.3.2.2 Marktorientierter Ansatz.....	56
3.3.2.3 Ressourcenorientierter Ansatz .....	58
3.3.2.4 Kernkompetenzorientierter Ansatz .....	63



3.4	Exkurs: Rationalität .....	65
3.4.1	Theoretische Ansätze zur Rationalität menschlichen Verhaltens.....	65
3.4.1.1	Faktortheoretischer Ansatz.....	65
3.4.1.2	Entscheidungstheoretischer Ansatz.....	67
3.4.1.3	Verhaltenstheoretischer Ansatz.....	68
3.4.2	Rationalitätskonzepte der strategischen Management Forschung.....	68
3.4.2.1	Prozessorientierte Forschung .....	68
3.4.2.2	Inhaltsorientierte Forschung.....	68
3.4.3	Rationalität der Nachhaltigkeit .....	69
4	Strategisches Innovationsmanagement .....	71
4.1	Definitionen und Grundlagen .....	72
4.1.1	Mehrdimensionale Bedeutung von Innovationen.....	72
4.1.2	Ergebnisorientierte Perspektive .....	76
4.1.2.1	Innovationsobjekt .....	76
4.1.2.2	Innovationsgrad.....	79
4.1.2.3	Bezugseinheit für den Innovationsgrad.....	81
4.1.3	Prozessorientierte Perspektive.....	81
4.1.3.1	Innovationsmanagement.....	83
4.1.3.2	Forschungs- und Entwicklungsmanagement.....	84
4.1.3.3	Technologiemanagement.....	86
4.2	Prozessmodell zur Innovationsentwicklung .....	88
4.3	Innovationsstrategien .....	91
4.3.1	Herausforderungen für die Entwicklung von Innovationsstrategien.....	91
4.3.1.1	Komplexität .....	92
4.3.1.2	Unsicherheit.....	93
4.3.1.3	Konfliktgehalt.....	96
4.3.2	Hemmnisse und Treiber zur Umsetzung von Innovationsstrategien.....	98
4.3.3	Impulsgebende Motive und Stimuli .....	98
4.4	Strategische Geschäftsmodellinnovationen .....	106
5	Zwischenfazit: Zentrale Rolle von Innovationskaskaden .....	117
5.1	Unsicherheiten in der Energiewende .....	118
5.2	Beitrag von Innovationskaskaden .....	125
Teil C: Empirische Untersuchung ausgewählter Systeminnovationen .....		128
6	Forschungsdesign der Fallstudien.....	129
6.1	Experteninterviews – Grundlagen und Methodik .....	130
6.1.1	Definition Forschungsziel.....	131
6.1.2	Definition Expertenbegriff .....	133
6.1.3	Expertenbestimmung .....	135
6.1.4	Themen- und expertenspezifische Hintergrundinformationen .....	137
6.1.5	Interviewleitfaden.....	137
6.1.6	Durchführung Experteninterviews und Datenauswertung .....	139
6.2	Gütekriterien .....	144

7	Fallstudie <i>Power-to-Gas</i> .....	147
7.1	Einführung .....	148
7.2	Technologien und Akteure im Wettbewerb .....	151
7.2.1	Inter- und Intra Wettbewerb .....	151
7.2.2	Zentrale Akteure .....	153
7.2.3	Verlierer, Gewinner und <i>change agents</i> .....	154
7.3	Transformation und Innovationskaskade .....	160
7.3.1	P2G-Innovationskaskade Stufe 1: Wasserstoffelektrolyse .....	164
7.3.2	P2G-Innovationskaskade Stufe 2: Methanisierung .....	165
7.3.3	P2G-Innovationskaskade Stufe 3: Langzeitspeicher .....	170
7.4	Chancen, Potenziale und Treiber .....	174
7.4.1	Ausbau erneuerbarer Energien .....	174
7.4.2	Sektorkopplung .....	176
7.5	Unsicherheiten und Hemmnisse .....	180
7.5.1	Politische Dimension .....	180
7.5.2	Regulatorische Dimension .....	181
7.5.2.1	Gesetzliche Gleichstellung von EE-Gasen und Biogas .....	182
7.5.2.2	H <sub>2</sub> -Beimischungsgrenzen im Erdgasnetz .....	183
7.5.2.3	Konvergenz zwischen Energiemärkten – Letztverbraucherabgaben .....	185
7.5.2.4	Stellschrauben zur Förderung der Wirtschaftlichkeit gemäß P2G-Plattform .....	191
7.5.3	Ökonomische Dimension .....	194
7.5.3.1	Strommarktdesign und Energiepreisrelation .....	194
7.5.3.2	CO <sub>2</sub> -Handel und CO <sub>2</sub> -Preis .....	199
7.5.3.3	Strombezugskosten und Stromgestehungskosten .....	200
7.5.3.4	Ressourceneinsatz und Absatzmarkt .....	205
7.5.3.5	Standortwahl .....	209
7.5.3.6	Exkurs: Alternative Finanzierungskonzepte .....	211
7.5.4	Technologische Dimension .....	212
7.5.5	Soziale Dimension .....	213
7.6	Vision .....	214
7.7	Zwischenfazit: Zentrale Lerneffekte für Geschäftsmodellinnovationen ( <i>within-case</i> Analyse) .....	216
8	Fallstudie <i>Algae-to-X</i> .....	223
8.1	Einführung .....	224
8.2	Technologien und Akteure im Wettbewerb .....	230
8.2.1	Inter- und Intra Wettbewerb .....	230
8.2.2	Zentrale Akteure .....	232
8.2.3	Verlierer, Gewinner und <i>change agents</i> .....	233
8.3	Transformation und Innovationskaskade .....	239
8.3.1	A2X-Innovationskaskade Stufe 1: Algen-Bioraffinerie .....	242
8.3.2	A2X-Innovationskaskade Stufe 2: Energetische Nutzungspfade .....	244

8.4	Chancen, Potenziale und Treiber .....	245
8.4.1	Potenzialvergleich nachwachsender Rohstoffe .....	245
8.4.2	Systemnutzen.....	250
8.5	Unsicherheiten und Hemmnisse .....	253
8.5.1	Politische und regulatorische Dimension .....	253
8.5.2	Ökonomische Dimension .....	256
8.5.2.1	Wirtschaftlichkeit .....	256
8.5.2.2	Mengenbilanz .....	258
8.5.2.3	Ökobilanz .....	260
8.5.2.4	Standortwahl.....	262
8.5.3	Technologische Dimension .....	264
8.5.3.1	Algenkultivierungssysteme .....	264
8.5.3.2	Einheitliche Berechnungs- und Qualitätsstandards .....	269
8.5.3.3	Forschungsbedarf .....	270
8.5.4	Soziale Dimension .....	271
8.6	Vision.....	272
8.7	Zwischenfazit: Zentrale Lerneffekte für Geschäftsmodellinnovationen ( <i>within-case</i> Analyse) .....	273
9	Zwischenfazit: Zentrale Lerneffekte für strategische Geschäftsmodellinnovationen ( <i>cross-case</i> Analyse) .....	278
Teil D: Schlussfolgerungen .....		284
10	Diskussion.....	285
10.1	Beantwortung der Forschungsfragen .....	285
10.1.1	Theoretisch fundierte Forschungsfragen .....	285
10.1.2	Empirisch gestützte Forschungsfragen.....	289
10.2	Ableitung von Empfehlungen.....	294
10.3	Reflexion der Hypothesen .....	296
11	Mehrwert der Arbeit, Reflexion des Forschungsdesigns und weiterführender Forschungsbedarf.....	301
Anhang .....		303
A.1	Vergleich ausgewählter Prozessmodelle .....	304
A.2	Vergleich ausgewählter Definitionen zu den Begriffen Geschäftsmodell und Geschäftsmodellinnovation .....	306
A.3	Übersicht bestehender Pilot- und Demonstrationsprojekte in Deutschland .....	309
A.4	Gesprächsleitfaden Experteninterviews .....	313
Literatur- und Quellenverzeichnis.....		314
Verzeichnis Gesetze, Richtlinien und Normen .....		371

## Abkürzungs- und Zeichenverzeichnis

a	anno
A2E	<i>Algae-to-Energy</i>
A2P	<i>Algae-to-Product</i>
A2X	<i>Algae-to-X</i>
Abl.	Amtsblatt
AG	Aktiengesellschaft
AMWHV	Arzneimittel- und Wirkstoffherstellungsverordnung
Art.	Artikel
AusglMechV	Ausgleichsmechanismusverordnung
B2B	<i>Business-to-Business</i>
BCG	Boston Consulting Group
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BEE	Bundesverband Erneuerbare Energie
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BiomasseV	Biomasseverordnung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BNetzA	Bundesnetzagentur
BtL	<i>Biomass-to-Liquid</i>
BUND NRW	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland Landesverband Nordrhein-Westfalen
BWS	Bruttowertschöpfung
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
C	Kohlenstoff
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i>
CCU	<i>Carbon Capture and Utilization</i>
CDU	Christlich Demokratische Union Deutschlands
CH <sub>4</sub>	Methan
cm <sup>2</sup>	Quadratcentimeter
CNG	<i>Compressed Natural Gas</i>
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CSR	<i>Corporate Social Responsibility</i>
CSU	Christlich-Soziale Union
ct	Cent
CtL	<i>Coal-to-Liquid</i>
DBFZ	Deutsches BiomasseForschungsZentrum
DBI	Deutsches Brennstoffinstitut
DCGK	Deutsche Corporate Governance Kodex

DDPP	<i>Deep Decarbonization Pathways Project</i>
DeGEval	Deutsche Gesellschaft für Evaluation
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
Dena	Deutsche Energie-Agentur
d. h.	das heißt
DIE	Deutsches Institut für Entwicklungspolitik
DIN	Deutsche Industrienorm
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DVFG	Deutscher Verband Flüssiggas
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
€	Euro
ebd.	ebenda
ECRA	<i>European Cement Research Academy</i>
EE	erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EE-Gas(e)	erneuerbaren Energien Gas(e)
EEX	European Energy Exchange
EG	Europäische Gemeinschaft
EGas	elektrisches Gas
EIV	Experteninterview
el	elektrisch
EMIR	<i>European Market Infrastructure Regulation</i>
EnergieStG	Energiesteuergesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
$\eta$	(Kraftwerks-)Wirkungsgrad
et al.	Et alii (Maskulinum) // et alae (Femininum)
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
EUA	<i>European Union Allowance</i>
EU-ETS	<i>EU Emissions Trading System</i>
EU-VRi	<i>European Virtual Institute for Integrated Risk Management</i>
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EWI	Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
f.	folgende
ff.	fortfolgende
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FEE	fluktuierende erneuerbare Energie(n)
FfE	Forschungsstelle für Energiewirtschaft
FKW/PFC	Perfluorierte Kohlenwasserstoffe
FNR	Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe
Fraunhofer IWES	Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik
Fraunhofer UMSICHT	Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik
FuE	Forschung und Entwicklung
gal	Gallone
GasNZV	Gasnetzzugangsverordnung
GenTG	Gentechnikgesetz
ggf.	gegebenenfalls
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GJ	Gigajoule
GK	Grenzkosten
GMP	<i>Good Manufacturing Practice</i>
GtL	<i>Gas-to-Liquid</i>
GVO	gentechnisch veränderte Organismen
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde

GWI	Gas- und Wärme-Institut Essen
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
GWS	Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung
h	Stunden
H <sub>2</sub>	Wasserstoff
H <sub>2</sub> O	Wasser
ha	Hektar
H-FKW/HFC	Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
HGB	Handelsgesetzbuch
HTES	<i>high-temperature electrolysis system</i>
IASS	<i>Institute for Advanced Sustainability Studies Potsdam</i>
ICM	<i>Innovation City Management</i>
i. d. R.	in der Regel
IFNE	Kassel Ingenieurbüro für neue Energien
IGCC	<i>Integrated Gasification Combined Cycle</i>
IGV	Industriegaseverband
i. H. v.	in Höhe von
iiT	Institut für Innovation und Technik
INES	Initiative Erdgasspeicher
inkl.	inklusive
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
Ir	Iridium
i. V. m.	in Verbindung mit
IW	Institut der deutschen Wirtschaft
IWR	Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien
i. Z. m.	im / in Zusammenhang mit
Jg.	Jahrgang
Jh.	Jahrhundert
k. A.	keine Angabe
KAV	Konzessionsabgabenverordnung
KBA	Kraftfahrt Bundesamt
KFZ	Kraftfahrzeug
kg	Kilogramm
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
L	Liter
LBD	LBD Beratungsgesellschaft
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LED	Leuchtdiode(n)
LPG	<i>Liquefied Natural Gas</i>
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
max.	maximal
MIFID	<i>Markets in Financial Instruments Directive</i>
MENA	<i>Middle East and North Africa</i>
MFSP	<i>Minimum Fuel Selling Price</i>
Mio.	Millionen
MJ	Megajoule
MKULNV NRW	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

mg	Milligramm
Mrd.	Milliarden
MW	Megawatt
MWK	Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg
N	Nitrat
N <sub>2</sub> O	Distickstoffoxid
NEP	Netzentwicklungsplan
NGO	<i>non-governmental organization</i>
NIP	Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
Nr.	Nummer
NRW	Nordrhein-Westfalen
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
OECD	<i>Organisation for Economic Cooperation and Development</i>
o. J.	ohne Jahresangabe
o. O.	ohne Ortsangabe
OVG NRW	Oberverwaltungsgericht für das Land Nordrhein-Westfalen
P	Phosphor
P2C	<i>Power-to-Chemical</i>
P2F	<i>Power-to-Fuel</i>
P2G	<i>Power-to-Gas</i>
P2G2P	<i>Power-to-Gas-to-Power</i>
P2H	<i>Power-to-Heat</i>
P2I	<i>Power-to-Industry</i>
P2L	<i>Power-to-Liquid</i>
P2M	<i>Power-to-Mobility</i>
P2P	<i>Power-to-Product</i>
P2X	<i>Power-to-X</i>
PatG	Patentgesetz
PC	Polycarbonat
PCE	<i>Photo Conversion Efficiency</i>
PEM	<i>Proton Exchange Membrane</i> Elektrolyse
PJ	Petajoule
PLANET	Planungsgruppe Energie und Technik
Pt	Platin
rd.	rund
REMIT	<i>Regulation on wholesale Energy Market Integrity and Transparency</i>
ROCE	<i>Return on Capital Employed</i>
ROI	<i>Return on Investment</i>
S.	Seite
SGE	Strategische Geschäftseinheit
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid
SOEC	<i>Solid oxide electrolysis cell</i>
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
StromNEV	Stromnetzentgeltverordnung
StromStG	Stromsteuergesetz
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i>
t	Tonnen
th	termisch
THG	Treibhausgas(e)

TS	Trockensubstanz
Tsd.	Tausend
TWh	Terawattstunde
u. a.	unter anderem / anderen
UBA	Umweltbundesamt
UCTE	<i>Union for the Coordination of Transmission of Electricity</i>
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
UNDESA	<i>United Nations Department of Economic and Social Affairs</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
US	<i>United States</i>
US\$	<i>United States Dollar</i>
u. U.	unter Umständen
V <sub>n</sub>	Volumen im Normzustand
VCI	Verband der Chemischen Industrie
VDS	Verein Deutscher Sprache
vgl.	vergleiche
VKE	Verband Kunststoffherstellende Industrie
Vol.	Volumen
vs.	versus
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
WZ	Wirtschaftszweig
z. B.	zum Beispiel
ZBT	Zentrum für Brennstoffzellentechnik
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg
z. T.	zum Teil
%	Prozent



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur Teil A .....	1
Abbildung 2: Struktur Kapitel 1 .....	2
Abbildung 3: Struktur Kapitel 2 .....	8
Abbildung 4: Forschungsfragen .....	9
Abbildung 5: Forschungsdesign .....	11
Abbildung 6: Trittstein-Modell CO <sub>2</sub> -Rohstoff-Wirtschaft .....	15
Abbildung 7: Pyramide nachhaltiger Energieversorgung .....	16
Abbildung 8: Struktur der Dissertation .....	18
Abbildung 9: Struktur Teil B.....	19
Abbildung 10: Struktur Kapitel 3 .....	20
Abbildung 11: Dreidimensionaler Raum der Strategiedefinition.....	22
Abbildung 12: Zusammenhang Mintzbergs Strategiedefinitionen und Strategieformen.....	25
Abbildung 13: Gesamtgefüge vertikaler Strategiearten entlang der Organisationsebenen....	31
Abbildung 14: Management-Funktionen .....	34
Abbildung 15: Wirkungsgefüge Ordnungsmomente, Prozesse und Entwicklungsmodi .....	38
Abbildung 16: Zusammenhang Management-Dimensionen und Strategiearten.....	41
Abbildung 17: Zusammenhang Erfolgsposition, Erfolgspotenzial und Management-Dimensionen.....	45
Abbildung 18: Prozessmodell strategisches Management .....	49
Abbildung 19: Forschungsbereiche strategisches Management.....	51
Abbildung 20: Systematisierung Forschungsansätze anhand wissenschaftlicher Disziplinen des strategischen Managements .....	54
Abbildung 21: Dynamisches <i>structure-conduct-performance</i> Paradigma .....	57
Abbildung 22: Zusammenhang Ressourcen, Kernkompetenzen und Wettbewerbsvorteile ..	60
Abbildung 23: Modell umfassender Managementrationalitäten .....	70
Abbildung 24: Struktur Kapitel 4 .....	71
Abbildung 25: Innovationsgrad .....	79
Abbildung 26: Prozessorientierte Abgrenzung Innovationsbegriff.....	82
Abbildung 27: FuE-Aktivitäten differenziert nach Grad der Anwendungsorientierung.....	85
Abbildung 28: Prozessmodell strategisches Innovationsmanagement.....	88
Abbildung 29: Herausforderungen an Innovationsstrategien.....	92
Abbildung 30: Innovationsauslösende Stimuli.....	102
Abbildung 31: Multi-Impuls Modell: Innovationsauslösende Stimuli – Erweiterung um systeminduzierte Impulse .....	105
Abbildung 32: Theoretische Ansätze Geschäftsmodell-Konzept.....	112
Abbildung 33: Struktur Kapitel 5 .....	117

Abbildung 34: Treiber und Hemmnisse der Systemtransformation auf dem Weg zu einer klimaverträglichen Weltgesellschaft .....	118
Abbildung 35: Regulatorische Unsicherheitsfelder entlang der energetischen Wertkette ..	121
Abbildung 36: Strategien zum Umgang mit regulatorischen (Un-)Sicherheitssituationen .	122
Abbildung 37: Struktur Teil C .....	128
Abbildung 38: Struktur Kapitel 6.....	129
Abbildung 39: Forschungsfragen der Fallstudienanalysen.....	131
Abbildung 40: Expertenbegriff – drei Definitionsperspektiven .....	133
Abbildung 41: Textreduktions- und Codierverfahren.....	141
Abbildung 42: Struktur Kapitel 7.....	147
Abbildung 43: P2G-Konzept .....	149
Abbildung 44: Innovationskaskade P2G.....	163
Abbildung 45: Formel Berechnung Grenzkosten für einzelne Kraftwerke .....	195
Abbildung 46: Preisniveau und mögliche Vergünstigungen für Industriekunden* zum 01.04.2015 .....	202
Abbildung 47: Formel Berechnung Energiestückkosten .....	204
Abbildung 48: Belastungen der deutschen Chemieindustrie .....	205
Abbildung 49: Zukunftsbilder entlang der P2G-Innovationskaskade.....	215
Abbildung 50: »proWindgas« – Windgasanteil an der Gaszusammensetzung .....	217
Abbildung 51: Preisbestandteile Arbeitspreis »proWindgas« .....	217
Abbildung 52: Struktur Kapitel 8.....	223
Abbildung 53: Klassifizierung aquatischer Biomasse nach DIN EN ISO 17 225-1 .....	224
Abbildung 54: A2X-Konzept.....	227
Abbildung 55: Prozessphasen Mikroalgenkultivierung.....	228
Abbildung 56: Prozesskette zur Gewinnung ausgewählter Bioenergieträger auf Algenbasis .....	229
Abbildung 57: Generationen Biokraftstoffe .....	230
Abbildung 58: Trittstein-Modell aquatischer Biomasse .....	240
Abbildung 59: Innovationskaskade A2X.....	242
Abbildung 60: Algen-Bioraffinerie Konzept .....	242
Abbildung 61: Kenngrößen Photobioreaktor .....	266
Abbildung 62: Anwendungsgebiet GMP-Leitlinien .....	268
Abbildung 63: Struktur Kapitel 9.....	278
Abbildung 64: Struktur Teil D .....	284
Abbildung 65: Forschungsfragen zum Teil B.....	285
Abbildung 66: Forschungsfragen zum Teil C.....	289

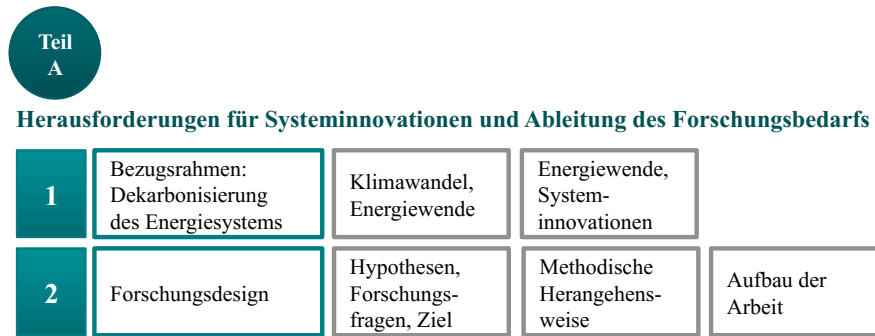
## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klima- und energiepolitische Ziele der Bundesregierung.....	4
Tabelle 2: Ebenen und Aufgaben des <i>Change-Management</i> s.....	13
Tabelle 3: Strategiearten entlang der vertikalen Organisationsebenen .....	27
Tabelle 4: Strategietypen.....	32
Tabelle 5: Systematische Schrittfolge zur Effektivitätssteigerung.....	36
Tabelle 6: Funktionaler Zusammenhang Management-Dimensionen und Unternehmensentwicklung (Entwicklungsmodi) .....	38
Tabelle 7: <i>Ten Schools of Thought</i> .....	52
Tabelle 8: Ausprägungsformen der Rationalität .....	65
Tabelle 9: Kondratieff-Zyklen und ihre auslösenden Basisinnovationen .....	74
Tabelle 10: Innovationsobjekte differenziert nach ökonomischen Kategorien.....	77
Tabelle 11: Gegenüberstellung mittel- und zweckinduzierter Innovationen .....	100
Tabelle 12: Geschäftsmodell-Elemente nach Csik.....	109
Tabelle 13: Geschäftsmodell-Elemente nach Schallmo.....	110
Tabelle 14: Anti-Merkmale von Geschäftsmodellen .....	111
Tabelle 15: Verhältnis von Strategie und Geschäftsmodell .....	114
Tabelle 16: Unsicherheitsfelder der Energiewirtschaft.....	119
Tabelle 17: Vorgehensmodell Experteninterview .....	130
Tabelle 18: Interviewpartner .....	136
Tabelle 19: Kategorien-Evolution der Codierung.....	142
Tabelle 20: Theoretische CO <sub>2</sub> -Quellen .....	150
Tabelle 21: Interdisziplinäre Bewertung Intra-Konkurrenzverhältnisse P2G.....	152
Tabelle 22: Ökonomischer und ökologischer Kennzahlenvergleich Elektrolyseure .....	160
Tabelle 23: Prognose H <sub>2</sub> -Bedarf und benötigte Elektrolyse-Leistung in Deutschland ...	165
Tabelle 24: Mögliche CO <sub>2</sub> -Bezugsquellen zur Herstellung synthetischen CH <sub>4</sub> .....	166
Tabelle 25: CO <sub>2</sub> -Konzentration und Strombedarf der CO <sub>2</sub> -Abscheidung für ausgewählte CO <sub>2</sub> -Bezugsquellen.....	166
Tabelle 26: Kostenabschätzung der CO <sub>2</sub> -Abscheidung in Kraftwerken und Industrieanlagen.....	169
Tabelle 27: Unterirdische Langzeitspeicher für H <sub>2</sub> und CH <sub>4</sub> .....	171
Tabelle 28: Potenzialabschätzung Kavernen- und Porenspeicher 2050.....	172
Tabelle 29: Technologiespezifischer Vergleich des Stromnetzausbaus.....	176
Tabelle 30: Wirkungsgrade von P2G und P2G2P.....	177
Tabelle 31: Randbedingungen der Standortwahl für P2G-Anlagen.....	209
Tabelle 32: SWOT-Analyse P2G-Innovationskaskade.....	221
Tabelle 33: Mikroalgen – zentrale Gruppen und Gattungen.....	225
Tabelle 34: Anbau nachwachsender Rohstoffe (Energiepflanzen) in Deutschland.....	245

Tabelle 35: Ertragsvergleich nachwachsender Rohstoffe .....	248
Tabelle 36: Vergleich Energiegewinnung aus Mikroalgen differenziert nach Energieträgern .....	249
Tabelle 37: Regulatorische Klassifizierung gentechnischer Anlagen gemäß GenTG ....	255
Tabelle 38: Preise für Produkte auf Basis aquatischer Biomasse .....	257
Tabelle 39: Vergleich <i>raceway pond</i> und Photobioreaktor .....	264
Tabelle 40: Vergleich eines Rohr- und Plattenreaktors .....	265
Tabelle 41: SWOT-Analyse A2X-Innovationskaskade .....	276
Tabelle 42: Prozessmodelle des strategischen Managements.....	304
Tabelle 43: Prozessmodelle der strategischen Planung .....	305
Tabelle 44: Definitionen Geschäftsmodell .....	306
Tabelle 45: Definitionen Geschäftsmodellinnovation .....	308
Tabelle 46: Übersicht P2G-Projekte in Deutschland, sortiert nach Anlagenleistung .....	309
Tabelle 47: Übersicht A2X-Projekte in Deutschland .....	312

# Teil A: Herausforderungen für Systeminnovationen und Ableitung des Forschungsbedarfs

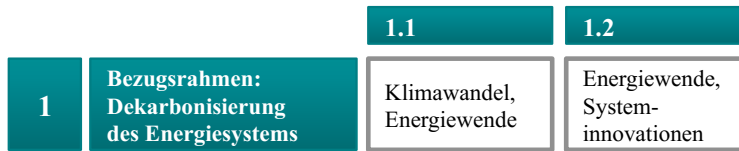
Abbildung 1: Struktur Teil A



Quelle: Eigene Darstellung.

# 1 Bezugsrahmen: Dekarbonisierung des Energiesystems

Abbildung 2: Struktur Kapitel 1



Quelle: Eigene Darstellung.

## 1.1 Klimawandel und Energiewende

Der Klimawandel<sup>1</sup> ist eine (statistisch) identifizierte Veränderung des Klimas über einen längeren Zeitraum (in der Regel über Jahrzehnte oder länger) (IPCC 2014c, S. 120). Die Gründe für den Klimawandel können natürliche interne Prozesse oder externe Prozesse wie die Modulationen der Sonnenzyklen, Vulkanausbrüche und anhaltende anthropogene Veränderungen in der Zusammensetzung der Atmosphäre oder in der Landnutzung sein (ebd.). Die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen<sup>2</sup> definiert den Klimawandel als einen auf Änderung der Zusammensetzung der globalen Atmosphäre zurückzuführenden Effekt, der über vergleichbare Zeiträume zusätzlich zu den natürlichen Klimaschwankungen zu beobachten ist und direkt oder indirekt auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist (UNFCCC 1992, Artikel 1). Von besonderer Bedeutung ist dabei der Ausstoß an Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), insbesondere Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>).

Der anthropogene Einfluss auf den natürlichen CO<sub>2</sub>-Kreislauf erfolgt durch den Ausstoß von CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Veränderung der Senkenkapazität. Die Senkenkapazität beschreibt die Möglichkeit der Natur zur Aufnahme von Treibhausgasen. Die anthropogene Einflussnahme auf die Senkenkapazität erfolgt durch die Veränderung der Landnutzung und die Abholzung des Waldbestandes. Mit einem Anteil von 80 % leistet der Ausstoß von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern jedoch den größeren anthropogen verursachten Beitrag zur Erhöhung der THG-Konzentration in der Atmosphäre. (Renn 2014, S. 382) Anthropogene Eingriffsmöglichkeiten zur Milderung des Klimawandels bestehen folglich in der Reduktion der THG-Quellen und der Verbesserung der THG-Senken (IPCC 2014c, S. 125).

Zu den Quellen der globalen Erwärmung zählen die THG-Emissionen „Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O), Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC), Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>)“ (UNFCCC 1998a, S. 28; 1998b, S. 19). Mit einem weltweiten Anteil von 76 % im Jahr 2010 (IPCC 2014b, S. 6) und 88,2 % in Deutschland im Jahr 2013 (UBA 2015, o. S.) nehmen CO<sub>2</sub>-Emissionen den größten Anteil klimaschädlicher Gase ein.

<sup>1</sup> Für eine umfassende Darstellung des Klimawandels wird exemplarisch auf Latif (2009) und Stern (2006) verwiesen.

<sup>2</sup> *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC).

Um das Klima zu schützen, ist es erforderlich, den weltweiten Temperaturanstieg bis zum Jahr 2050 auf maximal 2°C gegenüber dem vor-industriellen Zeitalter zu begrenzen (IPCC 2014a). Die 2°C-Marke stellt jedoch keine verlässliche Leitplanke dar – auch beim Erreichen des 2°C Ziels ist mit erheblichen Klimaschäden zu rechnen (Wuppertal Institut 2015a, S. 2) und Klimaanpassungsmaßnahmen sind durchzuführen. Als ein reines öffentliches Gut (globales Kollektivgut) kann der Schutz des Klimas nur durch eine zentrale Institution sichergestellt werden kann (Bardt et al. 2014, S. 11).<sup>3</sup> Da eine globale Institution, die Beiträge der Nutznießer zum Schutz des Klimas einfordert, nicht existiert, erschwert dieses zusammen mit dem Charakter eines öffentlichen Guts, die internationalen Übereinkünfte über Klimaschutzmaßnahmen, da der Kreis der Kostenträger kleiner sein kann, als der Kreis der Nutznießer (ebd.). Um so mehr ist es zu begrüßen, dass die 21. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention mit dem »Paris Agreement« im Dezember 2015 darüber eine Einkunft erzielen konnte, die Bemühungen dahin zu forcieren, die Temperaturerhöhung auf 1,5°C – mindestens aber 2°C – über dem vor-industriellen Niveau zu begrenzen (UNFCCC 2015, S. 2).

Zur Erreichung des 1,5°C-Ziels, aber auch des 2°C-Ziels ist eine „stufenweise Dekarbonisierung des Energiesystems [notwendig], die bis zur Mitte des Jahrhunderts schon weitgehend erreicht sein muss“ (Fischedick/Knoop/Samadi 2015). Zum Schutz des Klimas setzt die Bundesrepublik Deutschland auf eine nachhaltige Gesamtstrategie, welches eine langfristige Orientierung zur Entstehung eines dynamischen und flexiblen Energiemixes einschließt, die sich insbesondere technologieoffen und marktorientiert entlang aller Nutzungspfade wie Strom, Wärme und Verkehr entfalten soll (BMW/BMU 2010, S. 3f.). Die Klimaschutzstrategie der Bundesregierung wird dabei u. a. durch folgende Klimaschutzziele<sup>4</sup> bestimmt: Reduktion THG-Emissionen um 40 % bis 2020, um 55 % bis 2030, um 70 % bis 2040 und um mindestens 80 % bis 2050 jeweils gegenüber dem Jahr 1990 (ebd., S. 5).<sup>5</sup>

Die im Jahr 2015 veröffentlichte Studie »Pathways to deep decarbonization« (DDPP 2015)<sup>6</sup> kommt zu dem Ergebnis, dass eine stufenweise Dekarbonisierung technisch bereits auf der Basis der heute verfügbaren Technologien möglich ist und maßgeblich auf den nachfolgenden drei Säulen aufbaut (DDPP 2015, S. 8), (Wuppertal Institut 2015e, S. 4):

---

<sup>3</sup> „Der Klimawandel ist zwar global, seine Folgen sind jedoch stets nur lokal zu spüren.“ (Bardt et al. 2014, S. 11) Dieses führt dazu, dass Klimaanpassungsmaßnahmen private bzw. regional öffentliche Güter sind, so dass der Kreis der Kostenträger dem Kreis der Nutznießer entspricht (ebd.). „Anders als der Klimaschutz ist die Anpassung an den Klimawandel nicht oder nur geringfügig mit Anreizproblemen, wie sie Kollektivgüter mit sich bringen, behaftet.“ (Mahammadzadeh/Biebeler 2009, S. 61)

<sup>4</sup> Der ambitionierten Klimaschutzpolitik sind bereits zahlreiche Bundesländer gefolgt. Der Spitzenreiter, mit einem Anteil von 32 % der deutschlandweiten Treibhausgasemissionen (LANUV 2014, S. 23) ist gleichzeitig der Vorreiter einer ambitionierten Klimaschutzstrategie. Im Gegensatz zur Bundesregierung hat das Land NRW seine Klimaschutzziele im Jahr 2013 in einem „Klimaschutzgesetz NRW“ legislativ verankert und die Strategien und Maßnahmen zur Erreichung der Klimaschutzziele in einem partizipativen Verfahren festgelegt (Klimaschutzplan NRW). Für eine Vertiefung zur Erarbeitung des Klimaschutzplan NRW wird auf Fischedick (2013) und einen *benchmark* zu den Klimaschutzplänen und -gesetzen auf der Ebene der Bundesländer wird auf Fischedick et al. (2015) verwiesen. Seit 2016 besteht auch auf Bundesebene ein Klimaschutzplan, der die klimaschutzpolitischen Grundsätze und Ziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2050 darlegt, den inhaltlichen Orientierungsrahmen und den „Prozess zum Erreichen der nationalen Klimaschutzziele im Einklang mit dem Übereinkommen von Paris“ (BMBU 2016, S. 6) festhält.

<sup>5</sup> Dieses steht im Einklang mit dem Koalitionsvertrag zur 18. Legislaturperiode (CDU/CSU/SPD 2013).

<sup>6</sup> Die Studie ist im Rahmen des 2013 gegründeten *Deep Decarbonization Pathways Project* (DDPP) entstanden. Insgesamt sind 16 Forschungsteams am DDPP beteiligt, die zusammen 74 % der globalen THG-Emissionen repräsentieren (DDPP 2015, S. 3).

- Energieeffizienz: Senkung der Energieintensität (definiert als Verhältnis des Energieverbrauchs zum Bruttoinlandsprodukt);
- Erneuerbare Energien: Sukzessiver Wechsel zu CO<sub>2</sub>-freien (bzw. CO<sub>2</sub>-armen) Primärenergieträgern und damit die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien (insbesondere in der Stromerzeugung);
- Elektrifizierung des Energiesystems: Verstärkte direkte Nutzung von Strom bzw. Nutzung auf erneuerbarem Strom basierende synthetische Brennstoffe (insbesondere im Transport- und Industriesektor).

Mit der im Jahr 2011 eingeleiteten Energiewende<sup>7</sup> greift die Bundesregierung die Klimaschutzziele auf und setzt auf eine Energieversorgung, die im Jahr 2050 überwiegend auf erneuerbaren Energien basieren soll. Die Ziele der Energiewende fasst die nachfolgende Tabelle 1 zusammen.

**Tabelle 1: Klima- und energiepolitische Ziele der Bundesregierung**

		Ist		Ziel			
		2000	2016	2020	2030	2040	2050
THG-Emissionen	THG-Emissionen (gegenüber 1990)	-17 %	-28 %	-40 %	-55 %	70 %	80-95 %
Energieeffizienz	Primärenergieverbrauch (gegenüber 2008)	0 %	-7 %	-20 %	k. A.	k. A.	-50 %
	Brutto-Stromverbrauch (gegenüber 2008)	-8 %	-4 %	-10 %	k. A.	k. A.	-25 %
Erneuerbare Energien	Anteil am Bruttostromverbrauch	7 %	32 %	35 %	50 %	65 %	80 %
	Anteil am Bruttoendenergieverbrauch	4 %	15 % (2015)	18 %	30 %	45 %	60 %
Verkehr	Endenergiebedarf (gegenüber 2005)	+6 %	+1 %	-10 %	k. A.	k. A.	-40 %
	Anzahl Elektrofahrzeuge	k. A.	51.600 (2015)	1 Mio.	6 Mio.	k. A.	k. A.
Andere Bereiche	Jährliche Rate energetische Gebäudesanierung	1 % (2005-2008)		2 %			
	Stromerzeugung aus Atomenergie (gegenüber 2010)	+21 %	-40 %	-100 % (ab Ende 2022)			

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von BMWi/BMU (2010), BMWi (2011, 2016c, 2017a), KBA (2017), UBA (2017a, 2017b, 2017c, 2017d).

<sup>7</sup> Die Einleitung der Energiewende bezieht sich maßgeblich auf die Verabschiedung von sechs Gesetzen: Neben der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), dem Gesetz zur Neuregelung energiewirtschaftsrechtlicher Vorschriften (EnWGÄndG), dem Gesetz über Maßnahmen zur Beschleunigung des Netzausbaus Elektrizitätsnetze (NABEG), dem Gesetz zur Änderung des Gesetzes zur Errichtung eines Sondervermögens "Energie- und Klimafonds" und dem Gesetz zur Stärkung der klimagerechten Entwicklung in den Städten und Gemeinden wurde das Atomgesetz (AtG) novelliert (Bundesregierung 2011). Entgegen der im Energiekonzept 2050 der Bundesregierung (BMWi/BMU 2010, S. 16) vorgesehenen durchschnittlichen Laufzeitverlängerung für Atomkraftwerke von zwölf Jahren sieht der novellierte § 7 AtG vor: „Die sieben ältesten Kernkraftwerke und das Kernkraftwerk Krümmel dürfen seit Inkrafttreten des Gesetzes am 6. August 2011 nicht mehr betrieben werden. Sie bleiben abgeschaltet. Die übrigen Kernkraftwerke werden zeitlich gestaffelt in den nächsten Jahren vom Netz gehen, für die drei jüngsten Anlagen erlischt die Genehmigung spätestens im Jahr 2022.“ (Bundesregierung 2011, o. S.)



Um die klima- und energiepolitischen Ziele zu erreichen, erwartet die Bundesregierung einen Investitionsanstieg von 20 Mrd. € pro Jahr, welcher zu positiven Auswirkungen auf Wachstum und Beschäftigung führen soll (BMWi/BMU 2010, S. 5). Das vom Fraunhofer IWES (2014, S. 16) analysierte »Geschäftsmodell Energiewende« schätzt für die Energiewende ein Gesamtinvestitionsvolumen von 1.500 Mrd. € bis zum Jahr 2050.<sup>8</sup> Gleichzeitig konstatiert das Fraunhofer IWES (ebd., S. 27), dass „die Energiewende nicht nur bezahlbar ist, sondern, dass sie vielmehr eine große globale Geschäftschance“ ist.<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> Ohne Einbeziehung der Kapitalkosten (Fraunhofer IWES 2014, S. 16).

<sup>9</sup> In einer globalen Betrachtung wird von einem jährlichen Investitionsanstieg im Bereich der Umwelttechnologien i. H. v. 2 % des globalen BIP ausgegangen, um das Ziel einer nachhaltigen Wirtschaftsform im Sinne eines dekarbonisierten, ressourceneffizienten und sozial einvernehmlichen neuen Wirtschaftsmodells (*green economy*) zu erreichen (UNEP 2011, S. 34).

## 1.2 Energiewende und Systeminnovationen

Die Energiewende kann nicht nur zu einer Erreichung der ambitionierten Klimaschutzziele und zu einer Risikominimierung (u. a. durch den Ausstieg aus der Kernenergie) beitragen, sondern auch (Investitions-)Impulse für neue Innovationen setzen, die Innovationsdynamik erhöhen und die (energie-)wirtschaftlichen Strukturen verändern. Dabei nehmen Systeminnovationen, die aus technologischen, sozialen und infrastrukturellen Elementen bestehen (Fischedick et al. 2014, S. 17) eine zentrale Treiberfunktion zur Dekarbonisierung des Energiesystems ein. Der Begriff der Systeminnovation impliziert die Erkenntnis, dass sich technologische Innovationen nur in einem geeigneten sozialen, politischen, kulturellen, strukturellen und institutionellen Umfeld werden durchsetzen können.<sup>10</sup>

Gleichzeitig ist die Energiewende selbst ein „systemischer Innovationsprozess“ (Göbbling-Reisemann et al. 2013, S. 368), für den es bisher an Erfahrungswissen fehlt und Blaupausen für den Umsetzungsprozess nicht zur Verfügung stehen. Die Transformation des Energiesystems<sup>11</sup> ist grundsätzlich „kein neues Phänomen, aber Dimension und Geschwindigkeit des notwendigen Wandels stellen eine neue wesentliche Herausforderung dar (...)“ (Fischedick et al. 2014, S. 12).<sup>12</sup> Zudem ist der Umfang und die Intensität des zukünftigen Wandels hin zu einem dekarbonisierten Energiesystem größer als die bisher vollzogenen Veränderungen (ebd.). Bedingt durch die „beschleunigte Transformationsdynamik (...) [und] hohe Komplexität des Transformationsprozesses“ (ebd.), zusammen mit dem Neuigkeitsgrad und der Langfristigkeit der zu vollziehenden Transformation (Zieljahre 2050-2100), entsteht eine Unsicherheitssituation, die wiederum einen Konfliktgehalt birgt.<sup>13</sup>

Es wird angenommen, dass die mit der notwendigen Transformation des Energiesystems einhergehende Langfristigkeit, in einem Spannungsverhältnis zu den stetig verkürzten Innovationszyklen steht, die notwendig sind, um der Dynamik des Wandels gerecht werden und die sich stetig erweiternden technologischen Möglichkeiten ausschöpfen zu können. Beides führt zu einer Verstärkung der Unsicherheitssituation. Dies gilt im Prinzip für alle Branchen und geht mit der strategischen und ökonomischen Unsicherheit einher, Innovationen für die Energiewende zu entwickeln „die zum richtigen Zeitpunkt sowohl marktreif als auch wettbewerbsfähig sind und den spezifischen Anforderungen der [Energiesystemtransformation] (...) gerecht werden“ (Hoffmann et al. 2015, S. 40). Hierdurch gewinnt die Nutzung der *windows of opportunities* (ebd., S. 39) und die Hervorbringung strategischer Innovationen (Servatius 2012, S. 4) bei der Transformation, hin zu einem nachhaltigen Energiesystem, maßgeblich an Stellenwert.

---

<sup>10</sup> Siehe für eine vertiefende Definition zum Begriff der Systeminnovation Kapitel 4.1.2.1.

<sup>11</sup> Für eine detaillierte Darstellung der historischen und zukünftigen Transformationsphasen des (deutschen) Energiesystems wird auf Geels et al. (2017), Henning et al. (2015) und Fischedick et al. (2014) verwiesen.

<sup>12</sup> Auch gelten Geschäftsmodellinnovationen nicht als neu. „Die Bandbreite und die Geschwindigkeit jedoch, mit der innovative Geschäftsmodelle heutzutage die Unternehmenslandschaft verändern, sind beispiellos.“ (Osterwalder/Pigneur 2011, S. 9)

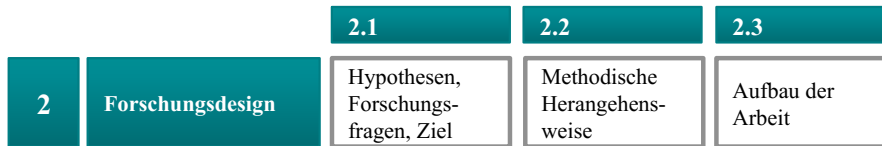
<sup>13</sup> Siehe für eine vertiefende Darstellung der einzelnen Herausforderungen (Neuigkeitsgrad, Komplexität, Unsicherheit, Konfliktgehalt) und deren Beziehungsverhältnisse die Ausführungen in Kapitel 4.3.1.

Der Transformationsprozess führt dazu, dass sich die Energiewirtschaft, „auf den fundamentalen Wandel im Energiesystem einstellen [muss], der ihre alten Geschäftsmodelle zunehmend infrage stellt“ (Global Climate Forum/Germanwatch 2016, S. 13). Da die Energiewirtschaft auf Grund ihrer starken Einbindung in das gesamte Wirtschaftssystem die klima- und energiepolitischen Minderungs- und Ausbaupotenziale nicht im Alleingang verwirklichen kann, ist es notwendig, auch außerhalb der energetischen Wertschöpfungskette die Minderungs- und Ausbauziele zu verwirklichen. Die durch die Energiewende veränderten Rahmenbedingungen, die Verantwortungen im Umsetzungsprozess und die Unsicherheiten wirken sich nicht zuletzt auf viele andere Branchen aus (vgl. u. a. DIE 2014). Gleichzeitig bietet eine ambitionierte Klimaschutzpolitik und die Energiewende Chancen für die Industrie, wie u. a. Studien des IW (2013) und des Wuppertal Instituts (2011) bestätigen.

Hoffmann et al. (2015, S. 39) stellen die Entwicklung von Systeminnovationen in den Mittelpunkt des zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsinteresses, welche „die Technologien in das infrastrukturelle, ökonomische, soziale und institutionelle Umfeld einbetten und dadurch erst eine Marktdurchdringung ermöglichen“ (ebd.). „In der Energiewirtschaft wird es in den nächsten 10 [sic!] Jahren einen Bedeutungsgewinn von Innovationen und neuen Geschäftsmodellen zum Unternehmenserfolg geben“ (Roland Berger 2013, S. 14). Diese beiden Aspekte spiegeln sich in der Frage, die auch das iit (2014, S. 8) beschäftigt: „Wie lassen sich SystemInnovationen [sic!] in tragfähige Geschäftsmodelle überführen?“

## 2 Forschungsdesign

Abbildung 3: Struktur Kapitel 2



Quelle: Eigene Darstellung.

### 2.1 Hypothesen, Forschungsfragen und Ziel der Arbeit

Vor dem Hintergrund des Bedeutungszuwachses von Systeminnovationen für die Umsetzung des komplexen Transformationsprozesses der Energiewende bedarf es auf dem Weg dorthin einer Überführung von Systeminnovationen in strategische Innovationen und letztlich in Geschäftsmodellinnovationen, damit die Dekarbonisierung für Unternehmen rentabel wird. Diese Annahme basiert auf drei Hypothesen, welche die forschungsleitende Grundlage dieser Arbeit bilden.

**Hypothese 1: Ausgehend davon, dass die Energiewende ein systemischer Transformationsprozess ist, der durch ein hohes Maß an Komplexität und Dynamik gekennzeichnet ist, sind zur Umsetzung der Energiewende neben technologischen Innovationen auch Systeminnovationen und interdisziplinäre Zugänge notwendig.**

Die Energiewende erfordert einen nahezu vollständigen Systemwechsel insbesondere mit Blick auf eine nahezu vollständige Reduktion der THG-Emissionen. Da die Energiewende von einer außerordentlichen Langfristigkeit gekennzeichnet ist, können die zum Systemwechsel notwendigen Innovationen und ihre Abfolge auf der Zeitachse nur in Teilen vorgezeichnet werden. Der Teil, der nicht bestimmt werden kann, führt zu einer Unsicherheitssituation bei Innovationsentscheidungen, die von Unternehmen im Rahmen des strategischen Managements und des strategischen Innovationsmanagements zu adressieren sind.

**Hypothese 2: Als Bindeglied zwischen Unternehmen und Wertschöpfung berücksichtigen strategische Geschäftsmodellinnovationen die Unternehmensumwelt sorgfältig und knüpfen an die Anforderungen der Energiewende an.**

Eine strategische Geschäftsmodellinnovation<sup>14</sup> ist eine novellierte Übersetzung einer intendierten Strategie<sup>15</sup> in einen wertorientierten Plan. Notwendig dafür ist die Antizipation von Veränderungen der dynamischen Unternehmensumwelt. In Verbindung mit der Annahme, dass es sich bei der Energiewende selbst um einen systemischen Transformationsprozess handelt, der in der Lage ist Innovationen auszulösen, können neben den klassischen Innovationsimpulsen (*technology-push* und *demand-pull*) weitere systembedingte Anreize zur Entwicklung von Systeminnovationen und der Überführung in Geschäftsmodellinnovationen erwartet werden.

<sup>14</sup> Siehe für eine ausführliche Definition zum Begriff Geschäftsmodell(-Innovation) Kapitel 4.4.

<sup>15</sup> Eine intendierte Strategie, die auch als bewusste bzw. kalkulierte Strategie bezeichnet wird, zählt zu den fünf Strategieformen nach Mintzberg (1978, S. 945).

**Hypothese 3: Die Überführung von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen kann über Innovationskaskaden erfolgen und aus der Systembetrachtung heraus als *system-push* und *system-pull* bezeichnet werden.<sup>16</sup>**

Eine Innovationskaskade ist eine langfristige, von dynamischen Rückkopplungsschleifen geprägte Verkettung von Innovationen. Die Technologieentwicklung und die erzielten Lerneffekte der vorgelagerten Innovation(en) einer Kaskade tragen zur Technologieentwicklung, dem Aufbau von Lerneffekten, der Erzielung von Skaleneffekten und der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der nachgelagerten Stufe(n) der Innovationskaskade bei.<sup>17</sup> Die systeminduzierten Impulse des *system-push* und *system-pull* basieren auf der strategischen Annahme, dass der Innovationsprozess über die Notwendigkeit der Dekarbonisierung langfristig aus dem systemischen Innovationsprozess der Energiewende getrieben ist.<sup>18</sup>

Abgeleitet aus den Hypothesen, sollen im Einzelnen die folgenden forschungsleitenden Fragen in dieser Arbeit beantwortet werden.

**Abbildung 4: Forschungsfragen**



Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>16</sup> Siehe für eine ausführliche Darstellung der innovationsauslösenden Stimuli Kapitel 4.3.3.

<sup>17</sup> Siehe für eine ausführliche Diskussion und Definition zum Begriff der Innovationskaskade Kapitel 5.

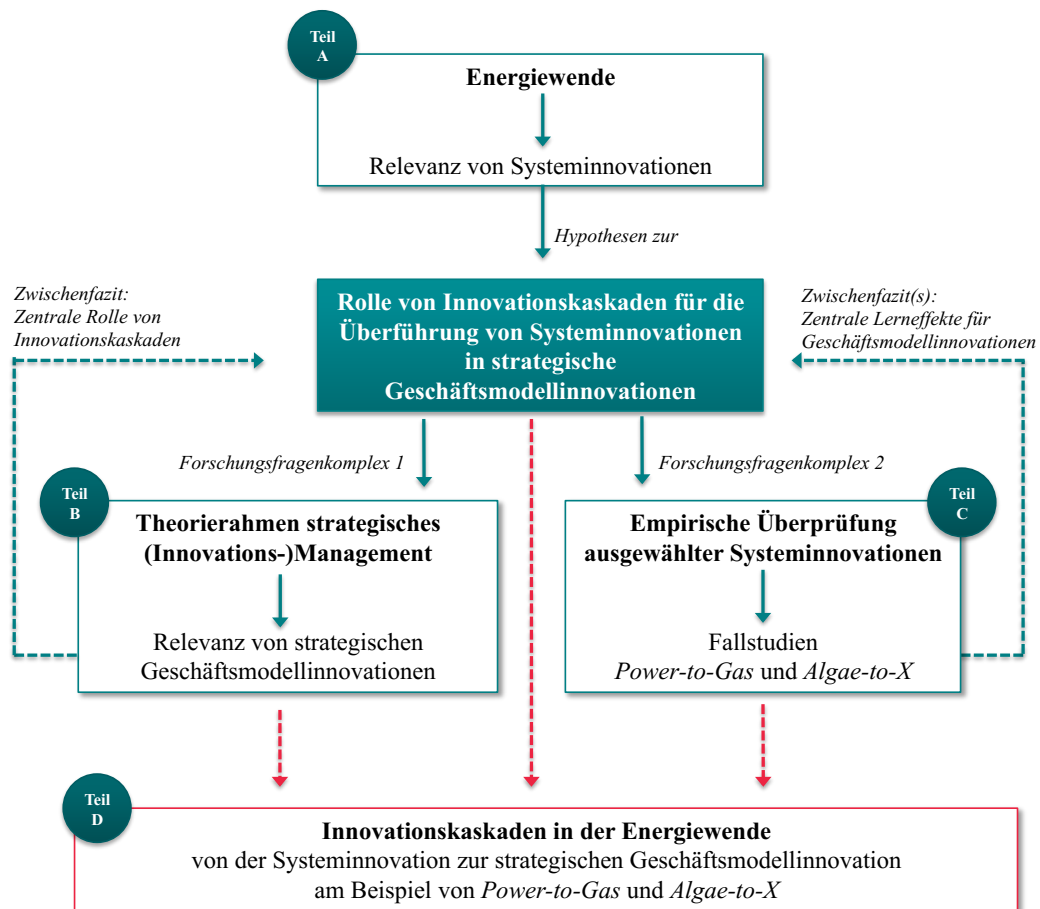
<sup>18</sup> Siehe für die theoretische Herleitung der systeminduzierten Innovationsimpulse des *system-push* und *system-pull* Kapitel 4.3.3.

Die aus den Hypothesen abgeleiteten Forschungsfragen gliedern sich in zwei Fragenkomplexe: Der erste Bereich kann über theoretische Überlegungen erschlossen werden. Der zweite erfordert empirische Analysen. Die Überprüfung der forschungsleitenden Hypothesen und die Beantwortung der forschungsleitenden Fragen erfolgt entlang der beiden Forschungskomplexe in einer iterativen Vorgehensweise. In diesem Teil A der Arbeit wird zunächst die Relevanz von Systeminnovationen für die Umsetzung der Energiewende herausgearbeitet und drei Hypothesen zur Rolle von Innovationskaskaden für die Überführung von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen formuliert. Darauf aufbauend werden die beiden forschungsleitenden Fragenkomplexe in einem ersten Schritt zunächst getrennt voneinander betrachtet. Die Beantwortung des Forschungsfragenkomplexes 1 erfolgt in Teil B dieser Arbeit. Dabei wird die Bedeutung strategischer Geschäftsmodellinnovationen im Rahmen des strategischen (Innovations-) Managements herausgearbeitet und ein erstes Zwischenfazit zur Rolle von Innovationskaskaden gezogen. Im Rahmen der Beantwortung des Forschungsfragenkomplexes 2 in Teil C dieser Arbeit wird die Relevanz strategischer Geschäftsmodellinnovationen sowie ihre Überführung aus Systeminnovationen anhand von zwei ausgewählten Fallstudien überprüft und ein Zwischenfazit zu den zentralen Lerneffekten für strategische Geschäftsmodellinnovationen abgeleitet: Ein Zwischenfazit je Fallstudie (*within-case* Analysen) und ein Fallstudien übergreifendes Zwischenfazit (*cross-case* Analyse). Die Verknüpfung der Erkenntnisse aus den beiden Forschungsfragenkomplexen sowie die Überprüfung und abschließende Reflexion der Hypothesen erfolgt in Teil D dieser Arbeit. Die nachfolgende Abbildung fasst das Forschungsdesign der vorliegenden Arbeit zusammen und visualisiert die Verknüpfungen und Rückkopplungsschleifen.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> Bei dem vorliegenden Forschungsdesign handelt es sich um einen qualitativen Forschungsansatz, bei dem das Prinzip der Offenheit (Hoffmann-Riem 1980, S. 343) und damit nicht die Hypothesenprüfung, sondern die prozessuale Hypothesengenerierung (Lamnek 2005, S. 20) im Vordergrund steht. Für eine ausführliche Darstellung des Forschungsdesigns wird auf Kapitel 6 verwiesen.

Abbildung 5: Forschungsdesign



Quelle: Eigene Darstellung.

Mit der Überprüfung der forschungsleitenden Hypothesen und den daraus abgeleiteten Fragen liegt der zentrale Beitrag der vorliegenden Arbeit in einer ganzheitlichen Betrachtung der mit der Transformation von Systeminnovationen zu strategischen Geschäftsmodellinnovationen einhergehenden Herausforderungen. Auf übergeordneter Systemebene besteht das Ziel dieser Arbeit in der Identifikation handlungsrelevanter Stellschrauben, die explizit zu einer Förderung der Systeminnovationen und damit implizit zur Förderung der Energiewende beitragen können. Ziel ist es dabei u. a. Informationsasymmetrien zwischen Staat und Unternehmen zu mindern, Unsicherheiten dadurch zu reduzieren und vor allem Handlungsmöglichkeiten im *window of opportunity* der Energiewende zu öffnen.

Ferner soll mit der Arbeit ein fundierter Beitrag zur Entscheidungsfindung im Rahmen des strategischen (Innovations-)Managements für Unternehmen im Bereich der Energiewirtschaft und der THG-intensiven Sektoren geleistet werden – Bereiche, die unter einem erheblichen Transformationsdruck stehen. Insbesondere für solche Unternehmen, die sich bedingt durch den Wandel des Energiesystems vor großen Herausforderungen befinden, ist es entscheidend, neue, ökonomisch nachhaltige und tragfähige Geschäftsmodelle abzuleiten.

## 2.2 Methodische Herangehensweise

Die vorangestellte Abbildung 5: Forschungsdesign zeigt eine zweistufige methodische Herangehensweise für die Bearbeitung der Forschungsfragen. Im ersten theoriegeleiteten Schritt werden die Disziplinen des strategischen (Innovations-)Managements auf den Umgang mit den aus dem systemischen Innovationsprozess abgeleiteten Herausforderungen untersucht. Dieses erfolgt in Teil B dieser Arbeit, welcher die theoretische Einbettung strategischer Geschäftsmodellinnovationen als Instrument des strategischen (Innovations-)Managements darstellt.

„Das strategische Management und das strategische Innovationsmanagement stehen in einer interdependenten Beziehung zueinander.“ (Goos/Hagenhoff 2003, S. 67) Neben einer statischen Beziehung, in der das strategische Management (Fokus: Strategie) und das strategische Innovationsmanagement (Fokus: Technologie, Innovation) nur zu bestimmten Punkten im Zeitverlauf miteinander abgestimmt werden, ergeben sich in einer dynamischen Beziehung zwei beeinflussende Verbindungen, die zugleich eine Hierarchisierung der Disziplinen ermöglichen. Die erste Interaktion dynamischer Art geht davon aus, dass Technologien und Innovationen exogener Natur sind, die als „strategische Waffe“ (ebd., S. 67f.) zu nutzen und in die Strategieentwicklung einzubeziehen sind (ebd.). Damit wird das strategische Innovationsmanagement dem strategischen Management untergeordnet (ebd.) und kann als Funktionsbereichsstrategie interpretiert werden. Insbesondere in Branchen mit einem stark technologiegetriebenen Wettbewerb ist eine strenge Unterordnung des strategischen Innovationsmanagements allerdings nicht zweckmäßig (ebd., S. 69). Die zweite Interaktion dynamischer Art ordnet das strategische Management dem strategischen Innovationsmanagement unter und geht davon aus, dass Technologien und Innovationen Impulse für die Strategie(-entwicklung) geben und strategische Entscheidungen auslösen (ebd., S. 68). Zudem werden bei der zweiten Interaktion dynamischer Art, die mit Technologien verbundenen Chancen und Risiken als ein möglicher Ausgangspunkt für Wettbewerbsvorteile in der Zukunft verstanden (ebd.).

Wie im Bezugsrahmen zur Dekarbonisierung des Energiesystems angemerkt, handelt es sich bei den in dieser Arbeit fokussiert zu betrachtenden Branchen der Energiewirtschaft und der THG-intensiven Industrie um Branchen, die einem starken technologiegetriebenen Wettbewerb unterliegen. Zur Analyse der Implikationen für Managementsysteme aus gestiegenen Anforderungen, veränderten Rahmenbedingungen und Unsicherheiten im Energiesektor, schlägt Servatius (2012, S. 5f.) die Anwendung der Disziplin des strategischen Innovationsmanagements vor, die aus seiner Sicht aus den Teildisziplinen des strategischen Managements, des Technologie- und Innovationsmanagements, verbunden mit der *Entrepreneurship*-Forschung sowie dem *Change-Management* besteht. Damit folgt Servatius der Annahme der zweiten Interaktion dynamischer Art und ordnet das strategische Management dem strategischen Innovationsmanagement unter.

In dieser Arbeit wird gleichwohl die Auffassung vertreten, dass Technologien und Innovationen sowohl eine Folge als auch eine Ursache strategischer Entscheidungen sein können. Die beeinflussende Verbindung der beiden Disziplinen kann dabei nicht nur als einseitige, sondern u. a. auf Grund der hohen Wettbewerbsdynamik auch als sich gegenseitig beeinflussende Komponente verstanden werden. Da die eindeutige Erklärung der Interdependenzen zwischen dem strategischen Management und dem strategischen Innovationsmanagement jedoch nicht im Fokus dieser Arbeit steht, wird versucht beiden



gerecht zu werden, indem die Erkenntnisse aus dem strategischen Management um wichtige zur Beantwortung der Forschungsfragen dienliche Grundsätze aus dem strategischen Innovationsmanagement erweitert werden – u. a. indem vertiefend auf strategische Geschäftsmodellinnovationen eingegangen wird.

Ein um die (Teil-)Disziplinen des *Change-Managements* und der *Entrepreneurship-Forschung* erweiterter Blick kann im Rahmen dieser Arbeit nicht ausführlich erfolgen. Dieses ist weiteren Forschungsarbeiten überlassen. Begründet wird die Ausklammerung dieser (Teil-)Disziplinen wie folgt: Das *Change-Management* adressiert auf unterschiedlichen Ebenen spezifische Aufgaben zur innerbetrieblichen Anpassung an sich verändernde externe Umweltanforderungen (Kreutzer 2017, S. 10), wie die nachfolgende Tabelle beispielhaft zeigt.

**Tabelle 2: Ebenen und Aufgaben des *Change-Managements***

<b>Ebene</b>	<b>Aufgaben (Auszug)</b>
Strukturen	Reorganisation
Prozesse	Veränderung Beschaffungswesen Einführung <i>Customer-Relationship-Management-System</i>
Geschäftsfelder	<i>Turnaround</i> Neusortierung Geschäftsfelder im Portfolio-Management Einstieg in neue Geschäftsfelder
Gesamtunternehmen	Unternehmensfusion (im weitesten Sinn <i>Merger &amp; Acquisitions</i> ) Digitale Transformation

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Kreutzer (2017, S. 10f.).

Aus den spezifischen Aufgaben des *Change-Managements* kann abgeleitet werden, dass die genannten Managementaufgaben einen tendenziell strukturalistischen und reaktiven Charakter haben und nicht die proaktive Einflussnahme auf Umweltveränderungen im Vordergrund steht. Ferner kann abgeleitet werden, dass Unternehmen im Rahmen des *Change-Managements* nicht direkt als aktive Mitgestalter der Zukunft im Sinn des strategischen Managements<sup>20</sup> interpretiert werden. Bedingt durch den reaktiven Charakter wird das *Change-Management* nicht ausführlicher in dieser Arbeit betrachtet.

Die (Teil-)Disziplin der *Entrepreneurship-Forschung* adressiert dagegen zentral die aktive Rolle und Einflussnahme, beschränkt ihren Blick auf die Gründung und frühe Phase neuer Unternehmen. Gemäß Geel et al. (2017) können Technologien und Dienstleistungen, die aus jungen Nischen stammen, zu einer Veränderung des Systems (*landscape*) führen, deren Nutzung allerdings nicht nur Neugründungen vorbehalten ist. Zudem handelt es sich bei den in dieser Arbeit fokussierten Sektoren der Energiewirtschaft und der THG-intensiven Industrien um reife Branchen mit einer Vielzahl etablierter, traditionsreicher und großer Marktakteure, wie z. B. der vier großen Energieversorgungsunternehmen (EVU) E.ON, EnBW, RWE und Vattenfall Europe. Sie sollen im Folgenden vor allem Mittelpunkt der Betrachtung sein, da an ihnen das Spannungspotenzial des Transformationsprozesses besonders deutlich wird.<sup>21</sup> In diesem Sinn werden hier nicht die Neugründungen in den Fokus genommen, gleichwohl sie einen Beitrag zur Dekarbonisierung des Energiesystems leisten können, werden und müssen sowie auch in den großen Unternehmen selber an Bedeutung gewinnen (*Intrapreneurship*).

<sup>20</sup> Siehe Kapitel 3.1.3.2.

<sup>21</sup> Für eine Evaluation zum bestehenden Innovationsmanagement speziell von EVU wird exemplarisch auf Schulz/Kroh/Lütjen (2017) und Witt (2013) verwiesen.

Abschließend sei als Begründung für die Fokussierung des theoretischen Bezugsrahmens für die Entwicklung von Geschäftsmodellinnovationen des strategischen Managements und des strategischen Innovationsmanagements hervorzuheben, dass die ersten wissenschaftlichen Diskurse zu Geschäftsmodellinnovationen unter dem Begriff „*strategic innovation*“ (Markides 1997, 1998, 2006) geführt wurden.<sup>22</sup> So konstatiert auch Someren (2005, S. 52): „Das Geschäftsmodell ist die inhaltliche Ausarbeitung der strategischen Innovation.“

Der zweite Schritt der methodischen Herangehensweise zur Beantwortung der Forschungsfragen ist empirisch gestützt und wird in Teil C „Empirische Untersuchung ausgewählter Systeminnovationen“, bearbeitet. Als Grundlage der Untersuchung werden zwei Systeminnovationen gewählt, die beide langfristig zur sektorübergreifenden Dekarbonisierung des Energiesystems beitragen, CO<sub>2</sub> als Rohstoff verwenden und ihre Wirkungen auch in Geschäftsmodellen und Infrastrukturen anderer Branchen entfalten. Auf Grund ihres innovativen Charakters und Potenzials zur Transformation bestehender Systemstrukturen werden die Systeminnovationen *Power-to-Gas* (P2G) und *Algae-to-X* (A2X) für die Fallstudienanalyse ausgewählt. P2G ist als Umwandlung von Strom in einen Energieträger mit gasförmigem Aggregatzustand (H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>) und A2X als Herstellung stofflicher und energetischer Produkte auf Basis aquatischer Biomasse definiert.<sup>23</sup> In Anlehnung an die strukturgebende Klassifikation von *Power-to-X* (P2X) wird der Begriff *Algae-to-X* (A2X) erstmalig in die wissenschaftliche und praktische Diskussion eingeführt. Die Bezeichnung ermöglicht bereits über die Semantik die strukturelle und grundkonzeptionelle Parallelität der Fallstudien zu verdeutlichen. Wie in den Fallstudien noch zu zeigen ist, befindet sich P2G verglichen mit A2X in einer vorangeschrittenen Stufe des Innovationsprozesses, welches zur Setzung der Betrachtungsgrenzen für die Fallstudien herangezogen wird: Die Fallstudie P2G wird als Teilmenge von P2X energieträger- und damit nutzungspfadspezifisch betrachtet. Der Betrachtungsraum von A2X ist hingegen Nutzungspfadübergreifend, welches die Möglichkeit einer breiten und tiefgreifenden Fallstudienanalyse eröffnet, um dem Anspruch der Vergleichbarkeit mit der P2G-Fallstudie zu genügen. Über den Prozess der Photosynthese stehen beide Systeminnovationen in einer Symbiose, aber auch in einer Konkurrenz zueinander – A2X als natürliche Photosynthese und P2G als ihre künstliche Nachbildung.

Die Relevanz der ausgewählten Systeminnovationen spiegelt beispielsweise auch das Energiekonzept 2050 der Bundesregierung (BMW/BMU 2010, S. 20): „Die Bundesregierung wird gemeinsam mit der Industrie die Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff, möglichst in Verbindung mit erneuerbaren Energien (z. B. synthetisches CH<sub>4</sub>, Algenreaktoren) untersuchen.“ Zur Umsetzung einer auf dem Rohstoff CO<sub>2</sub> basierenden Wirtschaft schlagen Forscher einen fünfstufigen Plan vor, der eine erfolgsversprechende Revolution in der Chemieindustrie entfalten soll (nova Institute 2012, S. 15).

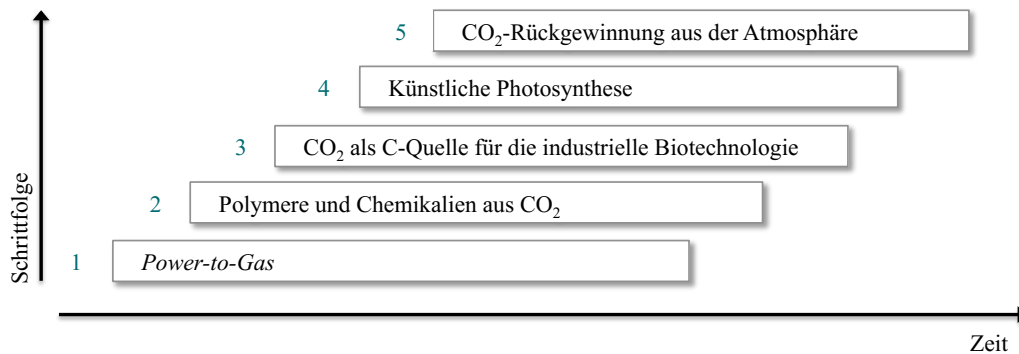
---

<sup>22</sup> Kritisch anzumerken sei an dieser Stelle die kontroverse Meinung von Troud/Wied (2014, S. 45), die postulieren „Innovation ist Taktik, nicht Strategie“, welches sie darüber begründen, dass „wenn Unternehmen Innovation zur Strategie erheben (...), dass sie den Blick auf die strategische Stoßrichtung – die Positionierung – aus den Augen verlieren und vom Weg abkommen. Sie treffen die Erwartungen der Kunden nicht mehr und diese wenden sich ab und gehen zu einer anderen Marke, die mehr Kontinuität vermittelt.“ (ebd.). Diese Auffassung wird in Anlehnung an die zuvor dargestellten Ausführungen nicht geteilt.

<sup>23</sup> Siehe für eine ausführliche Definition von P2X und P2G sowie A2X die Einführungskapitel der jeweiligen Fallstudien (7.1 und 8.1).

Der in der nachfolgenden Abbildung als Trittstein-Modell visualisierte Plan bettet die dieser Arbeit zugrunde gelegten Fallstudien ein und spiegelt ihre branchenübergreifende Relevanz.

**Abbildung 6: Trittstein-Modell CO<sub>2</sub>-Rohstoff-Wirtschaft**



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von nova Institute (2012, S. 15-17).

Ein weiterer Hinweis für die Relevanz und Aktualität der beiden Systeminnovationen kann aus den gezeigten Exponaten des Deutschen Pavillon auf der EXPO 2017 in Astana abgeleitet werden. Unter dem Motto „*Energy on Track*“ wird die Energiewende „*made in Germany*“ präsentiert, die auch ein Exponat „*Power-to-X*“ und ein Exponat „*Die Algenfassade*“ beinhaltet. (BMW 2017b, 2017c) Der Stellenwert von P2G kann über die zunehmende Bedeutung der indirekten Stromnutzung (P2X) für die Transformation des Energiesystems (Fischedick et al. 2014, S. 13) abgeleitet werden.<sup>24</sup> Dies spiegelt sich auch in der Forschungslandschaft wider: P2X ist eins der vier Themenfelder der „Kopernikus Projekte für die Energiewende“<sup>25</sup> (BMBF o. J.d).

Dass P2G eine Systemlösung (dena 2015) sein kann, macht u. a. die Studie von Adelphi und dem Borderstep Institut (2013, S. 65f.) deutlich, welche die branchenübergreifende Energielösung P2G als eine von 32 Schlüsselinnovationen für die Umsetzung der *green economy* identifiziert.<sup>26</sup> Eine weitere von Adelphi und dem Borderstep Institut (2013, S. 65f.) identifizierte Schlüsselinnovation ist die Nutzung aquatischer Biomasse als neue Proteinquelle, welches die Relevanz eines stofflichen Nutzungspfades der A2X-Systeminnovation verdeutlicht. Die Relevanz der energetischen Nutzungspfades adressiert das BMWi (2016c, S. 12), das die dezentrale Erzeugung von Wertstoffen in aquatischen Systemen als eines von zehn Forschungsschwerpunkten gesetzt hat. Den Querschnittscharakter, den die aquatische Biomasse im Rahmen der Bioökonomie entfalten kann, pointiert die Europäische Kommission, indem sie sowohl die Relevanz, als auch die Klassifikation aquatischer Biomasse als Systeminnovation reflektiert:

<sup>24</sup> So konstatiert auch z. B. das Fraunhofer UMSICHT auf übergeordneter Ebene: „Stromspeicher sind ein notwendiger Baustein zur Bewältigung der Energiewende“ (Fraunhofer UMSICHT 2015, o. S.).

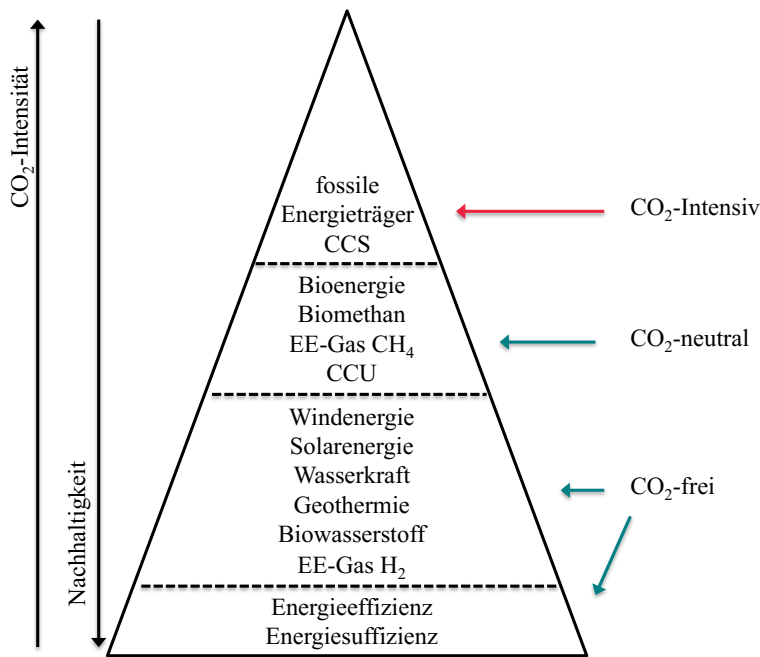
<sup>25</sup> „In den ‘Kopernikus-Projekten für die Energiewende’ werden gemeinsam von Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft technologische und wirtschaftliche Lösungen für den Umbau des Energiesystems entwickelt.“ (BMBF o. J.d) Für die 10-jährige Laufzeit der vier Forschungsfelder ENSURE, P2X, SynErgie und ENavi wird ein Gesamtfördervolumen i. H. v. 400 Mio. € zur Verfügung gestellt (ebd.).

<sup>26</sup> Die Auswahl der Schlüsselinnovationen erfolgte auf den Basiskriterien: Innovationspotenzial, Systemrelevanz, Marktpotenzial, Forschungsbedarf, die um das Kriterium der breiten Einbindung entlang der Wertschöpfungskette ergänzt wurde (Adelphi/Borderstep Institut 2013, S. 65f.).

„Der Querschnittscharakter der Bioökonomie bietet die einzigartige Chance, miteinander verknüpfte gesellschaftliche Herausforderungen wie Ernährungssicherheit, Knappheit der natürlichen Ressourcen, Abhängigkeit von fossilen Ressourcen und Klimawandel umfassend anzugehen und gleichzeitig ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum zu erreichen.“ (Europäische Kommission 2012, S. 4)

Zusammenfassend bilden die beiden als Grundlage der Fallstudien gewählten Systeminnovationen P2G und A2X Beiträge für den intermediären Weg hin zu einer nachhaltigen Energieversorgung, wie die nachfolgende Grafik veranschaulicht.

**Abbildung 7: Pyramide nachhaltiger Energieversorgung**



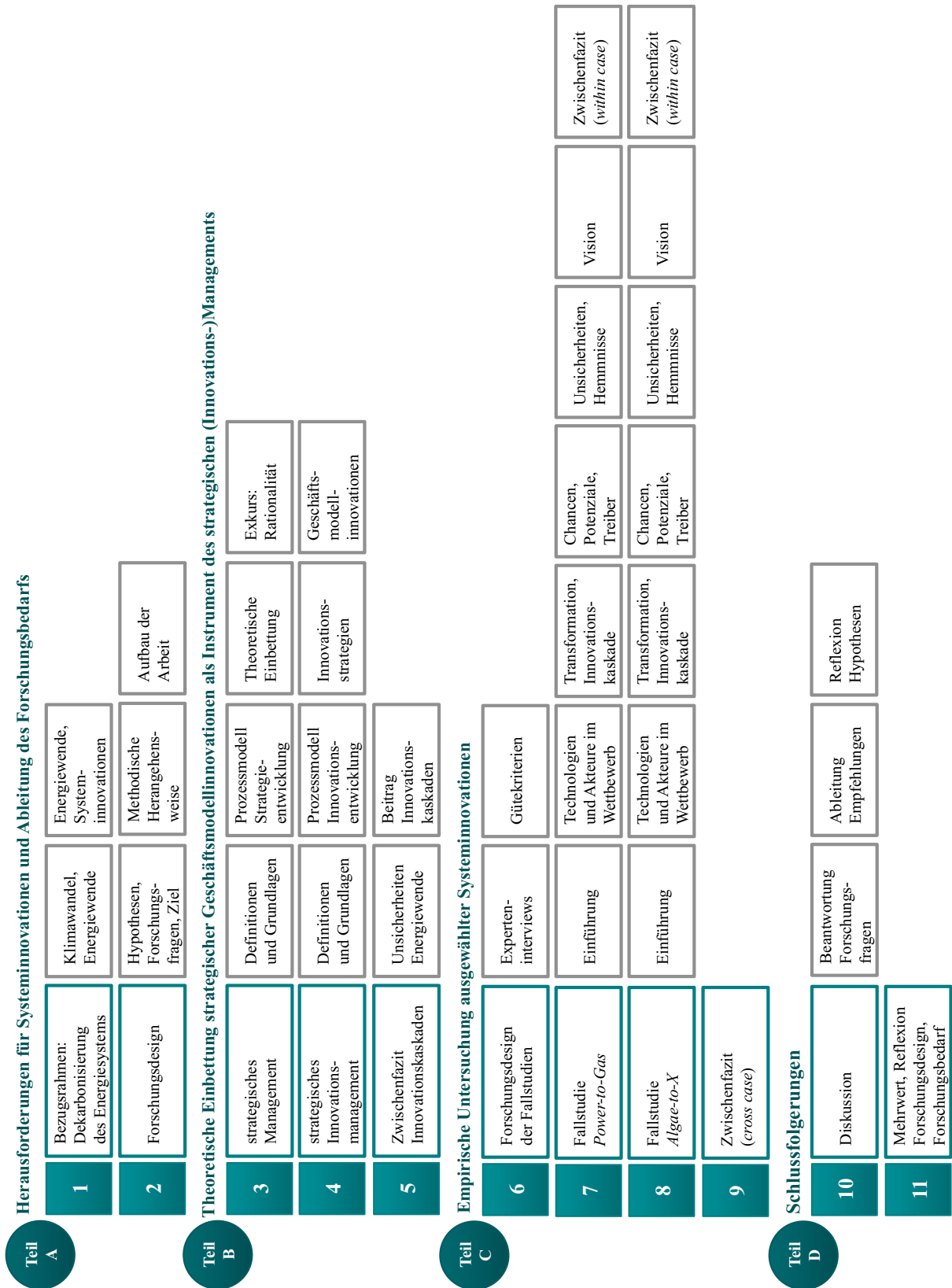
Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Sterner (2009, S. 29).

Die Darlegung der methodischen Herangehensweise bei den Fallstudienuntersuchungen zur ganzheitlichen Betrachtung der Transformation der Systeminnovationen P2G und A2X in Geschäftsmodellinnovationen erfolgt in Teil C Empirische Untersuchung ausgewählter Systeminnovationen, Kapitel 6 Forschungsdesign der Fallstudien.

## 2.3 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist in vier Teile (A bis D) gegliedert. Der Teil A: Herausforderungen für Systeminnovationen und Ableitung des Forschungsbedarfs, kontextualisiert das Forschungsthema vor dem Hintergrund der Dekarbonisierung des Energiesystems (Kapitel 1) und stellt das Forschungsdesign dieser Arbeit vor (Kapitel 2). Der Teil B: Theoretische Einbettung strategischer Geschäftsmodellinnovationen als Instrument des Strategischen (Innovations-)Managements, identifiziert die Möglichkeiten zum Umgang mit Herausforderungen im Unternehmenskontext aus den Ansätzen des strategischen Managements (Kapitel 3) und des strategischen Innovationsmanagements (Kapitel 4). Ein Zwischenfazit (Kapitel 5) bündelt diesen theoretischen Analyseteil. Der Teil C: Empirische Untersuchung ausgewählter Systeminnovationen, beginnt mit der Darstellung des Forschungsdesigns der Fallstudien (Kapitel 6) und analysiert im Anschluss die Fallstudie *Power-to-Gas* (Kapitel 7) und die Fallstudie *Algae-to-X* (Kapitel 8), bevor ein gemeinsames Zwischenfazit (Kapitel 9) gezogen wird. Den Abschluss dieser Arbeit bildet der Teil D: Schlussfolgerungen. In Kapitel 10 werden die Ergebnisse aus den Fallstudien vor dem Hintergrund der theoretischen Einbettung in das strategische (Innovations-)Management diskutiert, die Forschungsfragen beantwortet und die Hypothesen überprüft. In Kapitel 11 des Teil D wird der Mehrwert dieser Arbeit zusammengefasst, das Forschungsdesign reflektiert und ein Ausblick für weitere Forschungsarbeiten gegeben. Die nachfolgende Abbildung visualisiert den Aufbau dieser Arbeit und adressiert die in den einzelnen Teilen zu beantwortenden forschungsleitenden Fragen. Zu Gunsten der Übersicht ist jedem Teil (A bis D) sowie den Kapiteln 1 bis 9 eine visuelle Darstellung der einzelnen Strukturelemente dieser Dissertation vorangestellt.

Abbildung 8: Struktur der Dissertation



Quelle: Eigene Darstellung.

## Teil B: Theoretische Einbettung strategischer Geschäftsmodellinnovationen als Instrument des strategischen (Innovations-)Managements

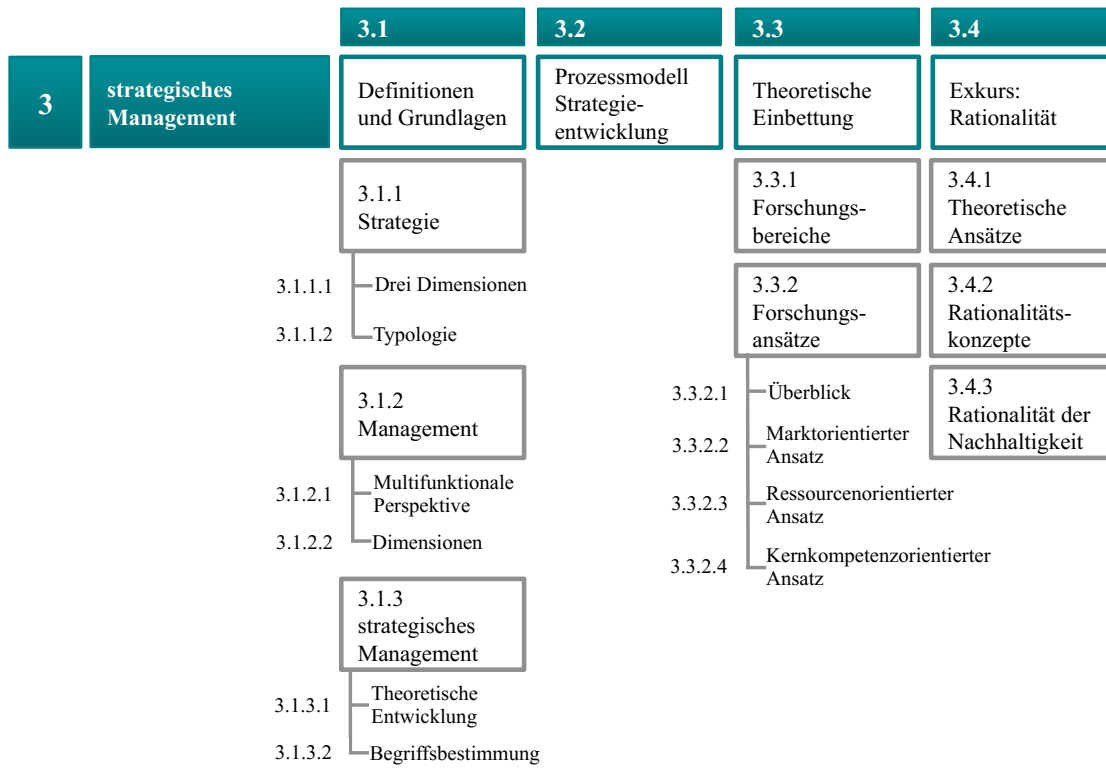
Abbildung 9: Struktur Teil B



Quelle: Eigene Darstellung.

### 3 Strategisches Management

Abbildung 10: Struktur Kapitel 3



Quelle: Eigene Darstellung.



### 3.1 Definitionen und Grundlagen

Das strategische Management basiert originär auf dem Grundgedanken der militärischen Kriegsführung, der den Begriff der Strategie durch das altgriechische Wort »*strategós*«, zu Deutsch Feldherr / Heerführer geprägt hat und seit dem 19. Jh. für einen „Plan für das Vorgehen“ (Drosdowski 1989, S. 717), (Klöpisch 2009, S. 2), (Kluge 2002, S. 889) steht. Dieser Grundgedanke ist auf das 2.500 Jahre alte Schriftwerk »Die Kunst des Krieges« von Sunzi<sup>27</sup> (China, 400-300 v. Chr.) zurückzuführen. Sunzi stellt die zentralen Aspekte der Kriegsführung (Planung, Bewertung, Nutzung von Raum, Zeit und Gelände, taktische Regeln, Aufklärung, Täuschung) dar, die bis in die heutige Zeit prägend sind. (Klöpisch 2009, S. 2) Im deutschsprachigen Raum hat der Strategiebegriff ebenfalls erstmals Einzug im militärischen Kreis gehalten und wurde maßgeblich durch Carl von Clausewitz (1832) mit dem posthum veröffentlichten Werk »Vom Kriege« begründet.<sup>28</sup> Abgeleitet aus dem militärischen Kontext bedeutet eine Strategie:

„Bevor man etwas beginnt (...), einen Gesamtplan zu erarbeiten mit dem Zweck, herauszufinden, wie man von Anfang an handeln muß [sic!], um am Ende Erfolg zu haben.“ (Gälweiler 1987, S. 66)

Die Brücke vom Militär zur Betriebswirtschaft haben Neumann/Morgenstern (1944) mit ihrem Werk zur Spieltheorie geschlagen, welches eine neue Sichtweise auf Konfliktsituationen der Kriegsführung, Politik und Betriebswirtschaft offerierte und dem Strategiebegriff eine pluralistische Bedeutung zuschrieb: Die reine Strategie als ein oder mehrere spezifische (Spiel-)Züge eines Unternehmens und die große bzw. gemischte Strategie als statisch fundierte Entscheidungsregeln zum gezielten Einsatz der reinen Strategien in einzelnen Situationen (Ansoff 1965, S. 118).<sup>29</sup>

In der Wissenschaft und Praxis hat sich der Strategiebegriff und das strategische Management, insbesondere seit den 70er Jahren des 20. Jh., zu einer viel, häufig und mehrdeutig diskutierten Managementliteratur entwickelt (Hungenberg 2012, S. 3)<sup>30</sup>. Eine theoretische Einordnung, einhergehend mit einer allgemeingültigen Definition ist mehrfach versucht, aber in Gänze nicht gelungen (Klaus 1987, S. 50, 56)<sup>31</sup>. Auf Grund der speziell beim Strategiebegriff vorherrschenden Heterogenität<sup>32</sup> ist es von besonderer Bedeutung, eine dem Kontext angemessene Definition dieser Arbeit voranzustellen. Im Folgenden werden ausgewählte Definitionen zu den Begriffen Strategie (Kapitel 3.1.1), Management (Kapitel 3.1.2) und strategisches Management (Kapitel 3.1.3) vorgestellt und die zentralen Charakteristika dargelegt, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht.

---

<sup>27</sup> Alternative Transkription: Sun Tzu (McCreadie 2010), (Krause 2007).

<sup>28</sup> Siehe exemplarisch auch Hungenberg (2012, S. 5), Müller-Stewens/Lechner (2005, S. 20), Mintzberg/Ahlstrand/Lampel (1999, S. 106-110), Staehle (1994, S. 573).

<sup>29</sup> Siehe exemplarisch auch Welge/Al-Laham (2012, S. 15), Müller-Stewens/Lechner (2005, S. 9), Keuper (2001, S. 23), Staehle (1994, S. 574).

<sup>30</sup> Siehe exemplarisch auch Becker/Fallgatter (2007, S. 57), Mintzberg/Ahlstrand/Lampel (1999, S. 20f.), Voigt (1992, S. 245), Mintzberg (1978, S. 935).

<sup>31</sup> Siehe exemplarisch auch Pfriem (2006, S. 29), Krech (1998, S. 13f.).

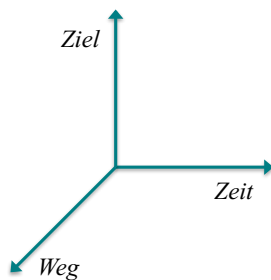
<sup>32</sup> Die Schwierigkeiten, die einen Konsens über die Definition erschweren, sind u. a. auf zwei Faktoren zurückzuführen. Strategien sind zum einen mehrdimensional und zum anderen situativ – sie variieren zwischen den Industrien und Branchen (Chaffee 1985, S. 89), (Hambrick 1980, S. 570). Zudem ist es wichtig anzumerken, dass niemand überhaupt eine Strategie gesehen oder berührt hat – jede Strategie ist eine Schöpfung, ein Resultat jemandes Phantasie (Mintzberg 1987, S. 16).

### 3.1.1 Strategie

#### 3.1.1.1 Drei Dimensionen einer Strategie und ihre Wesensmerkmale

Wie im Folgenden dargestellt wird, entfaltet sich eine Strategie in einem dreidimensionalen Raum aus Ziel, Weg und Zeit.

**Abbildung 11: Dreidimensionaler Raum der Strategiedefinition**



Quelle: Eigene Darstellung.

Eine fundamentale Definition des Strategiebegriffs<sup>33</sup> in der Managementtheorie geht auf Chandler (1962) zurück. Chandler (1962, S. 13) definiert eine Strategie als die Bestimmung der langfristigen, grundlegenden Ziele<sup>34</sup> und Aufgaben eines Unternehmens, sowie die Annahme von Handlungsoptionen und die Zuweisung von Ressourcen, die für die Durchführung dieser Ziele erforderlich sind. Diese Strategiedefinition stellt die Dimension des Ziels<sup>35</sup> in den Vordergrund.

Ziele legen das Leistungsniveau fest, welches ein Unternehmen versucht zu erreichen, aber sie beschreiben nicht das Geschäft des Unternehmens (Ansoff 1965, S. 104). Zwar trifft Ansoff (1965, S. 112) keine Begriffsdefinition im klassischen Sinn, benennt jedoch

<sup>33</sup> Für weitere Definitionen zum Strategiebegriff siehe exemplarisch Grant (2010, S. 14), Becker/Fallgatter (2007, S. 64f.), Hahn (2006, S. 33), Steinmann/Schreyögg (2005, S. 168f.), Simon/Gathen (2002, S. 7), Keuper (2001, S. 2), Hunger/Wheelen (1998, S. 8), Rumelt/Schendel/Teece (1991, S. 6), Andrews (1987, S. 13), Jauch/Osborn (1981, S. 492).

<sup>34</sup> In der englischen Originalfassung verwendet Chandler (1962, S. 13) die Termini „goals and objectives“, dessen exakte Übersetzung in die deutsche Sprache nicht trivial ist. Hofer/Schendel (1978, S. 20) konstatieren, dass diese beiden Termini in der Managementliteratur zum Teil ausdifferenziert und zum Teil synonym verwendet werden. Für eine ausführliche Ausdifferenzierung wird auf Hofer/Schendel (1978, S. 20f.) verwiesen. Im Folgenden werden die beiden Begriffe *goal* und *objective* mit dem deutschen Begriff »Ziel« übersetzt.

<sup>35</sup> Ziele sind sowohl als Status quo (Schwellwert) als auch als zukunftsgerichtete Zielaussagen zu formulieren (Chandler 1962, S. 112). Ulrich (1970, S. 187) z. B. versteht unter einem Ziel „einen zukünftigen Zustand irgendwelcher Objekte, der durch entsprechendes eigenes Verhalten erreicht werden soll. Mit der gedanklichen Vorstellung eines solchen Zustandes ist also die Absicht verbunden, diesen auch zu verwirklichen. Ein Unternehmungsziel muß [sic!] letztlich in den Dimensionen Qualität, Quantität, Zeit und Raum definierbar sein, um genau angesteuert werden zu können; es muß [sic!] 'operationalisierbar' sein.“ Ziele sollten im besten Fall quantifiziert und terminiert sein und den SMART-Kriterien nach Doran (1981, S. 35) entsprechen: „Specific – target a specific area for improvement. Measurable – quantify or at least suggest an indicator of progress. Assignable – specify who will do it. Realistic – state what results can realistically be achieved, given available resources. Time-related – specify when the result(s) can be achieved“. (ebd., Hervorhebungen der Verfasserin) Zugleich sollten Ziele bestenfalls visionär und integrativ sein, d. h. sie sollten eine Motivations- und ein Engagement zur Zielerreichung auslösen (Kohlöffel 2000, S. 27).

die Komponenten<sup>36</sup> einer Unternehmensstrategie, die aus dem Umfang der Produkt-Markt-Ebene, dem Wachstumsvektor (auch bekannt als Produkt-Markt-Matrix), Wettbewerbsvorteilen und Synergien bestehen. Strategie und Ziel(e) beschreiben zusammen den Inhalt des Unternehmensgeschäfts: Sie geben den Umfang, Bereich und die Richtung des Wachstums, die zentralen Stärken des Unternehmens sowie das Rentabilitätsziel vor (ebd.).

In Anlehnung an die Strategiedefinitionen aus der Spieltheorie, der militärischen Theorie und der für die Managementtheorie typischen Strategiedefinition nach Chandler (1962) legt Mintzberg (1978, S. 935) einen ersten gemeinsamen Nenner für die Strategiedefinition dar, der die Dimension des Weges anhand von drei zentralen Wesensmerkmalen in den Vordergrund stellt:

- Ausdrücklich,
- bewusst und gezielt entwickelt,
- durch das Treffen von spezifischen Entscheidungen im Vorfeld.

Damit kann eine Strategie als eine absichtliche und bewusste Reihe von Leitlinien verstanden werden, welche Entscheidungen in der Zukunft bestimmen. Eine solche Strategie wird als Plan begriffen und lässt sich als intendierte Strategieform bezeichnen (Mintzberg 1978, S. 935). Zudem kann eine Strategie auch als ein Muster in einem Strom von Entscheidungen verstanden werden, die als unbeabsichtigte bereits realisierte Strategie bezeichnet wird (ebd., S. 934f.).<sup>37</sup>

Insgesamt können nach Mintzberg (1978, S. 945) fünf Strategieformen herausdifferenziert werden: 1. beabsichtigte, 2. intendierte (bewusste, kalkulierte), 3. emergente (sich herausbildende, intuitive, unbeabsichtigte), 4. nicht realisierte und 5. realisierte Strategien.<sup>38</sup> Da für eine Strategie(-entwicklung) sowohl eine kontrollierte methodische Vorgehensweise, als auch eine offene Haltung gegenüber Lernerfahrungen – bereits gesammelten und in Zukunft zu sammelnden – notwendig ist, sind die fünf Strategieformen nicht überschneidungsfrei darstellbar:

„Strategien müssen sich (...) einerseits *formen* und andererseits *formuliert* werden. (...) Effektive Strategien stellen das richtige Verhältnis zwischen beiden her, so daß [sic!] den jeweiligen Bedingungen Rechnung getragen wird. Sie nutzen die Fähigkeit zum Vorausblick, berücksichtigen aber auch die Notwendigkeit, sich an unerwartete Ereignisse anzupassen.“ (Mintzberg/ Ahlstrand/Lampel 1999, S. 25, Hervorhebungen im Original)

---

<sup>36</sup> Eine von Ansoff (1965) abweichende Darstellung der Strategiekomponenten legen Hofer/Schendel (1978, S. 25) vor: 1. Rahmen: Ausmaß der gegenwärtigen und geplanten Wechselwirkungen der Organisationen mit ihrer Umgebung; 2. Ressourcenbereitstellung: Muster und Niveau der Bereitstellung von Ressourcen und Kompetenzen in der Vergangenheit und Gegenwart, die der Organisation helfen ihre Ziele zu erreichen; 3. Wettbewerbsvorteile: Einzigartige Positionen die eine Organisation gegenüber seinen Wettbewerbern auf Basis der Ressourcenbereitstellung und/oder dem Umfang seiner Entscheidungen entwickelt; 4. Synergien: Gemeinsame Wirkungen, die von der Organisation durch die Ressourcenbereitstellung und/oder dem Umfang seiner Entscheidungen angestrebt werden.

<sup>37</sup> Knapp eine Dekade später stellt Mintzberg (1987, S. 11ff.) mit den »Five Ps of Strategy« (*plan, ploy, pattern, position, perspective*) eine umfassendere Strategiedefinition vor. Diese wird auf den folgenden Seiten dargestellt.

<sup>38</sup> Siehe zudem Grünig/Kühn (2000, S. 38f.), Mintzberg/Ahlstrand/Lampel (1999, S. 23-26) und Mintzberg (1995, S. 32).

Quinn (1980, S. 7) nimmt in seiner Strategiedefinition beide Varianten auf: Eine Strategie kann ein Muster oder ein Plan sein – von zentraler Bedeutung ist die Integration der für die Organisation wichtigsten Ziele, Richtlinien und Handlungssequenzen in eine kohäsive Einheit. Ein Ziel oder eine Zielvorstellung beschreibt dabei, was zu erreichen ist und wann die Ergebnisse zu vollenden sind, gibt jedoch keine Aussage darüber, wie die Ergebnisse erreicht werden sollen. Mit Hilfe einer (gut formulierten) Strategie kann die Aufstellung und Zuweisung der notwendigen Ressourcen hin zu einer einzigartigen, lebensfähigen und rentablen Stellung auf Basis der relativen internen Kompetenzen und Defizite, der erwarteten Umweltveränderungen sowie den Eventualschachzügen intelligenter Gegenspieler erfolgen. (ebd.)

Zwischen der Strategiedefinition Quinns und dem von Chandler und Mintzberg charakterisierten (langfristigen, grundlegendem) Ziel sowie dem Weg zur Erreichung der Ziele (Handlungsoptionen, Ressourcen, ausdrückliche und bewusste Entscheidungen) sind drei zentrale Konkretisierungen hervorzuheben. Quinn führt in seiner Strategiedefinition neben der internen Perspektive eine Außenperspektive auf, welche sowohl Umweltveränderungen im Allgemeinen, als auch die Korrespondenz mit dem Wettbewerb adressiert.<sup>39</sup> Dieses steht in einem engen Verhältnis zur Definition Ansoff's (1965). Zweitens differenziert Quinn in seiner Strategiedefinition die Notwendigkeit einer kohäsiven Einheit, d. h. einem zusammenhängenden Ganzen zwischen Ziel(en) und Weg(en). Abschließend konkretisiert Quinn den Terminus »Ziel« weiter aus und fordert für die Zuweisung der Ressourcen u. a. die internen Stärken und Schwächen einzubeziehen.<sup>40</sup>

Chaffee (1985, S. 89) stellt aufbauend auf einer Untersuchung von 41 Strategiedefinitionen die bis dahin wesentlichen Übereinkünfte der Wesensmerkmale einer Strategie wie folgt dar:

- Untrennbarkeit von Organisation und Umwelt,
- Betrachtung von Strategieinhalten sowie Strategieprozessen,
- Abweichungen zwischen beabsichtigten, emergenten, realisierten Strategien,
- Differenzierung von Strategiearten entlang der Organisationsebenen,<sup>41</sup>
- Konzeptionelle und analytische Elemente bei der Strategieentwicklung.

Neben den Gemeinsamkeiten konstatiert Chaffee (1985, S. 90) die bis dato unzureichende Analyse der Unterschiede in den Begriffsdefinitionen und kategorisiert die 41 Strategiedefinitionen in Abhängigkeit ihrer Kernaussagen in »*Three Models of Strategy*«: *linear strategy*, *adaptive strategy*, *interpretive strategy*. Diese (Definitions-)Modelle sind nicht zwingend voneinander unabhängig (Chaffee 1985, S. 94). Sie sind vielmehr in einem kohärenten Verhältnis zueinander zu betrachten.

---

<sup>39</sup> Die Einbeziehung der Umwelt und im Besonderen der Wettbewerbsumwelt wird durch die *five forces* des Branchenwettbewerbs durch Porter (2013, S. 38) weiter konkretisiert. Die Branchenstrukturanalyse nach Porter zählt heute zu den grundlegenden Instrumenten der Umweltanalyse im strategischen Management und wird in Kapitel 3.3.2.2 dargestellt.

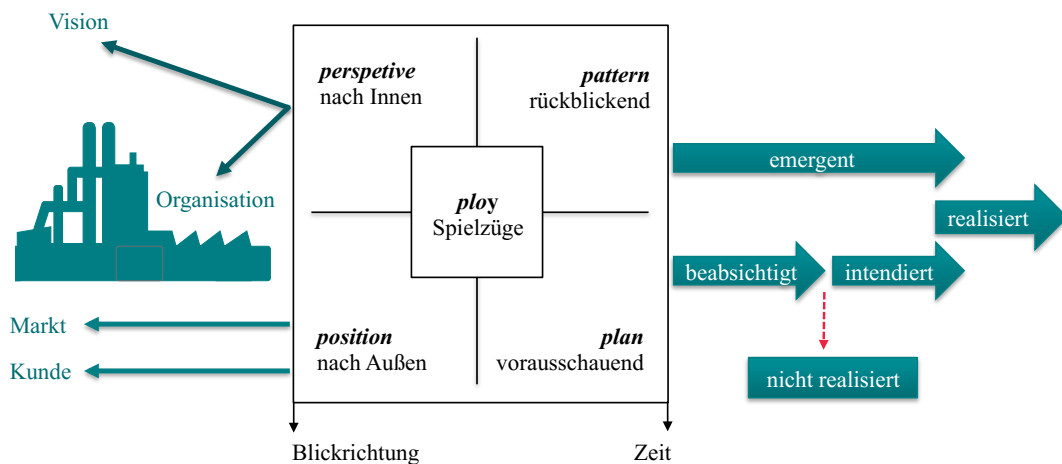
<sup>40</sup> Dieses erinnert an die von Ansoff (1965), (1980, S. 139-141) entwickelte SWOT-Analyse, die heute als ein grundlegendes Instrument des strategischen Management verstanden wird. Das Akronym SWOT steht für *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*.

<sup>41</sup> Vgl. zudem Mintzberg/Ahlstrand/Lampel (1999, S. 30).

“In linear strategy, leaders of the organization plan how they will deal with competitors to achieve their organization's goals. In adaptive strategy, the organization and its parts change, proactively or reactively, in order to be aligned with consumer preferences. In interpretive strategy, organizational representatives convey meanings that are intended to motivate stakeholders in ways that favor the organization.” (Chaffee 1985, S. 94, Hervorhebungen der Verfasserin)

In einer Weiterentwicklung und Ausdifferenzierung der Strategiedefinitionen spiegelt Mintzberg (1987, S. 11ff.) mit den »Five Ps of Strategy« insbesondere die Heterogenität und die Mehrdeutigkeit der Merkmale sowie der Verwendung des Strategiebegriffs als die „fünf Grundpfeiler einer Strategie“ wider (Mintzberg/Ahlstrand/Lampel 1999, S. 22). *Strategy as plan*: Die Strategie als ein Plan beschreibt die Planung vom Unternehmen festzulegender Ziele und den Weg, der zur Zielerreichung notwendig ist. *Strategy as ploy*: Die Strategie als eine List stellt die Manöver in seiner expliziten Form dar, die zur Erreichung der geplanten Ziele in Bezug auf andere Wettbewerbsteilnehmende (Gegner oder Konkurrenten) notwendig sind. *Strategy as pattern*: Die Strategie als ein Muster verweist auf bestimmte, konsistente Verhaltensweisen bei Entscheidungen und Handlungen. *Strategy as position*: Die Strategie als eine Position stellt die Unternehmensposition im Geflecht seiner Umwelt (bzw. die Produkt-Markt-Position) in den Vordergrund. *Strategy as perspective*: Die Strategie als eine Perspektive legt den Schwerpunkt ins Innere der Organisation und beschreibt den grundlegenden Charakter ihres Agierens, die Unternehmensvision. (Mintzberg 1987, S. 11-17), (Mintzberg/Ahlstrand/Lampel 1999, S. 23-29) Die folgende Abbildung zeigt die schematischen Zusammenhänge zwischen den fünf Grundpfeilern einer Strategie und den zuvor genannten Strategieformen Mintzbergs.

Abbildung 12: Zusammenhang Mintzbergs Strategiedefinitionen und Strategieformen



Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Mintzberg (1978, S. 945), Mintzberg (1995, S. 32), Mintzberg/Ahlstrand/Lampel (1999, S. 23-29).

Als dritte Dimension der Strategiedefinition ist die Zeit zu betrachten. Brauchlin/Wehlin (1991, S. 3) sehen neben dem Bezugsobjekt, bestehend aus Ziel und Weg, das Zeitelement als eine Hauptkomponente: „Strategien bilden den Gegensatz zu den täglichen Entwicklungen“ (ebd., S. 4). Die Planung für morgen eruiert wie das Geschäft für die Zukunft neu definiert werden sollte (Abell 1999, S. 74). „Strategien beschäftigen sich mit den Voraussetzungen, die in der Gegenwart zu schaffen sind, um in der Zukunft, und damit möglichst langfristig, die Erreichung der obersten Unternehmensziele zu gewährleisten.“ (Grünig/Kühn 2000, S. 37)

Hammer (1988, S. 53) konkretisiert den Terminus »Langfristigkeit« mit »Dauerhaftigkeit«: „Die Strategie trifft vor allem Aussagen über Ziele, Maßnahmen und Mittel zur Erreichung von dauerhaften Wettbewerbsvorteilen.“<sup>42</sup> Strategien stehen folglich für die grundlegende Vorgehensweise zur Gestaltung der dauerhaften Unternehmensentwicklung (Hahn 2006, S. 33). Der damit verbundene Umgang mit Veränderungen und das Führen eines Unternehmens sind nicht sequentiell, sondern parallel verlaufende Aktivitäten (Abell 1999, S. 73). Wird die Zeit als strategischer Erfolgsfaktor verstanden, so konstatiert Simon (1989, S. 70): „Die Rolle der Zeit in der Strategie beruht darauf, daß [sic!] sie (1) eine knappe Ressource darstellt und (2) als Wettbewerbsparameter eingesetzt werden kann.“

Empfehlungen zum Umgang mit dem Faktor Zeit im strategischen Management sind gemäß Simon (1989, S. 70f.):

- Steigerung der Zeiteffizienz durch einen Konsens „hinsichtlich der Grundwerte und -ziele (Unternehmenskultur)“;
- Beschleunigung der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten und der Vermarktung durch parallele statt sequentielle Aktivitäten sowie die Konzentration bedeutsamer „Vertriebsressourcen in der Markteinführungsphase“;
- Treffen einer marktabhängigen Entscheidung zur Verfolgung einer *first-mover* Strategie oder einer *follower* Strategie<sup>43</sup>;
- Auf- und Ausbau von „Zeitvorsprünge[n] als Wettbewerbsvorteile“.

**In einer den obigen Ausführungen extrahierten und konkretisierten Form ergibt sich folgende Strategiedefinition im dreidimensionalen Raum aus Ziel, Weg und Zeit, die dieser Dissertation zugrunde gelegt wird:**

Eine Strategie definiert grundlegende, langfristige und dauerhafte Ziele, die das Leistungsniveau des Unternehmens festlegen. Sie gibt dabei Auskunft über die Art, den Umfang und die Dauer zur Erreichung der Ziele und beschreibt mit zentralen Maßnahmen, Handlungsoptionen, Ressourceneinsatz und Richtlinien den Weg zur Erreichung dieser Ziele. Sie baut auf den Stärken und Schwächen des Unternehmens auf, korrespondiert mit der Unternehmensumwelt und schafft die in der Gegenwart notwendigen Voraussetzungen zur Erreichung der Ziele in der Zukunft. Sie ist mit Hilfe konzeptioneller und analytischer Elemente bewusst und ausdrücklich entwickelt, beinhaltet zugleich Strategieinhalte und Strategieprozesse, sowie die Vorwegnahme zukunftsgerichteter Entscheidungen in der Gegenwart unter Berücksichtigung erwarteter Umweltveränderungen.

---

<sup>42</sup> Dieses spiegelt sich ebenfalls in den Erfolgspotenzialen des strategischen Managements. Für eine ausführlichere Betrachtung von Erfolgspotenzialen siehe Kapitel 3.1.3.

<sup>43</sup> Als Entscheidungsbasis eignet sich „[n]eben unternehmerischer Intuition [,] (...) Kundennähe und vorwärtsgerichtete Konkurrenzaufklärung“ (Simon 1989, S. 71).

Sie wird als ein vorausschauender Plan verstanden, der rückblickend auf Muster aufbauen kann und Aussagen zur Unternehmensperspektive, -position und zu den Spielzügen des Unternehmens enthält. Sie ist eine kohäsive Einheit aus Zielen und Wegen, die in einem konsistenten und kohärenten Einklang mit Strategien anderer Unternehmensebenen steht, die es auf einem Kontinuum zwischen Widerstandsfähigkeit (Resilienz) und Veränderungsfähigkeit (Transformation) zu balancieren gilt. Im besten Fall führt eine Strategie über Zeitvorsprünge zu Wettbewerbsvorteilen und zur gewünschten Unternehmensentwicklung.

### 3.1.1.2 Strategietypologie

Zur Klassifizierung von Strategien kann die Organisationsstruktur eines Unternehmens (Strategiearten) und die inhaltliche Charakteristik der Strategie (Strategietypen) herangezogen werden.<sup>44</sup> Strategien existieren, wie von Chaffee (1985, S. 89) und Mintzberg/Ahlstrand/Lampel (1999, S. 30) beschrieben, auf unterschiedlichen Ebenen. Dementsprechend können Strategiearten vertikal entlang der Organisationsebenen eines Unternehmens unterschieden werden: Unternehmenspolitikstrategien (*enterprise strategies*), Unternehmensstrategien (*corporate strategies*), Geschäftsbereichsstrategien (*business strategies*) und Funktionsbereichsstrategien (*functional strategies*) (Hofer/Schendel 1978, S. 27-29), (Schendel/Hofer 1979, S. 11-13), (Alkhafaji 2003, S. 42-45).<sup>45</sup>

**Tabelle 3: Strategiearten entlang der vertikalen Organisationsebenen**

Art der Strategie	Organisationsebene	Gegenstand	Integration
Unternehmenspolitik	Vorstand Aufsichtsrat	Stakeholder Wirkungsbereich z. B. CSR <sup>b</sup> , Umwelt	Gesellschaft Gesamtorganisation
Unternehmen	Vorstandsvorsitzende Geschäftsführende	Gesamtstrategie	Portfolio Geschäfte
Geschäftsbereich	Diverse SGE <sup>a</sup>	Wettbewerbsstrategien der einzelnen SGE <sup>a</sup>	Geschäfte Funktionen
Funktionsbereich	Diverse Funktionsbereiche	Strategien der einzelnen Funktionsbereiche (z. B. Marketing, Produktion)	Funktionen Sub-Funktionen

Quelle: Eigene, modifizierte Darstellung in Anlehnung an Alkhafaji (2003, S. 44), Schendel/Hofer (1979, S. 11-13).

<sup>a</sup> Strategische Geschäftseinheit(en)

<sup>b</sup> *Corporate Social Responsibility*

<sup>44</sup> Weitere Klassifikationssysteme orientieren sich an den Aufgaben einer Strategie wie z. B. Innovation, Internationalisierung, Globalisierung, Diversifikation, *Turnaround*, *Mergers & Acquisitions*, vertikale Integration, strategische Allianzen, *Joint Ventures* (Welge/Al-Laham 2012, S. 159), (Brauchlin/Wehrli 1991, S. 6) oder an dem Verhalten der Organisation, wie die Strategietypen von Miles et al. (1978): *defender*, *analyzer*, *prospectors*, *reactor*. Für eine Vertiefung dieser Strategietypen wird exemplarisch auf Miles/Snow (1986) und Hambrick (1983) verwiesen.

<sup>45</sup> Einige Autoren hingegen fokussieren nur die drei Strategiearten *corporate*, *business* und *functional strategy* (vgl. z. B. Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 127ff.), Hahn (2006, S. 43), Steinmann/Schreyögg (2005, S. 170), Brauchlin/Wehrli (1991, S. 6)); bzw. ausschließlich die zwei Strategiearten *corporate* und *business strategy* (vgl. z. B. Hungenberg (2014, S. 15-17), Wheelen/Hunger (2012, S. 43 f.), Grünig/Kühn (2000, S. 43), Andrews (1987, S. 13f.), Chaffee (1987, S. 89)). Alkhafaji (2003, S. 44) führt zudem im Rahmen der vertikal differenzierten Strategiearten die operative Strategie auf. Da es sich bei einer operativen Strategie um eine sehr spezifische, kurzfristig ausgerichtete Strategie handelt, welche die Funktionsbereichsstrategien (z. B. mit Aktionsplänen) unterstützt und sich im Grunde mit dem „Tagesgeschäft“ beschäftigt (ebd.), wird diese Strategieart lediglich der Vollständigkeit halber aufgeführt. Mit der Differenzierung der Strategiearten entlang der vertikalen Organisationsebenen geht auch die Frage einher, ob Funktionsbereichsstrategien dem operativen oder dem strategischen Management zuzuordnen sind: D. h. tangieren Strategien der Funktionsbereiche „die grundsätzliche Ausrichtung des Unternehmens – die grundsätzliche Richtung der Unternehmensentwicklung“? (Hungenberg 2014, S. 17) Da diese Frage nicht im Fokus dieser Arbeit steht, soll die Darstellung zu den unterschiedlichen Ansichten bezugnehmend auf die Strategiearten entlang der vertikalen Organisationsstruktur an dieser Stelle genügen.

**Unternehmenspolitikstrategien** wurden erstmalig von Ansoff (1979, S. 51) in die Strategietheorie eingeführt.<sup>46</sup> Ansoff (1979, S. 51, 56) sieht die Geschäftspolitikstrategie als eine notwendige vierte Anwendungsebene an, um mit neuen Dimensionen des Strategieproblems, wie unvorhersehbaren Turbulenzen, Bedrohungen, Trends und Chancen, die sich aus der Produkt-/Markt-/Technologiekombination ergeben; Ressourcenknappheit, Wachstumsgrenzen, Herausforderungen für die Legitimität des Unternehmens; sowie sozialpolitische Bedrohungen, Trends und Chancen umgehen zu können. In Anlehnung an die Sichtweise von Schendel/Hofer (1979, S. 12) wird die Auffassung vertreten, dass ein Teil dieser Probleme anderen vertikalen Strategiearten zugeordnet werden kann. Lediglich die Probleme, die sich aus den Punkten Legitimität des Unternehmens sowie sozialpolitische Bedrohungen, Trends und Chancen ergeben, können weder mit der *corporate* noch *business* oder *functional strategy* adressiert werden. Diese Problemfelder sind Themen der *enterprise strategy*. Eine Unternehmenspolitikstrategie steht in Korrespondenz mit dem gesamten Stakeholder-Wirkungsbereich und geht der Frage nach: Wofür stehen wir? (Alkhafaji 2003, S. 45f.) Antworten auf die Fragen der Unternehmenspolitik können z. B. eine Vision, Kultur, Verfassung und Mission eines Unternehmens geben.<sup>47</sup>

**Unternehmensstrategien** beschreiben die Gesamtrichtung eines Unternehmens in Bezug auf die allgemeine Haltung hinsichtlich Wachstum, Stabilisierung oder Schrumpfung sowie das Management der Gesamtheit an Geschäftseinheiten und Produktlinien bzw. Dienstleitungen (Wheelen/Hunger 2012, S. 43). Unternehmensstrategien definieren für das gesamte Unternehmen „welche Wettbewerbspositionen mit welchen [Dienstleistungs- bzw.] Produktkategorien in welchen Märkten erreicht werden sollen“ (Grünig/Kühn 2000, S. 43). Insbesondere in multidivisional strukturierten Unternehmen<sup>48</sup>, die über mehrere strategische Geschäftseinheiten (SGE)<sup>49</sup> verfügen, ist auf übergeordneter Ebene eine Gesamtstrategie erforderlich, die häufig als Horizontalstrategie begriffen wird: „Die Gesamtstrategie des Unternehmens definiert insofern das Portfolio des Unternehmens und bildet gleichzeitig den Bezugsrahmen für die Ableitung von Teilstrategien“ (Kreikebaum et al., S. 128) für die einzelnen SGE. Die Aufgabe der Unternehmensstrategie ist die Portfoliogestaltung und -führung „von strategischen Geschäftseinheiten und Tochtergesellschaften (...) [so dass] der Gesamtwert des Unternehmens größer ist als die Summe der Werte der einzelnen Teile“ (Hinterhuber 2015, S. 231). Ferner adressieren Unternehmensstrategien Wettbewerbsvorteile innerhalb der SGE sowie Synergien zwischen

---

<sup>46</sup> Vgl. auch Hofer/Schendel (1978, S. 15).

<sup>47</sup> Siehe für eine ausführlichere Betrachtung zur Ethik, Philosophie, Vision, Kultur und Mission eines Unternehmens die Ausführungen zum normativen Management in Kapitel 3.1.2.2.

<sup>48</sup> „Diversifizierte Unternehmen [– die auch multidivisionale Unternehmen genannt –] sind Konföderationen von relativ selbstständigen Unternehmen oder strategischen Geschäftseinheiten, die in unterschiedlichen Märkten agieren und/oder mehrere Stufen der Wertschöpfungskette abdecken. (...) Sie sind in ‘vernetzten’ Geschäftsfeldern tätig und evolvieren in dem Maß, wie neue Strategien als Antworten auf Möglichkeiten im Markt oder Bedrohungen der Kerngeschäfte durch ihre Konkurrenten entwickelt werden. Das diversifizierte Unternehmen ist deshalb eine Einrichtung, die immer im Werden ist und deren Grenzen sich laufend verschieben.“ (Hinterhuber 2015, S. 215)

<sup>49</sup> Strategische Geschäftseinheiten (SGE) – auch Unternehmensbereiche oder Divisionen genannt (Hungenberg 2014, S. 15) – „stellen organisatorische Einheiten in Unternehmen dar, an die der Prozess der Formulierung, vor allem aber der Präzisierung und Ausführung spezifischer Strategien von der Unternehmensleitung delegiert wird. Sie sind mit einem gewissen Grad an Autonomie ausgestattet (...)“ (Bea/Haas 2013, S. 150) „Strategische Geschäftsfelder [(SGF) hingegen,] stellen die Planungseinheiten im Rahmen der Strategischen Planung und der Portfolio-Analyse dar. Mit der Formulierung von Strategischen [sic!] Geschäftsfeldern wird das gesamte unternehmerische Tätigkeitsfeld in einzelne Aktionsbereiche zerlegt.“ (ebd., S. 146) „Man spricht deshalb manchmal auch davon, dass strategische Geschäftsfelder (SGF) im Unternehmen durch strategische Geschäftseinheiten (SGE) abgebildet werden.“ (Hungenberg 2014, S. 74)



den SGE (Hofer/Schendel 1978, S. 27). Auf der Ebene der Unternehmensstrategie sind darüber hinaus Entscheidungen zu treffen über „Diversifikation, vertikale und/oder horizontale Integration, *Joint Ventures* und strategische Allianzen, Desinvestition, Allokation der personellen, finanziellen und materiellen Ressourcen“ (Hinterhuber 2015, S. 231, Hervorhebungen der Verfasserin).<sup>50</sup> Eine Unternehmensstrategie geht der Frage nach: In welchen Branchen und Geschäftsfeldern soll agiert werden? (Bea/Haas 2003, S. 187), (Chaffe1985, S. 89), (Schendel/Hofer 1979, S. 12) Antworten auf diese Frage können z. B. mit Hilfe von Portfolio-Techniken<sup>51</sup> generiert und visualisiert werden.

**Geschäftsbereichsstrategien** – auch Geschäftsfeldstrategien genannt – füllen den von der Unternehmensstrategie vorgegebenen Rahmen (Bea/Haas 2013, S. 187). Eine Geschäftsbereichsstrategie geht der Frage nach: Wie sollen wir entlang der im Rahmen der Unternehmensstrategie gemachten Vorgaben die Geschäftsfelder kontextualisieren? (Bea/Haas 2013, S. 187), (Chaffee 1985, S. 89) Geschäftsbereichsstrategien definieren für die einzelnen Geschäftsfelder „welche Wettbewerbsvorteile im Angebot und bei den Ressourcen aufzubauen oder zu erhalten sind, um die angestrebte Wettbewerbsposition zu erreichen“ (Grünig/Kühn 2000, S. 43). Geschäftsbereichsstrategien legen damit „die Vorgehensweise der im Unternehmen verfolgten Produkt-Markt-Kombination fest“ (Kreikebaum et al. 2011, S. 132). „Im Rahmen der Geschäftsfeldstrategie soll ein Unternehmen so auf den Wettbewerb ausgerichtet werden, dass es die Chancen nutzen kann, die die Umwelt bietet, und die Risiken bewältigt, denen es ausgesetzt ist“ (Hungenberg 2014, S. 149). Mit dem Ziel, einen Wettbewerbsvorteil (*competitive advantage*) zu generieren, können sich Geschäftsbereichsstrategien sowohl über die Strategietypologien der Wettbewerbs-, als auch der Kooperationsstrategien<sup>52</sup> entfalten (Wheelen/Hunger 2012, S. 43) und können z. B. mit Hilfe einer Produkt-Positionierungs-Matrix visualisiert werden (Hofer/Schendel 1978, S. 35), (Schreyögg 1984, S. 97). Zusätzlich haben die einzelnen Geschäftsbereichsstrategien die Aufgabe, die verschiedenen Funktionsbereichsstrategien zu integrieren und sich mit der Unternehmensstrategie abzustimmen (Kreikebaum et al. 2011, S. 133), (Schendel/Hofer 1979, S. 13). Geschäftsbereichsstrategien sind in multidivisional organisierten Unternehmen für die einzelnen SGE zu formulieren, aber auch für Unternehmen mit nur einem Produkt, einer Dienstleistung bzw. nur einem Geschäftsfeld (Schreyögg 1984, S. 97), (Hungenberg 2014, S. 74).<sup>53</sup> Bei diversifizierten Unternehmen besteht durch die hohen Anforderungen einer akkuraten Marktabgrenzung und den Schwierigkeiten der damit einhergehenden exakten Zuordnung der SGE und seinen jeweiligen Wettbewerbsgegebenheiten, die Gefahr des ‚Kannibalis-

---

<sup>50</sup> Zur Darstellung der fundamentalen Elemente der *corporate strategy* in der Rahmung der strategischen Planung wird auf Hax/Majluf (2006, S. 78f.) verwiesen.

<sup>51</sup> Eine zentrale Portfolio-Analyse ist die von der Boston Consulting Group entwickelte Portfolio-Matrix, die auch »BCG-Matrix« genannt wird (Hedley 1977), (Henderson 1973).

<sup>52</sup> Eine Kooperation ist die mittlere der drei Stufen sogenannter Ko-Aktionen (Koordination, Kooperation und Kollaboration), die gemäß Redlich/Wulfsberg (2011, S. 136) entlang eines zunehmenden Grades der Offenheit wie folgt differenziert werden. Eine Koordination zeichnet sich durch eine gemeinsame Abstimmung sowie eine logische und chronologische Ordnung in der Vorgehensweise aus, mit dem Ziel der Effizienzsteigerung. Dabei kann die Art der Zielstellung in der Koordination unterschiedlich sein. Eine Kooperation zeichnet sich durch ein gemeinsames Arbeiten sowie eine Arbeits- und Ressourcenteilung in der Vorgehensweise aus, mit dem Ziel der Effizienzsteigerung. Die Art der Zielstellung kann bei einer Kooperation sowohl unterschiedlich, als auch identisch sein. Eine Kollaboration zeichnet sich durch ein gemeinsames Arbeiten und eine direkte, wechselseitig beeinflussende Auseinandersetzung in der Vorgehensweise aus. Mit dem Ziel die Effektivität über Emergenzeffekte zu erhöhen, muss die Art der Zielstellung zwingend identisch sein. (ebd.)

<sup>53</sup> Neben der Klassifizierung über SGE besteht die Möglichkeit, die Geschäftsarchitektur mithilfe von Kernkompetenzen zu strukturieren (Pralhalad/Hamel 1990, S. 86). Weiter kann ein Unternehmen auch als ein vernetztes System aus Kernkompetenzen und SGE verstanden werden (Hinterhuber 2015, S. 137).

mus', d. h. die Konkurrenz der Geschäftsfelder untereinander, der mangelnden Zurechenbarkeit des Erfolgs und exponential steigender Administrationskosten“ (Steinmann/Schreyögg 2005, S. 190).

**Funktionsbereichsstrategien** – auch Funktionalstrategien genannt – unterstützen die Unternehmens- und Geschäftsbereichsstrategien bei ihrer Zielerreichung durch die Maximierung der Ressourcenproduktivität (Wheelen/Hunger 2012, S. 44), (Hofer/Schendel 1978, S. 29). Zu den konventionellen Funktionsbereichsstrategien zählen die „Beschaffungs-, Produktions-, Logistik-, Absatz-, Finanz-, EDV-, Personal- sowie die Forschungs- und Entwicklungsstrategien“ (Kreikebaum et al. 2011, S. 133). Die einzelnen Funktionsbereiche eines Unternehmens spiegeln sich an den primären und sekundären (unterstützenden) Aktivitäten der Wertschöpfungskette nach Porter (2014, S. 68-75) wider. Bedingt durch ihr komplementäres bzw. konfliktreiches Interdependenzverhältnis bedarf es einer kohärenten Planung der einzelnen Funktionsbereichsstrategien (Kreikebaum et al. 2011, S. 133). Ergänzend besteht die Aufgabe der einzelnen Funktionsbereichsstrategien Programme und Aktionspläne, sowie Sub-Funktionsstrategien und operative Strategien zu integrieren (Steinmann/Schreyögg 2005, S. 270), (Hofer/Schendel 1978, S. 27). In Funktionsbereichsstrategien fallen darüber hinaus Entscheidungen an, die sich mit den Fragen *make or buy* sowie *outsourcing* oder *insourcing* beschäftigen (Kreikebaum et al. 2011, S. 134).

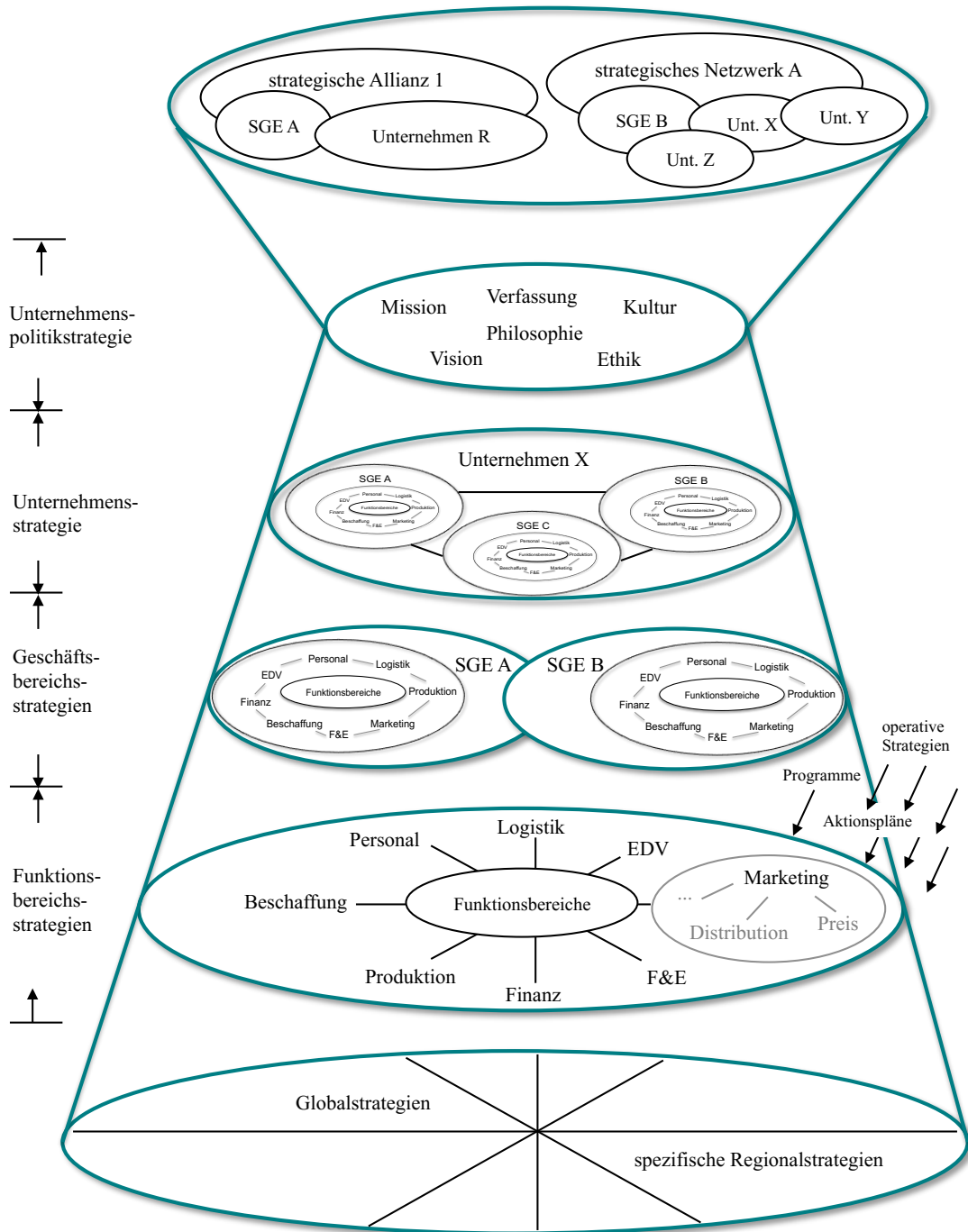
Die nachfolgende Abbildung zeigt die oben beschriebenen Strategien entlang der vertikalen Organisationsebene eines Unternehmens in ihren Zusammenhängen und gibt einen schematischen Eindruck über ihr Zusammenwirken. Dabei werden die Strategien von der Ebene der Netzwerke (unternehmensübergreifende Kooperationsstrategien)<sup>54</sup> auf der einen Seite und geografischer Strategien auf der anderen Seite umklammert. Das Zusammenwirken wird exemplarisch anhand der Unternehmenspolitikstrategie und der Unternehmensstrategie deutlich:

„Die Führung des Unternehmens verlangt sowohl das *unternehmenspolitische* als auch das *strategische* Handeln; diese Verzahnung ist so tief, dass keine Strategie ohne Berücksichtigung der unternehmenspolitischen Erfordernisse und keine Unternehmenspolitik ohne Kenntnis der strategischen Instrumentarien denkbar ist.“ (Hinterhuber 2015, S. 102, Hervorhebungen im Original)

---

<sup>54</sup> Für eine Vertiefung wird exemplarisch auf Hinterhuber (2015, S. 257-272) und Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 134ff.) verwiesen.

Abbildung 13: Gesamtgefüge vertikaler Strategiearten entlang der Organisationsebenen



Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Hinterhuber (2015, S. 51), Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 127), Hahn (2006, S. 43).

Neben der Differenzierung entlang der vertikalen Ebenen einer Organisation, können Strategien anhand ihrer inhaltlichen Charakteristika differenziert werden, wie die folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 4: Strategietypen

Gegenstand	Ausprägungen / strategische Stoßrichtungen			
Produkt-Markt-Matrix <sup>a</sup>	Marktdurchdringung	Marktentwicklung	Produktentwicklung	Diversifikation
Synergie	Werkstofforientiert	Technologieorientiert	Marktorientiert	
Portfolio <sup>b</sup>	Desinvestition ( <i>dogs</i> )	Abschöpfung ( <i>cash cows</i> )	Investition ( <i>stars</i> )	Segmentation / Klarstellung ( <i>question marks</i> )
Entwicklungsrichtung (Mitteleinsatz)	Wachstum (Investieren)	Stabilisierung (Halten)	Schrumpfung (Desinvestieren)	
Wachstum	Expandieren	Halten	Konsolidieren	Kontraktieren
Integration	Vorwärtsintegration	Neutral	Rückwärtsintegration	
Marktverhalten	Angriff		Verteidigung	
Verhalten gegenüber Konkurrenz	Agressiv		Neutral	Defensiv
Kooperation	Akquisition	Beteiligung	Kooperation	Unabhängigkeit
Breite	Konzentration		Neutral	Breit ( <i>broadening</i> )
Wettbewerb <sup>c</sup>	Kostenführerschaft		Differenzierung	Konzentration auf Marktnischen

Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Götze/Rudolf (1994, S. 9), Rühli (1989, S. 41f.). Siehe zudem: <sup>a</sup>Ansoff (1965, S.109); <sup>b</sup>Normstrategien BCG-Matrix Wöhe/Döring (2000, S. 140-145), <sup>c</sup>Wettbewerbsstrategien nach Porter (2013, S. 73ff.).

Diese einzelnen vertikalen Strategiearten entlang der Organisationsebenen, sowie die einzelnen inhaltlichen Strategietypen sind in Anlehnung an Quinn (1980, S. 7) zu einer kohäsiven Einheit zusammenzufügen und abzugleichen.<sup>55</sup> Diese Forderung hat sich zum Begriff des *strategy fit* geformt.<sup>56</sup> Dabei kann der *strategy fit* aus zwei unterschiedlichen Perspektiven heraus verstanden werden. Zum einen aus der Genese des Strategiebegriffs selbst, der nach Jauch/Osborn (1981, S. 492) die Passung zwischen Bedingungen statt die Abfolge der Maßnahmen in den Vordergrund stellt. In diesem Sinn wird eine Strategie als die Kombination von Umwelt-, Kontext- und Strukturelementen verstanden, die eine Organisation zu einem beliebigen Zeitpunkt beeinflussen (ebd., S. 492). Zum anderen kann der *strategy fit* auch komplementär zur präskriptiven Strategiedefinition<sup>57</sup> verstanden werden, dessen Definitionsgrundlage zwar eine vorschreibende statt bloß feststellende Art beinhaltet, trotzdem jedoch eine Koordination und Abstimmung der einzelnen Strategietypologien sowohl innerhalb einer Organisation, als auch außerhalb der Unternehmensstrukturen als notwendig erachtet. Gemäß Bea/Haas (2013, S. 19f.) geht es dabei vornehmlich um folgende Koordinations- und Abstimmungsebenen:

- Intra-Planungs-Fit: Einklang zwischen „strategischen Zielen und Strategiearten“;
- Intra-System-Fit: Abstimmung zwischen einzelnen Teilprozessen<sup>58</sup> des strategischen Managements<sup>59</sup>;

<sup>55</sup> Die Vielzahl strategischer Optionen beschreibt Kohlöffel (2000, S. 89) anschaulich als „[s]trategisches Baukastensystem“, mit Hilfe dessen die Konzeption eines Strategie-Set durchgeführt werden kann.

<sup>56</sup> Für die theoretische Herleitung des *strategy fit* sowie die Übersetzung des *intra-system-fit* in die Praxis anhand des 7-S-Modell von McKinsey wird exemplarisch auf Bea/Haas (2013, S. 16f.) verwiesen.

<sup>57</sup> Als Strategiedefinitionen mit präskriptivem Charakter können zum Beispiel die Definitionen von Chandler (1962, S. 13) und die »*strategy as plan*« Definition von Mintzberg (1978, S. 935), (1987, S. 11f.) angeführt werden. Siehe hierzu Kapitel 3.1.1.1.

<sup>58</sup> Zu den einzelnen Teilprozessen des strategischen Managements, die von Bea/Haas (2013, S. 18) auch Subsysteme genannt werden, zählen die strategische Planung, strategische Kontrolle, Information, Organisation, Unternehmenskultur und strategische Leistungspotenziale.

<sup>59</sup> Hierzu zählt auch „[d]ie Frage, welche Organisationsstruktur zu welcher Strategie gehört, wann also – wie es heißt – ein ‘Fit’ zwischen Strategie und Struktur vorliegt (...)“ (Schreyögg 1984, S. 128, Hervorhebungen im Original).

- System-Umwelt-Fit: Einklang zwischen dem System der Unternehmung und seiner Umwelt“;
- Staat-Unternehmens-Fit: Abstimmung zwischen Unternehmen, politischen Vorgaben und staatlicher Regulierung (z. B. hinsichtlich der Ziele der Bundesregierung zur Umsetzung der Energiewende und der Subventionierung von Erneuerbaren-Energien-Anlagen gemäß EEG)<sup>60</sup>.

Diese *strategy fit* Ebenen verfügen über eine eigenständige Bedeutung, eine Interpretation sollte jedoch nicht getrennt voneinander erfolgen, da die *strategy fit* Ebenen erst in ihrer Integration eine vollständige Einheit darstellen (Bea/Haas 2013, S. 22). Ein zentraler Ansatzpunkt für die Verankerung des *strategy fit* ist die Geschäftsbereichsstrategie (Hungenberg 2014, S. 149). Wie bereits angeführt, sind die Geschäftsbereichsstrategien so auszugestalten, dass sie über die Nutzung von Chancen und die Bewältigung von Risiken Wettbewerbsvorteile generieren. Gemäß dem *strategy fit* müssen dabei die aus der Umwelt hervorgehenden Chancen und Risiken mit den unternehmensinternen Stärken und Schwächen in Einklang stehen (ebd.). Falls keine Übereinstimmung vorliegt, wird empfohlen, „die internen Kompetenzen – die Ressourcen und Fähigkeiten – des Unternehmens so weiter zu entwickeln, dass sie sich an die Anforderung der Umwelt anpassen“ (ebd.).<sup>61</sup>

### 3.1.2 Management

#### 3.1.2.1 Multifunktionale Perspektive

Neben der Definition des Strategiebegriffs ist der Terminus »Management«<sup>62</sup> näher zu bestimmen, bevor im Anschluss der Begriff des strategischen Managements im Ganzen zu definieren ist.

Der Begriff des Managements beschreibt sowohl die Personen eines Unternehmens, die anderen Unternehmensmitgliedern Weisungen erteilen und „wird zugleich für die Funktionen verwendet, die diese Personen ausüben“ (Wöhe/Döring 2000, S. 106). Damit kommt dem Begriff »Management« eine pluralistische Bedeutung zu, die Steinmann/Schreyögg (2005, S. 6f.)<sup>63</sup> in eine „institutionelle Perspektive“ differenzieren, die sich auf die Manager als Führungsperson im eigentlichen Sinn bezieht und in eine „funktionale Perspektive“.<sup>64</sup> Die funktionale Perspektive fokussiert die zu erfüllenden Ma-

---

<sup>60</sup> Realpolitisch bedeutet dieses, gesellschaftliche und/oder politische Eingriffe in unternehmensinterne Entscheidungen zu berücksichtigen (Bea/Haas 2013, S. 20).

<sup>61</sup> Siehe für eine Begriffs-differenzierung und Vertiefung der (Kern-)Kompetenzen Kapitel 3.3.2.4.

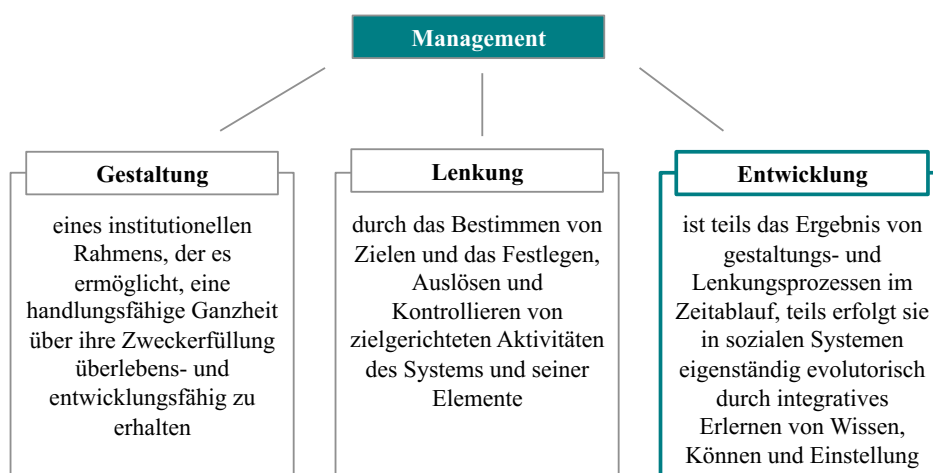
<sup>62</sup> Für weitere Definitionen zum Managementbegriff wird exemplarisch auf Thommen (2008, S. 723f.) verwiesen. Für einen Ein- und Überblick zur historischen Entwicklung der Managementforschung wird exemplarisch auf Steinmann/Schreyögg (2005, S. 5, 31-72) und Staehle (1994, S. 21-68; 97-105) verwiesen.

<sup>63</sup> Vgl. zur „Differenzierung zwischen Management als Funktion und Institution“ auch Tanjäu/Bock (2010, S. 9ff.), Becker (2011, S. 24-29), Keuper (2001, S. 1), Staehle (1992, S. 69f.).

<sup>64</sup> An dieser Stelle lassen sich ebenfalls die Termini »Management« und »Führung« differenzieren: Unter dem Begriff Management wird ein umfassenderer Bereich verstanden, der auch die Führung von anderen „Institutionen und Organisationen (im institutionellen Sinne)“ (Becker 2011, S. 22f.) versteht, wohingegen unter Unternehmensführung die „*Managementaufgaben in Unternehmungen*, als erwerbswirtschaftlich tätige Organisationen“ (ebd., Hervorhebungen im Original) verstanden wird. Mintzberg (1980, S. 54-94) adressiert mit dem Konzept der zehn Management-Rollen, die jedem Manager zugeschrieben werden können, die weisungsberechtigten Personenkreise und bezieht sich damit im eigentlichen Sinn auf den Begriff der Führung. „Führung ist stets ein Prozess der Willensbildung und Willensdurchsetzung spezifischer Person(en) gegenüber anderen Personen zur Erreichung eines oder mehrerer Ziele – unter Übernahme der hiermit verbundenen Verantwortung“ (Hahn 2006, S. 33). Zum Prozess der Willensbildung und -durchsetzung wird exemplarisch auf Ulrich (1970, S. 204ff.) verwiesen. Für eine Vertiefung zur strategischen Unternehmensführung siehe exemplarisch Hinterhuber (2015).

nagementaufgaben (Planung, Organisation und Kontrolle), die komplementär zu den sachbezogenen Aufgaben eines Unternehmens (Einkauf, Produktion, Verkauf etc.) stehen und betrachtet das Management hieraus als Querschnittsfunktion: „Management ist ein Komplex von Steuerungsaufgaben, die bei der Leistungserstellung und -sicherung in arbeitsteiligen Organisationen erbracht werden müssen“ (Steinmann/Schreyögg 2005, S. 7). Folglich besteht die Aufgabe des Managements gemäß der funktionalen Perspektive in der Abstimmung und sinnvollen Koordinierung der Unternehmenspolitikstrategie und der Unternehmensstrategie mit den Geschäftsbereichsstrategien und den Funktionsbereichsstrategien (Kreikebaum 1992, S. 921). Ferner liegt die Verantwortung des Managements im Aufbau und der Pflege einer strategischen (Unternehmens-)Architektur, die im Stande ist Kompetenzen aufzubauen (Prahalad/Hamel 1990, S. 91).

Abbildung 14: Management-Funktionen



Quelle: Eigene Darstellung nach Bleicher (2011, S. 73).

Ulrich (1984, S. 49) sieht im Management das „Gestalten und Lenken von Institutionen (...). Management ist die bewegende Kraft überall, wo es darum geht, durch ein arbeitsteiliges Zusammenwirken vieler Menschen gemeinsam etwas zu erreichen (...).“ Diese Definition entspricht der institutionellen Perspektive und versteht Management als Führung. Gemäß Ansoff (1979, S. 42) ist das Management eine kreative und Fehler korrigierende Aktivität, welche dem Unternehmen seinen Zweck und Zusammenhalt gibt, sowie einen befriedigenden *Return on Investment* (ROI) sicherstellt. Das Wesen des Managements ist die Schaffung, Anpassung und die Bewältigung des Wandels (ebd.). Im Zuge der „Dynamisierung aller gestalterischen und lenkenden Eingriffe in der Abfolge von Ereignissen“ (Bleicher 2011, S. 74) kommt der Management-Funktion der Entwicklung eine bedeutende Rolle zu:

„Die zunehmende Veränderungsgeschwindigkeit unserer Umwelt veranlasst uns, den Blick auf die *Veränderungen der Unternehmung in der Zeit* zu richten. Das Gestrige ist die Wurzel des heutigen und dieses wiederum entscheidet über das Morgen.“ (ebd., Hervorhebungen im Original)

Die lenkende und gestalterische Aufgabe des Managements besteht in der Anweisung der Ressourcen und Leistungen des Unternehmens in die Richtung von Chancen, die zu wirtschaftlich bedeutsamen Ergebnissen und einer positiven Unternehmensentwicklung führen (ebd., S. 73).

Dabei ist eins der größten Probleme eines Managers die Verwechslung von Effektivität und Effizienz (Drucker 1963, S. 54). Gemäß der allgemeinen Systemtheorie wird Effektivität (Wirksamkeit) als der Grad der angestrebten Zielerreichung, d. h. als Grad zwischen dem tatsächlichen *Output* des Systems und dem gewünschten *input* definiert (Hofer/Schendel 1978, S. 2), (Barnard 1970, S. 20). Im Zusammenhang mit der Effektivität steht die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens, die hinterfragt, ob ein Unternehmen die richtigen Dinge tut: „*Effectiveness is doing the right things*“ (Drucker 1974, S. 45). Effizienz (Leistungsfähigkeit) wird hingegen als die Relation zwischen dem tatsächlichen *Output* und dem tatsächlichen *input* definiert (Hofer/Schendel 1978, S. 2), (Barnard 1970, S. 20). Die Effizienz korrespondiert mit der Frage nach dem Prinzip der Wirtschaftlichkeit (gemäß dem ökonomischen Prinzip)<sup>65</sup> der Gesamtheit für die Leistungserstellung notwendigen Prozesse und fokussiert die Kostenaspekte einer Unternehmung (Keuper 2011, S. 7), (Bogaschewsky/Rollberg 1998, S. 6), (Drucker 1974, S. 45). „*Efficiency is concerned with doing things right*“ (Drucker 1974, S. 45).<sup>66</sup>

Die Effektivität dient folglich zur Messung der Wettbewerbsfähigkeit und die Effizienz zur Messung der Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens. In diesem Sinn ist die Effektivität die Grundlage von Erfolg (Leitlinie strategischen Handelns) und Effizienz die grundlegende Bedingung für das Überleben nachdem der Erfolg eingetreten ist (Leitlinie operativen Handelns) (Bea/Haas 2013, S. 74), (Drucker 1974, S. 45). Die stetige Optimierung der Wettbewerbsfähigkeit und der Wirtschaftlichkeit ermöglicht das übergeordnete Ziel des strategischen Managements zu erreichen, welches in der langfristigen Sicherung der Überlebensfähigkeit des Unternehmens besteht (Keuper 2001, S. 7), (Hering 1995, S. 5). Die damit verbundene Abhängigkeit eines Unternehmens, den langfristigen Erfolg und das Fortbestehen zu sichern, hebt den Effektivitätsanspruch d. h. die Wirksamkeit und Wettbewerbsfähigkeit in der Regel stärker in den Fokus der Betrachtung, als die Verbesserung der Effizienz (Hofer/Schendel 1978, S. 2). Insbesondere dann, wenn die Effektivität und die Effizienz konfliktär zueinander stehen, sollte das Streben nach Effektivität in der Regel priorisiert werden (ebd., S. 3), gleichwohl im besten Fall eine simultane, d. h. effektive sowie effiziente Leistungserstellung erstrebenswert ist (Bogaschewsky/Rollberg 1998, S. 7).

---

<sup>65</sup> „Das ökonomische Prinzip verlangt, das Verhältnis aus Produktionsergebnis (*output*, Ertrag) und Produktionseinsatz (*input*, Aufwand) zu optimieren.“ (Wöhe/Döring 2010, S. 34, Hervorhebungen der Verfasserin) Das ökonomische Prinzip, auch Wirtschaftlichkeitsprinzip genannt, wird in ein Maximumprinzip, ein Minimumprinzip und ein Optimumprinzip unterschieden (ebd.). In einer weiteren Ableitung ergeben sich aus dem ökonomischen Prinzip die mengenmäßige Rationalität (Produktivität), die wertmäßige Rationalität (Wirtschaftlichkeit) und die Rentabilität (Schneck 2015, S. 675).

<sup>66</sup> Für das strategische Management von Unternehmen im Rahmen der Energiewende sei an dieser Stelle in Verbindung mit den beiden Möglichkeiten der Unternehmensentwicklung (Erneuerung und Optimierung) die Ableitung vorweg genommen, dass sich die Effektivität auf die Erneuerung (z. B. Auf- und Ausbau erneuerbarer Energien) und die Effizienz auf die Optimierung (z. B. Senkung des Stromverbrauchs) bezieht. Bei der Energieeffizienz ist kritisch anzumerken, dass eine Senkung des Energieverbrauchs über eine Verhaltens- oder Produktionsänderung nicht zwingend zu einer Gesamtreaktion des Energieverbrauchs führen muss, da die über die Einsparung freigesetzten monetären Mittel wiederum Investitionen z. B. zur Ausweitung der Produktionskapazitäten anreizen könnten, die bei Umsetzung in Summe zu einem Anstieg des Energieverbrauchs führen könnten. Dieser dargestellte Effekt wird als direkter *Rebound*-Effekt bezeichnet, „der im Kern einen Preis- bzw. Substitutionseffekt darstellt“ (Frondel/Vance 2017, S. 26). Für eine Vertiefung zum *Rebound*-Effekt, sowie der Differenzierung in indirekte und makroökonomische *Rebound*-Effekte wird exemplarisch auf UBA (2015, insbesondere Kapitel 3) und Wuppertal Institut (2012) verwiesen.

Denn bereits Drucker (1963, S. 54) bemerkte, dass es keinen nutzloseren Zu- und Umstand gibt, als mit großer Effizienz das zu tun, was überhaupt nicht getan werden sollte. Wichtig ist demzufolge, die Effektivität in den Mittelpunkt zu rücken (ebd.). Dafür ist die Identifikation der Effektivitätsgebiete (Chancen bedeutsamer Ergebnisse) und eine Methode zur Konzentration auf genau diese Bereiche bedeutend, um den Fokus von den Problemen auf die Chancen zu legen (ebd.). Nur mit einem Aktionsplan, einer Analyse-methode und mit dem Verständnis über die notwendigen Instrumente kann ein Manager die Effektivitätssteigerung seines Geschäfts systematisch angehen (ebd., S. 60). Für ein effektives Handeln schlägt Drucker (1963, S. 57-59) die in der Tabelle 5 grundsätzliche Schrittfolge vor. Die Schrittfolge dient dabei dem Zweck, den Ernährern von morgen und den Ernährern von heute, gemessen an Quantität und Qualität, die besten Ressourcen zuzuweisen (ebd., S. 59).

**Tabelle 5: Systematische Schrittfolge zur Effektivitätssteigerung**

Schrittfolge	Inhalt der Teilschritte
Faktenanalyse	Identifikation von <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chancen</li> <li>• Produktlinie (Wertbeitrag und Kosten)</li> <li>• Beiträge Mitarbeiteraktivitäten</li> <li>• Ökonomisch bedeutsame Kostenstellen</li> </ul>
Allokation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Status quo der Ressourcenzuweisung im Hinblick auf Produktlinie, Mitarbeiteraktivitäten und Kostenstellen (Ist-Zustand)</li> <li>• Optionen der künftigen Ressourcenzuweisung zur Unterstützung der Aktivitäten mit den größten Chancen in der Zukunft (Soll-Zustand)</li> <li>• Notwendiges Vorgehen um vom Ist- zum Soll-Zustand zu gelangen</li> </ul>
Entscheidung	Priorisierte Entscheidung über die neue Ressourcenzuweisung z. B. entlang der Normstrategien der BCG-Matrix <sup>67</sup>

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Drucker (1963, S. 57-59).

Zur ganzheitlichen Darstellung des Führungssystems dienen Managementmodelle und Managementkonzepte.<sup>68</sup> Ein zentrales Modell des integrierten Management ist das »Neue St. Galler Management Modell« nach Rüegg-Stürm (2002, 2004), welches auf dem »St. Galler Management-Modell« nach Ulrich/Krieg (1971/1974) und dem »St. Galler Management-Konzept« nach Bleicher (1991/2011) aufbaut.<sup>69</sup> Das »Neue St. Galler Management-Modell« zeigt als eine Art „Landkarte (...) wichtige Begriffe und Konzepte im Gesamtzusammenhang des Managements“ (Rüegg-Stürm 2004, S. 65). Dem Modell liegt

<sup>67</sup> Vgl. z. B. Hedley (1977) und Henderson (1973).

<sup>68</sup> Für eine begriffliche Abgrenzung und Definition zum »Managementkonzept« und »Managementmodell« wird auf Süß (2009) verwiesen.

<sup>69</sup> Vgl. auch Thommen (2008, S. 721).



das Verständnis der Unternehmung als ein komplexes System<sup>70</sup> zugrunde, welches Unternehmungen als wirtschaftliche, soziotechnische Systeme charakterisiert, die zweckorientiert und multifunktional im ökonomischen Wettbewerb mit anderen Akteuren stehen und im besten Fall durch eine überlegende Nutzenstiftung (Effektivitäts- und Effizienzvorteil) nachhaltige Wettbewerbsvorteile erlangen (Rüegg-Stürm 2004, S. 68f.).

Bedingt durch den Fokus der Unternehmensentwicklung im Rahmen dieser Arbeit, wird an dieser Stelle auszugsweise auf die Wechselwirkungen zwischen Ordnungsmomenten, Prozessen und Entwicklungsmodi des neuen St. Galler Management-Modells und ihrem Zusammenhang zur Unternehmensentwicklung eingegangen. Das Wirkungsgefüge zwischen diesen Elementen zeigt die Abbildung 15 auf der nachfolgenden Seite. Für eine ausführliche Darstellung des neuen St. Galler Managements-Modells und der einzelnen Systemelemente wird auf Rüegg-Stürm (2002, 2004) verwiesen.

Die Ordnungsmomente (Strategien, Strukturen, Kultur) geben „(...) dem organisationalen Alltagsgeschehen [einer Unternehmung] eine kohärente Form, indem sie eine gewisse Ordnung auferlegen“ (Rüegg-Stürm 2004, S. 121). Prozesse sind „(...) Aufgaben, die in einer mehr oder weniger standardmäßigen Abfolge zu erledigen sind“ (ebd., S. 109). In Anlehnung an die drei Funktionen des Managements umfassen Managementprozesse normative Orientierungsprozesse (Gestaltung), operative Führungsprozesse (Lenkung) und strategische Entwicklungsprozesse (Entwicklung) (ebd., S. 113).<sup>71</sup> Zwischen den Ordnungsmomenten und insbesondere den Managementprozessen

„einer Unternehmung [existiert] ein *zirkulärer Wirkungszusammenhang*, weil Ordnungsmomente (...) immer sowohl Mittel (im Sinn von ‘Strukturierungshilfen’) für geordnetes Alltagsgeschehens als auch Ergebnisse dieses organisationalen Alltagsgeschehens sind“ (ebd., S. 122, Hervorhebungen im Original).

Die Unternehmensentwicklung (Entwicklungsmodi) der Ordnungsmomente und Prozesse kann durch Optimierung („*Fine-Tuning*’ innerhalb gegebener Strukturen“) (Rüegg-Stürm 2004, S. 124f., Hervorhebungen der Verfasserin) oder Erneuerung („grundlegende Veränderung eines Musters“) (ebd.) erfolgen. Diese Entwicklungsmodi werden auch als evolutionäre (inkrementelle) und revolutionäre (radikale) Phasen der Unternehmensentwicklung bezeichnet, die sich im Zeitablauf einer Unternehmung abwechseln (ebd.). Dabei kann das Intervall der Unternehmensentwicklung (Wandel) gemäß Rüegg-Stürm

---

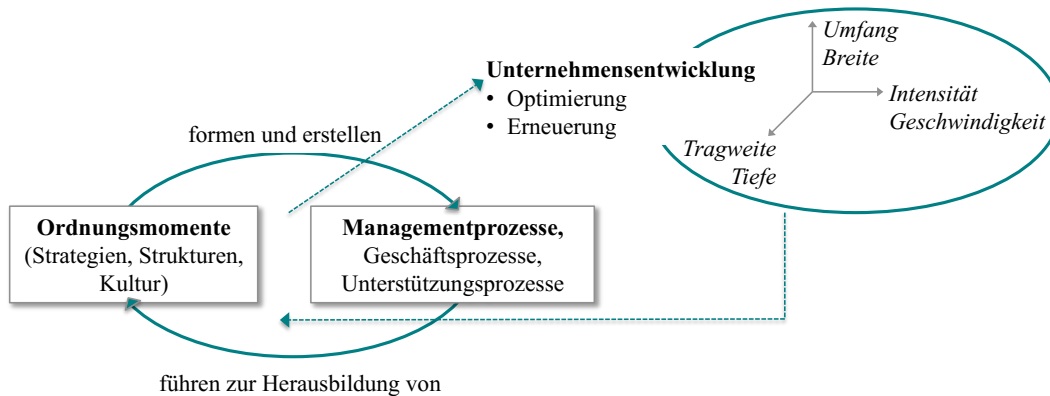
<sup>70</sup> „Unternehmen werden als komplexe und selbstorganisierte Systeme betrachtet, die in einer sich wandelnden Umwelt agieren, mit der sie strukturell gekoppelt sind.“ (Reimer 2005, S. 182) Dabei werden Unternehmen „als Systeme begriffen (...), die einer eigenen, durch den Lauf der Geschichte geprägten Logik folgen“ (Knyphausen-Aufseß 1995, S. 342). In diesem Zusammenhang ist der allgemeine Systembegriff als eine „geordnete Gesamtheit von Elementen, zwischen denen irgendwelche Beziehungen bestehen oder hergestellt werden können“ (Ulrich 1970, S. 105) definiert und durch die Wesensmerkmale „Ganzheit, Element, Beziehungen, Ordnung“ (ebd., S. 106) gekennzeichnet. „Unter einem System soll eine geordnete *Ganzheit von Elementen* verstanden werden. *Komplex* ist ein System, wenn die Systemelemente in vielfältiger Weise *interagieren* und zueinander in einer spezifischen, dynamischen *Beziehung* stehen.“ (Rüegg-Stürm 2004, S. 65, Hervorhebungen im Original) „Das System kann mit seinem Umfeld (auch anderen Systemen) in Austauschbeziehungen stehen“ (Schlick 1998, S. 1). Die Systemelemente umfassen materielle, objekthafte Elemente wie z. B. Gebäude, Maschinen, Produkte, sowie immaterielle Elemente wie z. B. Beziehungen, Prozesse, Handlungsprinzipien und Strategien: „Diese *Vielfalt* von Elementen und von *Wechselwirkungen* zwischen diesen Elementen begründet die *Komplexität* eines Systems“ (Rüegg-Stürm 2002 S. 18, Hervorhebungen im Original). Ferner „sind komplexe Systeme typischerweise *dynamische Systeme*, d. h. sie sind ständig im Werden, ständig in ‘Re-Konstruktion’“ (ebd., S. 19, Hervorhebungen im Original). Für eine ausführlichere Einführung zur Systemtheorie und dem Systemansatz in der Betriebswirtschaftslehre wird exemplarisch auf Ulrich (1970, S. 100-152) sowie zum systemorientierten Management im Speziellen z. B. auf Ulrich/Krieg (1974, S. 11-15) verwiesen.

<sup>71</sup> Siehe auch Abbildung 14: Management-Funktionen.

(2004, S. 124) anhand der drei Kategorien Umfang (Breite), Tragweite (Tiefe) und Intensität (Geschwindigkeit) evaluiert werden:

„Je breiter, tiefer greifend und schneller der Wandel, je größer also der *Umfang* und die *Tragweite* und je höher die *Kadenz* von Veränderungen, desto *fundamentaler* oder *radikaler* ist der entsprechende unternehmerische Wandel.“ (ebd., S. 124, Hervorhebungen im Original)

**Abbildung 15: Wirkungsgefüge Ordnungsmomente, Prozesse und Entwicklungsmodi**



Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Rüegg-Stürm (2004, S. 121).

### 3.1.2.2 Management-Dimensionen

Neben der zu Beginn dieses Kapitels dargestellten funktionalen und institutionellen Perspektive kann der Aufgabenbereich des Managements anhand verschiedener Management-Dimensionen klassifiziert werden: Normatives Management, strategisches Management und operatives Management (Hammer 2015, S. 28ff.), (Hungenberg 2014, S. 23f.), (Bleicher 2011, S. 87ff.), (Rüegg-Stürm 2004, S. 114). Aufbauend auf dem St. Gallener Management Modell umklammern die Dimensionen des normativen und operativen Managements das strategische Management im sogenannten »Integrierten Management« nach Bleicher (1991/2011).

Der Zusammenhang zwischen den Entwicklungsmodi (Optimierung, Erneuerung) in Anlehnung an das »Neue St. Gallener Management Modell« nach Rüegg-Stürm (2002, 2004) und den Management-Dimensionen (normativ, strategisch, operativ) wird entlang des funktionalen Beitrages zur Entwicklung des Unternehmens wie folgt pointiert.

**Tabelle 6: Funktionaler Zusammenhang Management-Dimensionen und Unternehmensentwicklung (Entwicklungsmodi)**

Management-Dimension	Optimierung	Erneuerung
Normativ	Überprüfung	Entwicklung
	Anpassung	Synthese
Strategisch	Optimierung	Analyse
	Korrektur(en)	Option(en)
Operativ	Planung, Reporting, Lernen	Umsetzung nach außen und innen
	Performance (Messung)	Lernen

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bleicher (2011, S. 665).

„Die Ebene des [n]ormativen Managements beschäftigt sich mit den generellen Zielen der Unternehmung, mit Prinzipien, Normen und Spielregeln, die darauf ausgerichtet sind, die *Lebens- und Entwicklungsfähigkeit* der Unternehmung zu ermöglichen.“ (Bleicher, 2011, S. 88, Hervorhebungen im Original) „Zentrale Aufgabe des normativen Managements ist es, das Selbstverständnis des Unternehmens zu definieren – den Nutzen, den es seinen Trägern stiften soll.“ (Hungenberg 2014, S. 25) Mit dem normativen Management wird ein unternehmenspolitischer Rahmen geschaffen (Becker 2011, S. 33), in dem die folgenden Elemente in einem harmonischen Gefüge zueinander definiert sind (Dillerup/Stoi 2013, S. 61):<sup>72</sup>

- Unternehmenswerte (Ethik und Philosophie): Ausrichtung der Unternehmensführung am *shareholder value* (ökonomisch-, wertorientiert), am *stakeholder value* (ökonomisch-, sozial-, wertorientiert), an der Nachhaltigkeit (ökonomisch-, sozial-, ökologischerorientiert) (ebd., S. 77f.). Einen instrumentellen Beitrag zur Unternehmensethik kann die Erstellung eines Unternehmensleitbildes leisten (Welge/Al-Laham 2012, S. 280).
- Unternehmensziele (Vision und Politik): In der Unternehmenspolitik findet ein Abwägen der Anforderungen an die oben genannten Anspruchsgruppen statt „und die angestrebte Position des Unternehmens [wird] in Form von Leitlinien und Zielen beschrieben“ (Dillerup/Stoi 2013, S. 100f.). Aufgabe der Unternehmenspolitik ist die Harmonisierung der externen Anforderungen mit den internen Zielen zu einem *fit* (Bleicher 2011, S. 153).<sup>73</sup> Die Unternehmensvision kann auch in Form einer internen Anspruchshaltung des Unternehmens formuliert werden (Dillerup/Stoi 2013, S. 101). Eine Unternehmensvision „ist ein konkretes Zukunftsbild“ (BCG 1988, S. 7), welches zwecks Sichtbarkeit nah an der Realisierbarkeit ist, zugleich „aber schon fern genug, um die Begeisterung der Organisation für eine neue Wirklichkeit zu wecken“ (ebd.).<sup>74</sup>
- Unternehmenskultur (Verhaltensnormen): „Die Unternehmenskultur ist die Gesamtheit der in einem Unternehmen vorherrschenden Wertvorstellungen, Traditionen, Überlieferungen, Mythen und Denkhaltungen“ (Dillerup/Stoi 2013, S. 129), die zur Prägung des Mitarbeiterverhaltens beitragen (ebd.).

---

<sup>72</sup> Für eine Vertiefung zur Unternehmensethik, Unternehmensphilosophie, Unternehmensvision und Unternehmensmission wird exemplarisch auf Hinterhuber (2015, S. 85-120, 313-324) und Steinle (2005, S. 78-111) verwiesen.

<sup>73</sup> Siehe zum *fit*-Gedanken auch die vorherigen Ausführungen in Kapitel 3.1.1.

<sup>74</sup> Bei einer (sorgfältig entwickelten) Unternehmensvision ist die Verknüpfung mit dem Systemdenken ein zentraler Punkt: „Die Vision zeigt das Bild der Zukunft, auf die wir uns zubewegen wollen. Das Systemdenken macht deutlich, wie wir dorthin gelangt sind, wo wir augenblicklich stehen“ (Senge 2011, S. 251). Das Systemdenken dient damit dem besseren Verständnis „welche Kräfte unsere gegenwärtige Realität formen, und wo wir die Hebel ansetzen müssen, um diese Kräfte zu beeinflussen“ (ebd., S. 252).

- Unternehmensverfassung<sup>75</sup> (organisatorische Normen): Die Unternehmensverfassung „beinhaltet grundlegende Regelungen über die Organe eines Unternehmens sowie deren Rechte und Pflichten“ (ebd., S. 136).
- Unternehmensmission (Anspruch und Selbstbild): Die Unternehmensmission fasst die vier zuvor adressierten Elemente des normativen Managements zusammen, definiert über das Gesamtgefüge der Elemente den Unternehmenszweck „und konkretisiert dessen Entwicklung“ (ebd., S. 153).

Das normative Management legitimiert damit das Handeln einer Unternehmung und schafft gleichzeitig eine Identität<sup>76</sup> sowohl nach innen als auch nach außen (Bleicher 2011, S. 89). „Während das normative Management Aktivitäten begründet, ist es Aufgabe des strategischen Managements, *ausrichtend* auf Aktivitäten einzuwirken.“ (ebd., S. 90, Hervorhebungen im Original) „Das strategische Management soll die Voraussetzungen dafür schaffen, dass die normativen Ansprüche an die Entwicklung des Unternehmens langfristig erfüllt werden können.“ (Hungenberg 2014, S. 24) Es „ist auf den *Aufbau, die Pflege und die Ausbeutung von Erfolgspotenzialen* gerichtet, für die Ressourcen eingesetzt werden müssen“ (Bleicher 2011, S. 89, Hervorhebungen im Original). Da dem strategischen Management in Kapitel 3.1.3 eine ausführliche Betrachtung geboten wird, soll die kurze Abgrenzung an dieser Stelle genügen.

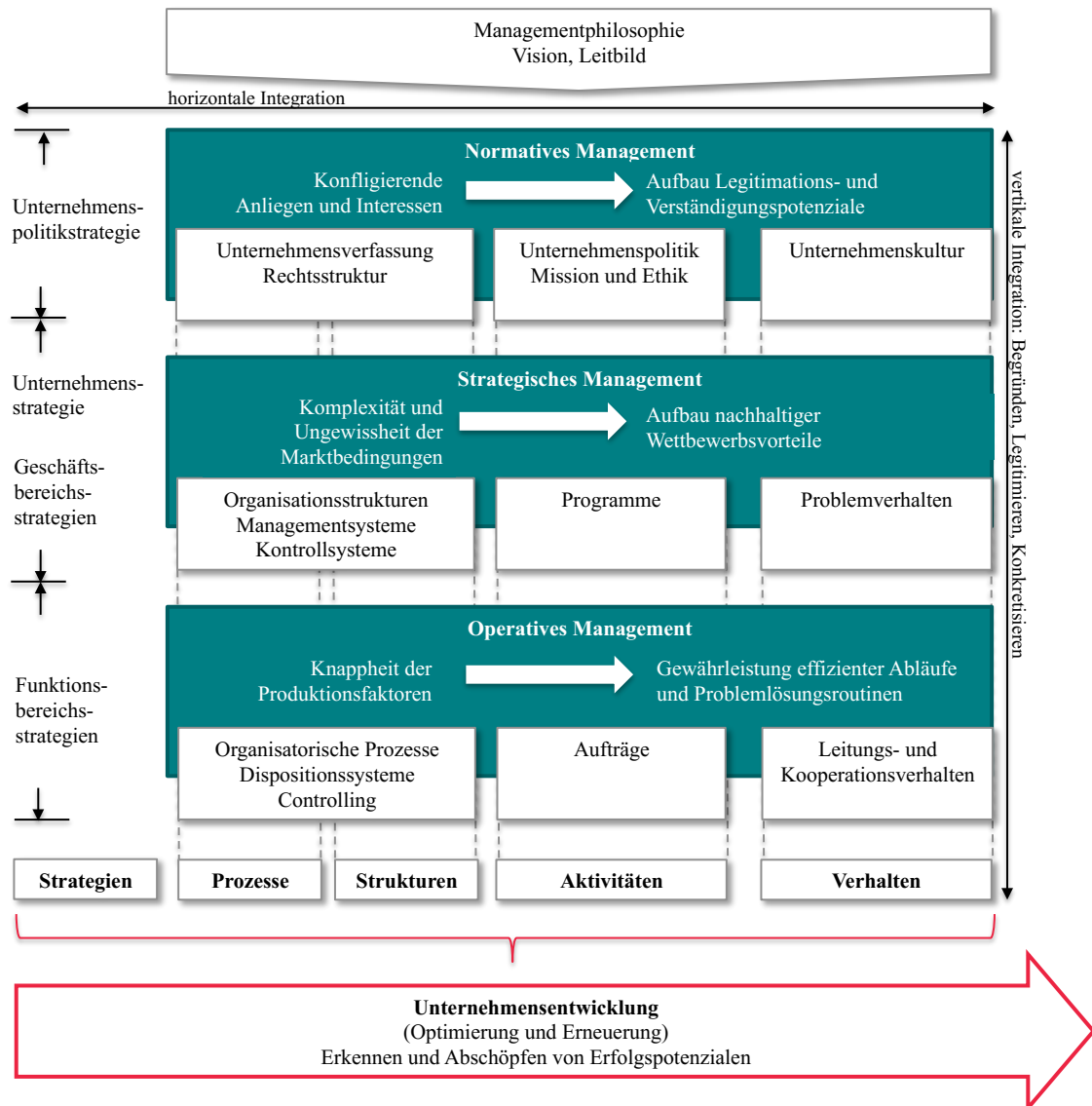
Der Handlungsrahmen des operativen Managements wird durch die strategischen Managemententscheidungen determiniert (Hungenberg 2014, S. 24). Die Aufgaben des operativen Managements beziehen sich auf Entscheidungen über „konkrete Handlungen am Markt oder im Unternehmen“ (ebd.). „Die Funktion des operativen Managements besteht darin, die normativen und strategischen Vorgaben vollziehend in Operationen umzusetzen. Dieses geschieht über *Projekte und Prozesse*.“ (Bleicher 2011, S. 439, Hervorhebungen im Original) „Im Vordergrund steht dabei die Planung, Organisation, Umsetzung, Kontrolle und Controlling des sogenannten ‘Tagesgeschäfts’ gemäß dem Geschäftsmodell des Unternehmens.“ (Hammer 2015, S. 33f.) Im Zentrum des operativen Managements steht der Effizienzgedanke, wohingegen im Fokus des normativen und strategischen Managements der Effektivitätsgedanke steht (Bleicher 2011, S. 438), (Tanțău/Bock 2010, S. 23). Den Zusammenhang zwischen den Dimensionen des Managements und den Strategiearten entlang der vertikalen Organisationsstruktur verdeutlicht die nachfolgende Abbildung.

---

<sup>75</sup> In enger Verbundenheit mit dem Begriff der Unternehmensverfassung steht der Begriff »*corporate governance*«, der die „Grundsätze ordnungsgemäßer und verantwortungsvoller Unternehmensführung als Rahmen für die Leitung und Überwachung eines Unternehmens“ (Dillerup/Stoi 2013, S. 129) beschreibt. In der Bundesrepublik Deutschland existiert als „Ausdruck einer Selbstverpflichtung der Wirtschaft zu guter Corporate Governance“ der Deutsche Corporate Governance Kodex (DCGK) (Regierungskommission Deutscher Corporate Governance Kodex o. J., o. S.). Er „stellt wesentliche gesetzliche Vorschriften zur Leitung und Überwachung deutscher börsennotierter Gesellschaften dar und enthält in Form von Empfehlungen und Anregungen international und national anerkannte Standards guter und verantwortungsvoller Unternehmensführung“ (ebd.). Der DCGK wird „im Dialog mit den Unternehmen und ihren Stakeholdern, der Politik und der Öffentlichkeit“ (ebd.) jährlich mit dem Zweck überprüft, eine etwaig notwendige Anpassung der *Best Practice* guter Unternehmensführung zu identifizieren (ebd.).

<sup>76</sup> In diesem Zusammenhang wird auch der Begriff »*corporate identity*« verwendet. „Die *Corporate Identity* ist das Bild, mit dem das Unternehmen von der Gesellschaft gesehen und bewertet werden will.“ (Hungenberg 2014, S. 234, Hervorhebungen der Verfasserin) Für eine Vertiefung zur ganzheitlichen *corporate identity* wird z. B. auf Schönborn (2014), für den Zusammenhang zur Unternehmenskultur als Erfolgsfaktor der *corporate identity* auf Regenthal (2009) sowie zu Effekten der *Corporate Identity* auf Innovationsstrategien und Aspekte der Nachhaltigkeit auf Staub/Kaynak/Gok (2016) verwiesen.

Abbildung 16: Zusammenhang Management-Dimensionen und Strategiearten



Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Bleicher (2011, S. 91, 96), Rüegg-Stürm (2004, S. 114), Gausemeier/Plass (2014, S. 114).

### 3.1.3 Strategisches Management

#### 3.1.3.1 Theoretische Entwicklung und Philosophie

Das zentrale Ziel einer Unternehmung besteht in der Sicherung seines Überlebens (Pümpin 1986, S. 29). Das Überleben kann dann sicher gestellt werden, wenn langfristige Erfolge erzielt werden (ebd.). Das „Ziel des Strategischen Managements ist es [daher], den langfristigen Erfolg eines Unternehmens sicherzustellen“ (Bea/Haas 2013, S. 495).

Der Einzug des strategischen Managements in die Wirtschaftswissenschaft und im engen in die Betriebswirtschaft wird in der Literatur zum Teil mit unterschiedlichen Bege-

benheiten, Autoren und Werken datiert.<sup>77</sup> Weitgehende Einigkeit besteht darin, dass sich das strategische Management letztlich aus der strategischen Planung heraus (weiter-) entwickelt hat.<sup>78</sup> Als Begründer des strategischen Managements können Ansoff/Declerck/Hayes (Hrsg., 1976) mit dem Sammelband und gleichnamigen Aufsatz »*From Strategic Planning to Strategic Management*« betitelt werden, welche maßgeblich auf der ersten internationalen Konferenz des strategischen Managements des Jahres 1973 basieren (Ansoff/Hayes 1976, S. 5). Sie definieren das strategische Management als neuen Rahmen des post-industriellen Managements, welches drei Formen organisatorischen Verhaltens vereint: Die Betriebsführung des Wettbewerbs, das unternehmerische Management und das integrative Management der Koexistenz der beiden vorhergehenden (Ansoff/Declerck/Hayes 1976, S. 76). Weiter halten sie fest, dass innerhalb des strategischen Managements der rationale Prozess der Planung nur ein Bestandteil eines viel komplexeren sozio-dynamischen Prozesses ist, der den strategischen Wandel hervorruft (ebd., S. 44-47, 76f.).

Den Weg der theoretischen Entwicklung zur Disziplin des strategischen Managements haben maßgeblich folgende Werke gegeben<sup>79</sup>:

- Edith Penrose (1959) »*Theory of the Growth of the Firm*«<sup>80</sup>,
- Alfred Chandler (1962) »*Strategy and structure*«<sup>81</sup>,
- Kenneth Andrews (1971) »*The Concept of Corporate Strategy*«<sup>82</sup>,
- Igor Ansoff (1965) »*Corporate Strategy*«<sup>83</sup>.

---

<sup>77</sup> Vgl. z. B. die historischen Ein- und Überblicke von Bea/Hass (2013, S. 6-15), Hungenberg (2012, S. 3-5), Welge/Al-Laham (2012, S. 11-14), Pfriem (2006, S. 32), Grant/Nippa (2006, S. 37-43), Müller-Stewens/Lechner (2005, S. 8-15 sowie S. 51 Anmerkung 6), Kreikebaum (1997, S. 22-28), Sanchez/Heene (1997, S. 304-306), Knyphausen-Aufseß (1995, S. 14-32), Staehle (1994, S. 581-586), Rumelt/Schendel/Teece (1991), Brauchlin/Wehrli (1991, S. 3), Klaus (1987, S. 52f.) und Schreyögg (1984, S. 76ff.).

<sup>78</sup> Gegenteiliger Auffassung ist Kreikebaum (1997, S. 24), der „eine historisch datierbare Abfolge von strategischer Planung und strategischem Management“ unangebracht findet. Da eine klare Unterscheidung zwischen dem strategischen Management und der strategischen Planung nicht trivial ist und auch nicht im Fokus dieser Arbeit steht, wird an dieser Stelle nur eine stark verkürzte Diskussion geführt: Staehle (1994, S. 586) begründet die Weiterentwicklung der strategischen Planung hin zum strategischen Management anhand der Addition von drei Punkten: „Die gleichzeitige Betrachtung auch von anderen System-Umwelt Beziehungen neben der Produkt-Markt-Strategie (...). Die gleichgewichtige Beachtung der internen Kompetenz (...). Das Management der notwendigen internen Veränderungsprozesse (...).“ „Da die *strategische Planung* darauf abzielt, Strategien zu entwickeln, unterscheidet sich das *strategische Management* [außerdem] von der strategischen Planung dadurch, daß [sic!] zusätzlich zur strategischen Planung Fragestellungen der *Strategieimplementierung und -kontrolle* zu berücksichtigen sind.“ (Keuper 2001, S. 24, Hervorhebungen im Original) Kreikebaum (1997, S. 24) konstatiert hingegen, dass in der strategischen Unternehmensplanung gleichwohl „die externen Umweltbeziehungen einschließlich der soziopolitischen Variablen und der internen Unternehmenskompetenz ebenso wie die Probleme der Steuerung, Implementierung und Kontrolle einzubeziehen sind. Alles andere wäre eine Verkürzung des Planungsdenkens (...).“

<sup>79</sup> Vgl. auch Müller-Stewens/Lechner (2005, S. 10-12).

<sup>80</sup> Penrose (1959, S. 75) konstatiert, dass der einzigartige Charakter eines Unternehmens durch die Heterogenität seiner Ressourcen bestimmt wird. „Damit wendet sie sich gegen die in der Neoklassik vorherrschende Sichtweise der Homogenität von Ressourcen und letztlich von Unternehmen“ (Müller-Stewens/Lechner 2005, S. 11).

<sup>81</sup> Neben der grundlegenden Definition des Strategiebegriffs prägt Chandler (1962, S. 14) den Ausdruck „*structure follows strategy*“ und legt damit den Grundstein der präskriptiven Strategieforschung (vgl. auch Schreyögg 1984, S. 128). Der Begriff »Struktur« wird dabei als Organisationsgestaltung definiert, durch die das Unternehmen verwaltet wird (Chandler 1962, S. 14). Dabei wird die komplexeste Art der Struktur als das Ergebnis der Verkettung von mehreren grundlegenden Strategien charakterisiert (ebd.).

<sup>82</sup> Andrews (1971, S. 37) unterscheidet zwei Aspekte der Unternehmensstrategie, die wegweisend für den Strategieprozess sind: Die Formulierung und anschließende Implementierung einer Strategie.

<sup>83</sup> Mit der Produkt-Markt-Matrix und der SWOT-Analyse legt Ansoff erste Konzepte und Instrumente zur Unterstützung der Analyse und Auswahl strategischer Optionen dar. „Weiter formuliert er Strategieprozesse in ausgefeilte Phasenmodelle und wird damit [auch] zum Wegbereiter der *strategischen Planung*.“ (Müller-Stewens/Lechner 2005, S. 12, Hervorhebungen im Original)

Kirsch et al. (1989, S. 6-9) charakterisieren die Philosophie des strategischen Managements anhand ihrer zentralen Elemente, wie beispielsweise:

- Das strategische Management richtet den Blick in die Zukunft – in die Richtung zukünftiger Erfolgspotenziale. Im Gegensatz dazu steht der operative Erfolg, der sich mit Hilfe von Kennzahlen des klassischen Rechnungswesens auf Basis von Vergangenheitsdaten messen lässt.
- Das strategische Management geht von Diskontinuitäten<sup>84</sup> in der Zukunft aus, so dass sich Entwicklungen aus der Vergangenheit nicht einfach in die Zukunft weiterführen lassen.
- Das strategische Management ist im Zusammenhang mit dem Konzept der geplanten Evolution stetig Mängeln und Störungen der Umwelt ausgesetzt. Trotz der Kenntnis, dass Entwicklungsverläufe anders verlaufen als Anfangs vorgestellt, ist es dennoch wesentlich „die Entwicklung in eine gewünschte Richtung mitzusteuern“ (ebd., S. 8).

### 3.1.3.2 Begriffsbestimmung entlang der Management-Funktionen

Im Folgenden wird ein Auszug von Definitionen zum Begriff des strategischen Managements<sup>85</sup> entlang der drei zentralen Funktionen des Managements (Gestaltung, Lenkung, Entwicklung)<sup>86</sup> präsentiert, um die Funktionen und Merkmale des strategischen Managements zu verdeutlichen, die Herausforderungen herauszustellen und ein grundlegendes Verständnis für die im nachfolgenden Kapitel 3.3 zu betrachteten Forschungsbereiche und -ansätze des strategischen Managements bereit zu legen.

In der Definition zum Terminus »strategisches Management« von Bea/Haas (2013, S. 22) wird die gestalterische Management-Funktion hervorgehoben, gemäß dem sich das strategische Management „mit der zielorientierten Gestaltung von Unternehmen unter strategischen, d. h. langfristigen, globalen, umweltbezogenen und entwicklungsorientierten Aspekten“ (ebd.) befasst. Neben der Gestaltung beinhaltet das strategische Management die „gegenseitige Abstimmung von Planung, Kontrolle, Information, Organisation, Unternehmenskultur und Strategischen Leistungspotenzialen“ (ebd.). Mit dieser Definition beziehen sich Bea/Haas auf die Wesensmerkmale des strategischen Managements als Bündel von Subsystemen<sup>87</sup>, denen „allen (...) eine gleichberechtigte und eigenständige strategische Funktion“ (ebd., S. 18) zukommt.

---

<sup>84</sup> Diese Diskontinuitäten werden gemäß Ansoff (1976, S. 131) auch als eine „strategische Überraschung“ bezeichnet. „Die Handhabung von Diskontinuitäten ist (...) eng verbunden mit der Idee einer *Strategischen Frühaufklärung*, die ein frühzeitiges Sich-Einstellen auf die sich auftauchenden Entwicklungsbrüche ermöglichen soll (...)“ (Kirsch/Knyphausen/Ringsletter 1989, S. 7, Hervorhebungen im Original). Für eine Vertiefung zum Management *by flexible/rapid response* (strategisches *Issue-Management*, schwache Signale-Management, Überraschungs-Management) vgl. exemplarisch Staehle (1994, S. 583) und Ansoff/McDonnell (1990, S. 18-23).

<sup>85</sup> Für weitere Definitionen zum Begriff des strategischen Managements siehe exemplarisch Welge/Al-Laham (2012, S. 23), Alkhafaji (2003, S. 18) und Farjoun (2002, S. 578).

<sup>86</sup> Siehe in Korrespondenz Abbildung 14 in Kapitel 3.1.2.2.

<sup>87</sup> Die Bezeichnung der Subsysteme wählen z. B. auch Becker/Fallgatter (2007, S. 48ff.). Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 55) wählen hingegen den Begriff der Subprozesse.

Anhand der Merkmale des strategischen Managements von Hungenberg (2012, S. 4-6) kann eine Definition strategischer Entscheidungen<sup>88</sup>, stellvertretend für das strategische Management, wie folgt zusammengefasst werden: Das strategische Management bestimmt die grundsätzliche, interne (Ressourcenbasis) und externe (Marktposition) Richtung der Unternehmensentwicklung mit dem Ziel der langfristigen Sicherung des Unternehmenserfolgs durch Wettbewerbsvorteile, mit Hilfe von Handlungsmöglichkeiten, dessen Wahl aus einer übergeordneten Perspektive zu begründen ist. Diese Definition zum strategischen Management adressiert tendenziell die Management-Funktion der Lenkung.

Angelehnt an die Management-Funktion der Entwicklung ist das strategische Management das Ergebnis aus einer Gestaltung und Lenkung im Zeitablauf zu interpretieren, welches in sozialen Systemen und dynamischen Umweltveränderungen eingebettet ist. Im sozialen Gefüge der Systeme wird das strategische Management von Pfriem (2006, S. 22, Hervorhebungen im Original) „als permanente *Interaktion der Unternehmung mit ihren gesellschaftlichen Umwelten* verstanden“. In diesem Interaktionsverhältnis sind Unternehmen nicht als Anpasser, sondern als aktive Mitgestalter zu verstehen (Schneidewind 1998, S. 18, 24), die sich im Hinblick auf ihre Unternehmensentwicklung „sehr ausdrücklich und konkret mit *künftig möglichen Entwicklungen der Gesellschaft* und ihrer eigenen Rolle dabei befassen“ (Pfriem 2006, S. 23, Hervorhebungen im Original).

Angelehnt an die Ergebnisextraktion der Gestaltung und Lenkung im Zeitablauf gemäß der Entwicklungsfunktion des Managements definiert Bleicher (2011) das strategische Management durch den von Gälweiler (1986, 1987) geprägten Begriff der Erfolgspotenziale: „Strategisches Management ist auf den *Aufbau, die Pflege und die Ausbeutung von Erfolgspotenzialen* gerichtet, für die Ressourcen eingesetzt werden müssen“ (Bleicher 2011, S. 89, Hervorhebungen im Original). Ein Erfolgspotenzial wird dabei als „das gesamte Gefüge aller jeweils produkt- und marktspezifischen erfolgsrelevanten Voraussetzungen [verstanden], die spätestens dann bestehen müssen, wenn es um die Erfolgsrealisierung geht“ (Gälweiler 1987, S. 26). Erfolgspotenziale entstehen durch strategische Entscheidungen und sind die Voraussetzung für ein ertragsreiches Arbeiten in der Zukunft (Gälweiler 1986, S. 246). „Die Erfolgspotentiale (...) können durch das Management nicht angewiesen, sondern nur aktiviert, gefördert, kanalisiert oder aber auch behindert werden.“ (Reimer 1995, S. 183) Zu den zentralen, übergeordneten Kategorien der Erfolgspotenziale zählen:

„attraktive Wettbewerbspositionen in spezifischen Absatzmärkten (...), dauerhafte marktwirksame Wettbewerbsvorteile im Angebot (...) [und] dauerhafte angebotswirksame Wettbewerbsvorteile bei den Ressourcen (...)“. (Grünig/Kühn 2000, S. 37)

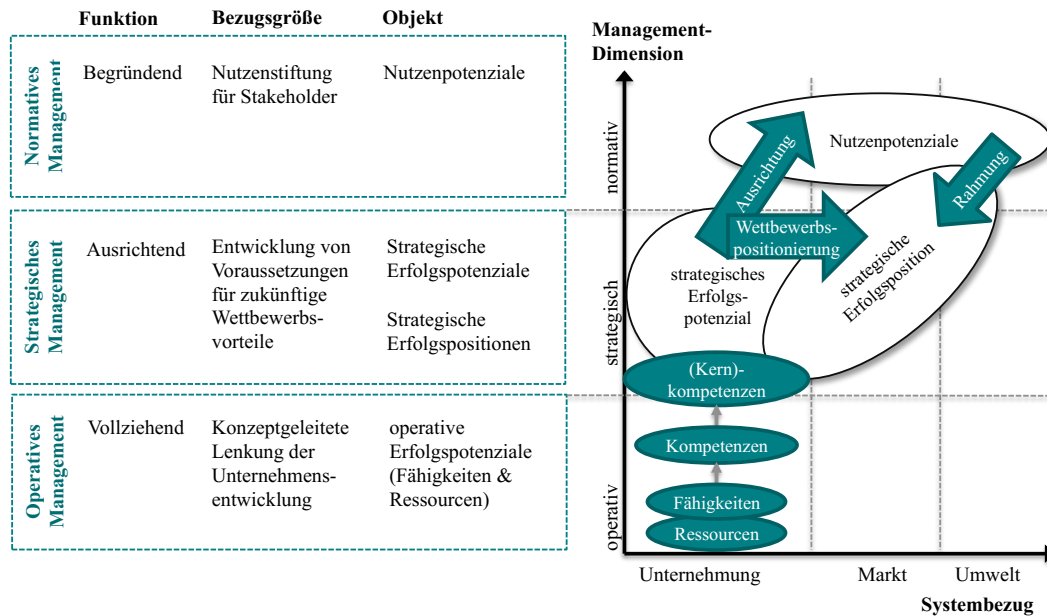
---

<sup>88</sup> Strategische Entscheidungen stellvertretend für das strategische Management heranzuziehen, wird an dieser Stelle durch folgende Begriffsbestimmungen legitimiert, um nicht zuletzt die Überschneidungen zu verdeutlichen: „Eine Strategie ist eine Folge von bedingten Entscheidungen.“ (Eisenführ/Weber 2003; S. 19) Eine ähnliche Argumentationslinie konstatieren Rumelt/Schendel/Teece (1991, S. 6). Strategische Entscheidungen sind wichtig, sie umfassen eine starke Bindung von Ressourcen und sie sind nicht leicht umkehrbar (Grant 2010, S. 14). „Diese allgemeine Eingrenzung gibt den Hinweis, dass Entscheidungen, die einfach revidiert werden können oder die ohne das Eingehen von Verpflichtungen im Sinn der Ressourcenbindung erfolgen können, sowie Entscheidungen, die nicht für das Unternehmen insgesamt als sehr wichtig zu betrachten sind, operativer oder taktischer Natur sind.“ (Ehrmann 2006, S. 7)



Erfolgspotenziale können vertiefend analog zu den Ebenen des Managements in normative, strategische und operative Erfolgspotenziale differenziert werden, wie die nachfolgende Abbildung 17 zeigt.

Abbildung 17: Zusammenhang Erfolgsposition, Erfolgspotenzial und Management-Dimensionen



Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Binder/Kantowsky (1996, S. 65, 67).

Normative Erfolgspotenziale sind Nutzenpotenziale, die „durch die Erfüllung von Forderungen von Bezugsgruppen nach Stiftung eines Nutzens durch die Unternehmung“ (Bleicher 2011, S. 436) im Sinn des Stakeholder-Ansatzes entstehen. Die Voraussetzung für die Entstehung von Nutzenpotenzialen eines Unternehmens in einem „marktwirtschaftlichen System“ (ebd.) sind die strategischen Erfolgspotenziale, die sich über die Potenziale aus den Bereichen der Technologie und Marktbeziehungen, sowie Human- und Managementpotenzialen „zu einem spezifischen Kundennutzen im Vergleich zum Angebot der übrigen Wettbewerber“ (ebd., S. 435f., Hervorhebungen im Original) verdichten. Nutzenpotenziale sind die „Quellen der Wertschöpfung“ (Pümpin 1992, S. 20).<sup>89</sup>

Daraus resultierend sind strategische Erfolgspotenziale die Voraussetzung für Nutzenpotenziale der normativen Management-Dimension und bilden gleichzeitig die Rahmung für strategische Erfolgspotenziale – damit besteht ein wechselseitiges Einflussverhältnis.<sup>90</sup> Die innerhalb des normativen Managements festgelegten Grundsätze und Ziele<sup>91</sup> bilden den Entstehungspunkt für die strategischen Erfolgspotenziale (Bleicher 2011, S. 437). Strategische Erfolgspotenziale sind der unternehmensinterne „Speicher spezifischer Stärken (...), die es ermöglichen, die Unternehmung in einer veränderlichen Um-

<sup>89</sup> Für eine ausführliche Darstellung interner und externer Nutzenpotenziale wird auf Pümpin (1992, S. 19-24) verwiesen.

<sup>90</sup> Siehe Abbildung 17: Zusammenhang Erfolgsposition, Erfolgspotenzial und Management-Dimensionen.

<sup>91</sup> Siehe für eine ausführlichere Darstellung der normativen Management-Dimension das vorangegangene Kapitel 3.1.2.2.

welt erfolgreich zu positionieren und somit den langfristigen Unternehmenserfolg zu sichern” (Bea/Haas 2013, S. 495).

Strategische Erfolgspositionen sind Wettbewerbspositionen, die als Resultat der strategischen Erfolgspotenziale am Markt zu verstehen sind.<sup>92</sup> Sie sind eine bewusst geschaffene Voraussetzung, um eine „Konkurrenzüberlegenheit und damit langfristig überdurchschnittliche Ergebnisse zu erreichen“ (Pümpin 1986, S. 34). Strategische Erfolgspositionen sind demzufolge das Ergebnis strategischen Handelns, welches sich in der „Effektivität der Umsetzung normativer Vorgaben und (...) Effizienz ihrer operativen Umsetzung“ (Bleicher 2011, S. 437, Hervorhebungen im Original) spiegelt.<sup>93</sup> Die Umwandlung der bewusst geschaffenen Voraussetzungen (strategische Erfolgspotenziale) in eine strategische Erfolgsposition am Markt erfolgt über die operative Realisierung, welches „dann im Laufe der Zeit zu einer veränderten Positionierung am Markt“ (ebd., S. 438f.) führt.

In der operativen Management-Dimension stehen Fähigkeiten und Ressourcen im Mittelpunkt der Betrachtung, die Bestandteil der Kompetenzbasis sind (Hungenberg 2014, S. 149), (Bleicher 2011, S. 439).<sup>94</sup> Daraus abgeleitet, handelt es sich bei operativen Erfolgspotenzialen um Kompetenzen, die durch die Bündelung von Fähigkeiten und Ressourcen entstehen. Handelt es sich bei den Kompetenzen ferner um Kernkompetenzen einer Unternehmung, dienen sie als Basis für die Kernprodukte und im Weiteren für die Endprodukte eines Unternehmens (Prahalad/Hamel 1990, S. 85), und stehen in einer engen Korrespondenz zu den strategischen Erfolgspotenzialen: Kernkompetenzen sind das interne Vermögen einer Unternehmung im Sinn des ressourcenorientierten Ansatzes des strategischen Managements und strategische Erfolgspotenziale sind das externe Vermögen einer Unternehmung im Sinn des marktorientierten Ansatzes (Bleicher 2011, S. 440), (Zohm 2004, S. 69).<sup>95</sup>

**Aus den oben dargestellten Charakteristika der Definitionen zu den Termini Strategie, Management und strategisches Management wird für diese Arbeit folgende Definition des strategischen Managements vorangestellt:**

Das strategische Management gestaltet, lenkt und entwickelt unternehmerisches Denken und Handeln in komplexen, langfristigen, dynamischen und unsicheren Umwelten mit dem auf einen unternehmerischen Erfolg gerichteten Ziel, um mit Hilfe von Veränderungsfähigkeit (Transformation) und Widerstandsfähigkeit (Resilienz) Diskontinuitäten zu begegnen, effektiv und effizient zu wirtschaften und über die (operative) Wandlung von strategischen Erfolgspotenzialen in strategische Erfolgspositionen Wettbewerbsvorteile zu generieren. Dabei ist sowohl eine horizontale und vertikale Integration der einzelnen Strategiearten und -typen entlang der Management-Dimensionen (normativ, strategisch, operativ) anzustreben, als auch die Kopplung des Unternehmens mit seiner Umwelt, um dem Anspruch eines ganzheitlichen *strategy fit* und *strategic fit* zu genügen. Das strategische Management wird folglich als funktional, aktiv und geplant, verstanden, mit dem Ziel die gewünschte Unternehmensentwicklung zu erreichen.

---

<sup>92</sup> Siehe Abbildung 17: Zusammenhang Erfolgsposition, Erfolgspotenzial und Management-Dimensionen.

<sup>93</sup> Siehe zudem die vorausgegangenen Ausführungen zur Effektivität und Effizienz in Kapitel 3.1.2.1.

<sup>94</sup> Siehe für eine ausführliche Definition der Termini Fähigkeiten, Ressourcen und Kernkompetenzen die Ausführungen zum kompetenzorientierten Forschungsansatz des strategischen Managements in Kapitel 3.3.2.4.

<sup>95</sup> Siehe für eine ausführliche Darstellung der markt- und ressourcenorientierten Forschungsansätze des strategischen Managements die Kapitel 3.3.2.2 und 3.3.2.3.

### 3.2 Prozessmodell zur Strategieentwicklung

Zur Systematisierung des strategischen Managements und seines Ablaufs eignet sich ein Prozessmodell, welches die Aufgaben ordnet, die Struktur und die Schrittfolge zur Strategieentwicklung und die einzelnen Prozessphasen zueinander in Beziehung setzt. Die Tabelle 42 in Anhang A.1 zeigt einen Vergleich ausgewählter Prozessmodelle des strategischen Managements. Die Tabellenspalten sind in fünf Stufen gegliedert und ordnen die einzelnen in der Literatur identifizierten (Prozess-)Phasen diesen fünf Stufen zu. Dieses Vorgehen lehnt sich an das analytische Vorgehen von Gilbert/Behnam (2009) an, wobei sie lediglich die nachfolgenden vier Stufen des Strategieentwicklungsprozesses wählen:

1. *Strategic analysis*,
2. *Strategy formulation*,
3. *Strategy implementation*,
4. *Strategic control* (ebd., S. 72).

Die Synopse der einzelnen Prozessmodelle des strategischen Managements zeigt, dass neben den vier von Gilbert/Behnam (2009, S. 72) gewählten Stufen, eine weitere Prozessstufe vermehrt in der wissenschaftlichen Literatur beschrieben wird: Die Stufe der strategischen Zielplanung. Zusammenfassend können dem folgend fünf zentrale Stufen eines Prozessmodells des strategischen Managements festgehalten werden:

1. Strategische Zielplanung,
2. Strategische Analyse,
3. Strategieformulierung,
4. Strategieimplementierung,
5. Strategische Kontrolle.

Diese fünf Stufen sind „eng miteinander verwoben und bauen aufeinander auf“ (Kreikebaum/Gilbert/Behnam 2011, S. 56), z. T. überlappen sie sich (ebd.). Das Ergebnis des Durchlaufens der einzelnen Prozessphasen zeichnet die „Richtung für das strategische Handeln“ (ebd., S. 55) vor. Zwei Phasen, die in der wirtschaftswissenschaftlichen Theorie besonders hervorgehoben werden, sind die Phase 3 Strategieformulierung und die Phase 4 Strategieimplementierung (ebd., S. 56)<sup>96</sup>. Dabei wird der Phase der Strategieformulierung die Frage nach der Effektivität und der Phase der Strategieimplementierung die Effizienzfrage zugeordnet, damit das strategische Management nicht „wirkungslos und eine bloße ‘intellektuelle Spielerei’“ (Welge/Al-Laham 2012, S. 791) bleibt.<sup>97</sup>

Um den langfristigen Unternehmenserfolg zu sichern, ist es notwendig einen *strategic fit* zwischen diesen Prozessphasen zu erzeugen und zu sichern (Bea/Haas 2013, S. 495), (Kreikebaum/Gilbert/Behnam 2011, S. 56). Mit dem Anspruch der „Orientierung strategischen Verhaltens an der sozialen Verantwortung (*‘Corporate Social Responsibility’*)“ (Bea/Haas 2013, S. 13, Hervorhebungen der Verfasserin) und damit der „Bereitschaft Zukunftsverantwortung zu übernehmen und die Nachhaltigkeit in das Zielsystem zu integrieren“ (ebd.) gewinnt die mehrdimensionale, ganzheitliche Betrachtung und das „integrativ-systemische Denken“ (ebd.) zunehmend an Bedeutung. Dieses bestärkt die

---

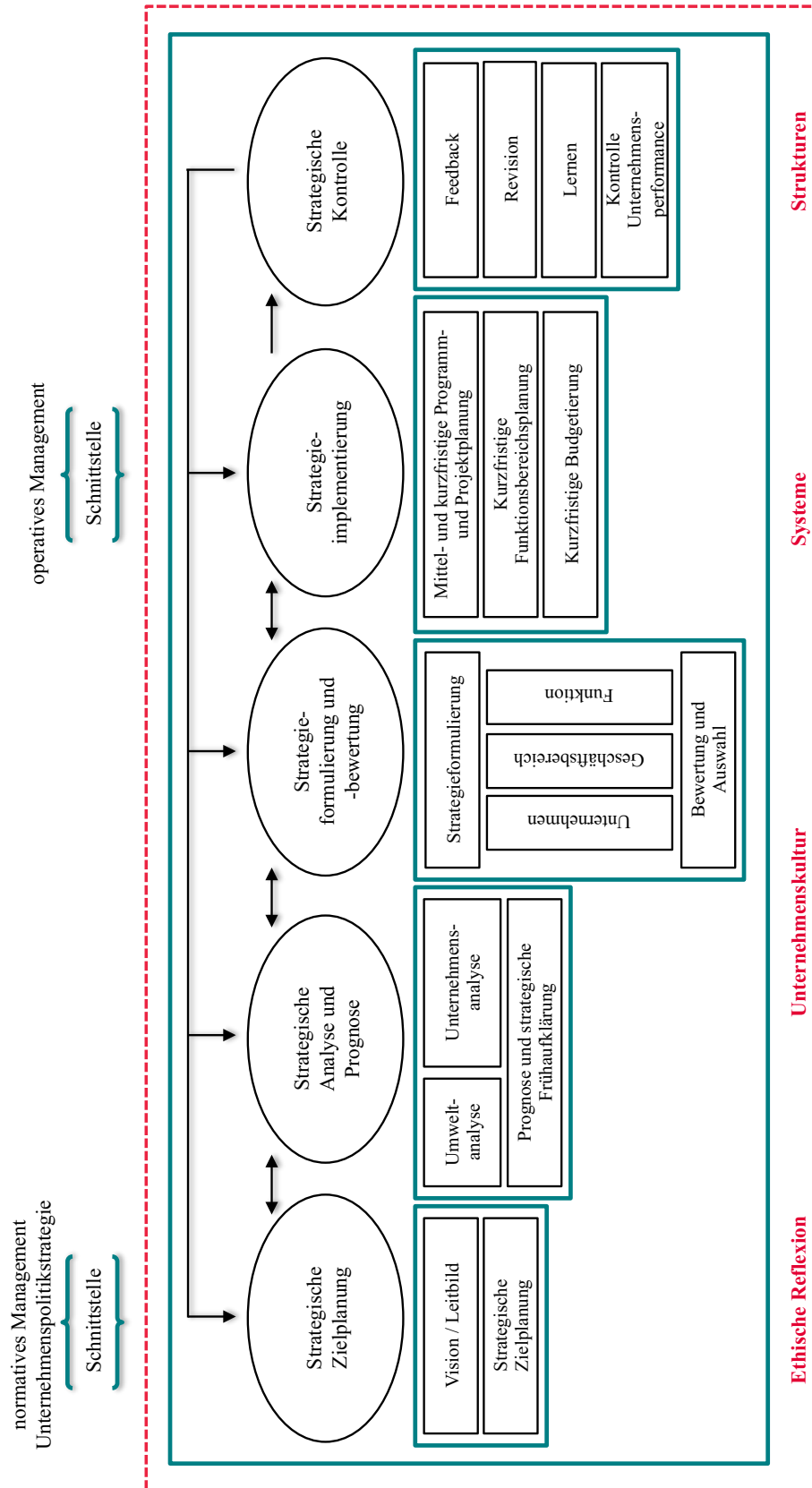
<sup>96</sup> Dieses spiegelt auch die Definition des strategischen Managements von Welge/Al-Laham (2012, S. 23) wider, in der das strategische Management als ein Prozess definiert wird „in dessen Mittelpunkt die Formulierung und Umsetzung von Strategien in Unternehmungen steht“.

<sup>97</sup> Siehe für eine ausführlichere Darstellung der Effektivität und Effizienz Kapitel 3.1.2.1.

Notwendigkeit des *strategic fit* zwischen den Prozessphasen, Subsystemen und Strategien. Um ein *strategic fit* zu erreichen, darf das Phasenmodell des strategischen Managements aber nicht durch Linearität und Irreversibilität gekennzeichnet sein, sondern durch einen iterativen Prozesscharakter mit Vor- und Rückkopplungsschleifen (Bea/Haas 2013, S. 58), (Kreikebaum/Gilbert/Behnam 2011, S. 56).

Zur Visualisierung ist in der nachfolgenden Abbildung 18 ein Prozessmodell des strategischen Managements dargestellt, welches auch den iterativen Prozesscharakter mit Vor- und Rückkopplungsschleifen skizziert. Das Prozessmodell ist gemäß Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 55f.) in ein System aus Strukturen, Systemen, Unternehmenskultur und der ethischen Reflexion eingebettet. Ferner sind in der Abbildung die zentralen Schnittstellen zum normativen und operativen Management eingezeichnet.

Abbildung 18: Prozessmodell strategisches Management



Quelle: Eigene, modifizierte Darstellung nach Welge/Al-Laham (2012, S. 186), Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 55).

### 3.3 Theoretische Einbettung des strategischen Managements

Die theoretische Grundlage des strategischen Managements besteht aus einer Vielzahl an Forschungsansätzen, die durch Interdisziplinarität und Separation gekennzeichnet sind (Welge/Al-Laham 2012, S. 25), (Bea/Haas 2013, S. 27), (Wurm 2003, S. 28). Auf Grund des „Fehlen[s] eines originären, forschungsleitenden und allgemein anerkannten Paradigmas“ (Welge/Al-Laham 2012, S. 25) werden im Folgenden grundsätzliche Forschungsbereiche und -strömungen dargestellt. Anschließend werden die in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur identifizierten Forschungsansätze im Überblick dargestellt und ausgewählte Ansätze einer detaillierteren Betrachtung unterzogen.

#### 3.3.1 Forschungsbereiche und -strömungen

Die Forschungsbereiche im strategischen Management sind in eine Strategieinhaltsforschung (*strategy content*), eine Strategieprozessforschung (*strategy process*) und eine Strategiekontextforschung (*strategy context*) zu unterscheiden (Kreikebaum/Gilbert/Behnam 2011, S. 45).<sup>98</sup> Die Strategieinhaltsforschung richtet den Fokus auf die Frage, was zu entscheiden ist, während die Strategieprozessforschung auf die Beantwortung der Frage abzielt, wie die Durchsetzung der Entscheidung erfolgen soll (Knyphausen-Aufseß 1995, S. 38).<sup>99</sup> Die Strategiekontextforschung setzt den Untersuchungsfokus hingegen auf die „internen und externen Rahmenbedingungen, welche die Strategieprozesse in Unternehmen beeinflussen“ (Kreikebaum/Gilbert/ Behnam 2011, S. 50) und sucht Antworten auf die Frage nach der Verortung des strategischen Managements „innerhalb und außerhalb des Unternehmens“ (ebd.).

Die Strategieinhalts-, Strategieprozess- und Strategiekontextforschung werden zwar als individuelle Forschungsbereiche deklariert, sind allerdings in einem Kontext zu betrachten:

„Die drei Dimensionen sind rekursiv miteinander verwoben und betrachten strategische Probleme aus verschiedenen Blickwinkeln. (...) Durch die rekursive Verknüpfung von ‘Process’ und ‘Context’ sind die Voraussetzungen dafür zu schaffen, erfolgsrelevanten ‘Content’ im Strategieprozess zu generieren. (...) Wenn Unternehmen erfolgreich strategisches Management betreiben wollen, müssen sie stets auf der Prozess- und Inhaltsebene denken und gleichzeitig die kontextuellen Rahmenbedingungen berücksichtigen.“ (Kreikebaum/Gilbert/ Behnam 2011, S. 51, Hervorhebungen der Verfasserin)

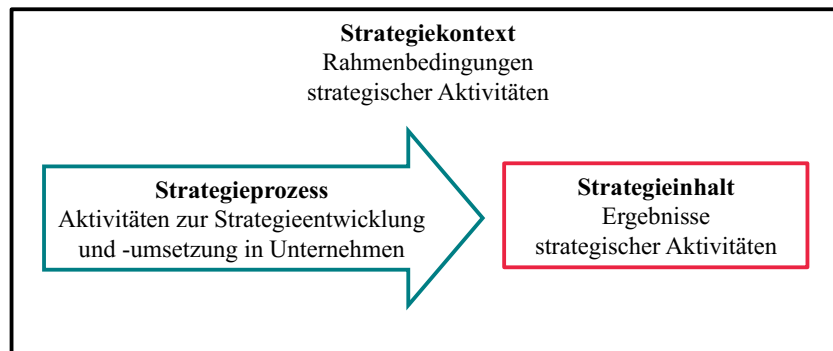
Die nachfolgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen den drei Forschungsreichen.

---

<sup>98</sup> Eine Auflistung empirischer Arbeiten zur Strategieinhaltsforschung halten Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 49) bereit.

<sup>99</sup> Kritisch anzumerken ist, dass gemäß Welge/Al-Laham (2012, S. 183) weder die Strategieinhalts- noch die Strategieprozessforschung bislang einen Beitrag „zu einem einheitlichen, systematischen Theorieaufbau mit dem Ziel eines wissenschaftlich gesicherten Aussagensystems“ geleistet haben.

**Abbildung 19: Forschungsbereiche strategisches Management**



Quelle: Eigene Darstellung nach Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 51).

Ferner können den Forschungsbereichen der Strategieinhalts- und Strategieprozessforschung zwei unterschiedliche Forschungsströmungen zugeordnet werden. Die Strategieinhaltsforschung, der die präskriptiv-rationale Forschungsströmung zugeordnet werden kann, fokussiert den Zusammenhang von Strategieinhalten und -typen und ihrem Erfolgsbeitrag (*performance*), mit dem Ziel einer kohärenten Strategie(-Entwicklung). Die wissenschaftliche Methodik des rational-präskriptiven Planungsansatzes ist vornehmlich eine normativ-analytische, wobei sie um empirisches Wissen anzureichern ist, damit die Handlungsempfehlungen zur Strategieentwicklung auch dem Anspruch der Wirksamkeit genügen können. Die Strategieprozessforschung, der die deskriptiv-empirische Forschungsströmung zugeordnet werden kann, richtet den Fokus auf das Zustandekommen der Strategieinhalte und der dabei notwendigen Teilprozesse und ihrem Ablauf. Sie kann weiterführend in die deskriptive Strategieanalyse mit dem Schwerpunkt der strategischen Entscheidungs- bzw. Veränderungsprozesse sowie einer empirischen Planungsforschung unterteilt werden. (Bea/Haas 2013, S. 27f.), (Welge/Al-Laham 2012, S. 159f.), (Becker/Fallgatter 2007, S. 46), (Schreyögg 1984, S. 141-147, 273, 276)

Da in Anlehnung an Schreyögg (1984, S. 276f.) keine eindeutige Wahl zwischen den Forschungsbereichen und -strömungen zu treffen ist,<sup>100</sup> wird an dieser Stelle der Dreiklang der Forschungsbereiche anhand des dieser Arbeit zugrunde liegenden Forschungsdesigns<sup>101</sup> gespiegelt.

Die im Fokus dieser Arbeit liegenden strategischen Geschäftsmodellinnovationen, als Unternehmensantwort auf komplexe, dynamische, unsichere und langfristige Veränderungen werden über zwei Fallstudien ganzheitlich untersucht. Die Ganzheit bezieht sich dabei auf alle drei Forschungsbereiche: Die Strategieinhaltsforschung (Welche strategischen Geschäftsmodellinnovationen stehen zur Wahl?), die Strategiekontextforschung (Welche Rahmenbedingungen beeinflussen die Transformation von Systeminnovationen in Geschäftsmodellinnovationen?) und die Strategieprozessforschung (Wie kommen die Geschäftsmodellinnovationen (nicht) auf die Agenda der Unternehmung?). Die Fallstudien dienen dem Zweck, empirisches Wissen zu generieren, um die theoretisch abgeleiteten Erkenntnisse über eine praxisorientierte Kontextualisierung zu diskutieren.

<sup>100</sup> Auch Mintzberg/Ahlstrand/Lampel (1999, S. 355, 411, 418) postulieren, dass eine Differenzierung in eine Denkschule nicht notwendig, sogar kontraproduktiv sei, da mit dem Ziel einer ganzheitlichen Strategieentwicklung bestenfalls Aspekte aus verschiedenen Perspektiven miteinander verknüpfend untersucht werden sollten.

<sup>101</sup> Siehe Kapitel 2.

### 3.3.2 Forschungsansätze

#### 3.3.2.1 Überblick

Aufbauend auf der Differenzierung zwischen deskriptiver und präskriptiver Forschung setzt Mintzberg (1990) mit den »*Ten Schools of Thought*« an – einer Klassifizierung und Systematisierung der bis dato maßgeblichen Forschungsansätze des strategischen Managements zur Strategieentwicklung.<sup>102</sup>

**Tabelle 7: *Ten Schools of Thought*<sup>103</sup>**

<b>Denkschule</b>	<b>Strategieentwicklung als...</b>	<b>Intention</b>	<b>Forschungsströmung</b>
Designschule	Konzeptioneller Prozess	Abstimmen	Präskriptiv
Planungsschule	Formaler Prozess	Formalisieren	Präskriptiv
Positionierungsschule	Analytischer Prozess	Analysieren	Präskriptiv
Umweltschule	Reaktiver, passiver Prozess	Sich anpassen	Deskriptiv
Kognitive Schule	Mentaler Prozess	In Rahmen einordnen	Deskriptiv
Lernschule	Sich herausbildender Prozess	Lernen	Deskriptiv
Machtschule	Verhandlungsprozess	Sich aneignen	Deskriptiv
Kulturschule	Kollektiver Prozess	Verschmelzen	Deskriptiv
Unternehmerschule	Visionäre Prozess	Vorstellungen entwickeln	Deskriptiv, z. T. Präskriptiv
Konfigurationsschule	Transformationsprozess	Integrieren, umwandeln	Deskriptiv und Präskriptiv

Quelle: Eigene Darstellung nach Mintzberg (1990, S. 108), Mintzberg/Lampel (1999, S. 23f.), Mintzberg/Ahlstrand/Lampel (1999, S. 17, 396f.).

Ausgehend von der Zuordnung zu den Forschungsströmungen können die Denkschulen in drei Zweige eingeordnet werden. Die Design-, Planungs-, und Positionierungsschule beruhen auf einem präskriptiven Ansatz und postulieren Vorschriften, wie ideale Strategien zu formulieren sind. Der zweite Zweig basiert auf dem deskriptiven Ansatz und beschreibt die tatsächliche Entstehung der Strategien und beleuchtet damit spezifische Prozessteilbereiche der Strategieentwicklung. Er beinhaltet die kognitive Schule, die Lern-, Macht-, und Kulturschule sowie die Umweltschule, wobei letztere auch zum Teil präskriptive Einflüsse besitzt. (Mintzberg/Ahlstrand/Lampel 1999, S. 17-19) Der dritte Zweig besteht aus der Konfigurationsschule, die „in Wirklichkeit alle anderen [Denkschulen] in sich vereint“ (ebd., S. 19) und deren bestreben es ist, „die bestehenden Denkrichtungen zu integrieren“ (ebd.). Die Konfigurationsschule basiert daher sowohl auf einem präskriptiven, als auch auf einem deskriptiven Ansatz und beschäftigt sich mit der Konfiguration von Zuständen sowie der Transformation d. h. dem strategischen Wandel (ebd., S. 19, 340).

<sup>102</sup> Anzumerken ist an dieser Stelle, dass die Denkschulen maßgeblich auf den Strategieformulierungsprozess fokussiert sind und damit nicht alle Phasen des Prozessmodells bzw. der Subsysteme (siehe Kapitel 3.2) gleichermaßen adressiert werden.

<sup>103</sup> Im Gegensatz zu den Originalschriften von Mintzberg (1990) und Mintzberg/Lampel (1999) wurde die Reihenfolge der Denkschulen zu Gunsten der Kategorisierung der Forschungsströmungen in präskriptive, deskriptive und Mischformen verändert, welches der Ordnung von Mintzberg/Ahlstrand/Lampel (1999) entspricht.



Der Kontrast zwischen den präskriptiven und deskriptiven Schulen ist zu einem gewissen Grad durch eine grundlegende Haltung demgegenüber geprägt, wie Forschung und Wissen entwickelt werden sollten (Mintzberg/Lampel 1999, S. 29). Die Befürworter der präskriptiven Schulen neigen zu einem *managed-growth* Ansatz des Wissens: Sie düngen und trimmen vorsichtig, um störende Einflüsse zu beherrschen bzw. einzudämmen (ebd.). Im Gegensatz dazu bevorzugen die deskriptiven Schulen einen *natural-growth* Ansatz des Wissens, gleichwohl sie Veredelungen vornehmen, um zu sehen, welche Ergebnisse entstehen (ebd.).

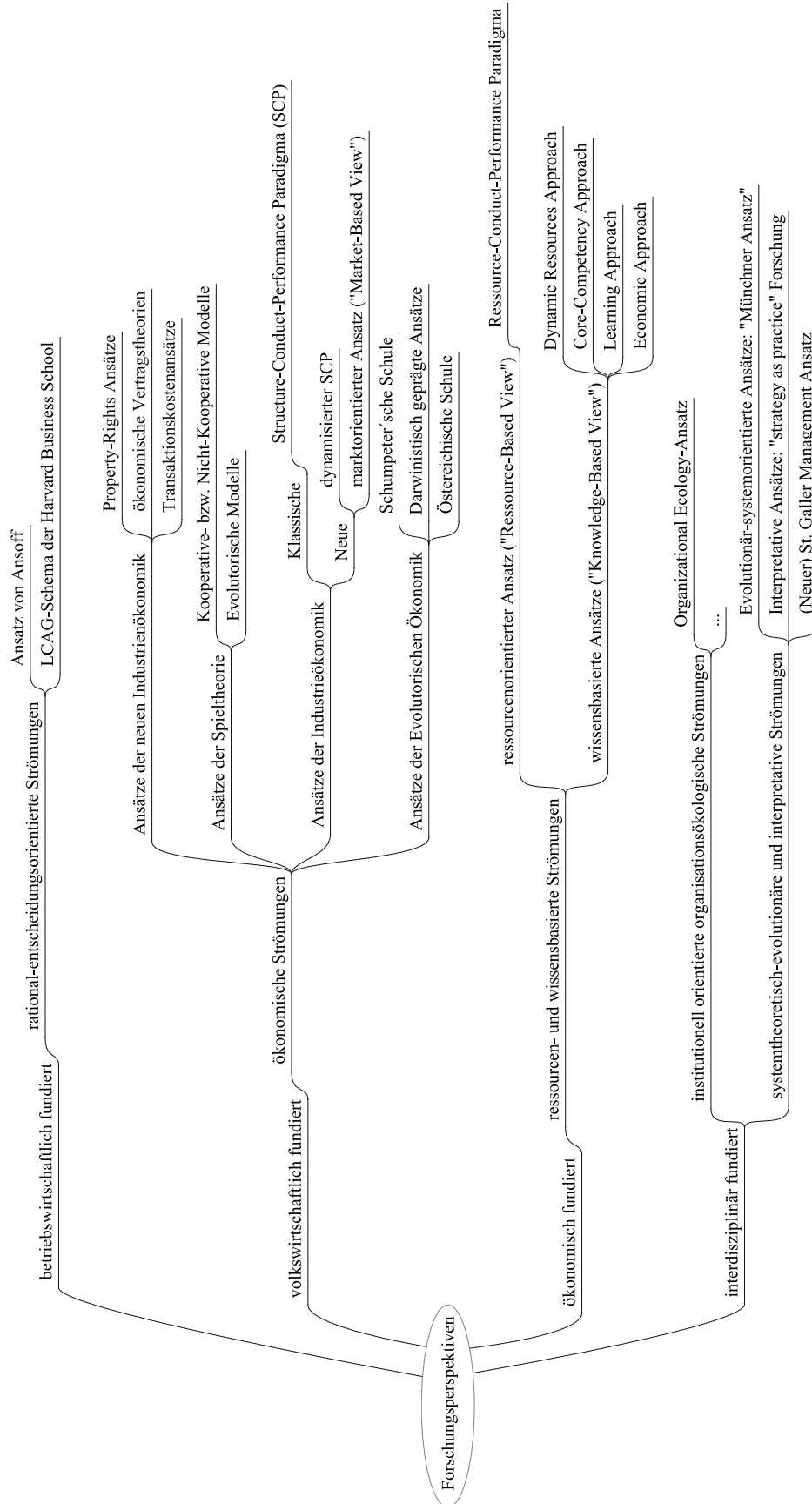
Mintzberg leistet mit den *Ten Schools of Thought* einen zentralen Beitrag zur Kartografie „[d]urch den Strategie-Theorien-Dschungel“ (Klaus 1987) und eröffnet damit nicht zuletzt mögliche Ansatzpunkte für die zukünftige Forschung. Die Kritik<sup>104</sup> an Mintzbergs Systematisierung, besonders die mangelnde Vollständigkeit und fehlende Überschneidungsfreiheit, führt Welge/Al-Laham (2012, S. 28) zu einer umfassenden Kategorisierung der Forschungsansätze – klassifiziert nach wissenschaftlichen Disziplinen. Auf der Grundlage der textlichen Struktur von Welge/Al-Laham (2012, S. 25-158) visualisiert die Abbildung 20 diese Systematisierung differenziert nach wissenschaftlichen Disziplinen.

Anzumerken ist, dass die feineren Äste z. T. von der textlichen Struktur von Welge/Al-Laham (2012, S. 25-158) abweichen. Die Klassifizierung von Welge/Al-Laham (2012) wurde um den St. Galler Ansatz in Anlehnung an Bea/Haas (2013, S. 34), um das *resource-conduct* Paradigma nach Rühli (1994, S. 42) und um den fähigkeitsorientierten Ansatz (*capability-based view*) nach Müller-Stewens/Lechner (2005, S. 359 f.) erweitert. Ferner ist anzuführen, dass die Abbildung 20 keine eindeutigen Zusammenhänge zur Entstehung der Forschungsströmungen zeichnet: Z. B. haben sich gemäß Müller-Stewens/Lechner (2005, S. 359-364) die wissensorientierten Ansätze und der fähigkeitsorientierte Ansatz aus dem ressourcenorientierten Ansatz herausgebildet. Abschließend ist an dieser Stelle hervorzuheben, dass die dargestellte Untergliederung eine mögliche, maßgeblich in Anlehnung an die textliche Struktur Welge/Al-Lahams (2012, S. 25-158) dargestellte Systematisierung der Forschungsansätze darstellt, denkbar sind desgleichen *mindmaps* auf Basis anderer Grundlagen.

---

<sup>104</sup> Vgl. zur Kritik an den zehn Denkschulen Mintzbergs insbesondere Knyphausen-Aufseß (1995, S. 24, 26) und Ansoff (1991).

Abbildung 20: Systematisierung Forschungsansätze anhand wissenschaftlicher Disziplinen des strategischen Managements



Quelle: Eigene Darstellung.

In einer grafischen Übersicht zeigt die Abbildung 20 die Forschungsansätze des strategischen Managements, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht und in den feineren Gliederungsebenen nur ausgewählte Teilbereiche visualisiert werden konnten. Nichtsdestoweniger zeigt die Abbildung die Fülle und Breite unterschiedlicher Forschungsansätze des strategischen Managements. Für eine differenzierte Betrachtung werden an dieser Stelle drei ausgewählte Forschungsansätze auszugswise näher betrachtet: Der markt-, ressourcen- und kompetenzorientierte Ansatz. Die Auswahl der Ansätze wird mit folgenden Argumenten begründet:<sup>105</sup>

- Die ausgewählten Ansätze zählen zu den Entwicklungsmeilensteinen des strategischen Managements (Binder/Kantowsky 1996, S. 19).
- Wie in Kapitel 4.4 noch dargestellt wird, vereint der strategieorientierte Ansatz der Geschäftsmodellforschung den marktorientierten und ressourcenorientierten Ansatz des strategischen Managements. Für die Ableitung von strategischen Geschäftsmodellinnovationen als Instrument des strategischen Managements wird mit den ausgewählten Forschungsansätzen eine einheitliche Grundlage geschaffen.
- In enger Verbundenheit mit dem ressourcenorientierten Ansatz steht der Forschungsstrang der wissensorientierten Ansätze, der auch als wissenschaftliche Weiterentwicklung des ressourcenorientierten Ansatzes bezeichnet wird (Welge/Al-Laham 2012, S. 87). Bei den wissensorientierten Strömungen ist der seit den 90er Jahren des 20. Jh. relativ junge Ansatz der Kernkompetenzen (*core-competency approach*) hervorzuheben, der in dieser Arbeit auf seinen Beitrag im Rahmen der strategischen Einbettung von Geschäftsmodellen hinterfragt werden soll.

Der Annahme der gestaltungsorientierten Ansätze der Strategieforschung zufolge ist „der Erfolg das Ergebnis rational planbarer Gestaltungsprozesse“ (Bea/Haas 2013, S. 28). Dabei kann der Unternehmenserfolg aus einer marktorientierten (*market-based view*) und aus einer ressourcenorientierten (*resource-based view*) Perspektive heraus begründet werden (ebd.). Zur Beschreibung der Quellen des Unternehmenserfolgs ist desgleichen eine Kombination dieser beiden Ansätze möglich (ebd., S. 33). Denn für ein Unternehmen sind Ressourcen und Produkte zwei Seiten ein und derselben Medaille (Wernerfelt 1984, S. 171). Durch die *outside-in* (marktorientierte) und die *inside-out* (ressourcenorientierte) Perspektive setzten sie „zwar unterschiedliche Akzente“ (Buchholz/Olemotz 1995, S. 27), ergänzen sich aber statt zu konkurrieren und stehen damit in einem komplementären Verhältnis zueinander (ebd.).<sup>106</sup> Beide Ansätze haben dieselbe Aufgabe (Identifikation strategischer Erfolgsfaktoren) und verfolgen dasselbe Ziel (Erklärung überdurchschnittlicher *performance* (bzw. Renten<sup>107</sup>)), unterscheiden sich aber in der Frage, wie die Strategie zur Erreichung und Sicherung dieses Ziels am besten entwickelt werden soll (Bea/Haas 2013, S. 28), (Welge/Al-Laham 2012, S. 88), (Kreikebaum/Gilbert/Behnam 2011, S. 117).

---

<sup>105</sup> Im Umkehrschluss bedeutet dieses nicht, dass andere Forschungsansätze des strategischen Managements nicht ebenfalls bedeutend für die Einbettung und Ableitung strategischer Geschäftsmodellinnovationen sein können.

<sup>106</sup> Vgl. exemplarisch auch Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 114), Müller-Stewens/Lechner (2005, S. 15), Nolte/Bergmann (1998, S. 6), Amit/Schoemaker (1993, S. 35) und Mahoney/Pandian (1992, S. 363).

<sup>107</sup> Für eine vertiefende Darstellung des Zusammenhangs von mikroökonomischen Rentenkonzepten und den markt-, ressourcen- und fähigkeitsorientierten sowie wissensbasierten Ansätzen wird u. a. auf Welge/Al-Laham (2012, S. 82, 88-90) und Müller-Stewens/Lechner (2005, S. 356-364) verwiesen.

Die Brückenfunktion wird deutlicher, wenn die Ansätze anhand des Kernkompetenzbegriffs beschrieben werden: Die Identifizierung der Kernkompetenzen erfolgt beim marktorientierten Ansatz aus der Marktperspektive in Korrespondenz mit den Unternehmensstärken, d. h. es wird zunächst nach dem Absatzmarkt gesucht, der anschließend an den Kernkompetenzen gespiegelt wird (Nolte 1998, S. III). Im ressourcenorientierten Ansatz erfolgt die Identifizierung der Kernkompetenzen hingegen durch das *screening* der *organizational capabilities*, ihrem umsetzbaren Kundennutzen und der Existenz eines profitablen Marktes, d. h. zunächst werden im Unternehmen Kernkompetenzen identifiziert und erst anschließend wird ein Absatzmarkt gesucht (ebd.). Der Unterschied zwischen beiden Ansätzen im Hinblick auf die Betrachtung der Kernkompetenzen liegt damit in der Ausgangsperspektive und folglich in der zeitlichen Abfolge der Maßnahmen. Daraus abgeleitet kann das Gegenstromverfahren<sup>108</sup> der Synthese aus markt- und ressourcenorientiertem Ansatz (Bleicher 2011, S. 435), (Buchholz/Olemotz 1995, S. 28) durch die Brückenfunktion des kernkompetenzorientierten Ansatzes ergänzt werden.

### 3.3.2.2 Marktorientierter Ansatz

Der marktorientierte Ansatz der strategischen Managementforschung basiert gemäß der klassischen Industrieökonomik<sup>109</sup> auf dem *structure-conduct-performance* Paradigma nach Mason/Bain<sup>110</sup> und in einer Weiterentwicklung (neue Industrieökonomik) auf dem dynamisierten *structure-conduct-performance* Paradigma nach Porter (1981) – ein Wissenschaftler, der zu den bekanntesten und prägendsten Vertretern der jüngeren marktorientierten Ansätze zählt.<sup>111</sup>

Das *structure-conduct-performance* Paradigma beschreibt den Einfluss der Markt- bzw. Branchenstruktur (*structure*), in dem ein Unternehmen eingebettet ist, auf das strategische (Markt-)Verhalten (*conduct*) des Unternehmens. Dieses Marktverhalten determiniert im Weiteren das Ergebnis bzw. den Wettbewerbsvorteil (*performance*) der Unternehmen in der Branche. (Bea/Haas 2013, S. 30f.), (Welge/Al-Laham 2012, S. 77), (Kreikebaum/Gilbert/Behnam 2011, S. 114f.) Diese Interaktionsbeziehung fundiert auf einer exogenen (unternehmensexternen) Beeinflussung des Verhaltens und der Positionierung eines Unternehmens im Markt (Welge/Al-Laham 2012, S. 78). Das von Porter (1981, S. 616) weiterentwickelte dynamische *structure-conduct-performance* Paradigma beschreibt neben den oben aufgeführten Interaktionsbeziehungen zusätzliche Rückkopplungsschleifen von der *performance* zur Strategie und anschließend weiter zur Industriestruktur. Die zusätzlichen Rückkopplungsschleifen sind in der Abbildung 21 rot hinterlegt.

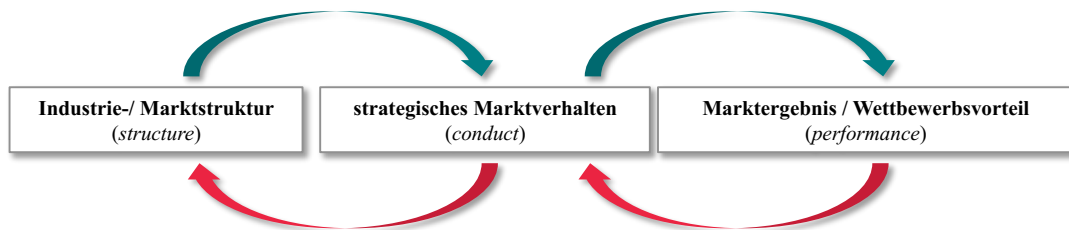
---

<sup>108</sup> Rühli (1994, S. 51) schlägt hingegen für die Kombination des markt- und ressourcenorientierten Ansatzes einen Kreislauf vor, bei dem sich die beiden Ansätze „ergänzen und bei welchem kaum auszumachen ist, ob die Markt- oder Ressourcenansätze vorrangig sind“.

<sup>109</sup> Für eine Vertiefung zur klassischen und neuen Industrieökonomik wird exemplarisch auf Bester (2017) verwiesen.

<sup>110</sup> Das *structure-conduct-performance* Paradigma wird teilweise auch Mason/Bain Paradigma genannt. Porter (1981) spricht vom Bain/Mason *industrial-organization* Paradigma, gleichwohl die Arbeiten von Bain (1956, 1968) auf den Grundlagen von Mason (1939) aufbauen.

<sup>111</sup> Vgl. exemplarisch auch Bea/Haas (2013 S. 29), Welge/Al-Laham (2012, S. 76-83), Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 114f.) und Nolte/Bergmann (1998, S. 4f.).

Abbildung 21: Dynamisches *structure-conduct-performance* Paradigma

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Porter (1981, S. 616).

Damit setzt Porter (1981) an dem maßgeblichen Kritikpunkt des *structure-conduct-performance* Paradigmas der klassischen Industrieökonomik an, die in der „Annahme einer exogen gegebenen Branchenstruktur“ (Welge/Al-Laham 2012, S. 78) besteht und geht abweichend von einer Heterogenität der „Unternehmen innerhalb einer Branche“ (Kreikebaum/Gilbert/Behnam 2011, S. 115) aus. In der neuen Industrieökonomik wird das *structure-conduct-performance* Paradigma damit um die Interaktion der Marktteilnehmenden in bestreitbaren Märkten (*contestable markets*) erweitert (Welge/Al/Laham 2012, S. 78). Dieses spiegelt sich z. B. durch die Integration der *economies of scope* (Synergieeffekte durch Verbundvorteile), die Endogenisierung der Marktstrukturen und der Notwendigkeit, neben dem gegebenen Wettbewerb auch den potenziellen Wettbewerb zu untersuchen (ebd.).

Gemäß Porter (2013, S. 38) wird die *performance* eines Unternehmens von fünf Wettbewerbskräften und ihrer Interaktion bestimmt:

- Bedrohung durch neue Konkurrenten,
- Verhandlungsmacht der Abnehmer,
- Bedrohung durch Ersatzprodukte und -dienste,
- Verhandlungsstärke der Lieferanten,
- Rivalität unter den bestehenden Unternehmen.

Die Analyse dieser *five forces* wird auch als Branchenstrukturanalyse bezeichnet und dient der Analyse der Branchenattraktivität.<sup>112</sup> Sie zählt zu den grundlegenden Instrumenten der Umweltanalyse im strategischen Management. „Basierend auf einer Analyse der Branchenstruktur sollte ein Unternehmen alle Teile der Wertkette an einem übergeordneten strategischen Ziel [Kostenführerschaft, Differenzierung, Konzentration auf Markt[nischen]] ausrichten.“ (Kreikebaum/Gilbert/Behnam 2011, S. 116)

Trotz der Weiterentwicklung von Porter besteht bedingt durch die stetige Fokussierung des marktorientierten Ansatzes auf etablierte Branchen sowie exogene Parameter (Branche, Wettbewerb) Anlass zur Kritik (Bea/Haas 2013, S. 30), (Mintzberg/Ahlstrand/Lampel 1999, S. 116). „Strategien dagegen, die bisherige Marktgrenzen verschieben oder neue Märkte schaffen, also aktiv in den Wettbewerbsprozess eingreifen und bisherige Trends brechen, werden [im marktorientierten Ansatz] systematisch vernachlässigt.“ (Bea/Haas 2013, S. 30)

<sup>112</sup> Vgl. exemplarisch auch Bea/Haas (2013, S. 29f.), Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 116), Müller-Stewens/Lechner (2005, S. 146) und Steinmann/Schreyögg (2005, S. 191).

Beim ersten Kritikpunkt, der Fokussierung etablierter Branchen, setzt die *blue ocean strategy* von Kim/Mauborgne (2004, 2005) an. Ein *blue ocean* bezeichnen alle gegenwärtig nicht existenten Industrien (Kim/Mauborgne 2004, S. 77). Dieser unbekannt Markt- raum ist von der Konkurrenz unbeeinträchtigt, so dass die Nachfrage eher erzeugt als umkämpft wird und hohe, schnelle und profitable Wachstumschancen bestehen (ebd., S. 77f.). Ein *blue ocean* im Sinn einer vollkommen neuen Branche kann aus einem *red ocean* heraus entstehen, wenn ein Unternehmen die Grenzen einer bestehenden Branche verändert, aber auch von einem Unternehmen erschaffen werden<sup>113</sup> (ebd., S. 78). Ein *red ocean* repräsentiert alle derzeit existierenden Industrien (ebd., S. 77). Dieser bekannte Markt- raum ist von definierten und akzeptierten Branchengrenzen bestimmt (ebd.). Die Wettbewerbsregeln sind bekannt und die Konkurrenzverhältnisse basieren auf einem stetigen Wettbewerb um den größeren Teil der bestehenden Nachfrage (ebd.).<sup>114</sup> Im Gegensatz zu den auf dem (dynamischen) *structure-conduct-performance* Paradigma aufbauenden generischen Wettbewerbsstrategien nach Porter (Kostenführerschaft, Differenzierung, Konzentration auf Marktnischen)<sup>115</sup>, die über die Struktur (des Marktes) determiniert sind, gehen Kim/Mauborgne (2009, S. 74) von einer endogenen Wachstumstheorie<sup>116</sup> aus, bei der eine Strategie die Struktur determinieren kann. Im Gegensatz zur *blue ocean strategy*, dessen Fokus auf eine Differenzierung und (!) niedrige Kosten gerichtet ist (Kim/Mauborgne 2004, S. 83), können die generischen Wettbewerbsstrategien nach Porter, die von Kim/Mauborgne (2005, S. 106) als *red ocean strategies* bezeichnet werden, nur eine der drei Strategiealternativen fokussieren. Gemäß Porter (1980, S. 40-44) muss sich ein Unternehmen für eine der drei Strategiealternativen entscheiden, da eine Strategiekombination (hybride Strategie), bedingt durch das sogenannte „*stuck in the middle*“ (ebd., S. 41) der strategischen Mischform, zu einer dauerhaft unterdurchschnittlichen Unternehmensrentabilität führt.<sup>117</sup>

Aus dem zweiten oben genannten Kritikpunkt am marktorientierten Ansatz (Annahme exogener Parameter), der auf der *outside-in* Perspektive beruht, wird die Forderung laut „Wettbewerbsvorteile nicht ausschließlich extern, sondern [auch] in unternehmensinternen Ressourcen (z. B. Forschungskapazität) zu suchen“ (Bea/Haas 2013, S. 30). Diese Forderung wird vom ressourcenorientierten Ansatz adressiert, der im folgenden Kapitel ausführlich betrachtet wird.

### 3.3.2.3 Ressourcenorientierter Ansatz

Der ressourcenorientierte Ansatz fundiert auf dem *resource-conduct* Paradigma nach Rühli (1994, S. 42). Das *resource-conduct* Paradigma beschreibt den Einfluss von Potenzialen (Ressourcen) auf das strategische (Markt-)Verhalten von Unternehmen, welches wiederum den Einfluss auf die *performance* (den Gewinn) beschreibt (Corsten 1998, S. 17). Unternehmensinterne Ressourcen von bestimmter qualitativer und quantitativer Güte (Potenziale) sind aus der ressourcenorientierten Sichtweise folglich die Quelle für

---

<sup>113</sup> Beispielsweise hat das Unternehmen Ebay die Online-Auktionsbranche erschaffen (Kim/Mauborgne 2004, S. 78).

<sup>114</sup> Vgl. zudem Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 125f.), welche der *red ocean strategy* einen strukturalistischen Ansatz und der *blue ocean strategy* einen rekonstruktiven Ansatz zuweisen.

<sup>115</sup> Siehe Tabelle 4 in Kapitel 3.1.1.2 Strategietypologie.

<sup>116</sup> Für eine Vertiefung wird exemplarisch auf Christiaans (2008) verwiesen.

<sup>117</sup> Vgl. auch Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 116) und Müller-Stewens/Lechner (2005, S. 147).

die Stärke und den Erfolg eines Unternehmens (Bea/Haas 2013, S. 30, 459).<sup>118</sup> Der ressourcenbasierte Ansatz fundiert auf der zentralen Annahme, dass „Erfolgsunterschiede zwischen Firmen durch [Effizienz-]Unterschiede zwischen ihren jeweiligen Ressourcen zu erklären sind“ (Müller-Stewens/Lechner 2005, S. 357). Die Basis des ressourcenorientierten Ansatzes ist damit in der Heterogenität der Ressourcen begründet. In diesem Sinn ist der inspirierende und führende Geist des ressourcenbasierten Ansatzes Edith T. Penrose mit ihrem im Jahr 1959 veröffentlichten Werk »*The Theory of the Growth of the Firm*«. <sup>119</sup> Penrose (1959, S. 85) sieht in den ungenutzten Ressourcen eine Quelle für Wettbewerbsvorteile, einen Anreiz zur Expansion und gleichzeitig eine Innovationsherausforderung. In Anlehnung an die „Durchsetzung neuer Kombinationen“ von Schumpeter (1934, S. 100, 103) geht Penrose (1956, S. 85) davon aus, dass Innovationen<sup>120</sup> durch neuartige Ressourcenkombination entstehen können.

„Folglich ist nicht die Suche nach Zufluchtsmöglichkeiten vor dem Schumpeterischen Sturm des Wettbewerbs, sondern die Begründung von Wettbewerbsvorteilen auf der Grundlage der (Weiter-)Entwicklung und des Einsatzes von Ressourcen und Fähigkeiten zum primären Ziel der Strategie geworden.“ (Grant/Nippa 2006, S. 179)

Eine Ressource ist ein „Mittel, das in einem Prozess genutzt wird oder genutzt werden kann“ (UBA 2012, S. 21). Aus einer umweltökonomischen Perspektive heraus werden Ressourcen als natürliche Ressourcen verstanden – sie sind ein „Bestandteil der Natur“ (ebd., S. 22).

„Hierzu zählen erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, physischer Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z. B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie die Biodiversität<sup>121</sup>. Es ist hierbei unwesentlich, ob die Ressourcen als Quellen für die Herstellung von Produkten oder als Senken zur Aufnahme von Emissionen (Wasser, Boden, Luft) dienen.“ (ebd.)<sup>122</sup>

Aus volkswirtschaftlicher Sicht handelt es sich bei Ressourcen um die Produktionsfaktoren Kapital, Boden, Arbeit und Technologieniveau (technisches-organisatorisches Wissen) (Herdzina/Seiter 2015, S. 6f.), (Bartling/Luzius 2014, S. 25), (Majer 2001, S. 234-236).<sup>123</sup> Betriebswirtschaftlich betrachtet, können maßgeblich drei Ressourcenkategorien identifiziert werden: Tangible (materielle), intangible (immaterielle) und Human-

---

<sup>118</sup> Für einen Überblick zum Stand der empirischen Forschung im ressourcenbasierten Ansatz wird auf Reuter (2011) verwiesen, welche der Frage nach den Möglichkeiten empirischer Überprüfbarkeit des ressourcenbasierten Ansatzes nachgeht.

<sup>119</sup> Dieses konstatieren u. a. auch Bea/Haas (2013, S. 30), Kreikebaum/Gilbert/Behnam (2011, S. 117), Stummer (2008, S. 689), Pfriem (2006, S. 97), Müller-Stewens/Lechner (2005, S. 356f.) und Mahoney/Pandian (1992, S. 365f.).

<sup>120</sup> Siehe für eine Vertiefung zur Definition des Innovationsbegriffs Kapitel 4.1.

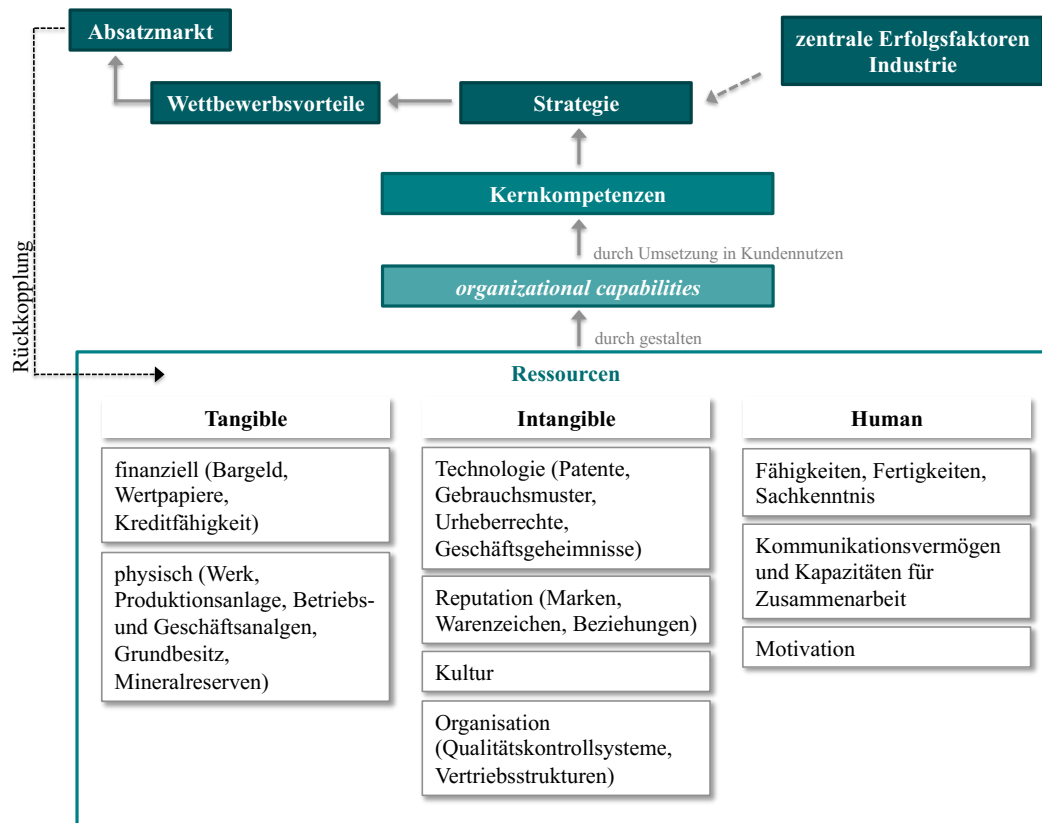
<sup>121</sup> Der Begriff »Biodiversität« beschreibt die „Vielfalt des Lebens auf der Erde. Er umfasst die genetische Vielfalt innerhalb von Arten, die Vielfalt der Arten sowie die Vielfalt von Lebensgemeinschaften und Ökosystemen“ (UBA 2012, S. 3).

<sup>122</sup> Weiter können natürliche Ressourcen als »regenerativ« und »nicht regenerativ« klassifiziert werden: Bei regenerativen Ressourcen handelt es sich um eine „Ressource, die das Potential [sic!] hat, sich in bestimmten Zeiträumen zu erneuern. Hierzu zählen neben den erneuerbaren Rohstoffen die strömenden Ressourcen Wind, Wasserströme, Erdwärme und Sonnenenergie. Ab welchem Zeitraum eine Ressource nicht mehr als erneuerbar gilt, ist nicht einheitlich festgelegt. Die Grenze zwischen 'erneuerbar' und 'nicht erneuerbar' liegt üblicherweise zwischen 100 und 1000 Jahren.“ (UBA 2012, S. 21)

<sup>123</sup> Für eine ausführliche Darstellung und Differenzierung der Produktionsfaktoren aus volkswirtschaftlicher Sicht wird exemplarisch auf die oben genannten Autoren verwiesen.

Ressourcen.<sup>124</sup> Die nachfolgende Abbildung 22 gibt einen Überblick über die Ressourcenquellen eines Unternehmens und zeigt gleichzeitig den Zusammenhang zwischen Ressourcen, Kernkompetenzen sowie den Strategien und Wettbewerbsvorteilen eines Unternehmens.

Abbildung 22: Zusammenhang Ressourcen, Kernkompetenzen und Wettbewerbsvorteile



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Grant (2010, S. 127), Nolte/Bergmann (1998, S. 8), Hofer/Schendel (1978, S. 145).

Ressourcen sind ein Vorrat an verfügbaren Faktoren (Vermögenswerte, Fähigkeiten, Organisationsprozesse, feste Attribute, Informationen, Wissen etc.), die von einem Unternehmen gehalten oder kontrolliert werden, mit dem Ziel eine Strategie zu konzipieren und zu implementieren, mit der die Effektivität und Effizienz verbessert werden kann und dauerhafte Wettbewerbsvorteile entstehen (Daft 2001, S. 67), (Amit/Schoemaker 1993, S. 35), (Barney 1991a, S. 101).<sup>125</sup> Die Unterscheidung zwischen Ressourcen und (organisatorischen) Fähigkeiten ist insofern von Bedeutung, da eine Ressource für sich genommen lediglich ein Produktionsmittel darstellt und alleine keinen Wettbewerbsvorteil begründet (Grant 2010, S. 127). Erst durch das Zusammenwirken der Ressourcen können

<sup>124</sup> Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle angemerkt, dass sich Ressourcen aus „faktortheoretischer Sicht“ (Stummer 2008, S. 689) auf die produktiven Faktoren zur Leistungserstellung nach Gutenberg (1983) beziehen, welche durch die Kombination von drei „Elementarfaktoren: Arbeitsleistungen, Betriebsmittel und Werkstoff und (...) dem vierten dispositiven Faktor, der Geschäfts- und Betriebsleitung“ (Gutenberg 1983, S. 8) gekennzeichnet sind.

<sup>125</sup> Für die Diskussion weiterer Definitionen des Ressourcenbegriffs wird exemplarisch auf Weiss et al. (2008) und Wernerfel (1984, S. 172) verwiesen.



organisatorische Fähigkeiten (*organizational capabilities*)<sup>126</sup> entstehen (ebd.). Folglich können die Fähigkeiten eines Unternehmens als Essenz überlegener *performance* angesehen werden, die Wettbewerbsvorteile begründen können (ebd.). In Anlehnung an Grant (2010) ist der strategische Erfolgsbeitrag abhängig „vom richtigen Einsatz und der geeigneten Kombination dieser Ressourcen, also von der Führung“ (Bea/Haas 2013, S. 31).<sup>127</sup>

Ressourcen müssen dabei gemäß Barney (1991a, S. 105-108, 112) folgende Attribute aufweisen, um zu einem Wettbewerbsvorteil führen zu können:

- Wertstiftung: Ressourcen müssen wertvoll sein, d. h. sie bringen ein Unternehmen in die Lage Chancen zu nutzen oder Bedrohungen der Unternehmensumwelt zu neutralisieren;
- Seltenheit: Ressourcen müssen im aktuellen und potenziellen Wettbewerb der Unternehmung selten sein;
- Nicht-Imitierbarkeit: Ressourcen müssen unvollkommen nachahmbar sein;<sup>128</sup>
- Nicht-Substituierbarkeit: Für Ressourcen die wertvoll sind, aber weder selten noch unvollständig nachahmbar, können keine strategisch gleichwertigen Substitute existieren.

In der Weiterentwicklung zum »VRIO-Konzept« ersetzt Barney (1997) das Attribut der Nicht-Substituierbarkeit durch das Attribut der organisationalen Verwertbarkeit (*organization*). Gemäß dem VRIO-Konzept müssen Ressourcen die drei Attribute wertvoll (*valuable*), selten (*rare*), nicht-imitierbar (*imperfectly imitable*) erfüllen, um ein Ressourcenpotenzial für nachhaltige (d. h. langfristige) Wettbewerbsvorteile zu leisten (ebd., S. 146f.).<sup>129</sup>

Aufbauend auf dem VRIO-Konzept zur Identifikation strategierelevanter Ressourcen ist das »VRILS-Modell« von Weiss et al. (2008) zur Identifikation diversifizierungsrelevanter Ressourcen aufzuführen. Neben den drei Attributen »wertvoll, selten und nicht imitierbar« sind zwei zentrale Kriterien zur Identifikation von diversifikationsrelevanten Unternehmensressourcen im Speziellen die »Leveragebarkeit« und die »Synergiepotenziale« (ebd., S. 18f.). Erfüllt eine Ressource sowohl die drei Kriterien der strategischen Relevanz als auch die beiden Kriterien der erfolgreichen Übertragbarkeit, handelt es sich um eine Kernressource der Diversifikation (ebd., S. 19). Unter Synergiepotenzialen werden „positive Auswirkungen des Ressourcen-Leverages auf Kosten und Umsatz durch Synergien“ (ebd., S. 20) verstanden, die z. B. mit Hilfe von *economies of scope* (Verbundvorteile) oder *economies of scale* (Größenvorteile) entstehen können (ebd.).<sup>130</sup>

---

<sup>126</sup> Gemäß einer funktionalen Definition entstehen *organizational capabilities* durch eine gestalterische Ressourcenkombination (Nolte/Bergmann 1998, S. 14). Demzufolge werden *organizational capabilities* als „ein Aggregat von Ressourcen“ (ebd.) verstanden.

<sup>127</sup> Den bedeutenden Einfluss der *organizational capabilities* auf die *performance* bestätigen auch empirische Studien: z. B. belegen Hansen/Wernnerfeld (1989), dass sowohl wirtschaftliche als auch organisatorische Faktoren einen signifikanten Einfluss auf die *performance* haben, dabei erklären die organisatorischen Faktoren sogar etwa doppelt so viel Varianz der Gewinnspanne als wirtschaftliche Faktoren.

<sup>128</sup> Gründe für eine Nicht-Imitierbarkeit sind nach Barney (1991a, S. 112) vor allem historische Pfadabhängigkeiten, kausale Ambiguität und soziale Komplexität.

<sup>129</sup> Nolte/Bergmann (1998, S. 16-23) führen des Weiteren die folgenden Attribute für Ressourcen und *organizational capabilities* an: Dauerhaftigkeit, keine Transferierbarkeit, Spezifität, Stillschweigen (*tacitness*).

<sup>130</sup> Zwar konnten mit dem VRILS-Modell insgesamt sechs diversifikationsrelevante immaterielle Ressourcen identifiziert werden, allerdings fehlt es dem Konzept gemäß Weiss et al. (2008, S. 30) bislang an einer empirischen Überprüfung und einer vertiefenden konzeptionellen Basis.

Die Leveragebarkeit wird im VRILS-Modell als „Potenzial der Transferierbarkeit einer Ressource sowie die Möglichkeit ihrer Geschäftsfeldübergreifenden Mehrfachnutzung“ (ebd., S. 19) definiert. Die (Aus-)Nutzung von Ressourcen kann gemäß Hamel/Prahalad (1993) über einen *strategy stretch* (der als Ergänzung zum *strategy fit*<sup>131</sup> anzuwenden ist) vollzogen werden, mit der Möglichkeit neue Chancen zu schaffen und Risiken zu bewältigen (Hungenberg 2014, S. 149). Die „*Arenas of Resource Leverage*“, welche von Hamel/Prahalad (1993, S. 78) als Hebelwirkungen zur Nutzung von Ressourcen vorgeschlagen werden, sind:

- effektivere Konzentration der Ressourcen zu den zentralen Unternehmenszielen,
- effizientere Akkumulation der Ressourcen,
- Kombination von komplementären bzw. synergetischen Ressourcen zu Ressourcen mit einem höheren Wert,
- Erhaltung von Ressourcen,
- zügige Rückgewinnung der Ressourcen vom Markt.

Auf Grund der statischen Ausrichtung und der *inside-out* Fokussierung besteht Anlass zur Kritik am ressourcenorientierten Ansatz.<sup>132</sup> Durch die statische Ausrichtung des ressourcenbasierten Ansatzes kann dieser Ansatz nicht zur Erklärung der Entstehung von Wettbewerbsvorteilen unter dynamischen, unvorhersehbaren Umweltbedingungen sowie zur Entstehung wertvoller Ressourcen in der Zukunft herangezogen werden (Ambrosini/Bowmann 2009, S. 29), (Eisenhardt/Martin 2000, S. 1106). Durch die *inside-out* Fokussierung werden exklusiv unternehmensinterne Ressourcen zur Generierung von Wettbewerbsvorteilen betrachtet – die Anpassungsfähigkeit an die Markt- und Wettbewerbssituationen wird nicht untersucht. Aber die alleinige Existenz von Ressourcen führt nicht zu einem dauerhaften Wettbewerbsvorteil (Teece 2007, S. 1319). Aus diesen Kritikpunkten heraus sind in einer Weiterentwicklung der *organizational capabilities* der *core-competency approach* und der *dynamic-capability approach* hervorgegangen, die die Brücke zu den wissensorientierten Ansätzen<sup>133</sup> schlagen (Bea/Haas 2013, S. 31), (Welge/Al-Laham 2012, S. 89-103), (Teece 2011, S. 3-181), (Ambrosini/Bowmann 2009, S. 29), (Teece/Pisano/Shuen 1997, S. 510).

---

<sup>131</sup> Siehe zum *strategy fit* die vorausgegangene Darstellung in Kapitel 3.1.1.2.

<sup>132</sup> Für eine ausführliche Kritik am ressourcenorientierten Ansatz wird auf Welge/Al-Laham (2012, S. 96-98) verwiesen. Speziell zum Kritikpunkt der Tautologie des ressourcenorientierten Ansatzes wird auf Lüdeke et al. (2006, S. 573) verwiesen.

<sup>133</sup> In den wissensorientierten Ansätzen wird insbesondere in einer dynamischen Umwelt die Ressource »Wissen« als Quelle für die Generierung dauerhafter Wettbewerbsvorteile gesehen, welches sich auch in dem wachsenden Bestandteil von Intelligenz in den Produkten (z. B. Technologieniveau) spiegelt (Bea/Haas 2013, S. 33), (Welge/Al-Laham 2012, S. 98).

#### 3.3.2.4 Kernkompetenzorientierter Ansatz

In dem kompetenzorientierten Ansatz<sup>134</sup> wird im Gegensatz zu dem ressourcenbasierten Ansatz nicht die einzelne Ressource als Quelle zur Generierung und Sicherung dauerhafter Wettbewerbsvorteile gesehen, sondern Kernkompetenzen<sup>135</sup>, die durch die Bündelung<sup>136</sup> von Fähigkeiten<sup>137</sup> und Ressourcen entstehen<sup>138</sup> (Bleicher 2011, S. 439). „Eine Kernkompetenz ist die dauerhafte und transferierbare Ursache für den Wettbewerbsvorteil einer Unternehmung, die auf Ressourcen und Fähigkeiten basiert.“ (Krüger/Homp 1997, S. 27) Kernkompetenzen sind folglich aggregierte Fähigkeiten und Ressourcen – sie dienen als Basis für die Kernprodukte und im weiteren für die Endprodukte eines Unternehmens (Prahalad/Hamel 1990, S. 85).

Kernkompetenzen zeichnen sich durch „schwierige Erzeugbarkeit, Imitierbarkeit und Substituierbarkeit“ (Bea/Haas 2013, S. 32) sowie Konkurrenzfähigkeit (Hamel 1994, S. 14f.) aus. Die aus Fähigkeiten und Ressourcen gebündelten Kernkompetenzen sind auf ihre zweckgerichtete Verwendung „sowohl im Hinblick auf die *strategische Effektivität* (...) als auch auf die *operative Effizienz*“ (Bleicher 2011, S. 439, Hervorhebungen im Original) hin zu prüfen. Ein geeignetes Instrument hierfür ist die Durchführung einer Kompetenzanalyse (Hungenberg 2014, S. 153ff.) sowie eines *benchmarking* (Hinterhuber 2015, S. 135), (Hungenberg 2014, S. 156), (Bleicher 2011, S. 439), (Grant 2010, S. 142f.).

Die Fähigkeit eines Unternehmens wird dabei maßgeblich als Problemlösungsfähigkeit verstanden, die ein Unternehmen bei der Leistungserstellung entwickelt und erlernt hat (Bleicher 2011, S. 439). Fähigkeiten sind die Wurzel eines Wettbewerbsfaktors (Prahalad/Hamel 1990, S. 82). Sie lassen sich mit Hilfe von zwei Gliederungsstrukturen differenzieren: Anhand der Funktionsbereiche eines Unternehmens (z. B. Forschung und Entwicklung, Marketing, Vertrieb) sowie anhand der funktionsübergreifenden Fähigkeiten auf der Gesamtunternehmensebene (z. B. Finanzen, strategische Innovationen, Akquisitionsmanagement), aber auch entlang der von Porter (1985) entwickelten »*value chain*«, der Wertschöpfungskette eines Unternehmens (Grant 2010, S. 132f.).

---

<sup>134</sup> Für eine Vertiefung zum *core-competency approach* wird exemplarisch auf Sanchez (2004) und Sanchez/Heene (1997) verwiesen.

<sup>135</sup> Für eine vertiefende Begriffsbestimmung der Kernkompetenzen wird exemplarisch auf Hinterhuber (2015 S. 132-157), Müller-Stewens/Lechner (2005, S. 220-224), Rühli (1994, S. 44f.) und Ansoff/McDonell (1990 S. 78-82) verwiesen.

<sup>136</sup> Das Kriterium der Bündelung von Kompetenzen im Rahmen der Kernkompetenzdefinition geht auf Hamel (1994, S. 11) zurück: „(...) *a competence is a bundle of constituent skills and technologies, rather than a single, discrete skill or technology*“. An dieser Stelle wird der Brückenschlag zum ressourcenorientierten Ansatz auch noch einmal deutlich, denn bereits Penrose (1959, S. 25) stellte fest: „(...) *resources consist of a bundle of potential services and can, for the most part, be defined interdependently of their use* (...)“.

<sup>137</sup> Hamel/Prahalad (1992, S. 164) verwenden die Begriffe Fähigkeiten (*capabilities*) und Kompetenzen (*competences*) synonym – sie sind beide ein komplexes Bündel aus Fähigkeiten (*skills*). Stalk/Evans/Schulman (1992, S. 65) hingegen bezeichnen *capabilities* und *competences* als zwei unterschiedliche komplementäre Dimensionen eines Paradigmas im Rahmen der *corporate strategy*. An dieser Stelle ist jedoch von zentralerer Frage wie unterschieden werden kann, welche *skills, capabilities, competences* als Kern(-kompetenzen), d. h. als Kernstück (*core*) bezeichnet werden können und welche nicht. Auf Grund dessen werden die beiden Begriffe Fähigkeiten und Kompetenzen in Anlehnung an Hamel/Prahalad (1992, S. 164) im Folgenden synonym verwendet.

<sup>138</sup> Im Hinblick auf das „Erfolgspotenzial der strategischen Ressourcen“ im Zuge der Unternehmenskompetenzen sprechen Steinmann/Schreyögg (2005, S. 171) auch von einer Ressourcenstrategie.

Kernkompetenzen leisten einen unverhältnismäßig hohen Beitrag zum Kundenwert und/oder erlauben es einem Unternehmen diesen Kundenwert in einer wesentlich effizienteren Art und Weise zu liefern (Hamel 1994, S. 13f.), (Hamel/Prahalad 1992, S. 164). Darüber hinaus sollten Kernkompetenzen den Eintritt in neue Märkte eröffnen (Hamel 1994, S. 15f.), (Hamel/Prahalad 1992, S. 165). Sie sind die Quelle der Unternehmensentwicklung und sollten folglich auf der Ebene der Unternehmensstrategie gebildet und analysiert werden (Prahalad/Hamel 1990, S. 91). Wenn Kernkompetenzen auf der *corporate strategy* Ebene nicht erkannt werden, ist es für Unternehmen nur schwer möglich SGE-übergreifende, d. h. hybride Innovationen zu entwickeln (ebd., S. 89). Da sich dann das Innovationsradar auf die Potenziale innerhalb einer SGE beschränkt, folgen zumeist Innovationen z. B. durch eine marginale Erweiterung der Produktlinie oder eine geografische Expansion, die auch als *bounded innovation* bezeichnet werden (ebd.). Für die Entwicklung von Geschäftsmodellinnovationen lässt sich daraus ableiten, dass es notwendig ist, die Kernkompetenzen eines Unternehmens SGE-übergreifend auf der Ebene der Unternehmensstrategie zu formulieren und zu analysieren.

Der von Teece (2007) entwickelte Bezugsrahmen im *dynamic-capability* Ansatz<sup>139</sup> hat das Ziel, die Quellen der Wettbewerbsvorteile auf der Unternehmensebene im Zeitverlauf zu erklären und Hinweise für Manager zur Vermeidung eines *zero-profit* Zustandes zu geben, der sich ergeben würde, wenn homogene Unternehmen in vollständigen Wettbewerbsmärkten konkurrieren (Teece 2007, S. 1320). Der Begriff »dynamisch« bezieht sich im *dynamic-capability* Ansatz auf die Fähigkeit eines Unternehmens seine Kompetenzen zu erneuern, um eine Konvergenz mit dem sich verändernden Markt- und Wettbewerbsumfeld zu erreichen (Teece/Pisano/Shuen 1997, S. 515). Dieses ist dann zentral, wenn die Geschwindigkeit des technologischen Wandels schnell und der zukünftige Markt und Wettbewerb schwer zu bestimmen ist (ebd.). Der Begriff »Fähigkeiten« betont die zentrale Rolle des strategischen Managements in der Anpassung, Integration und Neukonfiguration der internen und externen organisatorischen Fähigkeiten, Ressourcen und funktionalen Kompetenzen, um die Anforderungen einer sich verändernden Umgebung gerecht zu werden (ebd.).

---

<sup>139</sup> Für eine Vertiefung zum *dynamic-capability* Ansatz wird exemplarisch auf Austerschulte (2014), Hutterer (2013), Vogel/Güttel (2013), Ambrosini/Bowman (2009) und Eisenhardt/Martin (2000) verwiesen.

### 3.4 Exkurs: Rationalität

Im weitesten Sinn bezeichnet Rationalität einen Stil oder ein Verhalten, welches für die Erreichung der gegebenen Ziele innerhalb der Grenzen gegebener Bedingungen und Einschränkungen geeignet ist (Simon 1964, S. 573). Im engeren Sinn wird Rationalität als eine „zielgerichtete Auswahl einer Handlungsalternative aufgrund einer definierten Informationsbasis“ (Götzelmann 1995, S. 827) verstanden. Sie ist „eine grundlegende Orientierungskategorie für jede Art der Theoriebildung; aber auch in Zusammenhängen der Unternehmenspraxis (...)“ (Knyphausen-Aufseß 1995, S. 268). Um der implizierten Aufforderung zur Bestimmung eines Rationalitätsverständnisses in dieser Arbeit zu begegnen, werden zunächst die Formen und Funktionen der Rationalität (differenziert nach den vorherrschenden theoretischen Ansätzen) kurz dargestellt und nachfolgend zentrale Rationalitätskonzepte beschrieben.<sup>140</sup>

Eine Übersicht zu den Formen der Rationalität bietet Götzelmann (1991, S. 574). Er unterscheidet vier Formen der Rationalität, die sich durch den Wissensstand und durch die Anforderungen an den Wahlakt unterscheiden, wie die Tabelle 8 zeigt.<sup>141</sup>

**Tabelle 8: Ausprägungsformen der Rationalität**

		Wissensstand	
		Objektive Kenntnis	Subjektive Kenntnis
Anforderungen an den Wahlakt	Zielsystem-entsprechend	formal-objektive Rationalität	formal-subjektive Rationalität
	Zielsystem-entsprechend und normzielorientiert	substantiell-objektive Rationalität	substantiell-subjektive Rationalität

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Götzelmann (1991, S. 574).

Werden im Weiteren die Funktionen der Rationalität betrachtet, so ist zwischen zwei Theoriearten zum menschlichen Verhalten zu unterscheiden: Der präskriptiven (normativen) und der deskriptiven (explikativen) Funktion der Rationalität. Präskriptive Theorien schlagen Maxime für ein optimales Verhalten und Handeln vor, während deskriptive Theorien hingegen das tatsächliche (Entscheidungs-)Verhalten beschreiben. (March 1990, S. 299), (Götzelmann 1991, S. 574)

#### 3.4.1 Theoretische Ansätze zur Rationalität menschlichen Verhaltens

##### 3.4.1.1 Faktortheoretischer Ansatz

Der Rationalitätsbegriff geht im faktortheoretischen Ansatz von einem „wirtschaftlich rational handelnden Menschen“ (Götzelmann 1991, S. 574) aus, der unter Beachtung des ökonomischen Prinzips durch „vollkommene Voraussicht und die Maximierung des

<sup>140</sup> Bei dem Exkurs zur Rationalität besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit. Für eine ergänzende und vertiefende Literatur zur Rationalität, ihren Ausprägungen und Theorien siehe z. B. Kirsch (1977, insbesondere Band 1), Werhahn (1980), Habermas (1981), Ulrich (1984, S. 19-130), Ulrich (1986), Bretz (1988, S. 275-309), March (1990), Servatius (1991, S. 83-87), Bäcker (1996), Staehle (1994, S. 491-507), sowie zur evolutionären Rationalität Kirsch (1992, S. 359-506).

<sup>141</sup> Weitere Formen der Rationalität sind z. B. die bewusste, reflektierte, kollektive und individuelle Rationalität (Simon 1976, S. 76f.), (Corsten 1995, S. 829); die kontextuale, adaptive und posteriore Rationalität (March 1990, S. 305f.); sowie die prozedurale, konsistente und retrospektive (Entscheidungs-)Rationalität (Eisenführ/Weber 2003, S. 5f.), (Staehle 1994, S. 194).

Nutzens“ (ebd.) charakterisiert ist und „Entscheidungen nach dem Rationalprinzip“<sup>142</sup> (Wöhe/Döring 2010, S. 6) trifft. Dieses Menschenbild des *homo oeconomicus* entspricht einer objektiven Rationalität (Schanz 1979, S. 469). In der *rational-choice* Theorie<sup>143</sup> existieren vielfältige Akteursmodelle<sup>144</sup>, wie z. B. die Weiterentwicklung des *homo oeconomicus*-Modell zum REMM-Modell (*Resourceful, Evaluator, Maximizier, Man*) von Meckeling (1976, S. 545) und in einer weiteren Weiterentwicklung das RREEMM-Modell (*Resourceful, Restricted, Expecting, Evaluating, Maximizing, Man*) von Lindenberg (1985, S.100).

Gemäß Simon (1976, S. 240f.) existieren in Bezug auf das Rationalitätsverständnis des *homo oeconomicus* praktische Grenzen, die vom organisatorischen Umfeld, in dem die individuelle Entscheidung stattfindet, abhängig sind. Diese nicht statischen Grenzen haben zur Folge, dass die Rationalität menschlichen Verhaltens begrenzt bzw. beschränkt ist (ebd.). Die Beschränkung der Rationalität erfährt das menschliche Verhalten über zwei miteinander verzahnte Elemente: Neben den von Simon konstatierten Grenzen der Informationsstrukturen des Umfeldes, die von Interdependenzen zwischen Zielen und Mitteln, sowie dem Aufwand für die Entscheidungsfindung gekennzeichnet sind, begründen sich die Grenzen menschlicher Rationalität in einer beschränkten Informationsaufnahme und Verarbeitungskapazität (Hoffrage/Hertwig/Gigerenzer 2005, S. 70), (Gözelmann 1991, S. 574).

Alternativ zur Nutzenmaximierung im klassischen Sinn des *homo oeconomicus* soll die Entscheidung auf Grund der beschränkten Rationalität zu Gunsten einer befriedigenden Alternative getroffen werden: „*The key (...) is the replacement of the goal of maximizing with the goal of satisficing, of finding a course of action that is 'good enough'*“ (Simon 1957, S. 204f., Hervorhebungen der Verfasserin) Mit dem Konzept der *bounded rationality* bildet Simon die Basis der deskriptiven (explikativen) Entscheidungstheorie (Mach-

<sup>142</sup> „Ein Wirtschaftssubjekt handelt nach dem Rationalprinzip, wenn es sich bei der Wahl zwischen zwei Alternativen für die bessere Lösung entscheidet.“ (Wöhe/Döring 2010, S. 33)

<sup>143</sup> Für eine vertiefende Einführung in die *rational-choice* Theorie wird exemplarisch auf die Werke von Kunz (2004), Eriksson (2011) und Braun/Gautschi (2011) verwiesen.

<sup>144</sup> Für eine Vertiefung zu Akteursmodellen (Menschenbildern) in der *rational-choice* Theorie wird exemplarisch auf Esser (1999, insbesondere S. 231-239) und Wolf (2005) verwiesen. Zudem wird an dieser Stelle auf den Vorschlag von Rogall/Oebels (2010) zum Menschenbild des *homo cooperativus* im Rahmen einer nachhaltigen Ökonomie verwiesen, welches „die Heterogenität des Menschen widerspiegelt (...). Anerkennung, dass der Mensch nicht immer zu seinem Besten handelt und daher die Politik bei meritorischen und demeritorischen Gütern in die Konsumentensouveränität eingreifen muss“ (ebd., S. 9). Die Differenzierung meritorischer und demeritorischer Güter geht maßgeblich auf Musgrave (1957) zurück. Das Eingreifen des Staates wird im Falle eines Ausbleibens staatlicher Eingriffe mit einem „nicht befriedigenden Marktergebnis“ (Engelkamp/Sell 2017, S. 520) bedingt durch ungewünschte Nachfragepräferenzen gerechtfertigt (ebd.). Demeritorische Güter (z. B. Rauschgift) würden ohne staatliche Eingriffe einem (zu) starken Konsum unterliegen, so dass sich der Staat in der Pflicht sieht z. B. über eine Alkoholsteuer regulierend eingreifen zu müssen (ebd., S. 521). Ferner können bedingt durch den Überhang negativer externer Effekte auch z. B. umweltschädliche KFZ-Abgase, Emissionen fossiler Kraftwerke und Giftstoffe zu demeritorischen Gütern gezählt werden (Arnswald 2012, S. 277f.). Meritorischen Gütern hingegen (z. B. Schulbildung, Versorgungssicherheit (bezogen auf das energiepolitische Zieldreieck im *Energy-Only-Market*)) wird zwar ein hoher gesamtgesellschaftlicher Verdienst zugesprochen, sie würden allerdings im Rahmen individueller Präferenzen, bedingt durch einen niedriger bewerteten individuellen Nutzen, zu wenig Nachfrage entfalten (Engelkamp/Sell 2017, S. 520), (Öko-Institut/LBD 2015, S. 20), (Arnswald 2012, S. 275f.) (Priddat 2009, S. 26). Anzumerken sei abschließend, dass die Einordnung (de-)meritorischer Güter in der Typologie der Güter unterschiedlich bewertet wird: Während Arnswald (2012, S. 275) postuliert, dass (de-)meritorische Güter unreine öffentliche Güter (allmende Güter) sind, ist Priddat (2009, S. 23) der Auffassung, dass sie die reine Form öffentlicher Güter darstellen. Öko-Institut/LBD (2015, S. 20f.) gehen hingegen davon aus, dass es sich im Rahmen der Gütertypologisierung bei (de-)meritorischer Gütern um eine Zwischenform auf dem Kontinuum zwischen privaten und Klub- und Mautgütern auf der einen Seite und allmenden und öffentlichen Gütern auf der anderen Seite handelt.

arzina/Wolf 2012, S. 95). Auf einem Kontinuum der Rationalität, welches durch die beiden Pole des objektiven Wissenstandes und den a-rationalen menschlichen Verhaltensweisen gekennzeichnet ist, liegt das Konzept der *bounded rationality* im Zentrum (Schanz 1979, S. 503).

#### 3.4.1.2 Entscheidungstheoretischer Ansatz

Im entscheidungstheoretischen Ansatz ist die Grundlage rationalen Handelns eine Zweck-Mittel-Relation<sup>145</sup> gemäß Weber (1976, S. 12), die durch die Frage determiniert ist, „ob die Handlung X ein geeignetes Mittel darstellt, um dem Zweck Y zu dienen“ (Reimer 2005, S. 35). Bei einer Wahl zwischen mehreren Handlungsmöglichkeiten stellt die präskriptive (normative) Entscheidungstheorie in Abhängigkeit der Entscheidungssituation formale Prinzipien für rationale Entscheidungen bereit (Bamberg/Coenenberg/Krapp 2012, S. 11). In Abhängigkeit vom Informationsstand der Zustände, Erwartungen und Konsequenzen können Entscheidungssituationen unter Sicherheit, Risiko und Ungewissheit<sup>146</sup> auftreten. (Bamberg/Coenenberg/Krapp 2012, S. 24), (Bäcker 1996, S. 132), (Götzelmann 1991, S. 574) Folglich können z. B. im Fall der subjektiven Rationalität Entscheidungen zwar rational sein – rational im Sinn einer rationalen Relation zwischen den (gewünschten) Konsequenzen und der Entscheidung bzw. Handlung im entsprechenden Zeitpunkt – aber auf Grund eines falschen Informationsstandes nicht zur gewünschten Wirkung führen (Clausen 2009, S. 25). Gekennzeichnet ist „die präskriptive Entscheidungstheorie als Analyse von Entscheidungen unter dem Postulat subjektiver Formalrationalität“ (Bamberg/Coenenberg/Krapp 2012, S. 3) und entfernt sich damit von der objektiven Rationalität des *homo oeconomicus*. Die deskriptive Entscheidungstheorie basiert, wie oben bereits genannt, auf dem Konzept der *bounded rationality* und betrachtet „tatsächliches menschliches Entscheidungsverhalten“ (Eisenführ/Weber 2003, S. 2). Zur Untersuchung tatsächlichen, individuellen (Entscheidungs-)Verhaltens werden hier exemplarisch zwei deskriptiv-empirische Studien von Tversky/Kahneman (1974, 1981) aufgeführt<sup>147</sup>:

- In der 1974 veröffentlichten Studie fanden Tversky/Kahneman heraus, dass sich Menschen bei Urteilen und im engeren bei Entscheidungen unter Unsicherheit, bestimmten Heuristiken bedienen, die ihre Entscheidungsfindung vereinfachen, die aber auch zu systematischen und vorhersagbaren Fehlern führen können (Repräsentativität, Verfügbarkeit von Beispielen/Belegen, Einstellung von Ankern).
- In der 1981 veröffentlichten Studie kommen Tversky/Kahneman zu dem Ergebnis, dass Individuen bei Entscheidungssituationen bestimmte Bewertungsraster verwenden, die davon bestimmt sind, wie das Entscheidungsproblem im Vorfeld gerahmt bzw. formuliert wurde. Damit geben Tversky/Kahneman gleichzeitig eine mögliche normativ-präskriptive Antwort darauf, wie Entscheidungen formuliert werden sollten, damit sich Individuen entsprechend Verhalten (könnten) und leisten damit einen Brückenschlag zum verhaltenstheoretischen Ansatz.

---

<sup>145</sup> Für die Zusammenhänge und Abgrenzung zwischen wertrationalen, emotionalen und traditionellen Handelns wird auf die Ausführungen von Weber (1976, S. 12f.) verwiesen.

<sup>146</sup> Siehe für eine tiefgehende Betrachtung der Entscheidungssituationen unter Sicherheit, Risiko und Unsicherheit Kapitel 4.3.1.2.

<sup>147</sup> Siehe zudem Kahneman (2003).

### 3.4.1.3 Verhaltenstheoretischer Ansatz

Im verhaltenstheoretischen Ansatz wird das *homo oeconomicus*-Modell vollständig abgelehnt – im Mittelpunkt des Rationalitätsverständnisses steht das Menschenbild der *bounded rationality* (Götzelmann 1991, S. 575), (Macharzina/Wolf 2012, S. 51). Dem Rationalitätsverständnis liegt „die Frage nach den Beweggründen menschlichen Verhaltens (Motivation) und die dabei relevanten Erwartungen (Information)“ (Schanz 1979, S. 472) zugrunde, zwischen dem eine Verbindung zu schaffen ist, da „individuelles Verhalten von unterschiedlichen Beweggründen bestimmt wird und auf der Basis eines situationspezifischen Informationsstandes erfolgt“ (ebd.). Der verhaltenstheoretische Ansatz basiert auf einem subjektivistischen Konzept, der durch die unterschiedlichen Möglichkeiten der Vielfältigkeit, den Nachteil hat, nicht der „Eindeutigkeit und Einfachheit [zu entsprechen], den zumindest die traditionelle Vorstellung von ökonomischer Vernunft für sich in Anspruch nehmen kann“ (ebd., S. 473).

## 3.4.2 Rationalitätskonzepte der strategischen Management Forschung

In Verbindung mit den Funktionen der Rationalität und mit der Differenzierung in inhalts- und prozessorientierte Forschungsbereiche des strategischen Managements (und im engeren Sinn mit der strategischen Planung), werden nachfolgend die Grundzüge der inkrementellen und synoptischen (Planungs-)Rationalität, sowie der Systemrationalität dargelegt, bevor die Nachhaltigkeitsrationalität als ökologische Erweiterung der ökonomischen Managementrationalitäten spezifiziert wird.

### 3.4.2.1 Prozessorientierte Forschung

Der prozessorientierten (empirisch-deskriptiven) Forschung liegt eine inkrementelle Planungsrationale zugrunde, die u. a. ohne ein Gesamtziel auskommen vermag, einen eher risikoaversen, kleinschrittigen Weg beschreitet dessen zeitliche Orientierung an kurzfristigen Problemen ausgerichtet ist und mit einer vorweg limitierten Anzahl an Handlungsalternativen auskommt (Schreyögg 1984, S. 136, 213). Der inkrementelle Planungsansatz des sogenannten »*Muddling Through*«<sup>148</sup> geht auf den Aufsatz von Lindblom (1959) zurück, der konstatiert, dass Handlungen politischer Akteure zum Teil eher einem durchwursteln, als einem systematischen Entscheidungsprozess entsprechen (ebd., S. 88).<sup>149</sup>

### 3.4.2.2 Inhaltsorientierte Forschung

Der rational-präskriptiven Forschung kann sowohl eine synoptische Planungsrationale<sup>150</sup>, als auch eine Systemrationalität zugrunde gelegt werden. Die synoptische Planungsrationale ist durch eine ganzheitliche Entwicklung, Planung und Umsetzung eines Gesamtplans auf Basis möglicher Szenarien gekennzeichnet. Dabei wird eine systematische, zentral koordinierte und durch wissenschaftliche Methoden unterstützte Entscheidungsfindung, basierend auf einer Gesamtheit maßgeblicher Handlungsalternativen avisiert, mit dem Ziel die beste Alternative zu wählen. Weiter impliziert die synoptische Planungsrationale eine kontinuierliche Umweltanalyse, dessen Kopplung mit einem

<sup>148</sup> Weitere Ansätze zu (ir-)rationalen Managementhandlungen in der Praxis sind z. B. das »*Garbage Can Model*« bei Entscheidungen mehrdeutiger Situationen in organisierter Anarchie (Cohen/March/Olsen 1972) und das »*Grass Roots Model*« zum Strategieformulierungsprozess (Mintzberg/McHugh 1985).

<sup>149</sup> Siehe auch Becker (2011, S. 79).

<sup>150</sup> Dieses gilt jedoch nicht für alle Instrumentenbildungen im Rahmen des präskriptiven Planungsansatzes (Schreyögg 1984, S. 272).



Frühwarnsystem der Opportunitätsidentifikation dient.<sup>151</sup> (Schreyögg 1984, S. 134f.) Für die Steuerung einer komplexen Systementwicklung scheint die synoptische Rationalitätsannahme ein zu einfaches Denkmodell zu sein, „weil ihre Rationalitätsvorstellung an dem Paradigma der Einzelhandlung gewonnen ist“ (ebd., S. 244) und „mit diesem linearen Rahmen die Komplexität der Systemsteuerungsaufgabe nicht faßbar [sic!] ist“ (ebd., S. 268).

Schreyögg (1984, S. 267ff.) schlägt aufbauend auf den Werken Luhmanns<sup>152</sup> die Systemrationalität<sup>153</sup> als Alternative zur synoptischen Rationalität für einen grundlegenden Bezugsrahmen des präskriptiven Planungsansatzes vor.<sup>154</sup> Die Systemrationalität bezieht sich statt auf das (rationale) Handeln eines Individuums, auf das rationale Handeln eines sozialen Systems (Unternehmen) mit dem Ziel der „Aufrechterhaltung des Systembestandes“ (Bäcker 1996, S. 24).<sup>155</sup> „Ein System ist (...) in dem Maße *rational* gesteuert, als es gelingt, die Systemleistungen zu erbringen – abstrakter: externe Komplexität zu absorbieren und die damit einhergehenden internen Probleme zu lösen.“ (Schreyögg 1984, S. 251, Hervorhebungen im Original)<sup>156</sup>

Unter Ablehnung des *homo oeconomicus*-Modells verschiebt die Systemrationalität die Problemfokussierung von „der Wahl verschiedener Handlungsalternativen“ (Götzelmann 1991, S. 575) auf die „Gestaltung funktionsfähiger Systeme“ (ebd.). Die systematische Planung wendet sich damit von der synoptischen Planungsrationale ab und fokussiert die „Entwicklung von Erfolgspotenzialen des Unternehmens in einer sich wandelnden Umwelt“ (Reimer 1995, S. 183).<sup>157</sup> „Die (kollektive) Systemrationalität (Unternehmenserfolg) lässt sich nicht auf die individuelle Rationalität zurückführen, gleichwohl entsteht sie aus individuellen Handlungen.“ (Steinmann/Schreyögg/Koch 2013, S. 141) Dabei besteht die Möglichkeit das Handlungs- und Systemrationalität divergieren, aber auch zusammenlaufen können (Berger/Bernhard-Mehlich/Oertel 2014, S. 162).

### 3.4.3 Rationalität der Nachhaltigkeit

Nachdem die grundlegenden Aspekte (sozio-)ökonomischer Rationalitätskonzeptionen dargestellt wurden, wird in diesem Exkurs abschließend auf die ökologische Dimension rationalen Handelns sowie die Nachhaltigkeitsrationalität im Besonderen eingegangen.

„Eine *ökologische* Zielsetzung rationalen Handelns kann in der Erhaltung der Stabilität ökologischer Systeme bestehen. Das ökologische Ziel wird nicht als Optimum, sondern als nicht zu verletzende Grenzbedingung formuliert, die das maximal zulässige Maß an Störgrößen in Quantität und Qualität beschreibt und zu jedem Zeitpunkt eingehalten werden muß [sic!].“ (Götzelmann 1995, S. 830, Hervorhebungen im Original)

---

<sup>151</sup> Zur rationalen und systemischen Planungskonzeption siehe auch Wimmer/Neuberger (1998, Kapitel 1) und Reimer (2005, S. 181ff.).

<sup>152</sup> Insbesondere Luhmann (1973).

<sup>153</sup> Für eine ausführliche Definition des Unternehmens als System wird auf das vorangegangene Kapitel 3.1.2.1 verwiesen.

<sup>154</sup> Die Systemrationalität ermöglicht zudem „(...) die zwei zentralen, bislang isoliert stehenden Forschungsbereiche, die präskriptive und die deskriptive Strategieforschung (...)“ (Schreyögg 1984, S. 268) theoretisch fundiert zu verbinden (ebd.).

<sup>155</sup> Vgl. auch die Funktionserfordernisse des AGIL-Schemas nach Parsons (1951), „die jedes System zu seiner Selbsterhaltung lösen muss“ (Schreyögg 1984, S. 250).

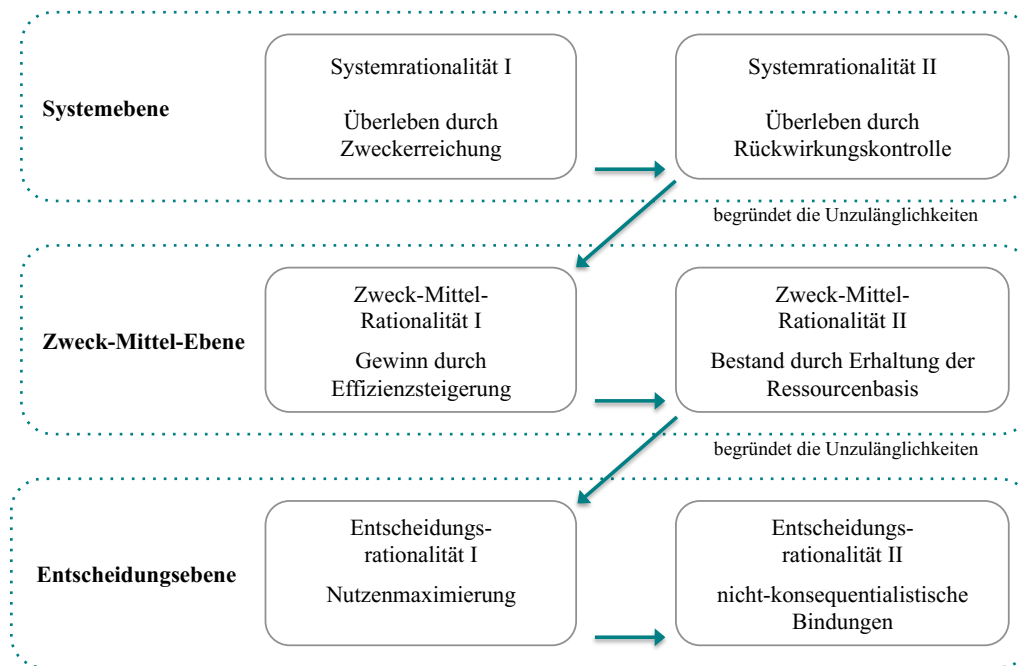
<sup>156</sup> Siehe auch Steinmann/Schreyögg/Koch (2013, S. 141).

<sup>157</sup> Für eine ausführliche Darstellung zu den Erfolgspotenzialen sowie ihrer Abgrenzung zu Nutzenpotenzialen und Erfolgspositionen wird auf das vorangegangene Kapitel 3.1.3.2 verwiesen.

Die ökologische Rationalität spricht damit das Konzept der ökologischen Tragfähigkeit und das Konzept der *planetary boundaries*<sup>158</sup> nach Rockström et al. (2009a, 2009b) an. Aufgrund der Wechselwirkungen „ökologischer Systeme, die einer eindeutigen Kausalitätsbeziehung zwischen der Umweltbeeinträchtigung und dem Grad der Stabilitätsgefährdung entgegenstehen [kann ökologisch rationales Handeln jedoch] nur in Ausnahmefällen definiert werden“ (Götzelmann 1995, S. 830). Eng verbunden mit der ökologischen Dimension rationalen Handelns ist die Nachhaltigkeitsrationalität, welcher der Dreiklang der ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimension der Nachhaltigkeit zugrunde zu legen ist.

Gemäß der Nachhaltigkeitsrationalität muss eine Ökonomie sowohl effizient wirtschaften, als auch gleichzeitig die Ressourcen ihrer Lebensumwelt im Sinn einer Substanzerhaltung ins Lot bringen (Müller-Christ 2014, S. 115, 134). Anders ausgedrückt: Der Quotient aus Ressourcennachschub und Ressourcenverbrauch muss gleich eins sein, um der Nachhaltigkeit und damit nachhaltig-rationalem Handeln zu entsprechen (ebd., S. 121). Dabei steht die Nachhaltigkeitsrationalität als eigenständige Rationalität neben der ökonomischen Rationalität, gleichwohl sie die klassischen Ansätze erweitern, aber nicht ersetzen soll (ebd., S. 205), „um das langfristige Überleben von Unternehmen mit ihren Umwelten zu gewährleisten“ (ebd., S. 211). Diese Erweiterungen der Managementrationalitäten sind in der Abbildung 23 zusammengefasst.<sup>159</sup>

**Abbildung 23: Modell umfassender Managementrationalitäten**



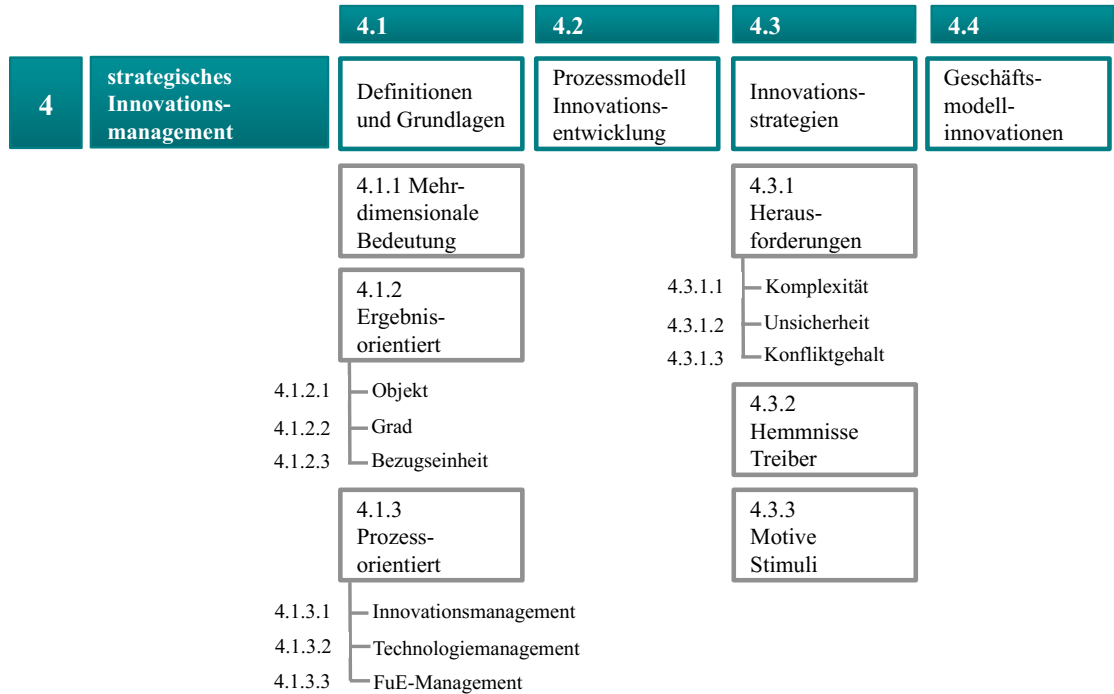
Quelle: Eigene Darstellung nach Müller-Christ (2014, S. 211).

<sup>158</sup> Die *planetary boundaries* zeigen die Belastbarkeit der Erde anhand von neun Bereichen: *climate change, ocean acidification, stratospheric ozone depletion, atmospheric aerosol loading, biogeochemical flows: interference with phosphorus and nitrogen cycles, global freshwater use, land-system change, rate of biodiversity loss, chemical pollution* (Rockström et al. 2009a). „Innerhalb dieser Prozessgrenzen soll sich die Menschheit (...) einrichten und fortentwickeln können. Ein Überschreiten dieser Grenzwerte könnte jedoch Veränderungen der ökologischen Rahmenbedingungen verursachen, die sich zu einem Risiko für zukünftige Generationen entwickeln könnten.“ (Deutscher Bundestag 2014b, S. 1)

<sup>159</sup> Für eine ausführliche Herleitung und Darstellung siehe Müller-Christ (2014, Kapitel 6).

## 4 Strategisches Innovationsmanagement

Abbildung 24: Struktur Kapitel 4



Quelle: Eigene Darstellung.

## 4.1 Definitionen und Grundlagen

In der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur besteht eine Vielzahl, heterogen verwendeter Definitionen zum Begriff »Innovation«. Bevor auf die mehrdimensionale Bedeutung des Innovationsbegriffs und seiner Definition aus ergebnis- und prozessorientierter Sicht ausführlich eingegangen wird, seien an dieser Stelle drei ausgewählte Definitionen vorweggenommen, die einen Eindruck über die Heterogenität ihrer selbst skizzieren.

- Eine Innovation ist die Implementierung eines neuen oder signifikant verbesserten Produkts, einer Dienstleistung, eines Prozesses, einer neuen Vermarktungsmethode oder einer neuen Organisationsmethode in Geschäftspraktiken, Arbeitsplatzorganisation oder Außenbeziehungen (OECD/Eurostat 2005, S. 46).
- Der Ausdruck der technischen Innovation, der gleichzusetzen ist mit dem Begriff der Innovation, wird verwendet, um die Einführung und Verbreitung neuer und verbesserter Produkte und Prozesse in der Wirtschaft zu beschreiben. Der Ausdruck der technologischen Innovation wird verwendet, um Fortschritte im Wissen zu beschreiben. (Freeman/Soete 1997, S. 24)
- „Die Umwandlung von Geld in Wissen ist Forschung, die Umwandlung von Wissen in Geld [ist] Innovation“ (Mirow 1998, S. 485).

Während die Definition von OECD/Eurostat (2005, S. 46) auf die alleinige Implementierung einer Innovation abzielt, erweitert die Definition von Freeman/Soete (1997, S. 24) den Begriff der Implementierung um den Prozessschritt der Verbreitung. Mirow (1998, S. 485) zielt mit seiner Definition hingegen auf eine prozessuale Abfolge transformativen Charakters ab. Die exemplarisch dargestellten Definitionen zeigen ferner, dass sowohl das Innovationsobjekt unterschiedlich definiert wird, als auch die Komponente des Wissens: Die enge Sichtweise des Innovationsobjektes auf Produkte und Prozesse bei Freeman/Soete (1997, S. 24), entgegen der erweiterten Sichtweise der OECD/Eurostat (2005, S. 46); die technische bzw. technologische Kopplung des Wissens bei Freeman/Soete (1997, S. 24) und die ökonomische Verknüpfung von Mirow (1998, S. 485).

### 4.1.1 Mehrdimensionale Bedeutung von Innovationen

Gleichwohl bis heute keine allgemein anerkannte Definition zum Innovationsbegriff existiert<sup>160</sup>, besteht in der Literatur Einigkeit darüber, dass es sich bei einer Innovation um eine Erneuerung, d. h. um einen (merklichen) Unterschied zum Vergleichszustand handelt (Gerpott 2005, S. 17), (Völker/Thome/Schaaff 2012, S. 18), (Hauschildt/Salomo 2011, S. 3f.).<sup>161</sup> Demzufolge kann eine Problemlösung mit dem Attribut »neu« gekennzeichnet werden, „wenn sie über den bisherigen Erkenntnis- und Erfahrungsstand hinausgeht“ (Vahs/Brem 2013, S. 31). Ohne den Begriff der Innovation direkt zu verwenden, prägte maßgeblich Schumpeter mit seinem im Jahr 1934 veröffentlichten Werk »Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung« den selbigen: „Anderes oder anders produzieren heißt

---

<sup>160</sup> Dieses konstatieren u. a. auch Hünerberg (2013, S. 284), Hauschildt/Salomo (2011, S. 3), Schmeisser/Sollte (2010, S. 26), Pleschak/Sabisch (1996, S. 1) und Goos/Hagenhoff (2003, S. 37).

<sup>161</sup> Für weitere Definitionen zum Innovationsbegriff wird exemplarisch auf Hauschildt/Salomo (2011, S. 4) und Rennings (2002, S. 322) verwiesen. Für eine Diskussion unterschiedlicher Definitionen zum Innovationsbegriff wird insbesondere auf Hauschildt/Salomo (2011, S. 6f.) verwiesen.

diese Dinge und Kräfte anders kombinieren“ (Schumpeter 1934, S. 100). Die von Schumpeter beschriebene Entwicklung wird als eine „Durchsetzung neuer Kombinationen“ (ebd., S. 100, 103) bezeichnet, in der „sich die neuen Kombinationen durch das Niederkonkurrieren der alten“ (ebd., S. 101) durchsetzen. Dabei treten „die neuen Kombinationen (...) nicht einfach an die Stelle, sondern zunächst neben die alten, die aus sich heraus gar nicht in der Lage wären, den großen Schritt zu tun“ (ebd.). „In der Regel muß [sic!] die neue Kombination die Produktionsmittel, die sie braucht, irgendwelchen alten Kombinationen entziehen“ (ebd.), welches dem „Niederkonkurrierens alter Betriebe“ (ebd.) entspricht und die schöpferische Zerstörungskraft mit der Schaffung von Neuem (Innovation) und der Verdrängung von Altem (Niederkonkurrenz) auf mikroökonomischer Ebene erklärt (ebd., S. 102f.). Makroökonomisch betrachtet, führt die zwar stetig vorhandene, aber diskontinuierlich auftretende, Kraft der „schöpferischen Zerstörung“ (Schumpeter 1946, S. 138) zu Veränderungen welche die Entwicklung der Wirtschaft antreiben (ebd., S. 134ff.). Die schöpferische Zerstörung wird als ein Prozess, als ein „ewige[r] Sturm“ (ebd., S. 138) verstanden, bei dem die „Konkurrenz der neuen Ware, der neuen Technik, der neuen Versorgungsquelle, des neuen Organisationstyps“ (ebd., S. 140), d. h. die Innovation maßgebend ist. Diese Art der Konkurrenz entfaltet ihre Wirkung wenn sie faktisch existiert, aber auch wenn sie lediglich eine ubiquitäre Bedrohung darstellt (ebd.).

Volkswirtschaftlich betrachtet, entfalten Innovationen damit ihre Bedeutung durch „die potenzielle Innovationsfähigkeit und tatsächliche Innovationstätigkeit von Volkswirtschaften als zentrale Erfolgskriterien für ein wirtschaftliches Wachstum“ (Vahs/Brem 2013, S. 4)<sup>162</sup>. Dabei gelten (technische) Basisinnovationen als Auslöser des Kondratieff-Zyklus<sup>163</sup> (lange Konjunkturwellen), die eine weltweite, Wirtschaftszweig übergreifende Phase des wirtschaftlichen Aufschwungs, verbunden mit einer Erhöhung des Volkseinkommens, einleiten (Vahs/Brem 2013, S. 5), (Nefiodow 1999, S. 3), (Kondratieff 1926) und zu einer „Reorganisation der gesamten Gesellschaft und ihrer Arbeitsstrukturen“ (Mittermeier 2004, S. 29) führen. Die nachfolgende Tabelle zeigt die historischen Basisinnovationen entlang der Kondratieff-Zyklen, stellt mögliche Basisinnovationen der Gegenwart zusammen und spiegelt die Kondratieff-Zyklen an den vorherrschenden Energiesystemen. Als Erweiterung der Zuordnung der Energiesysteme der ersten fünf Kondratieff-Zyklen von Freeman/Soete (1997, S. 19), wird für den sechsten Kondratieff-Zyklus in dieser Arbeit angenommen, dass das Energiesystem maßgeblich auf erneuerbaren Energien, der Elektrifizierung und Digitalisierung des Energiesystems und einer Koppelung der Energiesektoren basiert.

---

<sup>162</sup> Eine ähnliche, auf technische Innovationen fokussierte Beschreibung von Innovationswirkungen legen Specht/Beckmann/Amelingmeyer (2002, S. 3, Hervorhebungen im Original) dar: „Auf *weltwirtschaftlicher Ebene* beeinflussen neue Technologien und bahnbrechende Innovationen den Auf- und Abstieg von Nationen und Weltregionen. Auf *volkswirtschaftlicher Ebene* ist der technologische Wandel einerseits Ursache für Strukturkrisen, andererseits Antriebskraft wirtschaftlichen Wachstums, wobei sich technischer Fortschritt und wirtschaftliche Entwicklung wechselseitig beeinflussen.“

<sup>163</sup> Die Bezeichnung »Kondratieff-Zyklus« geht auf Schumpeter (1939, S. 179) zurück, der sich innerhalb seiner Untersuchung zum 1939 veröffentlichten Werk »Konjunkturzyklen« auf ein ausgewähltes Dreizyklen-schemata konzentrierte und die Zyklen in Anlehnung an die Entdecker betitelte: Langfristiger Kondratieff-Zyklus, mittelfristiger Juglar-Zyklus und kurzfristiger Kitchin-Zyklus. Kritisch anzumerken ist, dass entgegen Schumpeters Annahme Nikolai D. Kondratieff (1926), seiner Zeit Leiter des *Institute of Economic Research* in Moskau, sei der Begründer der langen Konjunkturwellen, gemäß der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur auch andere Ökonomen (vornehmlich Jacob van Gelderen (alias J. Fedder) (1913)) als Entdecker der langen Konjunkturwellen in Frage kommen (Grinin/Korotayev/Tausch 2016, S. 25), (Freeman/Soete 1997, S. 25), (Kleinknecht 1990, S. 215).

**Tabelle 9: Kondratieff-Zyklen und ihre auslösenden Basisinnovationen**

Zyklen	Basisinnovationen	Wendepunkt			Energiesystem
		unten	oben	unten	
1. Kondratieff	Dampfmaschine, Baumwolle	1780/90	1810/17	1844/51	Wasserkraft*
2. Kondratieff	Stahl, Eisenbahn	1844/51	1870/75	1890/96	Dampfkraft*
3. Kondratieff	Elektrotechnik, Elektrizität, Chemie	1890/96	1914/20	1934	Elektrizität*
4. Kondratieff	Petrochemie, Automobil	1934	1960	1974/82	Öl*
5. Kondratieff	Diesellok, TV, Luft- und Raumfahrt, Computertechnologien: Medien, Informations-, Medien- und Kommunikationstechnik, Informations- und Kommunikationsdienstleistungen	1974/82	1995	2010 ~	Gas/Öl*
6. Kondratieff	<i>Life-Science</i> <sup>a</sup> : Biotechnologie, Medizintechnik, Gesundheitsdienstleistungen, Umwelt(-technik): optische Technologien (inkl. Solartechnik); Informationstechnik zur Erschließung der <i>Life-Science</i> und optischen Technologien	2010 ~	~	~	Erneuerbare Energien, Elektrifizierung und Digitalisierung Energiesystem, Sektorkopplung ~

Quelle: Eigene, erweiterte Darstellung in Anlehnung an Vahs/Brem (2013, S. 5), Mittermaier (2004, S. 29, 196, 223), Nefiodow (1999, S. 3, 96-132), \*Freeman/Soete (1997, S. 19).<sup>164</sup>

Im Zeitalter der Diskontinuitäten (Drucker 1969) ist die sich daraus ableitende betriebswirtschaftliche Bedeutung der Innovation weiterhin hochgradig aktuell – mit stetig kürzeren Produktlebens- und Innovationszyklen nimmt der Grad der Veränderung zu und ein steigender Innovationsdruck in der Sache und der Zeit entsteht (Vahs/Brem 2013, S. 9).

In Anlehnung an den „Prozess der schöpferischen Zerstörung“ (Schumpeter 1946, S. 134) sind Innovationen auf der Ebene der Branchen in der Lage „neue Industrien wachsen, alte Industrien dagegen schrumpfen und verschwinden lassen“ (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 3).<sup>165</sup> Zudem können Innovationen (und im engeren Sinn aus Forschung und Entwicklung extrahierte Kernkompetenzen) als Quelle für strategische Erfolgspotenziale dienen, mit dem Ziel „Wettbewerbsvorteile durch neue Produkte und Produktionsverfahren“ (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 3), sowie Dienstleistungen und Geschäftsmodelle zu generieren und letztlich eine strategische Erfolgsposition zu erlangen.<sup>166</sup> Denn ökonomisch betrachtet, sind Innovationen Investitionen zur Erwirtschaftung von Einnahmen in der Zukunft (Hauschildt 1992, S. 53f.).

Innovationen entfalten überdies eine gesellschaftliche Bedeutung (Vahs/Brem 2013, S. 13f.), dessen hoher Stellenwert u. a. durch das kontinuierliche Bevölkerungswachstum und den demografischen Wandel konstatiert werden kann.<sup>167</sup> „Das Ziel der westlichen Industrienationen ist dabei die Sicherung des gegenwärtigen hohen Lebensstandards bei

<sup>164</sup> Kritisch zu erwähnen ist, dass sich die exakten Bezeichnungen der Basisinnovationen sowie die zeitlichen Wendepunkte je nach Autor unterscheiden. Die dargestellten Basisinnovationen sind eine Zusammenstellung der genannten Autoren und bilden eine kombinierte Darstellung der Literaturquellen ab. Der Übersichtlichkeit halber basiert die abgebildete zeitliche Einordnung der Kondratieff-Zyklen auf Vahs/Brem (2013, S. 3), gleichwohl wissend, dass die zeitliche Einordnung variieren kann, wie z. B. im Vergleich zu den Zeitangaben von Freeman/Soete (1997, S. 19f.). Die in der Literatur vorherrschenden unterschiedlichen Zeitangaben bestätigt auch die Vergleichsanalyse von Mittermaier (2004).

<sup>165</sup> Dieses steht in einem Zusammenhang mit dem von Unternehmen proaktiv verfolgbarem Strategiegegenstand des Mitteleinsatzes zur Entwicklungsrichtung (Wachstum (investieren), Stabilisierung (halten), Schrumpfung (desinvestieren)), welche in der Strategietypologie (siehe Kapitel 3.1.1.2) aufgeführt wurde.

<sup>166</sup> Siehe für die Bezüge zu strategischen Erfolgspotenzialen und Erfolgspositionen auch die vorangegangenen Ausführungen in Kapitel 3.1.3.2.

<sup>167</sup> Gemäß den Berechnungen der UNDESA (2015, S. 1) wird die Weltbevölkerung ausgehend von einem Stand von 7.349 Mio. (2015) auf 8.501 Mio. im Jahr 2030, 9.725 Mio. im Jahr 2050 und 11.213 Mio. im Jahr 2100 wachsen.

gleichzeitiger Schonung der immer knapper werdenden natürlichen Ressourcen.“ (ebd., S. 14) Um diese Ziele zu erreichen, sind Innovationen notwendig, welches auch die Bundesregierung (BMWi 2012, S. 3) bestätigt: „Die wichtigsten Garanten für Wachstum und Wohlstand sind neue Technologien und Innovationen“. Die politische Bedeutung von Innovationen wird durch die aktive Rolle des Staates statistisch sichtbar, der „ein wichtiger finanzieller Förderer von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ist“ (Vahs/Brem 2013, S. 16).

Gemäß Fritzsche/Ochsner (2014, S. 4-6, 10f.) kann eine staatliche Innovationsförderung über die zwei zentralen Orientierungen *input* und *output* erfolgen. Die *input*-orientierte Innovationsförderung kann weiter in eine projektbezogene und eine allgemeine Förderung untergliedert werden (ebd., S. 4-6). Die projektbezogene Innovationsförderung ist neben der allgemeinen d. h. der branchen- und technologieunabhängigen Förderung Teil der *input*-orientierten Innovationsförderung, die unabhängig vom Erfolg der Innovationsaktivität erfolgt (ebd.). Die allgemeine Innovationsförderung kann volumenbasiert oder inkrementell ausgerichtet sein (ebd.). Gemessen an ökonomischen Kriterien bestehen bei der projektbezogenen Innovationsförderung allerdings sektorale Unterschiede zwischen „den Förderschwerpunkten im Rahmen der Projektförderung des Bundes auf Basis der tatsächlichen Verteilung der Fördermittel“ (Pavel/Leitzke/Costard 2009, S. 365f.) und der Innovationstätigkeit sowie dem Innovationserfolg „einzelner Branchen und Technologien“ (ebd.). Diese Unterschiede zwischen Förder- und Innovationsintensität können zu strukturellen Zugangsbarrieren führen (ebd.). Im Gegensatz zur *input*-orientierten Innovationsförderung ist die *output*-orientierte Innovationsförderung abhängig vom Erfolg der Innovationsaktivität (Fritzsche/Ochsner 2014, S. 4).<sup>168</sup>

Innovationen zeichnen sich durch eine Reihe von Merkmalen aus, die im Folgenden anhand des Definitions- und Abgrenzungskonzeptes nach Gerpott (2005, S. 37-57)<sup>169</sup> dargestellt werden. Demgemäß können Innovationen und das Management der Innovationen aus einer ergebnis- und einer prozessorientierten Sichtweise heraus definiert werden (ebd., S. 37ff.).

---

<sup>168</sup> Informationen zur Forschungs- und Innovationsförderung der Bundesrepublik Deutschland sind z. B. auf der Internetseite des Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF o. J.a) <https://www.bmbf.de/de/foerderung-in-der-forschung-642.html>, dem Internetportal »Research in Germany« (BMBF o. J.b) <http://www.research-in-germany.org/de.html> und der Internetseite zur Förderberatung des Bundes Forschung und Innovation (BMBF o. J.c) <http://www.foerderinfo.bund.de> zusammen gestellt. Für eine Vertiefung zur staatlichen Forschungs- und Innovationspolitik wird exemplarisch auf Mai (2014, S. 233-251), Cremer (2014, S. 253-265) und Pleschak/Sabisch (1996, S. 299-350) verwiesen. Für eine Diskussion der Vor- und Nachteile staatlicher Innovationsförderung wird exemplarisch auf die Zusammenstellung von Vahs/Brem (2013, S. 17) und für eine Vertiefung zur steuerlichen Förderung der unternehmerischen Forschung und Entwicklung auf Bilobrck (2016) verwiesen.

<sup>169</sup> Ein anderes Definitions- und Abgrenzungskonzept sind die „Dimensionen der Innovation“ nach Hauschild/Salomo (2011, S. 5-23). Die Dimensionen des Inhalts, der Intensität sowie die subjektive und normative Dimension können der ergebnisorientierten Sichtweise zugeordnet werden. Die prozessuale Dimension entspricht der prozessorientierten Sichtweise. Alle fünf Dimensionen werden im Folgenden betrachtet, gleichwohl ihre Unterordnung und Reihenfolge zu Gunsten des Definitions- und Abgrenzungsschemas nach Gerpott (2005) angepasst wurde.

### 4.1.2 Ergebnisorientierte Perspektive

Innovationen in Unternehmen zielen auf die „Verbesserung des eigenen wirtschaftlichen Erfolgs am Markt oder [auf] intern im Unternehmen eingeführte qualitative Neuerungen“ (Gerpott 2005, S. 37) ab. Da Innovationen in der Regel nicht zufällig und nicht nebenbei entstehen, ist die Innovationstätigkeit von Unternehmen mit Anstrengungen (*input*) verbunden (ebd.). Wird der *output* dieser Innovationstätigkeiten betrachtet, können Innovationen aus dieser ergebnisorientierten Sicht anhand des Innovationsobjektes, des Innovationsgrades und der Bezugseinheit für die Definition des Innovationsgrades unterschieden werden (ebd., S. 37-48).

#### 4.1.2.1 Innovationsobjekt

Die „Differenzierung nach dem Innovationsobjekt“ (Gerpott 2005, S. 38) öffnet den Korridor für die unterschiedlichen Innovationsarten. Diese Differenzierung betrifft die inhaltsbezogenen Dimension einer Innovation, mit der Frage „Was ist neu?“ (Hauschildt/Salomo 2011, S. 5). Bereits Schumpeter (1934) konstatierte, dass sich die Durchsetzung neuer Kombinationen auf unterschiedliche Anwendungsfälle erstreckt:

„(1) Herstellung eines neuen (...) Gutes oder einer neuen Qualität eines Gutes. (2) Einführung einer neuen (...) Produktionsmethode. (3) Erschließung eines neuen Absatzmarktes (...). (4) Eroberung einer neuen Bezugsquelle von Rohstoffen oder Halbfabrikaten (...). (5) Durchführung einer Neuorganisation [der Marktsituation/Marktform] (...).“ (ebd., S. 100f.)

Mit diesen fünf Anwendungsfällen weitet Schumpeter die zuvor maßgeblich technische bzw. technologische Sichtweise<sup>170</sup> auf eine ökonomische Sichtweise aus, indem er eine Innovation entlang der Funktionsbereiche eines Unternehmens auslegt (Hauschildt/Salomo 2011, S. 9). Wird dieser Gedanke weitergeführt, können Innovationen aus ökonomischer Sicht in fünf Kategorien eingeteilt werden, wie die nachfolgende Tabelle zusammenfasst.

---

<sup>170</sup> Eine Abgrenzung zwischen den Begriffen »Technik« und »Technologie« ist in den Fußnoten 189 und 190 vermerkt.



**Tabelle 10: Innovationsobjekte differenziert nach ökonomischen Kategorien**

Ökonomische Kategorie	Innovationsobjekt
Leistung	Produkt- und Dienstleistungsinnovationen, <sup>171</sup> technisches Wissen
Prozess	Prozess- und Verfahrensinnovationen <sup>172</sup>
Markt	Innovationen von Branchenstruktur, Marktstrukturen und -grenzen,
Geschäft	Geschäftsmodellinnovationen <sup>173</sup> , Wertschöpfungsinnovationen, Erlösmodellinnovationen, Unternehmensmodellinnovationen, Branchenmodellinnovation, Umsatzmodellinnovationen
Sozial <sup>174</sup>	Innovationen von Organisation, Struktur, Kultur, System, Personal, Management, Kommunikationsstruktur, Regel- und Rechtsbereich

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Schallmo (2013, S. 24), König/Buddrick (2013, S. 22), Völker/Thome/Schaaff (2012, S. 51), Hauschildt/Salomo (2011, S. 9f.), Stummer/Günther/Köck (2008, S. 14-16), Kesselring/Leitner (2008, S. 30-33), IBM Deutschland (2008, S. 49), Zahn/Weidler (1995, S. 362-366), Thom (1983, S. 6), Thom (1980, S. 32-38), Knight (1967, S. 482).<sup>175</sup>

Der ergebnisorientierten Sichtweise folgend, richten Innovationen ihren Zweck „auf die Erfüllung festgelegter Unternehmensziele“ (Pleschak/Sabisch 1996, S. 5, Hervorhebungen im Original) in einer neuartigen Art und Weise (ebd., S. 1) und haben damit das Potenzial den wirtschaftlichen *output* eines Unternehmens positiv zu beeinflussen (ebd., S. 5).<sup>176</sup>

Gerpott (2005, S. 39) konstatiert auf Basis theoretischer Überlegungen und empirischer Indizien, dass „Unternehmen in jungen Industrien durch Produktinnovationen qualitative Differenzierungsvorteile und in reifen Branchen durch Prozessinnovationen Kosten-/Preisvorteile suchen“. Morris (2003, S. 24f., 27) hingegen verweist im Bezug auf sich weiterentwickelnde Branchen, dessen Wettbewerb zunehmend anspruchsvoller wird, dass Geschäftsmodellinnovationen den Fokus der Betrachtung einnehmen müssen, um Wettbewerbsvorteile zu generieren. Innovationen, die sich weitgehend und direkt auf das Geschäftsmodell beziehen, bilden die Grundlage für die Überlebensfähigkeit von Unternehmen (ebd., S. 25).

Neben einer singulären Sichtweise, können z. B. Produkt- und Prozessinnovationen miteinander verzahnt werden, die aus einer systemorientierten Sichtweise heraus unter dem Oberbegriff der »Systeminnovation« zusammen gefasst werden. Systeminnovationen beziehen sich sowohl auf technologische Systeme, als auch auf radikale und disruptive Technologien, die in der Lage sind die vorherrschenden Marktbedingungen zu verän-

<sup>171</sup> „Die Produktinnovation offeriert eine Leistung, die dem Benutzer erlaubt, neue Zwecke zu erfüllen oder vorhandene Zwecke in einer völlig neuartigen Weise zu erfüllen.“ (Hauschildt/Salomo 2011, S. 5) Das Ziel einer Produktinnovation ist die Effektivitätssteigerung, die sich unter Umständen um Effizienzgewinne erweitern lässt (ebd.). Vgl. für eine in der Sache ähnliche Definition einer Produktinnovation Thom (1980, S. 32-37).

<sup>172</sup> Prozessinnovationen sind „(...) neuartige Faktorkombinationen, durch die die Produktion eines bestimmten Gutes kostengünstiger, qualitativ hochwertiger, sicher oder schneller erfolgen kann“ (Hauschildt/Salomo 2011, S. 5). Das Ziel der Prozessinnovationen ist die Effizienzsteigerung (ebd.). Vgl. für eine in der Sache ähnliche Definitionen einer Prozessinnovation Thom (1980, S. 32-37).

<sup>173</sup> Eine differenzierte Definition des Begriffs der Geschäftsmodellinnovation erfolgt in Kapitel 4.4.

<sup>174</sup> Sozialinnovationen beziehen sich „auf geplante Änderungen im Humanbereich von sozio-technischen Systemen“ (Thom 1980, S. 37).

<sup>175</sup> Da sich die Kategoriensysteme in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur zum Teil überschneiden und aufeinander beziehen, wird an dieser Stelle eine Genese aus den betrachteten Kategorien der oben genannten Autoren dargestellt.

<sup>176</sup> Eine positive lineare Korrelation, konnte empirisch bislang nicht nachgewiesen werden (Hauschildt/Salomo 2007, S. 3), (Gerpott 2005, S. 45), (Pleschak/Sabisch 1996, S. 5).

dern (Wuppertal Institut 2009, S. 16).<sup>177</sup> Systeminnovationen sind Co-Evolutionsprozesse, die neben technologischen auch Veränderungen in anderen Elementen beinhalten (Geels 2005, S. 682). Wie in Kapitel 1.2 definiert, bestehen Systeminnovationen aus technologischen, sozialen und infrastrukturellen Elementen (Fischedick et al. 2014, S. 17). Systeminnovationen initiieren damit eine Veränderung bzw. Erneuerung in und von einem gesamten sozio-technischen System und adressieren z. B. Industrien, Institutionen, Gesellschaft, Verhalten, Verbrauchs- und Gebrauchsmuster, Lieferketten, Infrastrukturen, Regularien und Politiken (Gjoski 2011, S. 7), (Smith/Voß/Grin 2010, S. 439), (Wuppertal Institut 2009, S. 16).<sup>178</sup>

„**SystemInnovationen** [sic!] sind technologiebasierte Innovationen, die sich in wirtschaftlich tragfähige Produkte oder Dienstleistungen umsetzen lassen, wenn es gelingt, die notwendigen Komponenten und Kompetenzen in funktionierende Systemarchitekturen einzubinden und deren gesellschaftliche Akzeptanz zu sichern. Dabei überwinden sie organisatorische und fachliche Grenzen und sind geprägt durch ein funktionierendes Zusammenwirken unterschiedlicher Stakeholder entlang von Wertschöpfungsprozessen und ermöglichen neue erfolgreiche Geschäftsmodelle.“ (iit 2014, S. 1, Hervorhebungen im Original)

Zu den industriellen, technik-fokussierten Systeminnovationen zählen gemäß Shenhar (1998, S. 36, 39ff.) und Henderson/Clark (1990, 10ff., 19ff.):

- Innovative Systemkomponente<sup>179</sup>: Ergänzung bzw. Verbesserung bestehender Produkte durch innovative Systemelemente (z. B. PEM-Elektrolyse);
- Innovative Systemverknüpfung<sup>180</sup>: Neue Verknüpfung bestehender Systemelemente (z. B. *Power-to-Gas*);
- Innovative Systeme: Grundlegend neu entwickelte Produkte oder Prozesse (z. B. Biowasserstoff, Biomethan, Photobioreaktor, Algen-Bioraffinerie);
- Innovativer Systemverbund: Kopplung mehrerer autonomer und innovativer Systeme sowie im weitesten Sinn Systemverknüpfungen zu einer neuen Systemeinheit (z. B. *Power-to-X*, *Algae-to-X*).

---

<sup>177</sup> Systeminnovationen werden auch als »*embedded technologies*« bezeichnet, „die Technologien in das infrastrukturelle, ökonomische, soziale und institutionelle Umfeld einbetten und dadurch erst eine Marktdurchdringung ermöglichen“ (Hoffmann et al. 2015, S. 39).

<sup>178</sup> Systeminnovationen können gleichzeitig »*environmental-innovations*« bzw. kurz gefasst »*eco-innovations*« sein, die gemäß Reid/Miedzinski (2008, S. 2) definiert sind als neuartige und wettbewerbsfähige Güter, Prozesse, Systeme, Dienste und Prozedere, die den menschlichen Bedürfnissen gerecht werden und eine bessere Lebensqualität für alle bieten, unter der Maßgabe eines minimalen Gebrauchs an natürlichen Ressourcen (einschließlich Energie und Fläche) pro *output*-Einheit sowie einer minimalen Freisetzung von toxischen Substanzen entlang des gesamten Lebenszyklus. Für weitere Definitionen und Vertiefungen wird an dieser Stelle auf die Verweise der oben genannten Autoren sowie auf Rennings (2000) und die Internetseite des Europäischen Analysezenentrums für Öko-Innovationen (<http://www.eco-innovation.eu/>) verwiesen (Wuppertal Institut 2010). Zudem wird angenommen, dass wenn in einem erweiterten Betrachtungswinkel alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit adressiert werden (Ökologie, Ökonomie, Soziales), es sich um eine Nachhaltigkeitsinnovation handelt, die auch wiederum auf einer Systemebene Gestalt annehmen kann. Aufbauend auf der schöpferischen Zerstörung Schumpeters (1946, S. 134), definiert Fichter (2010, S. 182) eine Nachhaltigkeitsinnovation als Durchsetzung von „Neuerungen, die zum Erhalt kritischer Naturgüter und zu global und langfristig übertragbaren Wirtschafts- und Konsumstilen und -niveaus beitragen“ (ebd.).

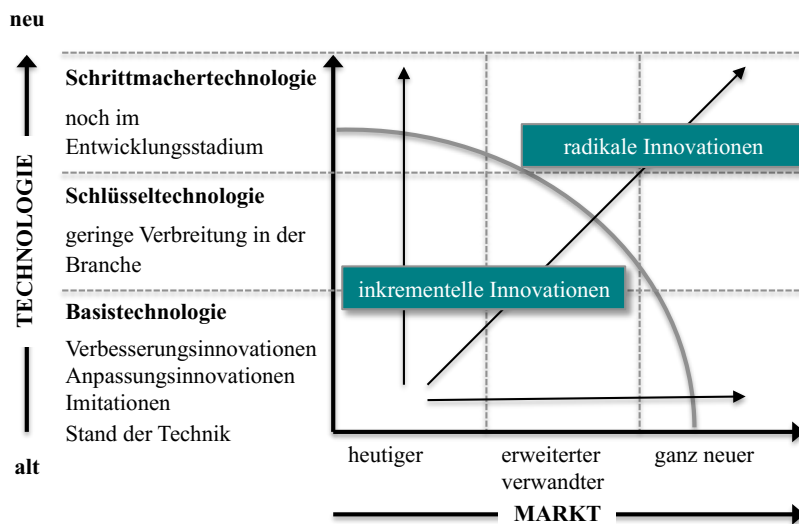
<sup>179</sup> Von Henderson/Clark (1990, S. 12) als »*modular innovation*« bezeichnet.

<sup>180</sup> Von Henderson/Clark (1990, S. 12) als »*architectural innovation*« bezeichnet.

#### 4.1.2.2 Innovationsgrad

Das zweite Innovationsmerkmal ist der Innovationsgrad – auch Neuigkeitsgrad genannt – der „sich auf einem Kontinuum zwischen den Extrempolen einer geringfügigen (=inkrementalen [sic!] [-evolutionären]) und einer fundamentalen (=radikalen/ revolutionären) Abweichung von den bisherigen *Outputs*“ (Gerpott 2005, S. 40f., Hervorhebungen der Verfasserin) bzw. bestehender Problemlösungen bewegt (Hünerberg 2013, S. 284).<sup>181</sup> Diese Differenzierung betrifft die Intensitätsdimension einer Innovation, die eine Antwort auf die Frage „Wie neu?“ (Hauschildt/Salomo 2011, S. 11) sucht. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Innovationsgrad, abgebildet anhand der Dimensionen »Technologie« und »Markt«. Die Ausprägungen der Technologiedimension werden entlang des Wissens, welches für die Entwicklung einer Innovation notwendig ist, im Vergleich zum Status quo unterschieden (Salomo/Gemünden/Billing 2007, S. 228). Die Technologiedimension veranschaulicht die Obsoleszenz des technologischen Wissens im Prozess der schöpferischen Zerstörung sowie die damit verbundene technische Diskontinuität und die technologische Unsicherheit (ebd.). Die Ausprägungen der Marktdimension differenzieren den Innovationsgrad entlang der am Markt verfügbaren Technologie und dem Beitrag der Innovation zur Befriedigung der Bedürfnisse (ebd.). Inkrementelle Innovationen setzen bei einer Verbesserung bzw. Anpassung der Ziel-Mittel-Relation in bekannten Märkten an und innovieren Technologien die im weitesten Sinn zum Stand der Technik gehören (Pleschak/Sabisch 1996, S. 3). Radikale Innovationen hingegen verzeichnen einen sehr hohen Neuigkeitsgrad und zeichnen sich durch komplexere und unsichere Veränderungen, verglichen mit inkrementelle Innovationen, aus (ebd.).

Abbildung 25: Innovationsgrad



Quelle: Eigene, erweiterte Darstellung in Anlehnung an Völker/Thome/Schaaff (2012, S. 20), Pleschak/Sabisch (1996, S. 3f.), Kroy (1995, S. 59).

<sup>181</sup> Vgl. auch Vahs/Brem (2013, S. 23) und Perl (2003, S. 37f.). Für einen Überblick zu weiteren Dichotomien wird auf die Zusammenstellung von Hauschildt/Salomo (2011, S. 12) verwiesen.

Wie die Abbildung 25 zeigt, entstehen inkrementelle Innovationen durch den Einsatz bekannter Anwendungsgebiete (Basis- und Schlüsseltechnologien) auf bereits bestehenden bzw. verwandten Märkten. Die Neuheit wird mit einer veränderten und/oder verbesserten Ziel-Mittel-Relation begründet. Die Unsicherheit<sup>182</sup> die mit inkrementellen Innovationen verbunden ist, ist relativ gering (Pleschak/Sabisch 1996 S. 3). Radikale Innovationen verfügen hingegen durch den Einsatz von Schrittmachertechnologien auf ganz neuen bzw. verwandten Märkten über einen hohen Neuigkeitsgrad, der den Unternehmen komplexe Veränderungen abverlangt und mit einer hohen Unsicherheit behaftet ist (Pleschak/Sabisch 1996, S. 3).<sup>183</sup> Christensen/Raynor/McDonald (2016, S. 72) sehen insbesondere für Markteinsteiger auf einem etablierten Markt hingegen stets eine sehr hohe Unsicherheit bei der Einführung erhaltender Innovationen, unabhängig davon, ob es sich um eine inkrementelle oder radikale Innovation handelt. Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass der Neuigkeitsgrad die Folgedeterminanten der Unsicherheit und des Konfliktgehalts bezugnehmend auf den ökonomischen Erfolg eines Unternehmens bestimmt (Thom 1980, S. 6f.).

Obwohl die Pole und Stationen des Kontinuums zur Klassifizierung des Innovationsgrades in der wissenschaftlichen Theorie definiert sind, existiert kein allgemein anerkanntes Messverfahren zur Quantifizierung des Innovationsgrades (Gerpott 2005, S. 43). Vielmehr existiert eine Reihe unterschiedlicher Ansätze entlang der Skalenniveaus (Hauschildt/Salomo 2011, S. 11), (Salomo 2003, S. 402f.). Zu nennen sind an dieser Stelle beispielweise:

- Nominalskala des Patentamtes: „Eine Erfindung gilt als neu, wenn sie nicht zum Stand der Technik gehört. Der Stand der Technik umfaßt [sic!] alle Kenntnisse, die vor dem für den Zeitrang der Anmeldung maßgeblichen Tag (...) der Öffentlichkeit zugänglich gemacht worden sind.“ (§ 3 Abs. 1 PatG)
- Ordinalskala nach Kleinknecht/Reijen/Smits (1993, S. 44f.): Eine Innovation ist ein neues oder radikal geändertes Produkt bzw. eine neue oder radikal geänderte Dienstleistung oder, ein deutlich verbessertes Produkt oder, eine neue oder verbesserte Zusatzeinrichtung oder -dienstleistung oder, eine Produkt- oder Leistungsdifferenzierung.
- Mehrdimensionales Konzept nach Schlaak (1999, S. 307), bestehend aus drei Dimensionen und sieben untergeordneten Faktoren: Technik/Produktion: Produkttechnologie, Produktionsprozess, Beschaffungsbereich; Absatz/Ressourcen: Absatzmarkt, Kapitalbedarf; Struktur: formale Organisation, informale Organisation.

---

<sup>182</sup> Siehe für eine Definition des Unsicherheitsbegriffs Kapitel 4.3.1.2.

<sup>183</sup> Abzugrenzen sind disruptive Innovationen gegenüber erhaltenden Innovationen: Erhaltende Innovationen können sowohl radikaler als auch inkrementeller Art sein, zielen allerdings immer auf die Steigerung des Unternehmensabsatz im Kreise ihrer profitabelsten Kunden ab (Christensen/Raynor/McDonald 2016, S. 68). „Disruptive Innovationen entstehen [hingegen] in neuen Märkten oder unteren Marktsegmenten“ (ebd., S. 67). Folglich „beginnen disruptive Innovationen ihren Siegeszug aus einem dieser beiden Bereiche heraus“ (ebd., S. 68), bevor sie den Fokus auf den Massenmarkt setzen (ebd.). Im Gegensatz zu erhaltenden Produktinnovationen „sind disruptive Produkte in der Regel einfacher, billiger, zuverlässiger und benutzerfreundlicher“ (Christensen/Matzler/von den Eichen 2013, S. 220). Eine disruptive Innovation, die gleichzeitig ein Risiko für die Energiewende darstellt, kann beispielweise das Gelingen der Kernfusion sein (Prognos/GWS/EWI 2016, S. 50). Regenerativer bzw. biogener H<sub>2</sub> sowie synthetisches bzw. biogenes CH<sub>4</sub> (aus den Herstellungsprozessen P2G und A2X) können hingegen eher nicht mit dem Attribut »disruptiv« versehen werden, da sie weder einfacher und billiger, noch tendenziell zuverlässiger und benutzerfreundlicher sind.

- Mehrdimensionales Konzept nach Salomo (2003, S. 402-427), bestehend aus den drei Dimensionen (Technologie, Markt, Ressourcenfit) die jeweils in eine Mikro- und eine Makroperspektive zu unterscheiden sind.

#### 4.1.2.3 Bezugseinheit für den Innovationsgrad

Das dritte Differenzierungsmerkmal aus der ergebnisorientierten Sichtweise basiert auf „der Bezugseinheit für die Feststellung der Neuheitseigenschaften“ (Gerpott 2005, S. 46). Diese Differenzierung betrifft die subjektbezogene Dimension einer Innovation, die eine Antwort auf die Frage „Neu für wen?“ (Hauschildt/Salomo 2011, S. 18) sucht. Klassifiziert werden dabei Innovationen aus der internen (unternehmensorientierten) und der externen (Kunden- bzw. wettbewerbsorientierten) Perspektive (Gerpott 2005, S. 46f.). Damit kann überdies zwischen objektiver Neuheit (Weltneuheit) und subjektiver Neuheit (Betriebsneuheit) unterschieden werden (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 14). Der Untersuchungsgegenstand des strategischen Innovationsmanagements liegt in der Bestimmung des objektiven Innovationsgrades begründet (Schlaak 1999, S. 25).<sup>184</sup>

#### 4.1.3 Prozessorientierte Perspektive

Gemäß der prozessorientierten Perspektive wird die Innovation entlang der zeitlichen Abfolge von Aktivitäten und Entscheidungen (Innovationsprozess<sup>185</sup>) bestimmt, die in Abhängigkeit vom Start- und Endpunkt den Innovationsbegriff in drei Kategorien definieren: Im engeren Sinn, im erweiterten Sinn und im weitesten Sinn (Völker/Thome/Schaaff 2012, S. 18), (Gerpott 2005, S. 48). Die prozessorientierte Sichtweise ermöglicht zudem eine Abgrenzung des Innovationsmanagements zum Technologiemanagement und zum Forschungs- und Entwicklungsmanagement, wie die nachfolgende Abbildung zeigt.<sup>186</sup>

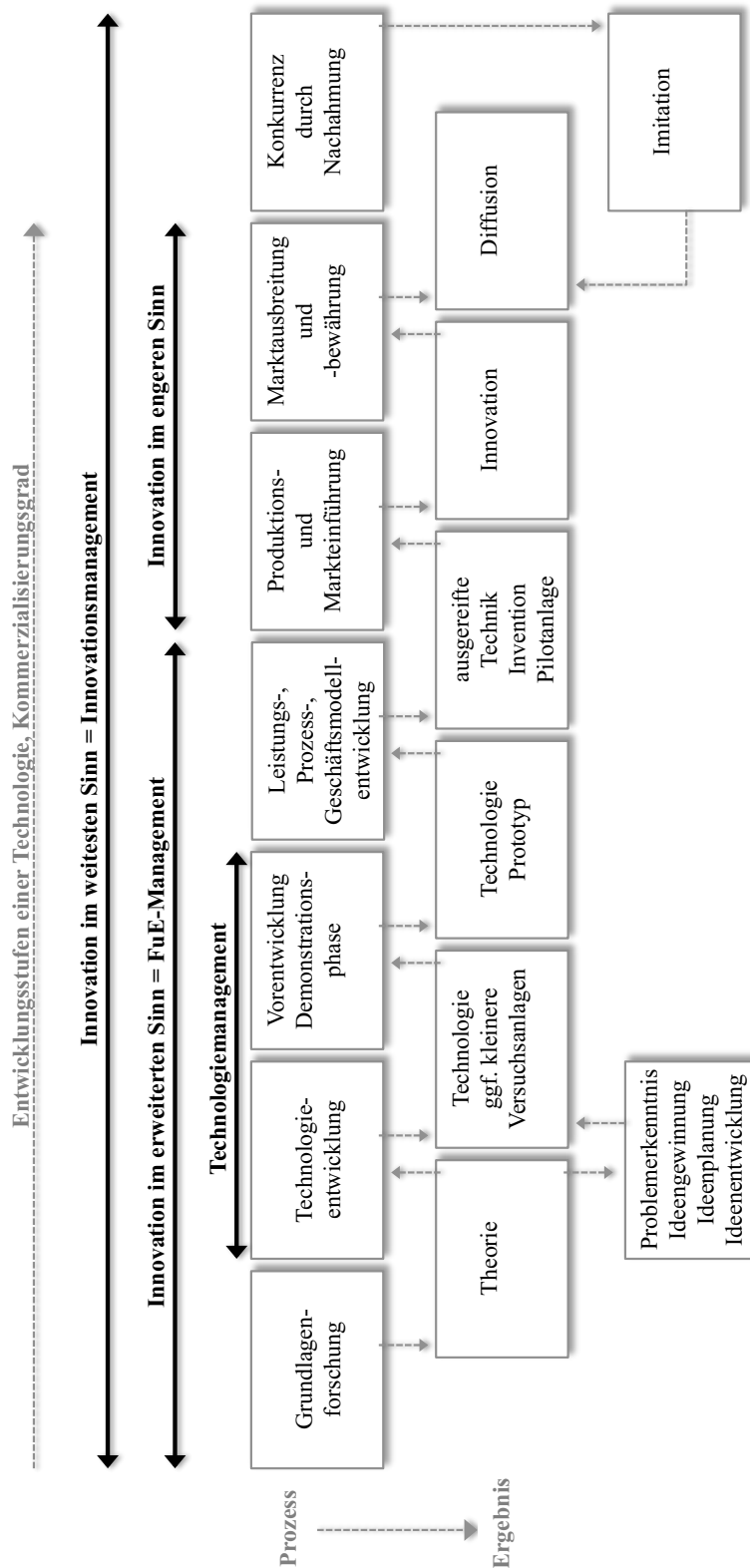
---

<sup>184</sup> Einschränkung anzumerken ist an dieser Stelle, dass in der betriebswirtschaftlichen Theorie die subjektive Neuheit als Bezugsgröße für das FuE-Management und das Innovationsmanagement verwendet wird (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 14). Aus Unternehmenssicht ist die Kenntnis des individuellen Innovationsgrades (Projektperspektive) zur Erreichung eines optimalen Risiko-Ertrags-Mix von zentraler Bedeutung (Salomo 2003, S. 402). Dieses ist die Voraussetzung für ein professionelles Management des Technologie- und Innovationsportfolios (ebd.) und ein grundlegender Parameter für Investitionsentscheidungen in FuE-Projekten. Abgrenzend dazu untersucht die Adoptions- und Diffusionsforschung den von Unternehmen registrierten Innovationsgrad und die prozessorientierte Innovationsforschung den unternehmensspezifischen Innovationsgrad (Schlaak 1999, S. 25).

<sup>185</sup> Siehe für eine vertiefende Darstellung des Innovationsprozesses Kapitel 4.2.

<sup>186</sup> Neben der hier dargestellten eingebetteten Sichtweise, kann die Abgrenzung zwischen dem Innovationsmanagement und dem Technologiemanagement über das Bindeglied des FuE-Managements erfolgen, welches als Schnittstellenfunktion zwischen den beiden Randbereichen fungiert (Gerpott 2005, S. 55f.), (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 12f.).

Abbildung 26: Prozessorientierte Abgrenzung Innovationsbegriff



Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Völker/Thome/Schaaff (2012, S. 18), Gerpott (2005, S. 49), Specht/Beckmann/Amelingmeyer (2002, S. 16), Brockhoff (1997, S. 29).

#### 4.1.3.1 Innovationsmanagement

Wie aus der Abbildung 26 hervorgeht, befasst sich das Innovationsmanagement mit der Innovation im weitesten Sinn. Es „umfasst alle Planungs-, Entscheidungs-, Organisations- und Kontrollaufgaben im Hinblick auf die Generierung und die Umsetzung von neuen Ideen in marktfähige Leistungen“ (Vahs/Brem 2013, S. 28). „Das Innovationsmanagement ist (...) [die] dispositive Gestaltung von Innovationsprozessen“ (Hauschildt/Salomo 2011, S. 29) und ist aus einer systemtheoretischen Einbettung heraus die „bewusste Gestaltung des Innovationssystems“ (ebd.). Das Innovationsmanagement koordiniert die Bearbeitung des gesamten Innovationsprozesses – von der Grundlagenforschung, bis hin zum Umgang mit einer etwaigen Nachahmung der Innovation durch Konkurrenten (Imitation)<sup>187</sup>. Das Innovationsmanagement im weitesten Sinn inkludiert damit das Forschungs- und Entwicklungsmanagement sowie das Technologiemanagement. Adaptiert auf den Charakter der Innovation im weitesten Sinn, wird diese als Summe aller *outputs* – von der Theorie<sup>188</sup>, über die Technologie<sup>189</sup>, Technik<sup>190</sup>, Invention<sup>191</sup>, Innovation (im engeren Sinn)<sup>192</sup> sowie dessen Diffusion<sup>193</sup> verstanden. Die Innovation im weitesten Sinn wird analog zum Management<sup>194</sup> als eine Querschnittsaufgabe über die einzelnen Funktionsbereiche des Unternehmens hinweg begriffen (Pleschak/Sabisch 1996, S. 7). Im Innovationsmanagement wird dementsprechend die Technologieperspektive um Fragen zur Beschaffung, Produktion, Personal, Marketing etc. erweitert (Hartmann 2013, S. 258). In einer Analogie zum strategischen Management<sup>195</sup>

<sup>187</sup> „Als Imitation bezeichnet man das Nachahmen von Lösungen, die in anderen Unternehmen bereits vorhanden sind und erfolgreich eingesetzt werden. Der Begriff der Imitation ist grundsätzlich negativ besetzt, weil ihr keine eigenständige kreative Leistung zugrunde liegt.“ (Vahs/Burmester 2002, S. 80)

<sup>188</sup> „Eine *Theorie* ist eine Menge bewährter Hypothesen, die miteinander in Beziehung stehen.“ (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 12, Hervorhebungen im Original) Sie leisten einen „Beitrag zur Erklärung der Realität“ (ebd.) (Ursache-Wirkungs-Aussagen) und sind in Abhängigkeit des Sachziels relevante Grundlagen für Technologien (ebd.). Es bedarf jedoch zunächst einer Transformation der Ursache-Wirkungs-Aussagen in Ziel-Mittel-Aussagen, da letztere erst „Aussagen über Mittel bzw. Instrumente, die zur Erreichung bestimmter Ziele geeignet sind“ (ebd.) beinhalten.

<sup>189</sup> Eine Technologie ist die Verkörperung von Wissen über Techniken (Freemann/Soete 1997, S. 24). Sie „sind auf Theorien basierende Anweisungen zum technischen Handeln“ (Vahs/Brem 2013, S. 26). Technologien sind das „Verbindungsglied zwischen Theorie und Praxis“ (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 12).

<sup>190</sup> Eine Technik ist eine „konkrete technische Anwendung der Technologien“ (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 12).

<sup>191</sup> Eine Invention ist die „erstmalige technische Realisierung einer neuen Problemlösung“ (Pleschak/Sabisch 1996, S. 6), die das Resultat erfolgreicher Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten darstellt (ebd.). Eine synonyme Bezeichnung des Inventionsbegriffs ist die Erfindung (ebd.). Gemäß § 1 Abs. 1 PatG sind Inventionen Erfindungen aller Technikgebiete, „sofern sie neu sind, auf einer erfinderischen Tätigkeit beruhen und gewerblich anwendbar sind“ und nicht den Ausschlüssen des § 1 Abs. 3 PatG unterliegen.

<sup>192</sup> Eine Innovation im engeren Sinn bezeichnet eine wirtschaftlich erfolgreich (erscheinende) Invention (Blitzer 1990, S. 8f.).

<sup>193</sup> Eine Diffusion bezeichnet die letzte Ausbreitung der Innovation auf dem relevanten Markt (Vahs/Burmester 2002, S. 260). Für weitere Definitionen zum Diffusionsbegriff und einer Einführung zur Diffusionstheorie wird exemplarisch auf Zotter (2003, S. 75ff.) verwiesen. Einhergehend mit dem Begriff der Diffusion sei an dieser Stelle auch der Terminus der Adoption definiert, durch den „[d]ie Akzeptanz einer neuen Problemlösung durch potenzielle Nutzer“ (Pleschak/Sabisch 1996, S. 6) bezeichnet wird. D. h. trifft ein Kunde in diesem Kontext eine erstmalige Kaufentscheidung, so wird dieses als Adoption bezeichnet (Vahs/Burmester 2002, S. 260). Für weitere Definitionen zum Adoptionsbegriff und einer Einführung in die Adoptionstheorie wird exemplarisch auf Zotter (2003, S. 75ff.) verwiesen.

<sup>194</sup> Siehe Kapitel 3.1.2.1.

<sup>195</sup> Siehe Kapitel 3.1.3.1.

besteht die zielgerichtete Aufgabe des strategischen Innovationsmanagements in „der grundsätzlichen und langfristigen Sicherung der Erfolgspotenziale“ (ebd., S. 5)<sup>196</sup>.

Liegt eine Invention vor, die wirtschaftlich erfolgreich ist bzw. rückwirkend als dies erschien (Hauschildt/Salomo 2011, S. 5), wird von einer Innovation im engeren Sinn gesprochen. Die mit einer Innovation im engeren Sinn verknüpften zentralen Phasen des Innovationsprozesses sind die Produktions- und Markteinführung sowie die Marktausbreitung und Bewährung am Markt. In diesen Phasen steht die innerbetriebliche bzw. marktliche Bewährung der neuartigen Zweck-Mittel-Verknüpfung bzw. der neuartigen Problemlösung im Vordergrund (Hauschildt/Salomo 2011, S. 5), (Pleschak/ Sabisch 1996, S. 4). Die Transformation einer Invention in eine Innovation folgt demnach dem Kriterium der wirtschaftlichen Nutzung (Blitzer 1990, S. 8f.). Im Zusammenhang mit dem Abgrenzungskriterium der Wirtschaftlichkeit ist auch das Abgrenzungskriterium der Akzeptanz zu nennen, welches Thom (1980, S. 24) über den Wortzusammenhang „*adoption of change*“ aus der Innovationsdefinition von Knight (1967, S. 478)<sup>197</sup> als „Akzeptanz der Neuheit (‘adoption’)“ (Thom 1980, S. 24, Hervorhebungen im Original) übersetzt und in Verbindung mit der „Durchsetzung neuer Kombinationen“ (Schumpeter 1934, S. 100, 103) wie folgt ableitet: „Eine Invention ist nur die gedankliche Konzipierung einer Neuheit, Innovation ist ihre Verwirklichung, die Durchsetzung einer neuen Kombination“ (Thom 1980, S. 24, Hervorhebungen im Original). Auf der Grundlage der Argumentationslinie von Thom, kann konstatiert werden, dass es sich bei den beiden Abgrenzungsmerkmalen im Wesen um das selbe Abgrenzungsmerkmal handelt (Wirtschaftlichkeit als monetärer Ausdruck der Akzeptanz in einer Ökonomie), gleichwohl sie aus unterschiedlichen Sichtweisen heraus begründet werden.

#### 4.1.3.2 Forschungs- und Entwicklungsmanagement

Der Startpunkt des Forschungs- und Entwicklungsmanagements beginnt ebenfalls bei der Grundlagenforschung, bettet das Technologiemanagement ein und hat seinen Endpunkt nach der Phase der Leistungs-, bzw. Prozess-, bzw. Geschäftsmodellentwicklung. „Forschung und Entwicklung (FuE) umfassen auf systematischer Basis durchgeführte kreative Arbeiten mit dem Ziel, den Bestand an Wissen (...) zu erhöhen und dieses Wissen zur Entwicklung neuer Anwendungen zu nutzen.“ (OECD 2016, S. 152)<sup>198</sup> Die FuE-Arbeiten werden in Abhängigkeit der Anwendungsorientierung in die drei zentralen Aktivitäten „Grundlagenforschung, angewandte Forschung und experimentelle Entwicklung“ (ebd.) unterteilt, wie die nachfolgende Abbildung zeigt.

---

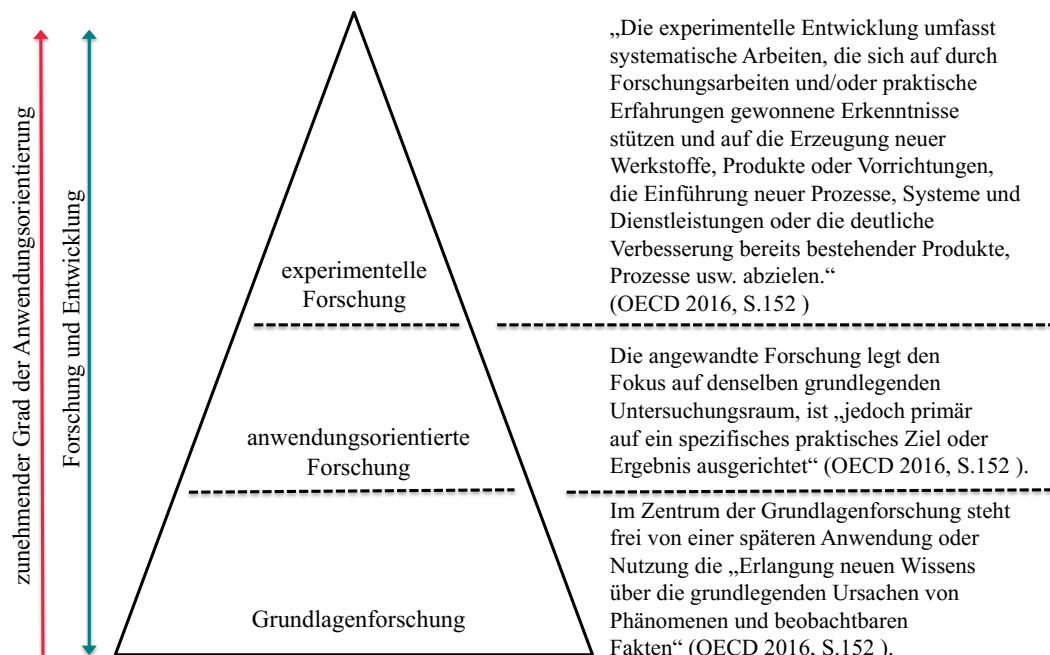
<sup>196</sup> In Abgrenzung zum strategischen Innovationsmanagement „bezieht sich das operative Innovationsmanagement auf die mittel- bis kurzfristige Gestaltung und Steuerung der geplanten und laufenden Innovationsaktivitäten“ (Vahs/Brem 2013, S. 5).

<sup>197</sup> „*An innovation is the adoption of a change which is new to an organization and to the relevant environment.*“ (Knight 1967, S. 478, Hervorhebungen der Verfasserin)

<sup>198</sup> Für weitere Definitionen zu Forschung und Entwicklung wird exemplarisch auf Vahs/Brem (2013, S. 26), Specht/Beckmann/Amelingmeyer (2002, S. 14), Brockhoff (1997, S. 35) und Kuhn (1992, S. 85-87) verwiesen.



Abbildung 27: FuE-Aktivitäten differenziert nach Grad der Anwendungsorientierung



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Definitionen der OECD (2016, S. 152).

Der *output* des FuE-Managements ist eine Invention, die einen ausgereiften Stand der Technik und die Existenz einer Pilotanlage impliziert. Inventionen dienen dem Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit (Schaltegger et al. 2007, S. 30) und sind ein erforderlicher Teil nachhaltiger Unternehmensentwicklung. FuE verfügen über das Potenzial einer positiven Auswirkung auf die Unternehmensziele – sie sind letztlich die zentrale Stellschraube, um Engpässe bei der Zielerreichung zu weiten (Brockhoff 1997, S. 144-146). Zu den Risiken der FuE zählt das wirtschaftliche Risiko (Kostenrisiko, Fragwürdigkeit der Marktdurchsetzung), das Zeitrisko, das technische Realisationsrisiko sowie das Serendipitätsrisiko (Schmeisser/Sollte 2010, S. 33), (Kuhn 1992, S. 100f.). Technische Realisationsrisiken entstehen aus der Unsicherheit, ob aus den FuE-Aktivitäten überhaupt verwendbare Inventionen entstehen (Kuhn 1992, S. 100). Das Serendipitätsrisiko bezieht sich auf die Unsicherheit, ob durch den Prozess sogar ganz neue ungeplante Lösungsansätze oder Technologieideen entstehen (Serendipitätseffekt) (Brockhoff 1997, S. 27), (Kuhn 1992, S. 100f.).

#### 4.1.3.3 Technologiemanagement

Das Wesen des Technologiemanagements<sup>199</sup> besteht in der tatsächlichen Technikentwicklung, der Entwicklung kleinerer Versuchsanlagen und eines Prototyps in der Demonstrationsphase. Die Phasen des Technologiemanagements sind von stetigen Rückkopplungsschleifen mit der Grundlagenforschung im Hinblick auf die Problemerkennntnis und die Gewinnung, Planung und Entwicklung der Idee gekennzeichnet. Die zentrale „Aufgabe des Technologiemanagements ist der Aufbau und die Aufrechterhaltung der technologischen Wettbewerbsfähigkeit“ (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 17), welches die Notwendigkeit impliziert, neben neuen zugleich die alten Technologien in die Betrachtung aufzunehmen (ebd.).

Wie bereits definiert, wird unter Technik eine „konkrete technische Anwendung der Technologien“ (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 12) verstanden, unter der Maßgabe dass Technologien als „auf Theorien basierende Anweisungen zum technischen Handeln“ (Vahs/Brem 2013, S. 26) verstanden werden. Einschränkend ist festzuhalten, dass sich technologische Problemlösungen im Vergleich zu technischen Problemlösungen „durch eine graduell schwächere Ausrichtung auf eine spezifische kommerzielle Anwendung auszeichnen (...), aber die Übergänge zwischen Technologie (...) und Technik fast immer fließend sind“ (Gerpott 2005, S. 19). Dem folgend werden die beiden Begriffe in dieser Arbeit unter dem Oberbegriff der Technologie zusammengefasst, sofern im Folgenden keine näheren Spezifizierungen getroffen werden.<sup>200</sup>

Zur Abbildung der Technologiedynamik, welche Rückschlüsse auf die Technologiepotenziale erlaubt, eignet sich das Konzept der Technologielebenszyklen<sup>201</sup> (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 63). Das Konzept basiert auf der Annahme, dass Technologien bestimmte Phasen durchlaufen, die wiederum Ausgangspunkt für Entscheidungen zukünftiger Produktinnovationen sind (Schmeisser/Sollte 2010, S. 44f.). In Verbindung mit der Analyse des Technologieportfolios<sup>202</sup>, das eine Kombination aus Attraktivität einer Technologie und der Ressourcenstärke eines Unternehmens abbildet, können unter Berücksichtigung strategischer Entscheidungsdimensionen (Kernkompetenzen, Markteintrittszeitpunkt, Quelle und Verwertung der Technologie) Technologiestrategien abgeleitet werden (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 104 ff.). Aufbauend auf dem Konzept des Technologielebenszyklus wird Unternehmen empfohlen, ihr Leistungsangebot auf Grund des Auslaufens bestimmter Lebenskurven zu erneuern, um etwaigen Umsatzeinbußen mit Hilfe eines *relaunch* vorzeitig entgegenzuwirken (Pleschak/Sabisch 1996, S. 13f.). Durch Innovationsprozesse können neue Technologien entstehen, die alte Prozesse ablösen und eine neue Lebenskurve einleiten (ebd.). Dabei ist zu beachten, dass es sinnvoll ist, bei mehreren Technologien ein ausgewogenes Portfolio

---

<sup>199</sup> Für eine Differenzierung in strategisches, operatives und taktisches Technologiemanagement wird exemplarisch auf Hartmann (2013) verwiesen.

<sup>200</sup> Die begriffsbestimmende Vereinfachung wurde von Gerpott (2005, S. 19) übernommen.

<sup>201</sup> Neben mathematischen Technologiediffusionsmodellen zählen zu den zentralen Erklärungsmodellen im Hinblick auf eine technologische Entwicklung die Technologielebenszyklus Modelle von Ford/Ryan (1981), Ansoff (1984, S. 102-105) und Arthur D. Little (basierend auf Sommerlatte/Deschamps 1985) sowie das S-Kurven Modell von McKinsey (basierend auf Krubasik (1982), Foster (1986)) und das *Hype-Cycle* Modell von Gartner (1995). Für eine ausführliche Diskussion der Technologielebenszyklus Modelle wird exemplarisch auf Frießem (2014, S. 21-28), Voigt (2008, S. 156-161), Tiefel (2007) und Michel (1987, S. 65-73) verwiesen. Für eine ausführliche Darstellung des *Hype-Cycle* Modell siehe Fenn/Raskino (2008).

<sup>202</sup> Die Technologieportfolio-Analyse geht auf Pfeiffer et al. (1982) zurück. Für eine ausführliche Darstellung unterschiedlicher Ansätze der Technologieportfolio-Analyse wird exemplarisch auf Vahs/Brem (2013, S. 132-135), Voigt (2008, S. 162-168), Gerpott (2005, S. 154-165), Osterloh (1994) und Michel (1987, S. 133-152) verwiesen.

im Hinblick auf eine günstige Kombination der verschiedenen Technologien in den einzelnen Lebenszyklusphasen zu besitzen (ebd.). Ein Beispiel aus der Energiewirtschaft ist das *repowering* von Windkraftanlagen: Hier werden kleine Anlagen durch große Anlagen ersetzt, wodurch eine Steigerung des Wirkungsgrades<sup>203</sup>, die Verlängerung des Lebenszyklus des Leistungsangebotes sowie eine Gesamtausweitung der begrenzten Flächenpotenziale erzielt werden kann (BMW i 2016b, S. 13), (BMU 2009, S. 40f.). Jedoch bilden Technologielebenszyklen einen idealisierten Verlauf ab (Tiefel 2007, S. 33, 36) und basieren auf einer ex post Betrachtung (Michel 1987, S. 71). Sie eignen sich lediglich in einem sehr begrenzten Umfang für die Ableitung von Prognosen (Tiefel 2007, S. 47) und können damit nur eingeschränkt einen Beitrag zur Reduktion der Unsicherheit leisten, „dem ein Unternehmen bei der Auswahl zwischen zwei konkurrierenden Technologien auf unterschiedlichem Reifegrad ausgesetzt ist“ (Michel 1987, S. 71).

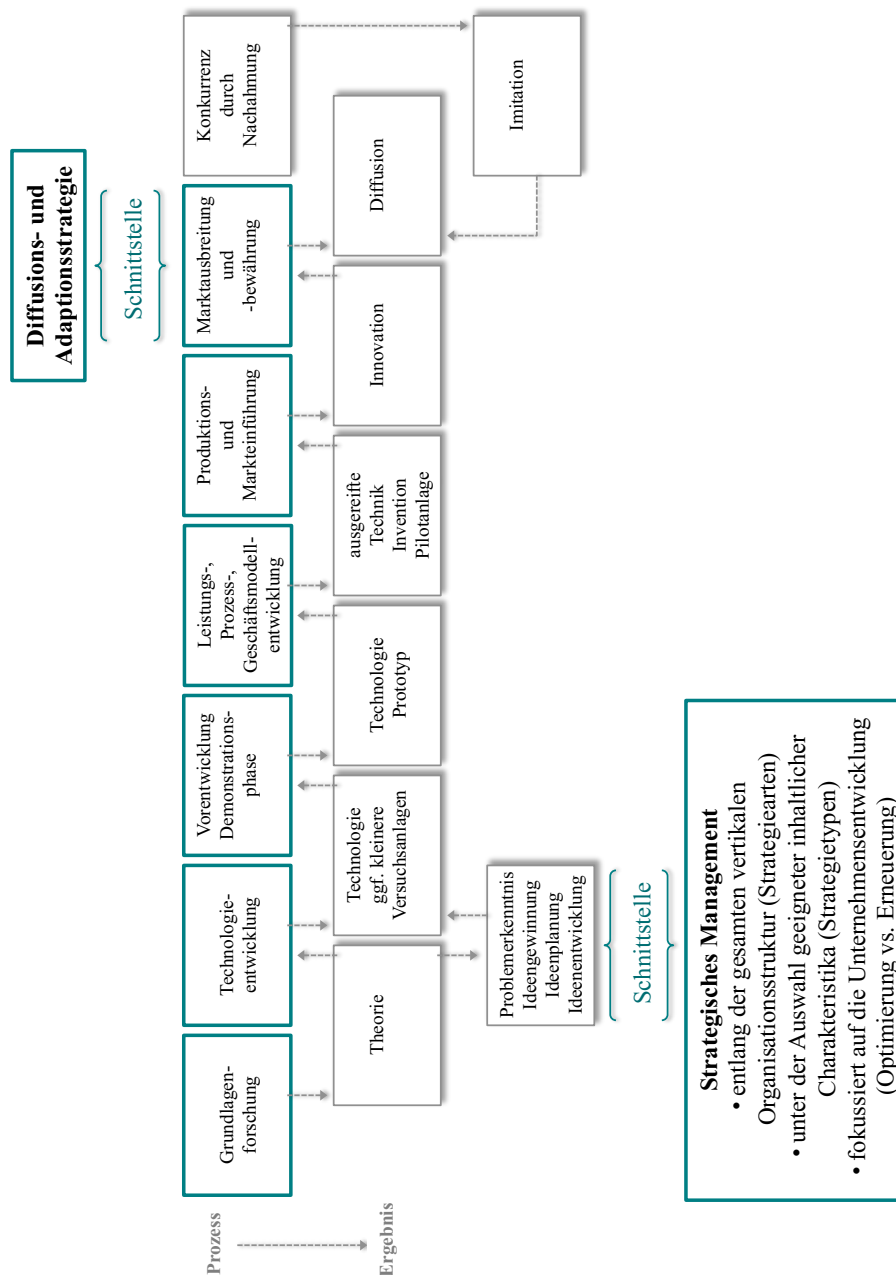
---

<sup>203</sup> Der Wirkungsgrad  $\eta$  bildet sich aus dem Quotienten der abgegebenen bzw. gewünschten Leistung (Nutzen) und der zugeführten Leistung (Aufwand) (Chemie.de o. J.b). Anders ausgedrückt: „Der Wirkungsgrad bildet das Verhältnis zwischen der erbrachten Nutzleistung und der Gesamtleistung“ (Vahs/Burmester 2002, S. 71). Das Verhältnis dieser beiden Parameter sollte im Ergebnis möglichst gegen die Zahl 1 (bzw. gegen 100 %) streben (Chemie.de o. J.b).

## 4.2 Prozessmodell zur Innovationsentwicklung

Wie bereits dargestellt, erfolgt die Entwicklung von Innovationen nicht zufällig, sondern folgt einem spezifischen Prozessablauf. Das zur prozessorientierten Definition des Innovationsbegriffs und der Abgrenzung des Innovationsmanagements herangezogene Phasenmodell sei an dieser Stelle noch einmal mit Fokus auf die Prozessphasen und die Schnittstellen zum strategischen Management sowie zur Diffusions- und Adoptionsstrategie aufgeführt.

Abbildung 28: Prozessmodell strategisches Innovationsmanagement



Quelle: Eigene Darstellung.

Neben den zur Entwicklung dieses Prozessmodells verwendeten Prozessmodellen aus der Literatur (siehe Quellenangaben Abbildung 26) existiert in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur eine Vielzahl unterschiedlicher Phasenmodelle zur Beschreibung des Ablaufs des Innovationsprozesses.<sup>204</sup> Dabei ist „die Unterscheidung der verschiedenen Innovationsphasen bzw. Entwicklungsstadien von der ersten Einführung bis hin zur allgemeinen Verbreitung nicht trennscharf“ (Klemmer/Lehr/Löbbe 1999, S. 33), welches auch die Heterogenität der in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur dargelegten Prozessmodelle erklärt.<sup>205</sup>

Entgegen dem Prozessmodell zur Strategieentwicklung<sup>206</sup> kann angenommen werden, dass das Prozessmodell zur Innovationsentwicklung nicht auf einem eindimensionalen *output* (Strategie), sondern auf einem mehrdimensionalen *output* (Theorie, Technologie, Prototyp, Pilot- und Demonstrationsanlagen, Invention, Innovation) gerichtet ist, gleichwohl beide Prozesse strategisch betrachtet, das gleiche Ziel verfolgen: Die Entwicklung strategischer Erfolgspotenziale und dessen Transformation zu strategischen Erfolgspositionen, über die Entfaltung von Wettbewerbsvorteilen und der damit langfristigen Sicherung des Unternehmenserfolgs. Bedingt durch die multiplen *outputs* und die zahlreichen Rückkopplungsschleifen zwischen den Phasen „zeichnen sich Innovationsprozesse durch ein wesentlich höheres Maß an Unsicherheit und Komplexität aus“ (Vahs/Brem 2013, S. 27), so dass Innovationsprozesse in ihrer Charakteristik stark von betrieblichen Routineprozessen abweichen (ebd.), (Hauschildt/Salomo 2011, S. 46), (Hauschildt/Salomo 2007, S. 40).<sup>207</sup> Zudem ist die Geschwindigkeit der technologischen Entwicklung „sowie die Distanz zum ‘technischen Durchbruch’ von Bedeutung“ (Hauschildt/Salomo 2011 S. 44). Dabei zeigen Hoffmann et al. (2015, S. 40), dass Transformationsprozesse besonders dann eine hohe Geschwindigkeit aufweisen, „wenn bestehende Strukturen erkennbar an ihre Grenzen kommen und bisherige Verhaltensmuster sich als nicht mehr tragfähig erweisen“. Dieses hohe Maß an Unsicherheit und Komplexität verbunden mit einer hohen Geschwindigkeit der umweltinduzierten Veränderungsprozesse beeinflusst auch diejeni-

---

<sup>204</sup> Für weitere Phasenmodelle des Innovationsprozesses wird exemplarisch auf das Grundscheema des Innovationsprozesses von Vahs/Brem (2013, S. 226), den Innovationsprozess von Noé (2013, S. 201), den *stage-gate-process* der vierten Generation von Cooper (2009, S. 54), den Innovationsprozess nach Voigt (2008, S. 380), das Innovationsprozessmodell von Tidd/Bessant/Pavitt (2005, S. 89), das Phasenmodell von Koen et al. (2002, S. 8), das Phasenmodell von Brockhoff (1997, S. 29), den Innovationsprozess von Herstatt (1999, S. 81), den *stage-gate-process* der dritten Generation von Cooper (1996, S. 479), das Phasenmodell von Pleschak/Sabisch (1996, S. 24), die Kernstufen des Innovationsprozesses von Witt (1996, S. 10), den *value proposition cycle* von Hughes/Chafin (1996, S. 93), das Prozessmodell von Ulrich/Eppinger (1995, S. 12-15), das *coupling model of innovation* von Rothwell (1995, S. 13), den *stage-gate-process* der zweiten Generation von Cooper (1990, S. 46), das Teilstufen Modell des Innovationsprozesses von Michel (1987, S. 13), das Phasenmodell von Kline/Rosenberg (1986, S. 290), das Dreiphasenmodell des betrieblichen Innovationsprozesses von Thom (1980, S. 53) und das Phasenmodell von Schmitt-Grohé (1972 S. 53) verwiesen. Für eine ausführliche Diskussion zu Netzplanmodellen im (operativen) Innovationsmanagement wird auf Witt (2010) verwiesen. Zwar bilden diese Modelle auch den prozessualen Charakter des Innovationsmanagements ab, über den Detaillierungsgrad der Prozessschritte (Aktivitäten) und die Verbindungslinie zur Organisationsebene der Funktionsbereiche (ebd., S. 312) sind diese Modelle aber tendenziell dem operativen Innovationsmanagement zugeordnet und werden an dieser Stelle nicht ausführlicher betrachtet.

<sup>205</sup> Bedingt durch die sehr starke Heterogenität der einzelnen Modellphasen der in der vorausgegangenen Fußnote aufgeführten Prozessmodelle zur Innovationsentwicklung, kann keine dem des strategischen Managements bzw. der strategischen Planung entsprechende Übersichtstabelle analog zum Anhang A.1 eingefügt werden.

<sup>206</sup> Siehe Kapitel 3.2.

<sup>207</sup> Prozessmodelle die Rückkopplungsschleifen beinhalten sind u. a. die von Vahs/Brem (2013, S. 226), Koen et al. (2002, S. 8), Pleschak/Sabisch (1996, S. 24), Rothwell (1995, S. 13), Kline/Rosenberg (1986, S. 290) und Schmitt-Grohé (1972, S. 53). Für eine detaillierte Diskussion ausgewählter Phasenmodelle zum Innovationsprozess wird auf Becker (2008, S. 80-99), Vahs/Burmester (2002, S. 83-93) und Verworn/Herstatt (2000) verwiesen.

gen Entscheidungen, die mit dem Für und Wider einer Innovation im Prozessablauf verbunden sind: „Innovationsentscheidungen sind mehrstufig und binden häufig umfangreiche finanzielle, materielle und personelle Ressourcen über lange Zeiträume hinweg“ (Vahs/Brem 2013, S. 27).

Das nachfolgende Kapitel vertieft unter dem Dach der Innovationsstrategien die Herausforderungen, die mit der Entwicklung von und der Entscheidung über Innovationen einhergehen (Kapitel 4.3.1), stellt die zentralen Hemmnisse und Treiber gegenüber (Kapitel 4.3.2) und fundiert das Definitionsmerkmal des Innovationsgrades im Hinblick auf die innovationsauslösenden Motive und Stimuli (Kapitel 4.3.3).

### 4.3 Innovationsstrategien

„Die Innovationsstrategie liefert den Handlungsrahmen für alle taktischen und operativen Maßnahmen zur Implementierung innovativer Vorhaben.“ (Globocnik/Salomo 2014, S. 64) Sie steht in direkter Korrespondenz zu den im strategischen Management definierten Strategiearten entlang der vertikalen Organisationsstruktur sowie den strategischen Stoßrichtungen (Strategietypen) und leistet einen Beitrag zur Erreichung der strategischen Ziele auf der Gesamtunternehmensebene. „Die Innovationsstrategie gibt also den Zweck, die Richtung, die Grenzen und die Regeln für innovative Aktivitäten vor“ (ebd.) mit dem Ziel den Unternehmenswert zu steigern (Müller-Prothmann 2009, S. 13). Innovationsstrategien bewegen sich in einem dreidimensionalen Raum aus Markt, Ressourcen und *timing* (Wördenweber/Wickord 2008, S. 5),<sup>208</sup> in dem sich die Herausforderungen für die Entwicklung von Innovationsstrategien, sowie die Treiber, Hemmnisse, impulsgebenden Motive und Stimuli der Innovationsstrategie entfalten.

#### 4.3.1 Herausforderungen für die Entwicklung von Innovationsstrategien

Die Herausforderungen, die mit der Entwicklung einer Innovationsstrategie einhergehen, können primär über die Merkmale der Innovationsaufgaben, die in Anlehnung an die funktionale Perspektive des Managements<sup>209</sup> als Teil des Innovationsmanagements verstanden werden, abgeleitet werden.<sup>210</sup> Zu den primären Herausforderungen, die an Innovationsaufgaben gestellt werden, zählen die Komplexität, der Neuigkeitsgrad, die Unsicherheit und das Risiko sowie der Konfliktgehalt (Vahs/Brem 2013, S. 31ff.), (Amit/Schoemaker 1993, S. 33)<sup>211</sup>, (Thom 1983, S. 7), (Thom 1980, S. 23). Die nachfolgende Abbildung gibt in Anlehnung an Thom (1983, S. 7) und Thom (1980, S. 31) eine schematische Darstellung der Beziehungsstruktur zwischen diesen Herausforderungen wieder (schwarze Pfeile). Die in der Literatur in diesem Zusammenhang verwendeten Begriffe »Unsicherheit« und »Risiko« werden in der Abbildung zugunsten der detaillierteren Begriffsabgrenzung für Entscheidungssituationen<sup>212</sup> nach Knight (1921, S. 19f., 233) spezifiziert und um die möglichen Auswirkungen der Zielabweichung in Anlehnung an Hillson (2002, S. 235), Lück/Henke/Gaenslen (2002, S. 230), Lück (2001, S. 2312) und Meier (2001, S. 20) erweitert (graue Pfeile). Zudem wird die Herausforderung der Komplexität um die Komponente der Dynamik ergänzt.

---

<sup>208</sup> Dieser dreidimensionale Raum kann in einem engen Verhältnis zu dem dreidimensionalen Raum der Strategiedefinition (Ziel, Weg, Zeit) betrachtet werden (siehe Kapitel 3.1.1.1).

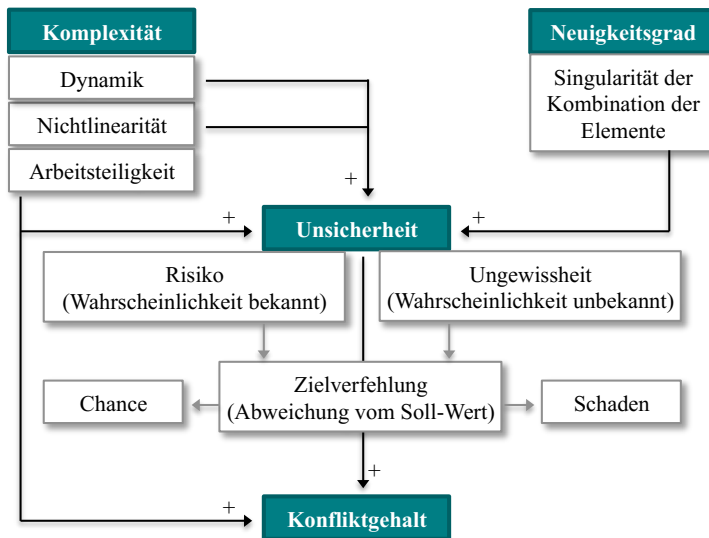
<sup>209</sup> Siehe Kapitel 3.1.2.1.

<sup>210</sup> Belegt kann dieser Rückschluss ferner über die Variation der Anforderungen an das Innovationsmanagement in Abhängigkeit der Variation der Merkmale der Innovationsaufgaben (Thom 1983, S. 6).

<sup>211</sup> Die von Amit/Schoemaker (1993, S. 33) aufgeführten Herausforderungen der Unsicherheit, Komplexität und des Konfliktgehalts wurden ursprünglich für Management-Entscheidungen im Allgemeinen dargelegt, können auf Grund ihres Gleichklangs aber auch als Beleg für die Herausforderungen bei der Entwicklung von Innovationsstrategien verwendet werden.

<sup>212</sup> Neben der hier dargestellten Entscheidungssituation unter Unsicherheit, kann eine Entscheidungssituation bezugnehmend auf den Informationsstand auch unter Sicherheit vorliegen (Bamberg/Coenberg/Krapp 2012, S. 53-78).

Abbildung 29: Herausforderungen an Innovationsstrategien



Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Thom (1983, S. 7), Thom (1980, S. 31).

Neben einer detaillierten Darstellung der einzelnen Herausforderungsdimensionen, zeigt die Abbildung die mehrstufige Beziehungsstruktur zwischen den selbigen: Der Grad der Komplexität und der Neuigkeit „können als Ursachen für die Ausprägung der Unsicherheit und des Konfliktgehalts gelten“ (Thom 1983, S. 6). „Die Unsicherheit in Innovationsprozessen erhöht [wiederum] das Konfliktpotenzial“ (ebd., S. 30). Im Folgenden werden die einzelnen Herausforderungen vertieft, unter Bezugnahme auf die Energie-wende als systemischer Innovationsprozess. Ausgenommen ist an dieser Stelle eine Vertiefung der Herausforderungen die mit dem Neuigkeitsgrad einhergehen, da dieses „konstitutive Merkmal“ (Thom 1980, S. 23) bereits in Kapitel 4.1.2.2 dargestellt wurde. Anzumerken sei lediglich, dass „[b]ei steigendem Neuigkeitsgrad (...) die Gestaltungsschwierigkeiten und die Anforderungen an das Innovationsmanagement“ (ebd., S. 26) zunehmen.

#### 4.3.1.1 Komplexität

Wie bereits bei der multifunktionalen Perspektive des Managements in Kapitel 3.1.2.1 aufgeführt, werden Unternehmen als komplexe Systeme betrachtet, die in einer Austauschbeziehung zu anderen, sich wandelnden (Umwelt-)Systemen stehen (Reimer 2005, S. 182), (Schlick 1998, S. 1). Systeme können mit dem Zusatz der Komplexität gekennzeichnet werden, wenn die Wesensmerkmale des Systems, d. h. die geordnete Ganzheit der Systemelemente, in einer multiplen, interdependenten und dynamischen Beziehung zueinanderstehen (Bleicher 1999, S. 31), (Rüegg-Stürm 2004, S. 18f., 65), (Ulrich 1970, S. 105f.). Die Komplexität vertritt den „Grad der Überschaubarkeit (...) gemessen an der Anzahl der Elemente sowie der Anzahl und der Verschiedenartigkeit der Beziehungen dieser Elemente zueinander“ (Vahs/Brem 2013, S. 33). Die Ursachen der Komplexität sind in der Nichtlinearität, Arbeitsteilung (Thom 1980, S. 29) und Dynamik gekennzeichnet. Nichtlinearität kann nach Ansoff (1976, S. 131) als „strategische Überraschung“ der



Zukunft verstanden werden, die einer linearen Extrapolation der Entwicklung der Vergangenheit in die Zukunft entgegensteht.<sup>213</sup>

Daraus abgeleitet entsteht die Komplexität maßgeblich über zwei Dimensionen: Die zeitbezogene Dimension der Dynamik<sup>214</sup> (Veränderlichkeit) der für Unternehmen prägenden Umgebung und ihrer zusammenhängenden Ursachen, wie beispielsweise neue Gesetze und Richtlinien, Technologiesprünge und eine Transformation der Marktstruktur. Und die Dimension der Kompliziertheit, (quantitative und qualitative Vielzahl) der wettbewerbsfähigen Wechselwirkungen in der prägenden Unternehmensumwelt, wie beispielsweise die Vielfalt möglicher Varianten, die Anzahl der Elemente und Beziehungen sowie Interdependenzen zwischen Strategien und Entscheidungen. (Dillerup/Stoi 2013, S. 34), (Vahs/Brem 2013, S. 33), (Amit/Schoemaker 1993, S. 33)

#### 4.3.1.2 Unsicherheit

Wie die vorausgegangene Abbildung zeigt, werden Entscheidungen und damit auch Innovationsentscheidungen, die unter Unsicherheit getroffen werden, in die Kategorien Risiko und Ungewissheit geordnet (Knight 1921, S. 19f., 233).<sup>215</sup> Der Terminus »Ungewissheit« beschreibt eine Situation, bei der unklar ist, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Ergebnis eintritt (Niermann 2014, S. 17), gleichwohl die mit dem Ereignis einhergehenden Konsequenzen bekannt sein können (Eisenführ/Weber 2003, S. 19). Dem gemäß können bei Ungewissheit zwar Informationen über mögliche Umweltzustände teilweise vorliegen, diese können jedoch nicht mit Wahrscheinlichkeitsaussagen über ihren Eintritt operationalisiert werden. Bedingt durch einen Informationsmangel kann in einer Ungewissheitssituation daher weder auf mathematisch-statistisch quantifizierbare (objektive) Wahrscheinlichkeitsangaben, noch auf erfahrungsbasierte (subjektive) Wahrscheinlichkeitsangaben im Rahmen der Bewältigung der Unsicherheit zurückgegriffen werden (Vahs/Brem 2013, S. 32), (Bamberg/Coenenberg/Krapp 2012, S. 24), (Blum 2001, S. 410). Ungewissheit „(...) liegt in der Regel dann vor, wenn Phänomene weitgehend unbekannt oder singulär sind“ (Blum 2001, S. 410).<sup>216</sup>

Die Ungewissheit der Unternehmen gegenüber stehen, kann beispielsweise entlang der Management-Ebenen in operationale und strategische Ungewissheit differenziert werden (Campenhausen 2006, S. 14f.), (Rogler 2002, S. 16-18).<sup>217</sup> Zu der strategischen Ungewissheit zählt primär die Interaktion mit der Unternehmensumwelt: Gesellschaft, Industrie, Technologie, Wettbewerb, Kundenpräferenzen, Kooperationen, *Merger & Acquisition*, *Investors Relation* und die regulatorischen Rahmenbedingungen (Campenhausen 2006, S. 14f., S. 170), (Amit/Schoemaker 1993, S. 33), die sich u. a. aus der Gesetzgebung oder politischen Zielsetzungen ergeben können.

---

<sup>213</sup> Siehe auch Kapitel 3.1.3.1.

<sup>214</sup> Für eine Vertiefung zu dynamischen Märkten wird exemplarisch auf Gudehus (2015) verwiesen.

<sup>215</sup> Kritisch anzumerken ist, dass nicht alle dieser Differenzierung folgen: „Wir weichen von dieser Definition ab, da wir den Fall der so definierten ‘Ungewißheit’ [sic!] für Realitätsfern und theoretisch dubios halten (...). Allerdings kann bei Risiko die Vorstellung des Entscheiders über die Wahrscheinlichkeit mehr oder weniger unvollständig sein.“ (Eisenführ/Weber 2003, S. 19f.)

<sup>216</sup> In diesem Zusammenhang steht auch der von Taleb (2007) geprägte Begriff »*black swan*«, der Ereignisse beschreibt, die sehr selten vorkommen, aber mit extremen Konsequenzen verbunden sind und nur retrospektiv (da nicht prospektiv) vorhersagbar sind (Taleb 2010, S. xxii).

<sup>217</sup> Für einen Überblick zu verschiedenen Risikoarten wird exemplarisch auf Wolke (2016, S. 9), Kirchner (2002, S. 53-55) und für einen Kriterienkatalog zur Systematisierung von Risikoarten auf Rogler (2002, S. 9-19) verwiesen.

Bezugnehmend auf den Innovationsprozess kann für Innovationsinvestitionen<sup>218</sup> ein „hohes Maß an Unsicherheit“ (Thom 1980, S. 27),<sup>219</sup> im Sinn der Ungewissheitsdefinition festgestellt werden, da bedingt durch den mit Innovationen einhergehenden Neuigkeitsgrad, nicht auf Erfahrungswissen zurückgegriffen werden kann (ebd.). „Erfahrungen sind eigentlich nur in bezug [sic!] auf den formalen Prozess der Innovation erwerbbar, da dieser – bei hinreichend starker Abstraktion – stets in ähnlicher Weise abläuft“ (ebd.). Auch für die Phasen der Produktions- und Markteinführung sowie der Marktausbreitung und Bewährung<sup>220</sup> kann eine Ungewissheitssituation unterstellt werden,<sup>221</sup> da weder für die rechtzeitige Fertigstellung, noch für die Absatzmengen und erzielbaren Marktpreise „sichere Erwartungswerte angesetzt werden können“ (ebd., S. 27f.).

„In komplexen Systemen muß [sic!] ständig zwischen möglichen Alternativen gewählt werden“ (Japp 1999, S. 36). Da in den meisten Situationen die Phänomene, im Sinn der Folgen nicht oder nur teilweise über Informationen abgeschätzt werden können, sind Entscheidungen notwendig, die über die Identifikation von Alternativen die Entscheidungssituation unter Ungewissheit in eine Entscheidungssituation unter Risiko transferieren (ebd.).<sup>222</sup> Der Terminus »Risiko« beschreibt eine Situation, bei der unklar ist, welches Ergebnis eintritt (Niermann 2014, S. 17), aber eindeutige Aussagen zur Eintrittswahrscheinlichkeit, dessen Verteilung auf objektiven, subjektiven oder komplementären Annahmen basieren kann, sowie Aussagen zu den Konsequenzen der Sachverhalte bekannt sind (Bamberg/Coenberg/Krapp 2012, S. 24), (Eisenführ/Weber 2003, S. 19f.).<sup>223</sup>

In Zusammenhang mit den in Kapitel 3.4 dargestellten Konzepten zur Rationalität menschlichen Verhaltens sei an dieser Stelle kritisch angemerkt, dass trotz der Vernunftbestrebungen in Bezug auf die Unsicherheit von einer vorherrschenden Risikowahrnehmungsgesellschaft gesprochen werden kann, da weder die Risiken für die Gesellschaft, noch die Ungewissheit der gesellschaftlichen Aktivitäten zugenommen hat (Renn 2014, S. 300f.). Dieses spiegelt sich im Risikoparadoxon, welches besagt, dass „die tatsächlichen Risiken für Leben und Gesundheit in unserer Gesellschaft ständig sinken, aber das Gefühl, in einer zunehmend riskanten Welt zu leben, im gleichen Maße zunimmt“ (Renn 2014, S. 298). Auch Vieweg (2015) stellt fest: „Klagen, ohne zu leiden, ist *die* generelle Attitüde der Kaufmannszunft. Insofern neigen gelernte Kaufleute dazu, (vermeintliche)

<sup>218</sup> Innovationsinvestitionen gehen mit der Entscheidung eines Investitionsvorhabens im Hinblick auf eine bestimmte Innovation einher (Thom 1980, S. 27), dem gemäß Innovationen Investitionen sind „[w]enn unter einer Investition eine für längere Frist beabsichtigte Bindung finanzieller Mittel verstanden wird, die (...) in der Absicht erfolgt, (...) [die Innovationsobjekte] zwecks Erreichung der individuellen Ziele einer Organisation zu nutzen“ (Kern 1976, S. 278, Hervorhebungen im Original).

<sup>219</sup> Dieses konstatieren auch (Hauschildt/Salomo 2007, S. 527): „Innovationen sind nicht als Glücksspiel, sondern als Investitionen mit hoher Unsicherheit zu behandeln“.

<sup>220</sup> Thom (1980, S. 28f.) bezeichnet diese beiden Phasen als Realisierungsphase und Absatzphase.

<sup>221</sup> Gleichwohl Thom (1980, S. 27f.) den Begriff des Risikos verwendet.

<sup>222</sup> Für eine vertiefende Literatur zur Entscheidungstheorie und zu Entscheidungsregeln unter Unsicherheit wird exemplarisch auf Thommen (2008, S. 745ff.) und Laux (2007, S. 105-120) verwiesen.

<sup>223</sup> Für eine systematische Analyse der Begriffsdefinitionen aus der betriebswirtschaftlichen Disziplin wird auf das Working Paper „Semantische Analyse des Risikobegriffs: Strukturierung der betriebswirtschaftlichen Risikodefinitionen und literaturempirischen Auswertung“ von Jonen (2007) verwiesen. Mit einer Grundgesamtheit (inklusive der Kontrollgruppe) untersuchte Jonen (2007) insgesamt 329 Einzeldefinitionen (ebd., S. 42). Da diese umfassende Analyse zwar in der Grundgesamtheit die Termini »Risiko« und »Unsicherheit« nach dem Unterscheidungsmerkmal vorliegender Wahrscheinlichkeitsverteilungen betrachtet (ebd., S. 39), die Ergebnisauswertung allerdings auf die Dreifaltigkeit der Definition (Risiko, Ungewissheit, Unsicherheit) ausweitet (ebd., S. 32, 44), kann nicht abschließend nachvollzogen werden, in wie fern sich die Analysedimensionen auf die Ergebnisdimensionen beziehen und umgekehrt. Für einen Überblick zur Systematik wissenschaftlicher Risikokonzepte in Anhängigkeit der Fachdisziplinen wird auf Renn et al. (2007, S. 25) verwiesen.

Risiken besonders herauszustellen (...)“ (ebd., S. 31, Hervorhebungen im Original). Allerdings bedarf es insbesondere in dem bereits konstatierten komplexen und dynamischen Umfeld, in dem Innovationen eingebettet sind, „ein (pro)aktives Chancenmanagement, das die inhärenten Risiken zwar mit bedenkt, aber eindeutig die Chancen und deren Management nach vorne stellt“ (Vieweg 2014, S. 4f.). Das Chancenmanagement muss sich gemäß Vieweg (ebd., S. 4) an der Unternehmensstrategie orientieren, um effizient operieren zu können, gleichzeitig wird die Unternehmensstrategie in Korrespondenz mit den Chancen entwickelt.<sup>224</sup> Letzterer Punkt verweist damit auf die Effektivität.

Neben dem betrachteten Informationszustand ist in Folge dessen die Zieldimension in Form des Zielbereichs, der sich aus einer Unsicherheit ergeben kann, ein zentrales Differenzierungskriterium der Unsicherheit (Jonen 2007, S. 32, 44, 106). Unsicherheit „zieht nicht nur die Möglichkeit einer negativen Beeinträchtigung der Ziele nach sich, sondern beinhaltet auch die positive Seite“ (ebd., S. 106). So besteht die Möglichkeit neben dem reinen Risiko im Sinne eines reinen Schadensausmaßes durch das spekulative Risiko zwei Abweichungsräume zu betrachten: Die negative Zielabweichung (Schadensausmaß) und die positive Zielabweichung (Chance) (Jonen 2007, S. 24-26), (Lück/Henke/Gaenslen 2002, S. 230), (Lück 2001, S. 2312).<sup>225</sup> Auch in der englischsprachigen Literatur ist die Risikodefinition von der zweischneidigen Zielabweichung geprägt: *Downside-risk* steht für den Schadensausmaß der Bedrohung und *upside-risk* für die Gelegenheit der Chance.<sup>226</sup> Für die Unsicherheitsdefinition von Knight (1921) kann entsprechend abgeleitet werden, dass es sich sowohl bei »Ungewissheit« als auch bei »Risiko« um einen übergeordneten Begriff handelt, der die negativen Auswirkungen als Bedrohung und die positiven Auswirkungen als Gelegenheit definiert (Hillson 2002, S. 235).

In Abgrenzung zum reinen Risiko, welches auch als Gefahr oder Bedrohung interpretiert werden kann, leitet sich das spekulative Risiko aus einer unternehmerischen Handlung ab (Lück/Henke/Gaenslen 2002, S. 230) und umfasst im Sinn einer unternehmerischen Unsicherheit zusätzlich die Zielabweichungsmöglichkeit der Chance (Lück 2001, S. 2312), (Meier 2001, S. 20). Der reine Blickwinkel auf den Schaden oder die Bedrohung schließt die Chancen und Potenziale aus, die aus unsicheren Phänomenen resultieren könnten, welches nicht nur für diese Arbeit eine zu enge Definition wäre, sondern auch für die Unternehmung an sich: „Kein Unternehmen würde seine Planung daraufhin untersuchen, welche Aktivitäten nur mit dem Risiko eines Fehlschlags verbunden sind.“ (Meier 2001, S. 18) „Chancen und Risiken sind die beiden Seiten ein und derselben Medaille.“ (Vieweg 2015, S. 31)<sup>227</sup>

---

<sup>224</sup> Vieweg (2014) bezieht sich dabei auf die grundlegende Literatur zum Chancenmanagement von Lück, ohne dabei auf eine spezifische Quellenangabe zu verweisen. Nach Überprüfung der von Lück veröffentlichten Literatur kann davon ausgegangen werden, dass sich Vieweg dabei auf die Quelle Lück (2001) bezieht.

<sup>225</sup> Vgl. hierzu auch die folgenden Definitionen: „Reine Risiken sind davon gekennzeichnet, dass sie beim Eintreten ausschließlich zu einer negativen Abweichung von einem angestrebten Zielzustand führen. Spekulative Risiken hingegen weisen als signifikantes Merkmal sowohl die Gefahr eines Verlustes als auch die Chance einer positiven Zielabweichung auf“ (Junginger/Krcmar 2003, S. 17). „In einer weiten Fassung kann unter Risiko bezogen auf ein Unternehmen sowohl die Chance von Gewinnen als auch die Gefahr von Verlusten verstanden werden.“ (Rogler 2002, S. 5)

<sup>226</sup> Vgl. z. B. Reborado/Rivera-Castro/Ugolini (2016), Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011, S. 10), Ang/Chen/Xing (2006), Ward/Chapman (2003, S. 98, 102), Hillson (2002) und Sortino/Satchell (2001).

<sup>227</sup> Die Verbindung zwischen Risiko und Chance konstatieren in einer ähnlichen Art auch Jonen (2007, S. 24f.) und Blum (2001, S. 410). Beispielsweise fordert auch § 289 Abs. 1 HGB, dass Kapitalgesellschaften im Lagebericht sowohl zu den Risiken als auch zu den Chancen, die mit einer voraussichtlichen Entwicklung verbunden sind, Stellung nehmen.

Wie bereits in der dieser Arbeit zugrunde gelegten Definition zum strategischen Management festgestellt wurde,<sup>228</sup> gestaltet, lenkt und entwickelt das strategische Management unternehmerisches Denken und Handeln in komplexen, langfristigen, dynamischen und unsicheren Umwelten mit dem auf einen unternehmerischen Erfolg gerichteten Ziel, um mit Hilfe von Veränderungsfähigkeit (Transformation) und Widerstandsfähigkeit (Resilienz) Diskontinuitäten zu begegnen, effektiv und effizient zu wirtschaften und über die operative Wandlung von strategischen Erfolgspotenzialen in strategische Erfolgspositionen Wettbewerbsvorteile zu generieren. Wie bereits dargestellt wurde, sind Innovationen von einem hohen Maß an Unsicherheit gekennzeichnet, gleichzeitig sind sie eine Quelle für die Entwicklung von strategischen Erfolgspotenzialen.<sup>229</sup> Daraus abgeleitet, öffnen Innovationen das Tor zu beiden Zielabweichungsdimensionen gegenüber dem Soll-Zustand: Chance und Schaden.

Die mit der Transformation von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen einhergehenden Unsicherheiten werden im Rahmen der Fallstudienanalyse<sup>230</sup> dementsprechend unter der Maßgabe beider Dimensionen untersucht: Potenzielle negative Auswirkungen der Unsicherheit im Sinn eines reinen Risikos (Schaden, Bedrohung), sowie die positiven Auswirkungen der Unsicherheit im Sinn der Gelegenheit (Chancen, Potenziale).

#### 4.3.1.3 Konfliktgehalt

Eine weitere Herausforderung die mit Innovationen und Innovationsstrategien einhergeht ist der Konfliktgehalt, der durch den Neuigkeitsgrad, die Komplexität und die Unsicherheit verstärkt wird (Thom 1980, S. 30f.). Der Konfliktgehalt beschreibt das Ausmaß unvereinbarer Beziehungen zwischen Objekten oder Handlungen (Vahs/Brem 2013, S. 35). Konflikte können auf unterschiedlichen Ebenen und in unterschiedlichen Konstellationen des Innovationsprozesses auftreten (Vahs/Brem 2013, S. 35f.), (Hauschildt/Salomo 2007, S. 43f.), (Amit/Schoemaker 1993, S. 33):

- Unternehmensintern:
  - Konflikte inter- und intrapersoneller Natur,
  - Konflikte zwischen Innovationsobjekt und Unternehmensstandard, Unternehmensphilosophie und bereits bestehendem Unternehmensportfolio;
- Unternehmensextern:
  - Konflikte zwischen Innovationsobjekt und öffentlicher Akzeptanz,
  - Konflikte zwischen Innovationsobjekt, politischer Zielsetzung und Gesetzgebung.<sup>231</sup>

Ein an dieser Stelle hervorzuhebender Aspekt ist der Konfliktgehalt zwischen dem Innovationsobjekt und dem bereits bestehenden Unternehmensportfolio (insbesondere Produkte, Dienstleistungen, Geschäftsmodelle). Wie bereits im Rahmen der Geschäftsbereichsstrategien in Kapitel 3.1.1.2 Strategietypologie festgestellt wurde, besteht besonders in diversifizierten Unternehmen, die über mehrere SGE verfügen, die Gefahr der Konkurrenz zwischen den Geschäftsfeldern.

---

<sup>228</sup> Siehe Kapitel 3.1.3.2.

<sup>229</sup> Siehe Kapitel 4.1.1.

<sup>230</sup> Siehe Teil C Empirische Untersuchung ausgewählter Systeminnovationen.

<sup>231</sup> Abgeleitet werden kann, dass der Konfliktgehalt auch mit den Merkmalen systemischer Risiken (Ambiguität und Ambivalenz) nach Renn (2014, S. 338, 383) in einem Zusammenhang steht: Bereits über die Mehrdeutigkeit in der Wahrnehmung auf ein Innovationsobjekt können Konflikte entstehen.

Für die Innovationsstrategie bedeutet dieses, dass Innovationsobjekte in der Lage sind, das angestammte Geschäft zu kannibalisieren. Dieses beeinflusst die Entscheidung von Innovationsinvestitionen und kann ein Innovationshemmnis darstellen. Beispielsweise können Innovationsinvestitionen in den Ausbau erneuerbarer Energien die auf fossile Energieträger ausgerichteten Geschäftsfelder eines Energieversorgungsunternehmens kannibalisieren, so dass ein Konflikt besteht (Innovations-)Investitionen im Bereich erneuerbarer Energien zu tätigen. Laufen gar mehrere Innovationsprojekte zeitlich parallel ab, können Verteilungskonflikte, beispielsweise im Hinblick auf die Verteilung von Budget, Personal, Zeit und anderen Ressourcen entstehen, die eine Projektkonkurrenz auslösen, welche ihrerseits den Innovationsprozess im Ganzen und die Unternehmensentwicklung hemmen können (Hauschildt/Salomo 2007, S. 51, 90).

Der Konfliktgehalt kann sich ferner in „*Lock-in-* bzw. *Lock-out-*Phänomenen“<sup>232</sup> (Erdmann/Zweifel 2010, S. 96, Hervorhebungen im Original) spiegeln. Ihnen zur Folge ist die Markteinführung einer Innovation gehemmt, trotz ökologischer Vorteilhaftigkeit (höhere Energieeffizienz, geringere THG-Emissionen) verglichen mit bereits am Markt verfügbaren Technologien (ebd.). Eine Ursache für *Lock-in-* bzw. *Lock-out-*Phänomene sind Lerneffekte, die sich über die Einführung einer neuen Technologie entfalten (ebd.).

„Lerneffekte (*Learning by Doing, Learning by Using*) beruhen darauf, dass sich das akumulierte Erfahrungswissen mit zunehmender kumulierter Produktion einer Technik vergrößert und auf diesem Weg die Stückkosten (Grenzkosten) und damit die Marktpreise sinken.“ (ebd., Hervorhebungen im Original)

Über Lerneffekte kann eine neue Technologie nach der Markteinführung zwar an Wettbewerbsfähigkeit gewinnen, gleichzeitig profitieren aber auch die bereits am Markt verfügbaren Technologien über die Lerneffekte der neuen Technologie und können u. U. einen Kostenvorsprung verwirklichen (ebd.). Im Fall einer Verdrängung der bereits am Markt verfügbaren Technologie durch eine neue Technologie, müsste auch das mit der bereits verfügbaren Technologie verbundene Erfahrungswissen abgeschrieben werden (ebd.). Mit der Kannibalisierung des auf Lerneffekten basierenden Erfahrungswissens kann daraus ein Konfliktgehalt abgeleitet werden. Dieser Konfliktgehalt kann zu einer Innovations-Blockade bei den hinter der bereits eingeführten Technologie stehenden Unternehmen führen, die sich gegen die Verdrängung durch eine innovative Technologie wehren (ebd., S. 96f.), welches wiederum zu einer Pfadabhängigkeit führen kann.

---

<sup>232</sup> In diesem Zusammenhang wird auch von Pfadabhängigkeiten gesprochen, die sowohl im Unternehmen, in Netzwerken als auch im Markt fundiert sein können (Hoffmann et al. 2015, S. 39), (Heller 2014), (Burger 2013).

#### 4.3.2 Hemmnisse und Treiber zur Umsetzung von Innovationsstrategien

Neben der Kannibalisierung können weitere Hemmnisse, wie z. B. starre Marktstrukturen, unsichere Energienachfrageentwicklung, Preissensibilität der Kunden, Erschwernisse auf dem Kapital- bzw. *Venture*-Markt, unklare politische Rahmenbedingungen, Regulierung, Gesetze und Handelsbeschränkungen, unzureichende Subventionen und politische Unterstützung, Fachkräftemangel und mangelnde soziale Akzeptanz bestehen. Innerbetriebliche Innovationshemmnisse können anwendungs- oder erfindungsorientiert sein. Zu Ihnen zählen eine starre Unternehmensorganisation bzw. Unternehmensstruktur,<sup>233</sup> unklare Gesellschafterpräferenzen, fehlende Anreizsysteme, ein (zu) kleines Innovationsbudget, geringe Priorisierung der Innovationen, unzulängliche Informations- und Kommunikationssysteme sowie technische Hemmnisse z. B. in Form fehlender Ausrüstungsgegenstände und fehlendem *know-how*. (Stanger 2017, S. 73f.), (Bitzer 1990, S. 13-18), (BDEW/CTG 2010, S. 5, 7f.)

Die Innovationstreiber für den Innovationsprozess können teilweise aus der Affirmation der Innovationshemmnisse abgeleitet werden. Zu den Treibern zählen beispielweise der demografischer Wandel, Nachhaltigkeit, Subventionen, gesellschaftliche Rahmenbedingungen und Kundenerwartungen (wie z. B. die soziale Akzeptanz), politische, gesetzgeberische und regulatorische Einflüsse und Vorgaben auf nationaler und europäischer Ebene, Renditeerwartungen der Eigentümer, Rohstoffknappheit und -preise, Material- und Werkstoffentwicklungen, Wettbewerbsentwicklung, Klimaschutzbemühungen, Wirkungsgrad- und Effizienzsteigerungen, sowie die Entwicklungen der Informations- und Kommunikationstechnologie (Digitalisierung). (Stanger 2017, S. 73f.), (BDEW/CTG 2010, S. 5, 7f.)

#### 4.3.3 Impulsgebende Motive und Stimuli

Die Innovationsstrategie „dient dem Gesamtziel des Unternehmens, langfristig Wettbewerbsvorteile im Markt zu erzielen und dadurch den ökonomischen Erfolg und letztlich den Fortbestand zu sichern“ (Vahs/Brem 2013, S. 28). Innovationen spiegeln folglich den wirtschaftlichen Unternehmensnutzen wider und tragen maßgeblich zur Erfüllung der Unternehmensziele bei. Zu den zentralen Zielsetzungen im Rahmen einer Innovationsstrategie gehören Qualitätsverbesserung, Kostensenkung, Zeitverkürzung, Erhöhung der Flexibilität, Stärkung des *know-how* und der Kompetenz sowie soziale und gesellschaftliche Ziele (Pleschak/Sabsich 1996, S. 8ff.). Insbesondere in der Energiewirtschaft und der energieintensiven Industrie können impulsgebende Motive für eine unternehmerische Innovationsstrategie auch in einem nachhaltigen Beitrag zum Schutz des Klimas und der Umsetzung der Energiewende, z. B. durch die Senkung von THG-Emissionen und dem Ausbau erneuerbarer Energien begründet sein (BDEW/CTG 2010, S. 5).<sup>234</sup>

Aus dem technischen Betrachtungswinkel heraus ergeben sich zudem Innovationsziele durch das Streben nach einer Technologieführerschaft und der Steigerung von Effektivität und Effizienz wie z. B. die Erhöhung des Wirkungsgrades (Vahs/Burmester 2002, S. 70f.). Besonders in der Energiewirtschaft und in der energieintensiven Industrie, in der

---

<sup>233</sup> Beispielsweise „durch das Festhalten an Gewohnheit und Tradition“ (Alisch/Arentzen/Winter 2004, S. 1497).

<sup>234</sup> Speziell bei der Produktentwicklung im Rahmen von *eco-innovations* ist die Motivation der Akteure ausschlaggebend (Fichter et al. 2006, S. 35). In diesem Kontext soll über eine *first-mover* Position neben der Erreichung ökonomischer Zielsetzungen (Erzielung und monetäre Abschöpfung von Wettbewerbsvorteilen, Erhöhung des Marktanteils, Erschließung neuer Märkte) „ein positives Image aufgebaut“ (ebd.) werden.

die optimale Nutzung von Ressourcen ein zentraler ökonomischer und ökologischer Parameter ist, ist die Kennzahl des Wirkungsgrades von außerordentlicher Bedeutung. Sie kann daher nicht nur das Ziel, sondern auch das Motiv<sup>235</sup> der Entwicklung neuer Leistungen, Prozesse und Geschäftsmodelle begründen (ebd.).

Wird die Frage nach den impulsgebenden Motiven auf die grundlegende Strategierichtung<sup>236</sup> von Innovationen ausgelegt, so spezifiziert die wirtschaftswissenschaftliche Literatur primär zwei innovationsauslösende Stimuli, die im Einklang mit dem Innovationsgrad zu betrachten sind. Zu unterscheiden sind zweckinduzierte (Marktsog) und mittelinduzierte (Angebotsdruck) Stimuli (Vahs/Brem 2013, S. 63, 111), (Voigt 2008, S. 379f.), (Hauschildt/Salomo 2007, S. 7), (Pleschak/Sabisch 1996, S. 2f.).<sup>237</sup> Diese Unterteilung spiegelt die grundsätzliche, richtungsweise Begründung des Unternehmenserfolgs über Wettbewerbsvorteile des strategischen Managements wider: Marktorientierter Ansatz und ressourcenorientierter Ansatz (Voigt 2008, S. 374).<sup>238</sup>

Zweckinduzierte Innovationen werden auf Grund der Stimulierung seitens des Marktes bzw. der Nachfrage auch *market-pull* Innovationen bzw. *demand-pull* Innovationen genannt. Die strategische Annahme der zweckinduzierten Innovation besteht darin, dass die FuE-Aktivitäten durch ein konkretes Kundenbedürfnis (Kundennachfrage) oder durch ein Problem vom Markt ausgelöst werden, an deren Anforderungen das Innovationsmanagement auszurichten ist. (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 32), (Vahs/Burmester 2002, S. 79) Zweckinduzierte Innovationen verfügen über eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit, da die Nachfrage bereits geweckt wurde (Vahs/Burmester 2002, S. 79), (Pleschak/Sabisch 1996, S. 2). Es handelt sich bei inkrementellen Innovationen zumeist um zweckinduzierte Innovationen (Gerpott 2005, S. 41).

Mittelinduzierte Innovationen werden auch *technology-push* Innovationen bzw. *knowledge-push* Innovationen genannt.<sup>239</sup> Die strategische Annahme besteht darin „ein latent vorhandenes Bedürfnis potenzieller Kunden mit der Entwicklung neuer Technologien zu wecken und damit möglicherweise einen neuen Markt zu schaffen“ (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 32). Mittelinduzierte Innovationen verfügen über einen höheren Innovationsgrad und geringere Erfolgswahrscheinlichkeiten verglichen mit zweckinduzierten Innovationen, da sie zunächst eine Marktnachfrage wecken müssen (Pleschak/Sabisch 1996, S. 2f.), (Voigt 2008, S. 374f.). Es handelt sich bei radikalen Innovationen zumeist um mittelinduzierte Innovationen (Gerpott 2005, S. 41).

---

<sup>235</sup> Für eine Übersicht zu weiteren Innovationsmotiven wird auf (Plachek/Sabisch 1996, S. 13f.) verwiesen.

<sup>236</sup> An dieser Stelle sei anzumerken, dass eine Diskussion zwischen zweck- und mittelinduzierten Innovationen in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur in der Regel im Rahmen des Innovationsgrades geführt wird. Da es sich in Anlehnung an Specht/Beckmann/Amelingmeyer (2002, S. 104) um zwei grundlegende Strategierichtungen handelt, soll diese Diskussion hier im Rahmen der Innovationsstrategie geführt werden.

<sup>237</sup> Vgl. zudem Voigt (2008, S. 374f.), Hauschildt/Salomo (2007, S. 7), Gerpott (2005, S. 41f.), Perl (2003, S. 38f.), Specht/Beckmann/Amelingmeyer (2002, S. 32, 104), Perl (2003, S. 38f.), Vahs/Burmester (2002, S. 79).

<sup>238</sup> Voigt (2008) nimmt mit dieser Spiegelung Bezug auf die taktische Ebene, welche bedingt durch die vorangegangenen Ausführungen jedoch nicht geteilt werden kann. Vielmehr handelt es sich bei diesem Aspekt um eine Spiegelung des strategischen Managements und des strategischen Innovationsmanagements. Siehe für eine ausführliche Darstellung des markt- und ressourcenorientierten Ansatzes im strategischen Management die Kapitel 3.3.2.2 und 3.3.2.3.

<sup>239</sup> Seltener erscheint in diesem Kontext der Begriff der *science-push* Innovationen (Freeman 1979, S. 206).

Die nachfolgende Tabelle verdeutlicht die Unterschiede zwischen zweck- und mittelinduzierten Innovationen noch einmal anhand zentraler marktbezogener Kriterien.<sup>240</sup>

**Tabelle 11: Gegenüberstellung mittel- und zweckinduzierter Innovationen**

Marktbezogene Kriterien	Mittelinduzierte (radikale) Innovationen	Zweckinduzierte (inkrementelle) Innovationen
Ausgangspunkt	Technisches Merkmal: Erfindung	Offenes oder latentes Kundenbedürfnis
Repräsentiert durch...	Technische Produktbeschreibung	Marktlücke, z. B. in der <i>Produkt-Roadmap</i>
Streben nach...	Akzeptanzpotenzialen	Technischer Realisierung
Hilfsmittel	z. B. Technologieportfolio	z. B. <i>Quality Function Deployment</i>
Engpass der Innovation	Marktkommunikation	Entwicklung
Technologische Unsicherheit	Hoch	Niedrig
FuE Aufwendungen	Hoch	Niedrig
FuE Zeitdauer	Lang	Kurz
Innovationsgrad	Hoch	Niedrig
Absatzmarktbezogene Unsicherheit	Hoch	Niedrig
Erfolgswahrscheinlichkeit	Geringer	Höher
Vermarktungszeitpunkt	Unsicher / unbekannt	Sicher / bekannt
Vermarktungsmöglichkeit	Nicht bekannt	Bekannt
Kundenintegration in FuE	Schwierig	Einfach
Kundenroutine	Nicht vorhanden	Vorhanden
Art der Marktforschung	Qualitativ-entdeckend / explorativ	Quantitativ-prüfend / konventionell
Veränderung von Kundenverhalten und Kundenkompetenz	In erheblichem Ausmaß erforderlich	Kaum erforderlich
Art des Innovationsprozesses	Versuchs- und Lernprozess	<i>Stage-Gate-Process</i> (Strukturierter Meilenstein Prozess)

Quelle: Eigene, erweiterte Darstellung in Anlehnung an Voigt (2008, S. 375), Gerpott (2005, S. 41f.), Herstatt/Letl (2004, S. 157, 166).

In der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur wird konstatiert, dass diejenigen Innovationen am erfolgreichsten sind, die auf einem Wechselspiel, d. h. der „Synchronisation der beiden Strategierichtungen“ (Specht/Beckmann/Amelingmeyer 2002, S. 32) begründet sind, so dass eine gleichzeitige innovative Zweck-Mittel-Kombination vorliegt (Hauschildt/Salomo 2011, S. 4f.), (Hauschildt/Salomo 2007, S. 7.), (Gerpott 2005, S. 52), (Rothwell 1995, S. 10-13), (Wolfrum 1994, S. 1016), (Freeman 1979, S. 211-215), (Baker/Siegman/Rubenstein 1967, S. 160). Unter der Annahme, dass im strategischen Innovationsmanagement die Strategierichtung des *demand-pull* den marktorientierten Ansatz und die Strategierichtung des *technology-push* den ressourcenorientierten Ansatz des strategischen Managements spiegeln, könnte ferner angenommen werden, dass sich das Zusammenspiel dieser beiden Strategierichtungen der innovativen Zweck-Mittel-Kombination über den kompetenzbasierten Ansatz der strategischen Managements spiegelt.

Für die aus dem systemischen Innovationsprozess der Energiewende resultierenden Innovationen kann ein „*Push-Pull-Verhältnis*“ (Hoffmann et al. 2015, S. 39, Hervorhebungen der Verfasserin) über die Wechselwirkungen von Energiewendetechnologien und den Märkten der Energiewende bestätigt werden (ebd.).

<sup>240</sup> Gleichwohl anzumerken ist, dass eine exakte Abgrenzung auf Grund der engen Verflechtungen nicht überscheidungsfrei möglich ist (Vahs/Brem 2013, S. 111).



„Technologien auf der Grundlage wettbewerbsfähiger Innovationen werden Marktanteile von herkömmlichen Technologien übernehmen und diese Märkte mit der resultierenden technologischen Transformation strukturell verändern. Zugleich wirken die Anforderungen der Märkte auf die Innovationstätigkeit der Technologieanbieter, die bemüht sind, die ‘richtigen’ Produkte zu entwickeln, um einen Innovations- und Technologievorsprung zu generieren und dadurch Exportchancen in globalen Zukunftsmärkten zu maximieren.“ (Hoffmann et al. 2015, S. 39)

Neben den zwei klassischen Innovationsstimuli des *demand-pull* und *technology-push* kann auch ein ökologieinduzierter Stimulus vorliegen (Vahs/Brem 2013, S. 111f.). Es wird angenommen, dass der an dieser Stelle als *eco-pull* bezeichnete Stimulus, insbesondere Umweltinnovationen (*eco-innovations*) induziert. Wird die Umwelt-innovation in einem umfassenderen Blickwinkel, d. h. in einer Erweiterung der Dimensionen der Ökonomie und des Sozialen verstanden, handelt es sich um eine Nachhaltigkeitsinnovation. Nachhaltigkeitsinnovationen können durch ein Bündel unterschiedlicher Stimuli induziert werden (Fichter et al. 2006, S. 35), welches auf der Multi-Impuls These von Klemmer/Lehr/Löbke (1999, S. 80) basiert.<sup>241</sup> Es wird ferner angenommen, dass die *eco-pull* Indizierung eine notwendige Voraussetzung für Nachhaltigkeitsinnovationen ist, da ungeachtet der Gewichtung zwischen den Nachhaltigkeitsdimensionen<sup>242</sup>, ohne die ökologische Dimension keine Nachhaltigkeitsinnovation besteht.

Basierend auf der Multi-Impuls These hat Fichter (2005, S. 131-132)<sup>243</sup> neben den beiden klassischen Innovationsstimuli des *demand-pull* und *technology-push* vier weitere Innovationsauslöser identifiziert:

- Der *regulatory-push* umfasst „alle staatlichen und suprastaatlichen Regulationen (...) die einen Veränderungsdruck auf die Akteure einer Wertschöpfungskette ausüben“ (ebd., S. 131). Hierzu zählen neben Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien, auch die politische Debatte um und die Ankündigung von Regularien.
- Der *regulatory-pull* umfasst sowohl die direkten staatlichen Förderprogramme, als auch indirekte Veränderungsanreize, z. B. Verschärfungen von Umwelt- und Gesundheitsschutzregulierungen im Arbeitsplatz-, Gesundheits-, oder Anlagenbereich.

---

<sup>241</sup> Siehe für die Definition von Umwelt- und Nachhaltigkeitsinnovationen die Fußnote 178 in Kapitel 4.1.2.1.

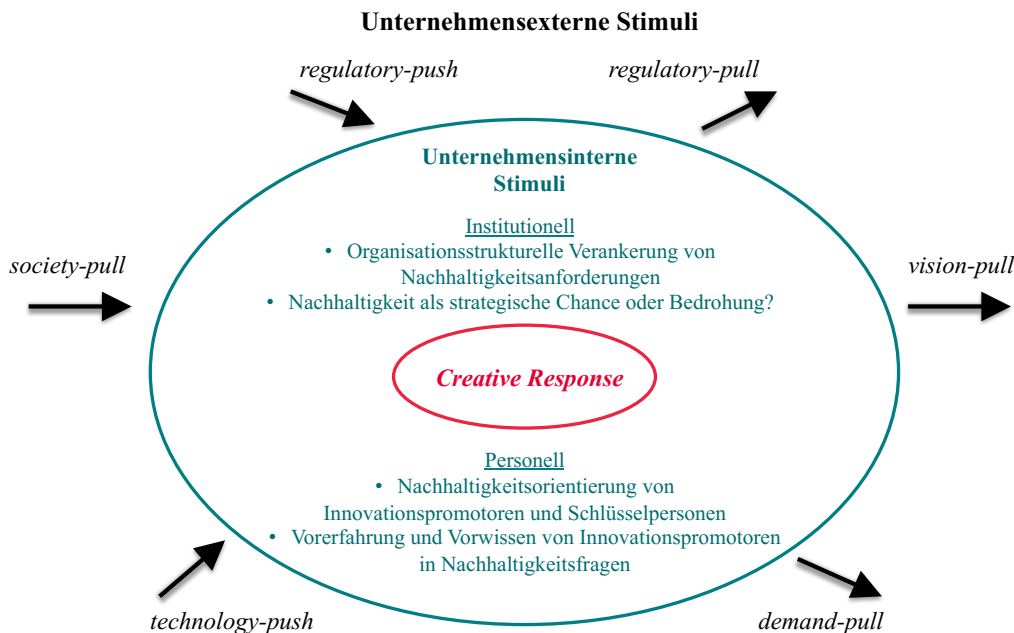
<sup>242</sup> Eine Gewichtung zwischen den Nachhaltigkeitsdimensionen erfolgt in der wissenschaftlichen Diskussion anhand von fünf Nachhaltigkeitskonzepten (Steger et al. 2002, S. 15f.): Die äußerst schwache Nachhaltigkeit geht davon aus, dass das jährliche Sozialprodukt im Zeitverlauf nicht abnehmen darf (Fokus auf die ökonomische Dimension der Nachhaltigkeit). Die sehr schwache Nachhaltigkeit basiert auf einem im Zeitverlauf konstanten aggregierten Gesamtkapitalstock und geht dabei „von einer perfekten Substituierbarkeit zwischen Sach- und Naturkapital“ (ebd., S. 15) aus. Die schwache Nachhaltigkeit, die auch als kritische Nachhaltigkeit oder Quasi-Nachhaltigkeit bezeichnet wird, geht davon aus, dass Sach- und Naturkapital begrenzt substituierbar sind und begreift das Naturkapital nicht nur als *input*, sondern auch als Voraussetzung für wirtschaftliches Handeln. Die starke Nachhaltigkeit besteht auf die Konstanz des Naturkapitals, geht davon aus, dass keine Substituierbarkeit des Naturkapitals über Sachkapital möglich ist und rückt damit die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit in den Mittelpunkt. Die sehr starke Nachhaltigkeit „fordert schließlich die Begrenzung des gesamten *Ausmaßes (Scale)* des ökonomischen Systems als Teil des ökologischen Systems. Der *Durchsatz (Throughput)* von Materie und Energie soll minimiert werden“ (ebd., S. 16, Hervorhebungen im Original).

<sup>243</sup> Vgl. auch Fichter et al. (2006, S. 37).

- Der *society-push*<sup>244</sup> nimmt Bezug auf den gesellschaftlichen Druck der Akteure, wie z. B. Wissenschaft, Medien, Umwelt-, Menschenrechts- und Verbraucherschutzorganisationen.
- Der *vision-pull* bezieht sich maßgeblich auf die normative Dimension (Mission, Vision, Kultur etc.) und das strategische Management (Strategie) von Unternehmen, „die die Akteure in der Wertschöpfungskette zu Innovationsinitiativen stimulieren oder die Ausrichtung des Innovationsgeschehens maßgeblich beeinflussen“ (ebd., S. 133).

Die nachfolgende Abbildung visualisiert die zwei klassischen externen Innovationsstimuli, erweitert um die vier externen Basisstimuli nach Fichter (2005, S 132) und die internen Stimuli nach Fichter et al. (2006, S. 133). Der *eco-pull* wird in der Abbildung nicht dargestellt, da er als notwendige Voraussetzung für eine Nachhaltigkeitsinnovation verstanden wird.

Abbildung 30: Innovationsauslösende Stimuli



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Fichter (2005, S. 132), Fichter et al. (2006, S. 133).<sup>245</sup>

Die innovationsauslösenden Stimuli und primär die unternehmensexternen Stimuli können zu einem *creative response* führen (Fichter 2005, S. 131), der gemäß Schumpeter (1947, S. 150) als kreative und innovative, außerhalb des Bereichs der bestehenden Praxis liegende Antwort von Unternehmen oder Branchen auf den Wandel verstanden wird. Demgemäß kann eine „innovative Tätigkeit eine Antwort auf sich verändernde Umfeldbedingungen“ (Fichter 2005, S. 131) sein. Der Innovator verarbeitet die Impulse dabei aktiv und eigendynamisch (ebd.) und steht damit im Gegensatz zum *adaptive response* nach Schumpeter (1947, S. 150), bei dem die Antwort auf den Wandel in einem auf Routine beruhenden Anpassungsprozess begründet ist (Fichter 2005, S. 151).

<sup>244</sup> In der Fassung von Fichter (2005, S. 132) wird von einem zivilgesellschaftlichen Druck gesprochen. Da dieses im engeren Sinn die Wissenschaft und die Medien nicht inkludieren würde, wird an dieser Stelle der weit gefasste Begriff der Gesellschaft verwendet.

<sup>245</sup> Dieses Modell ist auch als Schildkrötenmodell bekannt (Behrendt 2010, S. 181).

Aus der Betrachtung der Transformation von Systeminnovationen und im engeren aus der technologischen Substitutionsroute von Systeminnovationen, kann ergänzend eine „*landscape pressure*“ (Geels 2005, S. 687) identifiziert werden. Dabei ist der Begriff der Landschaft sozio-technologisch zu verstehen, der sich auf die exogene Umgebung bezieht (Geels 2004, S. 913). Aus dem *Multi-Level-Perspective* Ansatz von Geels/Schot (2007), dessen Fokus auf der Identifikation von vier Transformationspfaden<sup>246</sup> und ihren Wechselbeziehungen gerichtet ist, wird nachfolgend der Schwerpunkt auf die zentralen Rollen, die speziell dem Landschaftsdruck zugewiesen werden können, verlagert, aus dem *Multi-Level-Perspective* Ansatz extrahiert und prominent dargestellt. Die vier Rollen, die der Landschaftsdruck annehmen kann, können in Abhängigkeit der vier Transformationspfade auf Basis der Kombination von zeitlicher Koordinierung (*timing*) und Mehrebeneninteraktionscharakter (Geels/Schott 2007, S. 399) wie folgt differenziert werden:

- Der Landschaftsdruck kann im Zeitpunkt seines Auftretens eine technologische Substitution, definiert als eine verfügbare und in das System implementierbare Alternative, hervorrufen, dessen Basis (radikale) Nischeninnovationen<sup>247</sup> sind (Geels et al. 2017, S. 53)<sup>248</sup>, (Geels/Schot 2007, S. 400).
- Stehen Nischeninnovationen nicht in einer angemessenen Art und Weise zur Verfügung, kann der Landschaftsdruck „etablierte Akteure dazu bewegen, das existierende Regime<sup>249</sup> schrittweise an neue Herausforderungen anzupassen“ (Geels et al. 2017, S. 53) und darüber den Transformationspfad einleiten.
- Der Landschaftsdruck kann als Reaktion die Eingliederung von Nischeninnovationen hervorrufen und eine architektonische Harmonisierung einleiten, die zusammen als Rekonfiguration bezeichnet wird (ebd.).
- Sind die Nischeninnovationen nicht adäquat genug entwickelt, kann ein Landschaftsdruck, der groß genug ist, dazu führen, das Regime zu destabilisieren, die Koexistenz von Nischeninnovationen ermöglichen und zu einer Abwendung, Neuausrichtung und schließlich zu einer „Bildung eines neuen Regimes um eine der Nischen herum“ (ebd.) führen.<sup>250</sup>

<sup>246</sup> Transformationspfade: 1. Transformation, 2. Rekonfiguration, 3. Substitution, 4. Um- und Neuausrichtung (Geels/Schot 2007, S. 414).

<sup>247</sup> Nischeninnovationen fungieren als Inkubationsräume (Standorte für Lernprozesse) für radikale Neuheiten. Sie können die Form von kleinen Marktnischen mit spezifischen leistungsstarken Merkmalen oder die Form von technologischen Nischen (zumeist experimentelle Projekte mit heterogenen Akteuren) annehmen. Nischen sind Orte, an denen es möglich ist, von den Regeln des bestehenden Regimes abzuweichen. (Geels/Schot 2007, S. 400), (Geels 2005, S. 684), (Geels 2004, S. 912)

<sup>248</sup> Zwar verwenden Geels et al. (2017, S. 53) den Begriff der disruptiven Nischeninnovation, in dem zugrunde liegenden *Multi-Level-Perspective* Ansatz von Geels/Schot (2007) wird allerdings der Begriff der radikalen Nischeninnovation verwendet. Da auch in den weiteren Ausführungen von Geels et al. (2017) der Begriff der radikalen Nischeninnovation verwendet wird, wird auch an dieser Stelle lediglich der Begriff der radikalen und nicht (zusätzlich) der Begriff der disruptiven Nischeninnovation aufgeführt. Denn wie bereits die Fußnote 183 (Kapitel 4.1.2.2 Innovationsgrad) gezeigt hat, sind radikale und disruptive Innovationen nicht generalisierbar gleichzusetzen.

<sup>249</sup> Ein (technologisches) Regime ist ein Regelwerk, eingebettet in einen Komplex von Institutionen und Infrastrukturen und im Näheren eingebettet in Ingenieurpraktiken, Produktionsprozesstechniken, Produktmerkmalen, Fertigkeiten und Prozeduren, Wegen zur Handhabung relevanter Akteure und Schöpfungen (Artefakte) sowie Wegen zur Definition von Problemen (Geels 2004, S. 903). Sowohl Regime als auch Nischen können als interaktive Gruppen verstanden werden (Organisationsfelder), in denen handlungskoordinierte Regeln vorherrschen. Für Regime sind die Organisationsfelder und Regeln groß, stabil und gut kommuniziert, während sie für Nischen klein und instabil sind (Geels/Schot 2007, S. 402).

<sup>250</sup> Für eine Vertiefung des *Multi-Level-Perspective* Ansatzes und zur Abfolge der Transformationspfade (1. Transformation, 2. Rekonfiguration, 3. Substitution, 4. Um- und Neuausrichtung) wird auf Geels/Schot (2007) und für eine Erweiterung und Technologiefokussierung des *Multi-Level-Perspective* Ansatzes auf Geels et al. (2017) verwiesen.

**Aufbauend auf den Erkenntnissen zum „*landscape pressure*“ kann abgeleitet werden, dass der Landschaftsdruck ein impulsgebender Stimulus zur Entwicklung von Innovationen ist, der vor dem Hintergrund der Multi-Impuls These und der bisweilen identifizierten innovationsauslösenden Stimuli als übergeordneter *system-push trigger* im Kontext dieser Arbeit definiert wird.**

Der *system-push* entfaltet seine innovationsstimulierende Wirkung über den zur Umsetzung der Energiewende notwendigen nahezu vollständigen Systemwechsel.<sup>251</sup> Mit dem Ziel der Dekarbonisierung als Leitziel der Energiewende entsteht ein systembedingter Druck auf die Entwicklung und Markteinführung von Innovationen, die in der Lage sind, im Systemkontext eine Reduktion der THG-Emissionen einzuleiten und/oder zu verstärken. Im Gegensatz zu dem *technology-push* besteht die strategische Annahme nicht darin, latent vorhandene Bedürfnisse potenzieller Kunden zu befriedigen, sondern Aktivitäten der Unternehmen auszulösen, um einen Beitrag zur Veränderung des Systems zu schaffen. Neben einem Druck kann das System zur Initiierung und Umsetzung des Wandels auch einen Sog erzeugen, der in dieser Arbeit als *system-pull* definiert wird. Der *system-pull* entfaltet seine innovationsauslösende Wirkung über die komplementäre und unterstützende Funktion von Innovationen in bereits eingeschlagenen technologischen Transformationspfaden. Im Gegensatz zum *demand-pull* basiert die strategische Annahme nicht auf der Nachfrage nach der Innovation von Seiten des Marktes oder der Kunden, sondern auf einer übergeordneten Systemebene. Die Nachfrage wird direkt über das System adressiert, welches die Innovation(en) für das Gelingen des Wandels benötigt: Beispielsweise steigt die Systemnachfrage nach Energiespeichern mit zunehmendem Ausbau fluktuierender erneuerbarer Energien, bei anderweitig gleichbleibenden Rahmenbedingungen.

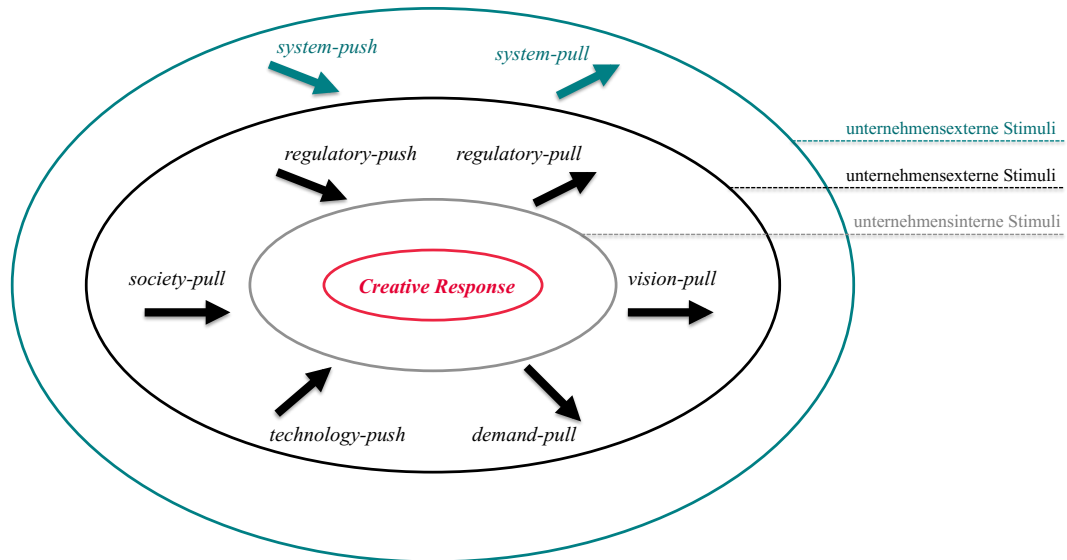
Als Abgrenzung der beiden systembedingten Innovationsimpulse wird angenommen, dass der *system-push* systembedingt, sich also aus der Notwendigkeit des Systemwandels an sich begründet, während der *system-pull* systemimmanent ist, sich demnach aus dem System selbst heraus begründet. Anders ausgedrückt: Der *system-push* trägt primär zur Entwicklung von Innovationen bei, die einen effektiven Systemwandel initiieren und umsetzen. Der *system-pull* hingegen trägt primär zu der Entwicklung von Innovationen bei, die einen effizienten Vollzug des Systemwandels ermöglichen. Zusammenfassend besteht die strategische Annahme für systeminduzierte Innovationen darin, dass der Innovationsprozess langfristig aus dem systemischen Innovationsprozess der Energiewende über die Notwendigkeit der Dekarbonisierung getrieben ist.

---

<sup>251</sup> Siehe Kapitel 2.1.

In der nachfolgenden Abbildung werden die theoriegestützten Stimuli und die gedanklich abgeleiteten systeminduzierten Innovationsimpulse des *system-push* und des *system-pull* in Bezugnahme zur Multi-Impuls These visuell präzisiert und schematisch resümiert.

**Abbildung 31: Multi-Impuls Modell: Innovationsauslösende Stimuli – Erweiterung um systeminduzierte Impulse**



Quelle: Eigene Darstellung.

## 4.4 Strategische Geschäftsmodellinnovationen

„Die Entwicklung, Umsetzung und Sicherung einer nachhaltigen und profitablen Unternehmensstrategie erfordert einen umfassenden konzeptionellen Rahmen.“ (Wirtz/Nitzsche 2011, S. 951) Ein Geschäftsmodell-Management kann diesen konzeptionellen Rahmen bieten, „indem es alle relevanten Komponenten der Wertschöpfungslogik des Unternehmens berücksichtigt“ (ebd.). Es repräsentiert diesen Konstruktionsrahmen und dient der Durchführung von prädiktiven *what-if* Szenario-Analysen (Morris/Schindehutte/Allen 2005, S. 732). Das Geschäftsmodell zeichnet sich als eine neue Einheit der Analyse aus, die mit einem ganzheitlichen Ansatz auf einer Systemebene erklärt, wie Unternehmen Geschäfte machen – d. h. die Geschäftsmodell-Perspektive ist gleichzeitige die Betrachtung des Inhalts und des Prozesses, welches nicht zuletzt auch die Herausforderung bei der Definition und Operationalisierung von Geschäftsmodell-Konstrukten erklärt (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1019, 1036f.). Gleichzeitig schlägt die neue Analyseeinheit des Geschäftsmodells eine Brücke zu traditionellen Analyseeinheiten wie z. B. der Unternehmensanalyse oder der Netzwerkanalyse (ebd., S. 1036).

Bei der Erklärung der Wertschöpfung, Leistung und Wettbewerbsvorteile eines Unternehmens erhält das Geschäftsmodell von Wissenschaftlern und Praktikern zunehmende Aufmerksamkeit (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1029). Mithin hat sich die Geschäftsmodell-Modellierung<sup>252</sup> für Unternehmen zu einer zentralen Managementaufgabe entwickelt (König 2010, S. 11). Ausgerichtet auf das Leistungs- und Nutzenversprechen ermöglicht die Geschäftsmodell-Modellierung die Wertschöpfung in ein Ertragsmodell zu überführen und in einen kohärenten Einklang mit der strategischen Ausrichtung des Unternehmens zu bringen (ebd.). Die Geschäftsmodell-Modellierung befähigt durch die Beurteilung der mittel- bis langfristigen Erfolgchancen, einen in der Zukunft zu erwartenden Misserfolg frühzeitig zu identifizieren und folglich Risiken vorrauschauend abzuwenden (ebd., S. 11).

Von Wissenschaftlern und Praktikern ist der Geschäftsmodellbegriff und die Entwicklung neuartiger Geschäftsmodelle (Geschäftsmodellinnovationen) maßgeblich mit der *new economy* Ende des 20. Jahrhunderts zu einer viel, häufig und mehrdeutig diskutierten Literatur in den Disziplinen Informatik und Management gewachsen (Wirtz 2013, S. 18, 23), (Al-Debei/El-Haddadeh/Avison 2008, S. 6), (Morris/Schindehutte/Allen 2005, S. 727). Die zunehmende Bedeutung von Geschäftsmodellen in der wissenschaftlichen Literatur zeigt die zügig und stetig steigende Anzahl publizierter Fachartikel (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1023), (Ghaziani/Ventrasca 2005, S. 541).<sup>253</sup> Insgesamt kann trotz dessen kein Konsens im Bezug auf die Definition, Natur, Struktur und Entwicklung von Geschäftsmodellen konstatiert werden (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1022), (Al-Debei/El-Haddadeh/Avison 2008, S. 3), (Morris/Schindehutte/Allen 2005, S. 726). Wissenschaftler verwenden zur Erklärung verschiedener Phänomene in unterschiedlichen Bereichen den gleichen Begriff, so dass der Geschäftsmodellbegriff in seiner aktuellen

---

<sup>252</sup> Im Gegensatz zu einem Geschäftsmodell, welches eine ganzheitliche Sicht auf die prinzipielle Geschäftsstruktur bietet, ist ein Geschäftsplan „auf eine konkrete Umsetzung des Geschäftsmodells ausgelegt“ (König 2010, S. 9). Ein Geschäftsplan präzisiert unter Verwendung quantitativer Angaben die Funktionsbereichsstrategien, enthält Maßnahmenpläne für das operative Management und dient als Ausgangsbasis für das Controlling (ebd.).

<sup>253</sup> „Ein [weiteres] gutes Beispiel für die Beliebtheit des Begriffes sind einschlägige Zeitungen, wie bspw. das Handelsblatt, in dem zuletzt im Jahre 2011 in jeder Ausgabe in durchschnittlich 2,5 Artikeln der Begriff ‚Geschäftsmodell‘ verwendet wurde (...).“ (König/Buddrick 2013, S. 17)

Nutzung nicht ein einziges Konzept, sondern viele Konzepte beinhaltet (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1034, 1036).

Auf Grund der im Besonderen beim Begriff des Geschäftsmodells vorherrschenden Heterogenität,<sup>254</sup> ist es von zentraler Bedeutung, eine dem Kontext angemessene Definition dieser Arbeit voranzustellen. Im Folgenden werden ausgewählte Definitionen zu den Begriffen Geschäftsmodell und Geschäftsmodellinnovation<sup>255</sup> vorgestellt und die zentralen Charakteristika skizziert, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht.

In der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur existiert für den Terminus »Geschäftsmodell« eine Vielzahl, zum Teil heterogener Begriffsdefinitionen. Im Folgenden werden ausgewählte Definitionen<sup>256</sup> zum Geschäftsmodellbegriff dargestellt, die maßgeblich dem strategischen Ansatz zugeordnet werden können. Dabei sind die Definitionen zum Begriff des Geschäftsmodells in Anlehnung an Csik/Gassmann (2015, S. 304) zwei Kategorien zu zuordnen: Die Kategorie (B) fokussiert die „Beziehung zwischen dem Geschäftsmodell und der Wertschöpfung eines Unternehmens“ (ebd.) und die Kategorie (E) versteht ein Geschäftsmodell durch die Fragmentierung des Geschäftsmodells in einzelne Elemente.<sup>257</sup>

Diese Zuordnung gestaltet sich an manchen Stellen nicht einfach, da bei einigen Definitionen eine scharfe Abgrenzung zwischen den Kategorien nicht zu treffen ist, weil diese sowohl auf die Beziehung zwischen dem Geschäftsmodell und der Wertschöpfung des Unternehmens abzielen, als auch einzelne Elemente eines Geschäftsmodells in den Vordergrund stellen. Letztlich ist dieses auch eine Frage der Definitionsextraktion aus der Primärquelle, die im A.2 Vergleich ausgewählter Definitionen zu den Begriffen Geschäftsmodell und Geschäftsmodellinnovation, jeweils so umfangreich wie nötig und so kurz wie möglich dargestellt wird.

---

<sup>254</sup> Die Schwierigkeiten, die einen Konsens über die Definition erschweren, können analog zu den Schwierigkeiten einer allgemeingültigen Strategiedefinition (siehe Fußnote 32, Kapitel 3.1) u. a. auf zwei Faktoren zurückgeführt werden: Geschäftsmodelle sind zum einen mehrdimensional und zum anderen situativ – sie variieren zwischen den Industrien und Branchen. Zudem ist es wichtig anzumerken, dass niemand überhaupt ein Geschäftsmodell gesehen oder berührt hat; jedes Geschäftsmodell ist eine Erfindung, eine Ausgeburt jemandes Phantasie.

<sup>255</sup> Anzumerken ist an dieser Stelle, dass die Begriffsdefinitionen und Grundlagen speziell zur Geschäftsmodellinnovation in Korrespondenz mit dem Kapitel der Definitionen und Grundlagen zum Innovationsbegriff (Kapitel 4.1) zu betrachten sind, in dem bereits die Grundlagen einer Innovation dargestellt wurden.

<sup>256</sup> Für weitere Begriffsdefinitionen wird an dieser Stelle – entgegen der in dieser Arbeit üblichen Herangehensweise auf einzelne Autoren zu verweisen – exemplarisch auf die zusammengestellten Definitionsübersichten von Schallmo (2013a, S. 20) und Wirtz (2013, S. 67-70) sowie die Literaturanalysen von Halecker (2013), Zott/Amit/Massa (2011) und Morris/Schindehutte/Allen (2005) verwiesen.

<sup>257</sup> Weitere mögliche Klassifizierungen von Geschäftsmodelldefinitionen könnten angelehnt an Wirtz (2013, S. 70-73) anhand subjektbezogener, funktionaler und teleologischer Aspekte erfolgen; oder in Anlehnung an Morris/Schindehutte/Allen (2005, S. 726, Hervorhebungen der Verfasserin) in „*economic, operational, and strategic*“. Für weitere, in der Literatur heterogen verwendete Klassifizierungsansätze wird exemplarisch auf die Diskussion von Wirtz (2013, S. 23-37) verwiesen.

Die zusammengestellte Übersicht der Definitionen zum Begriff des Geschäftsmodells zeigt erstens die bestehende Begriffsvielfalt in der wissenschaftlichen Literatur. Dieses konstatieren auch Zott/Amit/Massa (2011, S. 1022) die in ihrer Meta-Studie zeigen, dass in der wissenschaftlichen Literatur ein Geschäftsmodell auf übergeordneter Ebene unterschiedlich verstanden wird: Als Beschreibung, Stellungnahme, Darstellung, Architektur, konzeptionelles Werkzeug oder Modell, Strukturvorlage, Methode, Rahmen, Muster oder Menge. Zweitens ist ersichtlich, dass keine präzisen Angaben zur Art und Form der mit dem Geschäftsmodell in Verbindung stehenden Strategie gemacht werden. Damit bleiben z. B. folgende Fragen unbeantwortet: Werden beispielsweise nur intendierte oder auch emergente Strategien betrachtet? Welche vertikalen Organisationsebenen werden adressiert? Wird die Strategie als Plan, Manöver, Muster, Position und/oder Perspektive verstanden?<sup>258</sup> Drittens lässt sich, wie eingangs bereits angedeutet, in den jüngeren Schriften eine Tendenz erkennen, sowohl die Beziehung zwischen dem Geschäftsmodell und der Wertschöpfung eines Unternehmens, als auch die einzelnen Elemente eines Geschäftsmodells in der Geschäftsmodelldefinition aufzunehmen.

Im Beziehungsgeflecht zwischen dem Geschäftsmodell und der Wertschöpfung heben sich folgende Aspekte aus den Definitionen hervor: Neben der Wertgenerierung (*value creation*) ist auch die Sicherung des geschaffenen Wertes (*value capturing*) maßgeblich für den Charakter eines Geschäftsmodells (Csik/Gassmann 2015, S. 305), (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1019), (Teece 2010, S. 184).<sup>259</sup> Ferner bildet ein Geschäftsmodell die Logik des Unternehmens ab und zeichnet den Weg zur Erreichung der Wettbewerbsvorteile in einer aggregierten und komplexitätsreduzierenden Form nach bzw. vor.

Eine weitere zentrale Rolle bei den Begriffsdefinitionen eines Geschäftsmodells sind die Aktivitäten des Unternehmens und die ihrer Partner (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1019, 1020). Geschäftsmodell-Elemente<sup>260</sup> können die Aktivitäten eines Unternehmens in einer vereinfachten und aggregierten Weise abbilden (Wirtz 2013, S. 73). Ein Geschäftsmodell besteht jedoch nicht aus einem einzelnen Element, sondern aus der Gesamtheit der Geschäftsmodell-Elemente (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1028). In Hinblick, welche der einzelnen Elemente in einem Geschäftsmodell zu vereinen sind, besteht keine einheitliche Auffassung in der wissenschaftlichen Literatur.<sup>261</sup> An dieser Stelle sollen folglich zwei Meta-Analysen<sup>262</sup> zu Geschäftsmodell-Elementen vertiefend dargestellt werden, die im Rahmen der Dissertationen von Csik (2014) und Schallmo (2013) durchgeführt wurden.

Csik (2014, S. 230-232) untersucht in der von ihr durchgeführten Meta-Analyse insgesamt 22 bestehende Ansätze zu Geschäftsmodell-Elementen, die in den Jahren zwischen 1998 und 2011 veröffentlicht wurden. Im Gegensatz zu Schallmo (2013) bildet Csik in der Meta-Analyse keine übergeordneten Dimensionen, sondern ordnet die einzelnen

---

<sup>258</sup> Siehe Kapitel 3.1.1.1.

<sup>259</sup> Ähnlich beschreiben dieses Wirtz/Nitzsche (2011a, S. 949f.): *Value generation* als unternehmensinterne Wertschöpfung und *value capture* als die monetarisierte Form der unternehmensinternen Wertschöpfung.

<sup>260</sup> Eine synonyme Bezeichnung der Geschäftsmodell-Elemente sind die von Wirtz (2013) verwendeten Partialmodelle, dessen Gesamtheit ein Integriertes *business-model* darstellt. Vgl. hierzu auch Wirtz/Nitzsche (2011a, 2011b).

<sup>261</sup> Ferner konstatieren Zott/Amit/Massa (2011, S. 1028) z. B. dass in keiner der von ihnen betrachteten Studien die Beziehung zwischen einem einzelnen Geschäftsmodell-Element und anderen Konstrukten untersucht wurde – eine Tatsache, die die Abgrenzung von möglichen Vorläufern oder Folgen des Geschäftsmodells erschwert.

<sup>262</sup> Eine weitere Meta-Analyse zu Geschäftsmodell-Elementen wurde beispielsweise von Shafer/Smith/Linder (2005) durchgeführt.



Elemente vier selbst gewählten Überschriften zu, die sie als Geschäftsmodell-Elemente bezeichnet: Nutzenversprechen, Kundensegment, Wertschöpfungskette und Ertragsmechanik. Die Elemente, die nicht in diese vier Kategorien passen, werden in einer gesonderten Kategorie »Sonstige« aufgeführt. Gemessen an den Inhalten, die dieser Kategorie »Sonstige« zugeordnet sind – *marketing strategy, core strategy, sustainability, competitive strategy, competitors, external positioning, personal/investor factors, strategy, mission* – skizziert diese Kategorie über die Bezüge zum normativen, strategischen und operativen Management<sup>263</sup> erste Verbindungslinien vom Geschäftsmodell zur Strategie des Unternehmens. Die nachfolgende Tabelle fasst die von Csik (2014, S. 24)<sup>264</sup> synthetisierten Geschäftsmodell-Elemente zusammen.

**Tabelle 12: Geschäftsmodell-Elemente nach Csik**

Elemente	Kernfragen
Nutzenversprechen	„Was wird dem Kunden angeboten?“
Kundensegment	„Wer ist der Zielkunde?“
Wertschöpfungskette	„Wie wird das Nutzenversprechen hergestellt und an den Kunden übermittelt?“
Ertragsmechanik	„Warum ist das Geschäftsmodell profitabel?“

Quelle: Eigene Darstellung.

Schallmo (2013, S. 118) untersucht in seiner Meta-Analyse insgesamt 16 bestehende Ansätze zu Geschäftsmodell-Elementen, die in den Jahren zwischen 2000 und 2011 veröffentlicht wurden. Aus der Synopse der untersuchten Elemente ergeben sich fünf übergeordnete Kategorien, die Geschäftsmodell-Elemente mit inhaltlicher Ähnlichkeit zusammenfassen. Diese Kategorien werden von Schallmo als Geschäftsmodell-Dimensionen bezeichnet. Sie dienen mittelbar der Komplexitätsreduktion und letztlich der Beschreibung von Geschäftsmodellen. Neben den fünf Geschäftsmodell-Elementen, die aus der Kundendimension, der Nutzendimension, der Wertschöpfungsdimension, der Partnerdimension und der Finanzdimension bestehen, identifiziert Schallmo zwei übergeordnete Dimensionen: Die Geschäftsmodell-Vision und die Geschäftsmodell-Führung. Diese sind den übrigen Geschäftsmodell-Dimensionen übergeordnet. (ebd., S. 125) Über die beiden übergeordneten Geschäftsmodell-Dimensionen wird die Verbindungslinie zu der normativen, strategischen und operativen Management-Dimension dargestellt.

Im Vergleich zu den oben dargestellten Geschäftsmodell-Elementen nach Csik (2014) ist die aus der wissenschaftlichen Literatur extrahierte Zusammenfassung von Schallmo (2013) umfangreicher und detaillierter, beinhaltet aber gleichwohl die vier von Csik (2014) genannten Elemente. Die Tabelle 13 zeigt die Synopse der Meta-Analyse, gibt die einzelnen Geschäftsmodell-Dimensionen und die zu den einzelnen Dimensionen subsumierten Geschäftsmodell-Elemente wieder und erklärt die zentralen Inhalte der Dimensionen anhand von Kernfragen.

<sup>263</sup> Siehe für eine Vertiefung zu den Management-Dimensionen Kapitel 3.1.2.2.

<sup>264</sup> Anzumerken ist, dass die von Csik (2014, S. 24) verwendete Abbildung zur Darstellung der Geschäftsmodell-Elemente dem zuvor veröffentlichten magischen Dreieck der vier Dimensionen eines Geschäftsmodells von Gassmann/Frankenberger/Csik (2013, S. 6) ähnelt.

**Tabelle 13: Geschäftsmodell-Elemente nach Schallmo**

<b>Dimensionen</b>	<b>Kernfragen</b>	<b>Elemente</b>
Vision	„Wie lässt sich das ideale Geschäftsmodell <sup>265</sup> innerhalb einer Industrie beschreiben und wie wird das bestehende Geschäftsmodell weiterentwickelt?“	
Führung	„Welche kritischen Erfolgsfaktoren <sup>266</sup> liegen für das Geschäftsmodell vor und wie lassen sich diese mittels Führungsgrößen operationalisieren?“	
Kunden	„Welche Kundensegmente sollen mit dem Geschäftsmodell erreicht werden? Wie sollen die Kundensegmente erreicht werden? Wie soll die Beziehung zu Kundensegmenten ausgestaltet werden?“	Kundensegmente Kundenkanäle Kundenbeziehungen
Nutzen	„Welcher Nutzen soll durch welche Leistungen für Kundensegmente gestiftet werden?“	Leistungen Nutzenversprechen
Wertschöpfung	„Welche Ressourcen und Fähigkeiten sind notwendig, um die Leistungen zu erstellen und das Geschäftsmodell zu betreiben? Welche Prozesse sollen ausgeführt werden?“	Prozesse Ressourcen Fähigkeiten
Partner	„Welche Partner sind für das Geschäftsmodell notwendig? Wie soll mit den Partnern kommuniziert werden und wie sollen die Leistungen beschafft werden? Welche Beziehung soll zu den jeweiligen Partnern vorliegen?“	Partner Partnerkanäle Partnerbeziehungen
Finanzen	„Welche Umsätze werden mit den Leistungen erzielt? Welche Kosten werden durch das Geschäftsmodell verursacht? Welche Mechanismen sollen jeweils für Umsätze und Kosten zum Einsatz kommen?“	Kosten Umsätze

Quelle: Eigene Darstellung.

Während in der Komposition der Geschäftsmodell-Elemente heterogene Meinungen existieren, sind sich die Wissenschaftler dagegen einig, dass Geschäftsmodell-Elemente in ihrer Gesamtheit, d. h. ganzheitlich und systemisch, statt partikular und funktional, zu analysieren sind (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1036f.).<sup>267</sup> Ein Ansatz, der ein oder mehrere Komponenten ignoriert, wird in Bezug auf seine Reichhaltigkeit leiden und Inkonsistenzen in den Entscheidungsbereichen, sowohl innerhalb eines Elementes, als auch in der Passung zwischen den Elementen aufweisen (Morris/Schindehutte/Allen 2005, S. 734). Wenn ein Geschäftsmodell als ein System verstanden wird, das aus Elementen, Verbindungen zwischen diesen Elementen und einer Dynamik besteht (Afuah/Tucci 2001, S. 4), dann stehen die Geschäftsmodell-Elemente in einer Wechselbeziehung zueinander (König 2010, S. 10). „Damit [d]ie Beziehungen zwischen den Elementen und die Wirkungen der Aktionen (...) plausibel und in sich schlüssig (...) [sind]“ (ebd., S. 5), „ist ein iteratives Vorgehen erforderlich“ (ebd., S. 10). „Eine allgemeine Regel für die Festlegung des geeigneten Einstiegselementes gibt es nicht.“ (ebd.) Die von der Wissenschaft geforderte ganzheitliche und systemische Erfassung aller Geschäftsmodell-Elemente spiegelt den in Kapitel 3.1.1.2 des strategischen Managements dargestellten *strategy fit* Gedanken.

<sup>265</sup> „Mit dem idealen Geschäftsmodell ist hierbei ein Geschäftsmodell gemeint, das eine Industrie in den nächsten drei bis fünf Jahren maßgeblich verändert und somit den gewünschten zukünftigen Zustand des Geschäftsmodells (grobe Beschreibung der Dimensionen und eingesetzter Technologien) beinhaltet.“ (Schallmo 2013a, S. 118)

<sup>266</sup> „Kritische Erfolgsfaktoren sind die wenigen Variablen, die den Erfolg eines Geschäftsmodells nachhaltig beeinflussen“ (Schallmo 2013a, S. 118), wie z. B. Zeit, Kosten, Qualität und Flexibilität (ebd., S. 194). Siehe für eine Abgrenzung zu strategischen Erfolgspotenzialen gegenüber strategischen Erfolgspositionen und normativen Erfolgsfaktoren Kapitel 3.1.3.2.

<sup>267</sup> Vgl. exemplarisch auch Wirtz/Nitzsche (2011a, S. 951) und König (2010, S. 5, 10).

In Ermangelung einer allgemein akzeptierten Definition des Geschäftsmodells, werden abschließend einige Aspekte festgehalten die Aussagen darüber treffen was unter einem Geschäftsmodell nicht zu verstehen ist.

**Tabelle 14: Anti-Merkmale von Geschäftsmodellen**

**Ein Geschäftsmodell..**

---

verfügt nicht über einen linearen Mechanismus für die Wertschöpfung (vom Lieferanten zum Unternehmen zum Kunden). Die Betrachtung der Wertschöpfung durch Geschäftsmodelle beinhaltet eine komplexere, miteinander verbundene Menge von Austauschbeziehungen und Aktivitäten zwischen mehreren. (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1031f.)

---

ist kein Synonym für eine Strategie (Magretta 2002, S. 91), (Shafer/Smith/Linder 2005, S. 203).

---

ist nicht gleichzusetzen mit der Produkt-Markt-Strategie, da sich ein Geschäftsmodell z. B. nicht auf eine feste Unternehmensposition bestimmter Aktivitäten auf Produktmärkten bezieht, die durch generische Wettbewerbsstrategien nach Porter (2013, S. 73ff.) z. B. der Kostenführerschaft oder Differenzierung entstehen (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1031f.). Gleichwohl kann ein Geschäftsmodell eine Quelle von Wettbewerbsvorteilen sein (ebd.).

---

ist keine Strategie, aber inkludiert eine Anzahl von Strategieelementen (Morris/Schindehutte/Allen 2005, S. 727).

---

ist nicht gleichzusetzen mit der Unternehmensstrategie, da ein Geschäftsmodell nicht den Geschäftsbereich beschreibt bzw. vorschreibt in dem ein Unternehmen tätig sein wird (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1031f.).

---

ist keine Menge von Aktivitäten, gleichwohl Aktivitäten jedes Element des Geschäftsmodells unterstützen (Morris/Schindehutte/Allen 2005, S. 727).

---

kann nicht auf die Handlungsmaxime der internen Unternehmensorganisation reduziert werden, wie z. B. Kontrollmechanismen und Anreizsysteme (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1031f.).

---

Quelle: Eigene Darstellung.

Wie bereits eingangs dargelegt, sind Geschäftsmodelle mit Beginn der *new economy* stärker ins Bild der Betrachtung gerückt.<sup>268</sup> Im Folgenden werden die theoretischen Basisansätze für Geschäftsmodelle in Anlehnung an Wirtz (2013, S. 13-18) dargestellt, die den Entwicklungsverlauf anhand der zentralen Forschungsströmungen zeigen.

---

<sup>268</sup> Für einen historischen Ein- und Überblick der ökonomischen Vorfahren des Geschäftsmodells beginnend mit der ersten industriellen Revolution wird exemplarisch auf Baden-Fuller/Morgan (2010, S. 159f.) verwiesen.

**Abbildung 32: Theoretische Ansätze Geschäftsmodell-Konzept**

Disziplin	Wirtschaftsinformatik	Management-Lehre	
Ansatz	informations-technologischer Ansatz	organisations-theoretischer Ansatz	strategischer Ansatz
Entwicklungs-verlauf	Phase I (1975-1995): Geschäftsmodellierung zur Systemkonstruktion  Phase II (seit 1995): <i>E-Business</i>	<i>Management as Science</i>  Diverse Organisationsschulen (u. a. Kontingenztheorie, <i>Transaction Cost Theory</i> )  <i>The structuring of organisations</i> : Mintzberg (1979)	Innovation: Schumpeter (1934)  <i>Strategy and Structure</i> : Chandler (1962), Ansoff (1965)  <i>Market Based-View</i> : Porter (1981)  <i>Resource Based-View</i> : Barney (1986)  <i>Dynamic-Capability Ansatz</i> : Teece (2007)
Etablierung als Basisansatz des <i>Business Model</i> -Konzeptes	Seit 1975  Entwicklung parallel zum Geschäftsmodell-Begriff	Seit 1995  Struktur losgelöst von IT <i>Business Structure</i> <i>Business Plan</i> <i>Business Architecture</i>	Seit 2009  Strategische Unternehmensstrukturierung <i>Business Model Innovation</i> <i>Value Creation</i>
Auswahl wichtigster Vertreter	Wirtz (2000), Afuah/Tucci (2001)	Linder/Cantrell (2000)	Hammel (2000), Chesbrough/Rosenbloom (2002), Zott/Amit (2008)
Geschäftsmodell als...	Computer- und Systemmodellierung, Weiterentwicklung <i>E-Business</i>	abstrakte Repräsentation der Unternehmensarchitektur	ganzheitliche Beschreibung unternehmerischer Tätigkeiten in aggregierter Form

Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Wirtz (2013, S. 18, 23).

Die Abbildung 32 zeigt die drei aufeinander folgenden Entwicklungsstufen der Geschäftsmodellkonzeption: Informationstechnologischer, organisationstheoretischer und strategischer Ansatz. Über alle drei Forschungsansätze hinweg stehen die Prozesse von Geschäftsmodellen als Querschnittsfunktion: „In der Technologieorientierung manifestiert sich dies als Prozessmodellierung, in der Organisationsorientierung als Prozessoptimierung und in der Strategieorientierung als Mittel der Operationalisierung“ (Wirtz, 2013, S. 31).

Vor dem Hintergrund der Ausrichtung dieser Arbeit wird im Folgenden der Fokus auf den jüngsten Entwicklungsstrang gelegt – dem strategischen Ansatz zur Konzeption eines (innovativen) Geschäftsmodells. Zudem bildet die strategieorientierte Forschungsströmung den Ausgangspunkt für die Diskussion von Geschäftsmodellinnovationen (Wirtz 2013, S. 17), welche im Anschluss an die Ausführungen geführt wird.

Zur theoretischen Fundierung von Geschäftsmodellen im strategieorientierten Ansatz ist eine integrative Perspektive unterschiedlicher Forschungsströmungen des strategischen Managements notwendig, da eine einzelne Theorie das Wertschöpfungspotenzial in der Gesamtheit nicht erklären kann (Amit/Zott 2001, S. 493). Geschäftsmodelle adressieren mit dem Beziehungsgeflecht zwischen Geschäftsmodell und der Wertschöpfung die internen Kompetenzen und Ressourcen, welche die Grundlage für einen Wettbewerbsvorteil begründen können (Morris/Schindehutte/Allen 2005, S. 729), (Afuah/Tucci 2001, S. 4). Diese Ansicht ist konsistent mit dem ressourcen- und kernkompetenzorientierten Ansatz des strategischen Managements, bei dem Unternehmen als Bündel aus Ressourcen und Kompetenzen verstanden werden (Morris/Schindehutte/Allen 2005, S. 729).<sup>269</sup>

**Gleichzeitig wird in dieser Arbeit angenommen,**

dass das Beziehungsgeflecht zwischen dem Geschäftsmodell und der Wertschöpfung konsistent mit dem marktorientierten Ansatz des strategischen Managements ist, welches über das dynamische *structure-conduct-performance* Paradigma nach Porter (1981, S. 616) adressiert werden kann. Ein Unternehmen kann mit seinem Geschäftsmodell neben den Interaktionsbeziehungen der klassischen Industrieökonomik auch Veränderungen im Markt bewirken, welches über die zusätzlichen Rückkopplungsschleifen von der *performance* zur Strategie und anschließend weiter zur Industriestruktur abgebildet werden kann.<sup>270</sup>

Bezugnehmend auf den strategieorientierten Ansatz wird damit die unternehmensinterne Perspektive mit der unternehmensexternen Perspektive vereint, über die zudem die Komponenten des Wettbewerbs berücksichtigt werden (Wirtz 2013, S. 17, 31), (Morris/Schindehutte/Allen 2005, S. 727). Der strategieorientierte Ansatz des Geschäftsmodell-Konzeptes fundiert folglich auf dem Dreiklang der Markt-, Ressourcen-, und Kernkompetenzorientierung des strategischen Managements.<sup>271</sup>

Der strategieorientierte Ansatz basiert auf einem Beziehungszusammenhang zwischen der Strategie und dem Geschäftsmodell einer Unternehmung (Wirtz 2013, S. 31). Ein Geschäftsmodell sollte konsistent mit den Konzepten des strategischen Managements sein (Morris/Schindehutte/Allen 2005, S. 732). Das Verhältnis zwischen Strategie und Geschäftsmodell wird in der wissenschaftlichen Literatur allerdings in unterschiedlichen Facetten verstanden, wie die nachfolgende Auflistung beispielhaft darlegt.

---

<sup>269</sup> Siehe für eine Vertiefung des ressourcenorientierten Ansatzes Kapitel 3.3.2.3 und für eine Vertiefung des kernkompetenzorientierten Ansatzes des strategischen Managements Kapitel 3.3.2.4.

<sup>270</sup> Siehe für eine Vertiefung des marktorientierten Ansatzes des strategischen Managements und des dynamischen *structure-conduct-performance* Paradigmas Kapitel 3.3.2.2.

<sup>271</sup> Siehe für eine ausführliche Darstellung dieser drei Forschungsströmungen Kapitel 3.3.2.

**Tabelle 15: Verhältnis von Strategie und Geschäftsmodell****Das Geschäftsmodell...**

wird als Axiom verstanden und steht über der Unternehmensstrategie (Schmeisser 2015).
ist der Repräsentant der zugrunde liegenden Kernlogik und der strategischen Entscheidungen eines Unternehmens und reflektiert diese im Hinblick auf die operativen Auswirkungen (Shaffer/Smith/Linder 2005, S. 203f.).
ist ein Spiegelbild der realisierten Unternehmensstrategie (Casadesus-Masanell/Ricart 2010, S. 195).
„ist (...) eine konkrete Umsetzung der Unternehmensstrategie“ (Volker 2014, S. 55).
ist eine abstrakte Darstellung einer Teilmenge der Unternehmensstrategie (Seddon/Lewis 2003, S. 237).
und die Strategie stehen in einem komplementären Verhältnis zueinander (Csik/Gassmann 2015, S. 303).
ist die Grundlage für die Geschäftsfeldstrategie (Hinterhuber 2015, S. 208f.).
ist allgemeiner als die Geschäftsfeldstrategie. Um Wettbewerbsvorteile die sich aus Geschäftsmodellinnovationen <sup>272</sup> ergeben können zu schützen, ist eine Kopplung der Strategie und des Geschäftsmodells notwendig. (Teece 2010, S. 179)
steht „als Bindeglied zwischen strategischem und operativem Management“ (Clauß/Pietruska 2016, S. 180).
wird in einem hierarchisch aufeinander aufbauenden Schichtsystem als mittlere Ebene unterhalb der Strategie- und oberhalb der Prozessschicht verstanden (Al-Debei/EI-Haddadeh/Avision 2008, S. 6).
wird als Instrument des (strategischen) Managements (Nemeth 2011, S. 243), (König/Buddrick 2013, S. 16), (McGrath 2010, S. 248) und im engeren Verständnis als ein konzeptionelles Werkzeug verstanden (Osterwalder/Pigneur 2011, S. 19, 46), (Perkmann/Spicer 2010, S. 11), (Osterwalder/Pigneur/Tucci 2005, S. 3).
„ist die inhaltliche Ausarbeitung einer Innovation“ (Someren 2005, S. 54) und wird als Instrument zur Modellierung, Artikulation und insbesondere Kommerzialisierung von neuen Technologien verwendet (Holzmann 2015, S. 184), (Perkmann/Spicer 2010, S. 1), (Chesbrough 2010, S. 354), (Chesbrough/Rosenbloom 2002, S. 530).
ist selbst ein Innovationsobjekt (Holzmann 2015, S. 184), (Teece 2010, S. 176). <sup>273</sup>

Quelle: Eigene Darstellung.

**In dieser Arbeit wird die Auffassung vertreten,**

dass ein Geschäftsmodell die Übersetzung einer intendierten Strategie in einen wertorientierten Plan ist, angedockt an die Strategieebenen entlang der vertikalen Organisationsebenen eines Unternehmens – der Unternehmensstrategie (*corporate strategy*) und der Geschäftsfeldstrategie (*business strategy*).<sup>274</sup>

Begründet wird diese Auffassung anhand der Unterschiede zwischen einer Strategie und einem Geschäftsmodell: Die Unternehmensstrategie definiert für das gesamte Unternehmen, „welche Wettbewerbspositionen mit welchen [Dienstleistungs- bzw.] Produktkategorien in welchen Märkten erreicht werden sollen“ (Grünig/Kühn 2000, S. 43). Die Hauptaufgabe einer Geschäftsfeldstrategie ist die Festlegung der zukünftigen „Vorgehensweise der im Unternehmen verfolgten Produkt-Markt-Kombination“ (Kreikebaum/Gilbert/Behnam 2011, S. 132), mit dem Ziel einen Wettbewerbsvorteil (*competitive advantage*) zu generieren.<sup>275</sup> Die Aufgabe des Geschäftsmodells hingegen „ist die simplifizierte Beschreibung einer kommerziellen Unternehmung und [wird] damit als Summe

<sup>272</sup> Teece (2010, S. 179) spricht an dieser Stelle von einem *new business model design*, welches synonym zur Geschäftsmodellinnovation verstanden wird.

<sup>273</sup> Siehe zudem die Tabelle 10: Innovationsobjekte differenziert nach ökonomischen Kategorien, in der ein Geschäftsmodell als mögliches Innovationsobjekt klassifiziert ist.

<sup>274</sup> Anzumerken ist, dass bei multidivisional organisierten Unternehmen, die über mehrere Geschäftsbereichsstrategien verfügen, die „Unternehmensstrategie durch mehrere Geschäftsmodelle repräsentiert werden“ (Adelhelm 2013, S. 42) kann.

<sup>275</sup> Siehe für eine ausführliche Darstellung der Unternehmens- und Geschäftsbereichsstrategien Kapitel 3.1.1.2.

all jener Aktivitäten verstanden, die es benötigt, um die von der Strategie vorgegebene Wettbewerbsposition zu erreichen“ (Csik/Gassmann 2015, S. 303).

Ein Geschäftsmodell bezieht sich damit auf die Logik des Unternehmens, die Art wie es funktioniert und wie der *stakeholder value* geschaffen werden soll. Geschäftsmodelle ermöglichen der Unternehmensführung den Wert einer neuen Technologie zu modellieren und zu artikulieren (Permann/Spicer 2010, S. 1), und sind damit eine neue Möglichkeit zur Optionsprüfung in einer unsicheren, schnelllebigen, komplexen und unberechenbar Umgebungen (McGrath 2010, S. 247f.). Eine Strategie hingegen bezieht sich auf eine bewusste Wahl des Geschäftsmodells durch das Unternehmen, mit dem es auf dem Markt konkurrieren wird (Casadesus-Masanell/Ricart 2010, S. 196). Im Gegensatz zu einer Strategie ist mit einem Geschäftsmodell folglich keine direkte Managemententscheidung, sondern eine Vorlage für eine Managemententscheidung verbunden (McGrath 2010, S. 248). Aus dieser Perspektive heraus kann ein Geschäftsmodell als ein Spiegelbild der realisierten Strategie des Unternehmens bezeichnet werden (ebd., S. 195).

**Zugleich wird in dieser Arbeit angenommen,**

dass ein Geschäftsmodell, als ein Instrument des strategischen Managements, zur inhaltlichen Ausgestaltung einer Innovation dienen und gleichzeitig selbst zum Innovationsobjekt werden kann. Ein Geschäftsmodell kann folglich als ein Instrument für die Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle genutzt werden, um mit Geschäftsmodellinnovationen über die Antizipation von Veränderungen der unsicheren und dynamischen Unternehmensumwelt zu begegnen.<sup>276</sup>

Geschäftsmodellinnovationen können bezugnehmend auf die Differenzierung des Innovationsgrades<sup>277</sup> sowohl inkrementeller, als auch radikaler oder disruptiver Natur sein (Schallmo 2013, S. 29), (Halecker/Höltzle/Sittner 2014, S. 3). Im Hinblick auf die Bezugseinheit für den Innovationsgrad<sup>278</sup> genügt ein subjektiver Bezug, d. h. „sie muss nicht neu für die Welt sein, sondern nur für die Industrie bzw. für das einzelne Unternehmen“ (Halecker/Höltzle/Sittner 2014, S. 3). Zudem zeichnen sich Geschäftsmodellinnovationen durch eine Veränderung von mindestens zwei Geschäftsmodell-Elementen aus (Csik/Gassmann 2015, S. 307), (Csik 2014, S. 37), (Gassmann/Frankenberger/Csik 2013, S. 9), (Lindgardt et al. 2009, S. 2).<sup>279</sup>

Analog zu den strategieweisenden Innovationsstimuli<sup>280</sup> können Geschäftsmodellinnovation über eine Technologie oder den Markt initiiert werden (Wirtz 2013, S. 288), (König 2010, S. 9f.). Dabei kommt dem Geschäftsmodell, das auf einer neuen Technologie basiert, eine besondere Bedeutung zu, da technologische Innovationen an sich noch keinen Geschäftserfolg garantieren (Tece 2010, S. 183). Sie müssen im Rahmen eines (neuen) Geschäftsmodells zunächst die Wertgenerierung (*value creation*) und Sicherung des geschaffenen Wertes (*value capturing*) definieren (ebd.), um den technischen Erfolg in einen kommerziellen Erfolg zu transferieren (ebd., S. 184).

---

<sup>276</sup> Dieses bestätigen auch Granig/Ratheiser/Gaggl (2016, S. 1) die mit dem Konzept der trendantizipierenden Geschäftsmodellinnovation (Ableitung und Überführung von Megatrends (≈50 Jahre) in Geschäftsmodelle) einen Beitrag zur Innovationsfähigkeit von Unternehmen leisten.

<sup>277</sup> Siehe Kapitel 4.1.2.2.

<sup>278</sup> Siehe Kapitel 4.1.2.3.

<sup>279</sup> Siehe für eine Definitionsübersicht zum Begriff der Geschäftsmodellinnovation Tabelle 45: Definitionen Geschäftsmodellinnovation in Anhang A.2.

<sup>280</sup> Siehe Kapitel 4.3.3.

Aus Gilbert (2003) abgeleitet, können Geschäftsmodellinnovationen für etablierte Unternehmen nicht nur eine Möglichkeit zur Verteidigung ihrer Wettbewerbsposition, sondern auch als eine Chance betrachtet werden. Ein weiterer Treiber für Geschäftsmodellinnovationen sind Umweltveränderungen: „Gibt es soziologische, ökonomische, legislative oder ökologische Veränderungen, die es ermöglichen für bestimmte Zielgruppen Lösungen für neue Probleme zu finden?“ (König 2010, S. 9f.) Wird dieser Gedanke weitergeführt, so könnte auch die Multi-Impuls These nach Klemmer/Lehr/Löbke (1999, S. 80) ebenfalls bei Geschäftsmodellinnovationen angewendet werden und die klassischen externen innovationsauslösenden Stimuli (*technology-push*, *demand-pull*, *regulatory-push*, *regulatory-pull*, *society-push*, *vision-pull*) erweitert um die systeminduzierten Impulse des *system-push* und *system-pull*<sup>281</sup> für Geschäftsmodellinnovationen adaptierbar sein.

Der Schlüssel für neue Geschäftsmodelle liegt gemäß McGrath (2010, S. 260) im experimentieren, welches sowohl für ein Produkt, eine Geschäftseinheit, innerhalb von Unternehmen, aber auch innerhalb einer Industrie oder branchenübergreifend stattfinden kann (McGrath 2010, S. 260), (Wirtz 2001, S. 210). Dabei kann die Suche nach einem neuen Geschäftsmodell zu einer zwischenzeitlichen Koexistenz des gegenwärtigen und neuen Geschäftsmodells führen (Chesbrough 2010, S. 362). Zu wissen zu welchem Zeitpunkt die Ressourcen zu verlagern sind, ist ein feiner Balanceakt (ebd.). Darüber hinaus besteht in einer Analogie zu den Herausforderungen des Kapitels 4.3.1.3 ein potenzieller Konfliktgehalt zwischen den bestehenden und neuen Geschäftsmodellen (Kannibalisierung). Dieses bestätigt auch die Studie<sup>282</sup> von Halecker/Hölzle/Sittner (2014): Die größten Herausforderungen betreffen die sachliche Ebene und weniger die zeitliche oder soziale Ebene. Auf der Sachebene stehen die unternehmensinternen Prozesse (maßgeblich bei der Umsetzung und Bewertung der Geschäftsmodelloptionen) im Vordergrund der Herausforderungen sowie die „Vereinbarkeit mit dem bestehenden Geschäftsmodell“ (ebd., S. 17). Gleichzeitig zeigt die Studie, dass trotz der Herausforderungen, die mit der Entwicklung von Geschäftsmodellinnovationen einhergehen, ihr Stellenwert zukünftig ( $\leq 5$  Jahre) steigen wird; insbesondere bei großen Unternehmen, „die bisher die Geschäftsmodellinnovation als nicht so stark relevant ansahen“ (ebd., S. 18f.).

---

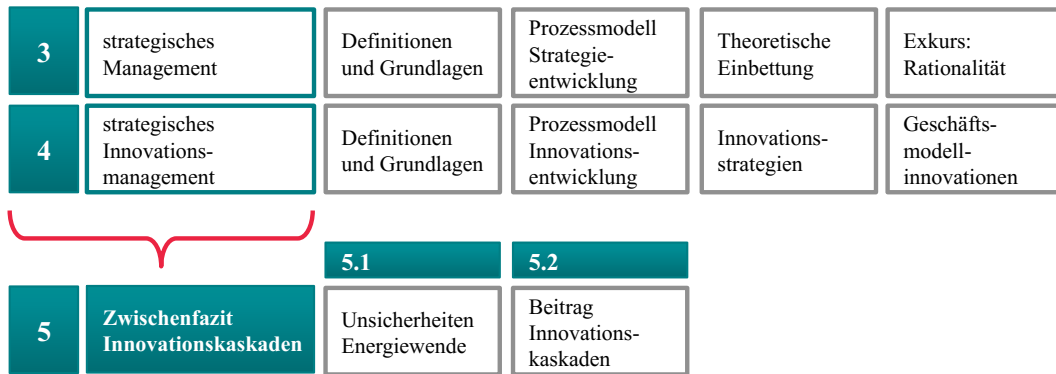
<sup>281</sup> Siehe für eine ausführliche Darstellung und Herleitung Kapitel 4.3.3.

<sup>282</sup> Bei der empirischen Studie handelt es sich um eine branchenübergreifende Online-Befragung von 126 Unternehmen (Halecker/Hölzle/Sittner 2014, S. 4f.).



## 5 Zwischenfazit: Zentrale Rolle von Innovationskaskaden

Abbildung 33: Struktur Kapitel 5

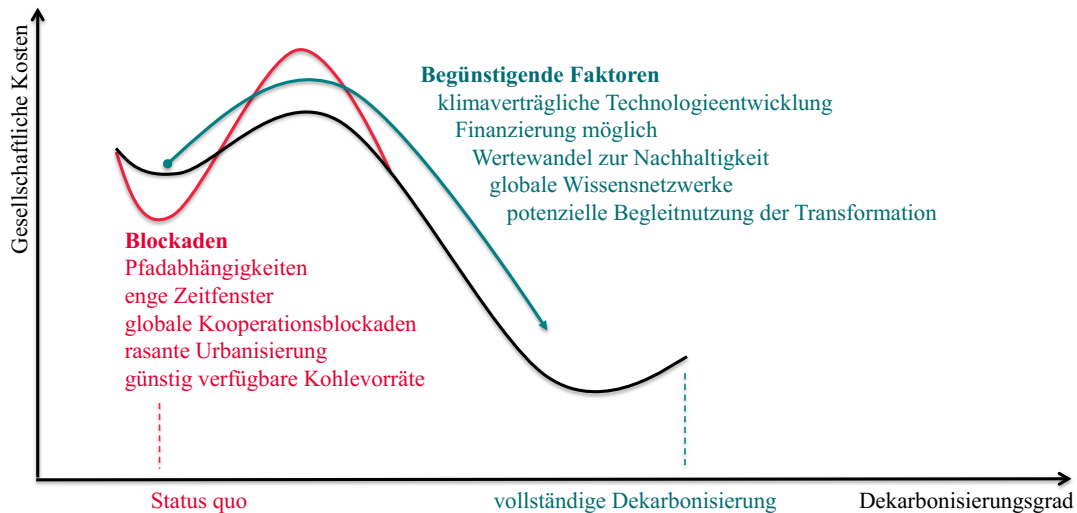


Quelle: Eigene Darstellung.

## 5.1 Unsicherheiten in der Energiewende

Auf einer übergeordneten Ebene, die den Weg zu einer klimaverträglichen Weltgesellschaft ebnet, können entlang des Dekarbonisierungsgrades die in der nachfolgenden Abbildung dargestellten systemtransformationsspezifischen Treiber und Hemmnisse identifiziert werden.

Abbildung 34: Treiber und Hemmnisse der Systemtransformation auf dem Weg zu einer klimaverträglichen Weltgesellschaft



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an WBGU (2011, S. 284).

Für die Hemmnisse des systemischen Innovationsprozesses der Energiewende kann konstatiert werden, dass diese im zentralen Gestaltungsspielraum politischer, rechtlicher und regulatorischer Rahmenbedingungen liegen, wie auch die Studien von Schulz/Kroh/Lütjen (2017, S. 16), Global Climate Forum/Germanwatch (2016), Roland Berger (2013, S. 7-10), Deloitte (2013), Adelphi/Borderstep Institut (2013) und (BDEW/CTG 2010, S. 11) zeigen.<sup>283</sup> Die Energiewirtschaft wird von zahlreichen Risiken und Ungewissheiten tangiert, wie die nachfolgende Tabelle, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, zusammenfasst.

<sup>283</sup> Ferner bestätigen dieses u. a. Stanger (2017, S. 73f.) und Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011, S. 6, 9).

**Tabelle 16: Unsicherheitsfelder der Energiewirtschaft**

Risiken	Ungewissheiten
Kraftwerksausfälle	Strategien der Wettbewerber
Unkonventionelle Fördertechniken, Erschließung sensibler Ökosysteme, Kosten und Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus	Technik- und Technologieentwicklung, Technologiesprünge, Skaleneffekte neuer Technologien
Kernenergieausstieg	Klimawandel und internationaler Klimaschutz
Energiepreise	Politische und rechtliche Rahmenbedingungen
Brennstoffpreise	Steuern und Abgaben
Energieabsatz	Förderung erneuerbarer Energien und KWK
Energienachfrageverhalten	Genehmigungsverfahren, Konzessionsvergabe
Entwicklung von <i>Smart Metering</i> , <i>Smart Grid</i> und Elektromobilität	Realisierung Infrastrukturprojekte
Integration neuer Technologien in soziale Systeme ( <i>Smart Homes</i> , <i>Smart Cities</i> )	Akzeptanz Großprojekte und Vertrauen gegenüber Anbietern
CO <sub>2</sub> -Zertifikatspreise	
Wechselwirkungen zwischen den Energiesystemen/Sektoren	

Quelle: Eigene, erweiterte Darstellung in Anlehnung an Servatius (2012, S. 4), Voß (2008, S. 8).

Ein zentraler Punkt der Ungewissheit ist der Klimawandel, der für sich genommen ein systemisches Risiko darstellt (Renn 2011, S. 385). Systemische Risiken sind, ähnlich wie die Herausforderungen, die eine Innovationsstrategie tangieren, „komplex, unsicher und ambivalent“ (ebd., S. 386). Systemische Risiken charakterisieren sich gemäß Renn (2011, S. 331-334) über die folgenden Merkmale:

- lokal übergreifende bis globale Wirkung,
- Vernetzung mit anderen Risikoarten,
- Ausstrahlung auf andere Wirtschafts- und Lebensbereiche,
- stochastische und chaotische Wirkungsbeziehungen,
- Unterschätzung durch die Politik und Gesellschaft, wie z. B. die „Auswirkungen der Energieversorgung auf das Klima“ (ebd., S. 334).<sup>284</sup>

Die drei zentralen Charakteristika „global, vernetzt und kaum in ihren Wirkungen vorhersehbar“ (Renn 2014, S. 367) deuten in Anlehnung an die vorangestellte Differenzierung von Ungewissheit und Risiko unter dem Mantel der Unsicherheit zwar darauf hin, dass es sich bei dem Klimawandel tendenziell um eine Entscheidungssituation unter Ungewissheit handeln könnte. Da der Klimawandel, wie in Kapitel 1.1 dargestellt, eine statistisch identifizierte Veränderung des Klimas ist, dessen Quelle, Eintrittswahrscheinlichkeit und Konsequenzen bekannt sind, wird auch in Anlehnung an die Unsicherheitsdifferenzierung nach Knight (1921) angenommen, dass es sich bei dem Klimawandel um eine Entscheidungssituation unter Risiko handelt.<sup>285</sup>

Die zum Schutz des Klimas avisierte Energiewende ist auf der Ebene der strategischen Zielsetzungen und Auswirkungen bekannt, jedoch sind die über den systemischen Innovationsprozess der Energiewende hervorgerufenen Phänomene (Folgen) auf dem Weg zur Zielerreichung auf Grund der Einzigartigkeit und des hohen Neuigkeitsgrades historisch betrachtet singulär.

<sup>284</sup> Renn (2014, S. 334) gesteht zwar ein, dass diese zwar im Fokus von Wissenschaft, Politik und Gesellschaft stehen – „allerdings zeigt sich in der Praxis, dass (...) die bisherige Bilanz der Wirksamkeit von risikobegrenzenden und regulierenden Maßnahmen außerordentlich mager ausfällt“.

<sup>285</sup> An dieser Stelle sei der Vollständigkeit halber aufgeführt, dass in Anlehnung an Renn (2014, S. 384) die Ergebnisse des IPCC teilweise umstritten sind und die exakte Verteilung der THG-Emissionen zwischen natürlichen und anthropogenen Quellen nicht abschließend geklärt ist.

Auch die Liberalisierung des Energiemarktes in den 1990er Jahren<sup>286</sup>, als eine ggf. annäherungsweise vergleichbare Veränderung des Energiesystems, kann an dieser Stelle nicht herangezogen werden. Im Gegensatz zur Liberalisierung ruft die Energiewende nicht nur im Strom- und Gasmarkt, sondern auch in branchenübergreifenden Kreisen Auswirkungen hervor und führt damit zu Veränderungen, die nicht nur von einer einzigen politisch initiierten Marktöffnung begründet sind. Die Energiewende ist langfristiger, komplexer und dynamischer, so dass die Strommarktliberalisierung nicht zur Prädiktion (Schätzung) von Eintrittswahrscheinlichkeiten im Rahmen der Energiewende genutzt werden kann. Es bleibt an dieser Stelle festzuhalten, dass der systemische Innovationsprozess der Energiewende als Ganzes nicht mit Eintrittswahrscheinlichkeiten etikettiert und davon ausgegangen werden kann, dass es sich um eine Entscheidungssituation unter Ungewissheit handelt, gleichwohl Informationen über mögliche Konsequenzen und ihre Wechselwirkungen zumindest teilweise in modellierter Form vorliegen.<sup>287</sup>

Um der Ungewissheitssituation im Rahmen des systemischen Innovationsprozesses der Energiewende zu begegnen, kann in Anlehnung an die Definition der Ungewissheit weder auf mathematisch-statistisch quantifizierbare (objektive) Wahrscheinlichkeitsangaben, noch auf erfahrungsbasierte (subjektive) Wahrscheinlichkeitsangaben zurückgegriffen werden.<sup>288</sup> Ferner können die Herausforderungen der Unsicherheit, der Komplexität und des Konfliktgehalts nur schwer modelliert werden (Amit/Schoemaker 1993, S. 33). Vor diesem Hintergrund ist es notwendig, auf das Kontextwissen von Experten<sup>289</sup> zurückzugreifen, welches das für diese Arbeit zugrunde gelegte Untersuchungsdesign der explorativen Experteninterviews bei der Fallstudienanalyse unterstreicht.<sup>290</sup>

Wie der Versuch einer begründeten Zuordnung der Energiewende zur Entscheidungssituation unter Ungewissheit zeigt, ist diese weder trivial noch abschließend.<sup>291</sup> Daher sei an dieser Stelle anzumerken, dass die facettenreiche Begriffsabgrenzung zwischen den einzelnen Termini »Unsicherheit«, »Ungewissheit« und »Risiko« mit den einzelnen Ausprägungen im Folgenden nur schwer aufrecht zu erhalten ist. Da auch die wirtschaftswissenschaftliche Literatur die Begriffe Unsicherheit und Ungewissheit sowie Unsicherheit und Risiko zum Teil synonym verwendet,<sup>292</sup> soll die in dem Kapitel 4.3.1.2 detaillierte Begriffsvielfalt zu Gunsten des Oberbegriffs der Unsicherheit fortgeführt werden.

---

<sup>286</sup>Die Liberalisierung geht auf die Richtlinie 96/92/EG zu gemeinsamen Vorschriften im Elektrizitätsbinnenmarkt und die Richtlinie 98/30/EG zu gemeinsamen Vorschriften im Erdgasbinnenmarkt zurück. Die Umsetzung EU-Energiebinnenmarkttrichtlinien erfolgte in Deutschland über das am 29.04.1998 in Kraft getretene Gesetz zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts (EnWG) (BGBl. I 1998, S. 730ff.). Für eine ausführliche Darstellung der Liberalisierung der Elektrizitätswirtschaft und seiner Auswirkungen wird auf Bontrup/Marquardt (2010) verwiesen.

<sup>287</sup> Vgl. beispielsweise die Wechselwirkungsanalyse auf Basis einer vereinfachten Ersteinschätzung zwischen den NRW-Klimaschutzplan Szenarien, dem Rohstoffverbrauch und der Rohstoffproduktivität (Wuppertal Institut 2016), die Impact Analyse für den Klimaschutzplan NRW (Prognos/Energynautics/GWS 2014) und die Studie zum Geschäftsmodell Energiewende (Fraunhofer IWES 2014).

<sup>288</sup> Siehe Kapitel 4.3.1.2.

<sup>289</sup> Zum Zweck der besseren Lesbarkeit wird in dieser Forschungsarbeit auf eine geschlechtsspezifische Schreibweise verzichtet. Die hier gewählte männliche Form »Experte« bzw. »Experten« nimmt immer zugleich Bezug auf weibliche und männliche Personen.

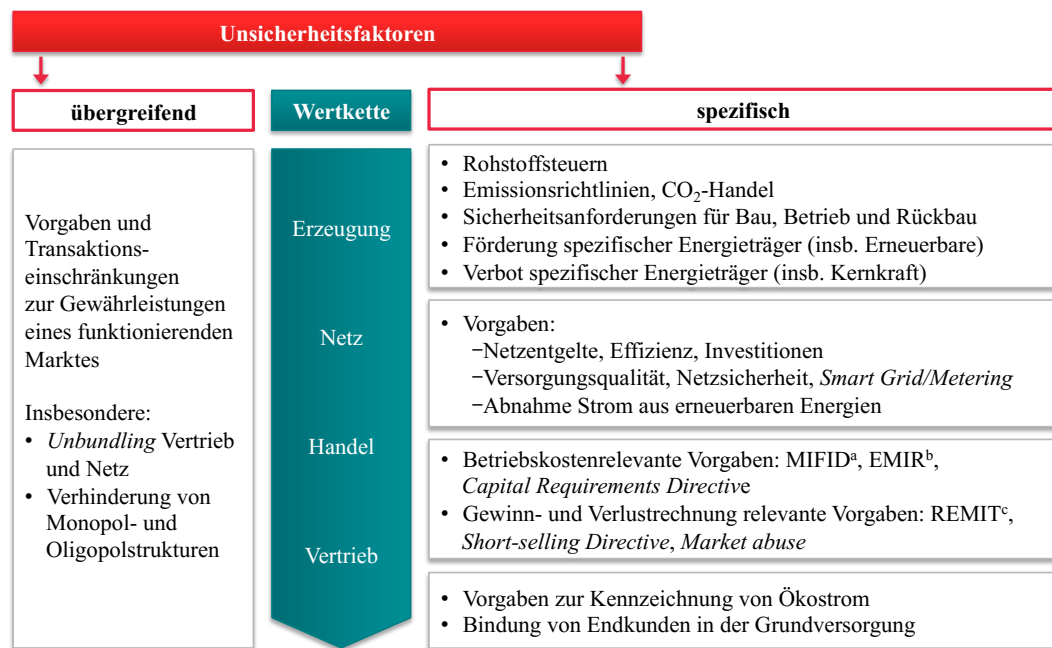
<sup>290</sup> Siehe zum Fallstudien-Forschungsdesign der Experteninterviews Kapitel 6.

<sup>291</sup> Letztlich könnte die Einteilung der Tabelle 16: Unsicherheitsfelder der Energiewirtschaft unter Umständen auch in einer anderen Form abgebildet werden.

<sup>292</sup> Vgl. exemplarisch Boeckelmann/Mildner (2011, S. 1), Jonen (2007, S. 17), Eisenführ/Weber (2003, S. 19f.) und Schönböck (1988, S. 48f.)

Zusammengefasst stehen strategische Innovationen, die für die Transformation in ein nachhaltiges Energiesystem notwendig sind, vor drei zentralen Unsicherheitsbereichen: Politische und rechtliche Rahmenbedingungen, Entwicklung neuer Technologien und Verhaltensweisen von Energie-Kunden (Servatius 2012, S. 4). Wie die Tabelle 16: Unsicherheitsfelder der Energiewirtschaft zeigt, können einzelne Positionen, wie z. B. Steuern und Abgaben, Förderung erneuerbarer Energien und KWK, Genehmigungsverfahren und Konzessionsvergaben unter dem Mantel politischer und regulatorischer Unsicherheit summiert werden. Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die zentralen regulatorischen Unsicherheiten entlang der Wertschöpfungskette des Energiesektors.

Abbildung 35: Regulatorische Unsicherheitsfelder entlang der energetischen Wertkette



Quelle: Eigene, modifizierte Darstellung in Anlehnung an Figge/Otto (2013, S. 56).

<sup>a</sup> *Markets in Financial Instruments Directive*,

<sup>b</sup> *European Market Infrastructure Regulation*

<sup>c</sup> *Regulation on wholesale Energy Market Integrity and Transparency*

Zur Reduktion dieser regulatorischen Unsicherheiten schlugen Figge/Otto (2013) eine multivariate Szenarienanalyse auf der Grundlage von Treiberbäumen vor, um das Risikomanagement der Energieversorgungsunternehmen zu erweitern. Da es sich bei den deklarierten Unsicherheiten um Ungewissheiten handelt, dessen Eintrittswahrscheinlichkeiten nicht über historische Werte ableitbar sind, sollen die Eintrittswahrscheinlichkeiten über einen Instrumenten-Mix aus z. B. „historische[n] und geografische[n] Analogien, Expertenworkshops oder Meinungsumfragen“ (ebd., S. 58) bestimmt werden. Bei der Frage zur Überführung von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen ist nicht vorrangig die Abbildung der Eintrittswahrscheinlichkeit der regulatorischen Unsicherheit, sondern vielmehr die inhaltliche Ausgestaltung der Unsicherheit für die Transformation relevant. Ferner sind auch die angrenzenden Branchen im Hinblick auf die Unsicherheiten und Potenziale im Rahmen der Fallstudien zu untersuchen. Bei der multivariaten Szenarienanalyse auf der Grundlage von Treiberbäumen ist es allerdings offen, ob diese Methode der Unsicherheitsreduktion komplexitätsbedingt erweiterbar ist.

Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011, S. 6f.) gehen davon aus, dass Regulationen zu einer steigenden Unsicherheit führen werden, gleichwohl sie auch zu einem Wachstum beitragen können. Unternehmen sind ohne das Vorliegen einer Sicherheit bezugnehmend auf die Regulierung nicht in der Lage die Risiken und Chancen, die mit Innovationsinvestitionen einhergehen, zu beurteilen und die für solche Investitionen notwendigen Kompromisse einzugehen (ebd., S. 5). Eine regulatorische Unsicherheitssituation führt zu einer zusätzlich erschwerten Indikatorberechnung bei der Bewertung von technologischen Investitionsentscheidungen im Rahmen der (dynamischen) Investitionsrechnung (ebd., S. 6). Ohne nachhaltige Investitionen in Innovationen können Unternehmen jedoch nur eingeschränkt ihr Potenzial zum Schutz des Klimas entfalten und ihren Beitrag zur Dekarbonisierung (des Energiesystems) leisten (ebd.). Um der regulatorischen Unsicherheit zu begegnen schlagen Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011) in Abhängigkeit der regulatorischen (Un)Sicherheitsituationen unterschiedliche Strategien vor, die primär von der Unternehmensgröße und der Marktmacht abhängen.

**Abbildung 36: Strategien zum Umgang mit regulatorischen (Un-)Sicherheitsituationen**

Dimension der Unsicherheit	regulatorische Sicherheit: Es besteht eine einzige beste Prognose	regulatorisches Risiko: Quantitative Chancen können den Ergebnissen zugewiesen werden	regulatorische Ambiguität: Qualitative Ergebnisse können beschrieben werden	regulatorische Unsicherheit: Politik unbekannt
<b>Strategien</b>				
1. Gamble on the „Most Probable“	●	●		
2. Take the robust Route		●	●	
3. Delay until Further Clarity emerges			●	
4. Commit with Fallbacks			●	
5. Shape the Future				●

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011, S. 8).

Wie bereits dargestellt, wird der systemische Innovationsprozess der Energiewende von zahlreichen Unsicherheiten tangiert zu denen keine Aussagen über quantitative Wahrscheinlichkeitsangaben in der Zukunft getätigt werden können. Daran anknüpfend ist die erste Strategie zur Spekulation auf die höchste Wahrscheinlichkeit, wie sie Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011, S. 8f.) vorschlagen, für diesen Kontext nicht passend. In der zweiten Strategie wird empfohlen eine robuste, d. h. eine von regulatorischen Veränderungen unabhängige Strategie zu verfolgen (ebd., 9). Diese Strategie bezieht sich sowohl auf die Unsicherheitsdimension des regulatorischen Risikos (Beschreibung quantitativer Ergebnisse möglich), als auch auf die regulatorische Ambiguität bei der nur qualitative Aussagen über mögliche Ergebnisse in der Zukunft getätigt werden können (ebd.). Diese Strategie verfolgen z. B. EVU in dem sie mit ihrem diversifizierten Geschäftsfeldern parallel auf die Herstellung und den Vertrieb mehrerer Energieträger setzen (ebd.). Die Verfolgung dieser Strategie ist stark von der Größe und der Marktmacht des Unternehmens abhängig: Handelt es sich um ein großes und einflussreiches Unternehmen, können multiple Investitionen, auch in Substitutionsprodukte, getätigt werden (ebd.). Kleine Unternehmen hingegen, die häufig nur über ein oder zwei Ge-

schäftsfelder in ihrem Portfolio verfügen, sind auf Grund ihrer geringeren finanziellen und personellen Kapazitäten tendenziell nicht in der Lage diese Strategie zu verfolgen (ebd.). Daraus abgeleitet kann davon ausgegangen werden, dass große und einflussreiche Unternehmen gegenüber kleineren Unternehmen widerstandsfähiger (resilient) gegenüber regulatorischen Risiken sind.

Die dritte Strategie die Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011, S. 9) vorschlagen, bezieht sich ausschließlich auf die regulatorische Ambiguität, in der nur noch qualitative Abschätzungen über die zukünftige Veränderung der Regularien verfügbar sind: Angesichts der hohen regulatorischen Unsicherheit, die mit einer hohen Unsicherheit über den zu erwartenden *cash-flow*<sup>293</sup> einhergeht, wird empfohlen solange eine (ab)wartende Stellung einzunehmen, bis die Situation klar(er) ist (ebd.). Eine solche Verzögerungsstrategie betrifft insbesondere Investitionen in innovative Technologien die sich noch im FuE-Stadium befinden und nur mit einem großen öffentlichen Engagement weit verbreitet werden können, wie z. B. die Energieträgerherstellung auf Basis aquatischer Biomasse (ebd., S. 9f.). Dieses lässt darauf schließen, dass es sich weder um eine Innovation die durch einen *technology-push*, noch einen *demand-pull* ausgelöst wird, handelt. Zwar minimiert die Strategie der Verzögerung den *downside-risk*, beschränkt aber gleichzeitig den *upside-risk* (ebd., S. 10), d. h. die Chance die von der Unsicherheitsituation ausgehen kann.<sup>294</sup> Dieses kann dazu führen, dass wenn Unternehmen sich im Anschluss an die Zeit des Abwartens dafür entscheiden zu investieren, bereits Marktanteile durch den Wettbewerb besetzt wurden (ebd.).

Auch die vierte von Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011, S. 10) vorgeschlagene Strategie zur Begegnung regulatorischer Unsicherheiten fokussiert ausschließlich die regulative Ambiguität. Mit dieser Strategie wird abgrenzend zur zweiten Strategie (mehrere parallele Innovationsinvestitionen) auf eine große Investition in eine Innovation gesetzt, wobei ein etwaiger Rückschlag über Alternativen abgesichert wird (ebd.). So verfolgen z. B. auch EVU diese Strategie indem sie Rückschläge bei fossilen Energieträgern über Investitionen in Alternativen aus dem Bereich erneuerbare Energien absichern (ebd.). Für den Fall, dass eine Veränderung der Regulationen die Entwicklung fossiler Energieträger negativ beeinflusst, kann dadurch eine Rückzugsposition geschaffen werden (ebd.).

In Verbindung mit den Effekten, welche die über Markteintrittsstrategien determinierte Wissensgenerierung bei der Entwicklung neuer Technologien zur Reduktion von Unsicherheit beeinflussen, wird in diesem Abschnitt ein Zwischenfazit gezogen. Dabei werden die empirischen Ergebnisse von Eggers (2012) aus einer zeithistorischen Analyse fehlgeschlagener Technologie-Konkurrenzen an den Strategiealternativen zwei, drei und vier von Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011) gespiegelt, mit dem Ziel die möglichen Auswirkungen der Strategien auf Lerneffekte darzustellen. Die von Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011, S. 8f.) vorgeschlagenen Strategien der robusten Route (parallel auf multiple Technologiepfade setzen) sowie der Verzögerung, greifen gemäß den Erkenntnissen von Eggers (2012, S. 47) nicht vollständig zur Unsicherheitsreduktion. Da zum einen Unternehmen, die in beide Technologien investieren, unter Anreiz- und koordinati-

---

<sup>293</sup> „Unter dem finanzwirtschaftlichen *Cash-Flow* versteht man den erwarteten Mittelrückfluß [sic!] aus dem Umsatzprozeß [sic!], der nicht in Kürze zur Auszahlung führt.“ (Wöhe/Döring 2000, S. 689, Hervorhebungen der Verfasserin) Er ist eine unverzichtbare „Orientierungsgröße zur Quantifizierung des Innenfinanzierungsvolumens“ (ebd., S. 1090).

<sup>294</sup> Siehe zur Definition der innovationsauslösenden Stimuli *technology-push* und *demand-pull* das vorausgegangene Kapitel 4.3.3 und zur Definition des *downside-risk* und des *upside-risk* das vorausgegangene Kapitel 4.3.1.2.

onsbedingten Innovationssanktionen von Generalisten leiden werden und zum anderen späte Neueinsteiger mit Nachteilen bei der Wissensgenerierung zu kämpfen haben werden (ebd.). Im Hinblick auf die von Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011, S. 10) vorgeschlagene vierte Strategieoption zur Begegnung von Rückschlägen, kann aus den Ergebnissen von Eggers (2012, S. 47) abgeleitet werden, dass in Situationen konkurrierender Technologieoptionen Unternehmen die zunächst in die verlierende Technologie investieren, weniger erfolgreich sein werden, um später neue Erkenntnisse in der gewinnenden Technologie aufzubauen. Eggers (ebd.) begründet dieses über die Erfahrungen des Scheiterns, die Unternehmen dazu veranlassen zukünftig weniger riskante Technologiealternativen zu verfolgen.

Die fünfte Strategie schlagen Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011, S. 11) für eine Ungewissheitssituation im engeren Sinn vor: Die zukünftigen politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen sind unbekannt. Diese Strategie basiert auf einer aktiven Gestaltung der Zukunft. Große Unternehmen, aber auch in Verbänden organisierte KMU können, sofern sie über ein überzeugendes Geschäftsmodell verfügen, versuchen einen Einfluss auf die Arbeit von Regierungsbeamten und Regulatoren zu nehmen (ebd.), um die Chancen zu erhöhen, dass die von den Unternehmen oder Verbänden gewünschten Ergebnisse sich durchsetzen werden. Unternehmen oder Verbände die versuchen als aktive Gestalter der Zukunft zu fungieren, beeinflussen wichtige Akteure und gesellschaftliche Verantwortungsträger, mit dem Ziel ein Umfeld zu schaffen, welches ihren Vorstellungen zugute kommt (ebd.). Um dieses Ziel zu Erreichen, ist eine branchenübergreifende Führung von Koalitionen und Partnerschaften aller Wertschöpfungsstufen, sowie Institutionen der Wissenschaft und der Zivilgesellschaft notwendig (ebd.). Die Strategieoption zur aktiven und gestalterischen Begegnung regulatorischer Unsicherheit ist selbst mit einem hohen Risiko, aber auch mit hohen Renditechancen verbunden (ebd.). Denn die Gestalter treten in Situationen ein, in denen die Zukunft offen ist, die Chancen groß sind, aber auch die Möglichkeit des Scheiterns besteht (ebd.).

Ableitend aus der kritischen Gegenüberstellung der Strategiealternativen von Marcus/Aragon-Correa/Pinkse (2011) und den empirischen Erkenntnissen von Eggers (2012), kann zusammenfassend festgehalten werden, dass bei Vorliegen einer regulatorischen Unsicherheitssituation im engeren Sinn, Unternehmen lediglich die Möglichkeit bleibt direkt oder indirekt über die Organisation in Verbänden, als aktive Gestalter der Zukunft aufzutreten (*shape the future*).<sup>295</sup> Dieses steht in Korrespondenz mit den Anforderungen und Chancen einer Innovation die Kohlöffel (2000, S. 12) wie folgt pointiert:

[Unternehmen] „haben einerseits den Anforderungen eines ständigen Wandels durch Innovationen zu entsprechen und andererseits Wandel durch eigene Innovationen zu initiieren. In beiden Fällen haben sie die Chance, durch ein systematisches Erkennen, Ausnutzen und **Vorwegnehmen des Wandels** eine langfristig erfolgreiche Entwicklung ihrer Geschäfte zu sichern.“ (Kohlöffel 2000, S. 12, Hervorhebungen der Verfasserin)

---

<sup>295</sup> Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle die grundlegend zu empfehlende Strategie des Aufbaus von Fähigkeiten zur Flexibilität zu nennen, mit dem Ziel Unsicherheiten zu begegnen und gleichzeitig Chancen (z. B. Wettbewerbsvorteile) aus der Unsicherheit zu extrahieren (Marcus/Aragon-Correa/Pinkse 2011, S. 15). Diese strategische Option wird in der wissenschaftlichen Literatur unter dem Begriff der Resilienz diskutiert. Für eine Vertiefung wird exemplarisch auf Karidi/Schneider/Gutwald (2017) verwiesen.



## 5.2 Beitrag von Innovationskaskaden

Die Analyse der Disziplinen des strategischen Managements und des strategischen Innovationsmanagements auf ihren Beitrag zur Begegnung der mit dem systemischen Innovationsprozess der Energiewende einhergehenden Herausforderungen der Komplexität, Unsicherheit und Langfristigkeit zeigt, dass die Vorwegnahme des Wandels mit dem Ziel der langfristigen Sicherung des Unternehmens ein zentraler Bestandteil der Disziplinen ist. Dieses wird insbesondere in der bedeutenden Relevanz strategischer Geschäftsmodellinnovationen deutlich.

So besteht das Ziel des strategischen Managements in der Sicherung des langfristigen Erfolgs, welches über die Überführung von strategischen Erfolgspotenzialen in strategische Erfolgspositionen zu vollziehen ist. Die dafür wesentliche Vorwegnahme zukunftsgerichteter Entscheidungen in der Gegenwart, unter Berücksichtigung erwarteter Umweltveränderungen und die Schaffung der in der Gegenwart notwendigen Voraussetzungen zur Erreichung der Ziele in der Zukunft, ist die Aufgabe der (Strategie-)Entwicklung. Bezugnehmend auf die Gestaltung der Unternehmensentwicklung durch eine Erneuerung (Innovation), die als Quelle strategischer Erfolgspotenziale dient, wird in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur das Geschäftsmodell und seine Novellierung als ein zentrales Instrument betrachtet: Es ist das Bindeglied zwischen der Unternehmensstrategie und der Wertschöpfung, welches den ganzheitlichen Plan zum zukünftigen Vorgehen (Strategie) in einen wertorientierten Plan übersetzt, indem die Logik des Unternehmens abgebildet und der Weg zur Erreichung der Wettbewerbsvorteile in einer aggregierten und komplexitätsreduzierenden Form vor- bzw. nachgezeichnet wird.

Aus den Erkenntnissen des theoretischen Bezugsrahmens wird jedoch deutlich, dass es sich bei den Prozessen zur Entwicklung einer Strategie und einer (Geschäftsmodell-) Innovation sowie auch bei den Technologielebenszyklus-Modellen um in sich geschlossene Konzepte handelt. Sie sind auf eine einzige Innovations- bzw. Technologiestrategie bezogen, deren Planungshorizont trotz strategischer Ausrichtung auf rd. fünf bis zehn Jahre beschränkt ist und erlauben damit keine Hinweise auf außerordentlich langfristige Innovationsprozesse wie dem systemischen Innovationsprozess der Energiewende.<sup>296</sup>

Aufbauend auf den folgenden Annahmen:

1. Bei der Energiewende handelt es sich um einen komplexen Transformationsprozess der in der Lage ist Systeminnovationen auszulösen;
2. Branchen, die einer starken Transformation und einem zunehmenden Wettbewerb unterliegen, versuchen ihre wirtschaftliche Überlebensfähigkeit durch Geschäftsmodellinnovationen zu sichern;
3. Für einen nahezu vollständigen Systemwandel der sektorübergreifenden Dekarbonisierung sind interdisziplinäre Ansätze erforderlich, um Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen zu überführen;

kann festgestellt werden, dass die Konzepte der zur Begegnung der Unsicherheit zugrunde gelegten Disziplinen des strategischen Managements und des strategischen Innovationsmanagements – insbesondere bedingt durch die unterschiedlichen Zeithorizonte der

---

<sup>296</sup> Neben den in Kapitel 4.2 dargestellten *closed-innovation* Prozessen zur Innovationsentwicklung wurden auch modernere Ansätze (z. B. *open-innovation* Ansatz) betrachtet, die ebenfalls nicht den Herausforderungen der Energiewende bei der Überführung von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen genügen.

Energiewende und der Disziplinen – nicht genügen, um einen *creative response* der Unternehmen und damit eine Überführung von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen zu initiieren. Unter der Prämisse, dass die Energiewende von einer außerordentlichen Langfristigkeit gekennzeichnet ist, die sich in Verbindung mit fehlenden Erfahrungswerten und vor dem Hintergrund einer Unsicherheitssituation im engeren Sinn<sup>297</sup> vollzieht, wird angenommen, dass die Notwendigkeit besteht, die für den Systemwandel erforderlichen Innovationen in ihrem zukünftigen Entwicklungsprozess abzubilden. Zur Vorzeichnung einer langfristigen, unsichereren und komplexen Zukunft kann das Konzept der Innovationskaskaden herangezogen werden.

Die erstmalige Begriffsverwendung der Innovationskaskaden<sup>298</sup> im Kontext der deutschen Energiewende ist auf den Bericht der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ zum Berichtsjahr 2013 (Löschel et al. 2014) zurückzuführen, in dem es heißt:

„Besonders interessant sind Innovationskaskaden, d. h. mehrstufige Innovationsketten die sich dadurch auszeichnen, dass Weiterentwicklungen im Rahmen der Energiewende Innovationen außerhalb des Energiewendekontexts auslösen, welche ihrerseits zu weiteren Innovationen führen. Da in der Regel weder der Energiebezug von Innovationswirkungen noch die mögliche Auslösung weiterer Innovationsstufen offensichtlich ist, sind diese oftmals nur schwer zu identifizieren.“ (Löschel et al. 2014, S. 162).

Im englischsprachigen Raum hat der Begriff der »*innovation cascades*« hingegen etwas mehr Bedeutung. Der Ausdruck „*one new thing leads to another*“ (Lane et al. 2009, S. 35) verdeutlicht, dass Innovationen Kaskaden der Veränderung induzieren können (Lane 2016, S. 2). In Anlehnung an Lane et al. (2009, S. 38) kann die Initiierung und auch der Innovationsgrad von Innovationskaskaden sowohl evolutionärer (inkrementeller) als auch revolutionärer (radikaler) Natur sein, wobei erst die neuen Funktionalitätszuweisungen einer radikalen Innovationen positive Rückkopplungsdynamiken entfalten können (ebd.). Demzufolge ist in einem eng gefassten Begriffsverständnis eine Innovationskaskade als lange Reihe radikaler Innovationen in einem bestimmten technologischen Gebiet definiert (McKelvey/Niosi 2015, S. 545). Über die Bündelung und neue Verzweigung radikaler Innovationen entstehen Innovationskaskaden, die bestehende Technologiepfade und wissenschaftliche Paradigmen destruieren und neue kommerzielle Technologien und wissenschaftliche Disziplinen eröffnen können (ebd., S. 549). Wird der Wirkungskreis einer Innovationskaskade hingegen umfassender betrachtet, so kann eine Innovationskaskade nicht nur einen, sondern mehrere Bereiche des täglichen Lebens, des Handels und/oder der Industrie verändern (Leeuw/Lane/Read 2009, S. 110).

Berkers/Geels (2011, S. 244) gehen davon aus, dass Innovationskaskaden ein entscheidender Mechanismus bei der (Re-)Konfiguration von Transformationen sind. Die Einführung von Innovationen in ein bestehendes System führt sowohl zu Problemen als auch zu Chancen (ebd.). Letztere können eine fruchtbare Bedingung für die Entstehung von neuen Innovationen sein (ebd.). Auf der Systemebene kreiert dieser Mechanismus Innovations-

---

<sup>297</sup> D. h. es ist keine Schätzung von quantitativen und/oder qualitativen Wahrscheinlichkeiten möglich.

<sup>298</sup> Angemerkt wird, dass sich der Begriff der Innovationskaskade bis heute noch nicht im deutschsprachigen Raum etabliert hat, wie eine erneute im Juli 2017 durchgeführte Suchmaschinen Recherche zeigt: Google: 85 Treffer; DigiBib der Bergischen Universität Wuppertal (basiert auf dem kommerziellen Suchindex EDS-Index (EBSCO Discovery Service Index)): 0 Treffer.

kaskaden, die aufeinander aufbauen, und kann zur Erklärung von Barrieren und Transformationsübergängen herangezogen werden (ebd.).

**In dieser Arbeit wird der Begriff der Innovationskaskade wie folgt verstanden:**

Eine Innovationskaskade ist eine langfristige, von dynamischen Rückkopplungsschleifen geprägte Verkettung (radikaler) Innovationen. Die einzelnen Innovationen der Kette (Entwicklungsstufen der Innovationskaskade) sind im Sinn des Innovationsprozesses zwar jeweils in sich geschlossen, sind im Hinblick auf den Endpunkt der Innovationskaskade aber eine notwendige Voraussetzung. Die Technologieentwicklung und die gesammelten Lerneffekte der vorgelagerten Innovation(en) tragen zur Technologieentwicklung, dem Aufbau von Lerneffekten, der Erzielung von Skaleneffekten<sup>299</sup> und der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der nachgelagerten Innovation(en) bei.

In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass Innovationskaskaden insbesondere für die aus dem systemischen Innovationsprozess der Energiewende entfaltenden Systeminnovationen, die selbst mit einem hohen Maß an Komplexität, Unsicherheit und Langfristigkeit gekennzeichnet sind, als ein unterstützendes Konzept zur Transformation von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen herangezogen werden können.

Ausgangspunkt der Innovationskaskaden ist der systemische Innovationsprozess der Energiewende der Innovationen hervorruft. Dabei wird aus den theoretischen Überlegungen abgeleitet, dass die Transformation von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen entlang von Innovationskaskaden erfolgt und über einen *system-push* und einen *system-pull* stimuliert wird.

Wie aus den Untersuchungen der Prozessmodelle zur Entwicklung einer Strategie (Kapitel 3.2) und zur Entwicklung einer Innovation (Kapitel 4.2) hervorgeht, wird das Konzept der Innovationskaskaden nicht in der einschlägigen wirtschaftswissenschaftlichen Literatur verwendet. Neben der ganzheitlichen Betrachtung der mit der Transformation von Systeminnovationen zu strategischen Geschäftsmodellinnovationen einhergehenden Herausforderungen und Chancen, werden im Folgenden auf Grund dessen die Innovationskaskaden und die innovationsauslösenden und im Besonderen die systeminduzierten Stimuli in den beiden Fallstudien *Power-to-Gas* und *Algae-to-X* untersucht.

---

<sup>299</sup> „Skaleneffekte (*Economies of Scale*) beruhen darauf, dass die Herstellungskosten (Grenzkosten) und damit die Marktpreise mit wachsender Jahresproduktion sinken (...).“ (Erdmann/Zweifel 2010, S. 95, Hervorhebungen der Verfasserin)

# Teil C: Empirische Untersuchung ausgewählter Systeminnovationen

Abbildung 37: Struktur Teil C



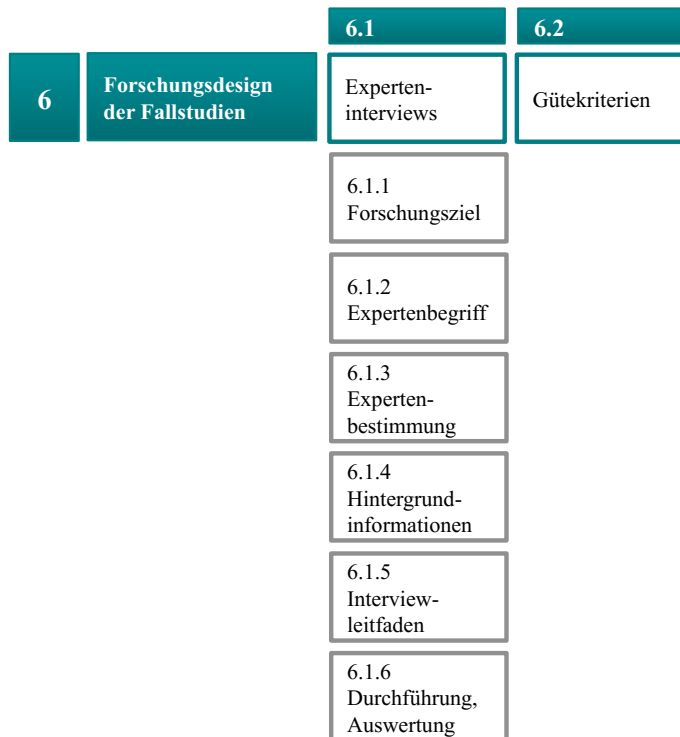
## Empirische Untersuchung ausgewählter Systeminnovationen

6	Forschungsdesign der Fallstudien	Experten-interviews	Gütekriterien						
7	Fallstudie: <i>Power-to-Gas</i>	Einführung	Technologien und Akteure im Wettbewerb	Transformation, Innovations-kaskaden	Chancen, Potenziale, Treiber	Unsicherheiten, Hemmnisse	Vision	Zwischenfazit ( <i>within case</i> )	
8	Fallstudie: <i>Algae-to-X</i>	Einführung	Technologien und Akteure im Wettbewerb	Transformation, Innovations-kaskaden	Chancen, Potenziale, Treiber	Unsicherheiten, Hemmnisse	Vision	Zwischenfazit ( <i>within case</i> )	
9	Zwischenfazit ( <i>cross case</i> )								

Quelle: Eigene Darstellung.

## 6 Forschungsdesign der Fallstudien

Abbildung 38: Struktur Kapitel 6



Quelle: Eigene Darstellung.

## 6.1 Experteninterviews – Grundlagen und Methodik

Die methodische Grundlage dieser Fallstudienuntersuchungen sind qualitative Experteninterviews<sup>300</sup>, die im Rahmen der Daten-Triangulation<sup>301</sup> um eigene Analysen ergänzt werden. Kurz gefasst, handelt es sich bei der Methode der Experteninterviews um die Durchführung leitfadengestützter Einzelgespräche mit anschließender Zusammenfassung zentraler Aussagen, dessen Ziel in der Wissensbereitstellung liegt (Niederberger 2015, S. 40f., 43). Als eine qualitative Forschungsmethode dient der Vergleich durchgeführter Experteninterviews dem Zweck das „Überindividuell-Gemeinsame“ (Meuser/Nagel 1991, S. 452) z. B. in Form von „Aussagen über Repräsentatives, über gemeinsam geteilte Wissensbestände, Relevanzstrukturen, Wirklichkeitskonstruktionen, Interpretationen und Deutungsmuster“ (ebd.) herauszuarbeiten. Der Ablauf für die Vorbereitung, Datenerhebung und Datenauswertung der Experteninterviews richtet sich entlang eines Vorgehensmodells mit sieben Phasen, welches im Folgenden dargestellt wird. Gleichzeitig bildet das Vorgehensmodell die Binnenstruktur dieses Unterkapitels, wobei die Phasen sechs und sieben in einem gemeinsamen Unterkapitel betrachtet werden.

**Tabelle 17: Vorgehensmodell Experteninterview**

Phase	Vorgehensschritte
1	Definition Forschungsziel <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung der Untersuchungsfrage</li> <li>• Bestimmung erkenntnisleitender Funktion</li> <li>• Zuordnung zur Typologie der Experteninterviews</li> </ul>
2	Definition Expertenbegriff
3	Expertenbestimmung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung Expertenkreis</li> <li>• Festlegung Feldzugang</li> </ul>
4	Themen- und expertenspezifische Hintergrundinformationen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einarbeitung zum Forschungsthema</li> <li>• Ausarbeitung von expertenspezifischen Dossiers</li> </ul>
5	Interviewleitfaden <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erarbeitung des thematischen Interviews (Basis der Interviewdurchführung)</li> <li>• Pretest</li> </ul>
6	Durchführung Experteninterview(s) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitfadengestützte Gesprächsführung mit Fokus auf das Expertenwissen</li> <li>• Datensicherung per auditiver Aufzeichnung</li> </ul>
7	Datenauswertung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transkription der verbalen Daten</li> <li>• Thematische Zusammenfassung</li> <li>• Materialverdichtung und -auswertung</li> </ul>

Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Misoch (2015, S. 126).

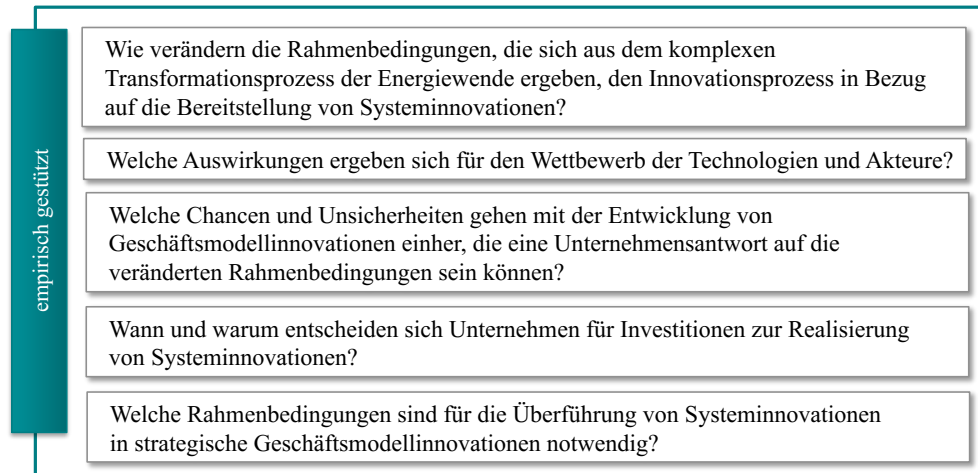
<sup>300</sup> Für eine kritische Reflexion der Experteninterviews aus methodischer Sicht wird z. B. im Hinblick auf die Begriffsdefinition »Experte«, die Probleme bei der Bestimmung der Experten, der selektiven Transkription und der Abgrenzung zu anderen Interviewformen qualitativer Forschung, exemplarisch auf Misoch (2015, S. 126-128) und Flick (2011, S. 214-219) verwiesen.

<sup>301</sup> Siehe zur Definition der Triangulation und im Speziellen der Daten-Triangulation Kapitel 6.1.6.

### 6.1.1 Definition Forschungsziel

Gemäß Gläser/Laudel (2010, S. 63) ist die grundlegende Basis von Experteninterviews die Untersuchungsfrage und im engeren Sinn die Forschungsfrage, welche die strategischen Überlegungen in ein empirisches Konzept überführt und die Erhebungs- und Auswertungsinstrumente definiert. Wie bereits in Kapitel 2.1 dargestellt, widmen sich diese Fallstudienuntersuchungen den folgenden Forschungsfragen.

Abbildung 39: Forschungsfragen der Fallstudienanalysen



Quelle: Eigene Darstellung.

Fokussiert werden bei der Fragestellung die Systeminnovationen *Power-to-Gas* und *Algae-to-X*, die auf Grund ihres innovativen Charakters und branchenübergreifenden Potenzials zur Transformation bestehender Systemstrukturen als Fallstudien für die Untersuchung gewählt wurden. Beide Systeminnovationen werden langfristig zur sektorübergreifenden Dekarbonisierung des Energiesystems beitragen, entfalten ihre Wirkungen auch in Geschäftsmodellen und Infrastrukturen anderer Branchen und verwenden CO<sub>2</sub> als Rohstoff.<sup>302</sup>

In der wissenschaftlichen Methodenliteratur können entlang der erkenntnisleitenden Funktionen drei Typen von Experteninterviews unterschieden werden (Bogner/Menz 2009, S. 63-67):

- explorativ,
- systematisierend,
- theoriegenerierend.

Das explorative Experteninterview ist auf die Informationsgewinnung und thematische Sondierung des Forschungsthemas fokussiert und zielt auf eine thematische Strukturierung und Hypothesenbildung ab (Bogner/Menz 2009, S. 64), (Bogner/Littig/Menz 2014, S. 23). „Auf Vergleichbarkeit, Vollständigkeit und Standardisierbarkeit der Daten wird dabei nicht abgestellt“ (Bogner/Menz 2009, S. 64), welches der zentrale Unterschied zum systematisierenden und zum theoriegenerierenden Experteninterview-Typ ist (ebd.). Im Vordergrund des explorativen Experteninterviews steht das Kontextwissen des Experten (ebd.). Dieses Wissen beinhaltet „Informationen über die Kontextbedingungen des Han-

<sup>302</sup> Siehe für eine ausführliche Begründung der Fallstudienauswahl Kapitel 2.2.

delns der Zielgruppe“ (Meuser/Nagel 1991, S. 445), wobei der Experte selbst nicht Teil der Zielgruppe, jedoch Repräsentant einer der Zielgruppen komplementären Handlungseinheit ist (ebd.). Beim Kontextwissen handelt es sich demzufolge um eine komplementäre Informationsquelle, die durch weitere Datenquellen anzureichern ist (ebd., S. 445f.). „Allgemein geht es bei diesem Untersuchungstyp darum, die von den ExpertInnen [sic!] ausgehenden ‘außerbetrieblichen Effekte’ und Normierungen als Kontextbedingungen zu bestimmen.“ (ebd., S. 446) „Explorative Interviews sollten möglichst offen geführt werden, doch empfiehlt es sich aus Gründen demonstrativer Kompetenz, zumindest zentrale Dimensionen des Gesprächsablaufs vorab in einem Leitfaden zu strukturieren“ (Bogner/Menz 2009, S. 64). Als eine geeignete Auswertungsmethode kann die Themenanalyse nach Froschauer/Lueger (2003, S. 158-165) herangezogen werden.<sup>303</sup>

Das systematisierende Experteninterview ist analog zum explorativen Experteninterview auf die Abschöpfung von exklusivem Kontextwissen der Experten ausgerichtet (Bogner/Menz 2009, S. 64). Das Ziel des systematisierenden Experteninterviews ist hingegen eine „systematische und lückenlose Informationsgewinnung (...) unter Zuhilfenahme eines relativ ausdifferenzierten Leitfadens“ (ebd., S. 65). Im Fokus steht dabei „die thematische Vergleichbarkeit der Daten“ (ebd.), welches den zentralen Unterschied zum explorativen Experteninterview darstellt (ebd.). Zum systematisierenden Typ der Experteninterviews zählen maßgeblich die Auswertungsmethoden der qualitativen Inhaltsanalyse nach Gläser/Laudel (2010) sowie die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2008).

Das theoriegenerierende Experteninterview zentralisiert das subjektive Expertenwissen<sup>304</sup> zur induktiven Theoriebildung anhand eines theoretischen Samplings und einer komparativen Analyse, um „über die interpretative Generalisierung einer Typologie“ (Bogner/Menz 2009, S. 66)<sup>305</sup> eine formalisierte Theorie zu entwickeln (ebd.). Zum theoriegenerierenden Typ des Experteninterviews zählen insbesondere die Erhebungs- und Auswertungsmethode der *grounded theory* nach Glaser/Strauss (2010) und die interpretative Auswertungsmethode für leitfadenorientierte Experteninterviews nach Meuser/Nagel (1991).

Die im Rahmen dieser Fallstudienanalyse durchgeführten Experteninterviews verfolgen eine pluralistische erkenntnisleitende Funktion: Sie sind explorative Interviews mit einem systematisierenden Charakter. Zum einen dienen die Interviews zur Abschöpfung des Kontextwissens der Experten,<sup>306</sup> um das Forschungsfeld aufzuspannen und einen konkreten forschungsleitenden Weiterentwicklungsbedarf zu identifizieren (exploratives Exper-

---

<sup>303</sup> Bogner/Littig/Menz (2014, S. 72) schlagen für informationsorientierte Experteninterviews explorativer und systematisierender Art die qualitative Inhaltsanalyse als ein geeignetes Auswertungsverfahren vor. Da Mayring (2000, S. 8) hingegen Grenzen in der Anwendung der qualitativen Inhaltsanalyse bei explorativen Experteninterviews sieht, wird die qualitative Inhaltsanalyse in dieser Arbeit nur für die Kategorie systematisierender Experteninterviews als ein geeignetes Auswertungsverfahren dargestellt.

<sup>304</sup> Im Vordergrund steht das Betriebswissen des Experten. Dabei „bilden ExpertInnen [sic!] die Zielgruppe der Untersuchung, und die Interviews sind darauf angelegt, daß [sic!] die ExpertInnen [sic!] Auskunft über ihr eigenes Handlungsfeld geben“ (Meuser/Nagel 1991, S. 445).

<sup>305</sup> Siehe zur typologischen Analyse auch Misoch (2015, S. 126).

<sup>306</sup> Einschränkend anzumerken ist, dass das objektive Sonderwissen von Experten als Kontextwissen nicht vollständig vom subjektiven Wissen abgekoppelt werden kann – „es fließt daher auch immer eine subjektive, die Realität verzerrende Wahrnehmung des Experten ein“ (Wassermann 2015, S. 54). Dieses führt zu der Empfehlung, „auch wenn ‘nur’ Kontextwissen erhoben werden soll und es ausschließlich um eine explorative oder ergänzende Systematisierung des Feldes geht, mehrere Experten zu befragen“ (ebd., S. 55). Dieser Empfehlung wird in den Fallstudienuntersuchungen nachgekommen.



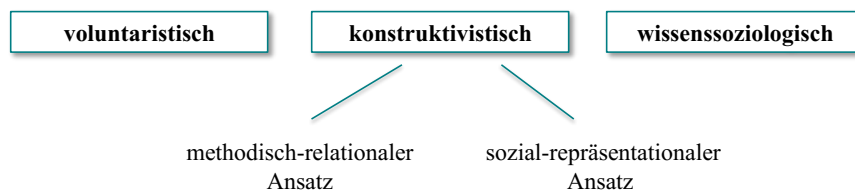
teninterview). Der Vorteil qualitativer Interviews ist die Offenheit<sup>307</sup>, die zulässt unbekannte Sachverhalte aufzudecken und einen tiefen Informationsgehalt zu ermitteln (Flick 2011, S. 124f.).

Zum anderen wird durch die Verwendung eines semi-strukturierten Leitfadens bei der Durchführung der Experteninterviews eine Grundlage für eine thematische Vergleichbarkeit der Daten geschaffen, die es ermöglicht, das Kontextwissen der Experten zusammenzufassen, zu verdichten und zu vergleichen (systematisierendes Experteninterview) sowie im Rahmen des multimethodischen Ansatzes der Triangulation aus weiteren Perspektiven zu beleuchten.<sup>308</sup> Experteninterviews eignen sich überdies in Verbindung mit dem multimethodischen Ansatz der Triangulation „im Vorfeld zur Instrumentenentwicklung“ (Flick 2011, S. 218).

### 6.1.2 Definition Expertenbegriff

In der wissenschaftlichen Literatur wird der Expertenbegriff<sup>309</sup> in trilateraler Hinsicht diskutiert, wie die nachfolgende Abbildung visualisiert.

Abbildung 40: Expertenbegriff – drei Definitionsperspektiven



Quelle: Eigene Darstellung.

Der voluntaristische Expertenbegriff geht davon aus, dass jeder Mensch über spezielles Wissen (Informationen, Fähigkeiten etc.) verfügt (Bogner/Menz 2009, S. 67f.). Die konstruktivistische Definition charakterisiert sich über die „Mechanismen der Zuschreibung der Expertenrolle“ (ebd., S. 68). Gemäß des methodisch-relationalen Ansatzes der konstruktivistischen Definition wird die Rolle des Experten vom Forscher zugewiesen, da er davon ausgeht, dass dieser über ein objektives Fachwissen zu einem bestimmten Thema verfügt, so dass der Experte ein Konstrukt des Forscherinteresses ist (Bogner/Menz 2009, S. 68), (Meuser/Nagel 2009a, S. 37). Der Forscher ist bei der Wahl des Experten nicht unbefangen, bezieht er sich doch auf die Personen

„die sich zum einschlägigen Thema in der Fachliteratur einen Namen gemacht haben, die in entsprechenden Verbänden und Organisationen arbeiten und mit prestigeträchtigen Positionen und Titeln dekoriert sind, weil damit eine gewisse Gewähr verbunden ist, dass es diese Experten sind, die ‘wirklich’ einen forschungsrelevanten Wissensbestand aufweisen“ (Meuser/Nagel 2009a, S. 37).

<sup>307</sup> „Das Prinzip der Offenheit besagt, daß [sic!] die theoretische Strukturierung des Forschungsgegenstandes zurückgestellt wird, bis sich die Strukturierung des Forschungsgegenstandes durch die Forschungssubjekte herausgebildet hat.“ (Hoffmann-Riem 1980, S. 343) Für eine Vertiefung zum „Prinzip der Offenheit“ wird exemplarisch auf Helfferich (2011, S. 114-117) verwiesen.

<sup>308</sup> Das systematisierende Experteninterview zählt mittlerweile zu einem zentralen Erhebungsinstrument der Triangulation (Bogner/Menz 2009, S. 65).

<sup>309</sup> An dieser Stelle ist erneut hervorzuheben, dass zum Zweck der besseren Lesbarkeit auf eine geschlechtsspezifische Schreibweise in dieser Forschungsarbeit verzichtet wird. Die hier gewählte männliche Form »Experte« bzw. »Experten« nimmt immer zugleich Bezug auf weibliche und männliche Personen.

Dabei zählt ein für das Forschungsthema interessanter Experte nicht unbedingt zur obersten, repräsentativen Hierarchieebene einer Organisation, zweifelslos können auch Experten auf niedrigeren Ebenen identifiziert werden (Froschauer/Lueger 2009, S. 250-256), (Bogner/Menz 2009, S. 68).

Gemäß dem sozial-repräsentationalen Ansatz der konstruktivistischen Definition ist derjenige Experte, der von der Gesellschaft im Sinn der „sozialen Realität“ (Bogner/Menz 2009, S. 68) zum Experten auserkoren wird, welches jedoch die Gefahr des Elitedenkens mit sich bringt (ebd.). Herauszustellen ist an dieser Stelle, dass die Definition und Auswahl des Experten „in der Forschungspraxis immer über das spezifische Forschungsinteresse und die soziale Repräsentativität des Experten zugleich“ (ebd., S. 69) erfolgt.

Gemäß der wissenssoziologischen Fokussierung hat sich der Expertenbegriff im Zuge des Wandels der Wissensproduktion in den letzten Jahrzehnten dahingehend verändert, dass ein Experte heute über seine professionelle Funktion (Berufsrolle)<sup>310</sup> hinaus durch ihm auferlegte Relevanzen bestimmt wird (Meuser/Nagel 2009a, S. 43), (Bogner/Menz 2009, S. 69f.). Das durch die Berufsrolle erworbene Wissen wird „als ein Sonderwissen bestimmt, das dem Experten klar und deutlich präsent ist“ (Meuser/Nagel 2009a, S. 49). Diese Explizitheit bezieht sich dagegen nicht auf das gesamte Expertenwissen: „Das Handeln von Experten ist ebenfalls von Relevanzen geprägt, die dem Experten nicht oder nur teilweise reflexiv verfügbar sind (...), auch Expertenwissen umfasst vorthoretisches Erfahrungswissen.“ (ebd., S. 50)<sup>311</sup>

Ein Experte wird in dieser Arbeit in Anlehnung an Meuser/Nagel (1991, S. 444) als ein Repräsentant einer Organisationseinheit (z. B. Forschungsinstitution, NGO, Unternehmen) verstanden, der einen Beitrag zum spezifischen Forschungsthema leisten kann.<sup>312</sup> Dieser Beitrag kann sich durch einen „privilegierten Zugang zu Informationen über Personengruppen oder Entscheidungsprozesse“ (ebd., S. 443) oder durch die „Verantwortung (...) für den Entwurf, die Implementierung oder die Kontrolle einer Problemlösung“ (ebd.) begründen.

---

<sup>310</sup> Das Expertenwissen als Sonderwissen kann gemäß dem „Kriterium der aktiven Partizipation“ (Meuser/Nagel 2009a, S. 44) auch durch andere Funktionen als der Berufsrolle, wie z. B. durch eine ehrenamtliche Tätigkeit erworben werden (ebd.). In diesem Fall wird nicht von einem an eine Berufsrolle gekoppeltes Sonderwissen, sondern von einem Sonderwissen gesprochen, dass „an einen spezifischen Funktionskontext gebunden“ (Meuser/Nagel 2009b, S. 468) ist.

<sup>311</sup> Bogner/Menz (2009, S. 71) unterscheiden das Expertenwissen mit abnehmendem Gehalt des Fachwissens in die drei Klassen technisches Wissen, Prozesswissen und Deutungswissen. Für eine vertiefende Darstellung wird auf die Autoren verwiesen.

<sup>312</sup> Vgl. für weitere Definitionen zum Begriff des Experten exemplarisch Gläser/Lauder (2010, S. 11-15), Bogner/Menz (2009, S. 73f.) und Deeke (1995, S. 7-12).

### 6.1.3 Expertenbestimmung

Ausgangspunkt für die Identifikation der für diese Untersuchung fachlich interessanten Interviewpartner war eine Internetrecherche, bei der zentrale Institutionen, Forschungsprojekte sowie Pilot- und Demonstrationsanlagen in den beiden Fallstudien recherchiert und daraus abgeleitet eine Liste möglicher Experten extrahiert wurde. Gemäß dem Leitgedanken, dass bei der Auswahl der zu Interviewenden die Relevanz für das Thema statt die (statistische) Repräsentativität<sup>313</sup> leitend ist (Flick 2011, S. 124) und gemäß der konstruktivistischen Definition nach Bogner/Menz (2009, S. 68), entspricht das verwendete Auswahlverfahren einer bewussten Auswahl, welches für das *sampling*<sup>314</sup> von Experteninterviews geeignet ist (Schnell/Hill/Esser 2005, S. 298).

Die Kontaktaufnahme der potenziellen Interviewpartner erfolgte per E-Mail. Dem Anschreiben lag ein Briefing bei, welches Rahmeninformationen<sup>315</sup>, eine kurze Beschreibung des Dissertationsvorhabens und einen semi-strukturierten Interviewleitfaden<sup>316</sup> enthielt. Von 13 angefragten Gesprächspartnern haben zehn einem Interview zugestimmt. Die Rücklaufquote beträgt damit 77 %. Zur Erhöhung der Rücklaufquote erfolgte bei Bedarf eine telefonische Nachfassung. Insgesamt wurden zehn Experteninterviews im Zeitraum zwischen Dezember 2013 und April 2014 geführt. Die Tabelle 18 zeigt die einzelnen Gesprächspartner, Institutionen und die Zuordnung zu den Fallstudien.

Die Differenz zwischen den angefragten und tatsächlich durchgeführten Experteninterviews ist durch zwei von zwölf Ausfallursachen nach Schnell/Hill/Esser (2005, S. 307) begründet: Bei einem Unternehmen der Energiewirtschaft und einem Unternehmen der Chemieindustrie erfolgte keine Resonanz, trotz mehrfacher Versuche der schriftlichen sowie telefonischen Kontaktaufnahme (Ausfallursache „Nichterreichbarkeit der Zielperson“ (ebd.)). Ein Mitarbeiter eines Unternehmens der Gaswirtschaft ließ per E-Mail mitteilen: „Grundsätzlich ist es (...) besser, Windenergie in Form von H<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub> im Erdgasnetz zu speichern, als es zu '0' oder negativen Preisen wegzugeben und danach wieder teuer einzukaufen“. Darüber hinaus gebe es keine Stellungnahme (Ausfallursache „Verweigerung der Zielperson“ (ebd.)).

---

<sup>313</sup> Bei der qualitativen Forschung steht nicht die statistische Repräsentativität wie bei der quantitativen Forschung im Mittelpunkt, sondern eine inhaltliche Repräsentativität (Misoch 2015, S. 2). „Inhaltliche Repräsentativität bedeutet die inhaltliche Entsprechung und Adäquanz der untersuchten Elemente“ (ebd., S. 188), welches mit dem Ziel qualitativer Forschung der inhaltlich verdichteten Darlegung und dessen Verständnis konform ist (ebd.).

<sup>314</sup> Vgl. für einen Überblick verschiedener Verfahren der Stichprobenziehung (*sampling*) exemplarisch Diekmann (2016, S. 373-431), Misoch (2015, S. 189-198), Flick (2011) und Schnell/Hill/Esser (2005, S. 265-317).

<sup>315</sup> Die Rahmeninformationen gaben Aufschluss über den Zweck und die voraussichtliche Dauer des Interviews. Zudem wurde die Art der Datensicherung erklärt, die aus einer auditiven Aufzeichnung und der Transkription der Audioaufnahme bestand. Abschließend wurden die Nutzungsrechte und die Vertraulichkeitsvereinbarung besprochen, die an dem Tag des Interviews per Unterschrift zu bestätigen waren.

<sup>316</sup> Der semi-strukturierte Leitfaden differenziert sich in Abhängigkeit der Fallstudien nur punktuell in der Benennung der konkreten Fallstudie und wird daher für die beiden Systeminnovationen zusammengefasst in Anhang A.4 Gesprächsleitfaden Experteninterviews dargestellt.

Die nachfolgende Tabelle listet die durchgeführten Experteninterviews auf. Zweck dieser Übersicht ist deutlich darzustellen, dass es sich bei der Auswahl der Experten auch tatsächlich um die richtigen Experten und damit auch um das richtige Kontextwissen handelt.<sup>317</sup> Die Überblickstabelle ist zu Gunsten einer alphabetischen Reihenfolge der Interviewpartner angeordnet, die in keinem Zusammenhang mit der Nummerierung der Experteninterviews steht. Um direkte Bezüge zwischen den codierten Interviewaussagen und den einzelnen Interviewpartnern herzustellen, gibt die Tabelle ferner keine Expertenzuordnung zu den einzelnen Fallstudien wieder. Anzumerken sei an dieser Stelle, dass pro Fallstudie vier spezifische Interviews geführt wurden und zwei Interviews jeweils beide Fallstudien adressierten, gleichwohl im Gesprächsverlauf auch hier eine der beiden Fallstudien stets überwog.

**Tabelle 18: Interviewpartner**

Name	Position	Institution	Interviewort
Thomas Brauer	Projektleiter Innovationsmanagement	E.ON Hanse AG	Hamburg
Prof. Dr. rer. nat. Rainer Buchholz	Leiter Lehrstuhl für Bioverfahrenstechnik <sup>318</sup>	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	Erlangen
Marcel Keiffenheim <sup>319</sup>	Leiter Energiepolitik	Greenpeace Energy eG	Hamburg
Dr. rer. nat. habil. Martin Kerner	Geschäftsführer	SSC Strategic Science Consultant GmbH	Hamburg
Dr.-Ing. Hartmut Krause	Geschäftsführer	DBI Gas- und Umweltechnik GmbH	Freiberg
Prof. Dr.-Ing. Clemens Posten	Leiter Bereich Bioverfahrenstechnik	Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	Karlsruhe
Dr. Michael Specht	Leiter ZSW-Fachgebiet Regenerative Energieträger und Verfahren	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)	Stuttgart
Maria Spittel	Referentin	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)	Gülsow- Prützen
Prof. Dr. Michael Sterner	Professor für Energiespeicher, Leiter der Forschungsstelle für Energienetze und Energie- speicher (FENS)	Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg (OTH)	Wuppertal, Regensburg (via Skype)
Georg Unger	Leiter Themengebiet Energieforschung	Cluster EnergieForschung.NRW	Wuppertal

Quelle: Eigene Darstellung.

Die für die Interviews gewählten Experten setzen sich aus einer ausgewogenen Bandbreite der Bereiche Privatwirtschaft, Wissenschaft und öffentlicher Institutionen zusammen, welches auch die teilweise heterogenen Expertenmeinungen im Rahmen der Diskurse reflektiert.

<sup>317</sup> Einschränkung anzumerken ist, dass der damit verbundene Umkehrschluss nicht bedeutet, andere Experten würden nicht auch über ein interessantes Kontextwissen verfügen. Aufgrund des Charakters eines Tiefeninterviews, welchen den durchgeführten Experteninterviews zugesprochen werden kann, verbunden mit einer sich tendenziell einstellenden inhaltlichen Sättigung zum Ende der Erhebungsphase, wurden keine weiteren Experteninterviews durchgeführt.

<sup>318</sup> Emeritiert seit 2016.

<sup>319</sup> Dieses Experteninterview wurde durch Kerstin Weimann (Referentin Unternehmensentwicklung, Greenpeace Energy eG) unterstützt.

#### 6.1.4 Themen- und expertenspezifische Hintergrundinformationen

Für die zu interviewenden Experten wurde jeweils ein ausführliches Dossier erstellt, welches Hintergrundinformationen zur Person, Institution, dem Fachgebiet sowie zu relevanten Projekten und Publikationen beinhaltet. Die Dossiers dienen dabei mehreren Zwecken: Erstens unterstützen sie die abschließende Verifizierung, ob es sich tatsächlich um den richtigen Ansprechpartner handelt. Zweitens wurde durch die Anfertigung der Dossiers ein solides Vorwissen über die potenziellen Gesprächspartner generiert, welches zur inhaltlichen Vorbereitung der Interviews und schließlich auch bei der Gesprächsführung hilfreich war. Drittens ermöglichten die bei der Dossier-Anfertigung recherchierten Dokumente (Publikationen, Studien, Vorträge, Pressemitteilungen etc.) gezielte Rück- und Nachfragen während des Interviews. Begründet wird dieses eigens formalisierte Vorgehen durch die Empfehlung Trinczek's (2009, S. 235), der Interviewende solle selbst einen Expertenstatus inne haben:

„Je mehr man im Verlauf des Interviews in der Lage ist, immer wieder kompetente Einschätzungen, Gründe und Gegenargumente einfließen zu lassen, umso eher sind (...) [die Experten] bereit, nun ihrerseits ihr Wissen und ihre Position auf den Tisch zu legen“ (ebd.).

Analog konstatieren Meuser/Nagel (2009a, S. 52) dieses für die Erarbeitung des Leitfadens:

„Die Arbeit, die in die Entwicklung des Leitfadens investiert wird, verschafft dem Interviewer die thematische Kompetenz, die ein ertragsreiches Interview ermöglicht. (...) Es ist wichtig sich vorab über Regelungen, Bestimmungen und Gesetzesgrundlagen zu informieren“ (ebd.).

#### 6.1.5 Interviewleitfaden

Bei den Experteninterviews handelt es sich um semi-strukturierte Interviews. Als strukturgebende Gesprächsgrundlage wurde ein Interviewleitfaden entwickelt, der die inhaltlichen Eckpfeiler und den Fokus der Befragung begründet. Der Leitfaden gliedert sich in die sechs Fragenkomplexe:

- A. Status quo;
- B. Veränderungen;
- C. Chancen, Potenziale, Treiber;
- D. Hemmnisse, Risiken, Unsicherheiten;
- E. Herausforderungen, Visionen;
- F. Soziodemografische Fragen.

Bei dem Fragenkomplex A handelt es sich um Einstiegsfragen, die dem Zweck dienen, die Experten in das Gespräch einzuführen, ihr Interesse zu wecken und einen Gesprächseinstieg zu finden. Die Fragenkomplexe B bis D stellen den Hauptteil der Untersuchung dar. Der Fragenkomplex E ist visionär angelegt und soll als Abschluss des Interviews einen Ausblick in die Zukunft ermöglichen. Der Fragenkomplex F ist formaler Natur und wurde auf Grund umfassender Recherchen bei der Dossier-Erstellung zum größten Teil bereits im Vorfeld der Interviews beantwortet und mit den Experten kurz abgestimmt, z. B. durch den Austausch von Visitenkarten. Die Grobstruktur des Interviewleitfadens entspricht damit den Gliederungsanforderungen nach Hron (1994, S. 124).

Insgesamt umfasst der Interviewleitfaden 34 inhaltliche Leitfragen (Fragenkomplexe A bis E) und vier Fragen zu dem soziodemografischen Hintergrund des Experten (Fragenkomplex F). Zudem sind individuelle Nachfragen und spezifische Fragestellungen in Abhängigkeit der Gesprächsentwicklung in das Interview eingeflossen. Die Vielzahl formulierter Fragen hat den Zweck, ein möglichst umfassendes Bild über den Interviewkontext zu skizzieren, welche die sechs Fragenkomplexe aus verschiedenen Perspektiven beleuchten. Schnell/Hill/Esser (2005, S. 322) merken an, dass eine individuelle, auf den Gesprächsverlauf bezogene Abfolge der Fragestellungen bei semi-strukturierten Interviews sinnvoll ist. Der Vorschlag, „den gesamten vorgegebenen Fragenkatalog innerhalb der Befragung ‘abzuarbeiten’“ (ebd.), wird in dieser Arbeit hingegen abgelehnt.<sup>320</sup> Da viele Fragen und Aspekte erfahrungsgemäß<sup>321</sup> bereits während des Gesprächs implizit beantwortet werden, ist es nicht zwingend notwendig, jede Frage im Einzelnen zu stellen. Die Struktur und Vielzahl der Interviewleitfragen dient daher nicht dem Zweck, möglichst alle Fragen in einer sukzessiven Abfolge abzuarbeiten.<sup>322</sup> Im Gegenteil, dieses Vorgehen würde einen fließenden, angenehmen Gesprächsverlauf beeinträchtigen und dem explorativen Charakter der Interviews nicht gerecht werden. Vielmehr ist der Leitgedanke der Experteninterviews ein offenes Gespräch explorativer Art zu führen, in welchem es vermehrt um das Generieren von Hintergrundinformationen geht. Aus dem Design der Fallstudienuntersuchungen folgt, dass die Experteninterviews individuelle Gesprächsverläufe angenommen haben und nicht nach einem gleichen Muster verlaufen sind.<sup>323</sup>

Zur Optimierung des Leitfadens wurde bei der Leitfadenentwicklung ein zweistufiger Pretest durchgeführt: In einer ersten Stufe fand eine informelle Kommentierung und Bewertung seitens der Kolleginnen und Kollegen des Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH statt. In einer zweiten Stufe erfolgte ein Feld-Pretest im Rahmen des ersten Experteninterviews. Bis auf redaktionelle Anpassungen bestand keine Notwendigkeit der grundlegenden Überarbeitung des Interviewleitfadens.

---

<sup>320</sup> Meuser/Nagel (2009a, S. 52) konstatieren „die Notwendigkeit eines thematischen Leitfadens und seiner flexiblen Handhabung“, um eine offene Interviewsituation zu schaffen, damit der Experte mehr Informationen als nur die offiziell zugänglichen, preisgibt. „Entscheidend für das Gelingen des Experteninterviews ist (...) eine flexible, unbürokratische Handhabung des Leitfadens, die diesen nicht im Sinn eines standardisierten Ablaufschemas, sondern eines thematischen Tableaus verwendet. Die Relevanzstrukturen der Befragten sollen zur Geltung kommen, nicht die eigenen.“ (ebd., S. 54) Eine analoge Argumentation ist auch z. B. bei Misoch (2015, S. 124) und Meuser/Nagel (2011, S. 58) zu finden.

<sup>321</sup> Basierend auf eigenen Erfahrungen bei der Durchführung semi-strukturierter Experteninterviews im Rahmen meiner Diplomarbeit „Die Strategie der Unternehmensentwicklung am Beispiel ausgewählter Unternehmen der Energiewirtschaft“ (Schostok 2010, unveröffentlicht); sowie in Anlehnung an die Handlungsanweisung von Dresing/Pehl (2015, S. 14).

<sup>322</sup> Gleichwohl wurde in Anlehnung an Schnell/Hill/Esser (2005, S. 322) darauf geachtet, die vorbereiteten Fragenformulierungen zu benutzen, alle Themenkomplexe anzusprechen und Antworten auf alle Fragen zu erhalten (sei es direkt oder indirekt).

<sup>323</sup> Dieses wird den Anforderungen der empirischen Sozialforschung gerecht, da bei qualitativen Interviews der validen Operationalisierung der Interviewfragen keine starke Bedeutung beigemessen wird (Kromrey 2009, S. 182ff.).

### 6.1.6 Durchführung Experteninterviews und Datenauswertung

Acht der zehn Interviews wurden persönlich in den Räumlichkeiten der Experten geführt. Ein Interview wurde persönlich in den Räumlichkeiten des Wuppertal Instituts und ein Interview per Skype geführt. Die Datensicherung der Gespräche erfolgte per Audioaufnahme. Alle Interviews wurden im Nachgang, unter Verwendung der Transkriptionssoftware f4 (Windows) und f5 (Mac) transkribiert.<sup>324</sup> Die Transkription erfolgte in Anlehnung an die Regeln eines einfachen Transkriptionssystems<sup>325</sup> nach Dresing/Pehl (2015, S. 21-23) und Kuckartz et al. (2008, S. 27f.):

- Wörtliche, vollständige Transkription<sup>326</sup>;
- Annäherung an die Schriftsprache: Sprachliche Glättung von Dialekt, Umgangssprache, Stottern, syntaktischen Fehlern, Interpunktion, Wort- und Satzabbrüchen<sup>327</sup>;
- Erfassung von Wortdoppelungen, sofern sie ein Stilmittel zur Betonung sind;
- Kennzeichnung von Pausen, Unterbrechungen sowie unverständlichen Textpassagen<sup>328</sup>;
- Zeitmarke am Ende jeden Absatzes.

Die Wahl des einfachen Regelsystems zur Transkription ist durch die Zielsetzung der Interviews begründet:

„Da es bei ExpertInneninterviews [sic!] um gemeinsam geteiltes Wissen geht, (...) [sind] aufwendige Notationssysteme (...) überflüssig. Pausen, Stimmlagen sowie sonstige nonverbale und parasprachliche Elemente werden nicht zum Gegenstand der Interpretation gemacht“ (Meuser/Nagel 1991, S. 455).

Im Zentrum der Transkription steht hingegen die Generierung eines gut lesbaren Fließtextes, welcher einen unmittelbaren Zugang zu den Gesprächsinhalten ermöglicht (Dresing/Pehl 2015, S. 18f.).<sup>329</sup>

---

<sup>324</sup> „Transkription bezeichnet im Wesentlichen die Verschriftlichung audiovisuell aufgezeichneter Daten.“ (Knoblauch 2011, S. 159)

<sup>325</sup> Im Gegensatz zu dem Regelsystem der einfachen Transkription wird das Transkript bei der Verwendung eines komplexen Regelsystems um die Verschriftlichung non- und paraverbalen Merkmale wie z. B. Mimik, Husten, Sprechlage sowie der Prosodie (Akzente, Pausen, Tempo, Intonation etc.) erweitert (Dresing/Pehl 2015, S. 18). Für eine Vertiefung zu komplexen Transkriptionsregeln wird auf Dresing/Pehl (2015, S. 26-28) und Dittmar (2009) verwiesen.

<sup>326</sup> Das Vorgehen der „Wort-für-Wort-Verschriftlichung“ entspricht den Grundsätzen eines (einfachen) wissenschaftlichen Transkripts (Fuß/Karbach 2014, S. 18, 61). Die Alternative einer selektiven oder zusammenfassenden Transkription von Experteninterviews wird in der wissenschaftlichen Literatur im Dissens diskutiert: Gemäß Misoch (2015, S. 124) und Wassermann (2015, S. 61f.) ist dieses wegen der thematischen Fokussierung der Interviews eine zweckmäßige Option. Für Gläser/Laudel (2010, S. 193) ist eine selektive oder zusammenfassende Transkription hingegen „eine methodisch nicht kontrollierbare Reduktion von Informationen“ und folglich abzulehnen. Bei den Transkripten, die dieser Fallstudienuntersuchungen zugrunde liegen, handelt es sich um vollständige und wörtliche Abbildungen der Experteninterviews. Ein thematisch unspezifischer Austausch im Vorhinein und im Nachgang der Interviewdurchführung ist hingegen nicht Teil der Transkripte.

<sup>327</sup> „Sprachglättung meint im Rahmen der Transkription vollzogene Annäherung der gesprochenen Sprache an die Schriftsprache.“ (Fuß/Karbach 2014, S. 39) Eine sprachliche Glättung ist bei Themenanalysen sinnvoll, da Unterschiede in der verwendeten Sprache wie z. B. Dialektausdrücke und Redepausen nicht zu analysieren sind (Froschauer/Lueger 2003, S. 159).

<sup>328</sup> Vgl. zudem Gläser/Laudel (2010, S. 194).

<sup>329</sup> Einschränkend ist anzumerken, dass es sich bei den fertigen Transkripten um Tertiärdaten handelt, die von selektiven Konstruktionen gekennzeichnet sind. Sie sind eine Verschriftlichung der Audioaufzeichnungen (Sekundärdaten), die ein Abbild der originalen Gesprächssituationen (Primärdaten) sind. (Fuß/Karbach 2014, S. 25), (Kowal/O’Connell 2008, S. 440)

Die auf der Grundlage der Audioaufnahmen (16 Stunden und 47 Minuten) erstellten Transkripte umfassen insgesamt 253 Seiten. Die Experteninterviews wurden gemäß Gläser/Laudel (2010, S. 201) mit Seitenzahlen versehen. Die Formatierung des Transkriptes erfolgte in Anlehnung an Fuß/Karbach (2014, S. 72-76): Ein Absatz pro Sprechbeitrag, Leerzeile zwischen den Absätzen, Schriftgröße 11pt, proportionale Schriftart (Arial), Zeilenabstand 1,15, Kopf- und Fußzeile. Jedes Transkript verfügt über einen einheitlichen Transkriptionskopf in Anlehnung an Fuß/Karbach (2014, S. 122) bestehend aus: Ort und Datum des Interviews; Dauer der Audiodatei; Name, Position und Institution des Experten; Name der Interviewerin.

Die Struktur ermöglicht einzelne direkte und indirekte Expertenzitate nach folgendem Schema einheitlich zu zitieren: EIV Nummer, Seitenzahl. Die Abkürzung EIV steht für Experteninterview, die Nummer besteht aus einer frei gewählten Buchstaben-Zahlen Kombination. Direkte Zitate werden gemäß der gängigen wissenschaftlichen Zitierweise zu Beginn und zum Schluss der wörtlich übernommenen Textpassagen mit Anführungszeichen gekennzeichnet. Bedingt durch die Zusicherung der Vertraulichkeit zu den wörtlichen Aussagen gegenüber den Interviewpartnern, werden die Transkripte der Dissertation nicht angehängt. Alle Transkripte werden zur Einsichtnahme vorgehalten.

Im Gegensatz zu Einzelfallstudien „orientiert sich die Auswertung von ExpertInneninterviews [sic!] an thematischen Einheiten, an inhaltlich zusammengehörigen, über die Texte verstreuten Passagen“ (Meuser/Nagel 1991, S. 453). Daraus abgeleitet sind Experteninterviews von Beginn an „im Kontext ihrer institutionell-organisatorischen Handlungsbedingungen verortet, sie erhalten von hierher ihre Bedeutung und nicht von daher, an welcher Stelle des Interviews sie fallen“ (ebd.). Die Vergleichbarkeit mehrerer Experteninterviews kann zum einen über den gemeinsamen „institutionell-organisatorische Kontext“ (ebd.) und zum anderen durch eine Interviewleitfaden-gestützte Gesprächsführung sichergestellt werden (ebd.).

Die Experteninterviews dieser Fallstudienuntersuchungen werden in Anlehnung an die Themenanalyse nach Froschauer/Lueger (2003) ausgewertet. Der Anwendungsbereich der Themenanalyse ist die „Analyse der Spezifika einer Themendarstellung und des Zusammenhangs verschiedener Themen“ (ebd., S. 111). Die Themenanalyse besteht aus einem Textreduktionsverfahren, welches durch ein Codierverfahren ergänzt wird (ebd., S. 162f.). Diese Art der Interpretation ist besonders für explorative Experteninterviews geeignet, bei denen der manifeste Inhalt im Vordergrund steht (ebd., S. 109). Mit Hilfe der Themenanalyse können Expertengespräche trotz größerer Textmengen zusammengefasst und systematisch analysiert werden (ebd., S. 111). Das Ziel der Auswertung ist die Reduktion und Verdichtung des Datenmaterials und dessen Systematisierung (ebd., S. 158). Hingegen besteht das vordergründige Ziel dieser Auswertung nicht in der Entwicklung einer Hypothese, Typologisierung oder Theorie, so dass sich andere Auswertungsverfahren<sup>330</sup> nur bedingt eignen. Dieses konstatiert auch Mayring (2000, S. 8): Sowohl die induktive als auch die deduktive Verfahrensweise der qualitativen Inhaltsanalyse stößt bei offenen und explorativen Fragestellungen an Grenzen. Auf Grund des

---

<sup>330</sup> Andere Auswertungsmethoden der qualitativen Forschung sind z. B. die Globalauswertung nach Legewie (1994), die qualitative Inhaltsanalyse nach Gläser/Laudel (2010), die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2008), die interpretative Auswertungsstrategie nach Meuser/Nagel (1991), die *grounded theory* nach Glaser/Strauss (2010), sowie die Feinstrukturanalyse und die Systemanalyse nach Froschauer/Lueger (2003). Für einen Überblick und eine Diskussion zentraler Auswertungsmethoden wird exemplarisch auf Mayring/Fenzel (2014, S. 544f.), Flick (2011, S. 384-419) und Bähring et al. (2008, S. 103-107) verwiesen.

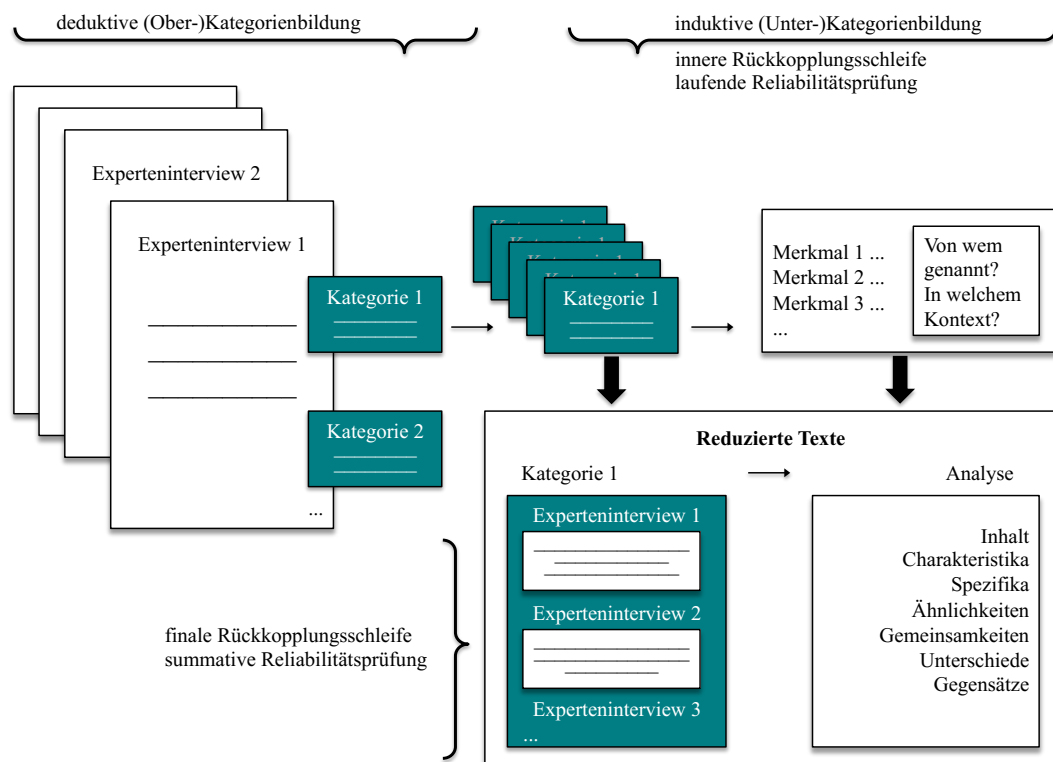


explorativen Charakters der in dieser Arbeit durchgeführten Experteninterviews, erfolgt die Auswertung daher wie dargelegt anhand der Grundlogik der Themenanalyse (Textreduktionsverfahren) nach Froschauer/Lueger (2003), bei gleichzeitiger Anlehnung an die von Mayring (2008) vorgeschlagene Verfahrensweise zur Kategorienbildung<sup>331</sup> (Codierverfahren). Das zentrale methodologische Prinzip der Auswertung wird der qualitativen Inhaltsanalyse nach Gläser/Laudel (2010, S. 204) entliehen, welches besagt, dass ein systematisches Vorgehen zwingend erforderlich ist, welches das gesamte Datenmaterial gleich behandelt:

„Alle Texte werden gelesen, es wird für jeden Absatz entschieden, ob er relevante Informationen enthält, diese werden Auswertungskategorien zugeordnet und extrahiert. (...) Relevante, aber nicht ‘ins Bild passende’ Informationen auszuschließen ist jeweils ein bewusster Verstoß“. (ebd.)

Das Prinzip und die Vorgehensweise des Textreduktionsverfahrens nach Froschauer/Lueger (2003) wird nachfolgend, erweitert um die Schnittstellen zum Codierverfahren, als Ablaufschema dargestellt.

**Abbildung 41: Textreduktions- und Codierverfahren**



Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Froschauer/Lueger (2003, S. 162).

<sup>331</sup> Anzumerken ist, dass das Vorgehen zur Kategorienbildung wegen der Grenzen der Anwendbarkeit bei explorativen Experteninterviews im Detailierungsgrad abweicht und hier nur einen Ausschnitt der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2000, 2008) darstellt.

In einem ersten Bearbeitungsschritt des Textreduktionsverfahrens erfolgt ein separates *screening* der einzelnen Transkripte im Hinblick auf die relevanten Kategorien (Froschauer/Lueger 2003, S. 160). In diesem Bearbeitungsschritt werden im Weiteren alle die zu einer Oberkategorie gehörenden Textpassagen zusammengeführt und eins zu eins untereinander abgebildet (ebd.). Dabei findet noch keine Zusammenfassung oder Interpretation statt, so dass es sich weiterhin um originale Auszüge der Transkripte handelt. Bei der Kategorienbildung werden in einem ersten Schritt die für die Fragestellung wesentlichen Textpassagen der Transkripte den fünf zu untersuchenden Fragenkomplexen (A-E) des Interviewleitfadens zugeordnet. Dieser Schritt wird als Bildung deduktiver Oberkategorien verstanden (Mayring/Fenzl 2014, S. 552).

In einem zweiten Bearbeitungsschritt des Textreduktionsverfahrens wird eine sinnvolle Binnenstruktur der Textpassagen innerhalb der Kategorien hergestellt (Lamnek 2005, S. 207), (Mühlfeld et al. 1981, S. 336f.). Im Verlauf dieses Bearbeitungsschrittes werden aus den inhaltlichen Antworten abgeleitet, weitere Unterkategorien gebildet. Dieser Schritt kann als induktive Kategorienentwicklung bezeichnet werden (Mayring/Fenzl 2014, S. 552). Zur Mitte und zum Ende der Kategorisierungsphase erfolgen Rückkopplungsschleifen und eine damit einhergehende Reliabilitätsprüfung der Kategorien (Mayring 2000, S. 4). Hierbei werden die Kategorien noch einmal auf ihre Eignung zur Strukturierung und die Antworten auf ihre Eingruppierung hin geprüft – mit dem Ergebnis, dass einige Kategorien neu zu strukturieren und zusammenzufassen sind.<sup>332</sup> Die nachfolgende Tabelle zeigt die einzelnen Kategorien in Abhängigkeit der drei Entwicklungsstufen: deduktiv, induktiv und im Anschluss an die summative Reliabilitätsprüfung (finale Kategorien).

**Tabelle 19: Kategorien-Evolution der Codierung**

<b>Deduktiv gebildete Kategorien</b>	<b>Induktiv gebildete Kategorien</b>	<b>Finale Kategorien</b>
Status quo	Status quo: Anlagen und Akteure im Wettbewerb	Technologien und Akteure im Wettbewerb
Veränderungen	Veränderung und Innovation	Transformation und Innovationskaskade
Chancen, Potenziale, Treiber	Chancen, Potenziale, Treiber	Chancen, Potenziale, Treiber
Hemmnisse, Risiken, Unsicherheiten	Hemmnisse, Unsicherheiten	Unsicherheiten, Hemmnisse
Herausforderungen, Visionen	Herausforderungen, Visionen	Vision

Quelle: Eigene Darstellung.

In einem dritten, abschließenden Bearbeitungsschritt des Textreduktionsverfahrens erfolgt die eigentliche Textreduktion sowie eine komparative Themenanalyse (Froschauer/Lueger 2003, S. 161). Innerhalb der einzelnen Kategorien werden die Textpassagen inhaltlich zusammengefasst und verdichtet, wobei Gemeinsamkeiten herausgearbeitet und Unterschiede, insbesondere gegensätzliche Aussagen, differenziert dargestellt werden (ebd., S. 161f.).<sup>333</sup> Das Ergebnis des auf einem Codierverfahren begründeten Textreduktionsverfahrens ist ein verdichteter Text pro Kategorie, der die zentralen Charakteristika

<sup>332</sup> Dieses Vorgehen entspricht der Überarbeitung der Kategorien mit Hilfe von Rückkopplungsschleifen, der formativen und summativen Reliabilitätsprüfung gemäß den Stufen sechs bis acht des Phasenmodells zur qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2000, S. 4).

<sup>333</sup> Dieses entspricht der qualitativen Analyse der Kategorien, welches die abschließende Materialauswertung und damit die neunte und letzte Stufe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2000, S. 4) darstellt. Vgl. auch Mayring/Fenzl (2014, S. 550).

und Spezifika wiedergibt und sofern sinnvoll, Verweise zu und Verknüpfungen mit anderen Kategorien aufzeigt (ebd.).

Im Zuge der Darstellung der Fallstudienresultate in den einzelnen (Unter-)Kategorien werden die Resultate der Experteninterviews gemäß dem multimethodischen Ansatz der Daten-Triangulation (Flick 2008, S. 13f.), (Denzin 1989, S. 13, 237) direkt im Zusammenspiel mit weiteren relevanten Datenquellen wie z. B. wissenschaftlichen Studien und Publikationen, politischen und branchenspezifischen Veröffentlichungen, Gesetzestexten und Stellungnahmen, Presseartikeln sowie quantitativen Sekundärdaten ergänzt, fachlich diskutiert und um eigene Analysen ergänzt. Die Anreicherung mit externen Informationen und die damit verbundene Diskussion der Experteninterviewresultate ist eine Form der Triangulation<sup>334</sup>.

„Triangulation heißt allgemein, dass der Ansatz der Forschung (ein Forschender untersucht den Gegenstand ausgehend von einer Theorie mit einer Methode und einer Datenform) erweitert wird und ein Gegenstand mit mehreren Methoden oder von mehreren Forschenden untersucht wird.“ (Flick 2014, S. 418)

Die Triangulation eröffnet die Chance, das zu untersuchte Themenfeld aus verschiedenen Blickwinkeln zu beleuchten. Die in dieser Arbeit verwendete Daten-Triangulation hat gegenüber der eindimensionalen Betrachtung den Vorteil, dass durch die Verwendung verschiedener Datenquellen und die Verknüpfung mit einem möglichst konstanten Theoriedach, ein größerer Erkenntniszuwachs generiert werden kann. (Flick 2014, S. 418), (Flick 2008, S. 12)

Die Resultate der Materialauswertung der Experteninterviews in Verbindung mit der Daten-Triangulation bilden die Resultate der Fallstudienuntersuchungen, die in Kapitel 7 zur Fallstudie *Power-to-Gas* und in Kapitel 8 zur Fallstudie *Algae-to-X* präsentiert werden, wobei einleitend eine inhaltliche Beschreibung der einzelnen Fallstudien vorausgesetzt wird. Die Grundstruktur der Ergebnispräsentation folgt dabei der Reihenfolge der finalen Kategorien der Tabelle 19, die aus den fünf inhaltlichen Fragenkomplexen des Interviewleitfadens über das Codiervorgehen abgeleitet wurden. In Anlehnung an Eisenhardt (1989, S. 533) schließen beide Fallstudien jeweils mit einem separaten Zwischenfazit (*within-case* Analyse), bevor in Kapitel 9 ein Fallstudien übergreifendes Resümee gezogen wird (*cross-case* Analyse).

---

<sup>334</sup> Für eine ausführliche Darstellung der Triangulationsformen (Daten-Triangulation, Theorien-Triangulation, Investigator-Triangulation, methodologische Triangulation) wird exemplarisch auf Flick (2014, S. 418f.) und Flick (2008, S. 13-19) verwiesen.

## 6.2 Gütekriterien

Qualitative Forschungsmethoden sind durch ihre Abhängigkeit zum Gegenstand und ihre Nähe zum spezifischen Kontext gekennzeichnet, welches eine synonyme Verwendung der Gütekriterien quantitativer Forschungsmethoden (Objektivität, Reliabilität und Validität)<sup>335</sup> zur Qualitätssicherung nicht zulässt (Flick 2014, S. 412), (Bähring et al. 2008, S. 91). Vielmehr bedarf es modifizierter Gütekriterien (Bähring et al. 2008, S. 91), gleichwohl im Gegensatz zu den Gütekriterien quantitativer Forschungsmethoden kein einheitliches Set von Gütekriterien für qualitative Forschungsmethoden existiert (Flick 2014, S. 422), (Flick 2011, S. 489), (Bogner/Littig/Menz 2014, S. 92). Ausgehend von den Gütekriterien der quantitativen Forschung, konnten die folgenden vier zentralen Gütekriterien für empirische Untersuchungen der qualitativen Forschungsmethoden abgeleitet werden: Konstrukt-Validität, prozedurale Validität, prozedurale Reliabilität und Objektivität.

Durch die Anwendung der Triangulation wird das Gütekriterium der Konstrukt-Validität (Aussagegültigkeit) qualitativer Forschung im Rahmen der Fallstudienuntersuchungen erfüllt (Jakobs 2000, S. 53), (Denzin 1989, S. 26).<sup>336</sup>

Um die prozedurale Validität zu erfüllen, muss das Forschungskonzept und der Forschungsprozess transparent dargestellt und die Weitergabe aller notwendigen Informationen und Daten sichergestellt werden, so dass Dritte die Ergebnisse nachvollziehen können (Hornecker 2010, S. 24). Dem Prozess der Transkription kommt dabei auf Grund des Beitrags zur Qualitätssicherung eine besondere Bedeutung zu: Im Hinblick auf die Transparenz und „[i]ntersubjektive Nachvollziehbarkeit“ (Steinke 2008, S. 324) besteht die Forderung, das Management der qualitativen Daten und den Transkriptionsvorgang in den Untersuchungsbericht zu inkludieren (Misoch 2015, S. 251f.), (Steinke 2008, S. 324). Mit dem in Kapitel 6.1 ausführlich beschriebenen Vorgehen zur Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Experteninterviews wurden die einzelnen Phasen des Forschungsprozesses (inkl. Transkriptionsvorgang) transparent dargelegt.

Das Gütekriterium der prozeduralen Reliabilität soll ähnlich wie die prozedurale Validität die Möglichkeit der Prüfung und Re-Interpretation der Daten durch Dritte sicherstellen (Hornecker 2010, S. 23). Im Gegensatz zur prozeduralen Validität geht es bei der prozeduralen Reliabilität aber nicht um die prozessbedingte Aussagegültigkeit, sondern im Speziellen um die prozessbedingte Genauigkeit bzw. Verlässlichkeit der Aussage (Steinke 2008, S. 320). Durch die Dokumentation der Experteninterviews per Audioaufzeichnung und anschließender Transkription des Audiomaterials wird mit dieser standardisierten Vorgehensweise den Qualitätsanforderungen der prozeduralen Reliabilität entsprochen.

---

<sup>335</sup> Für eine Vertiefung der Gütekriterien quantitativer Forschung wird exemplarisch auf Krebs/Menold (2014) und Schnell/Hill/Esser (2005, S. 149-166) verwiesen. Für eine vergleichende Gegenüberstellung qualitativer und quantitativer Forschungsmethoden wird exemplarisch auf Misoch (2015, S. 1-5) und Flick (2011, S. 39-55) verwiesen.

<sup>336</sup> Ferner ermöglicht die Triangulation den Abgleich mit aktuellen Entwicklungen und damit die Prüfung der Aktualität der Interviewaussagen, welches bedingt durch die zeitlich weiter vorne im Dissertationsprozess angesiedelte Erhebung der Experteninterviews teilweise notwendig sein könnte.

In der quantitativen Forschung wird unter dem Gütekriterium der Objektivität eine Subjekt-unabhängige Realität verstanden, die durch eine Standardisierung des Untersuchungsverfahrens bei der Durchführung, Auswertung und Interpretation der Daten gewährleistet werden soll (Steinke 1999, S. 132-134). In der quantitativen Forschung besteht das Ziel folglich in der Eliminierung des Interviewereffektes (Misoch 2015, S. 200). In einer qualitativen Untersuchungssituation, wie z. B. einem Experteninterview, ist die Beziehung zwischen Interviewendem und Interviewtem allerdings ein besonderer Bestandteil (Steinke 1999, S. 139f.), welches den Interviewereffekt sogar verstärkt (Misoch 2015, S. 200). Interviewereffekte entstehen bei qualitativen Interviews während des gesamten Forschungsprozesses (ebd., S. 201). Die Ausgangslage des Forschers im Hinblick auf seine Wissensbasis und etwaige Vorurteile „beeinflussen das Studiendesign und den gesamten Prozess der Datenerhebung und -auswertung“ (ebd.). Weiter beeinflusst die Wahl der Forschungsfrage, des Forschungsdesigns und die zugrunde gelegten Theorien den erkenntnistheoretischen Prozess (ebd.), sowie die Wahl der Experten. In der Phase der Datenerhebung ist eine intensive Beziehung zwischen den Interviewpartnern von Vorteil, „um dadurch eine möglichst gute Interviewatmosphäre herzustellen, sodass tiefe, aussagekräftige und authentische Daten erhoben werden können“ (ebd., S. 200).

Der Interviewende agiert im Interview nicht als Neutrum, „[v]ielmehr nimmt er darin bestimmte Rollen und Positionen ein oder bekommt diese (teils ersatzweise und/oder unfreiwillig) zugewiesen“ (Flick 2011, S. 143). Der Interviewende kann z. B. die Rolle(n) des Co-Experten, des Experten einer anderen Wissenskultur, des Laien, des überlegenden Fachexperten (Autorität), des potenziellen Kritikers und/oder des Komplizen einnehmen (Bogner/Menz 2009, S. 77-89). Dabei können vom Interviewenden verschiedene Rollen sequenziell oder in Kombination innerhalb eines Interviews angenommen werden (ebd., S. 90). Sie können vom Interviewenden als strategisches Mittel der Gesprächsführung genutzt werden, werden aber auch in Abhängigkeit der „Rollenerwartung und Kompetenzzuschreibung“ (ebd.) vom Interviewten verliehen.<sup>337</sup> Dieses hat einen entscheidenden Einfluss auf die Datenqualität (Misoch 2015, S. 201). Durch die Einbettung des Interviews in eine soziale Situation, welches hohe Anforderungen an die kommunikativen und sozialen Fähigkeiten (*soft skills*) des Interviewenden stellt, wird der Interviewende selbst zum zentralen Erhebungs- und Erkenntnisinstrument (Misoch 2015, S. 200), (Flick 2011, S. 143). Der Erkenntnisgewinn ist auf der Seite des Interviewers abhängig von seinen Eigenschaften als Beobachter und seiner Fähigkeit zu erkennen und sorgfältig zu beschreiben (Steinke 1999, S. 140, 142). Dieses spiegelt sich in der Phase der Datenauswertung wider: Bei der qualitativen Inhaltsanalyse der Transkripte legt der Forscher sowohl die Relevanz einzelner Textpassagen (Voll- vs. Teiltranskription) als auch die Codierung fest (Misoch 2015, S. 202).

„Das Ziel qualitativer Datenerhebung kann somit nicht im Vermeiden von Interviewereffekten<sup>338</sup> liegen, sondern in einem adäquaten, reflektierten und kontrollierten Umgang mit der Rolle der Subjektivität und des Einflusses des Interviewenden innerhalb des qualitativen Forschungsprozesses.“ (ebd., S. 200)

---

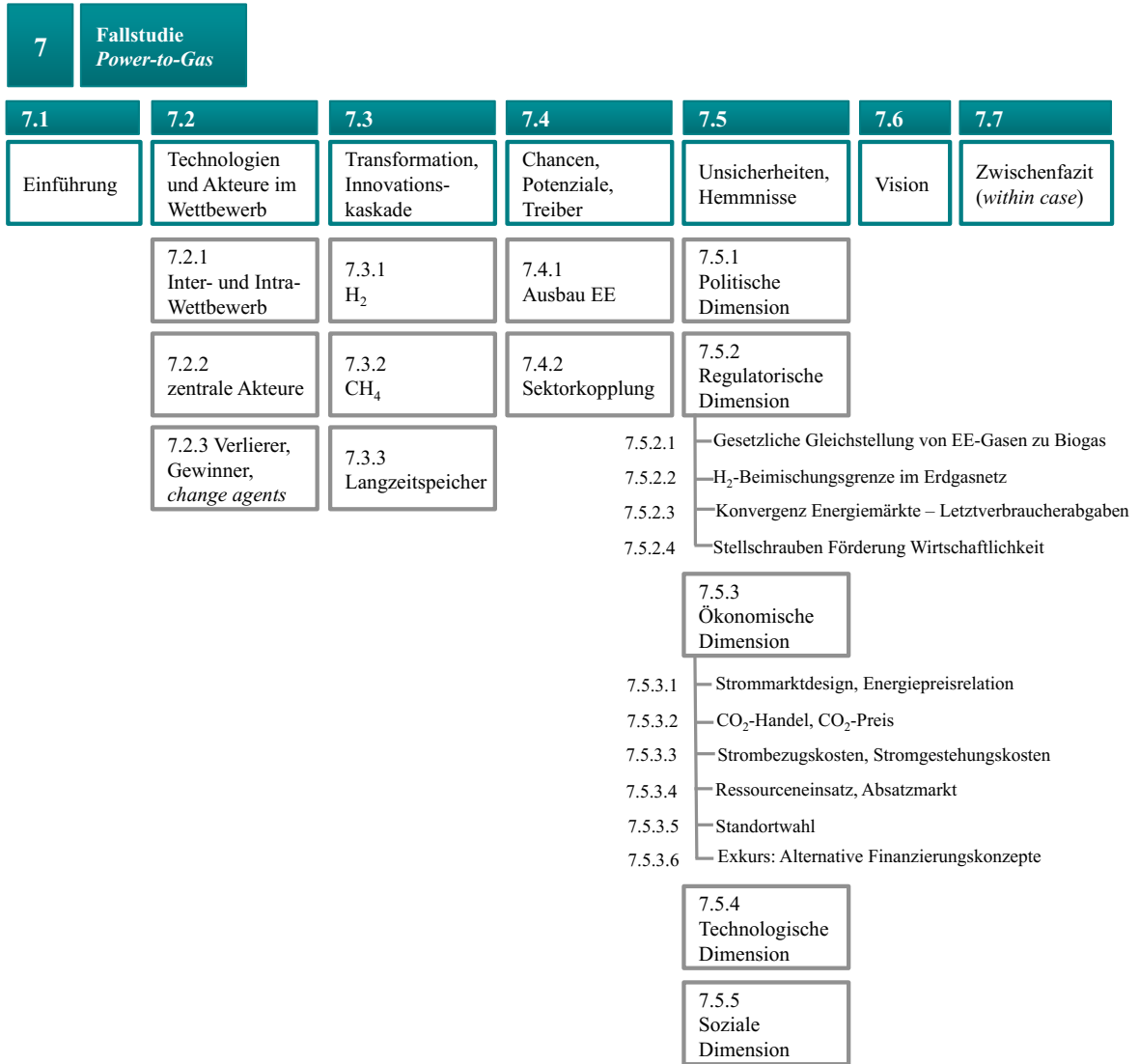
<sup>337</sup> Dieses hängt von verschiedenen Kriterien wie z. B. Alter, Geschlecht, Hautfarbe, Stimme, Qualifikationsstatus und Auftreten des Interviewenden ab (Misoch 2015, S. 201), (Bogner/Menz 2009, S. 90-92). Diese Kriterien tragen zur „wechselseitigen Wahrnehmung der Beteiligten“ (Meuser/Nagel 2009a, S. 54) bei und beeinflussen die „Dynamik der Interviewsituation (...) im Experteninterview“ (ebd.).

<sup>338</sup> Für eine Vertiefung zu Interviewereffekten in der qualitativen Forschung wird exemplarisch auf Misoch (2015, S. 199-213) verwiesen.

In der qualitativen Forschung wird unter dem Gütekriterium der Objektivität umfassend die Unabhängigkeit von subjektiven Einflüssen seitens des Interviewers verstanden, d. h. der „[i]ntersubjektiven Nachvollziehbarkeit“ (Steinke 2008, S. 324) der Untersuchungsergebnisse kommt eine besondere Bedeutung zu (Steinke 1999, S. 143). Durch die Offenlegung und Begründung der Auswertungsschritte wird eine Transparenz und Nachvollziehbarkeit für Dritte geschaffen, so dass in der empirischen Fallstudienuntersuchung dem Objektivitätsanspruch qualitativer Forschung, trotz des Vorliegens (unvermeidbarer) Interviewereffekte, zumindest bedingt entsprochen werden kann.

## 7 Fallstudie *Power-to-Gas*

Abbildung 42: Struktur Kapitel 7



Quelle: Eigene Darstellung.

## 7.1 Einführung

*Power-to-Gas* (P2G)<sup>339</sup> bezeichnet die Umwandlung von Strom z. B. aus fluktuierenden erneuerbaren Energieüberschüssen (Windkraft und Photovoltaik) in einen Energieträger mit gasförmigem Aggregatzustand (Wasserstoff (H<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>)) (Antoni/Kostka 2012, S. 100).

„Regenerativer Strom spaltet Wasser über eine Elektrolyse in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff. Der Wasserstoff kann entweder direkt genutzt und bis zu einem begrenzten Anteil ins Erdgasnetz eingespeist werden oder er wird mit CO<sub>2</sub> über die Methanisierung zu Methangas – einem Erdgassubstitut konvergiert.“ (Sterner et al. 2011, S. 5)

Über P2G wird die elektrische Energie in einen chemischen Energieträger umgewandelt, der als Transport- und Speichermedium genutzt werden kann (Deutscher Bundestag 2012, S. 1), (Fraunhofer UMSICHT/Fraunhofer IWES 2014, S. 125f.). Zudem kann der gasförmige chemische Energieträger zeitlich und räumlich von der Stromproduktion entkoppelt und wieder in mechanische und elektrische Energie, flüssige Energieträger oder Wärme umgewandelt werden (Deutscher Bundestag 2012, S. 1). In diesem Sinn kann P2G ein Transport-, Speicher-, und Anwendungsmedium<sup>340</sup> sein.

*Power-to-X* (P2X) steht mit seinen vielseitigen und sektorübergreifenden Anwendungsmöglichkeiten im Zentrum zwischen den Energiesektoren Strom, Gas und Wärme sowie zahlreicher Nutzungspfade in der Mobilität und Industrie. Der zentrale Ressourcenmarkt zum Bezug (fluktuierender) erneuerbarer Energien ist der Strommarkt, wohingegen die Absatzmärkte analog zu den Nutzungspfaden vielfältig sind. In der erweiterten Stufe der Methanisierung wird der Ressourcenmarkt um die CO<sub>2</sub>-Bezugsquelle erweitert, während die Absatzmärkte weiterhin vielschichtig bleiben. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Prozesskette und bettet P2G in das Gesamtsystem P2X ein.

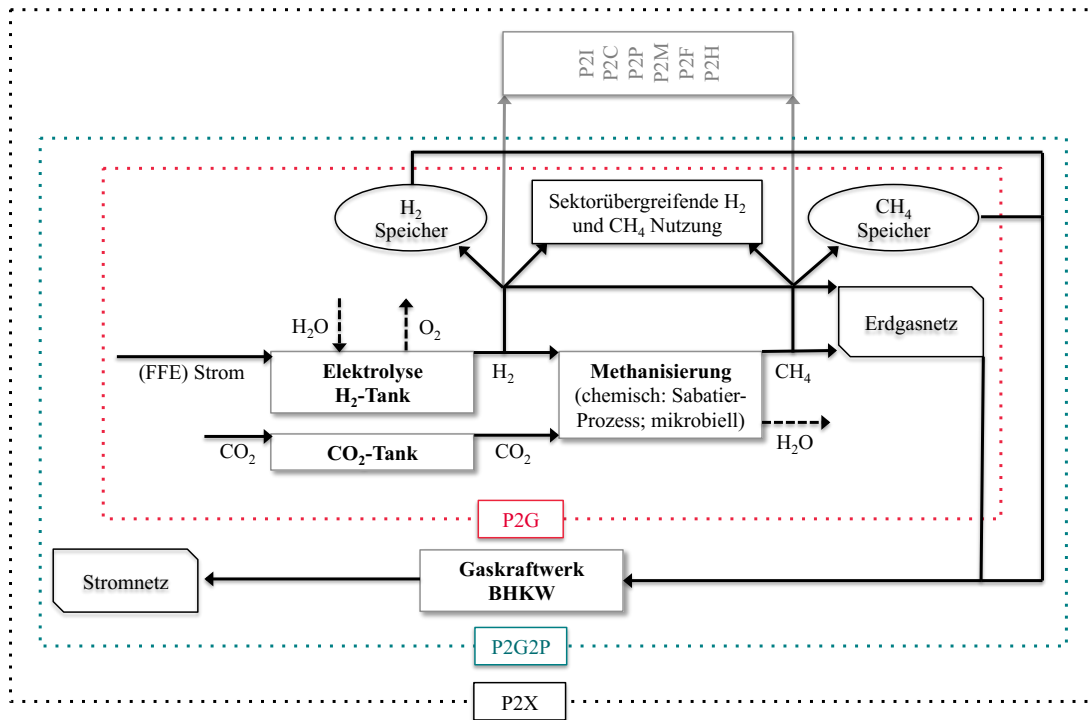
---

<sup>339</sup> In Anlehnung an EIV 3P (S. 1) und Fraunhofer UMSICHT/Fraunhofer IWES (2014, S. 207) kann festgehalten werden, dass die Begriffe Windgas, Solargas, EGas (elektrisches Gas), EE-Gas(e) (erneuerbaren Energien Gas(e)), Speichergas(e) und *Power-to-Gas* (P2G), sowie die Begriffe regenerativer Wasserstoff (H<sub>2</sub>), synthetisches Methan (CH<sub>4</sub>) teilweise synonym verwendet werden. In dieser Arbeit werden maßgeblich die Begriffe regenerativer Wasserstoff (H<sub>2</sub>), synthetisches Methan (CH<sub>4</sub>) und erneuerbaren Energien-Gas(e) (EE-Gas(e)) und ihre jeweiligen Abkürzungen sowie der Begriff des technologischen Herstellungsverfahrens *Power-to-Gas* (P2G) verwendet. Für den Mobilitätssektor kann auch der Begriff Stromkraftstoffe (*Power-Fuels*, *OceanFuels*) verwendet werden (EIV 3P, S. 8).

<sup>340</sup> Der Begriff des Anwendungsmediums ist dem Kontext der Pigmente entliehen, bei dem das Anwendungsmedium das Suspensionsmittel, d. h. den Stoff definiert, in dem die Pigmente eingearbeitet werden (z. B. Kunststoff, Öl, Beschichtungsmittel).



Abbildung 43: P2G-Konzept



Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Sterner (2009, S. 106), Stürmer et al. (2009, S. 1).

Die Herstellung von regenerativem Wasserstoff (H<sub>2</sub>) erfolgt auf der Ressourcenbasis von Strom (Sekundärenergie), der zur Entfaltung eines Systemnutzens auf fluktuierenden erneuerbaren Energien (FEE) Wind und Sonne basiert.<sup>341</sup> Zur Herstellung von regenerativem H<sub>2</sub> wird das Verfahren der Wasserelektrolyse<sup>342</sup> angewendet (Sterner/Stadler 2014, S. 301). Hierzu können drei zentrale elektrolytische Verfahren eingesetzt werden: Alkalische Elektrolyse, *Proton Exchange Membrane* Elektrolyse (PEM-Elektrolyse) und Hochtemperatur-Elektrolyse (HTES, SOEC) (ebd., S. 303). Für den regenerativen H<sub>2</sub> ergeben sich folgende Nutzungspfade: Direkte Nutzung als Endprodukt (z. B. in der Chemieindustrie oder im Mobilitätsbereich), Einspeisung in das Erdgasnetz, H<sub>2</sub>-Speicherung (Kavernenspeicher) sowie die Weiterverarbeitung zu H<sub>2</sub>-basierten Produkten (z. B. Ammoniak (Sterner 2016a, S. 35)) und die Weiterverarbeitung zu synthetischem Methan (CH<sub>4</sub>). Bei der Wasserstoffelektrolyse entsteht als Nebenprodukt Sauerstoff (O<sub>2</sub>), welches grundsätzlich wirtschaftlich genutzt werden kann (Deutscher Bundestag 2012, S. 1).

Der regenerative H<sub>2</sub> wird unter Zugabe von CO<sub>2</sub> über ein Methanisierungsverfahren zu synthetischem Methan (CH<sub>4</sub>) weiterverarbeitet. Für die CO<sub>2</sub>-Zufuhr kommen theoretisch vier Quellen in Frage, wie die nachfolgende Tabelle darlegt.

<sup>341</sup> Der Vollständigkeit halber wird angemerkt, dass der Strom auch aus anderen erneuerbaren Energien (z. B. Bioenergie) und auch auf Basis fossiler Energie (z. B. Braun- und Steinkohle) eingespeist werden kann.

<sup>342</sup> „Elektrolyse bedeutet die Zersetzung eines festen, flüssigen oder schmelzflüssigen Ionenleiters (Elektrolyt) durch den elektrischen Strom.“ (Kurzweil/Dietmeier 2015, S. 370)

**Tabelle 20: Theoretische CO<sub>2</sub>-Quellen**

CO <sub>2</sub> -Quelle	Beispielverfahren
Atmosphärisches CO <sub>2</sub>	Abscheidung aus der Luft über Elektrodialyse oder Adsorption
Biogenes CO <sub>2</sub>	Abscheidung aus Biogas
Fossiles CO <sub>2</sub>	Abscheidung aus Rauchgasen von z. B. Kraftwerken, Zement- und Stahlproduktion
CO <sub>2</sub> -Recycling	Verbrennung von klimaneutralem Gas (Biogas, Windgas) in Gaskraftwerken und anschließender Abscheidung aus dem Rauchgas und Wiederverwendung des CO <sub>2</sub> für die Energiespeicherung

Quelle: Eigene Darstellung nach Sterner/Stadler (2014, S. 336).

Die Methanisierung erfolgt über ein chemisches oder ein biologisches Verfahren (Sterner/Stadler 2014, S. 336). Das chemische Methanisierungsverfahren basiert auf dem Sabatier-Prozess (ebd., S. 336f.), das biologische (mikrobielle) Methanisierungsverfahren basiert hingegen auf der Nutzung von Methanbakterien (Archaea), die zur Gattung der Euryarchaeota gehören (Krautwald/Baier 2016, S. 19). Bei der Methanisierung wird als Nebenprodukt Wasser und Prozesswärme erzeugt (Deutscher Bundestag 2012, S. 1).

Für das synthetische CH<sub>4</sub> kommen grundsätzlich folgende Nutzungspfade in Frage: Direkte Nutzung als Endprodukt (z. B. im Mobilitäts- und Wärmebereich), Einspeisung in das Erdgasnetz, CH<sub>4</sub>-Speicherung (Poren- und Kavernenspeicher) sowie die Weiterverarbeitung zu CH<sub>4</sub>-basierten Produkten (z. B. Ameisensäure) und die Weiterverarbeitung zu weiteren Bioenergieträgern (z. B. synthetischem Methanol (DBFZ 2010, S. 5)). Erfolgt eine Rückverstromung der erneuerbaren Energien-Gase (EE-Gase) H<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub>, wird dieses Verfahren *Power-to-Gas-to-Power* (P2G2P) genannt.

Insbesondere bei hohen Anteilen (fluktuierender) erneuerbarer Energien im Strom-Mix „kommt es immer häufiger zu Phasen, in denen der erzeugte Strom nicht direkt von den Verbrauchern genutzt werden kann, über ‘power-to-x’ aber einer sinnvollen Weiternutzung zugeführt werden kann“ (Wuppertal Institut 2015e, S. 8). Neben dem „Ausgleich der Fluktuationen“ (ebd.) kann P2X einen Beitrag zur Kopplung der Sektoren leisten<sup>343</sup>:

„Sektorkopplung [ist] die energietechnische und energiewirtschaftliche Verknüpfung von Strom, Wärme, Mobilität und industriellen Prozessen sowie deren Infrastrukturen mit dem Ziel einer Dekarbonisierung bei gleichzeitiger Flexibilisierung der Energienutzung in Industrie, Haushalt, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen und Verkehr unter den Prämissen Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit.“ (BDEW 2017, S. 2).

Mit dem Ziel P2G in den Gesamtkontext einzubetten, ist diese Einführung breiter ausgelegt. Sofern Bezüge auf der übergeordneten Ebene zu P2X gezogen werden können, werden diese adressiert, gleichwohl bildet P2G das Zentrum dieser Fallstudie.

Die im Folgenden dargestellte Diskussion und Auswertung der Fallstudie P2G basiert gemäß Kapitel 6 Forschungsdesign der Fallstudien primär auf der Auswertung der Experteninterviews und wird um die Daten-Triangulation, in deren Rahmen auch eigene Analysen implementiert sind, ergänzt.

<sup>343</sup> Es wird darauf hingewiesen, dass in diesem Zusammenhang anstatt des verbreiteten Begriffs der Sektorkopplung, aus morphologischer Sicht der Begriff der Sektorenkopplung zu verwenden wäre, da es sich um die Kopplung mehrere Sektoren handelt. Um mit der Wortwahl der öffentlichen und wissenschaftlichen Diskussion konstant zu sein, wird in dieser Arbeit dessen ungeachtet der Begriff der Sektorkopplung verwendet.

## 7.2 Technologien und Akteure im Wettbewerb

### 7.2.1 Inter- und Intra-Wettbewerb<sup>344</sup>

Wie die Abbildung 43 in Kapitel 7.1 Einführung gezeigt hat, können über das P2G-Verfahren primär zwei Substitutionsprodukte hergestellt werden, welche die Ausgangsbasis für vielseitige Nutzungspfade bieten. Erstens wird fluktuierende erneuerbare Energie durch eine Elektrolyse in H<sub>2</sub> umgewandelt. Dieser ist regenerativ im Gegenzug zum konventionell erzeugten H<sub>2</sub> auf Basis von Erdgas. Im Vergleich zu dem konventionell erzeugten H<sub>2</sub> ist der regenerative H<sub>2</sub> CO<sub>2</sub>-frei d. h. es wird weder bei der Erzeugung noch bei der Nutzung CO<sub>2</sub> emittiert. Zweitens kann der regenerative H<sub>2</sub> unter Zugabe von CO<sub>2</sub> in CH<sub>4</sub> umgewandelt werden, welches ein Substitutionsprodukt zum fossilen Erdgas<sup>345</sup> ist. Dieses synthetische CH<sub>4</sub> ist CO<sub>2</sub>-neutral, da in der Erzeugungsphase zwar CO<sub>2</sub> als Rohstoff verwendet wird, bei der Nutzung des synthetischen CH<sub>4</sub> aber wieder ausgestoßen wird. P2G steht damit in direkter Konkurrenz zu konventionell erzeugtem H<sub>2</sub> und fossilem Erdgas.<sup>346</sup> In Abhängigkeit von den Nutzungspfaden der EE-Gase H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> ergeben sich weitere Konkurrenzen. Zu diesen zählen die im Intra-Wettbewerb stehenden verschiedenen Speichertechnologien und die durch den Inter-Wettbewerb determinierten fossilen Kraftwerke und reinen Flexibilisierungsoptionen.

Der Nutzungspfad P2G als Energiespeicher steht im Inter-Wettbewerb in direkter Konkurrenz zur Abregelung überschüssiger Elektrizität aus fluktuierenden erneuerbaren Energien und Flexibilisierungsoptionen<sup>347</sup> wie z. B. dem Stromnetzausbau, dem Einsatz flexibler Kraftwerke, *Power-to-Heat* (P2H) und dem Lastmanagement (*Demand Side Management*) (Fraunhofer UMSICHT/Fraunhofer IWES 2014, S. 193) sowie *Power-to-Fuel* (P2F) und *Power-to-Chemical* (P2C). Der Inter-Wettbewerb geht mit der Frage des Ausgleichsenergie- und Speicherbedarfs in Abhängigkeit der Höhe überschüssigen Stroms (aus erneuerbaren Energien) einher (ebd., S. 43f.). Im Verbundnetz betrachtet, konkurriert ein P2G-Speicher gemäß Expertenmeinung maßgeblich mit zwei Konzepten: Zum einen besteht die Möglichkeit einen Teil der Residuallast<sup>348</sup> über z. B. skandinavi-

<sup>344</sup> Die Begriffe »Inter-Wettbewerb« und »Intra-Wettbewerb« gehen auf Luhmann/Schostok/Schaube (2014) zurück, die in ihrem Artikel darüber die »Stufen der Integration Erneuerbarer Energien im Strombereich« (ebd., S. 3) definieren. Der Inter-Wettbewerb betont „den Charakter des Wettbewerbs zwischen Gruppen“ (ebd.) und der Intra-Wettbewerb den „diskriminierungsfreien Wettbewerb der Erneuerbaren Erzeugungsoptionen untereinander“ (ebd.).

<sup>345</sup> Erdgas ist ein Gasgemisch, dessen Hauptbestandteil CH<sub>4</sub> ist (Chemie.de o. J.a, o. S.), (GWI 2015, S. 15), wobei zwei Erdgasqualitäten zu unterscheiden sind: „L (low) und H (high). Erdgas H hat einen höheren Methangehalt (87 bis 99 Vol. %), während Erdgas L bei Methananteilen von 80 bis 87 Vol. % größere Mengen an Stickstoff und Kohlendioxid enthält“ (Chemie.de o. J.a, o. S.)

<sup>346</sup> Für eine ausführliche Darstellung konventioneller Verfahren zur H<sub>2</sub>-Herstellung aus Erdgas (Dampfreformierung, Partielle Oxidation, Reformierung mit einer Luft-Wasserdampf-Mischung) wird auf Aicher/Blum/Specht (2004) verwiesen. Für die innovative, da CO<sub>2</sub>-freie, Brückentechnologie des Methan-Cracken zur H<sub>2</sub>-Herstellung aus CH<sub>4</sub> wird exemplarisch auf Weger (2016), IASS/KIT (2015) und für die Erdgasförderung über konventionelles und unkonventionelles *Hydraulic Fracturing* exemplarisch auf UBA (2017e) verwiesen.

<sup>347</sup> Für eine andere Kategorisierung von Flexibilisierungsoptionen wird exemplarisch auf Sterner et al. (2015, S. 86) verwiesen.

<sup>348</sup> Die etymologische Herkunft des Begriffs »Residuallast« basiert auf dem lateinischen Wort „*residuum, -i – der Rest*“ (Next Kraftwerke, o. J., o. S.). Sie wird als der Anteil an dem gesamtdeutschen Stromverbrauch definiert, den fluktuierende erneuerbare Energien nicht decken können (ebd.). „Der Begriff Residuallast bezeichnet die in einem Elektrizitätsnetz nachgefragte Leistung abzüglich eines Anteils fluktuierender Einspeisung von nicht steuerbaren Kraftwerken (...). Sie stellt also die Restnachfrage dar, welche von regelbaren Kraftwerken gedeckt werden muss.“ (Agora Energiewende o. J., o. S.).

sche Pumpspeicherkraftwerke zu sichern und zum anderen den massiven Ausbau des Leitungsnetzes zu forcieren (Europa als Kupferplatte). Bei dem ersten Konzept wird der notwendige Speicherbedarf gegen eine entsprechende Zahlung im Ausland geschaffen und bei dem zweiten Konzept besteht bedingt durch ein gut und weitreichend ausgebautes Verbundnetz kein Speicherbedarf. (EIV 1P, S. 4), (EIV 4P, S. 25)

Im Intra-Wettbewerb steht P2G in direkter Konkurrenz mit Elektrokraftfahrzeugen und anderen Speichertechnologien<sup>349</sup>. Die nachfolgende Tabelle ordnet P2G in den Systempfaden regenerativer H<sub>2</sub> und synthetisches CH<sub>4</sub> der chemischen Energiespeicherkategorie zu, zeigt in einer Übersicht die potenziellen Konkurrenzen zu anderen (technologisch realisierten)<sup>350</sup> Speichertechnologien und führt eine erste interdisziplinäre Bewertung in Anlehnung an Elsner/Sauer (2015) durch.

**Tabelle 21: Interdisziplinäre Bewertung Intra-Konkurrenzverhältnisse P2G**

Kategorie	Energiespeicher	Speichertechnologie	Interdisziplinäre Bewertung				
			Materialverfügbarkeit	Gesellschaftliche Akzeptanz	Energiewirtschaftsrecht inkl. Regulierung	Bau-, Umwelt- und Immissionsschutzrecht	Technologie
mechanisch		Pumpspeicher	+	-	+	-	++
		adiabate Druckluftspeicher	+	+	+	+	0
		Flüssigluftenergiespeicher	++	++	+	+	0
		Schwungrad-Speicher	k. A.				
chemisch		P2G Wasserstoffspeicher	0	0	+	0	0
		P2G Methanspeicher	0	+	+	+	0
elektrochemisch		Redox-Flow-Batterie	+	+	0	0	0
		Lithium-Ionen Batterie	+	+	0	0	+
		Blei-Säure-Batterie	+	+	0	+	++
		Festkörper-Batterie	k. A.				
		Natrium-Schwefel-Batterie	+	+	0	0	++
thermisch		Hochtemperatur Wärmespeicher	k. A.				
		Kältespeicher	k. A.				
		Latentwärmespeicher – Hochtemperatur	k. A.				
		sensible Wärmespeicher	k. A.				
		Thermochemische Wärmespeicher	k. A.				

Quelle: Eigene, modifizierte und erweiterte Darstellung in Anlehnung an Elsner/Sauer (2015).<sup>351</sup>

<sup>349</sup> Gemäß Expertenmeinung bestünde in einer post-fossilen Zeit hingegen keine Konkurrenz zwischen regenerativem Strom und Biomethan – vielmehr würden die Optionen konkurrenzlos nebeneinander stehen (EIV 1PC, S. 24).

<sup>350</sup> Zu den noch nicht technologisch realisierten, aber potenziell möglichen Speichertechnologien zählen beispielsweise Hubspeicher (Lageenergiespeicher, *Gravity-Power*-Speicher, Stülpmembranspeicher), Pumpwasser-Druck-Speicher (z. B. Holzkugelspeicher, Ringwallspeicher) sowie die exotischeren Speicher der chemischen bzw. elektrochemischen Kategorie (z. B. Flüssigmetall-Batterie, Quantenelektronen-Batterie, digitale Quantenbatterie, organische Radikabatterien) (Elsner/Sauer 2015, S. 68-72).

<sup>351</sup> Die interdisziplinäre Bewertung von Elsner/Sauer (2015) wurde von dem ursprünglichen Ampelschema in eine fünfstufige Bewertung überführt: Von der Stufe ++ (grün) über die Stufe 0 (gelb) bis hin zu -- (rot). Die Angabe »k. A.« steht für »keine Angabe«. Dieses betrifft insbesondere die Speichertechnologien, die nicht Bestandteil der Studie von Elsner/Sauer (2015) sind, jedoch trotzdem im Intra-Wettbewerb zu P2G stehen.

Im Gegensatz zu anderen Speichertechnologien verfügt P2G über den Vorteil der langfristigen Speicherbarkeit, der vollständigen (CH<sub>4</sub>) bzw. der teilweisen (H<sub>2</sub>) Einspeisung in das Erdgasnetz, sowie der Möglichkeit vielfältiger sektorübergreifender Nutzungspfade der EE-Gase wie z. B. P2H, P2C, P2F. Für eine ausführliche Diskussion und Darstellung der Vorteile wird auf Kapitel 7.4 Chancen, Potenziale und Treiber verwiesen.

Da nicht die Gesamtheit der verfügbaren Speichertechnologien im Vordergrund steht, wird für eine explizite Erklärung der einzelnen Speichertechnologien auf Sterner/Stadler (2014, S. 26-46) verwiesen. Für eine tiefgreifende Gegenüberstellung der einzelnen Speichertechnologien anhand technischer Kennzahlen (z. B. Leistungsbereich, Lebensdauer, Gesamtwirkungsgrad) und ökonomischer Kennzahlen (Investitionsbedarf, Betriebskosten) für unterschiedliche Zeitpunkte von 2014 bis zum Jahr 2050 wird auf Elsner/Sauer (2015) und GWI et al. (2015) verwiesen. Eine Modellierung der zukünftigen Kosten verschiedener Speichertechnologien führen Schmidt et al. (2017) auf.

### 7.2.2 Zentrale Akteure

Bedingt durch die starke sektorübergreifende Vernetzung und die vielfältigen optionalen Nutzungspfade in den unterschiedlichen Marktsegmenten ist für die Umsetzung der Systeminnovation P2G und im weitesten Sinn auch P2X die Einbindung multipler Akteure notwendig.<sup>352</sup> Zu den zentralen Kooperationspartnern aus Sicht der Experten gehören die Gaswirtschaft in den Bereichen Beschaffung, Transport und Absatz (EIV 1P, S. 1) und die Industrie (Maschinen- und Anlagenbau, Automobilindustrie sowie Chemieindustrie) (EIV 1PC, S. 2), (EIV 2P, S. 8). Entlang der P2X-Wertschöpfungskette ergeben sich unterschiedliche Kooperationspotenziale, wie z. B. die (Co-)Finanzierung des Vorhabens, die CO<sub>2</sub>-Bereitstellung und die Abnahme des regenerativen H<sub>2</sub> und des synthetischen CH<sub>4</sub> (EIV 1PC, S. 2), (EIV 2P, S. 8). Auch die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) sind ein zentraler Kooperationspartner, insbesondere für die zukünftigen Geschäftsmodelle wie z. B. Regelernergieangebote und Systemdienstleistungen (EIV 1P, S. 2).

Gemäß Expertenmeinung ist die Nutzung von synthetischem CH<sub>4</sub> für die Chemieindustrie bei Vorliegen eines direkten Anschlusses an das Erdgasnetz der chemischen Industrieanlage im Verhältnis zu einer Abnahme des regenerativen H<sub>2</sub> der Chemieindustrie weniger interessant. Es wird angenommen, dass in diesem Fall ein eigenes H<sub>2</sub>-Netz innerhalb der Industrieanlage besteht und folglich kein Netzbetreiber zu involvieren ist. Anzumerken ist jedoch, dass bei einer Industrieanlagen-internen Herstellung von synthetischem CH<sub>4</sub> die Abscheidung und Bereitstellung von CO<sub>2</sub> aus den industriellen Prozessen einen zusätzlichen Investitionsaufwand erfordert. Im Gegensatz zur Automobilindustrie kann die Chemieindustrie zudem einen Image-Vorteil über die Deklaration der Nutzung grüner Energie (regenerativer H<sub>2</sub>) auch in nachgelagerten Produktionsstufen bis hin zur Herstellung des Endproduktes generieren. Solange gravierende Preisunterschiede zwischen den EE-Gasen und ihren konventionellen Referenzprodukten existieren<sup>353</sup>, wird angenommen, dass der Image-Vorteil der zentrale und einzige Treiber zur Einbindung der Chemieindustrie in P2X-Projekte ist. (EIV 2P, S. 8)

---

<sup>352</sup> Kritisch sei in diesem Kontext hervorzuheben, dass die Entflechtung (*unbundling*) der Versorgungswirtschaft d. h. die Trennung von Vertrieb, Handel, Netz- und Speicherbetreibern gemäß Expertenmeinung zu der Entwicklung unterschiedlicher Interessenslagen beiträgt und dazu führt, dass Aktivitäten tendenziell getrennt voneinander verfolgt werden (EIV 2P, S. 22).

<sup>353</sup> Siehe Kapitel 7.5.3.

Die grundlegende branchenunabhängige Voraussetzung für eine potenziell erfolgreiche Einbindung von Kooperationspartnern in P2X-Forschungsprojekte ist die frühzeitige Integration der Wirtschaftspartner – bestenfalls bereits zu Beginn des FuE-Prozesses, spätestens zu Beginn des Pilot- bzw. Demonstrationsprojektes (EIV 1PC, S. 2), (EIV 2P, S. 20). Bei der Auswahl der Kooperationspartner sind die einzelnen Kernkompetenzen zu beachten und im Sinn eines »Kompetenz-*Pooling*« über direkte Partner oder Cluster zu bündeln (EIV 1PC, S. 17).

Ob die Einbindung in Cluster P2G vorantreiben kann, wird von den Experten unterschiedlich bewertet. Auf der einen Seite werden branchenübergreifende Cluster als nutzenentfaltend und hochgradig wichtig angesehen (EIV 2P, S. 14, 16), (EIV 1PA, S. 21). Cluster dienen in erster Linie dem Informationsaustausch zwischen den Akteuren, der Informationsgewinnung über Vorträge und können auch als Sammelbörse für mögliche Kooperationspartner dienen (EIV 1PA, S. 21). Cluster ermöglichen Unternehmen, sich zu vernetzen und die Trends frühzeitig zu erkennen sowie einen Blick hinter die Kulissen zu erhalten (ebd.). Zudem kann der branchenübergreifende Zusammenschluss von Unternehmen und Institutionen für Regulationen und politische Maßnahmen von unten heraus Druck erzeugen, welches die Unsicherheitsreduktionsstrategie *shape the future* adressiert.<sup>354</sup> Cluster erfordern indessen ein Umdenken der Akteure und zwar weg von einem Konkurrenzdenken und hin zu einem gemeinsamen Streben nach einer branchenübergreifenden Lösung (EIV 2P, S. 14).

Auf der anderen Seite besteht die Gefahr, dass *know-how* abfließt, z. B. durch Trittbrettfahrer, deren Motivation nicht in der gemeinsamen Projekt- bzw. Produktentwicklung, sondern von der reinen Marktsondierung bis hin zur Abschöpfung von Wissen und in der Imitation von Patenten begründet ist (EIV 4P, S. 14). Dieses kann nur „durch eine langfristige und vertrauensvolle Zusammenarbeit“ (ebd.) minimiert werden. Ferner werden Cluster als „sperrig und riesig“ (EIV 3P, S. 19) bezeichnet, in denen sich die Akteure z. T. bereits aus anderen Kontexten kennen (ebd.). Cluster, die z. B. internationale Kontakte eröffnen, sind für KMU interessant – Unternehmen die eine strategische Größe erreicht haben, knüpfen internationale Kontakte hingegen direkt vor Ort (EIV 1PA, S. 21). Auf Grund kleinerer finanzieller und personeller Kapazitäten der KMU gelingt die Einbindung in einem Cluster zumeist nur großen Unternehmen (EIV 2P, S. 16). Zur Generierung neuer Geschäftsfelder eignen sich Cluster gemäß Expertenmeinung hingegen nicht (EIV 1PA, S. 21).

### 7.2.3 Verlierer, Gewinner und *change agents*

Zu den potenziellen Verlierern der Energiewende zählen gemäß Expertenmeinung die großen Energieversorger, solche die auf konventionelle Großkraftwerke setzen (EIV 4P, S. 2), (EIV 1P, S. 4), (EIV 1PA, S. 13). Bedingt durch die Pfadabhängigkeit der letzten Jahrzehnte erfolgte seitens der EVU bisher kaum eine Anpassung an die Veränderungen der Energiemärkte (EIV 4P, S. 2). Mit dem für EVU typischen Geschäftsfeld der konventionellen Großkraftwerke zusammen mit der vorrangigen Einspeisung erneuerbarer Energien auf dem *Energy-Only-Market* (EOM) hat dieses zur Verschlechterung ihrer wirtschaftlichen Situation beigetragen (ebd.). Kurz- bis mittelfristig werden somit die Unternehmen, die fossile Energien bereitstellen, zu den Verlierern der Energiewende

---

<sup>354</sup> Dieses wird von EIV 2P (S. 16) bestätigt.

Siehe für die Strategieoptionen zur Begegnung regulatorischer (Un-)Sicherheitssituationen Kapitel 5.1.

gehören (EIV 1PA, S. 13). Langfristig besteht hingegen die Vermutung, dass auch diese Unternehmen ein neues und tragfähiges Geschäftsmodell im Rahmen der Energiewende aufbauen können (ebd.).

Zu den Gewinnern der Energiewende zählen gemäß Expertenmeinung kurz- bis mittelfristig kleine Unternehmen mit erneuerbaren Energienanlagen bis zu 100 kW, die mit ihren Anlagen ohne große Eigenkapitalaufwendungen einen (kleinen) Gewinn erwirtschaften können (EIV 1PA, S. 14). Ferner zählen, bedingt durch die weltweit gestiegene Nachfrage nach Windkraftanlagen, Produktionsunternehmen des Anlagenbaus für z. B. Windkraftträder, Antriebe und Getriebe zu den Gewinnern der Energiewende (EIV 4P, S. 2). Dieses gilt maßgeblich für diejenigen Unternehmen, die frühzeitig in den Zukunftsmarkt eingestiegen sind (ebd.).

Im speziellen Bereich von P2G können auf Grund des derzeitig vorherrschenden Mangels der Wirtschaftlichkeit noch keine eindeutigen Gewinner identifiziert werden (EIV 2P, S. 11f.). Zukünftig werden die *market maker* und *change agents*, d. h. die heutigen Vorreiter zu den Gewinnern zählen (EIV 2P, S. 11f.), (EIV 1P, S. 5). Langfristig sind diejenigen Unternehmen die Gewinner, die ihr Geschäft auf innovative Ressourcen und Verfahren wie z. B. P2G und A2X<sup>355</sup> auslegen, durchdringen und dort anschließend ein Geschäftsmodell finden (EIV 1PA, S. 14). Diejenigen, die heute noch nicht in P2G investieren, werden hingegen in ferner Zukunft zu den Verlierern gehören (EIV 2P, S. 11f.). Bei einer Umstellung der Verbrennungsmotoren auf elektro-, wasserstoff-, oder methangetriebene Motoren werden auch die Mineralölkonzerne negative Auswirkungen im Vertrieb ihrer heutigen Energieträger spüren (EIV 1PC, S. 4).

Ein Beispiel für einen Vorreiter und *change agent* ist die Genossenschaft Greenpeace Energy eG<sup>356</sup> (EIV 1P, S. 5). Mit Ihrem Geschäftsmodell »proWindgas«<sup>357</sup> setzen sie auf die Kostenreduktion über Skaleneffekte (ebd.). Denn je günstiger die Rahmenbedingungen und je kostengünstiger die Anlagen produziert und Prozesse umgesetzt werden, desto mehr Anwendungsfälle werden eröffnet (ebd.). Greenpeace Energy ist zwar nicht der einzige *change agent* – aus Expertensicht allerdings der einzige *change agent*, der aktuell ein Geschäftsmodell vorweisen kann (EIV 3P, S. 8). Aus Sicht der Experten zählt »proWindgas« der Greenpeace Energy damit zu dem gegenwärtig einzigen kommerziellen P2G-Projekt (ebd., S. 9). Bei den anderen P2X-Anlagen handelt es sich hauptsächlich um Forschungsanlagen (ebd.). Ein Teil dieser Forschungsanlagen ist aus der Motivation heraus begründet, die Machbarkeit einer P2X-Anlage zu demonstrieren und dabei die ökonomischen und insbesondere monetären Aspekte (ebd.), bestenfalls über den gesamten Lebenszyklus hinweg, zu untersuchen. Bei einem anderen Teil der Forschungsanlagen handelt es sich gemäß Expertenmeinung lediglich um *greenwashing* (ebd.).<sup>358</sup>

Zu weiteren *change agents* zählen die Entwickler und Betreiber von Windkraftanlagen und Windparks (EIV 2P, S. 11). In Zukunft wird sich die EEG-Förderung für Strom aus erneuerbaren Energien gemäß Expertenmeinung reduzieren, bis zu einem Zustand, in dem es keine Förderung mehr für abgeregelten Strom aus erneuerbaren Energien geben

---

<sup>355</sup> Siehe die Fallstudie *Algae-to-X* (Kapitel 8).

<sup>356</sup> Nachfolgend Greenpeace Energy genannt.

<sup>357</sup> Für eine ausführliche Darstellung wird auf die Internetseite für Privatkunden der Greenpeace Energy (o. J.) verwiesen.

<sup>358</sup> Anzumerken ist, dass als Unterscheidungsmerkmal, ob eine Forschungsanlage der *greenwashing*-Motivation unterliegt oder ob ein wirkliches Unternehmensinteresse besteht, die Dauer der Einbindung der Unternehmen in der Forschungsanlage vorgeschlagen wird (EIV 1PA, S. 20). Da die Motivation der Akteure jedoch nicht im Vordergrund dieser Arbeit steht, wird dieser Aspekt an dieser Stelle nicht weiter vertieft.

wird (ebd.). Diese Regulierung würde zu einer Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit von Windanlagen führen, die gleichzeitig die Motivation dieser *change agents* für P2X begründet: Im Zuge des Wegfalls der EEG-Förderung für abgeregelten Strom müssen sie aktiv einen Weg finden, den produzierten Strom nicht abregeln zu müssen (ebd.). Mit P2X-Projekten können sich Windanlagenbetreiber ihren eigenen Absatzmarkt eröffnen und die Ausschöpfung ihrer *assets* (Anlagen, Netzparks) sichern (ebd., S. 12).

In jüngster Zeit nehmen zudem Gasversorger eine Aktivitätsrolle ein. Die Ablösung fossiler Energieträger in Verbindung mit einer effizienzbedingten Stagnation des Absatzes auf dem Wärmemarkt führt zu der Notwendigkeit der Begründung einer langfristigen Daseinsberechtigung der Gaswirtschaft, die sie über die Herstellung von grünem Gas rechtfertigen kann. (EIV 2P, S. 12, 15), (EIV 3P, S. 8) Mit P2X-Projekten kann die Gaswirtschaft eine Berechtigung entwickeln, auch langfristig den Markt zu bedienen, die eigenen *assets* auszuschöpfen, das eigene Geschäftsfeld zu sichern (EIV 2P, S. 12), (EIV 3P, S. 8) und über P2X ein neues Geschäftsmodell zu entwickeln (EIV 2P, S. 15). Aus Expertensicht ist die Sicherung des eigenen Geschäftsfeldes die zentrale Triebkraft der Gaswirtschaft, aber auch der Forschungsdienstleister (ebd., S. 11f.). Dabei kann davon ausgegangen werden, dass der Fokus der Gaswirtschaft bedingt durch die Kompatibilität zum fossilen Erdgas und dessen Infrastruktur primär auf synthetischem CH<sub>4</sub> und sekundär in Abhängigkeit von dem Standort auf regenerativem H<sub>2</sub> liegen wird (ebd., S. 9). Abschließend wird an dieser Stelle kurz auf die multiple und paradoxe Akteursituation der Gaswirtschaft eingegangen. Bedingt durch die Herstellung eines Substitutionsgutes stehen Unternehmen der konventionellen Gaswirtschaft in einem Konkurrenzverhältnis zu P2X-Anlagenbetreibern. Gleichzeitig gelten sie als ein zentraler Kooperationspartner für die Markteinführung und -durchdringung von P2G und zählen im Fall einer Veränderung bzw. Neuausrichtung ihres Geschäftsmodells hin zur Produktion von EE-Gasen zu den *change agents* und damit langfristig zu den möglichen Gewinnern.

Gleichwohl die Automobilwirtschaft von den Experten nicht als originärer *change agent* angeführt wird, wird als Anhaltspunkt für ihr P2X-Engagement die Möglichkeit der Weiterführung der bestehenden Technik unter Verwendung von Stromkraftstoffen angemerkt (EIV 3P, S. 8). Diese Möglichkeit besteht im Fall der Elektromobilität nicht in gleichem Umfang (ebd.). Zudem kommt es beim P2F-Konzept nicht zu Problemen mit geringen Reichweiten und Kompromissen bei der Motorleistung (ebd.). Zu den *change agents* im Mobilitätsbereich zählen gemäß Expertenmeinung Fluggesellschaften, die auf Grund der begrenzten Verfügbarkeit von Biokerosin als Substitut für konventionelles Kerosin, langfristig auf (flüssige) Stromkraftstoffe<sup>359</sup> setzen werden (ebd.).<sup>360</sup>

Abschließend ist die Politik als *change agent* zu nennen: Sie ist der einzige Akteur der die Rahmenbedingungen verändern und einen Paradigmenwechsel, auch im System der Mobilität, initiieren kann (EIV 1PC, S. 5). Ableitend aus den Experteninterviews, stehen der Politik zur Initiierung und Begleitung des Wandels maßgeblich zwei strategische *top-*

---

<sup>359</sup> Bezugnehmend auf die Speicherproblematik kann flüssigen Stromkraftstoffen zukünftig tendenziell ein größeres Potenzial, verglichen mit gasförmigen Stromkraftstoffen, zugesprochen werden.

<sup>360</sup> Als synthetische Treibstoffe kommen für die Luftfahrt grundsätzlich die folgenden Alternativen in Frage: Kurzfristig CtL-Treibstoffe (*Coal-to-Liquid*) auf Basis von Kohle, GtL-Treibstoffe (*Gas-to-Liquid*) auf Basis von konventionellem Erdgas, mittelfristig BtL-Treibstoffe (*Biomass-to-Liquid*) aus Pappel, Weide, Stroh, Getreide, Mais, Sojabohnen, Zuckerrohr und insbesondere aus Algen, sowie langfristig Stromkraftstoffe (regenerativer H<sub>2</sub> und synthetisches CH<sub>4</sub>). (Braun-Unkloff/Le Clercq 2008, S. 28ff.), (EU-VRi o. J.) Die Gegenüberstellung der Potenziale und Grenzen der einzelnen Kraftstoffalternativen soll allerdings nicht Gegenstand dieser Arbeit sein.



*down* orientierte Handlungsansätze zur Verfügung: Erstens die Festlegung von verbindlichen und ambitionierten Zielen wie z. B. zu regenerativen Anteilen in den Sektoren Gas, Wärme, Mobilität<sup>361</sup> und energieintensiven Produkten wie z. B. Kunststoffen (ebd., S. 1, 5, 9). Dabei ist ein auf Dauer angelegter Zielkorridor vorzugeben, dessen Mechanismen zur Umsetzung und Zielerreichung (wie z. B. das EEG) unter der Maßgabe der Ausgewogenheit des energiepolitischen Zieldreiecks<sup>362</sup> fortlaufend zu überprüfen und im Zweifel im Dialog, bestenfalls im Konsens, mit den Akteuren der Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft zu justieren ist (EIV 4P, S. 20f., 26). Auf instrumenteller Ebene kann die Politik den Wandel z. B. über eine »Deutschland Karte« begleiten, die transparent Förderungen und Transferleistungen differenziert nach der Art und dem Umfang geografisch darstellt. Mit Hilfe einer *Gap-Analyse*<sup>363</sup> könnten dann Abweichung zwischen den einzelnen Fördermaßnahmen und daraus resultierenden zukünftigen Entwicklungsverläufen identifiziert werden. Gemäß der Expertenmeinung kann ausschließlich die Politik die notwendigen Rahmenbedingungen setzen und damit nicht nur einen Paradigmenwechsel initiieren, sondern auch einen P2X-Markt kreieren (EIV 1PC, S. 5).

Der zweite strategische *top-down* orientierte Handlungsansatz ist die staatliche Forschungs- und Innovationsförderung. Diese betrifft sowohl die technologieorientierte Forschung als auch die sozio-ökonomisch ausgerichtete *Transition*-Forschung (EIV 4P, S. 21). Dabei kann insbesondere eine *input*-orientierte projektbezogene Innovationsförderung über die Entfaltung einer Lenkungswirkung zielgerichtet FuE und Innovationen für die Kopplung der Energiesektoren und die Weiterentwicklung von Speichertechnologien unterstützen. Eine *output*-orientierte Innovationsförderung kann auf Bundesebene über Vergünstigungen z. B. durch die Herabsetzung der Unternehmenssteuer<sup>364</sup>, den Anstieg der steuerlichen Absetzbarkeit von Patentierungsaufwendungen oder über eine Zulage für Innovationsaktivitäten instrumentalisiert werden. (Fritzsche/Ochsner 2014, S. 4-6, 10f.)<sup>365</sup>

Aus dem Blick der politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen heraus, die in den Kapiteln 7.5.1 und 7.5.2 noch vertiefend dargestellt werden, sei an dieser Stelle bereits vorwegzunehmen, dass bei der P2X-Förderung im weitesten Sinn gegenwärtig Barrieren bestehen, da der übergreifende Systemnutzen erst mit einem sehr hohen Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien und damit erst langfristig ersichtlich sein wird (EIV 3P, S. 9). Eine kurzfristige und breite Markteinführung könnte unter den derzeitigen Systembedingungen zu einer Erhöhung der Kosten in dem Stromsystem sowie der Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen führen (ebd.).

<sup>361</sup> Besonders die Zielsetzung im Mobilitätsbereich muss dabei auf mehreren Ebenen erfolgen. Neben einem Ziel zur Minderung der THG-Emissionen (z. B. über die Festlegung einer CO<sub>2</sub>-Ausstoßgrenze pro km) sind verbindliche Ziele zur Minderung der Schadstoffe (EIV 1PC, S. 2, 4), d. h. im Bereich der Luftbelastung u. a. Feinstaub PM 10 und PM 2,5; Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub>) / Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>); Ammoniak (NH<sub>3</sub>); Flüchtige Organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC) sowie im Bereich der Lärmbelastung festzulegen. Eine politisch gesetzte regenerative Quote z. B. eine Quote i. H. v. 50 % bezogen auf den Anteil regenerativer Energieträger (Strom aus erneuerbarer Energie, regenerativer H<sub>2</sub>, synthetisches CH<sub>4</sub> u. a.) könnte dazu beitragen, die THG-Emissionen und gleichzeitig die Luftschadstoffe und u. U. die Lärmbelastung zu reduzieren (EIV 1PC, S. 4f.). Für einen Überblick zu den zurzeit politisch flankierten Nachhaltigkeitszielen des Bundes und der einzelnen Bundesländer im Bereich der Mobilität wird auf die Zusammenstellung des Wuppertal Instituts (2015d) verwiesen.

<sup>362</sup> Das energiepolitische Zieldreieck flankiert eine zuverlässige, bezahlbare und umweltschonende Energieversorgung (BMWi o. J.b).

<sup>363</sup> Die *Gap*-Analyse ist ein Instrument des strategischen Managements.

<sup>364</sup> Die Herabsetzung der Unternehmenssteuer kann für den innovationstätigkeitsbezogenen Teil der Unternehmensgewinne (über sogenannte Lizenz- oder Patenboxen) oder für die Gesamtheit der Unternehmensgewinne gewährt werden (Fritzsche/Ochsner 2014, S. 4).

<sup>365</sup> Siehe für eine differenzierte Darstellung und Erklärung der unterschiedlichen Formen staatlicher Innovationsförderung Kapitel 4.1.1.

Gemäß Expertenmeinung sind sowohl Förderinstrumente als auch u. U. Subventionen zentrale Hebel für Speichertechnologien und insbesondere für P2X-Geschäftsmodelle: P2X-Anlagen müssen erst mittelfristig wirtschaftlich sein, heute aber bereits entwickelt werden, um eine mittelfristige Fertigstellung sicherzustellen (EIV 1P, S. 14), (EIV 2P, S. 17), (EIV 1PA, S. 1). Mit den Instrumenten der Forschungs- und Innovationsförderung auf der einen und der Gewährung von Subventionen auf der anderen Seite, die beide Teil der regulatorischen Rahmenbedingungen sind, kann die Energiepolitik einen massiven Einfluss auf die Energiewirtschaft ausüben, die Technologieentwicklung (ähnlich wie in der Vergangenheit die Kernkraft, Photovoltaik, Windkraft, Biomasse etc.) vor dem Hintergrund des zukünftigen Potenzials lenken und über Ausnahmetatbestände Anreize schaffen, die Technologie auszuprobieren und voran zu treiben (EIV 3P, S. 18). Dabei sollte die Forschungsförderung vor allem stärker anwendungsorientiert, großskaliert, Markteintritt begleitend und geschäftsmodellorientiert<sup>366</sup> angelegt werden (EIV 1PC, S. 17f.), (EIV 1PA, S. 12). Denn die gegenwärtige anwendungsorientierte Forschungsförderung ist gemäß Expertenmeinung zu kleinskaliert und nicht anwendungsnah genug angelegt (EIV 1PC, S. 17f.), (EIV 1PA, S. 12). Zudem ist die Entwicklung von einer Technologie bzw. Anlage hin zu einem tragfähigen Geschäft(-smodell) in der Forschungsförderung nicht inkludiert (EIV 1PC, S. 17f.), (EIV 1PA, S. 12). Zusätzlich besteht weiterhin der Bedarf der technologischen grundlagenorientierten Forschung auf der einen Seite, um z. B. Elektrolyseure im Hinblick auf den energiemarktspezifischen Bedarf weiterzuentwickeln<sup>367</sup> sowie der interdisziplinären (Grundlagen-)Forschung auf der anderen Seite, um Technologie- und Innovationspfade sowie Anwendungsfälle vorauszudenken, Akteure zu vernetzen und einzubinden<sup>368</sup> (EIV 4P, S. 17).

Um regionalwirtschaftliche Impulse zu setzen, könnte z. B. ein Bundesland wie Nordrhein Westfalen ein „100 MW Programm“ (EIV 3P, S. 19) in Kooperation mit der Chemieindustrie ausschreiben: Welche P2C-Anlage verursacht die geringsten Kosten? Welche P2C-Anlage ist am effizientesten? Welche P2C-Anlage nutzt das im 100 MW Programm festgelegte Budget am effektivsten? Das Geschäftsmodell, das den Ausschreibungsvorgaben am nächsten ist, könnte zusätzlich als weiteren Anreiz eine (Co-) Finanzierung für den letzten Schritt zur Wirtschaftlichkeit (d. h. zur Markttablierung) erhalten. Eine gezielte und marktnahe Wirtschaftsförderung könnte damit die industrielle FuE anreizen, ohne das erhebliche Fördersummen aufgewendet werden müssten. (ebd.)

Aktuelle Wirtschaftlichkeitsberechnungen die davon ausgehen, dass eine P2G-Anlage erst ab einer Anlagengröße zwischen 10 MW und 100 MW wirtschaftlich betrieben

---

<sup>366</sup> Dieses soll hingegen nicht bedeuten, dass eine Förderung oder Subventionierung auf Dauer ausgelegt sein sollte. Sobald ein tragfähiges Geschäftsmodell existiert, ist auch die Förderung bzw. Subventionierung stillzulegen. Die Zeitspanne der Förderung bzw. Subventionierung, um vom Feldtest (Pilot- und Demonstrationsanlagen) bis hin zur Marktreife zu gelangen, ist abhängig von der Technologie, kann jedoch gemäß Expertenmeinung auf rund 10 Jahre geschätzt werden. (EIV 1PA, S. 19)

<sup>367</sup> Siehe vertiefend Kapitel 7.5.4.

<sup>368</sup> Hervorzuheben ist an dieser Stelle das interdisziplinäre Forschungsprojekt »Virtuelles Institut Strom zu Gas zu Wärme«, dessen übergeordnetes Ziel in der „Entwicklung einer Forschungsagenda vor dem Hintergrund der spezifischen Rahmenbedingungen und Herausforderungen für NRW (...) zur nachhaltigen Nutzung überschüssiger elektrischer Energie“ (EnergieAgentur.NRW 2014, S. 7, 18) ist. Zu den Akteuren des Virtuellen Instituts zählen das Gas- und Wärme-Institut Essen, der Lehrstuhl für Technische Chemie der Ruhr-Universität Bochum, das Energiewirtschaftliche Institut der Universität zu Köln, das Forschungszentrum Jülich, das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, das Zentrum für Brennstoffzellen Technik Duisburg und das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (ebd., S. 15-17). Durch die interdisziplinäre Herangehensweise unterscheidet sich das »Virtuelle Institut Strom zu Gas zu Wärme« zentral von den klassischen Forschungsansätzen und übt damit auch einen besonderen Einfluss auf die Technologieentwicklung aus (EIV 4P, S. 13).

werden kann (EIV 2P, S. 20), begründen diesen Handlungsansatz zusätzlich.<sup>369</sup> Die Industrie sollte überdies angehalten werden Forschungsprojekte bereits heute anzulegen und mitzufinanzieren, auch wenn eine Marktfähigkeit der EE-Gase erst mittelfristig zu erwarten ist (EIV 4P, S. 22).

---

<sup>369</sup> So bestätigt auch Jentsch (2014, S. 69) im Hinblick auf die Investitionskosten einer P2G-Anlage: „Generell ist zu beobachten, dass größere Anlagen (die Darstellung umfasst Anlagen bis zu einer Leistung von ca. 6 MW) tendenziell günstiger sind als kleine Anlagen.“

### 7.3 Transformation und Innovationskaskade

Die Einordnung von P2X und im Besonderen von P2G in den Innovationsprozess erfordert eine differenziertere Betrachtung. Die Elektrolyse, die den Strom in H<sub>2</sub> umwandelt, ist ein über 100 Jahre altes Verfahren<sup>370</sup>, welches seit Jahrzehnten zum Standard industrieller Prozesse zählt (EIV 1P, S. 2), (Sterner/Stadler 2014, S. 302f.). Die in der Chemieindustrie beispielsweise etablierte Chloralkali-Elektrolyse gilt in der Anwendung als stabil und beherrschbar. Die nachfolgende Tabelle zeigt in einer Übersicht die derzeit verfügbaren Elektrolyseure anhand ausgewählter Kennzahlen und mit Blick auf die Veränderungstendenzen für das Jahr 2050.<sup>371</sup>

**Tabelle 22: Ökonomischer und ökologischer Kennzahlenvergleich Elektrolyseure**

Kennzahlen	Alkalische Elektrolyse		PEM-Elektrolyse		Hochtemperatur-Elektrolyse (SOEC)	
	2014	2050	2014	2050	2014	2050
Status quo / Trend						
Stackwirkungsgrad <sup>a</sup>	51 - 71 %	↗	54 - 71 %	↗	> 100 % <sup>c</sup>	ungewiss
Systemwirkungsgrad <sup>a</sup>	43 - 67 % <sup>b</sup>	↗	40 - 67 %	↗	k. A. <sup>e</sup>	ungewiss
Betriebstemperatur (°C)	60 - 80	↗	50 - 80	→	700 - 1.000	→
Maximaler Betriebsdruck (bar)	< 30	→	85	↗	1	↗
Stromdichte (A/cm <sup>2</sup> )	0,2 - 0,4	↗	0,6 - 2,0	↗	0,4 - 2	↗
Minimale Teillastfähigkeit	20 - 40 %	→	0 - 10 %	→	k. A.	ungewiss
Verfügbare Stackgröße (m <sup>3</sup> /h) <sup>c</sup>	450	↗	250	↗	5,7 <sup>f</sup>	↗
Nachgewiesene Lebensdauer (h in Betrieb)	< 90.000	→	< 20.000	↗	3.500	↗
Standzeit System inkl. Überholung (Jahre)	20 - 30	→	10 - 20	→	k. A.	ungewiss
Edelmetallbedarf (mg/cm <sup>2</sup> )	k. A.	k. A.	2 (Ir) 0,5 - 1 (Pt)	↘	k. A.	k. A.
Investitionskosten (€/kW)	1.000 - 5.000 <sup>d</sup>	↘	> 2.000	↘	k. A.	ungewiss
Wasserstoffgestehungskosten (€/kg)	4,5	k. A.	9	↘	k. A.	k. A.

Quelle: Eigene, erweiterte Darstellung in Anlehnung an GWI et al. (2015, S. 2f.), Kurzweiler/Dietlmeier (2015, S. 465f.).

<sup>a</sup> Bezogen auf den Heizwert

<sup>b</sup> bei 30 bar, Produkte getrocknet, die oberen Werte gehören zu MW-Anlagen

<sup>c</sup> alle Kubikmeterangaben beziehen sich auf Normbedingungen

<sup>d</sup> die Spannweite entsteht durch Skaleneffekte; der untere Wert bezieht sich auf Anlagen im MW-Maßstab

<sup>e</sup> Stackwirkungsgrade können sich nur auf elektrische Leistung beziehen, da der Wärmeeintrag im System

<sup>f</sup> im Labormaßstab

Ir: Iridium

Pt: Platin

In industriellen Prozessen, wie z. B. in der Chemieindustrie, wird der Elektrolyseur abgesehen von Reparatur- oder Wartungsarbeiten typischerweise zeitlich konstant gefahren (EIV 1PC, S. 3), d. h. es erfolgt eine „kontinuierliche Abnahme bei Nennleistung“ (EIV 2P, S. 20), im besten Fall unter Volllast (EIV 3P, S. 5).<sup>372</sup> Um den spezifizierten Anforderungen des Elektrizitätsmarktes zu genügen, muss die bewährte Technik in eine neue überführt werden, so dass Elektrolyseure in den neuen Nutzungspfaden neue Eigenschaften abverlangt werden (EIV 1P, S. 2).

<sup>370</sup> Für einen Überblick zur Entstehungsgeschichte und den Grundlagen der Elektrolyse wird exemplarisch auf Birch (2016, S. 92-95), Kurzweil/Dietlmeier (2015, S. 363-370) und Sterner/Stadler (2014, S. 300-303) verwiesen.

<sup>371</sup> Für eine dezidiertere Betrachtung im Hinblick auf die Entwicklungsperspektiven der einzelnen Elektrolyseure für die Jahre 2020 und 2030 wird auf GWI et al. (2015, S. 2f.) verwiesen.

<sup>372</sup> „PEM-Elektrolyseure sind effizienter und besser teillastfähig als alkalische Elektrolyseure.“ (Kurzweil/Dietlmeier 2015, S. 455) „Die Festoxid-Dampfelektrolyse ist nur eingeschränkt für regenerative Lastwechsel tauglich.“ (ebd., S. 462)

Für die Integration in das Energiesystem müssen Elektrolyseure in ihren Feinheiten dahingehend weiterentwickelt werden, dass eine flexible Anlagenfahrweise bei einem sehr hohen Wirkungsgrad möglich ist (EIV 2P, S. 20), (EIV 1P, S. 2), (EIV 4P, S. 8), (EIV 1PC, S. 3). Anders ausgedrückt: Die Leistung des Elektrolyseurs muss „dem Darangebot der fluktuierenden erneuerbaren Energien“ (EIV 1P, S. 2) folgen können. „Für die Elektrolyseure besteht hierbei Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Sie sollten Stromschwankungen gut folgen und auch in unteren Teillastbereichen arbeiten können“ bestätigt z. B. auch der DVGW (2013, S. 3). Bezugnehmend auf den Wirkungsgrad der Anlage ist das Entwicklungspotenzial im Bereich der Anlageneffizienz zu nennen; insbesondere für die *balance of plants* (Anlagenperipherie/Hilfsaggregate) (EIV 1PC, S. 3). Zentrale Forschungsfragen, die einer Klärung in Versuchsanlagen bedürfen, sind z. B.:

„Wie viel Zeit benötigt die Anlage von Stand-by auf Volllast zu fahren? Wie häufig ist das rauf-/ und runter fahren möglich? Wie hoch ist der Strombedarf der Anlage im Stand-by Zustand? Ab welcher Stillstandzeit und -häufigkeit ist ein Kaltstart gegenüber einem länger andauernden Stand-by Betrieb sinnvoll?“ (Schostok/Fischedick 2014, S. 8)<sup>373</sup>

Auch das EWI et al. (2015) konstatieren in dem Abschlussbericht zum Vorprojekt »Virtuelles Institut: Strom zu Gas zu Wärme«, dass „Kennwerte zur Energieeffizienz, zum Teillastverhalten und anderen technischen Parametern sowie zur Wirtschaftlichkeit“ (ebd., S. 139) zu den einzelnen Elektrolyseuren in einer ganzheitlichen Form fehlen, wie auch die Lücken der Tabelle 22 und die Meta-Analyse zu den zehn zentralen P2G-Studien des GWI et al. (2014) bestätigen.

Elektrolyseure, die speziell zur Integration von fluktuierenden erneuerbaren Energien ins Energiesystem eingesetzt werden, stehen auf Grund der spezifischen Anforderungen, welche die Überführung der bewährten Technik in einen neuen Anwendungsfall erforderlich machen, relativ am Anfang des Innovationsprozesses (EIV 1P, S. 10). Der heutige Stand von Gas aus überschüssigen erneuerbaren Energien kann mit dem Entwicklungsstand erneuerbaren Energien der 1980er Jahre verglichen werden (ebd.). Demonstrations- und Pilotanlagen befinden sich teilweise in der Planungs- bzw. Bauphase<sup>374</sup> (EIV 2P, S. 2), (EIV 1P, S. 10), und kämpfen derzeit noch um ihre Wirtschaftlichkeit (EIV 1P, S. 10). P2X-Anlagen können aktuell nicht mit konventionellen Erzeugnissen konkurrieren, welches ihre Marktfähigkeit einschränkt (EIV 4P, S. 7) und den Übergang zu der nächsten Stufe des Innovationsprozesses der Produktions- und Markteinführung blockiert.<sup>375</sup>

Im Rahmen des Innovationsprozesses dienen die Pilotanlagen dem Zweck, die Komponenten einer P2G-Anlage im Einzelnen und in ihrem Zusammenspiel zu untersuchen, Lerneffekte bei dem Umgang mit der Einspeisung und der energierechtkonformen Ausgestaltung von Verträgen zu erzielen sowie das Gesamtsystem zu verstehen (EIV 1PA, S. 2). In einem weiteren Schritt des Innovationsprozesses handelt es sich bei den Demonstrationsanlagen um größere Maßstäbe, die bereits einem Geschäftsmodell-Charakter

---

<sup>373</sup> Für weitere, grundlegende sowie NRW-spezifische offene Forschungsfragen, die den Bereich der Elektrolyse übersteigen, wird auf EWI et al. (2015, S. 138-143), die in Form von Handlungsempfehlungen verfasst wurden, verwiesen.

<sup>374</sup> Dieses bestätigt die Übersicht zu bestehenden P2G-Projekten in Deutschland (siehe Tabelle 46, Anhang A.3).

<sup>375</sup> Anzumerken ist folglich, dass in Anlehnung an die Begriffsdifferenzierung zwischen einer Innovation und einer Invention auf Basis des Wirtschaftlichkeitskriteriums, P2X derzeit in die Kategorie der Systeminvention statt in die Kategorie der Systeminnovation eingeteilt werden müsste.

unterliegen, mit Gasabnehmern gekoppelt sind und die Entwicklung und Integration einer neuen Generation von Elektrolyseuren (speziell der PEM-Elektrolyse) vorantreiben (ebd.).

Elektrolyseure werden bedingt durch die vorherrschend geringe Nachfrage bisher nur in begrenzter Stückzahl produziert. Wenn P2G und P2X in Zukunft einen zentralen Stellenwert im Energiesystem einnehmen sollen, wird eine große Stückzahl von Elektrolyseuren benötigt. (EIV 1P, S. 2) Aus einer Manufaktur muss eine Industrie, ein Massenmarkt entstehen (EIV 1P, S. 2), (EIV 1PC, S. 3). Die Etablierung eines Massenmarktes birgt die Notwendigkeit der Lenkung von Investitionen in genau dieses Geschäftsfeld und den Vorteil der Erzielung von Skaleneffekten durch Größenvorteile, wodurch die Herstellungskosten und Verkaufspreise von Elektrolyseuren sinken könnten (EIV 1P, S. 2f.), (EIV 1PC, S. 3). Über die Entwicklung neuer Materialien im Anlagenbau entsteht ein technisches Entwicklungspotenzial, welches u. U. auch zu Produktionskostensenkungen und Erreichung der Wirtschaftlichkeit führen kann (EIV 3P, S. 10). In Anlehnung an die in Kapitel 4.1.1 dargestellten *top-down* orientierten strategischen Handlungsansätze der staatlichen Forschungs- und Innovationsförderung, ist anzumerken, dass ein spezifischer Masterplan mit festgelegten Elektrolyse-Ausbauraten gemäß Expertenmeinung dafür allerdings nicht notwendig ist (EIV 1P, S. 4). Die Ausbaurate der Elektrolyseure ist in Rückkopplung mit der Bedarfsmenge und damit in Abhängigkeit der Menge überschüssiger (fluktuierender) erneuerbarer Energien im Gesamtsystem sowie in Abhängigkeit betriebswirtschaftlicher Kennzahlen, d. h. in Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit zu bestimmen (ebd.).

Insgesamt wird das P2X-Innovationspotenzial von den Experten hoch eingestuft (EIV 2P, S. 2). P2G hat einen deutlichen Anstieg an medialer Prominenz und wirtschaftlichem Interesse erfahren (ebd.). Vorrangig wird der PEM-Elektrolyse ein sehr hohes Innovationspotenzial, im Sinn eines hohen Potenzials zur Verbesserung des Wirkungsgrades, zugesprochen (EIV 1PA, S. 3). Ob dieses Innovationspotenzial in der Realisierung auch (wirtschaftlich) umgesetzt werden kann, ist gleichermaßen von den politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen abhängig (EIV 2P, S. 2). Noch werden die Überschussmengen aus erneuerbaren Energien gemäß Expertenmeinung als zu niedrig eingeschätzt, welches Zweifel über den Zeitpunkt der Bekanntmachung der P2X-Technologie schürt: „Es kann gut sein, dass wir um zehn Jahre zu früh dran waren mit der Idee“ (EIV 3P, S. 11). Visionär betrachtet, hat P2G einen wichtigen Stellenwert im Rahmen der Energiewende erlangt – zwischen dem Ist-Zustand und der Vision besteht allerdings noch ein langer Weg (EIV 1P, S. 10).

Trotz des energiespezifischen Weiterentwicklungsbedarfs der Elektrolyseure gelten technisch betrachtet P2G-Anlagen im Vergleich zu den systemwirtschaftlichen Komponenten gemäß Expertenmeinung als bereits fortgeschritten. Die systemwirtschaftliche Komponente der Kopplung von Strom- und Gasnetz ist in diesem Ausmaß (z. B. im Hinblick auf Einspeiseregulungen und Verträge) neu und steht am Anfang des Innovationsprozesses. Die einzelnen Systemkomponenten sind zwar bekannt und verfügbar, aber das Integrations- und Infrastruktursystem ist noch nicht aufgebaut. (EIV 1P, S. 3) Dieses bestätigt auch das BMWi (2015a, S. 91), welches den Infrastrukturaufbau zu den zentralen Erfordernissen der Sektorkopplung zählt. Verglichen mit einem Bausatz, besteht das Wissen dazu, dass die einzelnen Komponenten zusammenpassen – sie sind aber noch nicht zusammengebaut (EIV 1P, S. 3). Dieses wird u. a. durch die fehlenden regulatorischen Rahmenbedingungen für Systemdienstleitungen, die Verbindung von Strom- und

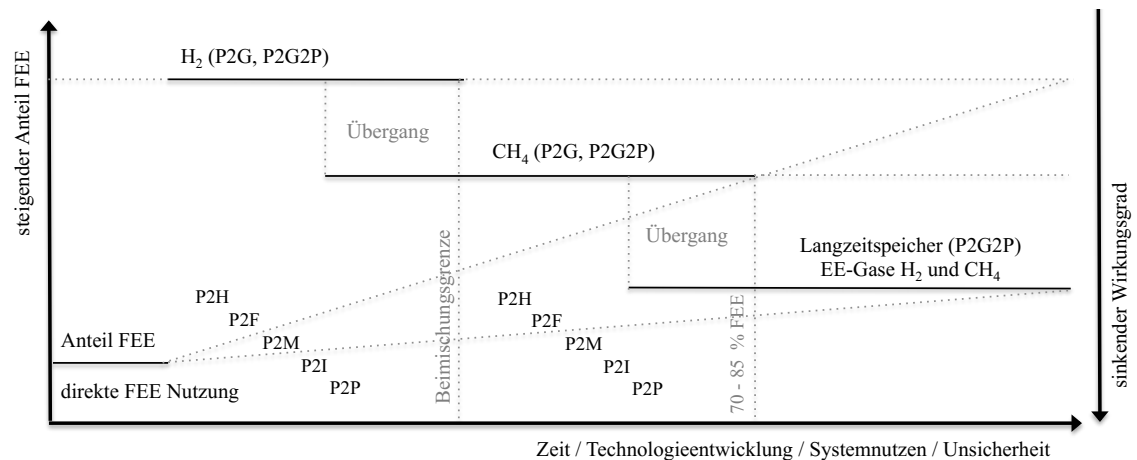
Gasnetz und die Präqualifizierung von P2G-Anlagen für den Regelenergiemarkt deutlich (ebd.).

Die Betrachtung des Innovationsprozesses zeigt einen ersten Einblick der Stellschrauben zur Weiterentwicklung von P2X und insbesondere von P2G. Im Hinblick auf den bevorstehenden Innovationsprozess und die zukünftigen Veränderungen und Entwicklungen kann aus den geführten Experteninterviews eine kaskadierende Innovationsentwicklung abgeleitet werden, die aus den drei folgenden Stufen der P2G-Innovationskaskade besteht:

- A. Wasserstoffelektrolyse
  - Beimischung in das Erdgasnetz (P2G, P2G2P)
  - Anwendungsfallorientierte Nutzung (P2I, P2F, P2M, P2H)
- B. Methanisierung
  - Einspeisung in das Erdgasnetz (P2G, P2G2P)
  - Anwendungsfallorientierte Nutzung (P2I, P2F, P2M, P2H)
- C. Langzeitspeicher (P2G, P2G2P)
  - Wasserstoff (H<sub>2</sub>)
  - Methan (CH<sub>4</sub>).

Die nachfolgende Abbildung visualisiert die Innovationskaskade in Form einer vereinfachten schematischen Darstellung.

**Abbildung 44: Innovationskaskade P2G**



Quelle: Eigene Darstellung.

Die Stufen der Innovationskaskade stehen nicht in direkter Konkurrenz zueinander (EIV 2P, S. 8f.). Vielmehr bedingen und folgen sie einander zum Teil nicht überschneidungsfrei und sind in Abhängigkeit zum Nutzungspfad zu betrachten. Die Grundlinie der Innovationskaskade ist die zum jeweiligen Zeitpunkt verfügbare Strommenge aus (fluktuierenden) erneuerbaren Energien. Die Basisstufe ist die direkte Nutzung des regenerativen Stroms, auch in den Sektoren Mobilität (z. B. Elektromobilität) und Wärme (z. B. Wärmepumpen) (EIV 1PC, S. 9f.). Dem Innovationsprozess folgend, reiht sich im Anschluss an die Weiterentwicklung der Elektrolyse, die Herstellung und die Verwendung des H<sub>2</sub> (in der Mobilität und Industrie) an (erste Stufe). Bei z. T. paralleler Entwicklung der Verfahren zur Methanisierung (zweite Stufe), um den Anteil ungenutzten H<sub>2</sub> (ohne Limitierung) zu nutzen, kann dadurch P2G mit seinen einzelnen Technologie- und Sys-

temkomponenten über die ersten beiden Stufen der Innovationskaskade (weiter)entwickelt werden, um das *know-how* für und den Umgang mit P2G im Anwendungsfall des Langzeitspeichers (dritte Stufe) zu verbessern. Bedingt durch den systemimmanenten Speicherbedarf findet die dritte Stufe der Langzeitspeicherung, z. T. bereits parallel zu den ersten beiden Stufen der Innovationskaskade statt. Daraus lässt sich ableiten, dass die kaskadierende Innovationsentwicklung eine Möglichkeit darstellt der mit Innovationsinvestitionen verbundenen Unsicherheit zu begegnen, dessen Ursprung im Mangel an Erfahrungswissen begründet ist.<sup>376</sup>

Der Zeitverlauf der ersten beiden Stufen der Innovationskaskade und die Überschneidung im Zeitverlauf dieser, kann über die sektorübergreifende Systemnachfrage nach H<sub>2</sub> bestimmt werden: Bei einer hohen H<sub>2</sub>-Nachfrage z. B. seitens des Mobilitätssektors oder der Chemieindustrie liegt der Fokus des Innovationsprozesses bei der ersten Kaskadenstufe; besteht hingegen eine hohe Nachfrage nach CH<sub>4</sub> ist die Überlappung der Kaskadenstufen eins und zwei auf der Zeitachse größer (EIV 2P, S. 8f.), (EIV 3P, S. 14).

### 7.3.1 P2G-Innovationskaskade Stufe 1: Wasserstoffelektrolyse

Die erste Stufe der P2G-Innovationskaskade ist die Herstellung von H<sub>2</sub> auf Basis erneuerbaren Stroms (P2G) und die Beimischung von H<sub>2</sub> in das Erdgasnetz bzw. die anwendungsfallorientierte Nutzung des regenerativen H<sub>2</sub>. Im Netz der öffentlichen Gaswirtschaft in Deutschland wird von einer potenziellen Einspeisung regenerativen H<sub>2</sub> i. H. v. 3,6 - 5,0 Mrd. m<sup>3</sup>/a, unter der Annahme einer H<sub>2</sub>-Beimischung von 5 Vol.-% bzw. brennwertbezogen 12,8 - 17,8 TWh/a ausgegangen (GWI et al. 2015, S. 13). Dem Arbeitsblatt G 262 des DVGW (2011) zugrunde liegend, nach dem ein einstelliger Prozentwert (d. h. < 10 Vol.-%) der H<sub>2</sub>-Einspeisung möglich ist, könnte dieses Beimischungsverhältnis gemäß Expertenmeinung unter Umständen für ein erneuerbares Energiesystem genügen (EIV 1P, S. 20). Innerhalb dieser Kaskadenstufe besteht das Entwicklungspotenzial in der Ausschöpfung des Beimischungsanteils regenerativen H<sub>2</sub> im Erdgasnetz. Die technologische Limitierung der Beimischung kann zwar über die Anpassung und Ausweitung der Gasinfrastruktur erfolgen, dafür liegen derzeit jedoch keine Kostenschätzungen vor (DBI 2014, S. 3). Die Grenzen zur Potenzialbestimmung der ersten Kaskadenstufe ergeben sich damit in Abhängigkeit des verfügbaren Gasnetzes und den derzeit verfügbaren Gasspeichern (EIV 1P, S. 20).<sup>377</sup> Trotz des hohen und breit angelegten Forschungsbereichs, wird es gemäß Expertenmeinung mittelfristig keine Wasserstoffwirtschaft in NRW oder in Deutschland geben, vielmehr sollen die einzelnen Nutzungspfade des regenerativen H<sub>2</sub> jeweils einzelne Bausteine in einem diversifizierten Energieträgersystem sein (EIV 4P, S. 8).

---

<sup>376</sup> Für die theoretischen Grundlagen zum Maß der Unsicherheit bei Innovationsinvestitionen siehe Kapitel 4.3.1.2. Als eine weitere Möglichkeit zur Begegnung der Unsicherheit wird die räumliche Verteilung und Skalierung der P2G-Anlagen aufgeführt: Kleine, lokal begrenzte P2G-Anlagen könnten dazu beitragen ein Stadtquartier autark mit Energie zu versorgen (EIV 3P, S. 34). Als konzeptionelles Vorbild könnte dabei z. B. die Modellstadt Bottrop „Innovation City Ruhr“ Pate stehen. Für ausführliche Informationen zur Modellstadt Bottrop »Innovation City Ruhr« wird auf ICM (o. J.), Wuppertal Institut (o. J.a) und Wuppertal Institut (o. J.b) verwiesen.

<sup>377</sup> Siehe für eine ausführliche Diskussion des Beimischungsanteils regenerativen H<sub>2</sub> im Erdgasnetz Kapitel 7.5.2.2.



Die Studie von Schütz/Härtel (2015, S. 157) verdeutlicht anhand der vielzähligen H<sub>2</sub>-Verwendungstechnologien trotz sinkender Bedarfsmengen industrieller Nachfrage, auch in Zukunft einen großen Absatzmarkt für (regenerativen) H<sub>2</sub>. Die nachfolgende Tabelle zeigt den prognostizierten H<sub>2</sub>-Bedarf in Deutschland zwischen den Jahren 2015 und 2050 für die zentralen Anwendungsgebiete der Ammoniak- und Methanolherstellung sowie der Raffinerien.<sup>378</sup>

**Tabelle 23: Prognose H<sub>2</sub>-Bedarf und benötigte Elektrolyse-Leistung in Deutschland**

Sektor	2015	2020	2030	2040	2050
	H <sub>2</sub> -Bedarf in TWh H <sub>2,Hu</sub>				
Ammoniakherstellung	19,6	20,2	19,9	19,8	19,9
Methanolherstellung	12,7	12,6	12,4	12,3	12,1
Raffinerien	24,8	21,1	13,9	8,1	4,2
<b>Summe</b>	<b>57,1</b>	<b>53,8</b>	<b>46,2</b>	<b>40,2</b>	<b>36,3</b>
	Benötigte Elektrolyse-Leistung in GW <sub>el</sub>				
Ammoniakherstellung	14,4	14,4	14,2	14,2	14,2
Methanolherstellung	9,1	9,0	8,9	8,8	8,7
Raffinerien	17,7	15,0	9,9	5,8	3,0
<b>Summe</b>	<b>40,8</b>	<b>38,4</b>	<b>33,0</b>	<b>28,7</b>	<b>25,9</b>

Quelle: Eigene Darstellung nach Öko-Institut (2014, S. 28).

### 7.3.2 P2G-Innovationskaskade Stufe 2: Methanisierung

Die zweite Stufe der P2G-Innovationskaskade ist die Methanisierung eines Teils des in der ersten Kaskadenstufe gewonnen regenerativen H<sub>2</sub>. Der zu methanisierende Teil des H<sub>2</sub> ist in Anhängigkeit der Potenzialausschöpfungsgrenze der ersten Kaskadenstufe zu definieren – d. h. (erst) wenn der Beimischungsanteil im Gasnetz erschöpft ist und auch bei den H<sub>2</sub>-Nutzungspfaden eine Sättigung eintritt, ist der übrige Teil des regenerativen H<sub>2</sub> zu methanisieren. (EIV 1PC, S.10), (EIV 1P, S. 20), (EIV 2P, S. 9) Denn solange die Einspeisung eines CO<sub>2</sub>-freien Produktes (regenerativer H<sub>2</sub>) möglich ist, besteht kein vertretbarer Anlass ein CO<sub>2</sub>-neutrales Produkt (synthetisches CH<sub>4</sub>) in das Gasnetz einzuspeisen (EIV 1P, S. 21f.). Bei der synthetischen CH<sub>4</sub>-Erzeugung erweitert sich die Wertschöpfungskette des regenerativen H<sub>2</sub> um die Zuführung von CO<sub>2</sub> – aus einem CO<sub>2</sub>-freien Gas wird damit ein CO<sub>2</sub>-neutrales Gas.<sup>379</sup> Das synthetische CH<sub>4</sub> kann dann in das Erdgasnetz eingespeist werden, als Langzeitspeicher oder z. B. direkt im Verkehrssektor genutzt werden (EIV 1PC, S.10), (Öko-Institut 2014, S. 12f.).

Als CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen für die Herstellung synthetischen CH<sub>4</sub> kommen grundsätzlich mehrere Quellen in Frage, sofern sie „gewisse Mindestanforderungen (notwendige Reinheit, Volumenströme oder regionale Verfügbarkeit)“ (Fraunhofer UMSICHT/Fraunhofer IWES 2014, S. 59) erfüllen.<sup>380</sup> Damit stehen im Jahr 2014 prinzipiell 793 Mio. t CO<sub>2</sub><sup>381</sup> in den Kategorien Energiewirtschaft (341,2 Mio. t), Verkehr (159,5 Mio. t)<sup>382</sup>, Haushalte und Kleinverbraucher (122,2 Mio. t)<sup>383</sup>, verarbeitendes Gewerbe (118,7 Mio. t), Industrieprozesse (44,8 Mio. t), Landwirtschaft (2,9 Mio. t), diffuse Emissionen aus Brennstoffen (2,6 Mio. t) sowie Militär und weitere kleine Quellen (1 Mio. t) zur Verfügung (UBA

<sup>378</sup> Siehe auch Schütz/Härtel (2015, S. 153f.)

<sup>379</sup> Siehe ausführlich Kapitel 7.1.

<sup>380</sup> Für die Diskussion grundsätzlicher CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen wird zusätzlich auf Sterner/Stadler (2014, S. 415-422) verwiesen.

<sup>381</sup> Ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft.

<sup>382</sup> Ohne land- und forstwirtschaftlichen Verkehr.

<sup>383</sup> Mit land- und forstwirtschaftlichem Verkehr sowie Militär.

2016b). Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Entwicklung potenziell zur Verfügung stehender CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen zur Herstellung synthetischen CH<sub>4</sub>.<sup>384</sup>

**Tabelle 24: Mögliche CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen zur Herstellung synthetischen CH<sub>4</sub>**

CO <sub>2</sub> -Quellen	In Mio. t CO <sub>2</sub>	2030	2050
<b>Biogen</b>			
Biogasaufbereitung und Biomethanolherstellung		1 - 11	1 - 11
<b>Stofflich-industrielle Prozesse</b>		37,114	2,206
Zementklinkerproduktion		9,380	0
Kalksteinproduktion		4,434	0
Glasproduktion		0,859	0,902
Keramikproduktion		0,309	0,309
Sodaasche		0,323	0,323
Ammoniakproduktion		5,950	0
Karbidproduktion		0,017	0,017
Katalysatorenabbrand		1,211	0
Umwandlungsverluste		1,528	0
Methanolherstellung		0,574	0
Rußproduktion		1,073	0
Eisen- und Stahlproduktion		10,796	0,131
Herstellung von Ferrolegierungen		0,006	0,006
(Primär-)Aluminiumproduktion		0,655	0,519
<b>Summe (gerundet)</b>		<b>38 - 48</b>	<b>3 - 13</b>

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Öko-Institut (2014, S. 16, 19, 22).<sup>385</sup>

Neben der potenziellen Verfügbarkeit ist die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Bezugsquelle von zentraler Bedeutung. Mit steigender CO<sub>2</sub>-Konzentration sinkt der Strombedarf für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung, wie die nachfolgende Tabelle für ausgewählte CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen bestätigt. Die Gegenüberstellung zeigt zudem, dass für eine CO<sub>2</sub>-Kreislaufnutzung in einem Gaskraftwerk ein höherer Strombedarf für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung erforderlich ist, als z. B. bei der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus industriellen Prozessen (Ammoniak-, Eisen-, Stahl- und Zementherstellung) (Öko-Institut 2014, S. 23).

**Tabelle 25: CO<sub>2</sub>-Konzentration und Strombedarf der CO<sub>2</sub>-Abscheidung für ausgewählte CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen**

CO <sub>2</sub> -Quelle	CO <sub>2</sub> -Konzentration	Strombedarf CO <sub>2</sub> -Abscheidung (kWh/tCO <sub>2</sub> )
Ammoniak	100 %	0
Eisen und Stahl	27 %	62
Zement	25 %	88
Kohlekraftwerk	14 %	226
Erdgaskraftwerk	4 %	450
Atmosphäre	0,04 %	2280

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Öko-Institut (2014, S. 23).

<sup>384</sup> Weitere Potenzialabschätzungen von CO<sub>2</sub>-Quellen für die Methanisierung stellen beispielsweise Trost et al. (2012) bereit.

<sup>385</sup> Es ist darauf hinzuweisen, dass die Berechnungen auf unterschiedlichen Szenarienannahmen basieren. Dieses begründet auch die große Spannweite potenziell zur Verfügung stehender CO<sub>2</sub>-Quellen biogenen Ursprungs (Biogasaufbereitung und Biomethanolherstellung). (Öko-Institut 2014, S. 16f.)

Von den Experten werden die grundsätzlich zur Verfügung stehenden CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen disparat beurteilt. Positiv werden ökologisch akzeptable CO<sub>2</sub>-Quellen biogenen Ursprungs aus Biogasanlagen, Biomasse-Vergasungsanlagen und Klärgruben sowie CO<sub>2</sub> aus ökologisch akzeptablen Produktionsprozessen wie z. B. aus Brauereien bewertet (EIV 1P, S. 21, 23), (EIV 1PC, S. 5, 14). Ebenfalls positiv wird die CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Atmosphäre bewertet (EIV 2P, S. 18).<sup>386</sup> Unter der Annahme, dass trotz derzeit bestehender Einsparpotenziale auch in einem post-fossilen Energiezeitalter CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Produktionsprozesse entstehen, werden diese unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>387</sup> die z. B. aus der Müllverbrennung und der Verbrennung von Kalk<sup>388</sup> hervorgehen, als eine sinnvolle CO<sub>2</sub>-Quelle für die Produktion synthetischen CH<sub>4</sub> betrachtet (EIV 1PC, S. 14). Abschließend wird das CO<sub>2</sub> als Bezugsquelle positiv bewertet, dass über einen Kreislaufprozess von einem Gaskraftwerk abgeschieden und verwendet wird, sofern das Gaskraftwerk unter Verwendung regenerativen H<sub>2</sub> betrieben wird (ebd.). Gleiches gilt für die Abscheidung und Nutzung von CO<sub>2</sub> aus industriellen Prozessen, sofern auch hier regeneratives Gas verwendet wird (EIV 1PA, S. 8).

Negativ werden hingegen CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen über die CO<sub>2</sub>-Abscheidung<sup>389</sup> in Braunkohlekraftwerken (EIV 1P, S. 21) und der Chemieindustrie (EIV 2P, S. 18) beurteilt. Beides ist gemäß Expertenmeinung zu aufwendig<sup>390</sup>, zudem wolle man der Braunkohleindustrie kein grünes respektive ökologisches Feigenblatt<sup>391</sup> schenken (EIV 1P, S. 18, 21). Bevor hingegen das CO<sub>2</sub> z. B. aus der Energie- und Chemieindustrie ungenutzt in die Atmosphäre entweicht, sollte es dessen ungeachtet im Sinn eines kleineren Übels zur Herstellung von synthetischem CH<sub>4</sub> genutzt werden (ebd., S. 23). Auf der anderen Seite wird CO<sub>2</sub> aus ökologisch bedenklichen Produktionsprozessen (fossiles Gas, Rauchgas etc.) nicht grundsätzlich ausgeschlossen und als eine u. U. nützliche und sinnvolle Brückenfunktion betrachtet (EIV 1PC, S. 14f.), (EIV 1PA, S. 8). Von wesentlicher Bedeutung sei nicht die Biogenität des CO<sub>2</sub>,<sup>392</sup> sondern vielmehr die Stromnutzung aus fluktuierenden

<sup>386</sup> An dieser Stelle ist bei der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Atmosphäre auszugsweise der Synergieeffekt „der Verwendung von Sauerstoff aus der Elektrolyse als Vergasungsmittel oder Verbrennungsgas in Gaskraftwerken [hervorzuheben], was eine einfachere Abtrennung von CO<sub>2</sub> und dessen Recycling für die Methanisierung ermöglicht“ (DLR et al. 2012, S. 98).

<sup>387</sup> Unvermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen werden an dieser Stelle als CO<sub>2</sub>-Emissionen unvermeidbarer Produktionsprozesse verstanden, die auch trotz technologischen Fortschritts in einer post-fossilen Zeit zur Aufrechterhaltung eines funktionierenden Gesellschaftssystems emittiert werden.

<sup>388</sup> Im weitesten Sinn der Wirtschaftszweig 23 (WZ-2008): „Herstellung von Glas, Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“ (Statistisches Bundesamt 2007, S. 14-16).

<sup>389</sup> Für einen Überblick und eine Bewertung der CO<sub>2</sub>-Abscheideverfahren für Kraftwerke und Industrieanlagen (*post-combustion, oxyfuel, pre-combustion*) sowie Gasseparationsprozessen der zweiten Generation (z. B. Membranverfahren, redoxbasierten Verfahren (*carbonate looping, chemical looping*)) wird exemplarisch auf Görner (2015, S. 266-388), Scherer et al. (2012), Kuckshinrichs et al. (2010, S. 5-21, 113-117), Birnbaum et al. (2010, S. 120-162) und Katz (2010, S. 51-54) verwiesen. Für eine verfahrensspezifische Diskussion zur Nachrüstung einer CO<sub>2</sub>-Abscheidung in Kraftwerken und Industrieanlagen (*retrofitting*) wird exemplarisch auf Görner (2015, S. 359-368), Kuckshinrichs et al. (2010, S. 21-24) und Fishedick et al. (2006) verwiesen.

<sup>390</sup> Der Mehraufwand wird durch die Notwendigkeit zusätzlichen Equipments, einer Reihe zusätzlicher Anlagen und dem CO<sub>2</sub>-Transport begründet (EIV 2P, S. 18).

<sup>391</sup> Das „ökologische Feigenblatt“ wird auch z. B. im Rahmen der *Carbon Capture and Storage* (CCS) Diskussion verwendet (BUND NRW 2009).

<sup>392</sup> Einschränkung anzumerken ist, dass im Bezug auf die Behandlung im Emissionshandel eine Unterscheidung zwischen biogenem und fossilem CO<sub>2</sub> ein nicht zu vernachlässigender Kostenfaktor sein kann. Die Nutzung von biogenem CO<sub>2</sub> ist von der Abgabepflicht für Emissionszertifikate befreit, bei der Nutzung von fossilem CO<sub>2</sub> welches in nicht EU-ETS-Anlagen weitergeleitet wird oder welches als Rohstoff für Produkte genutzt wird, muss der Abgabepflicht hingegen nachgekommen werden. Eine Ausnahme besteht u. a. bei der CCS-Nutzung des fossilen CO<sub>2</sub>. (Öko-Institut 2014, S. 20f.)

erneuerbaren Energiequellen (EIV 3P, S. 5).<sup>393</sup> Da grünes Gas derzeit noch teuer und wenig verfügbar ist, kann sich ein Experte überdies vorstellen, dass auch graues Gas als Brückenfunktion genutzt wird (EIV 2P, S. 10). Die Vorteilhaftigkeit einer zeitlich beschränkten und allein zur Technologieentwicklung abgestellte Brückenfunktion von grauem Gas, kann an dieser Stelle nicht eindeutig beantwortet werden.

Gemäß der gegenwärtig geltenden Rechtsvorschriften ist die Nutzung von fossilem CO<sub>2</sub> als Brückenfunktion durch den § 3 Nr. 10c EnWG begrenzt, wonach synthetisches CH<sub>4</sub> mit Biogas gleichgestellt werden kann:

„(...) wenn der zur Elektrolyse eingesetzte Strom und das zur Methanisierung eingesetzte Kohlendioxid oder Kohlenmonoxid jeweils nachweislich weit überwiegend aus erneuerbaren Energiequellen im Sinn der Richtlinie 2009/28/EG (ABl. L 140 vom 5.6.2009, S. 16) stammen“.

Eine konkrete Definition des Passus »weit überwiegend« ist im EnWG und der Richtlinie 2009/28/EG nicht enthalten. Gemäß Expertenmeinung wird dieser Passus mit einem Wert von mindestens 80 % gleichgestellt (EIV 1PC, S. 15). Diese beschränkende Rechtsvorschrift wird als eine Rahmenbedingung mit hemmender Wirkung betrachtet (EIV 1PC, S. 14), (EIV 1PA, S. 8), welche gleichzeitig eine lenkende Wirkung zur forcierten Nutzung von CO<sub>2</sub> aus biogenem Ursprung entfaltet (EIV 1PC, S. 14).<sup>394</sup>

Für eine langfristige Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen zur Herstellung synthetischen CH<sub>4</sub> ist an dieser Stelle anzufügen, dass neben der eingeschränkten Verfügbarkeit biogener CO<sub>2</sub>-Quellen, mit zunehmenden Emissionsminderungen als Resultat einer ambitionierten Klimaschutzpolitik, auch insgesamt die Verfügbarkeit konzentrierter CO<sub>2</sub>-Quellen sinkt (Öko-Institut 2014, S. 3). Dieses hätte zur Folge, dass zur Bereitstellung einer CO<sub>2</sub>-Quelle für die Methanisierung auf lange Sicht die energetisch, technisch und finanziell aufwändigen Verfahren der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Atmosphäre<sup>395</sup> genutzt werden müssten (ebd.).<sup>396</sup>

Der hohe Aufwand der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Atmosphäre lässt sich auszugsweise anhand der Kosten pro abgeschiedener Tonne CO<sub>2</sub> verdeutlichen.<sup>397</sup> Derzeitige Kostenab-

---

<sup>393</sup> Eine zentrale Begründung für die Bevorzugung fluktuierender gegenüber nicht-fluktuierenden erneuerbaren Stromquellen kann aus dem Systemnutzen einer P2G-Anlage abgeleitet werden: Nicht-fluktuierende erneuerbaren Energieanlagen wie z. B. Biogasanlagen können dargebotsabhängig gesteuert werden, so dass bei einem Strombezug aus einer Biogasanlage kein Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes über die P2G-Anlage erfolgt und dieser zusätzliche Systemnutzen nicht eintritt (EIV 1P S. 2, 23).

<sup>394</sup> Siehe für eine ergänzende Betrachtung des grauen Gases aus ökonomischer und ökologischer Sicht Kapitel 7.5.3.4.

<sup>395</sup> Für einen Überblick der Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Atmosphäre (Adsorption, Absorption, Kondensation, Membranabtrennung) wird exemplarisch auf Sterner/Stadler (2014, S. 417f.) und Sterner (2009, S. 113-116) verwiesen.

<sup>396</sup> Gleichzeitig führt die starke Begrenzung biogener CO<sub>2</sub>-Quellen dazu, dass CO<sub>2</sub> als ein Rohstoff zu betrachten und einzusetzen ist (EIV 1PC, S. 14f.). Für das sogenannte *Carbon Capture and Utilization* (CCU) wird vertiefend auf Wuppertal Institut (2015b) und (2015c) verwiesen.

<sup>397</sup> Einschränkend ist die fokussierte Betrachtung der Kosten anzumerken. Für eine ganzheitliche Bewertung der CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen ist eine Multikriterielle Analyse und Bewertung notwendig, die neben ökonomischen, auch Kriterien wie z. B. den energetischen Aufwand, den Stand und die potenzielle Verfügbarkeit der Technik heranzieht sowie ökologische und soziale Wechselwirkungen betrachtet. Da eine ganzheitliche Bewertung der CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen für P2G-Anlagen jedoch nicht den Fokus dieser Arbeit darstellt, sei diesseits auf die Multikriterielle Analyse zu CCS von Katz (2010) und Fishedick/Görner/Thomeczek (2015, Teil V) sowie auf die Multikriterielle Analyse für die Wertschöpfungskette der CO<sub>2</sub>-Wiederverwendung des Wuppertal Instituts (2015c) verwiesen, gleichwohl die Studien nicht ausschließlich die CO<sub>2</sub>-Abscheidung analysieren.

schätzungen zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Atmosphäre variieren zwischen 100,- und 1.000,- US\$/t CO<sub>2</sub>:

100,- US\$/t CO<sub>2</sub> (Stolaroff/Keith/Lowry 2008, S. 2734),

100,- US\$/t CO<sub>2</sub> (Keith/Ha-Duong/Stolaroff 2006),

600,- US\$/t CO<sub>2</sub> (Ranjan/Herzog 2011, S. 2873f.), (Socolow et al. 2011, S. i),

1.000,- US\$/t CO<sub>2</sub> (House et al. 2011, S. 20433).<sup>398</sup>

Eine Kostendegression wird mit einem Wert i. H. v. 300,- US\$/t CO<sub>2</sub> für das Jahr 2050 erwartet (House et al. 2011, S. 20433). Die Kostenabschätzung für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Atmosphäre liegt damit um ein Vielfaches höher, als die für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung in Kraftwerken und industriellen Anlagen. Wie die nachfolgende Tabelle zeigt, werden die Kosten für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung in Kraftwerken und Industrieanlagen in Abhängigkeit des Abscheideverfahrens auf 20,- bis 40,- €/t CO<sub>2</sub> geschätzt. Die Kostenabschätzung für eine CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus einer Rohbiogasanlage wird mit 90,- €/t CO<sub>2</sub> kalkuliert (Troost et al. 2012, S. 180).

**Tabelle 26: Kostenabschätzung der CO<sub>2</sub>-Abscheidung in Kraftwerken und Industrieanlagen**<sup>399</sup>

Prozess	Verfahren	€/t CO <sub>2</sub>	Quelle
Kohlekombikraftwerk (IGCC)	<i>pre combustion</i>	20	DECHEMA (2008, S. 10)
Kohlekombikraftwerk (IGCC)	<i>pre combustion</i>	26	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)
Kohlekraftwerk (Kohlenstaub)	<i>post combustion</i>	29	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)
Kraftwerk (konventionell)	k. A.	40-50	DECHEMA (2008, S. 10)
Erdgaskombikraftwerk (NGCC)	<i>pre combustion</i>	43	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)
Erdgaskombikraftwerk (NGCC)	<i>post combustion</i>	37	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)
Erdgaskraftwerk (Dampf)	<i>post combustion</i>	30	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)
Zementherstellung	k. A.	28	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)
Zementherstellung	<i>oxyfuel</i>	32,60	ECRA (2009, S. 73)
Eisen- und Stahlherstellung	k. A.	29	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)
Ammoniak (Rauchgas)	k. A.	36	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)
Ammoniak (reines CO <sub>2</sub> )	k. A.	3	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)
Raffinerie	k. A.	29-42	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)
H <sub>2</sub> (Rauchgas)	k. A.	36	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)
H <sub>2</sub> (reines CO <sub>2</sub> )	k. A.	3	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)
Petrochemie	k. A.	32-36	Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5)

Quelle: Eigene Darstellung.<sup>400</sup>

Die dargestellten Kostenabschätzungen der CO<sub>2</sub>-Abscheidung zeigen, dass die Abscheidung aus der Atmosphäre zukünftig „ohne substanzielle technologische Fortschritte (...) im Vergleich mit anderen CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionsmaßnahmen (...) nicht wettbewerbsfähig“ (Deutscher Bundestag 2014a, S. 57) sein wird.

<sup>398</sup> „Diese Kostenschätzungen beinhalten keine Aufwendungen für Transport und Lagerung des CO<sub>2</sub> bzw. für die notwendige Infrastruktur.“ (Deutscher Bundestag 2014a, S. 57)

<sup>399</sup> Hervorzuheben ist an dieser Stelle die deutliche Kostenreduktion verglichen mit den Kostenabschätzungen gegen Ende des 20. Jh. und zu Beginn des 21. Jh.: So wurden die Kosten der CO<sub>2</sub>-Abscheidung eines IGCC-Kraftwerks noch auf rd. 100 €/t CO<sub>2</sub> und bei einem konventionellen Kraftwerk auf rd. 100-250 €/t CO<sub>2</sub> geschätzt (Hendricks/Turkenburg 1997, S. 16f.), (Plötz 2003, S. 5).

<sup>400</sup> Vgl. für die Daten zu den Industrieanlagen nach Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5) auch Deutscher Bundestag (2008, S. 27) und Görner (2015, S. 372), die sich ebenfalls auf die Daten von Hendriks/Graus/Bergen (2004, S. 5) beziehen.

### 7.3.3 P2G-Innovationskaskade Stufe 3: Langzeitspeicher

Die dritte Stufe der P2G-Innovationskaskade ist die Langzeitspeicherung des in P2G-Anlagen erzeugten regenerativen H<sub>2</sub> und des synthetischen CH<sub>4</sub>. Die Langzeitspeicherung bezieht sich dabei sowohl auf die Dauer der Speicherung, als auch auf den Zeitpunkt des Vollzugs der Speicherung.

„Langzeitspeicher halten Energie über viele Tage und Wochen bis hin zu mehreren Monaten und Jahren vor (taus  $\geq$  24 h). Dadurch können saisonale Schwankungen wie lang anhaltende Windflauten, geringe Wassermengen in der Wasserkraft oder längere dunkle Perioden in der Energieversorgung ausgeglichen werden. Sie weisen in der Regel ein großes Verhältnis zwischen Energie und Leistung auf, besitzen sehr hohe Speicherkapazitäten mit geringen Speicherverlusten und haben geringe Zyklenzahlen und Zykluswirkungsgrade.“ (Sternier/Stadler 2014, S. 41)<sup>401</sup>

Der Zeitpunkt des Vollzugs der Speicherung und seiner Notwendigkeit steht in einem Abhängigkeitsverhältnis zum Ausbau (fluktuierender) erneuerbarer Energien sowie der Ausreizung der ersten beiden Stufen der P2G-Innovationskaskade in den einzelnen Nutzungspfaden. Wenn mit einem hohen<sup>402</sup> und weiter steigenden Anteil erneuerbarer Energien

- das Potenzial der direkten Nutzung erneuerbarer Energien in der Basisstufe,
- die H<sub>2</sub>-Beimischung im Erdgasnetz (P2G, P2G2P) und die sektorübergreifende H<sub>2</sub>-Nutzung (P2I, P2H, P2M) in der ersten Stufe der Innovationskaskade,
- sowie die Einspeisung des synthetischen CH<sub>4</sub> ins Erdgasnetz und die sektorübergreifende CH<sub>4</sub>-Nutzung (P2I, P2H, P2M) in der zweiten Stufe der Innovationskaskade

nahezu ausgereizt sind, eröffnet sich das Potenzial für die Langzeitspeicherung von regenerativem H<sub>2</sub> und synthetischem CH<sub>4</sub> (P2G, P2G2P) in der dritten Stufe der P2G-Innovationskaskade.

Grundsätzlich stehen für die Langzeitspeicherung von EE-Gasen unterschiedliche unterirdische Möglichkeiten<sup>403</sup> zur Verfügung, die in der nachfolgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt sind.

---

<sup>401</sup> In Abgrenzung zu einem Langzeitspeicher speichert ein Kurzzeitspeicher „Energie von wenigen Nanosekunden bis hin zu einem ganzen Tag (taus  $\leq$  24 h), wobei die meisten Kurzzeitspeicher als Stunden- und Tagesspeicher ausgelegt sind. Sie weisen im Stromsektor in der Regel ein Verhältnis zwischen Energie und Leistung (E/P-Ratio) von 1-10 sowie hohe Zyklenzahlen und Zykluswirkungsgrade auf. Aufgrund dieser Eigenschaften werden sie vor allem zum Ausgleich von kurzfristigen Schwankungen im Stromnetz eingesetzt.“ (Sternier/Stadler 2014, S. 41)

<sup>402</sup> Schätzungen gehen von einem Anteil erneuerbarer Energien i. H. v. 80 % (ZSW 2014, S. 63) bzw. 85 % (Sternier/Stadler 2014, S. 64) aus.

<sup>403</sup> Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle aufgeführt, dass neben der unterirdischen Speicherung die Option der oberirdischen Gasspeicherung besteht. Bedingt durch kleine Speichervermögen und kurzzeitige Bedarfsausgleiche sind oberirdische Gasspeicher allerdings nicht für die Langzeitspeicherung geeignet (INES o. J.). Oberirdische Gasspeicher können in Folge dessen eher der Kategorie der Kurzzeitspeicher zugeordnet werden.

**Tabelle 27: Unterirdische Langzeitspeicher für H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>**

Art	Kurzbeschreibung	Status quo (2016)*	Potenzialabschätzung
<b>Porenspeicher (CH<sub>4</sub>)</b>			
Ausgeförderte Öl- oder Gaslagerstätten	Natürliche Hohlräume in porösem Gestein, ursprünglich Öl- oder Erdgasgefüllt	12 Standorte in Deutschland mit insg. 8.921 Mio. m <sup>3</sup> (V <sub>n</sub> ) max. nutzbarem Arbeitsgas	Weltweit Nr. 1 bei Erdgasspeichern
Aquiferspeicher	Natürliche Hohlräume in porösem Gestein, ursprünglich Wassergefüllt	6 Standorte in Deutschland mit insg. 505 Mio. m <sup>3</sup> (V <sub>n</sub> ) max. nutzbarem Arbeitsgas	Weltweit Nr. 2 bei Erdgasspeichern
<b>Kavernenspeicher (H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>)</b>			
Salzkavernen	Künstlich erstellte Hohlräume	266 Einzelspeicher an 32 Kavernenspeicherstandorten in Deutschland mit insg. 14.758 Mio. m <sup>3</sup> (V <sub>n</sub> ) max. nutzbarem Arbeitsgas	Nr. 3 bei Erdgasspeichern Nr. 1 bei H <sub>2</sub> -Speichern
Aufgelassene Bergwerke	Nutzung vorhandener, stillgelegter Bergwerke		Wenig Potential
Felskavernen	Bergmännisch aufgefahrener Hohlraum mit gasdichter Auskleidung	In Planung / im Bau: 52 Einzelspeicher an 5 Kavernenspeicherstandorten in Deutschland	Umsetzbar, hohe Kosten, wenig Potential

Quelle: Eigene, erweiterte Darstellung in Anlehnung an PLANET et al. (2014, S. 116-119, 121-123), Crotonino (2011, S. 9), INES (o. J.), \*LBEG (2017, S. 48-50).<sup>404</sup>

Das geologische Potenzial für die H<sub>2</sub>-Speicherung in Salzkavernen ist in Deutschland, trotz der räumlichen Zentrierung im Norden des Landes, sehr groß (EIV 1P, S. 20), (EIV 1PC S. 18).<sup>405</sup> So groß, dass Deutschland gemäß Expertenmeinung die Wasserstoff-Batterie Europas werden und die rückverstromte Energie bedarfsgerecht verkaufen könnte (EIV 1P, S. 20). Das ausreichende Speicherpotenzial bestätigt auch das Vollversorgungsszenario „100 % Strom aus erneuerbaren Quellen“ (UBA 2010, S. 113):

„Wir konnten in der Simulation zeigen, dass die in Deutschland vorhandenen Speicherpotentiale sowohl für eE-Methan als auch für eE-Wasserstoff den ermittelten Speicherbedarf bei weitem übertreffen. Dies gilt auch für den mehrjährigen Ausgleich von Einspeiseschwankungen.“

<sup>404</sup> Für eine vertiefende Darstellung der unterirdischen Arten von Erdgasspeichern wird exemplarisch auf EWI et al. (2015, S. 19-25) und Planet et al. (2014, S. 85-93, 116-119) verwiesen. Kenndaten zur deutschen Erdgasspeicherung und eine Übersicht bestehender und im Bau befindlicher Untertagegasspeicher sind im Bericht »Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2016« enthalten (LBEG 2017, S. 45-50).

<sup>405</sup> Wissenschaftler der KBB Underground Technologies GmbH, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und des Instituts für Geotechnik der Leibniz-Universität Hannover untersuchen in dem Forschungsprojekt »InSpEE-DS« welche Salzformationen deutschlandweit unter welchen Kriterien am besten zur H<sub>2</sub>-Speicherung geeignet sind (FIZ Karlsruhe 2017, o. S.). Das Akronym »InSpEE-DS« steht für „Informationssystem Salz: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) – Doppelsalinare und flach lagernde Salzsichten“ (ebd.). Das Forschungsprojekt hat eine Laufzeit von Oktober 2015 bis März 2019 (ebd.).

Die nachfolgende Tabelle fasst das geologische Potenzial der Poren- und Kavernenspeicher in Deutschland für das Jahr 2050 zusammen.<sup>406</sup>

**Tabelle 28: Potenzialabschätzung Kavernen- und Porenspeicher 2050**

<b>max. nutzbares Arbeitsgas</b>	<b>Kavernenspeicher</b> Mio. m <sup>3</sup> (V <sub>n</sub> )	<b>Porenspeicher</b> Mio. m <sup>3</sup> (V <sub>n</sub> )	<b>Summe</b> Mio. m <sup>3</sup> (V <sub>n</sub> )	<b>Summe</b> TWh <sub>th</sub>
regenerativer H <sub>2</sub>	36.800	0	36.800	110,4 <sup>a</sup>
synthetisches CH <sub>4</sub>	36.800	13.600	51.400	514,0 <sup>b</sup>

Quelle: Eigene Darstellung nach UBA (2010, S. 41).

<sup>a</sup> Heizwert H<sub>2</sub> (bei Normaldruck) = 3 kWh/m<sup>3</sup>

<sup>b</sup> Heizwert CH<sub>4</sub> (bei Normaldruck) = 10 kWh/m<sup>3</sup>

Damit ist die potenzielle Speicherkapazität für die EE-Gase H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> (88.200 Mio. m<sup>3</sup>(V<sub>n</sub>) max. nutzbares Arbeitsgas) im Vergleich zu den derzeit betriebenen Untertage speichern (24.184 Mio. m<sup>3</sup>(V<sub>n</sub>) max. nutzbares Arbeitsgas)<sup>407</sup> sehr groß und wird auch im Fall eines starken Ausbaus von P2G-Anlagen als ein zukünftig nicht limitierender Faktor betrachtet (EIV IPC, S. 19). Anzumerken sei an dieser Stelle, dass sich die Langzeitspeicherung (P2G2P) auf die Regelenergie-bereitstellung reduziert, welches mit einer niedrigen Anlagenauslastung einhergehen kann (EIV 2P, S. 23). Diese Art der Systemdienstleistung bedarf noch einer Bepreisung sowie Einordnung in das Energiewirtschaftssystem (ebd.).

Bedingt durch die mit P2G-Langzeitspeichern verbundene lange Investitions- und Planungsphase (15 - 20 Jahre) sowie eine langfristige Betriebsphase (50 Jahre)<sup>408</sup>, ist es von zentraler Bedeutung, bereits heute mit dem Aufbau von (Langzeit-)Speichern für regenerativen H<sub>2</sub> und synthetisches CH<sub>4</sub> aus P2G-Anlagen zu beginnen (EIV 2P, S. 15f.). Dieses kann in Zukunft zu einem verstärkten Wettbewerb zwischen den verschiedenen (Langzeit-)Speichertechnologien führen, welches insbesondere bei Langzeitspeichern auf Grund des langen Planungshorizontes zu Unsicherheiten bei den Investitionsentscheidungen führen kann. Die Zeitspanne bis die Speicher zum gegebenen Zeitpunkt eines hohen Anteils fluktuierender erneuerbarer Energien zur Verfügung stehen, ist gering – bereits heute muss eine Planungs- und Investitionssicherheit geschaffen werden, damit die notwendigen Technologieentwicklungen bis zu diesem Zeitpunkt abgeschlossen und die Anlagen fertig gestellt sind (ebd., S. 17).

Zusammengefasst ermöglichen die drei Stufen der P2G-Innovationskaskade (regenerativer H<sub>2</sub>, synthetisches CH<sub>4</sub>, Langzeitspeicher) den Strom auf Basis erneuerbarer Energien „so hocheffizient wie möglich zu nutzen“ (EIV IPC, S. 10) und Lerneffekte für die kommenden Stufen der Innovationskaskade(n) zu generieren, gleichwohl die Effizienz (Wirkungsgrad) mit jeder Kaskadenstufe sinkt, wie auch die Abbildung 44: Innovationskaskade P2G visualisierte.

<sup>406</sup> Für eine weiterführende Diskussion zum Speicherbedarf im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor wird auf Sterner/Stadler (2014) verwiesen.

<sup>407</sup> Kumulierter Wert der Poren- und Kavernenspeicher des Jahres 2016 (LBEG 2017, S. 48-49). Siehe die vorangegangene Tabelle 27: Unterirdische Langzeitspeicher für H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>.

<sup>408</sup> Annahme: Äquivalente Zeitzyklen konventioneller Erdgasspeicher (EIV 2P, S. 15f.).



Mit der Innovation von heute bereits für die Innovation von morgen lernen – dieses bestätigt auch die Greenpeace Energy (2017):

„Der Einstieg in diese fundamental wichtige Sektorkopplungstechnologie muss heute beginnen, damit sie infolge von Lerneffekten und Entwicklungsschüben kostengünstig verfügbar ist, wenn sie für die Versorgungssicherheit in Deutschland unverzichtbar ist.“

Aus Expertensicht ist das technologische Potenzial zur Umsetzung aller drei Stufen der P2G-Innovationskaskade vorhanden, jedoch momentan „unter den heutigen Rahmenbedingungen nicht wirtschaftlich“ (EIV IPC, S. 10) darstellbar. Die Potenziale und Hemmnisse, die mit den Stufen der P2G-Innovationskaskade einhergehen, werden zusammen mit den Chancen und Unsicherheiten in den beiden nachfolgenden Kapiteln vertieft.

## 7.4 Chancen, Potenziale und Treiber

In Anlehnung an die Begriffsdefinition der Unsicherheit<sup>409</sup> wird eine Chance als eine positive Zielverfehlung definiert. Im Gegensatz dazu steht der Begriff des Schadens, der als negative Zielverfehlung definiert ist. Der Fokus dieses Unterkapitels ist die Analyse der treibenden Faktoren und der Potenziale, d. h. die bereits verfügbaren Möglichkeiten, die in eine Chance überführen können.

### 7.4.1 Ausbau erneuerbarer Energien

Die Chancen der Systeminnovation P2G sind zunächst im Vergleich zum Ausbau erneuerbarer Energien zu betrachten, da die Dekarbonisierungsstrategie P2X „an einen stark steigenden Anteil erneuerbarer Energiequellen an der Stromerzeugung geknüpft“ (Wuppertal Institut 2015e, S. 8) ist, der gleichzeitig einen treibenden Faktor darstellt. Durch die systembedingte Notwendigkeit der Verfügbarkeit von Speichern und Flexibilisierungsoptionen steigen die Chancen für den Einsatz von P2G mit der wachsenden Stromproduktion auf Basis (fluktuierender) erneuerbarer Energien. Im Gegensatz zu den klassischen *triggern* einer Innovation (*demand-pull* und *technology-push*)<sup>410</sup> ist der zentrale innovationsauslösende Stimulus für P2G systembedingt (*system-pull*). Wie noch zu zeigen ist, sind über P2G hergestellte erneuerbare Energien-Gase derzeit nicht wirtschaftlich und von der *technology-push* Seite her nicht kraftvoll genug, um in den Markt einzutreten. Bei einem derzeit vorliegenden Anteil erneuerbarer Energien im Strom-Mix besteht zudem momentan auch kein *demand-pull*, der die Systeminnovation P2G von der Marktseite heraus vorantreibt. Dieses bestätigt auch im weitesten Sinn ein Experte, der erklärt, dass der Markt P2G ohne eine von staatlicher Seite geförderte *top-down* orientierte Technologieentwicklung nicht annehmen wird (EIV 3P, S. 19). Dieses kann über die innovationsfördernden Stimuli *regulatory-push* und *regulatory-pull* manifestiert werden. Da P2G noch kein tragfähiges Geschäftsmodell vorweisen kann, bleibt gemäß Expertenmeinung als einziges aktivierbares Kapitel der Unternehmen derzeit das Imagekapital (ebd.).

Grundsätzlich scheint der Ausbau erneuerbarer Energien sicher – wie, wann, wie viel – da herrschen unterschiedliche Meinungen und Prognosen:<sup>411</sup> Luhmann/Schostok/Schaube (2014) haben beispielsweise die Ambitionen der Bundesländer zum Ausbau erneuerbarer Energien untersucht. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass die kumulierten Ausbauambitionen im Jahr 2024 bei 77 % liegen. Extrapoliert für das Jahr 2030 bedeutet dieses einen Anteil von 100 % erneuerbarer Energie an der Primärenergieerzeugung in Deutschland, wovon 65 % über fluktuierende erneuerbare Energien erzeugt werden würden. (ebd., S. 6) „Angesichts dieser ‘Planungen’ erhält eine Quote von 100 % Erneuerbarer Energie an Aktualität und verliert ihren fiktionalen Charakter.“ (ebd.)

Die Experten bewerten ein 100 % erneuerbaren Energien Szenario hingegen disparat: Von einer Illusion (EIV 2P, S. 17) über einen wünschenswerten Zustand der abhängig von der Marktfähigkeit der Speichertechnologien ist (EIV 4P, S. 19) über einen vorstellbaren Zustand, sofern sich die Rahmenbedingungen ändern, da das Potenzial sowohl bei den fluktuierenden erneuerbaren Energien als auch bei den (Wasserstoff-)Speichern vorhanden sei (EIV 1PA, S. 4), bis hin zum Machbaren, sofern Speichertechnologien und insbesondere P2G-Anlagen die Residuallast tragen können (EIV 1P, S. 8, 19).

---

<sup>409</sup> Siehe Kapitel 4.3.1.2.

<sup>410</sup> Siehe Kapitel 4.3.3.

<sup>411</sup> Siehe vertiefend zudem Kapitel 7.5.3.4.

Im Fraunhofer-Ansatz »Geschäftsmodell Energiewende« wird P2G sektorübergreifend eine tragende Rolle zugesprochen: Bei den energiesystemtechnischen Infrastrukturanahmen wird P2G „zur Deckung des sektorübergreifenden Restbedarfs an chemischen Energieträgern“ (Fraunhofer IWES 2014, S. 14) sowie „(...) der verbleibenden ‘positiven Residuallast’ in allen Sektoren (Strom, Wärme, Verkehr) eingesetzt“ (ebd.). Auch das Wuppertal Institut (2015e, S. 8) stellt fest, dass es sich sowohl bei der Elektrifizierung des Energiesystems im Allgemeinen, als auch bei P2X mit der Breite seiner Nutzungspfade um zentrale Dekarbonisierungsstrategien handelt, sofern der dafür eingesetzte Strom aus erneuerbaren Energiequellen stammt und in ausreichenden (überschüssigen) Mengen vorhanden ist.

Anzumerken ist an dieser Stelle, dass gemäß Expertenmeinung auch für den Fall sinkender EE-Fördererquoten der stetig voranschreitende Ausbau erneuerbarer Energien nicht gefährdet ist. Da Deutschland eine solide Industrie im Bereich des Anlagenbaus und zahlreiche (Forschungs-)Projekte im Bereich der erneuerbaren Energien vorweisen kann, wird davon ausgegangen, dass die politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen für den Ausbau erneuerbarer Energien in Zukunft nicht zu stark hemmend ausgestaltet werden, um dieses Potenzial nicht zu gefährden. Dieses führt im Umkehrschluss dazu, dass die mit hohen Anteilen fluktuierender erneuerbarer Energien einhergehenden (Energiesystem-)Probleme, auch in Zukunft weiterhin permanent sein und wachsen werden. (EIV 2P, S. 3)

Mittel- bis Langfristig führt der verstärkte Ausbau fluktuierender erneuerbarer Energien in Folge dessen, zu einem verstärkten *system-pull* auf die Systeminnovation P2G und ihre Nutzungspfade, die in der Lage sind zur Flexibilisierung und Stabilisierung des Strommarktes beizutragen, gleichzeitig die Speicherung (fluktuierender) erneuerbarer Energien ermöglichen, die Sektorkopplung vorantreiben und zur Dekarbonisierung des Energiesystems beitragen.

P2G ist bedingt durch die stetig steigende Stromproduktion aus fluktuierenden erneuerbaren Energien mittelfristig ein wichtiges Element der Energiewende (EIV 2P, S. 3) und langfristig „essenziell zur Erreichung der Klimaschutzziele und der Ziele zum Ausbau erneuerbarer Energien“ (Sternner/Stadler 2014, S. 62). P2G und im Besonderen die Kaskadenstufe der Langzeitspeicherung wird eine zentrale Stellschraube des Stromsystems sein, um die Vorhaltung fossiler *Backup*-Kraftwerke in Zukunft sukzessiv zu verringern und um zu einem Energiesystem basierend auf 100 % erneuerbaren Energien zu gelangen (EIV 4P, S. 24). Aber auch über den Stromsektor hinaus ist P2G „hochgradig wichtig und lukrativ“ (EIV 2P, S. 23). Langfristig wird P2G ab dem Jahr 2050 einen zentralen Stellenwert im Energiesystem<sup>412</sup> einnehmen (EIV 2P, S. 18), (EIV 3P, S. 11), (EIV 1PA, S. 3) – gar wird die Energiewende ohne P2G nicht umzusetzen sein (EIV 1P, S. 19). Damit lautet die zentrale Frage nicht, ob, sondern in welchem Ausmaß P2G-Anlagen benötigt werden. Dieses ist wiederum von der Entwicklung des internationalen und vornehmlich europäischen Energiesystems, der Entwicklung anderer Speichertechnologien sowie der Entwicklung (fluktuierender) erneuerbarer Energien und der einhergehenden Entwicklung der Residuallast abhängig. (ebd.)

---

<sup>412</sup> Im Stromsystem bereits ab dem Jahr 2040 (EIV 3P, S. 10).

## 7.4.2 Sektorkopplung

P2G ist mit einer Reihe von Vorteilen ausgestattet. P2G kann den Änderungen des energiewirtschaftlichen Entwicklungspfades folgen und damit auch in der Zukunft mit unterschiedlichen Erzeugungstechnologien und ihren Anforderungen, wie z. B. einer steuerungsfreundlichen Photovoltaikanlage, teil- bzw. schwachlastfähigen Anlagen oder einem massiven Ausbau der Geothermie harmonieren (EIV 1P, S. 3).

In Bezug auf die geografische Skalierung von P2G sind gemäß Expertenmeinung keine Grenzen gesetzt. Von der punktuellen oder lokalen Nutzung in einem Stadtquartier bis hin zur Batterie Europas bestehen auf Grund der bereits verfügbaren und steuerbaren Gasinfrastruktur vielfältige Möglichkeiten (EIV 1P, S. 20), (EIV 3P, S. 34).<sup>413</sup> Die heute bereits ausgebaute Gasinfrastruktur ist damit ein zentraler Vorteil von P2G für die H<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Einspeisung in den Stufen eins und zwei der P2G-Innovationskaskade. Mit einem Gasnetz von 488.263 km<sup>414</sup> (EWI et al. 2015, S. 13) und über 250 Kraftwerken mit einer kumulierten Netto-Nennleistung (elektrische Wirkleistung) von 23.517 MW die als Hauptenergieträger Erdgas verwenden,<sup>415</sup> verfügt Deutschland bereits über zwei der drei zentralen P2G-Komponenten. (EIV 1P, S. 3)

Die dritte zentrale Komponente sind Elektrolyseure, dessen (Aus-)Bau derzeit noch eine Herausforderung darstellt (EIV 1P, S. 3). Ein weiterer entscheidender Vorteil gegenüber anderen Speichertechnologien wie z. B. Pumpspeicherkraftwerken ist das P2G nicht ausschließlich für den Zweck der Stromspeicherung eingesetzt werden kann, sondern anwendungsoffen einen Beitrag zur Energiewende und nicht nur zur Stromwende leisten kann (ebd., S. 4). Zudem kann P2G durch die Nutzung des verfügbaren Erdgaspipelinesystems zur Reduktion des Stromnetzausbaus beitragen<sup>416</sup> (EIV 1PC, S. 19, 20). Zu den Vorteilen des Gasnetztransportes gehören z. B. der geminderte Eingriff in die Landschaft und die höhere Übertragungsleistung (ebd., S. 19). Die nachfolgende Tabelle stellt die beiden technologischen Optionen des Stromnetzausbaus (Freileitung und Erdkabel) gegenüber.

**Tabelle 29: Technologiespezifischer Vergleich des Stromnetzausbaus**

	Freileitung	Erdkabel
Kosten Wechselstromleitung pro km	1 - 1,15 Mio. €	4 - 16 Mio. €
Gesamtkosten für alle im NEP-Entwurf 2015 vorgesehenen Stromnetzausbaumaßnahmen (Untergrenze)	2,6 Mrd. €	10,5 Mrd. €
Gesamtkosten für alle im NEP-Entwurf 2015 vorgesehenen Stromnetzausbaumaßnahmen (Obergrenze)	3,9 Mrd. €	42 Mrd. €

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Meta-Analyse von Prognos/EWI/GWI (2016, S. 26f.).  
NEP: Netzentwicklungsplan

<sup>413</sup> Vgl. auch EIV 4P (S. 22).

<sup>414</sup> Davon entfallen rund 88 % (428.794 km) auf die Orts- und Regional-Gasversorgung (EWI et al. 2015, S. 13).

<sup>415</sup> Eigene Berechnung auf Basis der Kraftwerkliste der Bundesnetzagentur, Stand: 31.03.2017 (BNetza 2017).

<sup>416</sup> Kritisch anzumerken ist an dieser Stelle die Sinnhaftigkeit zur Nutzung des Gasnetzes als Transportnetz, wenn am Anfang feststeht dass die Endenergie Strom sein soll, da P2G2P mit erheblichen Wirkungsgradverlusten behaftet ist (EIV 1PC, S. 19).

Im Rahmen des Infrastrukturmangels, der von Prognos/EWI/GWS (2016, S. 18) als *black swan* im Sinn eines Risikos der Energiewende<sup>417</sup> identifiziert wurde, birgt P2G ein Risikovermeidungspotenzial:

„Neben Topologie und Netzstruktur stellen auch neue Technologien eine Handlungsoption dar. Werden bestehende Erdgasinfrastrukturen in Verbindung mit *Power-To-Gas*-Konzepten genutzt, reduziert dies den Ausbau-Bedarf. So könnte Windstrom in Gas umgewandelt werden, welches mit der bestehenden Infrastruktur transportiert und ggf. gespeichert werden könnte.“ (ebd., S. 173, Hervorhebungen der Verfasserin)

Ein Potenzial der Kaskadenstufe des Langzeitspeichers (H<sub>2</sub>) besteht darin, dass keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit erwartet werden, da H<sub>2</sub> leichter ist als Luft und im Schadensfall in die Atmosphäre entweicht (EIV 1PA, S. 5).<sup>418</sup> Bei der Speicherung von CH<sub>4</sub> oder beim CCS-Pfad besteht hingegen das Risiko negativer Auswirkung, z. B. der Erstickungsgefahr infolge der möglichen CO<sub>2</sub>-Ansammlung in Tälern im Schadensfall eines CO<sub>2</sub>-Speichers, da sowohl CH<sub>4</sub> als auch CO<sub>2</sub> schwerer sind als Luft (ebd.).

Das technische Ausbaupotenzial von P2G ist in Abhängigkeit der Wirkungsgrade der unterschiedlichen Nutzungspfade und Innovationskaskadenstufen zu betrachten. Die nachfolgende Tabelle gibt hierzu einen Überblick.

**Tabelle 30: Wirkungsgrade von P2G und P2G2P**

Gesamtwirkungsgrad		Randbedingungen
<b>P2G</b>		
Strom zu H <sub>2</sub>	54 - 79 %	Kompression auf 200 bar (Gasspeicher)
Strom zu CH <sub>4</sub>	49 - 78 %	
Strom zu H <sub>2</sub>	57 - 80 %	Kompression auf 80 bar (Fern- und Transportleitung)
Strom zu CH <sub>4</sub>	50 - 78 %	
Strom zu H <sub>2</sub>	64 - 84 %	ohne Kompression
Strom zu CH <sub>4</sub>	51 - 79 %	
<b>P2G2P</b>		
Strom zu H <sub>2</sub> zu Strom	34 - 51 %	Verstromung via Brennstoffzelle
Strom zu H <sub>2</sub> zu Strom	33 - 48 %	Verstromung via GuD (H <sub>2</sub> -Beimischung: 10 - 15 %)
Strom zu CH <sub>4</sub> zu Strom	30 - 38 %	Verbrennung via GuD-Kraftwerk (60 %)

Quelle: Eigene Darstellung nach Sterner et al. (2015, S. 75), Sterner/Stadler (2014, S. 425).

<sup>417</sup> Kritisch ist an dieser Stelle die von Prognos/EWI/GWS (2016) verwendete Begriffsverbindung aus *black swan* und Risiko anzumerken. Wie in Kapitel 4.3.1.2 dargestellt, handelt es sich bei einem *black swan* um eine Ungewissheit und nicht um ein Risiko, da keine Aussagen zu den Eintrittswahrscheinlichkeiten getätigt werden können. In der Definition eines *black swan* von Prognos/EWI/GWS (2016, S. 1) wird auch die Klasse der Ungewissheit adressiert: „Dabei handelt es sich um Ereignisse, die überraschend und unerwartet eintreten, enorme Auswirkungen haben und die erst nachträglich rationalisiert werden.“ „Die Energiewende ist ein langfristiges Projekt, ihre Zielvorgaben reichen bis ins Jahr 2050. Weltweite Zielvorstellungen haben z. T. noch längere Zeithorizonte (2080, 2100). Mit einem derart langen Prognosehorizont wächst auch die Unsicherheit über Art, Ausprägung und Eintritt(swahrscheinlichkeit) von zukünftigen Ereignissen an.“ (ebd., S. 10) „Laut Taleb kann jedoch aus einer in der Vergangenheit erhobenen Messreihe nicht auf die zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses geschlossen werden. (...) Eintrittswahrscheinlichkeiten sind nicht Gegenstand der Studie und der im Folgenden dargestellten Risikocluster.“ (ebd.) In Folge dessen wäre an dieser Stelle der Begriff der Ungewissheit richtig gewesen.

<sup>418</sup> Eine ausführliche Risikobetrachtung der H<sub>2</sub>-Einspeisung präsentiert die Studie von Schütz/Härtel (2015, S. 128-133).

Die ökonomischen Potenziale von P2X befinden sich im Bereich der Sektorkopplung, der Systemdienstleistungen und dem Regelenergiemarktangebot. Im Gegensatz zum Gasnetz ist im Stromnetz zu jedem Zeitpunkt eine Übereinstimmung von aggregierter Einspeisung und aggregiertem Verbrauch notwendig, um eine Stabilität des Elektrizitätsnetzes zu gewährleisten. Diese Stabilisierungsleistung erfüllen im aktuellen Strom-Mix der Bundesrepublik Deutschland die Kohle- und Atomkraftwerke. Mit zunehmendem Ausbaupfad erneuerbarer Energien schwinden fossile Kraftwerke zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität. Diese Rolle können Elektrolyseure als steuerbare Last übernehmen, so dass in Zukunft P2G den Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes leistet. (EIV 1P, S. 1f.)

Im »Strommarktmodell 2.0« nimmt, unter der Maßgabe eines steigenden Ausbaus erneuerbarer Energien, die Sektorkopplung über P2X eine zentrale Rolle im Stromversorgungssystem ein (BMW 2015a, S. 48, 85, 89). Insbesondere für die Energiewirtschaft und die Industrie soll die Sektorkopplung ein chancenbringendes Innovationspotenzial entfalten (ebd., S. 90). Dabei wird das Potenzial speziell bei der Kopplung zwischen dem Sektor Strom und den Sektoren Wärme sowie Mobilität gesehen: Über den Ersatz von Öl und Gas durch P2H, P2M und P2I sollen auch Verbraucher des Wärme- und Mobilitätssektors von günstigen Strompreisen profitieren. (ebd., S. 48).<sup>419</sup> Ferner wird davon ausgegangen, dass wenn „Strom in allen Sektoren werthaltig nachgefragt und damit marktgetrieben auch in Wärme und Mobilität umgewandelt [wird], (...) die Ziele zur CO<sub>2</sub>-Einsparung im Verkehrs- und Wärmesektor kostengünstig erreicht werden“ (ebd., S. 85) und gleichzeitig „nachfrage- und marktgetrieben die Investitionen in erneuerbare Energien“ (ebd., S. 89) induziert werden können.<sup>420</sup> Jedoch ist gemäß BMW (2015a, S. 90) das Potenzial für P2G2P auf Grund geringer Wirkungsgrade und hoher Kosten nur langfristig und für P2G aus „Klima- und Effizienzgründen lediglich temporär“ (ebd.) vorhanden.

Damit entspricht das Strommarktmodell 2.0 nicht ganzheitlich dem Koalitionsvertrag zur 18. Legislaturperiode (CDU/CSU/SPD 2013, S. 57), der als Flexibilisierungs- und Speicheroptionen der Zukunft u. a. P2H und mittel- bis langfristig Langzeitspeicher auf Basis von P2G vorsieht. Die Bundesregierung hat sich im Koalitionsvertrag darauf geeinigt, die P2X-Technologie mit aktuellen und neuen Demonstrationsprojekten sukzessiv bis zur Marktreife weiterzuentwickeln (ebd.). Zur Unterstützung soll das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)<sup>421</sup> weitergeführt und die Letztverbraucherabgabenverpflichtung von Speichern überprüft werden. Letzteres hat weder mit der Novellierung des EEG 2014 noch mit der Novellierung des EEG 2017 zu einer Änderung für P2X-Anlagenbetreiber geführt.<sup>422</sup>

<sup>419</sup> Überdies sind die im Weißbuch dargelegten volkswirtschaftlichen Chancen der Sektorkopplung zu nennen: Stärkung der Binnenkonjunktur „wenn weniger Geld für Öl und Gas ausgegeben und stattdessen in Power-to-X-Technologien in Deutschland investiert wird“ (BMW 2015a, S. 90) sowie die Senkung der Brennstoffimportabhängigkeit (Öl und Gas) über den Einsatz neuer Stromanwendungen (ebd.).

<sup>420</sup> Anzumerken ist, dass die Bundesregierung keine quantifizierte und terminierte Zielsetzung für die Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor festgeschrieben hat. Siehe hierzu die Tabelle 1: Klima- und energiepolitische Ziele der Bundesregierung in Kapitel 1.1.

<sup>421</sup> Das im Jahr 2008 eingeführte NIP ist Teil der »Hightech Strategie für Deutschland« und ist als *private public partnership* zwischen Bundesregierung und Industrie ausgelegt. Mit 1,4 Mrd. € bis zum Jahr 2016 sollen FuE und Demonstrationsprojekte gefördert werden. (BMVI o. J.) Eine Fortführung des NIP bis zum Jahr 2026 ist von Seiten des BMWi und des BMVI gewünscht. Ein Regierungsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie befindet sich in Vorbereitung (BMW 2016c, S. 15).

<sup>422</sup> Siehe für eine vertiefende Diskussion zu den Letztverbraucherabgaben Kapitel 7.5.2.3 Konvergenz zwischen Energiemärkten – Letztverbraucherabgaben.

Ein *window of opportunity*<sup>423</sup>, d. h. die Zeitspanne, in der eine Einflussnahme auf die Systempfade groß ist und Konzepte eine gute Durchsetzungschance haben, wird gemäß Expertenmeinung für die Zeit bis zum Jahr 2020 geschätzt (EIV 1P, S. 18f.). Der Zeitpunkt, zu dem eine P2G-Anlage wirtschaftlich betrieben werden kann und daraus impliziert auch der Überschuss aus fluktuierenden erneuerbaren Energien ein interessantes Niveau erreicht hat sowie die Anlagenfahrweise der Elektrolyseure bedarfsgerecht und effizient ist, wird gemäß Experten auf das Jahr 2025 geschätzt (EIV 1P, S. 18f.), (EIV 3P, S. 16), (EIV 4P, S. 8). Ein treibender Faktor zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit einer P2G-Anlage ist die Erhöhung der Preise für fossile Energieträger und im Speziellen die Steigerung der CO<sub>2</sub>-Preise (EIV 3P, S. 16).<sup>424</sup>

---

<sup>423</sup> Ein *window of opportunity* kann in Anlehnung an Hougaard (2005, S. 72) auch als ein Schlüssel zum Markt verstanden werden, bei dem die Chance besteht, dass die Invention auf eine neue oder bestehende Notwendigkeit stößt, bei dem ein außergewöhnlicher Wert erzeugt wird, sofern kein störendes unvorhersehbares Detail oder ein Unglück eintritt.

<sup>424</sup> Siehe ausführlich Kapitel 7.5.3.

## 7.5 Unsicherheiten und Hemmnisse

Wie in Kapitel 4.3.1.2 dargestellt, werden in der wissenschaftlichen Literatur unter dem Begriff »Unsicherheit« die zwei Komponenten »Risiko« und »Ungewissheit« verstanden. Im Gegensatz zum Risiko können bei Ungewissheit keine Annahmen über Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Zukunft getroffen werden (Knight 1921, S. 19f.). In Anlehnung an das Kapitel 4.3.1.2 wird der Inhaltsumfang des Unsicherheitsbegriffs im Hinblick auf die zu bestimmenden Randbereiche im Fall einer Zielabweichung sowohl als negative als auch als positive Zielverfehlung (Schaden vs. Chance) aufgefasst.<sup>425</sup>

In dem vorangegangenen Unterkapitel wurden bereits die treibenden Faktoren analysiert, die zu einer positiven Zielabweichung im Sinn einer Chance führen können. Inhalt dieses Unterkapitels ist die Analyse der hemmenden Faktoren, die zu einer Zielverfehlung im Sinn eines Schadens führen können. Da für die einzelnen hemmenden Faktoren im Detail keine Annahmen über die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Zukunft bestehen und die mögliche Berechnung und Existenz dieser hingegen nicht umfangreich auszuschließen ist, welches zur Unterscheidung zwischen Risiko und Ungewissheit voranzustellen wäre, wird der Überbegriff der Unsicherheit verwendet.

Zusammengefasst können fünf Dimensionen der Unsicherheit in der Fallstudie P2G extrahiert werden, die sich auch in Form von Hemmnissen auswirken können: Die politische, regulatorische, ökonomische, technologische und soziale Unsicherheit. Da die verschiedenen Dimensionen z. T. aufeinander aufbauen, ineinandergreifen und sich gegenseitig bedingen, ist keine strikte Abgrenzung zwischen den Dimensionen möglich, so dass im Folgenden auf die Schnittstellen und Wechselwirkungen zwischen den Dimensionen zu verweisen ist.

### 7.5.1 Politische Dimension

Die politische Dimension der Unsicherheit basiert auf der Ungewissheit gegenüber der politischen Zielsetzung und den damit verbundenen Leitlinien. Rückblickend betrachtet, hat es keine klar verlässliche Leitlinie zum Ausstieg aus der Atomkraft gegeben und die Korrekturen des EEG erfolgten bisweilen retardiert. Durch die fehlende Leitlinie und die zeitliche Verzögerung entsteht der Anschein, dass die Änderungen – wenn sie dann eingeführt werden – mit Pression eingeführt werden, welches zu abrupten, unerwarteten und sprunghaften Branchenveränderungen mit teilweise negativen Entwicklungen in den erneuerbaren Energien Branchen wie beispielweise der Photovoltaik, Wind, Biogas führt. Die fehlende Verlässlichkeit der politischen Leitlinien wirkt sich kontraproduktiv auf kurzfristige Investitionsentscheidungen aus und erhöht gleichzeitig die Unsicherheit langfristiger Investitionen. Investoren können langfristig nicht auf Zuwendungsoptionen vertrauen. Wenn zum Zeitpunkt  $t_0$  der Vorteil einer finanziellen Zuwendung genutzt werden kann, ist die Zuwendung für den Zeitpunkt  $t_x$  nicht sichergestellt, da die Möglichkeit besteht Zuwendung bzw. Zuwendungsoptionen im Nachgang rückwirkend aufzuheben – unabhängig davon ob das Anlagevermögen der Investition bereits abgeschrieben ist. (EIV 2P, S. 14) Dieser Inkonsistenz gesetzgeberischer Rahmenbedingungen im Fall der Energiewende unterstellt ein Experten eine (partei-)politische Motivation (EIV 1PA, S. 15).

---

<sup>425</sup> Siehe für eine ausführliche Darstellung zur Unsicherheitsdefinition das Theoriekapitel 4.3.1.2.



Die politische Dimension der Unsicherheit entfaltet sich zum einen über die zukünftige (In-)Konsistenz politischer Leitlinien und Schwerpunkte der Energiewende und ist zum anderen durch die ungewisse Entwicklung des Fördersystems erneuerbarer Energien (z. B. EEG und KWK-G) geprägt. Dieses bedarf an dieser Stelle einer differenzierteren Betrachtung. Die von der Bundesregierung gesetzten Klimaschutzziele sind zwar derzeit noch nicht gesetzlich flankiert, aber seit Veröffentlichung des Energiekonzeptes im September 2010 (BMWi/BMU 2010) konsistent geblieben.<sup>426</sup>

Bedingt durch die zunehmende Veränderungsdynamik und Komplexität wird die Forderung nach einem politisch konsistenten Commitment zur Energiewende und einer zeitnahen Nachführung der politischen Rahmenbedingungen lauter, die eine finanzielle Förderung der Branchen impliziert. Da letztere die Investitionen in die Energiewende tätigen (müssen). Wichtig ist gemäß Expertenmeinung, dabei aus Fehlern der Vergangenheit z. B. aus der Photovoltaik-Förderung zu lernen. In diesem Rahmen wird die Empfehlung ausgesprochen, die EEG-Förderung zu Beginn niedriger anzusetzen und damit zwar ein langsames, aber kontinuierliches Wachstum zu initiieren. (EIV 2P, S. 14)

Die Experteninterviews zeigen, dass sich einige Akteure trotz des noch frühen Entwicklungsstadiums bereits heute eine Klarheit über die zukünftigen Rahmenbedingungen und erwarteten Anlagenkapazitäten in Abhängigkeit der Ausbauraten erneuerbarer Energien wünschen, welche u. a. auch hinreichend für den Aus- und Neubau von Demonstrationsanlagen sind (EIV1P, S. 19), (EIV 1PA, S. 12).

### **7.5.2 Regulatorische Dimension**

Die regulatorische Dimension der Unsicherheit ist in der Steuerung und Organisation des Gesamtsystems begründet, in das P2G eingebettet ist. Es existieren z. B. Lücken bei den regulatorischen Rahmenbedingungen für Systemdienstleistungen, der Verbindung von Strom- und Gasnetz sowie der Präqualifizierung von Windgas für den Regelenergiemarkt (EVI 1P, S. 3). Zu den zentralen Unsicherheiten zählen neben der zukünftigen Entwicklung der Beimischungsgrenze von regenerativem H<sub>2</sub> in das Gasnetz, die Konvergenz von Strom-, Gas-, und Mobilitätsmarkt und dabei im Besonderen der Umgang mit Letztverbraucherabgaben. Diese Unsicherheiten stehen in einer Wechselbeziehung zu den ökonomischen Unsicherheiten, wie der nachfolgende Punkt zeigt: Gleichwohl fehlende bzw. unzulängliche regulatorische Rahmenbedingungen zu einer Unsicherheit führen, ist anzumerken, dass „Speicher unter wettbewerbsrechtlichen Rahmenbedingungen betrieben werden“ (EIV 1PA, S. 4) sollten, welches eine nicht zu starke regulatorische Einflussnahme des Gesetzgebers impliziert. Vielmehr sollte der Speicher als ein Medium genutzt und betriebswirtschaftlich geführt und betrieben werden (EIV 1PA, S. 4).

---

<sup>426</sup> Siehe Kapitel 1.1 Klimawandel und Energiewende.

### 7.5.2.1 Gesetzliche Gleichstellung von EE-Gasen und Biogas

Im Zuge der Umsetzung der Richtlinie 2009/72/EG hat die Bundesregierung im Hinblick auf die Anwendung sämtlicher Vorschriften, die Gleichstellung von regenerativem H<sub>2</sub> sowie synthetischem CH<sub>4</sub> zu Biogas im § 3 EnWG Nr. 10c verankert,<sup>427</sup> „wenn der zur Elektrolyse eingesetzte Strom und das zur Methanisierung eingesetzte Kohlendioxid oder Kohlenmonoxid jeweils nachweislich weit überwiegend aus erneuerbaren Energiequellen im Sinn der Richtlinie 2009/28/EG (...) stammen“.<sup>428</sup> Grundsätzlich ist die Gleichstellung gemäß der Expertenmeinung positiv zu bewerten; bedingt durch die Heterogenität der Energieträger führt die Gleichstellung allerdings zu regulatorischen Problemen. (EIV 2P, S. 6) Das erste Argument ist durch die Sache an sich begründet: H<sub>2</sub> und Biogas sind zwei unterschiedliche Energieträger. Zweitens kann H<sub>2</sub> nicht, wie Biogas, unbegrenzt ins Erdgas eingespeist werden. Drittens existieren differente Verknüpfungen im Energiesystem: Die Produktionsanlage zur Herstellung von erneuerbarem H<sub>2</sub> ist eine Kopplung zwischen dem Stromnetz und dem Gasnetz, die an beiden Enden an Netzbetreiber andockt. Bei der Herstellung von Biogas steht hingegen auf der einen Seite ein Biogasproduzent, z. B. ein landwirtschaftlicher Betrieb und auf der anderen Seite der Netzbetreiber. Diese unterschiedlichen Strukturen können nicht den gleichen Vorschriften unterliegen, denn es ergibt sich zwangsläufig die Frage, wer welche Kosten zu tragen hat und wer im Zweifelsfall die Haftung übernehmen muss. (ebd., S. 6)

Die Einführung einer gesonderten Sparte im EEG und die separate Behandlung von EE-Gasen (H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>) in den relevanten Gesetzen und Verordnungen, könnte zu einer transparenteren und passgenaueren Regulierung beitragen. Ferner plädiert auch die dena (2016a, S. 6) für die Einordnung von Energiespeichern als ein neues Element im EnWG. Der BEE (2016, S. 7) fordert „netzdienliche Speicher neben ‘Endverbraucher’ und ‘Erzeuger’ als separate dritte Kategorie ‘Speicher’“ zu definieren und Strom aus erneuerbaren Energien nur in den Fällen abzuregeln, in denen keine Nutzung durch P2X-Anlagen möglich ist. Weiter sollten gemäß BEE Speicher von „Netzentgelten oder Abgaben wie z.B. der Stromsteuer befreit werden“ (ebd.), sofern diese einen Beitrag zur Netzentlastung leisten.

Ferner ist die Frage zu beleuchten, ob ein Netzbetreiber, der durch den Betrieb einer P2G-Anlage in den Regelenergiemarkt eingreift, selbst zum Energieerzeuger wird (EIV 2P, S. 6). Ungewiss ist, wie das Gesamtsystem P2G an den Schnittstellen funktionieren soll (ebd.). Zwar geben die Arbeitsblätter der Erdgaswirtschaft<sup>429</sup> eine klare Auskunft darüber, welche Rahmenbedingungen für Netzbetreiber existieren (ebd., S. 4), bei den Genehmigungsverfahren für P2G-Anlagen handelt es sich indessen um ein Neuland für alle Beteiligten – auch für Netzbetreiber und Juristen. Durch fehlende bzw. nicht ausdifferenzierte

<sup>427</sup> Vgl. zudem BGBl. I (2011, S. 1554f.).

<sup>428</sup> Ferner hat der Bundesrat (2015, S. 5) die Änderung des § 3 Nr. 9 EnWG mit dem Ersatz des Wortes „Erdgas“ durch die Wörter „Energie, insbesondere Erdgas, elektrische Energie oder Wasserstoff“ vorgeschlagen, welches klarstellen sollte, „dass es nicht nur um die Speicherung von Erdgas geht, sondern um eine Speicherung von Energie. Die Wortwahl ist technologieoffen und offen für zukünftige Entwicklungen.“ (ebd.) Dem Vorschlag dieser regulatorischen Gleichbehandlung stimmt die Bundesregierung (2016a, S. 172) im Rahmen der Änderung des Strommarktgesetzes mit folgender Begründung nicht zu: „Der Vorschlag weitet den Begriff des Betreibers von Speicheranlagen unabhängig davon aus, ob es sich um Erdgas, elektrische Energie oder Wasserstoff handelt. Gasspeicheranlagen und Stromspeicher sind jedoch weder technisch noch wirtschaftlich vergleichbar. Die Formulierung würde dazu führen, dass Betreiber von Stromspeichern denselben Rahmenbedingungen unterfallen würden wie die Betreiber von Gasspeichern. Das ist weder ökonomisch noch sachlich gerechtfertigt.“ (ebd.)

<sup>429</sup> Vgl. beispielsweise DVGW (2011, 2013).

Vorschriften, einhergehend mit der Ermangelung einer Blau-Pause, sind die Akteure verunsichert. (EIV 1P, S. 6) Diese fehlende Blau-Pause, das Fehlen eines bereits betretenden Pfades, ist eine logische Konsequenz für *change maker*, die bestehende Strukturen verändern (wollen), gleichzeitig aber auch eine Herausforderung, die mit der Forderung einhergeht, die gesetzlichen Rahmenbedingungen anzupassen und die (Genehmigungs-) Verfahren zu vereinfachen (ebd., S. 6f.).

#### 7.5.2.2 H<sub>2</sub>-Beimischungsgrenzen im Erdgasnetz

Eine weitere regulatorische Unsicherheit besteht in dem Beimischungsanteil, d. h. in der Konzentration von regenerativem H<sub>2</sub> im Gasnetz. Die konkreten Beimischungsgrenzen für H<sub>2</sub> sind im DVGW-Regelwerk G 260 und G 262 normiert (DVGW 2011, 2013). „Normalerweise ist die Einspeisung von Wasserstoff ein ‘kann’ und die Einspeisung von Methan ein ‘muss’ solange es regenerativ ist.“ (EIV 1PC, S. 13) Dieses führt dazu, dass im Zentrum der Unsicherheit, die aus dem derzeitigen und zukünftigen Beimischungsanteil entsteht, alleine der regenerative H<sub>2</sub> steht. Die derzeit normierte Beimischungsgrenze regenerativen H<sub>2</sub> wird von den Experten disparat bewertet: Es wird angemerkt, dass die Aufnahmefähigkeit von H<sub>2</sub> im Erdgasnetz teilweise erheblich überschätzt wird und nur an wenigen Stellen über den zurzeit typischen Einspeisungsanteil von 2 % erhöht werden kann – gleichzeitig wird für die Zukunft mit einem H<sub>2</sub>-Beimischungssatz im oberen einstelligen Prozentbereich gerechnet (ebd.). Für Betreiber einer P2G-Anlage kann aus technischer und ökonomischer Sicht die maximale Ausschöpfung der Beimischungsgrenze regenerativen H<sub>2</sub> und die anschließende Transformation und Einspeisung der verbleibenden H<sub>2</sub>-Menge über synthetisches CH<sub>4</sub> als wünschenswert festgestellt werden (ebd.). Die Option H<sub>2</sub> im zweistelligen Prozentbereich in das Gasnetz einzuspeisen, wurde von den Experten nicht geäußert. Ein Grund könnte die Erfordernis hoher (momentan aber noch nicht quantifizierbarer) Modifikationsinvestitionen im Gasnetz sein, die mit dem Ausbau des H<sub>2</sub>-Anteils im zweistelligen Bereich einhergehen und die Methanisierung zur kostengünstigeren Alternative küren würden (DBI 2014, S. 3), (Sterner 2011, S. 4).

Der Klimaschutzeffekt des P2G-Konzeptes ist direkt mit dem Beimischungsanteil von H<sub>2</sub> im Erdgasnetz gekoppelt: Je höher der Anteil regenerativen H<sub>2</sub> im Erdgasnetz ist, umso mehr konventionelles Erdgas kann verdrängt und umso mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen des Erdgases können verhindert werden (EIV 1P, S. 8).

Die Möglichkeit zur Erhöhung der Beimischungsgrenze regenerativen H<sub>2</sub> im Gasnetz (hoher einstelliger Prozentbereich) ist in Abhängigkeit der Gasabnehmer und der Nutzungspfade zu diskutieren. Verbraucherbezogene Restriktionen ergeben sich z. B. im Mobilitätsbereich (Erdgastankstelle, P2F ca. 2 Vol.- % Beimischungsanteil) und bei Gastrubinen (P2G2P ca. 1 Vol.- % Beimischungsanteil) – bei diesen Abnehmern ist das *handling* hoher H<sub>2</sub>-Konzentrationen im Moment noch schwierig. (EIV 1PC, S. 13), (EIV 4P, S. 9), (EIV 1PA, S. 7) Eine technische Lösung dieses Problems erscheint aus Expertensicht möglich, eine positive ökonomische Bewertung hingegen fragwürdig (EIV 1PC, S. 13). Heizungssysteme, z. B. von privaten Haushalten (P2H), haben hingegen keine Schwierigkeiten mit hohen H<sub>2</sub>-Konzentrationen (ebd.). Bestimmte Industrien wie z. B. die Glasindustrie benötigen dagegen eine sehr präzise Gasqualität zur Durchführung eines konstanten Produktionsprozesses, z. B. im Hinblick auf eine konstante Qualität und Temperatur der Flamme. Dieses lässt nur eine geringe Toleranz der H<sub>2</sub>-Konzentration im Erdgasnetz zu. (EIV 1PC, S. 13), (EIV 4P, S. 9)

Die Anforderungen der Verbraucher werden damit zum *bottleneck* des Ausbaus regenerativen H<sub>2</sub> (EIV 1PC, S. 13). Denn für die Industriekunden und insbesondere solche die in ihren Produktionsprozessen auf Schwankungen in der Gasqualität sensibel reagieren, sieht das DVGW-Regelwerk keine Beimischungsquoten vor: Für die Industriekunden muss es aber eine annehmbare Lösung geben (EIV 1PA, S. 7). Die derzeitigen Regelungen in den Arbeitsblättern G 260 und G 262 des DVGW (2011, 2013) befinden sich diesbezüglich gemäß Expertenmeinung in einer Grauzone, da der H<sub>2</sub> im einstelligen Prozentbereich solange eingespeist werden darf, bis er in der Ortsgasversorgung keine Schwierigkeiten bei den Kunden hervorruft. Eine ähnlich unpräzise Formulierung findet sich auch im Positionspapier der BNetzA (2014): „einstellig eingespeist werden darf solange es keine Probleme im Prozess gibt, wenn Großkunden Gas direkt als Prozessgas ansetzen“. So finden die Regelungen derzeit bilateral statt, mit der Gefahr, dass Industriekunden im Nachgang gerichtlich vorgehen könnten. Diese Grauzone ist demzufolge mit einer regulatorischen Unsicherheit behaftet, gestaltet zugleich aber einen Spielraum für die Beimischungsverhältnisse von (regenerativem) H<sub>2</sub>, ohne diesen die Umsetzung der Energiewende gehemmt werden würde. (EIV 1PA, S. 7)

Aus der Sicherstellung der Gaszusammensetzung an den einzelnen Entnahmepunkten kann ein regulatorischer Handlungsbedarf zur Unsicherheitsreduktion abgeleitet werden. In Abhängigkeit der an den Entnahmepunkten angesiedelten Industrien sollte der Reinheitsgrad bzw. die chemische Zusammensetzung des Erdgases definiert und sichergestellt werden. Die H<sub>2</sub>-Konzentration kann dabei dem Nutzen folgend standortabhängig variieren, sollte aber innerhalb eines Entnahmepunktes im Zeitverlauf konstant bleiben. (EIV 4P, S. 9) Diese Notwendigkeit wird auch vom DVGW in der Stellungnahme zum Positionspapier der BNetzA (2014, S. 5) angemerkt: Die Wahl des Standortes für die H<sub>2</sub>-Einspeisung ist

„entscheidend für die Stromnetzentlastung und die Aufnahmefähigkeit des Gasnetzes. Entsprechend sollte überlegt werden, ob für Wasserstoff-Einspeisungen der privilegierte Netzzugang analog Biogas erforderlich ist, um den volkswirtschaftlichen Nutzen von *Power to Gas* nicht zu gefährden. (...) Für *Power to Gas* mittels Methanisierung gelten die vorgenannten Ausführungen nicht, stattdessen kann die Analogie zum Biogas ausnahmslos beibehalten werden.“ (ebd., Hervorhebungen der Verfasserin)

Eine standortbezogene und in Korrespondenz mit der angesiedelten Industrie definierte, zeitlich konstante Konzentration regenerativen H<sub>2</sub> im Gasnetz, würde zudem Unsicherheiten bei den Netzbetreibern abbauen, die im Spannungsmittelpunkt zwischen Betreibern einer P2G-Anlage und Gasverbrauchern stehen. Zu etwaigen Veränderungen der Gaszusammensetzungen sollte ein offener Dialogprozess geführt werden, der neben den Netzbetreibern die gasintensiven Industrien, wie z. B. die Chemieindustrie, die einen Teil des Erdgasbezugs stofflich nutzt, einbezogen werden. Zwar sind die Netzbetreiber dazu verpflichtet, so viel regenerativen H<sub>2</sub> aufzunehmen, wie ihnen wirtschaftlich zumutbar ist, doch durch diese nicht bezifferte Regulierung, einhergehend mit dem Umstand, dass die Netzbetreiber auch das Risiko etwaig falscher Konzentrationen tragen, speisen sie gemäß Expertenmeinung nur die Menge an regenerativem H<sub>2</sub> ein die sie auch gewillt sind einzuspeisen (EIV 1P, S. 7). Ferner wird von dem Experten angemerkt, dass es sich bei der Einspeiseproblematik von regenerativem H<sub>2</sub> ins Erdgasnetz, im Grunde um ein von der Strom- und nicht von der Gaswirtschaft ausgehendes Problem handelt, woran die Frage

angeknüpft wird, warum diese Problematik dann nicht auch von der Stromwirtschaft zu lösen ist (ebd.).

Einhergehend mit der regulatorischen Unsicherheit, wie viel H<sub>2</sub> im Erdgasnetz heute und in Zukunft möglich ist, ist folgender Fragen nachzugehen: Zu welchem Zeitpunkt und in welchem Zeitraum können und sollten welche Nutzungspfade mit regenerativem H<sub>2</sub> bespeist werden? In Abhängigkeit der möglichen Einspeisemenge in das Gasnetz, könnte es sowohl für das Netz, als auch aus ökonomischer Sicht sinnvoll sein, zunächst den Wärme-Nutzungspfad (P2H) zu bedienen. (EIV 4P, S. 9)

### 7.5.2.3 Konvergenz zwischen Energiemärkten – Letztverbraucherabgaben

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor in der regulatorischen Dimension ist die fehlende Konvergenz von Gas-, Mobilität-, Strom- und Wärmemarkt und dabei im Speziellen der Umgang mit Letztverbraucherabgaben. Die regulatorische Zuschreibung einer P2G-Anlage als Letztverbraucher und die daraus abgeleiteten Unsicherheiten, die hauptsächlich mit ökonomischen Auswirkungen einhergehen, wurden im Rahmen der Experteninterviews facettenreich erörtert und können aus einer *ex-post* Betrachtung auf die geführten Experteninterviews als Schwerpunktthema klassifiziert werden. Nachfolgend werden zunächst die Grundlagen der aktuellen Regulierung dargelegt, bevor die zentralen Auswirkungen und regulatorischen Handlungsmöglichkeiten mit dem Ziel, Hemmnisse abzubauen und Investitionsanreize (neu) zu setzen, aus den unterschiedlichen Expertenpositionen heraus diskutiert werden.

Statt eines zentralen Energiemarktes existiert in der Bundesrepublik Deutschland jeweils ein separater Markt für Gas, Mobilität, Strom und Wärme. Diese Märkte sind voneinander getrennt; es gelten marktspezifische Gesetze und Normen sowie Vorschriften zum Transfer der Energie von einem in den anderen Markt. Im Fall einer P2G-Anlage, die Strom aus erneuerbaren Energien als Ressource aus dem Stromsektor entnimmt, um EE-Gase herzustellen, wird die Systemgrenze des Strommarktes überschritten wenn der H<sub>2</sub> bzw. das CH<sub>4</sub> dem Gas-, Mobilitäts- bzw. Wärmemarkt oder einem anderen Nutzungspfad wie z. B. der Industrie zur Verfügung gestellt wird. Durch das Verlassen der Systemgrenze des Strommarktes wird eine P2G-Anlage gemäß § 3 Nr. 33 EEG 2017 als Letztverbraucher deklariert<sup>430</sup>, welches mit der Verpflichtung zur Abführung der EEG-Umlage<sup>431</sup> einhergeht (§ 61 Abs. 1 EEG 2017).<sup>432</sup> Erfolgt hingegen eine Rückverstromung (P2G2P) des regenerativen H<sub>2</sub> bzw. des synthetischen CH<sub>4</sub>, wird die Systemgrenze des Stromsektors nicht verlassen und die Abgabe der EEG-Umlage ist gemäß § 61 Abs. 3 EEG 2017 nicht erforderlich.<sup>433</sup> Der ökonomische Vorteil der Befreiung der Letztverbraucherabgaben bei P2G2P gegenüber der Verwendung anderer Nutzungspfade wird jedoch durch einen deutlich schlechteren Wirkungsgrad im Fall P2G2P<sup>434</sup> geschmälert (EIV 1PC, S. 7).

---

<sup>430</sup> Gemäß der Definition des § 3 Nr. 33 EEG 2017 handelt es sich bei einem Letztverbraucher um „jede natürliche oder juristische Person, die Strom verbraucht“.

<sup>431</sup> Die EEG-Umlage für das Jahr 2016 beträgt 6,354 ct/kWh. Dieses entspricht einer Steigerung von 3 % gegenüber dem Jahr 2015. (50Hertz et al. 2015, S. 1) Die Ermittlung und Veröffentlichung der EEG-Umlage unterliegt den Vorschriften der Verordnung zum EEG-Ausgleichsmechanismus (AusglMechV).

<sup>432</sup> Anzumerken ist, dass P2G-Anlagen, die nicht das öffentliche Stromnetz nutzen, von den Abgaben (Stromsteuer gemäß § 9 StromStG; EEG-Umlage gemäß § 37 EEG 2017; KWK-Zuschlag gemäß § 9 KWKG; Konzessionsabgaben) befreit sind (Müller 2017, S. 18).

<sup>433</sup> Vgl. auch EIV 3P (S. 13f.), EIV 1PC (S. 6f.), EIV 1PA (S. 3).

<sup>434</sup> Siehe für einen Vergleich die Tabelle 30: Wirkungsgrade von P2G und P2G2P in Kapitel 7.4.2.

Ein Argumentationsstrang im Hinblick auf die Letztverbraucherabgabenbefreiung basiert auf der Grundannahme, dass eine P2G-Anlage kein Letztverbraucher im eigentlichen Sinn gemäß § 3 Nr. 33 EEG 2017 ist, sondern ein »Energiewandler«. Ein Energiewandler verbraucht den Strom nicht, sondern wandelt diesen lediglich in einen anderen Energieträger, z. B. H<sub>2</sub> um. (EIV 1PC, S. 6), (EIV 1PA, S. 3) Aufbauend auf dieser Annahme besteht die Forderung die Letztverbraucherabgaben für P2G-Anlagen zu streichen, ungeachtet dessen, in welchem Pfad der umgewandelte Energieträger genutzt wird (EIV 1PC, S. 6, 29f.). Nur so könne zur Wirtschaftlichkeit beigetragen und Innovationsanreize für neue Anlagen gesetzt werden (ebd., S. 6). Denn die zentrale Frage ist: „[W]er kauft und wer baut die nächste Anlage? Die nächste Anlage wird nur dann gebaut, wenn ein potentieller Betreiber, beim Einschalten der Anlage kein Geld verliert.“ (ebd.) Unter der aktuellen Abgabenlast wird gemäß Expertenmeinung kein Geschäftsmodell funktionieren, welches insbesondere zu einem erschwerten Marktzugang für *start-up* Unternehmen führt (ebd.).

Die Forderung zur Befreiung der P2G-Anlagen von den Letztverbraucherabgaben kann durch einen Vergleich von Energiegroßverbrauchern gefestigt werden (EIV 1PC, S. 6): Gemäß § 64 EEG 2017 i. V. m. Anlage 4 EEG 2017 und § 103 EEG 2017 sind Unternehmen der stromkostenintensiven Industrie unter bestimmten Voraussetzungen von der EEG-Umlage befreit bzw. die EEG-Umlage wird begrenzt.<sup>435</sup> Diese Privilegierung dient gemäß § 63 EEG 2017 der Vereinbarkeit mit der internationalen Wettbewerbssituation und zur Vermeidung der Abwanderung von Unternehmen in das Ausland.<sup>436</sup> Zu den Branchen gehören gemäß Anlage 4 EEG 2017 „Stromkosten- oder handelsintensive Branchen“ u. a. die Nr. 1 Steinkohlenbergbau (WZ-510), die Nr. 2 und 3 Gewinnung von Erdöl (WZ-610) und Erdgas (WZ-620) und die Nr. 78 Herstellung von Industriegasen (WZ-2011).<sup>437</sup> Die Herstellung von Industriegasen umfasst u. a. die Erzeugung von H<sub>2</sub> und technischen Kohlenwasserstoffen wie z. B. CH<sub>4</sub>, die dann in unterschiedlichen Branchen und Arbeitsgebieten wie z. B. der Metallverarbeitung, der chemischen Industrie, der Lebensmitteltechnik, der Getränkeherstellung, der Bauindustrie, der Medizin sowie im Umweltschutz eingesetzt werden (IGV o. J., S. 4f.). Ein Teil der Produktion dieses Wirtschaftszweigs dient folglich der Herstellung von fossilen Substituten<sup>438</sup> zu den EE-Gasen (H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>) die in einer P2G-Anlage produziert werden.

---

<sup>435</sup> Siehe für eine Vergleichsrechnung zum Preisniveau und möglicher Vergünstigungen für Industriekunden beim Strombezug die Abbildung 46 in Kapitel 7.5.3.3 Strombezugskosten und Stromgestehungskosten.

<sup>436</sup> Ferner werden seit dem Jahr 2013 „stromintensive[n] Unternehmen, die im internationalen Wettbewerb stehen, einen Teil ihrer durch den Emissionshandel erhöhten Stromkosten gemäß den Vorgaben der EU-Kommission zurückerstattet“ (BMWi 2014b, S. 67).

<sup>437</sup> Die Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008) basiert auf den Angaben des Statistischen Bundesamtes (2007). Anzumerken ist an dieser Stelle, dass alle Unterkategorien des WZ-20 „Herstellung von chemischen Erzeugnissen“ als Stromkosten- oder handelsintensive Branchen im EEG 2017, Anlage 4 aufgeführt werden.

<sup>438</sup> Siehe Kapitel 7.2.

Bei den oben aufgeführten Wirtschaftszweigen 510, 610, 620 und 2011 handelt es sich um Branchen, die sowohl energie- als auch CO<sub>2</sub>-intensiv sind. Kritisch zu hinterfragen ist an dieser Stelle daher, warum Unternehmen, die fossile Energieträger und Industriegase erzeugen, gegenüber Unternehmen bevorzugt werden, die EE-Gase herstellen. Das Grundkonzept von P2G<sup>439</sup> basiert auf der Nutzung erneuerbarer Energie zur Herstellung von EE-Gasen und ist eine „spartenübergreifende Systemlösung“ (dena o. J.a, o. S.) zur Förderung der Energiewende. Die Benachteiligung durch die Deklaration von P2G als Letztverbraucher ist vor dem Hintergrund, dass es sich bei P2G um einen Energiewandler handelt, der einen Systembeitrag zur Energiewende leisten kann, im direkten Vergleich zu den oben dargestellten Branchen von regulatorischer Seite nicht ausreichend begründet und nicht nachvollziehbar. Als eine spartenübergreifende Systemlösung sollte P2G als Bindeglied der einzelnen Energiesektoren betrachtet und als Teil einer gesamten energetischen Wertschöpfungskette reguliert werden. Zugespielt kann das dargestellte Diskrepanzverhältnis bei der Abführung von Letztverbraucherabgaben den Eindruck erwecken, dass für diese Normierungen des EEG nicht die ökologische Tragfähigkeit des energiepolitischen Zieldreiecks im Vordergrund steht, sondern die Wettbewerbsförderung strom- und CO<sub>2</sub>-intensiver Industrien auf Grundlage ihrer Marktgröße und -macht. Kritik an der derzeitigen Regelung zur EEG-Umlagebefreiung üben z. B. auch der DVGW (2016, S. 1), welcher eine EEG-Umlagebefreiung fordert. „Diese Maßnahme würde schnell zur CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung in den anderen Sektoren beitragen.“ (ebd.) Auch die dena (o. J.b, o. S.) fordert, dass bei P2G sämtliche alternative Nutzungspfade des regenerativen H<sub>2</sub> und synthetischen CH<sub>4</sub> von den Letztverbraucherabgaben zu befreien sind.<sup>440</sup> Und auch das BMWi (2015a, S. 91) konstatiert, dass zur Sektorkopplung eine Anpassung staatlich induzierter Preisbestandteile und Netzentgelte notwendig ist:

„Der künftige Strommarkt benötigt Flexibilität. Nur in einem fairen und durch Preisbestandteile und Netzentgelte möglichst unverzerrten Wettbewerb zwischen allen Flexibilitätsoptionen setzen sich die kosteneffizienten Flexibilitätsoptionen durch“ (ebd., S. 69).

Der Bundesrat (2015, S. 3) schlägt in seiner Stellungnahme zum Entwurf eines Gesetzes zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz) vor, dass „Energiespeicher (...) künftig in dem Maße, in dem sie zum Zwecke der Zwischenspeicherung Strom dem öffentlichen Netz entnehmen und wieder in das Netz zurückspeisen, nicht mehr wie Letztverbraucher behandelt werden sollten“. Der vom Bundesrat verwendete Begriff des Energiespeichers impliziert die Ausweitung der Letztverbraucherabgaben von Stromspeichern unter Maßgabe der Rückverstromung auf andere Formen der Zwischenspeicherung (z. B. im Sinn des § 118 Abs. 6, Satz 3 EnWG: elektrisch, chemisch, mechanisch, physikalisch). Deutlich wird dieses ebenfalls an dem Vorschlag des Bundesrates (2015, S. 6), die Formulierung des § 3 Nr. 25 EnWG insoweit anzupassen, „dass die Zwischenspeicherung keinen Letztverbrauch darstellt. Es sollen die Doppelbelastungen für die bloße Zwischenspeicherung von Energie vermieden werden“. Den Vorschlägen stimmte die Bundesregierung (2016a, S. 171-173) in ihrer Gegenäußerung nicht zu.

---

<sup>439</sup> Siehe Kapitel 7.1.

<sup>440</sup> Wünschenswert ist eine Privilegierung analog zur Befreiung von den Netzentgelten gemäß § 118 Abs. 6 EnWG bei dem auf die Notwendigkeit der Rückverstromung verzichtet wird (dena o. J.b, o. S.).

In beiden Fällen wird dieses durch eine (zunehmende)<sup>441</sup> Begünstigung von Speichern elektrischer Energie im Vergleich zu anderen Flexibilitätsoptionen im Strommarkt begründet. (ebd.)

„Aus Sicht der Bundesregierung sind Speicher eine von mehreren Flexibilitätsoptionen im Rahmen des veränderten Strommarktdesigns. Die verschiedenen Flexibilitätsoptionen stehen zueinander in einem marktwirtschaftlichen Wettbewerb. Die für Flexibilitätsoptionen geltenden Rahmenbedingungen müssen daher möglichst technologie-neutral sein.“ (ebd., S. 173)<sup>442</sup>

Herauszustellen ist, dass es sich bei Energiespeichern auch um Flexibilisierungsoptionen handelt, jedoch nicht alle Flexibilisierungsoptionen auch Energiespeicher sind.<sup>443</sup> Das P2X-Konzept erfüllt eine Dreifachfunktion: Erstens einen Systemnutzen zu entfalten, indem die Stromspitzen erneuerbarer Energien gespeichert werden und damit das Netz im Sinn einer Flexibilisierungsoption entlastet wird. Zweitens in der Lage zu sein, Strom aus erneuerbaren Energien in großen Mengen und über einen großen Zeitraum zu speichern. Drittens die Herstellung eines CO<sub>2</sub>-freien (regenerativer H<sub>2</sub>) bzw. eines CO<sub>2</sub>-neutralen (synthetisches CH<sub>4</sub>) Produkts, welches unter vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zur Senkung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in anderen Sektoren beiträgt und damit einen Beitrag zum Klimaschutz leistet. Diese Dreifachfunktion, die dem P2X-Konzept zugeschrieben wird, ist bei einer Legaldefinition von Energiespeichern zu beachten. Gegenwärtig existieren keine Legaldefinitionen für Energiespeicher und Stromspeicher, gleichwohl auf letztere z. B. im EnWG, EEG 2014 und EEG 2017<sup>444</sup> Bezug genommen wird und sie wie oben dargestellt auch aus Regierungssicht zu den zentralen Flexibilisierungsoptionen des deutschen Strommarktes zählen. Der § 3 Nr. 31 EnWG hält ausschließlich eine Legaldefinition für den Begriff einer Speichereinrichtung im Sinn eines Gasspeichers vor. Zur Integration sektorübergreifender Speichertechnologien (P2G, P2H, P2F etc.) ist eine Legaldefinition auch für Energie- und Stromspeicher von besonderer Notwendigkeit (Riewe/Meyer 2015, S. 142).

<sup>441</sup> Stromspeicher sind nach den Angaben der Bundesregierung (2016a, S. 171) „bereits durch verschiedene Regelungen bei Entgelten, EEG-Umlage und Stromsteuer in besonderer Weise begünstigt“. Neben der Letztverbraucherabgabenbefreiung im Fall von P2G2P, sind beispielsweise folgende regulatorische Rahmenbedingungen zu nennen, die eine positive Entwicklung und Anwendung von P2G begünstigen:

1) Befreiung von der Stromsteuer gemäß § 9 StromStG „für Elektrolyseure < 2MW el, sofern in räumlichem Zusammenhang mit EE-Anlage“ (Müller 2017, 18).

2) Befreiung von Entgelten für den Netzzugang gemäß § 118 Abs. 6 EnWG, „sofern die elektrische Energie zur Speicherung in einem elektrischen, chemischen, mechanischen oder physikalischen Stromspeicher aus einem Transport oder Verteilernetz entnommen und die zur Ausspeisung zurückgewonnene elektrische Energie zeitlich verzögert wieder in dasselbe Netz eingespeist wird“. „Fraglich ist, inwieweit der Strombezug im Rahmen einer Netzentgeltreduzierung bzw. -befreiung von *Power to Gas*-Anlagen mit netzentgeltbezogenen Umlagen (KWK-Umlage, (...) Offshore-Haftungsumlage, Abschaltumlage und Konzessionsabgabe) belastet ist. Nach Auffassung der BNetzA hat die Netzentgeltbefreiung für *Power to Gas* nach § 118 Abs. 6 EnWG keine Auswirkungen auf die weiteren Rechnungspositionen, da diese nicht Bestandteil des Netzentgeltes seien.“ (dena 2016a, S. 29, Hervorhebungen der Verfasserin)

3) Ferner müssen seit dem 26.07.2016 „Betreiber von Elektrizitätsversorgungsnetzen (...) Letztverbraucher die Strom aus dem Netz ausschließlich zur Speicherung in einem Stromspeicher entnehmen und den zurückgewonnenen Strom wieder in das Netz einspeisen [P2GP], ein individuelles Netzentgelt“, reduziert auf die Position des Jahresleistungspreises in E/kWh gemäß § 19 Abs. 4 StromNEV anbieten (Vgl. auch BGBl. I 2016, S. 1811).

4) Synthetisches CH<sub>4</sub> wird gemäß § 1 EnergieStG i. V. m. § 1a EnergieStG analog zum konventionellen Gas besteuert, unter Berücksichtigung einer Steuerermäßigung gemäß § 2 EnergieStG bis zum 31.12.2018.

5) Vorrang beim Gasnetzzugang und Begrenzung der Netzanschlusskosten für den Anschlussnehmer gemäß § 33 GasNZV.

<sup>442</sup> Vgl. die analoge Argumentation der S. 171 der Gegenäußerung der Bundesregierung (2016a).

<sup>443</sup> Vgl. exemplarisch die Kategorisierung von Flexibilisierungsoptionen nach Sterner et al. (2015, S. 86).

<sup>444</sup> Vorliegend als Drucksache 355/16 vom 08.07.2016 (Bundesrat 2016a).



„Dahingehende Festlegungen sind unvermeidbar, da der gegenwärtige Rechtsrahmen mehr Hemmnis als *‘level-playing-field’* ist.“ (ebd., Hervorhebungen der Verfasserin)<sup>445</sup>

Ferner ist hervorzuheben, dass eine technologieneutrale Regulierung aus wettbewerbsrechtlicher Sicht zwar mit den Grundsätzen der sozialen Marktwirtschaft konform ist, die im Hinblick auf einen Strommarkt, der langfristig betrachtet aus nahezu 100 % erneuerbaren Energien bestehen könnte, dagegen auf Basis des aktuellen Strommarktdesigns (*Merit Order*) nicht einfach möglich ist, respektive das alleinige Prinzip darstellen kann.

Es “besteht die Notwendigkeit bereits mittelfristig über die Kriterien eines diskriminierungsfreien Wettbewerbs Erneuerbarer Energie untereinander bei Erreichen der 100 % Erneuerbare-Energie-Marke nachzudenken. Es ist ferner zu prüfen unter welchem Stromsystem- und Strommarktdesign diese Kriterien greifen könnten. Dabei ist die Wichtigkeit voranzustellen bereits bei der Kreierung eines neuen Designs für den Strommarkt und ferner für das Gesamtsystem Strom, Wärme, Verkehr Gedanken zu den Wettbewerbskriterien vorzuschieben. Wenn heute bereits mit Kriterien zwischen den Erneuerbaren untereinander abgewogen werden kann, sind eine Sensibilisierung der Strommarktakteure und Stakeholder, aber auch gezieltere Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten möglich, die eine Innovations- und Investitionspolitik der Unternehmen und aggregiert auf der volkswirtschaftlicher Ebene schneller und effizient voran treiben. Die mitschwingende Gefahr einer zielgerichteten, pfadabhängigen und im Zweifel einseitigen Technologienentwicklung, sowie zunehmender alleiniger Kostenreduktionsanforderungen könnte ein MultiKriterienkatalog [sic!] der über den Kostenansatz hinaus bewertende Differenzierungsoptionen darlegt entgegen wirken. Damit kann ein Stück Planungssicherheit einhergehend mit einem Stück Versorgungssicherheit geschaffen werden.“ (Luhmann/Schostok/Schaube 2014, S. 15)<sup>446</sup>

Ein anderer Argumentationsstrang zur Letztverbraucherabgabenbefreiung basiert auf der Grundannahme, dass die mit einer EEG-Umlagebefreiung für regenerativen H<sub>2</sub> und synthetisches CH<sub>4</sub> aus P2G-Anlagen einhergehende Minderung der EEG-Umlage in Summe zu einer Benachteiligung des Stromsektors und einer Bevorzugung der Sektoren führt, die die EE-Gase als alternative Nutzungspfade zur Rückverstromung nutzen (EIV 3P, S. 13, 17). Dieses ist in Anlehnung an das Grundkonzept von P2G nur dann zulässig, wenn die Nähe zum Standort der Stromproduktion gegeben ist, so dass die Stromspitzen „weggeschnitten werden“ (ebd., S. 13) und ein direkter Systemnutzen für das Stromnetz entsteht (ebd.). Anders formuliert: Es muss dargelegt werden können, dass die Elektrolyse mit einem konkreten Nutzen für das Elektrizitätswirtschaftssystem und den Transformationsprozess verknüpft ist, ansonsten handelt es sich um ein Lastmanagement (ebd.). Wenn P2G-Anlagen ohne direkten Systemnutzen von der EEG-Umlage befreit werden, müsste theoretisch das gesamte Lastmanagement privilegiert werden. Aus Sicht des Experten besteht gegenwärtig und wahrscheinlich auch in naher Zukunft der gegenläufige Trend, so dass es keine EEG-Umlagebefreiung für P2G geben und das Eigenstromprivileg eher noch weiter eingeschränkt werden wird. (ebd.) Begründet wird

---

<sup>445</sup> Für eine tiefgreifende Diskussion verschiedener Definitionsvorschläge wird auf die gleichnamigen Autoren verwiesen.

<sup>446</sup> So konstatiert auch die Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ (Löschel et al. 2015, S. 23f.), dass der „anstehende Systemwechsel im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) von der Preis zur Mengensteuerung [zwar] einen weiteren Schritt auf dem Weg dar[stellt], die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien dem Wettbewerb auszusetzen (...), [allerdings] handelt es sich bei diesem Instrument weiterhin um eine Preissteuerung und nicht um eine Mengensteuerung. Die Mengensteuerung erfolgt allenfalls indirekt, wenn durch hohe Degressionsraten die Vergütungssätze soweit sinken, dass der weitere Ausbau an Attraktivität verliert oder unwirtschaftlich wird. Dies führt aber nicht zu einer unmittelbaren Einhaltung der Zubaukorridore, wie die Daten des Jahres 2014 zeigen.“

dieser Trend dadurch, dass die derzeit vorherrschenden Strompreise niedrig und profitabel sind, jedoch nur gering zur Finanzierung der erneuerbaren Energien beitragen: Alle müssen sich „an der Umlage beteiligen, auch die erneuerbaren Energieanlagen, sogar Kraftwerke mit ihrem Eigenstrombedarf und Industrieverbrauch“ (ebd., S. 14). Dieser Grundgedanke ist mit dem Grundsatz des EEG 2017 gemäß § 2 Abs. 4 konform: „Die Kosten für Strom aus erneuerbaren Energien und aus Grubengas sollen gering gehalten und unter Einbeziehung des Verursacherprinzips sowie gesamtwirtschaftlicher und energiewirtschaftlicher Aspekte angemessen verteilt werden.“

Im Rahmen dieses Argumentationsstranges dürfe eine Änderung der Letztverbraucherabgabenregelung nur mit der unerlässlichen volkswirtschaftlichen Notwendigkeit begründet werden, dass die Technologie hinter dem P2G-Konzept, im Jahr 2050 zur Langzeitspeicherung erneuerbarer Energien notwendig ist und heute bereits mit der Entwicklung der Technologie begonnen werden muss (EIV 3P, S. 14). Daraus abgeleitet könnte die Änderung der Letztverbraucherabgabenregelung zu Gunsten von P2G-Anlagen über alle Nutzungspfade hinweg, über den innovationssetzenden Stimulus des *system-pull* begründet werden.

Einhergehend mit der vorausgegangenen Argumentation könnte die Einführung von Ausnahmeregelungen für die FuE-Zeit, beispielsweise für die kommenden zehn Jahre, sinnvoll sein. Zweckmäßig könnten solche Ausnahmeregelungen im Besonderen für Versuchsanlagen z. B. mit einer Beschränkung der Anlagenkapazität auf 100 MW oder 500 MW sein. Damit bestünde auf der einen Seite die Möglichkeit, die Technologie weiterzuentwickeln ohne Mehrbelastung durch die EEG-Umlagen. Auf der anderen Seite würde langfristig eine solidarische Beteiligung der Energiespeicher an den Kosten der Energiewende weiterhin möglich sein. (EIV 3P, S. 16f.) Vorsicht ist bei einer Ausnahmeregelung für Versuchsanlagen mit einer beschränkten Anschlussleistung jedoch dahingehend geboten, als dass die Gefahr besteht das Innovationspotenzial massiv einzuschränken: Wenn die Ausnahmeregelung für Versuchsanlagen an eine zu geringe Anlagenkapazität gebunden ist, kann dieses eine hemmende Wirkung im Bereich der Großanlagenforschung entfalten. Aber genau diese Großanlagen sind die grundlegende Voraussetzung zur Erreichung einer soliden Landschaft von P2G-Langzeitspeichern im Jahr 2050.

Herauszustellen ist, dass im Rahmen der Diskussion um die EEG-Letzterverbraucherabgaben stets die Gesamtkosten und Gesamtemissionen im Blick zu behalten sind (EIV 3P, S. 17). Für eine erweiterte Darstellung des Für und Wider der Nutzungspfadunabhängigen Letztabgabenbefreiung für P2G-Anlagen wird auf die Ergebnisse zum Konsultationsprozess des Positionspapiers der BNetzA (2014) verwiesen, in der sich beide Argumentationsstränge in den Stellungnahmen spiegeln.

Zusammenfassend erweisen sich die regulatorischen Rahmenbedingungen als der zentrale *bottleneck* zur Marktintegration von P2G und damit für die Umsetzung des P2G-Konzeptes (EIV 1PC, S. 6, 31). Auf Grund der derzeit kontraproduktiven Ausgestaltung der regulatorischen Rahmenbedingungen zusammen mit der bestehenden Unsicherheit über ihre zukünftige Entwicklung existieren gegenwärtig „kaum gesicherte Geschäftsmodelle“ (EIV 2P, S. 3). Die Gestaltung und Marktintegration von P2G-Geschäftsmodellen ist an die Ausgestaltung der regulatorischen Rahmenbedingungen gebunden – sie entscheiden darüber, wie Geschäftsmodelle in der Zukunft aussehen (EIV 2P, S. 3). „Das ist (...) der entscheidende Punkt.“ (ebd.)

#### 7.5.2.4 Stellschrauben zur Förderung der Wirtschaftlichkeit gemäß P2G-Plattform

Das abschließende Unterkapitel der regulatorischen Dimension, nimmt Bezug auf die regulatorischen Stellschrauben, die zwar nicht im Fokus der Experteninterviews standen, den wirtschaftlichen Einsatz von P2G jedoch gleichfalls fördern können. Auf der »Strategieplattform Power to Gas« formuliert die dena (o. J.c, o. S.)<sup>447</sup> zusammen mit Akteuren der Energiewirtschaft, Energieforschung und Entwicklung sowie zentralen Stakeholdern aus Industrie und Verbänden fünf regulatorische Stellschrauben, die zur Marktreife von P2G beitragen.

Die erste Stellschraube zur Herstellung der wirtschaftlichen Voraussetzung für P2G durch die Befreiung der Energiespeicher von den Letztverbraucherabgaben wurde bereits ausführlich diskutiert. Die zweite Stellschraube der Anerkennung von erneuerbarem H<sub>2</sub> und synthetischem CH<sub>4</sub> als Biokraftstoff im BImSchG wurde nach Maßgabe der Vorgaben der Europäischen Union zur *Renewable Energy Directive* und der *Fuel Quality Directive* (Richtlinien (EU) 2015/1513 und (EU) 2015/652) zum 26. Juli 2016 wie folgt geändert:<sup>448</sup> Neben Biokraftstoffen können gemäß § 37a Abs. 5 BImSchG andere Kraftstoffe und *upstream*-Emissionsminderungen zur Erfüllung der THG-Minderungsquote für Kraftstoffe gemäß § 37a Abs. 4 BImSchG angerechnet werden.<sup>449</sup>

„Als anrechenbare Kraftstoffe sollen demnach ‘erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs’ gelten, etwa Wasserstoff und Methan, wenn diese per Elektrolyse gewonnen werden, bei der erneuerbarer Strom nicht biogenen Ursprungs eingesetzt wird.“ (Deutscher Bundestag 2016a, o. S.)

Die dritte Stellschraube zur P2G-Marktintegration umfasst die Konzeption und politische Flankierung eines Anreizprogramms mit Instrumenten zur „Markteinführung von erneuerbarem Wasserstoff und Methan bis 2022“ (dena o. J.c, o. S.). „Dazu gehört die zügige Umsetzung der Mehrfachanrechnung erneuerbarer Energien-Gase im Kraftstoffmarkt im nationalen Recht.“ (Agricola/Weber 2015, S. 485) Und die Umsetzung der EU-Richtlinie 2014/94/EU zur Entwicklung einer Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (dena o. J.d, o. S.).

Die vierte Stellschraube fordert die Verlängerung der Energiesteuerermäßigung für Erdgas- und Autogaskraftstoffe über das Jahr 2018 hinaus (dena o. J.c, o. S.). Mit einer solchen regulatorischen Entscheidung „soll Planungssicherheit für einen seit mehreren Jahren von Unsicherheit geprägten Markt geschaffen werden“ (dena 2016b, S. 1). Bei dem P2X-Nutzungspfad der Mobilität (P2F, P2M) erfolgt der Einsatz von regenerativem H<sub>2</sub> und synthetischem CH<sub>4</sub> in Erdgasfahrzeugen (dena o. J.c, o. S.). „Dadurch wird ein emissionsarmer Energieträger verwendet, der zur Erreichung der Klimaschutzziele im Verkehrssektor beiträgt.“ (ebd.) Mit dem „Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung des Energiesteuer- und des Stromsteuergesetzes“ hat die Bundesregierung (2016b, S.1) in dem vorliegenden Diskussionsentwurf vom 22.04.2016 darauf reagiert:

---

<sup>447</sup> Vgl. zudem Agricola/Weber (2015, S. 47f.) und dena (2016a).

<sup>448</sup> Vgl. zudem BGBl. I (2016, S. 1841).

<sup>449</sup> Vgl. zudem Deutscher Bundestag (2016a, o. S.).

„Die Steuerbegünstigung für LPG [*Liquefied Natural Gas*] wird verlängert – allerdings abschmelzend ab 2019 und befristet auf drei Jahre. Die Steuerbegünstigung für CNG [*Compressed Natural Gas*] wird hingegen auf volle sechs Jahre bis Ende 2024 erstreckt, kalendarisch abschmelzend ab 2022.“ (ebd.)<sup>450</sup>

Auf Grund längerer Investitionszyklen der Infrastruktur- und Fahrzeughersteller sowie Fahrzeugnutzer, schlagen die dena (2016b, S. 1f., 9), der BEE (2016, S. 3) und der DVGF (2016, S. 2) die gesetzliche Flankierung der Steuerbegünstigungen aus ökonomischen Beweggründen bis zum Jahr 2026 vor – so lange bis Skaleneffekte genutzt werden können und LPG bzw. CNG zu einer wettbewerbsfähigen Alternative gegenüber konventionellen Kraftstoffen geworden sind (dena 2016b S. 2).<sup>451</sup>

„Die Energiesteuerermäßigung ist das einzige Förderinstrument, das die Unternehmen als konkrete Grundlage für Ihre Investitionsentscheidungen (welche sich an Preisen für Diesel & Benzin orientieren) heranziehen können.“ (ebd., S. 1)

Die fünfte Stellschraube fordert die Entwicklung regulatorischer „Anreize zur Flexibilisierung des Stromsystems“ (dena o. J.c, o. S.). Die Härtefallregelung des § 15 EEG 2017 sieht eine Entschädigung der Anlagenbetreiber i. H. v. 95 % bzw. 100 % der entgangenen Einnahmen vor, sofern diese auf einer Reduktion der Einspeisung auf Grund eines Netzengpasses beruhen. Aus dieser Härtefallregelung folgt, dass „erneuerbarer Strom auch dann vergütet wird, wenn er gar nicht verbraucht oder in das Netz eingespeist werden kann“ (dena o. J.c, o. S.). Diese Regulierung wird als kontraproduktiv für die Entwicklung und den Einsatz von Stromspeichern betrachtet und gilt volkswirtschaftlich als nicht zweckmäßig (ebd.). Anreize zur Speicherung von überschüssigem Strom könnten z. B. durch die „schrittweise Reduzierung der Entschädigungen“ (ebd.) erfolgen. Kritisch wird „eine (vollständige) Kompensation der Abregelung“ (BMWi 2015a, S. 18) auch von der Bundesinitiative Vernunftkraft und der Wirtschaftsvereinigung Metalle angesehen (ebd.). Aus Sicht der BNetzA sollte die „abgeregelte Energie (...) [hingegen] weiterhin finanziell kompensiert werden“ (ebd.), da mit der Härtefallregelung „verlässliche Investitionsbedingungen für die Anlagenbetreiber“ (ebd.) geschaffen werden. BDEW und BEE weisen zudem darauf hin, dass es „operativ nicht umsetzbar [ist], Anlagen netzbedingt abzuregulieren und gleichzeitig eine völlige Diskriminierungsfreiheit zu gewährleisten“ (ebd.).<sup>452</sup>

<sup>450</sup> Der Diskussionsentwurf zur Gesetzesänderung enthält folgende Änderung des § 2 Abs. 2 Nr. 1 EnergieStG zur Steuerbelastung: „für 1 MWh Erdgas und 1 MWh gasförmige Kohlenwasserstoffe“ bis zum 31.12.2021 i. H. v. 13,90 €, für das Jahr 2022 i. H. v. 18,38 €, für das Jahr 2023 i. H. v. 22,85 € und für das Jahr 2024 i. H. v. 27,33 € (Bundesregierung 2016b, S. 6).

<sup>451</sup> Der Änderungsvorschlag zum § 2 Abs. 2 Nr. 1 EnergieStG des BEE (2016, S. 3) lautet „die geplante Degression der Ermäßigung auszusetzen und den ermäßigten Steuersatz mindestens bis 2026 zu gewähren“. Die dena (2016b, S. 3) empfiehlt „die Steuer für 1 MWh Erdgas und 1 MWh gasförmige Kohlenwasserstoffe“ in Abhängigkeit der jährlichen Absatzmenge bis zum 31.12.2026 wie folgt zu staffeln: „Bei einer jährlichen Gesamtabsatzmenge von bis zu 18 Mio. MWh 13,90 EUR, größer 18 bis 23 Mio. MWh 17,50 EUR. Bei vorfristiger Erreichung einer jährlichen Absatzmenge von größer 23 Mio. MWh gilt der Steuertarif gemäß Absatz 1.“

<sup>452</sup> Die Standpunkte der Bundesinitiative Vernunftkraft, der Wirtschaftsvereinigung Metalle sowie der BNetzA, des BDEW und des BEE sind dem Weißbuch "Ein Strommarkt für die Energiewende" (BMWi 2015a) entliehen. Das Weißbuch ist eine „detaillierte Auswertung der Konsultation“ (ebd., S. 4) zur Diskussion der „Frage, welches Strommarktdesign auch bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien eine sichere, kostengünstige und umweltverträgliche Versorgung mit Strom gewährleisten kann“ (ebd.), welche auf der Grundlage des vom BMWi im Oktober 2014 veröffentlichten Grünbuch stattgefunden hat (ebd.). Insgesamt sind 696 Stellungnahmen aus Deutschland und anderen europäischen Ländern eingegangen (ebd., S. 11).

Als Maßnahme zur Flexibilisierung des Stromsystems wird hingegen die Einführung einer ‚Spitzenkappung‘ von Erneuerbare-Energien Anlagen (...) als gesetzliche Vorgabe für Übertragungsnetzbetreiber“ (ebd., S. 76) fokussiert. Die Spitzenkappung würde die Einplanung einer „Abregelung von drei Prozent der jährlichen Einspeisung von Windenergie- und Photovoltaikanlagen“ (ebd.) vorsehen und sei „unter Beibehaltung der aktuellen *Redispatch*- und Entschädigungsregelungen der volkswirtschaftlich effizienteste Weg zur Reduzierung des Netzausbaus“ (ebd., Hervorhebungen der Verfasserin).<sup>453</sup> In dem Gesetzesbeschluss des Deutschen Bundestages vom 08.07.2016 zum „Gesetz zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien“ (Bundesrat 2016a) sind keine Vorhaben zur Änderung des § 15 EEG 2017 im Vergleich zur Regelung des § 15 EEG 2014 im Hinblick auf eine schrittweise Reduzierung der Entschädigungen zu erkennen. Allerdings sieht der Gesetzesentwurf über die Einführung des Absatzes 6a im § 13 EnWG

„vor, zuschaltbare Lasten in das bestehende *Redispatch*-Regime bei Engpässen auf der Übertragungsebene zu integrieren. Adressiert durch § 13 Absatz 6a EnWG wird aber nur die Wärmeversorgung bei bestehenden KWK-Anlagen. Ziel der Regelung ist es, die Menge an Strom aus erneuerbaren Energien, die aufgrund von Engpässen im Übertragungsnetz abgeregelt wird, zu reduzieren und die Entschädigungszahlungen nach § 15 EEG zu reduzieren.“ (Bundesregierung 2016c, S. 405, Hervorhebungen der Verfasserin)

Neben den von den Experten diskutierten und von der dena deklarierten regulatorischen Stellschrauben zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit, wird abschließend auf die regulatorischen Unsicherheiten hingewiesen, die mit Blick auf die Ausgestaltung von Genehmigungsverfahren und im Hinblick auf Standortfragen besetzt sind. Die Konvergenz von Strom- und Gasnetz muss auf systemtechnischer Ebene verbessert werden: Neue Infrastrukturanforderungen entstehen aus „stärker verschwimmende[n] Grenzen“ (Fischedick/Thomas 2013, S. 297) und „mehr Schnittstellen zwischen Strom-/ Gas und Wärmeinfrastrukturen“ (ebd.), die sich in einer Komplexitätssteigerung des Gesamtsystems widerspiegeln (ebd.). Bisher speisen nur punktuell Elektrolyseure tatsächlich in das Erdgasnetz ein. Das stellt Netzbetreiber und den Netzausbau vor neue, ungewisse Herausforderungen. „Der zukünftige Netzausbaubedarf ist mit Unsicherheiten behaftet, unter anderem weil zukünftige technologische Entwicklungen Änderungen im Bedarf bewirken können“ konstatiert auch der SRU (2013, S. 72). Das betrifft sowohl den Gas- als auch den Stromnetzausbau. Wie bereits dargelegt, kann P2G dazu beitragen den Ausbaubedarf elektrischer Netze zu senken. „Das ökonomische Optimum zwischen Energietransport über Stromnetze vs. Gasnetze samt Speichern ist [indessen] noch zu bestimmen“ (Sterner 2011, S. 10).

---

<sup>453</sup> Vgl. zudem BMWi (2014a, S. 45, 69).

### 7.5.3 Ökonomische Dimension

Die ökonomische Dimension der Unsicherheit steht in einer Wechselbeziehung zu der regulatorischen Dimension der Unsicherheit. Wie in mehrfacher Hinsicht dargestellt, haben die regulatorischen Rahmenbedingungen einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsrechnung von P2G-Anlagen. Sie sind ein entscheidender Faktor, ob Investitionen in die Technologie getätigt werden<sup>454</sup>, Geschäftsmodelle aus ökonomischer Sicht tragfähig sind und die Marktintegration gelingt.<sup>455</sup> Aus ökonomischer Perspektive betrachtet, ist eine regulatorische Neuausrichtung erst dann sinnvoll, wenn P2G mit anderen Speicher- und Flexibilisierungsoptionen im marktwirtschaftlichen Wettbewerb konkurrieren kann: „Speicher sollten unter wettbewerbsrechtlichen Rahmenbedingungen betrieben werden können“ (EIV 1PA, S. 4), wie bereits zuvor angemerkt.

#### 7.5.3.1 Strommarktdesign und Energiepreisrelation

Zu den Unsicherheiten der ökonomischen Dimension zählen einhergehend mit der fehlenden Konvergenz von Gas-, Mobilität-, Strom- und Wärmemarkt die Ausgestaltung eines zukünftigen Strommarktdesigns (EIV 1P, S. 7f.), (EIV 4P, S. 25). Die zeitliche Umsetzung der regulatorischen Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Veränderung des Marktdesigns fällt gemäß Expertenmeinung auseinander und sollte in Zukunft zusammengeführt werden: Die Notwendigkeit zur Veränderung des Marktdesigns bestehe aus politischer Sicht erst dann, wenn das Konzept P2G nahezu ausgereift ist und bereits Anlagen einer bestimmten Beschaffenheit existieren (EIV 1P, S. 7f.). Aus Sicht der Anlagenbetreiber und Investoren wird hingegen vorab zunächst eine regulatorische Veränderung gewünscht, da bei den vorherrschenden, tendenziell schlechten Rahmenbedingungen ein P2G-Ausbau nicht möglich erscheint (ebd.). „Zentral ist die Probleme möglichst im Vorfeld zu lösen und nicht abzuwarten, bis die Probleme da sind“ (ebd.).

Bevor die zentralen ökonomischen Unsicherheits- und Hemmnisfaktoren aus Experten-sicht dargestellt werden, wird einleitend ein Überblick zu dem derzeitigen Strommarktdesign gegeben und mögliche Änderungen diskutiert. Das Strommarktdesign in Deutschland besteht aus einem Strommengenmarkt (*Energy-Only-Market* – EOM)<sup>456</sup> und komplementären Leistungs- bzw. Kapazitätsmärkten für Regelenergie-Kapazitäten; Ausgleichs-Kapazitäten (*Demand Side Management*), Reservekapazitäten, *Redispatch*<sup>457</sup> und Blindstrom (Luhmann/Schostok/Schaube 2014, S. 8). Der EOM basiert auf dem Grundkonzept der Grenzkostenorientierung: Die Strompreisbildung erfolgt bei gegebener Stromnachfrage aus der sortierten Grenzkostenkurve der Stromerzeugung (*Merit Order*) und führt zur kostengünstigsten Kraftwerkeinsatzplanung (FfE 2010, S. 1).

<sup>454</sup> Für eine Darstellung der Investitionshemmnisse für flexible Kapazitäten im Allgemeinen wird auf Fraunhofer UMSICHT/Fraunhofer IWES (2014, S. 235) verwiesen.

<sup>455</sup> Dieses bestätigt auch die vom Fraunhofer UMSICHT und Fraunhofer IWES (2014) durchgeführte Meta-studie zu Energiespeichern: Neben technologischen Aspekten beeinflussen insbesondere regulatorische Rahmenbedingungen die Wirtschaftlichkeit von Speichertechnologien (Fraunhofer UMSICHT 2015, o. S.). Die in der Meta-Studie untersuchten Studien fordern den „Abbau von Markteintrittshemmnissen und (...) [die] Schaffung eines einheitlichen Rechts unter Berücksichtigung der anderen Flexibilitätsoptionen“ (ebd.)

<sup>456</sup> Anzumerken ist, dass die Forderung besteht „den Aufbau und Erhalt von sicheren Kraftwerkskapazitäten ökonomisch anders [zu] bewerten“ (Fischedick/Thomas 2013, S. 296), welches dazu führen kann, dass der reine EOM ein Auslaufmodell wird (ebd.).

<sup>457</sup> „Die residuale Last ist die Nachfrage, die nach Abzug der Erzeugung aus Wind- und Sonnenenergie vom restlichen Kraftwerkspark zu decken ist.“ (BMWi 2015, S. 36)

„Die *Merit Order* wird gebildet, indem der Kraftwerkspark aufsteigend nach diesen Grenzkosten sortiert wird und diese Größe über die kumulierte installierte Leistung aufgetragen wird“ (FfE 2010, S. 3, Hervorhebungen der Verfasserin). Grenzkosten sind definiert als „Zuwachs zu den Gesamtkosten, der durch die Produktion der jeweils letzten Ausbringungseinheit verursacht wird“ (Wöhe/Döring 2000, S. 392). Die Grenzkosten eines Kraftwerks bestehen aus der Summe der drei nachfolgenden Kostenarten (FfE 2010, S. 3), (BMWi 2015a, S. 41):

- Brennstoffkosten in Abhängigkeit des Wirkungsgrades des Kraftwerks,
- Kosten für den Erwerb von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten und
- variable Betriebskosten.

**Abbildung 45: Formel Berechnung Grenzkosten für einzelne Kraftwerke**

$$GK = \frac{\text{Brennstoffpreis}}{\eta} + \text{Zertifikatspreis} \times \frac{\text{spezieller Emissionsfaktor}}{\eta} + \text{variable Betriebskosten}$$

Legende:

GK = Grenzkosten  
 $\eta$  = Kraftwerkswirkungsgrad

Quelle: Eigene Darstellung nach FfE (2010, S. 3).

Konventionelle Kraftwerke, die Strom aus fossilen Quellen produzieren, sind von allen drei Kostenarten betroffen – ihre Grenzkosten berechnen sich aus den Brennstoffkosten und dem Preis für CO<sub>2</sub>-Zertifikate (jeweils in Abhängigkeit des Wirkungsgrades), zuzüglich der variablen Betriebskosten. Sie werden auch als Grundlastkraftwerke bezeichnet und sind in der Lage, die Residuallast zu decken. Im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken benötigen Anlagen fluktuierender erneuerbarer Energien (Photovoltaik, Windkraft) keine Brennstoffe und sind vom Emissionshandel befreit, so dass ihre Grenzkosten den variablen Betriebskosten entsprechen. In der Mitte liegen die Technologien, welche die Residuallast decken können, ohne dabei CO<sub>2</sub>-Zertifikate kaufen zu müssen. Zu diesen Technologien zählen insbesondere Biomasse- und Biogasanlagen, Speicher wie z. B. Druckluftspeicher, Batterien, Pumpspeicherwerke sowie Verbrennungskraftwerke, die zur Rückverstromung der EE-Gase (P2G2P) dienen.<sup>458</sup> Diese Technologien weisen zur Ermittlung der Grenzkosten die Brennstoffkosten in Abhängigkeit ihres Wirkungsgrades und die variablen Betriebskosten auf. (Luhmann/Schostok/Schaube 2014, S. 12)

Zwischen dem Strompreis und der Residuallast besteht eine positive Korrelation: Bei einer hohen Residuallast pendeln sich tendenziell höhere Preise ein, da sich das Grenzkraftwerk entsprechend der *Merit Order* zu spezifisch teureren Kraftwerken verschiebt (FfE 2010, S. 4). „Eine erhöhte Einspeisung aus erneuerbaren Energien führt [hingegen] zu einer verminderten Residuallast und in Folge dessen auch zu einem verringertem [sic!] Strompreis, was als *Merit Order* Effekt bezeichnet wird.“ (ebd., Hervorhebungen der Verfasserin) Durch die stetige Neustrukturierung der *Merit Order* werden allerdings nur kurzfristige Preiseffekte erzielt, die keine direkte Reduktion der Stromgestehungskosten zur Folge haben (ebd., S. 5). Zur Finanzierung der Investitionskosten und dem Anteil der fixen Betriebskosten (u. a. Kapital, Wartung, Personal) ist die Erwirtschaftung von Deckungsbeiträgen notwendig (BMWi 2015a, S. 41).

<sup>458</sup> Diese Technologien sind potenzielle Kandidaten zum Ersatz fossiler Kraftwerke im Fall eines 100 %-erneuerbare Energien Szenarios (Luhmann/Schostok/Schaube 2013, S. 12f.).

Das BMWi (2015a, S. 34) hat sich mit dem Konzept »Strommarkt 2.0«<sup>459</sup> für die Weiterentwicklung des bestehenden Strommarktmodells entschieden und damit gegen einen Kapazitätsmarkt. Begründet wird diese Entscheidung damit, dass der Strommarkt 2.0 gegenüber einem Kapazitätsmarkt kostengünstiger ist und Versorgungssicherheit, Innovationen und Nachhaltigkeit ermöglicht (ebd.). Der Strommarkt 2.0 basiert auf drei Säulen der Weiterentwicklung: Stärkung der „bestehenden Marktmechanismen, sodass die Marktakteure ausreichend Kapazitäten vorhalten und diese im erforderlichen Umfang einsetzen“ (ebd., S. 52); Optimierung der Stromversorgung in Deutschland und Europa, „sodass die Marktakteure die Kapazitäten effizienter und umweltverträglicher einsetzen“ (ebd.); zusätzliche Absicherung der Versorgungsleistung durch eine Kapazitätsreserve<sup>460</sup> und ein „Monitoring der Versorgungssicherheit“ (ebd.). „Die drei Bausteine bauen auf den bewährten Strukturen des liberalisierten Strommarktes auf und werden europarechtskonform ausgestaltet.“ (ebd.)<sup>461</sup> Im Strommarkt 2.0 bleiben damit die „grundsätzlichen Marktstrukturen, wie die Spot- und Terminmärkte, der außerbörsliche Handel und die Regelleistungsmärkte“ (ebd., S. 37) bestehen. Diese Marktmechanismen sollen sicherstellen, dass die Preisbildung im Strommarkt 2.0 wettbewerblich bleibt und auch beim Auftreten hoher Preisspitzen kein staatlicher Markteingriff erfolgt, welches eine Planungssicherheit für zukünftige Investitionen schaffen soll (ebd., S. 41).

Die Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ (Löschel et al. 2015, S. Z-14) steht dem Versprechen der Bundesregierung zum Grundsatz der freien Preisbildung am Stromgroßhandelsmarkt mit Skepsis gegenüber. Zweifel bestehen, ob es sich bei dieser Selbstbeschränkung um ein dauerhaftes Versprechen handelt, welches tatsächlich eine Verlässlichkeit für Investitionsentscheidungen der Privatwirtschaft darstellt (ebd., S. 76). Begründet wird diese kritische Haltung durch die vorherrschende hohe Transformationsdynamik in der Elektrizitätserzeugung, die mit der Gefahr eines Systemchaos einhergeht, in Folge dessen die Bundesregierung zum Eingreifen gezwungen wäre (ebd., S. 76f.).

Für den Fall, dass es „trotz freier Preisbildung am Großhandelsmarkt wider Erwarten einmal nicht zur Deckung von Angebot und Nachfrage kommen sollte“ (BMW 2015a, S. 80), sieht der Gesetzesentwurf zum Strommarkt 2.0 im neugefassten § 13e Abs. 2 Strommarktgesetz die Vorhaltung einer strategischen Kapazitätsreserve i. H. v. 2 GW ab dem Winterhalbjahr 2018/2019 vor (Bundesrat 2016b, S. 5).<sup>462</sup> Ab dem Winterhalbjahr 2020/2021 sieht der Gesetzesbeschluss eine Kapazitätsreserve in gleichem Umfang vor, vorbehaltlich der Prüfung gemäß § 13e Abs. 5 Strommarktgesetz, die eine Ausweitung der Kapazitätsreserve bis zu 5 % „der durchschnittlichen Jahreshöchstlast im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland“ (ebd., S. 6) ohne Genehmigung des

<sup>459</sup> Angemerkt sei an dieser Stelle, dass es heute noch um die Integration erneuerbarer Energien in einen von fossilen Kraftwerken dominierten Markt geht (EIV 4P, S. 24). In naher Zukunft wird der Fokus auf der Frage der Integration von konventionellen *Backup*-Kraftwerken in einen erneuerbaren Energien Markt liegen (ebd.). Wenn der Ausbau erneuerbarer Energien in Richtung der 100 %-Marke gesteuert wird, wird sich hingegen mittel- bis langfristig die Frage nach der Ausgestaltung eines diskriminierungsfreien Wettbewerbs zwischen den erneuerbaren Optionen untereinander – einem Intra-Wettbewerb erneuerbarer Energien – stellen (Luhmann/Schostok/Schaube 2014, S. 8). Dieses wird ein neues Marktdesign erfordern (ebd., S. 7f.).

<sup>460</sup> „Im Unterschied zum ‘Kapazitätsmarkt’ umfasst die Kapazitätsreserve nur Kraftwerke, die nicht am Strommarkt teilnehmen und den Wettbewerb und die Preisbildung nicht verzerren. Diese Kraftwerke kommen nur dann zum Einsatz, wenn es trotz freier Preisbildung am Großhandelsmarkt wider Erwarten einmal nicht zur Deckung von Angebot und Nachfrage kommen sollte.“ (BMW 2015a, S. 36)

<sup>461</sup> Flankiert werden diese drei Bausteine von insgesamt 20 Umsetzungsmaßnahmen (BMW 2015a, S. 58ff.).

<sup>462</sup> Vgl. zudem BGBl. I (2014, S. 1793f.) und die Maßnahmenbeschreibung 19 zur Einführung einer Kapazitätsreserve (BMW 2015a, S. 80ff.).



Bundestages ermöglichen würde (ebd., S. 6). Dieses entspricht einer Kapazitätsreserve i. H. v. 4,4 GW (Deutscher Bundestag 2016b, S. 153). Die Kapazitätsreserve erfolgt über ein Ausschreibungsverfahren, welches von den Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) koordiniert wird und umfasst nur Kraftwerke, die vom regulären Strommarkt ausgeschlossen sind (BMW 2015a, S. 80). Übergangsweise werden dazu bis zu ihrer Stilllegung „alte Braunkohlekraftwerke in die Kapazitätsreserve überführt“ (ebd., S. 81). Werden die Kraftwerke auf Grund eines mangelnden Stromangebotes am *Day-Ahead* Markt in Bereitschaft versetzt, jedoch nicht genutzt, „werden die Vorhaltekosten über alle Stromkunden verteilt“ (ebd., S. 82). Diese Maßnahme impliziert gemäß Löschel et al. (2015, S. Z-14) auch weiterhin die „Möglichkeit zur regulatorischen Preisbeeinflussung“. Gemäß Schätzungen des nationalen Normenkontrollrates entsteht den ÜNB und Anlagenbetreibern ein jährlicher Erfüllungsaufwand i. H. v. 400.000,- € zzgl. einer einmaligen Aufwendung von 110.000,- € (Deutscher Bundestag 2016b, S. 154). „Die [Höhe der] Kosten für die Vorhaltung der Kapazitätsreserve (...) ergibt sich als Ergebnis des Ausschreibungsverfahrens“ (ebd.) und wird auf 160 Mio. € pro Jahr geschätzt (ebd.). Durch die Verteilung der Vorhaltekosten über alle Stromkunden führt die Einführung der Kapazitätsreserve zu einer Steigerung des Strompreises um ca. 0,03 ct/kWh (ebd.).<sup>463</sup>

Als „Kern des Dilemmas“ (Löschel et al. 2015, S. 77) sieht die Expertenkommission ferner „die Inkompatibilität des EE-Ausbauziels mit dem natürlichen Abschmelzen konventioneller Erzeugung inkl. Kernenergie-Ausstieg“ (ebd.), die „aktuell zu massiven Überkapazitäten im Bereich der Erzeugung und zu entsprechend sehr geringen Großhandelspreisen“ (ebd.) führt. Als Gegenmaßnahme werden zwei Vorschläge zur Wiederherstellung der „Symbiose zwischen den beiden Systemen“ (ebd.) von der Expertenkommission dargelegt. Der erste Vorschlag fokussiert die Bemessungsgrundlage der Förderung erneuerbarer Energien: Diese sollte als „Differenz zu den kalkulatorischen Kosten eines konventionellen Erzeugungssystems (z. B. Gaskraftwerke)“ (ebd.), statt „als Differenz der kalkulatorischen Erzeugungskosten zu den Großhandelspreisen“ (ebd.) berechnet werden. Dieses würde zu einer marktgerechten Steuerung des Kapazitätsaufbaus erneuerbarer Energien in Abhängigkeit der Knappheitsverhältnisse am Strommarkt führen: „Ist der Stromgroßhandelspreis hoch, steigt die Investitionsneigung, ist er tief, sinkt sie“ (ebd.). Durch das im EEG 2014 eingeführte Ausschreibungsverfahren<sup>464</sup> für Anlagen erneuerbarer Energien wird dieser Vorschlag hingegen obsolet (Löschel et al. 2015, S. 77.). Statt eines Ausschreibungsverfahrens im Sinn des § 5 Nr. 3 EEG 2014 als „ein objektives, transparentes, diskriminierungsfreies und wettbewerbliches Verfahren zur Bestimmung der Höhe der finanziellen Förderung“, betrachtet die Expertenkommission das Ausschreibungsverfahren als eine Art „Investitionslenkung“ (Löschel et al. 2015, S. 77) und damit als Gegenteil einer „wettbewerblichen Strommarktordnung“ (ebd.). Durch die Ausschreibungsverfahren werden die Erzeugungskapazitäten nicht mehr ausschließlich über die Stromgroßhandelspreise, sondern über ein staatlich organisiertes Fördersystem (co-)finanziert (ebd.).

<sup>463</sup> In Anlehnung an die drei von der BNetzA und des Bundeskartellamts (2016, S. 195, 198, 200) definierten Standard-Stromkundengruppen, würde die Einführung der Kapazitätsreserve zu einer jährlichen Mehrbelastung von 7.200,- € bei Industriekunden (Stromverbrauch 24 GWh/Jahr), 15,- € bei Gewerbekunden (Stromverbrauch 50 MWh/Jahr) und 1,05 € bei Haushaltskunden (Stromverbrauch 3.500 kWh/Jahr) führen.

<sup>464</sup> Gemäß § 5 Nr. 3 EEG 2014 ist ein Ausschreibungsverfahren als „ein objektives, transparentes, diskriminierungsfreies und wettbewerbliches Verfahren zur Bestimmung der Höhe der finanziellen Förderung“ definiert. Eine ähnliche Definition wird im § 3 Nr. 4 EEG 2017 fortgeführt, demgemäß ein Ausschreibungsverfahren als „ein transparentes, diskriminierungsfreies und wettbewerbliches Verfahren zur Bestimmung des Anspruchsberechtigten und des anzulegenden Werts“ definiert ist.

Der zweite Vorschlag besteht in der Subventionierung der „Differenz zwischen den kalkulatorischen Kosten von Elektrizität aus Gaskraftwerken und den Großhandelspreisen“ (ebd.).

Eine Folge des Strommarktdesigns ist der Vorzug des Zuschaltens von z. B. Braun- und Steinkohlekraftwerken gegenüber dem Zuschalten von Gasturbinen und Gas-und-Dampf-Kraftwerken, gleichwohl sie weniger CO<sub>2</sub> im Fall der Verwendung von Erdgas emittieren (Wagner et al. 2007, S. 46), (GWI et al. 2015, S. 111)<sup>465</sup> und im Fall der Verbrennung von regenerativem H<sub>2</sub> oder synthetischem CH<sub>4</sub> (P2G2P) CO<sub>2</sub>-neutral sind. Dieses konnte auch durch das weiterentwickelte Marktdesign des Strommarkt 2.0 nicht behoben werden. Von den Experten wird gefordert, diese „paradoxe Situation“ (EIV 4P S. 25) regulatorisch aufzulösen und damit einen Anreiz für die Herstellung synthetischen CH<sub>4</sub> zu schaffen (ebd.). Auch die Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ sieht durch die vorherrschenden Energiepreisrelationen eine Begünstigung des Einsatzes „emissionsintensiveren Energieträger, vornehmlich Stein- und Braunkohle“ (Löschel et al. 2015, S. 77). Ein zentraler Hebel zur Lösung dieses Paradoxons könnte die Wiederbelebung des CO<sub>2</sub>-Handels<sup>466</sup> (EIV 3P, S. 17), z. B. durch eine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise (EIV 4P S. 25), (EIV 3P, S. 16) oder die Herabsenkung der Ausgabemenge an CO<sub>2</sub>-Zertifikaten sein. Weitere Handlungsmöglichkeiten sind beispielsweise die Einführung einer (Braun-)Kohlesteuer (EIV 4P, S. 25) oder einer CO<sub>2</sub>-Steuer.<sup>467</sup>

---

<sup>465</sup> In Bezug auf das Verbrennungsprodukt ist Erdgas ökologisch weniger schädlich als Erdöl. Jedoch wird teilweise außer Acht gelassen, dass die Erdgasproduktion häufig über eine Erdöl-Co-Exploration gefördert wird. Dieses ist besonders bei einer *well-to-wheel* Betrachtung im Mobilitätssektor einzubeziehen. (EIV 1P, S. 8)

<sup>466</sup> „Insgesamt reichen offensichtlich die überschüssigen Projektgutschriften und Zertifikate auch in der bisherigen dritten Handelsperiode noch aus, um einen Druck auf die Zertifikatspreise zu bewirken. (...) Unabhängig von der Tatsache, dass ungeachtet dieser niedrigen Preise das Emissionsminderungsziel für die emissionshandelspflichtigen Anlagen im Jahr 2020 erreicht wird (minus 21 % im Vergleich zu 2005), gehen keine zusätzlichen Emissionsminderungsimpulse von dieser Situation aus (...). Erst mit der bevorstehenden Strukturreform für die vierte Handelsperiode ab 2020 und der Einführung der Marktstabilitätsreserve ab 01.01.2019 dürfte zusammen mit den ambitionierteren Klimaschutzziele bis 2030 der Emissionshandel gestärkt werden.“ (Löschel et al. 2015, S. 19) Zu den europäischen Reformvorschlägen zum Emissionshandelssystem der vierten Handelsperiode von 2021 bis 2030 im Einzelnen wird auf die Europäische Kommission (2015) und die Dokumentation des Deutschen Bundestages (2016c) verwiesen.

<sup>467</sup> Eine weitere Möglichkeit ist die Senkung des Gaspreises (EIV 4P, S. 25). Diese Option obliegt jedoch keiner direkten regulatorischen Beeinflussung, insbesondere da die staatlich induzierten Preiskomponenten nur 25,4 % des Gesamtgaspreises (BNetzA/Bundeskartellamt 2016, S. 317) ausmachen. Demungeachtet ist der Gaspreis um rund 4 % bei Industriekunden und 2 % bei Gewerbekunden gesunken (ebd., S. 317, 319). Der Erdgaspreis von industriellen Abnehmern (Jahresverbrauch 100.000 GJ bis unter 1.000.000 GJ) lag gemäß des Statistischen Bundesamtes (2016, S. 22) im 1. Halbjahr 2015 bei 3,16 ct/kWh (einschließlich Verbrauchssteuern, ohne Mehrwertsteuer). Dieses entspricht einer Gaspreisreduktion um 10,7 %, verglichen mit dem 1. Halbjahr 2014 (Gaspreis 3,54 ct/kWh) (ebd.).

### 7.5.3.2 CO<sub>2</sub>-Handel und CO<sub>2</sub>-Preis

Die Möglichkeiten zur Anreizsetzung in der Industrie CO<sub>2</sub> für die Herstellung synthetischen CH<sub>4</sub> in P2G-Anlagen bereit zu stellen, ist in Relation zum CO<sub>2</sub>-Handel zu betrachten (EIV IPC, S. 14f.), da neben der beschränkenden Rechtsvorschrift zum biogenen CO<sub>2</sub>-Ursprung (§3 Nr. 10c EnWG) auch der niedrige CO<sub>2</sub>-Preis im Rahmen des *EU Emissions Trading System* (EU-ETS)<sup>468</sup> keine ausreichenden Anreize auslöst.

Der Preis für ein CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikat (EUA – *European Union Allowance*), welches zum Ausstoß einer Tonne CO<sub>2</sub> berechtigt, liegt gegenwärtig bei 4,33 € (Stand 02.12.2016) und ist um rund 58 % gegenüber dem Preis zum Einführungszeitpunkt des EU-ETS bei der EEX (*European Energy Exchange*) (Referenzpreis am 09.03.2005 10,40 €) gesunken (EEX 2009), (EEX o. J.). Verglichen mit den Kostenschätzungen zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung bei Kraftwerken und Industrieanlagen i. H. v. 20,- bis 40,- €/t CO<sub>2</sub><sup>469</sup> liegt der derzeitige CO<sub>2</sub>-Handelspreis um ein Vielfaches darunter. Bedingt durch den geringen Preis für CO<sub>2</sub>-Zertifikate besteht damit mangels (ökonomischer) Vorteile für die Industrie zurzeit kein Anreiz zur CO<sub>2</sub>-Bereitstellung. Im Gegenteil: Eine Studie des NGO Carbon Market Watch (2016, S. 2) kommt zu dem Ergebnis, dass die CO<sub>2</sub>-intensive Industrie<sup>470</sup> in 20 europäischen Ländern über den EU-ETS zusätzliche Einkünfte i. H. v. über 25 Mrd. € im Zeitraum zwischen 2008 und 2015 erwirtschaftet hat. Der größte Teil wurde mit 4,7 Mrd. € in Deutschland erzielt (ebd., S. 4). Diese Möglichkeit zu nutzen, liege in der Verteilung zu vieler kostenloser CO<sub>2</sub>-Zertifikate und damit im EU-ETS selbst begründet (ebd., S. 2). Eine Studie des NGO InfluenceMap (2016a) kommt darüber hinaus zu dem Ergebnis, dass speziell in der Zementindustrie eine intensive Lobbyarbeit diese Möglichkeiten begünstigt hat (InfluenceMap 2016b, S. 2).

Wie bereits dargelegt, sind die biogenen CO<sub>2</sub>-Ressourcen begrenzt und die CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Atmosphäre erst mittel- bis langfristig wirtschaftlich, so dass die CO<sub>2</sub>-Abscheidung in Kraftwerken und industriellen Anlagen als eine CO<sub>2</sub>-Brückenfunktion in der zweiten Kaskade der Methanisierung von Nutzen sein kann. Zur Motivationsstärkung der Industrie CO<sub>2</sub> für die Methanisierung zur Verfügung zu stellen, kann neben der Reformierung des EU-ETS eine verbindliche Erneuerbaren-Quote beitragen (EIV IPC, S. 14f.): Ähnlich zu dem Energiemarkt, bei dem eine Erneuerbaren-Quote beim Bruttostromverbrauch sowie beim Bruttoendenergieverbrauch politisch avisiert ist (BMW/BMU 2010, S. 4f.), könnte eine vergleichbare Quote im Produktbereich, insbesondere bei der stofflichen Nutzung fossiler Energieträger, dazu beitragen, z. B. die Kunststoffproduktion klimafreundlicher zu gestalten. Dabei ist als erster Schritt nicht eine sehr ambitionierte Höhe der Zielmarke zu den Anteilen regenerativer Energien ausschlaggebend, sondern die Zielmarke an sich (EIV IPC, S. 14f.): „Fangen Sie da mit einigen Prozenten im Bereich der Kunststoffe (so und soviel muss regenerativ sein) an und dann wird das System von alleine anlaufen“ (ebd.).

---

<sup>468</sup> Für grundlegende Informationen zum EU-ETS wird exemplarisch auf UBA (2016c) und DEHSt (2014) verwiesen.

<sup>469</sup> Siehe Tabelle 26: Kostenabschätzung der CO<sub>2</sub>-Abscheidung in Kraftwerken und Industrieanlagen.

<sup>470</sup> Zu den Sektoren mit den größten kumulierten *windfall profits* zählen gemäß Carbon Market Watch (2016, S. 4) die Branchen Eisen und Stahl (8,4 Mrd. €), Zement (5,0 Mrd. €), Raffinerien (4,6 Mrd. €) und die Petrochemie (1,7 Mrd. €).

### 7.5.3.3 Strombezugskosten und Stromgestehungskosten

Neben den Hemmnissen die sich aus dem Strommarktdesign und dem CO<sub>2</sub>-Emissionshandel ergeben, liegt die Unsicherheit im Preis für den überschüssigen Strom aus fluktuierenden Erneuerbaren begründet.<sup>471</sup> Von der Begriffsbedeutung abgeleitet, müsste überschüssiger Strom auf Grund fehlender Abnehmer günstig sein, indes ist der Preis für überschüssigen Strom wegen fehlender Preisflexibilität konstant: Unabhängig vom Börsenpreis und etwaiger Negativpreise zahlt der Betreiber eines Elektrolyseurs den vollen Preis (EIV 1P, S. 7). Diese regulatorische Rahmung hat negative Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung einer P2G-Anlage und geht mit der Forderung einher, dass überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energien mit einem entsprechend günstigen Preis ausgezeichnet sein sollte. Dieses würde zu einer in Gänze veränderten Wirtschaftlichkeitsberechnung führen. (ebd.) Denn ein wirtschaftlicher Betrieb von P2X-Anlagen und die damit verbundene Marktintegration dieser Technologien zur Sektorkopplung „hängt – neben weiteren Faktoren – insbesondere von den jeweiligen Strombezugskosten ab“ (Löschel et al. 2015, S. 12).

Die nachfolgende Beispielrechnung der Strombezugskosten soll dieses illustrieren (Löschel et al. 2015, S. 12): Werden für die Strombezugskosten von P2X-Betreibern die durchschnittlichen Industriestrompreise i. H. v. 14,8 ct/kWh (BNetzA/Bundeskartellamt 2016, S. 196)<sup>472</sup> veranschlagt,

„wären die erzeugten Produkte auf ihren Referenzmärkten Wärme bzw. Erdgasmarkt (Letztverbraucherpreis aktuell maximal 7 ct/kWh), Dieselkraftstoff (maximal 9ct/kWh, einschließlich Treibstoffsteuer) und Benzin (maximal 13 ct/kWh, einschließlich Treibstoffsteuer) nicht wettbewerbsfähig, selbst wenn man bei den fossilen Energieträgern die CO<sub>2</sub>-Kosten noch hinzurechnen würde“ (Löschel et al. 2015, S. 12).

Selbst im Fall eines Bezugs überschüssigen Stroms aus regenerativen Quellen über den Großhandelsmarkt zu einem Preis von 0 ct/kWh statt zu 4,19 ct/kWh, wären die verbleibenden Strombezugskosten von 10,68 ct/kWh auf Grund der „staatlich induzierten und regulierten Strompreiskomponenten“ (Löschel et al. 2015, S. 12) auf den Referenzmärkten noch nicht konkurrenzfähig (ebd.).<sup>473</sup>

---

<sup>471</sup> Bereits heute müssen Betreiber von Windkraftanlagen auf Grund der sinkenden EEG-Förderung neue Wege finden eine Abregelung von Windstromüberschüssen zu vermeiden. Besonders in Zeiten negativer Strompreise sind sinnvolle Alternativen für die Nutzung der Windstromüberschüsse zu finden.

<sup>472</sup> Als durchschnittlicher Industriestrompreis ist hier der arithmetische Mittelwert des Preisniveaus am 01.04.2015 für den Abnahmefall 24 GWh pro Jahr, mit Berücksichtigung der Stromsteuer, ohne die Berücksichtigung von Begünstigungen angenommen. „Jahresbenutzungsdauer 6.000 Stunden (Jahreshöchstlast 4.000 kW; Versorgung in Mittelspannung 10 oder 20 kV)“ (BNetzA/Bundeskartellamt 2016, S. 195). In der zugrunde gelegten Beispielrechnung beziehen sich Löschel et al. (2015, S. 12) hingegen auf einen vom BDEW (2015) veröffentlichten durchschnittlichen Industriestrompreis i. H. v. 13,7 ct/kWh, allerdings ohne die Einbeziehung der Stromsteuer, bei einem „Jahresverbrauch 160 bis 20.000 MWh (mittelspannungsseitige Versorgung; Abnahme 100 kW/1.600 h bis 4.000 kW/5.000 h)“ (Löschel et al. 2015, S. 12). Eine hier erfolgte Aktualisierung des durchschnittlichen Industriestrompreises verschärft das Illustrationsbeispiel an dieser Stelle, und schafft eine einheitliche Ausgangsbasis für die vertiefende Diskussion, die im Rahmen der Abbildung 46: Preisniveau und mögliche Vergünstigungen für Industriekunden\* zum 01.04.2015 geführt wird.

<sup>473</sup> Für eine ganzheitliche Modellierung der CH<sub>4</sub>-Gestehungskosten wird auf Jentsch (2014, S. 95-105) verwiesen.

Dieses Bild spiegelt sich auch bei der Betrachtung der Stromgestehungskosten pro Kilogramm Elektrolysewasserstoff wider:

- P2G: Alkalische Systeme 4,50 €/kg,
- P2G: PEM-Anlagen 9,00 €/kg,
- Erdgas: Dampfreformierung 0,75 €/kg (Kurzweiler/Dietlmeier 2015, S. 465).

Rein wirtschaftlich betrachtet, ergibt sich damit ein Vorteil für die konventionelle H<sub>2</sub>-Herstellung. Bei einer ökologischen Bewertung der THG-Emissionen ( $\omega_T$ ) und des Versauerungspotenzials der Meere ( $\omega_a$ ) auf Basis einer Ökobilanz ist die alkalische Elektrolyse hingegen der Dampfreformierung von Erdgas vorzuziehen (Kurzweiler/Dietlmeier 2015, S. 466):

- P2G: alkalische Elektrolyse in Kombination mit
  - Windkraft ( $\omega_T \approx 1$ ,  $\omega_a \approx 3$ )
  - Wasserkraft ( $\omega_T \approx 2$ ,  $\omega_a \approx 4$ )
  - Photovoltaik ( $\omega_T \approx 3$  bis  $7$ ,  $\omega_a \approx 23$ )
- Erdgas: Dampfreformierung ( $\omega_T \approx 10$ ,  $\omega_a \approx 15$ ).<sup>474</sup>

Gleichwohl die Ökobilanzierung<sup>475</sup> von P2G-Anlagen seitens der Experten im Rahmen der Interviews nicht thematisiert wurde, sei an dieser Stelle anzumerken, dass eine über den gesamten Lebenszyklus zu betrachtende Bewertung der Umweltauswirkungen wichtig ist. Wie die Studie von Trost/Hobmeier (2013, o. S.) zeigt, haben insbesondere die „Stromquelle, [der] Speicherstandort und ggf. benötigte H<sub>2</sub>-Speichertanks (...) [einen] signifikanten Einfluss auf die Klimawirkung“.<sup>476</sup>

**Zwischenbilanz:** Die primären Hebel zur positiven Beeinflussung der Wirtschaftlichkeitsberechnung einer P2X-Anlage sind folglich die zuvor diskutierten regulatorischen Rahmenbedingungen z. B. die Letztverbraucherabgaben,<sup>477</sup> der CO<sub>2</sub>-Handel und die CO<sub>2</sub>-Preise, sowie eine etwaige Besteuerung fossiler Energieträger und CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>478</sup> und sekundär die Strombezugskosten und die damit in Verbindung stehenden Gesteungskosten von regenerativem H<sub>2</sub> und synthetischem CH<sub>4</sub>. Zur Visualisierung der potenziellen Hebelwirkung sind in der nachfolgenden Abbildung die Einzelpositionen des staatlich induzierten und regulierten Strompreises zusammengestellt.

<sup>474</sup> Kritisch anzumerken ist: „Die Zwischenspeicherung von Energie aus dem öffentlichen Netz in Form von Wasserstoff ist nicht nachhaltig ( $\omega_T \approx 30$ ) unter den Bedingungen der Union for the Coordination of Transmission of Electricity (UCTE) aus dem Jahr 2010.“ (Kurzweiler/Dietlmeier 2015, S. 466)

<sup>475</sup> „Die Ökobilanz ist ein Verfahren, um umweltrelevante Vorgänge zu erfassen und zu bewerten. Bei der Erstellung von Ökobilanzen sind vor allem zwei Grundsätze zu befolgen: [1.] Medienübergreifende Betrachtung: Alle relevanten potenziellen Schädwirkungen auf die Umweltmedien Boden, Luft, Wasser sind zu berücksichtigen, [2.] Stoffstromintegrierte Betrachtung: Alle Stoffströme, die mit dem betrachteten System verbunden sind (Rohstoffeinsätze und Emissionen aus Vor- und Entsorgungsprozessen, aus der Energieerzeugung, aus Transporten und anderen Prozessen), sind zu berücksichtigen.“ (UBA 2013, o. S.). Die Grundsätze und Rahmenbedingungen für die Ökobilanzierung sind in der DIN EN ISO 14040 und die Anforderungen und Richtlinien in der DIN EN ISO 14044 festgelegt.

<sup>476</sup> Siehe zudem die vergleichende ökologische Bewertung der THG-Emissionen und des Versauerungspotenzials der Meere bei der Herstellung von konventionellem und regenerativem H<sub>2</sub> in Kapitel 7.5.3.3.

<sup>477</sup> Siehe Kapitel 7.5.2.

<sup>478</sup> Siehe Kapitel 7.5.3.1 und 7.5.3.2.

**Abbildung 46: Preisniveau und mögliche Vergünstigungen für Industriekunden\* zum 01.04.2015**

PREISNIVEAU		MÖGLICHE VERGÜNSTIGUNGEN		
arithmetischer Mittelwert		max. Reduktion um:		Verbleibend
in ct/kWh		in ct/kWh	in %	in ct/kWh
<b>staatlich induzierte und regulierte Preisbestandteile</b>	<b>10,62</b>	<b>-9,81</b>	<b>92%</b>	<b>0,81</b>
Messung, Abrechnung, Messstellenbetrieb	0,06	0,00	0%	0,06
Nettonetzentgelt	2,06	-1,65	80% <sup>a</sup>	0,41
Konzessionsabgabe <sup>b</sup>	0,12	-0,12	100%	0,00
EEG-Umlage <sup>c</sup>	6,17	-5,86	95%	0,31
weitere Umlagen	0,16	-0,07	44%	0,09
KWKG <sup>d</sup>	0,051			
StromNEV <sup>e</sup>	0,057			
Offshore-Haftung	0,046			
abschaltbare Lasten	0,006			
Stromsteuer <sup>f</sup>	2,05	-2,05	100%	0,00
<b>Vom Lieferanten beeinflussbarer Preisbestandteil</b>	<b>4,19</b>	<b>0,00</b>	<b>0%</b>	<b>4,19</b>
<b>Gesamtpreis (ohne Umsatzsteuer)</b>	<b>14,81</b>	<b>-9,80</b>	<b>66%</b>	<b>5,00</b>

Quelle: Eigene Darstellung. Datenbasis der linken Tabelle BNetzA/Bundeskartellamt (2016, S. 195-198). Rechte Tabelle basierend auf eigenen Berechnungen.

\* Abnahmefall 24 GWh pro Jahr, mit Berücksichtigung der Stromsteuer, ohne die Berücksichtigung von Begünstigungen; „Jahresbenutzungsdauer 6.000 Stunden (Jahreshöchstlast 4.000 kW; Versorgung in Mittelspannung 10 oder 20 kV)“ (BNetzA/Bundeskartellamt 2016, S. 114)

<sup>a</sup> Gemäß § 19 Abs. 2 Satz 3 StromNEV besteht bei mehr als 6.000 Benutzungsstunden eine höhere Reduktionsmöglichkeit

<sup>b</sup> Rechtsgrundlage Konzessionsabgabe: § 2 Abs. 4 S. 1 KAV

<sup>c</sup> Rechtsgrundlage EEG-Umlage: §§ 64 ff., 103 i. V. m. Anlage 4 EEG 2017

<sup>d</sup> Rechtsgrundlage KWKG: § 9 Abs. 7 Satz 3 KWKG

<sup>e</sup> Rechtsgrundlage StromNEV: § 19 Abs. 2 StromNEV

<sup>f</sup> Rechtsgrundlage Stromsteuer: § 9a StromStG

Diese Kostenrechnung zeigt die potenzielle Hebelwirkung zur Wirtschaftlichkeitsförderung von P2G-Anlagen über die Verminderung staatlich induzierter und regulierter Strompreisbestandteile. Nehmen Industriekunden<sup>479</sup> die möglichen Vergünstigungen in Anspruch, wird der staatlich induzierte Preisbestandteil um 92 % reduziert. Für den Fall, dass P2G-Anlagen die gleichen Vergünstigungen beim Strombezug erhalten würden, wie sie beispielweise Industriekunden erhalten können, und damit die Letztverbraucherabgaben unabhängig vom Nutzungspfad entfallen würden, könnte der Strombezugspreis von 14,81 ct/kWh auf 5 ct/kWh sinken. Deutlich wird in dieser Vergleichsrechnung zudem, dass die Inanspruchnahme etwaiger Vergünstigungen die vom Staat und die vom Lieferanten beeinflussten Preisbestandteilen in ein reziprokes Verhältnis stellen: Vor der Inanspruchnahme möglicher Vergünstigungen (Preisniveau) entfallen 72 % auf die vom Staat und 28 % auf die vom Lieferanten beeinflussten Preisbestandteile. Nehmen Industriekunden hingegen die zur Verfügung stehenden Vergünstigungen an, besteht der Strombezugspreis aus 16 % staatlicher und 84 % vom Lieferanten beeinflusster Preisbestandteile. Insgesamt zeigt die Kostenrechnung deutlich, dass ohne die Gleichstellung von

<sup>479</sup> Wie bereits in Kapitel 7.5.2.3 Konvergenz zwischen Energiemärkten – Letztverbraucherabgaben dargestellt, zählen gemäß Anlage 4 EEG 2017 u. a. der Steinkohlebergbau (WZ-510), die Gewinnung von Erdöl (WZ-610) und Erdgas (WZ-620) und die Herstellung von Industriegasen (WZ-2011) zu den Branchen, die bedingt durch ihren stromkosten- und handelsintensiven Charakter von der EEG-Umlage befreit sein können. Die Herstellung von Industriegasen umfasst dabei u. a. die Erzeugung von H<sub>2</sub> und technischen Kohlenwasserstoffen wie z. B. CH<sub>4</sub> (IGV o. J., S. 4f.).

P2X-Anlagen und Industriekunden (Energiegroßverbrauchern) beim Strombezug, P2X-Anlagenbetreiber 9,8 ct/kWh (66 %) mehr zahlen müssen und damit monetär benachteiligt sind.<sup>480</sup>

Die Entwicklung der internationalen Brennstoffmärkte für Erdgas, Rohöl und Steinkohle sowie die Preisentwicklung für CO<sub>2</sub>-Zertifikate sind maßgeblich bestimmend für die Großhandelspreise (Löschel et al. 2015, S. Z-15). Bei stromintensiven Industriekunden (Stromabnahme > 150 GWh/Jahr) existiert durch zumeist individuelle außerbörsliche Kontrakte keine amtliche Preisstatistik (BMWi 2015b, S. 74). Eine Abschätzung der Strompreise erfolgt in Anlehnung an die „direkten Beschaffungskosten (Großhandelspreise am Spot- und Terminmarkt, da diese Industriekunden vorwiegend einer Abgaben- und Umlagebefreiung unterliegen“ (ebd., S. 73f.). Der Strompreis für die stromintensive Industrie (Stromabnahme 70-150 GWh/Jahr) variiert stark in Abhängigkeit der Abgaben- und Umlagebefreiung und beträgt im arithmetischen Mittel 10,48 ct/kWh im Jahr 2014 (Steigerung 3 % gegenüber 2013) und im ersten Halbjahr 2015 10,12 ct/kWh (Senkung 3,4 % gegenüber 2014) (ebd.). Der Strompreis für stromintensive Industriekunden unterliegt damit einer starken Abhängigkeit im Bezug auf die Befreiung von staatlich indizierten und regulierten Strompreiskomponenten (BNetzA/ Bundeskartellamt 2016, S. 26). Im Fall des oben betrachteten Beispielunternehmens der Industrie (Stromabnahme 24 GWh/Jahr) liegt der Strompreis mit 14,8 ct/kWh über dem Durchschnitt Europas. Der durchschnittliche Strompreis für Industriekunden in der EU-28 betrug im zweiten Halbjahr 2015 11,9 ct/kWh (Eurostat 2016, o. S.). Sofern der Tatbestand der Vergünstigungsregelung voll greift, liegt der Strompreis i. H. v. 5 ct/kWh im europäischen Vergleich unter dem Durchschnitt (ebd.).<sup>481</sup>

Der Gaspreis beträgt bei energieintensiven Industriekunden (Gasabnahme ≥ 116 GWh/Jahr) 3,46 ct/kWh ohne Umsatzsteuer (BNetzA/Bundeskartellamt 2016, S. 317).<sup>482</sup> Davon sind, abweichend zur Verteilung der Preiskomponenten beim Industriestrompreis, 74,6 % auf die vom Lieferanten beeinflussbare Preiskomponente und 25,4 % auf staatlich beeinflussbare Preiskomponenten zu verteilen (ebd.).

Die Energiekosten<sup>483</sup> der deutschen Industrie kumulieren sich für das Jahr 2014 auf 37,9 Mrd. € (BMWi 2015b, S. 72). Dieses entspricht einer Senkung der Energiekosten von 1,6 % gegenüber dem Jahr 2013 (ebd.). Für einen adäquaten internationalen Vergleich der Energiekosten empfiehlt die Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ den Indikator „Energienstückkosten“ (Löschel 2015, S. 8, 91ff.), der als „Anteil der Energiekosten an der Bruttowertschöpfung“ (ebd.) ausgewiesen ist. In einer Weiterentwicklung umfasst der Indikator neben direkten auch indirekte Energiekosten.

<sup>480</sup> Siehe zu den regulatorischen Rahmenbedingungen der Letztverbraucherabgaben auch Kapitel 7.5.2.3 Konvergenz zwischen Energiemärkten – Letztverbraucherabgaben.

<sup>481</sup> Im Vergleich dazu beträgt das Preisniveau zum 01.04.2015 für einen Gewerbekunden (Abnahmefall 50 MWh/Jahr) 21,47 ct/kWh und für Haushaltskunden (Abnahmefall 3.500 kWh/Jahr) zwischen 30,08 ct/kWh und 27,85 ct/kWh in Abhängigkeit zur Vertragskategorie (BNetzA/Bundeskartellamt 2016, S. 199, 207).

<sup>482</sup> Als durchschnittlicher Industriegaspreis ist hier der arithmetische Mittelwert des Preisniveaus am 01.04.2015 für den Abnahmefall von 116 GWh/Jahr (Jahresbenutzungsdauer 250 Tage (4.000 Stunden)), unter Berücksichtigung der Gassteuer, ohne Berücksichtigung der Konzessionsabgaben bei Sondervertragskunden nach § 2 Abs. 5 Nr. 1 KAV angegeben. Zwar fallen für die ersten 5 GWh Konzessionsabgaben i. H. v. 0,03 ct/kWh an, die bei einem Abnahmefall von 116 GWh gerundet 0,00 ct/kWh ergeben (BNetzA/Bundeskartellamt 2016, S. 317).

<sup>483</sup> Summe der Kosten für Strom, Gas, Kohlenstoffprodukte/Feste Brennstoffe und Heizöl/Mineralölprodukte (BMWi 2015b, S. 72).

**Abbildung 47: Formel Berechnung Energiestückkosten**

$$\text{Energiestueckkosten} = \frac{\sum \text{Energieprodukte [1][2][3][4]}}{\sum \text{arbeits- und kapitalbezogene BWS}}$$

Legende

[1] Steinkohle und Braunkohle; Torf

[2] Rohöl und Erdgas; Dienstleistungen i. Z. m. der Öl- und Gasgewinnung, ohne Vermessungsarbeiten

[3] Koks, raffinierte Mineralölzeugnisse und Kernbrennstoffe

[4] Elektrizität, Gas und Fernwärme

BWS = Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Löschel et al. (2015, S. 92).

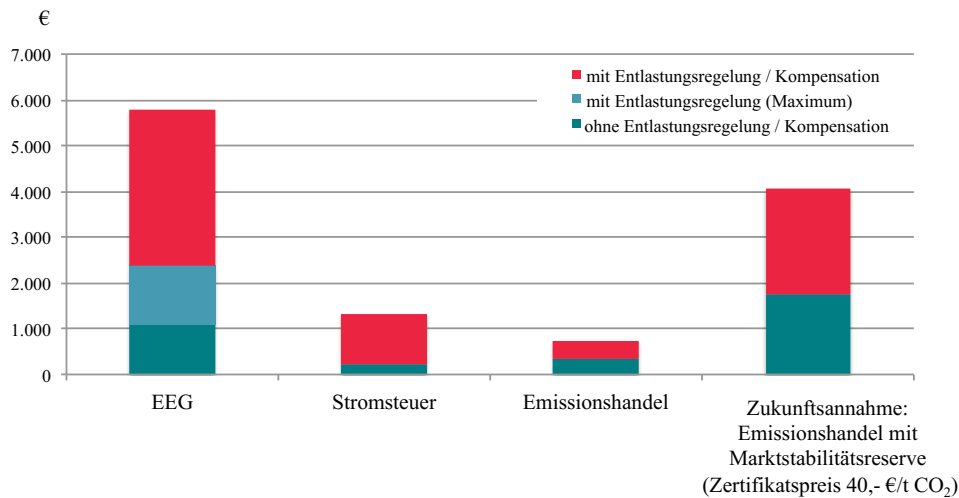
Für die Chemieindustrie kann ein Totaleffekt der Energiestückkosten i. H. v. 4,3 % berechnet werden, der weit über dem Durchschnitt des produzierenden Gewerbes liegt (Löschel et al. 2015, S. 93). „In der EU-27 beträgt der Totaleffekt der chemischen Industrie sogar (...) 16,1 Prozentpunkte, d. h. die Energiestückkosten der Branche sind über den Zeitraum im EU-Durchschnitt um 11,9 Prozentpunkte stärker gestiegen als in Deutschland.“ (ebd.) Der zentrale Treiber für die Energiestückkosten in der Chemieindustrie zwischen den Jahren 1995 und 2011 ist auf den Effekt von Koks, raffinierten Mineralölzeugnissen und Kernbrennstoffen zurückzuführen (ebd.). Zwar ist die Chemieindustrie die einzige Branche, deren direkte Energiestückkosten höher sind als die indirekten, allerdings können die indirekten Energiestückkosten von rd. 6 Mrd. € nicht vernachlässigt werden (ebd.). Anzumerken ist ferner, dass die indirekten Energiestückkosten nur schlecht von der Bundesrepublik Deutschland zu beeinflussen sind, insbesondere „wenn die indirekten Energiekosten durch Vorleistungen aus dem Ausland importiert werden“ (ebd., S. 92).

Gleichwohl die Energiepreise für die Industrie in den Jahren 2013 auf 2014 gesunken sind, besteht die Erwartung steigender Energiepreise für die Zukunft, welches im Rahmen einer schleichenden Deindustrialisierung zu einer Abwanderung der Industrie in das Ausland führen könnte (EIV 1PA, S. 14). Die von den Medien geforderte Strompreisbremse könnte durch die Senkung der EEG-Umlage oder durch die Kürzung bestehender Ausnahmetatbestände für Stromkosten- bzw. handelsintensive Branchen erreicht werden. Letzteres erscheint zwar im Grundsatz richtig, senkt aber die Wahrscheinlichkeit weitere Ausnahmetatbestände (z. B. für P2X) zu verankern, welches zu einer Verhärtung der Hemmnisse gegenüber der Befreiung von P2X-Anlagen von den Letztverbraucherabgaben führen würde (EIV 1PC, S. 29).

Diese Diskussion steht in Korrespondenz zu den Unsicherheiten im Bezug auf die Konsistenz und zukünftige Ausgestaltung der geltenden Entlastungsregeln bei den Stromkosten- bzw. handelsintensiven Branchen der Anlage 4 EEG 2014. Die nachfolgende Abbildung zeigt am Beispiel des WZ-20 (Herstellung von chemischen Erzeugnissen) die staatlich induzierten und regulierten Strompreiskomponenten in den Varianten mit und ohne Entlastungsregeln.



**Abbildung 48: Belastungen der deutschen Chemieindustrie<sup>484</sup>**



Quelle: Eigene Darstellung nach VCI (2016a, S. 2).

#### 7.5.3.4 Ressourceneinsatz und Absatzmarkt

Neben den Unsicherheiten bei den Strom(-bezugs-)preisen sind die Herkunft und die Menge der Ressourcen für P2X-Anlagen mit Unsicherheiten belegt. Dieser Aspekt hängt mit der zeitbezogenen Technologieentwicklung und mit dem Ressourceneinsatz zusammen: Wann ist die Technologie in einem Umsetzungsbereich, der wirtschaftlich ist, und wann existiert im Jahresverlauf betrachtet genügend überschüssiger Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien, der einen sinnvollen Einsatz von P2G oder z. B. P2H begründet? (EIV 4P, S. 8)

Zwar ist es in der heutigen Zeit möglich, langfristige klimatische Veränderungen zu prognostizieren und kurz- bis mittelfristige Wettervorhersagen zu treffen. Jedoch ist es nicht möglich, die Veränderungen punktgenau zu tätigen, geschweige denn kurzfristig zu steuern. Trivialerweise kann Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien aber nur dann für die Stromerzeugung genutzt werden, wenn auch der Wind weht und die Sonne scheint. Eine ausreichende Verfügbarkeit des Ressourceneinsatzes für P2G ist, wie bereits in Kapitel 7.4 skizziert, abhängig von dem Ausbau (fluktuierender) erneuerbarer Energien. Die Ziele der Bundesregierung zum Ausbau erneuerbarer Energien sehen einen Anteil an der Stromerzeugung am Bruttostromverbrauch von 80 % im Jahr 2050, 65 % im Jahr 2040, 50 % im Jahr 2030 und 35 % im Jahr 2020 vor.<sup>485</sup> Im Jahr 2015 liegt der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bei 32,6 % (AGEE-Stat, zitiert nach UBA 2016a, o. S.). Dieses entspricht einer Steigerung von rd. 19 % gegenüber dem Jahr 2014 (ebd.). Folgt nur eine weitere analoge Anstiegsrate, könnte der Anteil erneuerbarer Energien bei 38,8 % liegen und damit bereits über dem angestrebten Zielwert des Jahres 2020. Dieses kleine Berechnungsbeispiel soll illustrieren, wie nah der Status quo an dem Ausbaupfad ist, und wie zügig die Ziele theoretisch erreicht werden könnten. Dieses bestätigen auch Löschel et al. (2015, S. Z-7) und die Zusammenstellung der Ambitionen der Bundesländer zum Ausbau erneuerbarer Energien von Luhmann/Schostok/Schaube (2014, S. 5f.).

<sup>484</sup> Basierend auf einem Energiebedarf der chemischen Industrie von  $\approx 205$  Mio. MWh im Jahr 2014. Davon anteilig  $\approx 90$  Mio. MWh Erdgas für die energetische Nutzung,  $\approx 53$  Mio. MWh Strom und  $\approx 8$  Mio. MWh Kohle. (VCI 2016a, S. 1)

<sup>485</sup> Siehe Tabelle 1: Klima- und energiepolitische Ziele der Bundesregierung in Kapitel 1.1.

Diese Potenziale bergen vor dem Hintergrund der hohen Marktdynamik gleichsam eine Gefahr des zu schnellen Ausbaus erneuerbarer Energien, die im Systemversagen ohne den Einsatz von Speichern und Flexibilisierungsoptionen und im engeren Sinn von P2G münden könnten. Diese Gefahr erhöht sich, sofern nicht entsprechende Vorsorgemaßnahmen zur Versorgungssicherheit getroffen werden (EIV 1PC, S. 33). Solange die Energiewende weiterhin angestrebt wird und die Ausbaukorridore beibehalten werden, wird es zu einem gewissen Zeitpunkt auch Überschüsse aus fluktuierenden erneuerbaren Energien geben – heute sind die Überschüsse gering (EIV 3P, S. 11). Ist das Stromsystem hingegen flexibel genug, d. h. wenn Netz und Leitungen ausgebaut werden, konventionelle Kraftwerke dahingehend modernisiert werden, dass sie schneller rauf und runter gefahren werden können, das Lastmanagement der Industrie in der Breite und Tiefe optimiert wird, dann werden Speicher nicht gebraucht und P2G wird obsolet (EIV 3P, S. 11), (EIV 1P, S. 18). Diese Unsicherheit beschreibt auch der SRU (2013, S. 50): „Bei einem hohen Grad an Flexibilität sind weit weniger Speicher notwendig als bei einem inflexiblen Gesamtsystem.“ Dieses spiegelt die wettbewerbliche Unsicherheit von P2G im Inter- und Intra-Wettbewerb (Kapitel 7.2).

Wie in der regulatorischen Unsicherheitsdimension<sup>486</sup> bereits dargestellt, hat die Bundesregierung im Hinblick auf die Anwendung sämtlicher Vorschriften, die Gleichstellung von regenerativem H<sub>2</sub> sowie synthetischem CH<sub>4</sub> zu Biogas im § 3 Nr. 10c EnWG verankert, sofern die Ressourcen »Elektrizität« und »CO<sub>2</sub>« nachweislich aus überwiegend erneuerbaren Quellen im Sinn der Richtlinie 2009/28/EG stammen. Eine ausführliche Definition zum überwiegenden Teil erneuerbarer Quellen wird im § 3 Nr. 10c EnWG nicht dargelegt.

Zur Einschätzung, ob die Voraussetzungen zur Gleichstellung von regenerativem H<sub>2</sub> und synthetischem CH<sub>4</sub> mit der Biogaseinspeisung erfüllt sind, findet vor dem Strombezug eine einmalige Überprüfung des P2G-Anlagenbetriebskonzeptes durch den Gasnetzbetreiber statt. Kritisch anzumerken ist, dass diese einmalige, im Vorfeld des Strombezuges stattfindende Überprüfung keine adäquate Sicherstellungsleistung zum Bezug eines überwiegenden Elektrizitäts- und CO<sub>2</sub>-Anteils aus erneuerbaren Energiequellen über den gesamten Anlagenbetriebszeitraum ist. Unter der Maßgabe dieses Überprüfungsverfahrens kann keine Gewährleistung der Stromeinspeicherung aus erneuerbaren Energiequellen erfolgen.<sup>487</sup> (Sternier 2014, S. 21)

In Verbindung mit der obigen Diskussion zu den Strombezugskosten besteht die Gefahr, den günstigsten zur Verfügung stehenden Strom (z. B. Braunkohle) als Ressource für eine P2X-Anlage zu verwenden. Solange noch Braunkohlekraftwerke oder Atomkraftwerke in der Kraftwerkseinsatzplanung vorkommen, würden P2X-Anlagen unter den derzeitigen regulatorischen und ökonomischen Rahmenbedingungen eher diese Kraftwerke begünstigen, anstatt die Integration von erneuerbarem Strom voranzutreiben. Die Verwendung von fossilen Energieträgern als Ressource für P2X-Anlagen ist sowohl ökologisch, systembedingt und strategisch kontraproduktiv, gleichwohl die Herstellung von grauem Gas auf Grund der niedrigen Strombezugskosten momentan ökonomische Vorteile aufweisen kann. (EIV 3P, S. 5), (Sternier 2014, S. 21)

---

<sup>486</sup> Siehe Kapitel 7.5.2.

<sup>487</sup> Wie bereits dargestellt, kann auch beim Abruf der Elektrizität einer P2H-Anlage durch den ÜNB im Regelenergiemarkt die ausschließliche Nutzung regenerativen Stroms nicht sichergestellt werden.

„Ebenso wird bei einem Strombezug für *Power-to-Gas*-Anlagen aus dem Regelleistungsmarkt per Definition ‘Graustrom’ eingespeichert. In beiden Fällen ist mit dem heutigen Strommix die CO<sub>2</sub>-Bilanz des erzeugten Gases negativer als von fossilem Erdgas und damit die Klimaschutzwirkung des Energiespeichers und ein wesentlicher Teil des volkswirtschaftlichen Nutzens obsolet. (...) Nur wenn *Power-to-Gas* (...) [auf Basis fluktuierender erneuerbarer Energien] eingesetzt wird, entfaltet es seinen volkswirtschaftlichen Nutzen wie der Reduktion von Treibhausgasen und der Integration erneuerbarer Energien.“ (Sterner 2014, S. 21f., Hervorhebungen der Verfasserin)

In Kapitel 7.3.2 wurde im Rahmen der zweiten Stufe der P2G-Innovationskaskade, der Methanisierung, von einigen Experten angemerkt, dass eine Ausnahmeregelung für graues Gas (P2G auf Basis fossiler Energieträger und P2G auf Basis nicht biogener CO<sub>2</sub>-Quellen) mit Einschränkungen und unter einer strengen zeitlichen Limitierung u. U. als eine Brückenfunktion im Rahmen der Technologieentwicklung von P2G sinnvoll sein kann. Die ökologisch sinnvollere Brückenfunktion ist Wasserkraft: Gleichwohl Wasserkraft für die Speicherung zu kostbar ist (EIV 3P, S. 5), besteht der Vorteil ihrer Nutzung im Rahmen von Versuchsanlagen Testreihen unabhängig von den Schwankungen fluktuierender erneuerbarer Energien durchzuführen, welches dazu beiträgt, die Versuchsbedingungen während der FuE-Phase zu stabilisieren.<sup>488</sup> Ergebnisse von Langzeitversuchen stehen allerdings noch aus (ebd., S. 6).

Die aktuelle und für die Zukunft angenommene Schmälerung des Gasabsatzes, insbesondere im Wärmemarkt infolge des Mehreinsatzes erneuerbarer Energien (z. B. Solarthermie), einhergehend mit Effizienzmaßnahmen (z. B. Gebäudedämmung), wird aus Expertensicht zu keiner Schmälerung des mittelfristigen Bedarfs an EE-Gasen führen, da ein neuer Bedarf z. B. im Mobilitätsmarkt entstehen wird (EIV 1P, S. 9f.). Dieses bedarf allerdings der Notwendigkeit, dass die Gaswirtschaft auf Grund des langen Planungs-, und Betriebshorizontes von rd. 70 Jahren bereits heute neue Geschäftsmodelle entwickelt und damit einen durch den Rückgang des Gasabsatzes etwaigen, mittelfristig zu vollziehenden Rückbau des Gansnetzes, vorbeugen kann (EIV 2P, S. 15 f.).

Langfristig betrachtet besteht zudem die Unsicherheit hinsichtlich der benötigten Menge an Langzeitspeichern und insbesondere zu deren zeitlichen Verfügbarkeit (EIV 1PC, S. 8). Dieses hängt u. a. damit zusammen „(...) ab welchem Anteil von erneuerbaren Energien der Einsatz von Speichern erforderlich ist“ (SRU 2013, S. 50). Bedingt durch die hohen Kosten, gehen Studien von einer Rentabilität des Einsatzes von P2G als Speichertechnologie ab einem Anteil erneuerbaren Energien von ca. 70 % an der Stromnachfrage aus (Agora Energiewende 2012, S. 8).<sup>489</sup> Andere Schätzungen belaufen sich auf einen Anteil erneuerbarer Energien im Stromsystem von 80 % (EIV 1PC, S. 8), (ZSW 2014, S. 63) bzw. 85 % (Sterner/Stadler 2014, S. 64). Gemäß Expertenmeinung besteht weitgehend Einigkeit über die Größenordnung der Energiemenge, die in Speichern vorzuhalten ist (EIV 1PC, S. 8). Hingegen wird kontrovers diskutiert, wann der Zeitpunkt der Marktdurchdringung sein wird, an dem die Vorhaltung von Speichern in dieser Grö-

<sup>488</sup> Ein weltweit einzigartiges Projekt ist die „MS innogy“, ein Ausflugsschiff das auf dem Essener Baldeneysee mit einer umweltfreundlichen Methanol-Brennstoffzelle betrieben wird. Mit diesem Projekt wird erstmals die gesamte Wertschöpfungskette abgebildet: „[V]on der Produktion des klimaneutralen Treibstoffs mithilfe erneuerbarer Energien bis zur Anwendung in einer Brennstoffzelle in einem Schiff.“ (MULNV NRW 2017, o. S.)

<sup>489</sup> Für P2X kann eine bedeutende Rolle bei einem Anteil erneuerbarer Energien „an der Deckung der Endenergetischen Stromnachfrage (im Jahr 2050) [von] über 80 bis 100 % plus x“ (Elsner/Fischedick/Sauer 2015, S. 24) abgeleitet werden.

Benennung akut wird. In diesem Kontext ist das Marktsignal richtungsweisend, d. h. die Notwendigkeit von P2G für die Langzeitspeicherung. (EIV 1PC, S. 8) Die zuvor dargelegte Unsicherheit der zukünftigen Flexibilisierung des Gesamtenergiesystems beeinflusst ferner die zukünftig benötigte Langzeitspeicherkapazität, da diese überdies von dem Ausbau anderer Flexibilitätsoptionen abhängig ist.

Die oben aufgeführten mengen- und zeitbezogenen Schätzungen sind mit Einschränkung zu betrachten – hängen sie selbst von einer Vielzahl unsicherer Annahmen und (Ziel-)Setzungen ab:

„Welchen Energiemix werden wir zukünftig in Deutschland haben, wie hoch wird der (Rest-)Anteil fossiler Kraftwerke sein? Wird die CCS-Technologie zukünftig eine Rolle spielen und ab wann wird sie einsetzbar sein? Wann wird es eine 70 % erneuerbaren Energien Quote geben und welche Rolle spielt dann Power-to-Gas?“ (Schostok/Fischedick 2014, S. 7)

Wie entwickeln sich andere Speichertechnologien? Wie entwickelt sich der europäische Energiebedarf und -verbund? Welche importbeeinflussenden Entwicklungen der Politik und Wirtschaft ergeben sich in den Ländern, die den Großteil der fossilen Primärenergieträger Erdöl und Erdgas fördern?

Das derzeitig vorherrschende Wirtschaftlichkeitsproblem birgt Schwierigkeiten in den aktuellen P2X-Geschäftsmodellen und gleichzeitig sind neue Geschäftsmodelle, z. B. Langzeitspeicher erst in einer entfernten Zukunft zu realisieren. Dieses ist verbunden mit der Gefahr, dass zum Zeitpunkt der Notwendigkeit zur Vorhaltung von Langzeitspeichern eine ausreichende Vorhaltung von P2G-Anlagen nicht sichergestellt ist, da die P2G-Anlagenbetreiber auf Grund der derzeitigen regulatorischen Rahmenbedingungen auf dem Weg zu diesem Geschäftsmodell nicht mehr solvent sind. (EIV 2P, S. 22) Die Unsicherheit besteht demnach darin, ob sich P2X und insbesondere P2G über die *greenwashing*-Phase hinaus wirtschaftlich tragen wird (EIV 3P, S. 11).

Aus den bisher dargestellten Unsicherheiten besteht die Herausforderung, einen Balanceakt zwischen dem Absatz eines tendenziell unwirtschaftlichen und hochpreisigen Gases und der gleichzeitigen Erzielung von Skaleneffekten (insbesondere *economies of scale*) zu erreichen (EIV 1P, S. 6). Abgeleitet aus den ökonomischen Unsicherheiten, ist der Anreiz zum Betrieb einer P2G-Anlage (noch) nicht vorrangig in einer Gewinnorientierung, sondern in der Demonstration der Technologie am Markt begründet (ebd.). Trotz und gerade wegen eines extremen Kostendrucks auf die P2X-Anlagenbetreiber sind aus der Systemperspektive der Energieversorgung heraus flexible Anlagen mit einem sehr hohen Wirkungsgrad notwendig (EIV 2P, 20).

### 7.5.3.5 Standortwahl

Eine zentrale Herausforderung sowohl bei einer Markteinführung als auch bei einer flächendeckenden Marktdurchdringung von P2G-Anlagen ist die Standortwahl. Diese ist in Anhängigkeit der Nähe zum Strom- und Gasnetz, der CO<sub>2</sub>-Quelle und der geologischen Potenziale unterirdischer Speichermöglichkeiten (Salzkavernen / Porenspeicher) zu bestimmen. Die nachfolgende Tabelle zeigt die zu priorisierenden Randbedingungen der Standortwahl von P2G-Anlagen, differenziert nach den Stufen der P2G-Innovationskaskade.

**Tabelle 31: Randbedingungen der Standortwahl für P2G-Anlagen**

Stufe P2G-Innovationskaskade	hohe Priorität	nachgelagerte Prioritäten		
1. Wasserstoff (H <sub>2</sub> )	Gasnetz	Stromnetz		
2. Methan (CH <sub>4</sub> )	CO <sub>2</sub> -Quelle	Gasnetz	Stromnetz	
3. Langzeitspeicher H <sub>2</sub> Langzeitspeicher CH <sub>4</sub>	Untergrundgasspeicher Untergrundgasspeicher	Gasnetz CO <sub>2</sub> -Quelle	Stromnetz Gasnetz	Stromnetz

Quelle: Eigene Darstellung.

Bei der Produktion von regenerativem H<sub>2</sub> ist mit Blick auf die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in erster Hinsicht die Nähe zum Gasnetz zu priorisieren, da die Kosten für die Errichtung bzw. die Ergänzung einer Gasinfrastruktur höher sind, als vergleichsweise für die Erweiterung der Strominfrastruktur (EIV 1P, S. 21f.).<sup>490</sup> Ein optimaler Standort für eine P2G-Anlage ist als Symbiose der beiden Randbedingungen zu wählen, d. h. an den Koppelpunkten von Strom- und Gasnetz, an denen viele Stromquellen und wenig Stromsenken existieren (EIV 2P, S. 19), (EIV 1PC, S. 14). Gleiches kann für die Produktion von synthetischem CH<sub>4</sub> angenommen werden, wobei die erweiterte Randbedingung der CO<sub>2</sub>-Quelle bei der Standortwahl der zweiten Stufe der P2G-Innovationskaskade an die erste Stelle vorrückt, da der CO<sub>2</sub>-Transport auf dem See- und Straßenweg ökologisch nicht sinnvoll ist und in Deutschland keine CO<sub>2</sub>-Pipeline<sup>491</sup> betrieben wird (EIV 1P, S. 21), (EIV 1PC, S. 14).<sup>492</sup> Bei der dritten Stufe der P2G-Innovationskaskade, der Langzeitspeicherung, tritt die geologische Verfügbarkeit von Untergrundgasspeichern an die erste Stelle der Priorisierung bei der Standortwahl (EIV 2P, S. 19). Die nachgelagerten Prioritäten entsprechen der energieträgerspezifischen Reihenfolge der ersten und zweiten Stufe der P2G-Innovationskaskade.

Mit Blick auf die in Deutschland bereits errichteten P2X-Pilot- und Demonstrationsanlagen<sup>493</sup> ist zu erkennen, dass das Land NRW bislang nicht zu den favorisierten Standorten zählt. Zurückzuführen ist dieses auf die in NRW eher geringen Überschüsse fluktuierender erneuerbarer Energien. Diese können verstärkt im Süden (Photovoltaik) und im Norden (Wind) Deutschlands erzielt werden. (EIV 4P, S. 19) Mit seiner energie- und

<sup>490</sup> Siehe zudem Tabelle 29: Technologiespezifischer Vergleich des Stromnetzausbaus in Kapitel 7.4.2.

<sup>491</sup> Die im Jahr 2009 fertiggestellte CO<sub>2</sub>-Pipeline der Bayer AG ist noch nicht in Betrieb gegangen. Grund dafür ist die Entscheidung des Oberverwaltungsgerichts im Jahr 2014 (Aktenzeichen 20 A 1923/11), welches das im Jahr 2006 vom Landtag NRW verabschiedete Rohrleitungsgesetz im Bezug auf den Artikel 14 Abs. 3 Satz 1 GG als verfassungswidrig einstufte, das Verfahren ausgesetzt und dem Bundesverfassungsgericht zur Entscheidung vorgelegt hat. (OVG NRW 2014, o. S.) Ein Urteil des Bundesverfassungsgerichtes steht noch aus.

<sup>492</sup> Dieses steht in Konvergenz zur Standortwahl bei der CCU-Elektrolyse-Infrastruktur: Eine zuverlässige Elektrolyse-Infrastruktur, als eine zentrale Bedingung für CCU, sollte überwiegend in der Nähe bestehender Industriebauten errichtet werden, so dass die (überschüssige) erneuerbare Elektrizität zu diesen Standorten zu transportieren ist (Wuppertal Institut 2015b, S. 2).

<sup>493</sup> Siehe Tabelle 46: Übersicht P2G-Projekte in Deutschland, sortiert nach Anlagenleistung in Anhang A.3.

rohstoffintensiven Wirtschaftsstruktur<sup>494</sup> könnte das Land NRW als P2X-Standort in Zukunft interessant sein, insbesondere im Hinblick auf die Bereitstellung von CO<sub>2</sub> aus industriellen Prozessen für die Produktion von synthetischem CH<sub>4</sub> und als industrieller Absatzmarkt für den regenerativen H<sub>2</sub>.<sup>495</sup> Für das Land NRW besteht gemäß Expertenmeinung über das Zusammenwachsen von Energieerzeugung und Chemieindustrie ein großes P2C-Potenzial (ebd., S. 20). Neben den in NRW zu installierenden P2X-Anlagenkapazität ist ein zusätzlicher Standortfaktor die etablierte FuE-Landschaft und der starke Anlagenbau in NRW: Dieses Potenzial kann das Land nutzen, um zukünftig eine Vorreiterrolle einzunehmen (ebd., S. 20f.).

Wissenschaftler forschen derzeit an den technologischen und sozio-ökonomischen Potenzialen, die eine Herstellung synthetischer *fuels* an die globalen *Hotspots* erneuerbarer Energien knüpft. Denn wenn das Potenzial erneuerbarer Energien in Deutschland nicht für die Herstellung synthetischer *fuels* ausreicht, besteht die Möglichkeit, dieses erstens über den Import von (Strom aus) erneuerbaren Energien und zweitens über den direkten Import von synthetischen *fuels* zu kompensieren. Eine geografische Bewertung für den Import von synthetischen *fuels* erfolgt in erster Linie über das Relationskriterium: Potenzial zum Ausbau erneuerbarer Energien im Verhältnis zum Primärenergieverbrauch der jeweiligen Region. Ein hohes Potenzial für den Ausbau erneuerbarer Energien bei einem gleichzeitig verhältnismäßig niedrigen Primärenergieverbrauch weist die MENA-Region<sup>496</sup> vor – sie steht derzeit im Mittelpunkt des Forschungsinteresses für die geografische Entkopplung der Herstellung und Nutzung synthetischer *fuels*.

Einschränkend ist anzufügen, dass die in der vorausgegangenen Tabelle 31 dargestellte Priorisierung der Randbedingungen zur Standortwahl von P2G-Anlagen eine erste grobe Linie zeichnet. Für eine exakte Standortbestimmung von P2X-Anlagen ist eine spezifische anwendungsfallbezogene Untersuchung erforderlich. Zudem besteht gemäß Expertenmeinung bei der Bestimmung und Quantifizierung geeigneter Kriterien der Standortwahl derzeit ein weiterführender Forschungsbedarf (EIV 4P, S. 20).

---

<sup>494</sup> Die Energie- und Rohstoffintensivität des Landes NRW wird beispielsweise über die folgenden Kennzahlen deutlich: Im Jahr 2013 wurden 27,7 % des deutschen Stroms in NRW produziert, dabei lag der NRW-Anteil an der deutschen Steinkohleförderung bei 100 % und an der deutschen Braunkohleförderung bei 53,8 % (BMWi 2014c, S. 41). Gleichzeitig wurden im selben Zeitraum 31,3 % des deutschen Energie- und 23,7 % des deutschen Nettostroms in NRW konsumiert (IWR o. J.a), (IWR o. J.b). Der von der NRW-Industrie verbrauchte Anteil am deutschen Nettostromverbrauch beläuft sich auf 28 % (IWR o. J.b). Dabei trägt die NRW-Industrie zu 18,6 % zu den industriell verursachten THG Emissionen in Deutschland und die NRW-Energiewirtschaft zu 36 % zu den von der Energiewirtschaft in Deutschland verursachten THG-Emissionen bei (MKULNV NRW 2014, S. 11). Die Wirtschaftsstärke des Landes NRW lässt sich beispielsweise anhand folgender Kennzahlen verdeutlichen: Im Jahr 2013 wurden 21,9 % (625 Mrd. €) des deutschen BIP in NRW erwirtschaftet (NRW.INVEST o. J., o. S.). Im Jahr 2015 wurden 15,9 % (180,6 Mrd. €) der Exportgüter Deutschlands in NRW produziert (ebd.) und knapp 19 % des deutschen Industrieumsatzes (WZ-2008 B: Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden und WZ-2008 C: Verarbeitendes Gewerbe) entstanden in NRW (Statistisches Bundesamt 2015, S. 7, 17).

<sup>495</sup> Den konservativen Schätzungen von EWI et al. (2015, S. 54) zufolge könnten in NRW alleine aus den größten und für die Weiterverarbeitung strategisch gut gelegenen CO<sub>2</sub>-Punktquellen der Stahl-, Kalk- und Petrochemie jährlich 26 Mio. t CO<sub>2</sub> abgeschieden und als CO<sub>2</sub>-Quelle für die Methanisierung in P2G-Anlagen zur Verfügung gestellt werden. Verglichen mit dem in NRW emittierten CO<sub>2</sub> i. H. v. 259,2 Mio. t im Jahr 2014 (IWR o. J.c) könnten rund 10 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen als Rohstoff zur Herstellung von synthetischem CH<sub>4</sub> genutzt werden.

<sup>496</sup> *Middle East and North Africa*.

### 7.5.3.6 Exkurs: Alternative Finanzierungskonzepte

In Anbetracht des Ziels einer stärkeren Kopplung der Energiesektoren Strom, Wärme und Mobilität, wie es die Bundesregierung mit dem Strommarkt 2.0 anstrebt (BMWi 2015a, S. 85), müssten P2X-Technologien von den staatlich induzierten und regulierten Strompreiskomponenten entlastet werden, damit sie als Nachfrager von erneuerbarem Strom am Markt auftreten können (siehe Kapitel 7.5.3.3).<sup>497</sup> Indessen ist die zentrale Frage „in welcher Höhe die Betreiber dieser Technologien zu entlasten sind bzw. wie die Kosten für die Erzeugung und die Bereitstellung von erneuerbarer Elektrizität den verschiedenen Sektoren zugeordnet werden sollen“. (Löschel et al. 2015, S. 13)

Da auf Grund der hohen Kostenunterschiede zu den Referenzmärkten die Nachfrageelastizität ungleich Null ist, kann die »Ramsey-Regel« zur Berechnung des gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrtsoptimums nach Erdmann/Zweifel (2010, S. 136-138) nicht angewendet werden (Löschel et al. 2015, S. 13). Für den Nutzungspfad P2H besteht die Möglichkeit zur Anlehnung an das Modell der „anrechenbaren Preise“ (ebd.), welches bei der wärmegeführten KWK angewendet wird (ebd.). Dieses erfordert das P2H-Betreibern die Netznutzung zu vergünstigten Bedingungen unter der Voraussetzung der Strombezugskosten i. H. v. 0 ct/kWh bzw. „zu einem Preis unterhalb der Grenzkosten aller einsetzbaren fossilen Kraftwerke“ (ebd.) gewährt wird. Die Modelladaption impliziert ferner die Berücksichtigung der Referenzmarktpreise je Marktsegment, des Anlagenwirkungsgrades und der Kapital- und Betriebskosten (inkl. einem entsprechenden ROCE<sup>498</sup>) (ebd., S. 13f.). Das Ergebnis der Berechnung würde einen (nicht-negativen) monetären Betrag für die Netznutzung und -umlagen ausweisen, der von P2H-Anlagenbetreibern an den ÜNB zu entrichten wäre (ebd., S. 14). Aus Sicht der Letztverbraucher kann dieser Fall positiv bewertet werden, da sich die P2H-Anlage bei gleichzeitiger Stärkung der Sektorkopplung an der Erwirtschaftung der ÜNB-Netzerlöse beteiligt (ebd.). Gemäß der Expertenkommission würde die Übertragung dieses Finanzierungskonzeptes auf andere P2X-Technologien wegen zeitintensiverer Innovationsprozesse (spätere Marktfähigkeit), niedrigerer Wirkungsgrade und höherer Investitionskosten zu negativen Netzzahlungen führen (Löschel et al. 2015, S. 14). Dieses würde nicht zu einer saldierten Entlastung der Netzkunden wie im Fall P2H führen, sondern in einer Quersubventionierung der P2X-Anlagen resultieren (ebd.). Auf Grund der schlechten Kostenbilanz wird die Einführung von P2X in den Massenmarkt von der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ derzeit nicht empfohlen (ebd.).

Wird die Energiewende analog zum Klima als ein öffentliches Gut mit der Begründung, der Ausbau erneuerbarer Energien trägt zur Senkung der THG-Emissionen, zur Steigerung der Versorgungssicherheit und zur Technologieentwicklung bei, aufgefasst, und damit ein gesamtgesellschaftlicher Nutzen entfaltet, könnten auch die Kosten der Sektorkopplung von allen Wirtschaftssektoren gemeinsam finanziert werden (ebd.).<sup>499</sup> Die

<sup>497</sup> Vgl. auch Löschel et al. (2015, S. 13).

<sup>498</sup> *Return on Capital Employed*, d. h. Rendite auf das eingesetzte Kapital.

<sup>499</sup> Dieses bestätigt auch die Analyse von Elsner/Fischedick/Sauer (2015): „*Power-to-Heat* und flexibilisierte KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung) mit ganzjährigem Wärmebedarf (industrielle KWK) sind sehr kostengünstige Flexibilitätsoptionen.“ (ebd., S. 87, Hervorhebungen der Verfasserin) Gleichzeitig kommt P2G in den Modellrechnungen „unter den getroffenen Annahmen nicht zum Einsatz. Dies ist damit begründet, dass die dafür eingesetzten Elektrolyseur- und Methanisierungsanlagen beim angenommenen Wert des erzeugten Gases nur ab einem gewissen Ausnutzungsgrad wirtschaftlich betrieben werden können. Diese Ausnutzungsgrade werden aus Überschüssen allein nicht erreicht, es müsste vielmehr auch eigens für diese Anwendung erzeugter Strom verwendet werden. Letzteres wurde im Berechnungsmodell nicht berücksichtigt.“ (ebd., S. 60)

Legitimation dieses Finanzierungskonzeptes könnte der Staat auf Basis der Rationalitätsannahme des *homo cooperativus* im Rahmen einer nachhaltigen Ökonomie begründen: Diese Rationalitätsannahme nimmt auf Grund der Heterogenität der Individuen an, „dass der Mensch nicht immer zu seinem Besten handelt und daher die Politik bei meritorischen (...) Gütern in die Konsumentensouveränität eingreifen muss“ (Rogall/Oebels 2010, ebd., S. 9).<sup>500</sup> Die Kostenzuordnung könnte sich dann „an allgemeinen Besteuerungskriterien orientieren, allen voran am Kriterium der steuerlichen Leistungsfähigkeit“ (Löschel et al. 2015, S. 14).

Eine solches alternatives Finanzierungskonzept fordert z. B. auch der VCI (2016b, o. S.):

„Die Energiewende ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe und braucht eine andere Finanzierungsgrundlage. (...) Die Bundesregierung sollte daher eine alternative Finanzierung für das EEG prüfen – beispielweise eine Haushaltsfinanzierung mit entsprechender parlamentarischer Kontrolle.“

Einschränkend hervorzuheben ist, dass die Umsetzung dieses Finanzierungskonzeptes die Genehmigung der EU-Kommission voraussetzen würde (Löschel et al. 2015, S. 14). Ferner ist kritisch anzumerken, dass eine „steuerfinanzierte Sektorkopplung zum Gegenstand staatlicher Lenkung“ (ebd.) werden würde, die eine massive Beeinträchtigung der marktwirtschaftlichen Entwicklung zur Folge hätte (ebd.).

Ein alternatives Finanzierungskonzept speziell für P2H, welches heute bereits punktuell Anwendung findet, ist der Handel am Regelenergiemarkt (Sekundärreserve, Minutenreserve) (Löschel et al. 2015, S. 14). Dieses alternative Finanzierungskonzept trägt zwar zur Systemintegration, aber nicht zu einer Marktintegration der überschüssigen Elektrizität aus regenerativen Quellen bei. Zudem wird im Fall eines Elektrizitätsabrufs durch die ÜNB die ausschließliche Nutzung regenerativen Stroms nicht sichergestellt. Die Regelenergiemärkte können daher lediglich als zeitweilige Pilotmärkte für P2H eingestuft werden. (ebd., S. 15)

#### 7.5.4 Technologische Dimension

Die technologische Dimension der Unsicherheit besteht primär in der Optimierung der Fahrweise der Elektrolyseure, um den Anforderungen des für sie neuen Anwendungsbereichs P2G zu entsprechen. Wie bereits bei der Einordnung von P2G in die Innovationskaskade dargestellt, handelt es sich bei der Elektrolyse zwar um ein über 100 Jahre altes und etabliertes industrielles Verfahren, dessen entscheidende Spezifizierung und Weiterentwicklung zur dargebotsabhängigen und diskontinuierlichen Fahrweise bei einem hohen Wirkungsgrad jedoch noch nicht in Gänze abgeschlossen ist.<sup>501</sup>

Das Nachfahren des regenerativen Stromangebotes ist Teil der FuE-Tätigkeiten. Den Elektrolyseuren können die neuen energiemarktspezifischen Eigenschaften noch nicht abverlangt werden, zumindest nicht ohne Einbußen bei dem Wirkungsgrad und der Wirtschaftlichkeit. Es ist unsicher, wann die energiemarktspezifischen Anforderungen umfassend erforscht und ausgereift sein werden.

---

<sup>500</sup> Für eine vertiefende Darstellung und Differenzierung staatlichen Eingreifens bei (de-)meritorischen Gütern wird auf die Fußnote 144 in Kapitel 3.4.1.1 verwiesen.

<sup>501</sup> Siehe Kapitel 7.3.



In Verbindung mit wirtschaftlichen Aspekten ist der konstante Durchlauf der Elektrolyseure bedingt durch einen hohen Wirkungsgrad bei Volllast grundsätzlich als vorteilhaft zu bewerten (EIV 3P, S. 6). Aus einer anderen Perspektive heraus, begründet gerade die flexible Fahrweise das Potenzial für ein Geschäftsmodell: Wenn ein Elektrolyseur so flexibel gefahren werden kann, dass er sich den Überschussmengen erneuerbarer Energien anpassen kann, kann dieser immer dann angeschaltet werden, wenn genug Wind- bzw. Sonnenenergie verfügbar ist und die Strompreise dieser Energiequellen nahe oder gleich Null sind. (EIV 1P, S. 11f.)

### **7.5.5 Soziale Dimension**

Die soziale Dimension der Unsicherheit liegt in der Akzeptanz der Bevölkerung begründet. Die Energiewende kann gelingen, wenn es einen gesellschaftlichen Konsens gibt und sie von einem Großteil der Gesellschaft gewollt, getragen und aktiv mitgestaltet wird. An dieser Stelle sind Informationen und Beteiligungsmöglichkeiten wichtige und zentrale Instrumente der Aktivierung. (EIV 4P, S. 24)

Einen Einfluss auf die Akzeptanz der Bevölkerung üben gemäß Expertenmeinung u. a. die veränderten Wettbewerbskräfte aus: Windstromerzeuger und Anlagenbauer wachsen stetig – sie werden selbst zu großen Akteuren und sind auf dem Weg mit konventionellen Energieversorgern und dem traditionellen Kraftwerksbau ranggleich zu konkurrieren. Eine vergleichbare Veränderung der Wettbewerbskräfte findet in der Photovoltaik- und Biogasbranche statt. Die Veränderung der Wettbewerbskräfte wird von den Endverbrauchern wahrgenommen: Zweifel entstehen, ob die Energiewende dem ökologischen Nutzen dient oder dem Stillen des außerordentlichen Energiehunger der Industrienationen. (EIV 2P, S. 13) Das Bewusstsein der Bevölkerung ist z. T. auf die negativen Aspekte gerichtet, denn für den Endverbraucher ist die Erzeugungsstruktur bei dem Produkt »Strom« nicht zu erkennen: Der Strom kommt aus der Steckdose und zwar in einer einheitlichen und stets gleichen Qualität, gleichgültig, ob dieser aus fossilen, nuklearen oder erneuerbaren Energiequellen gewonnen wird (EIV 2P, S. 13), (EIV 1PC, S. 33), (Monopolkommission 2009, S. 43). Ferner führt die Energiewende bislang und in Zukunft zu einer monetären Belastung der Bürgerinnen und Bürger (EIV 4P S. 24). Zur Erhöhung der Akzeptanz in der Bevölkerung ist eine politische Unterstützung notwendig (EIV 2P, S. 14), die sich auch mit ökonomischen Aspekten wie z. B. der Energiearmut<sup>502</sup> befasst (EIV 4P S. 24). Für den Einsatz von P2X-Technologien kann von einer grundlegend hohen Akzeptanz ausgegangen werden, da ohne ihren Einsatz der bereits produzierte Strom aus erneuerbaren Energien ungenutzt bleibt (Elsner/Fischedick/Sauer 2015, S. 60).

---

<sup>502</sup> Für eine Vertiefung zur Energiearmut und möglichen Maßnahmen der sozialverträglichen Gestaltung der Energiewende wird auf Kopatz et al. (2013) verwiesen.

## 7.6 Vision

Wie bereits in Kapitel 7.4 Chancen, Potenziale und Treiber dargestellt, wird P2G in allen Stufen der Innovationskaskade und Nutzungspfaden ein zentraler Stellenwert für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende zugesprochen. In einem Energiesystem basierend auf einem (sehr) hohen Anteil (fluktuierender) erneuerbarer Energien wird Strom zu einem Rohstoff (Sternier 2016, S. 61) und „überschüssiger Strom zu einer Ware“ (EIV 4P, S. 8). Metaphorisch<sup>503</sup> betrachtet wird Strom zur Primärenergie (EIV 3P, S. 21), wie das nachfolgende, von den Experten gezeichnete vereinfachte Zukunftsbild des Energiesystems verdeutlicht: In einem post-fossilen Zeitalter wird die Basis des Energiesystems Wind- und Sonnenenergie sein. Sie werden den Strom, die Wärme, den Verkehr und die industriellen Prozesse bedienen. Neben der direkten Stromnutzung von Wind und Sonne wird P2G der Langzeitspeicher im Stromsektor sein. Der Wärmesektor wird z. B. über Wärmepumpen weitgehend elektrifiziert und Wärmeprozesse werden auf der Grundlage erneuerbarem H<sub>2</sub> gefahren. Neben Elektrofahrzeugen werden im Verkehrssektor chemische Energieträger in Form von Stromkraftstoffen (H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>), im Besonderen für den Schwerlasttransport, Güterverkehr, Flugverkehr und Schiffsverkehr eingesetzt. Die chemische Industrie wird ihre Produktion auf strombasierte Grundchemikalien stützen bzw. ausrichten. (EIV 3P, S. 21), (EIV 1PC, S. 24f.) Wenn langfristig betrachtet überschüssiger Strom zu einer Ware wird und dieses mit einer Elektrifizierung des Energiesystems einhergeht, dann wird sich infolgedessen die Stromnutzungsbilanz ändern, welches trotz der etwaigen Erreichung von Effizienzzielen zu einer langfristigen Erhöhung des Stromverbrauchs führen wird (EIV 1PC, S. 25), (Wuppertal Institut 2015e, S. 8f.).

Insbesondere drei visionäre Konzepte können aus den Experteninterviews herausgelesen werden. Die erste Vision für P2X-Technologien besteht in der Kopplung von Wind- und Wasserkraft: Die sogenannte Segelenergie, die auch als P2G 2.0 betitelt wird, wandelt über eine am Segelschiff befestigte Turbine einen Teil der Bewegungsenergie in Strom um, der unter Hinzuführen von Wasser und u. U. CO<sub>2</sub> über eine elektrochemische Umwandlung (P2G, P2L, P2C, P2F) einen speicherbaren (regenerativen) Energieträger erzeugt (z. B. H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Methanol, Diesel, Kerosin). Die konzeptspezifischen Vorteile sind im Folgenden zusammengefasst: Risikominimierung durch die Kombination bekannter Technologien, Nutzung bestehender Infrastruktur- und Schiffstechnologie, geringe Einflussnahme auf das Landschaftsbild sowie Distanz zur Bevölkerung verringert Akzeptanzprobleme. Ein Nachteil dieses Konzeptes könnte die hohe Personalbindung auf einem solchen Segelschiff sein. (EIV 3P, S. 7), (Sternier o. J., o. S.)<sup>504</sup>

<sup>503</sup> Metaphorisch, da Primärenergie als „die direkt in den Energiequellen vorhandene Energie (zum Beispiel Brennwert von Kohle)“ (Bundesregierung o. J., o. S.) definiert ist. „Primärenergieträger sind zum Beispiel Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Ergas [sic!], Wasser, Wind, Kerbrennstoffe, Solarstrahlung und so weiter. Die Primärenergie wird in Kraftwerken, Raffinerien und so weiter in die sogenannte Endenergie umgewandelt. Dabei kommt es zu Umwandlungsverlusten. Ein Teil der Primärenergie wird auch dem nichtenergetischen ‘Verbrauch’ zugeführt (z. B. Rohöl für die Kunststoffindustrie).“ (ebd.) Gemäß dieser Definition kann Strom keine Primärenergie im engeren Sinn sein.

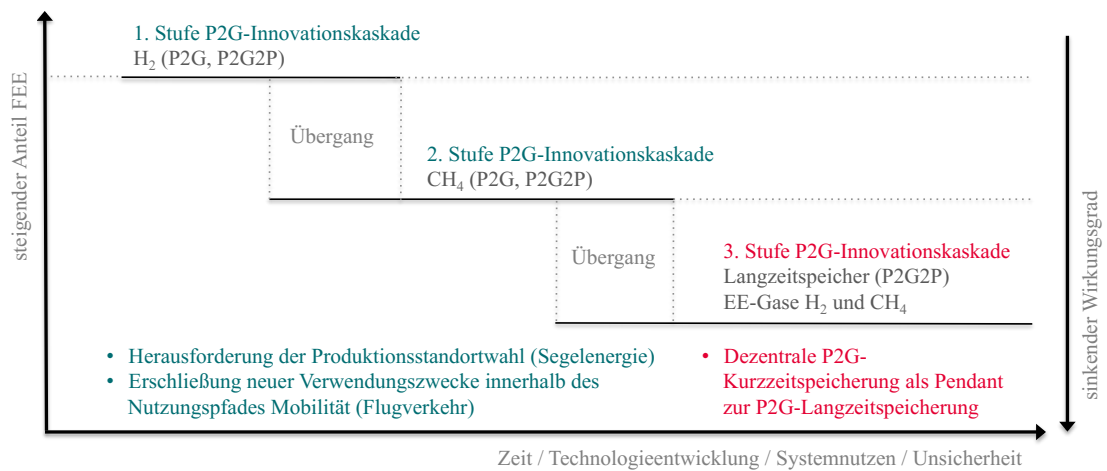
<sup>504</sup> Für eine vertiefende Darstellung des Konzeptes »Segelenergie« wird exemplarisch auf Sternier (2013) verwiesen.

Die zweite Vision beschreibt den Einsatz von flüssigen Kohlenwasserstoffen im Flugverkehr (EIV 1PC, S. 1).<sup>505</sup> Neben dem Einsatz auf der Straße können Stromkraftstoffe (H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>) langfristig betrachtet auch für den Flugverkehr in Frage kommen (Braun-Unkhoff/Le Clercq 2008, S. 28ff.), (EU-VRi o. J.).

Die dritte Vision betrachtet P2G als eine dezentrale Technologie für die Erzeugung und kurzfristige Speicherung von regenerativem H<sub>2</sub> (EIV 2P, S. 20). Für dezentrale P2G-Kurzzeitspeicher ist allerdings eine Kostendegression von Elektrolyseuren notwendig.

Die visionären Einschätzungen der Experten können den drei Entwicklungsstufen der abstrahierten P2G-Innovationskaskade wie folgt zugeordnet werden.

**Abbildung 49: Zukunftsbilder entlang der P2G-Innovationskaskade**



Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>505</sup> Abzugrenzen ist hier das Projekt »Aufwind«, dessen Ziel die Entwicklung von Biokerosin über aquatischer Biomasse ist. Wie bereits in Kapitel 7.3.2 dargestellt, sind Ressourcen biogenen Ursprungs (terrestrische Pflanzen) nicht in ausreichender Menge verfügbar. Zudem werden sie über den Wirkungsgrad der Photosynthese limitiert (EIV 1PC, S. 1). Für die Herstellung und die Potenziale von Biokerosin speziell auf Mikroalgenbasis wird auf die Fallstudie *Algae-to-X* (Kapitel 8) verwiesen.

## 7.7 Zwischenfazit: Zentrale Lerneffekte für Geschäftsmodellinnovationen (*within-case* Analyse)

Aus der Fallstudienanalyse kann abgeleitet werden, dass eine zentrale Herausforderung die Entwicklung und Etablierung von P2G-Geschäftsmodellen ist. Wie in Kapitel 4.4 dargelegt, besteht ein Geschäftsmodell aus den zentralen Elementen: Nutzenversprechen, Kundensegment, Wertschöpfungskette, Ertragsmechanik, Partner, Vision, Führung, sowie dem Beziehungsgeflecht zwischen Geschäftsmodell und der Wertschöpfung (Wertgenerierung und Sicherung des geschaffenen Wertes). Wie im Folgenden zu zeigen ist, konzentrieren sich die Expertenaussagen auf das Beziehungsgeflecht zwischen dem Geschäftsmodell und der Wertschöpfung (Wertgenerierung und Sicherung des geschaffenen Wertes) sowie auf die ökonomisch orientierten Elemente der Wertschöpfungskette und der Ertragsmechanik im Besonderen.

Die einfachste Skizzierung des P2G-Geschäftsmodells basiert auf der Interaktion zwischen dem Elektrolyseur und dem Ressourceneinsatz (Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien).<sup>506</sup> Demnach entsteht ein Geschäftsmodell für P2G mit zunehmendem Ausbau fluktuierender erneuerbarer Energien. Eine tragfähige Ertragsmechanik beginnt, sobald überschüssige Mengen fluktuierender erneuerbarer Energien vorhanden sind und deren Preis (nahe) Null ist. (EIV 1P, S. 11f.) Doch wie bereits in Unterkapitel 7.5.3.3 zur ökonomischen Dimension der Unsicherheiten gezeigt, fehlt, bedingt durch den hohen Anteil staatlich induzierter Preisbestandteile, die Preisflexibilität bei Stromüberschüssen aus erneuerbaren Energien.

Ein von den Experten fokussiert diskutiertes Geschäftsmodell ist das Geschäftsmodell »proWindgas«<sup>507</sup> der Greenpeace Energy eG. Gemäß der Experten ist »proWindgas« derzeit das einzig bestehende P2G-Geschäftsmodell, welches eine Leistung an die Endkunden liefert (EIV 3P, S. 7, 9), (EIV 2P, S. 3f.). Das Nutzenversprechen des Geschäftsmodells »proWindgas« ist der Ausbau von P2G-Anlagen in der ersten Stufe der P2G-Innovationskaskade und damit die Erzeugung von regenerativem H<sub>2</sub> und dessen Einspeisung in das Erdgasnetz (EIV 1P, S. 6).<sup>508</sup> Eine feste Erzeugungsquote oder ein fester Beimischungsanteil wird hingegen nicht versprochen (ebd.),<sup>509</sup> wie auch die schwankende Zusammensetzung des Gasangebotes in der nachfolgenden Abbildung zeigt. Mit dem zweiten Elektrolyseur (PEM-Elektrolyse, 1,25 MW installierte Leistung) der Anfang 2017 in Betrieb genommenen wurde, verstärkt Greenpeace Energy seinen Anlagenpark, der bis dato aus einem alkalischen Elektrolyseur bestand (Greenpeace Energy 2016). Mit den beiden Elektrolyseuren zusammen können rd. 2.600 MWh regenerativen H<sub>2</sub> beigemischt werden, welches im Vergleich zum Jahr 2016 eine Steigerung von rd. 150 % entspricht (Greenpeace Energy o. J.b).

---

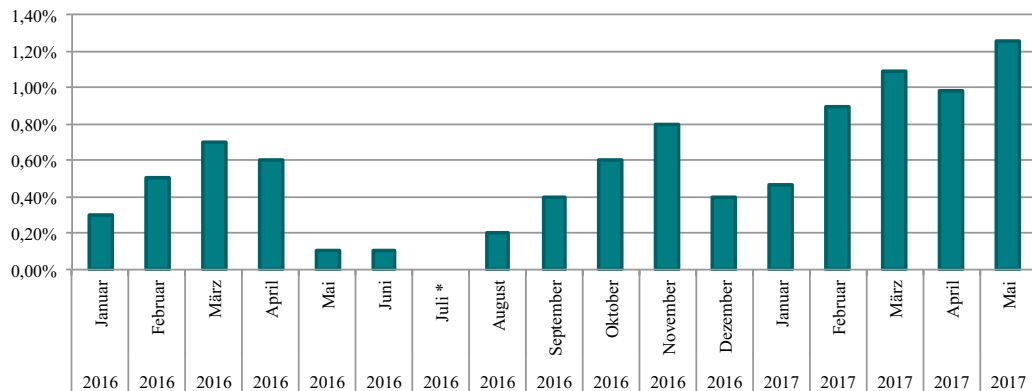
<sup>506</sup> Siehe Abbildung 43: P2G-Konzept.

<sup>507</sup> Für eine ausführliche Darstellung wird auf die Internetseite für Privatkunden der Greenpeace Energy eG (o. J.) verwiesen.

<sup>508</sup> Vgl. zudem Greenpeace Energy (o. J.a).

<sup>509</sup> Vgl. zudem Greenpeace Energy (o. J.b).

Abbildung 50: »proWindgas« – Windgasanteil an der Gaszusammensetzung

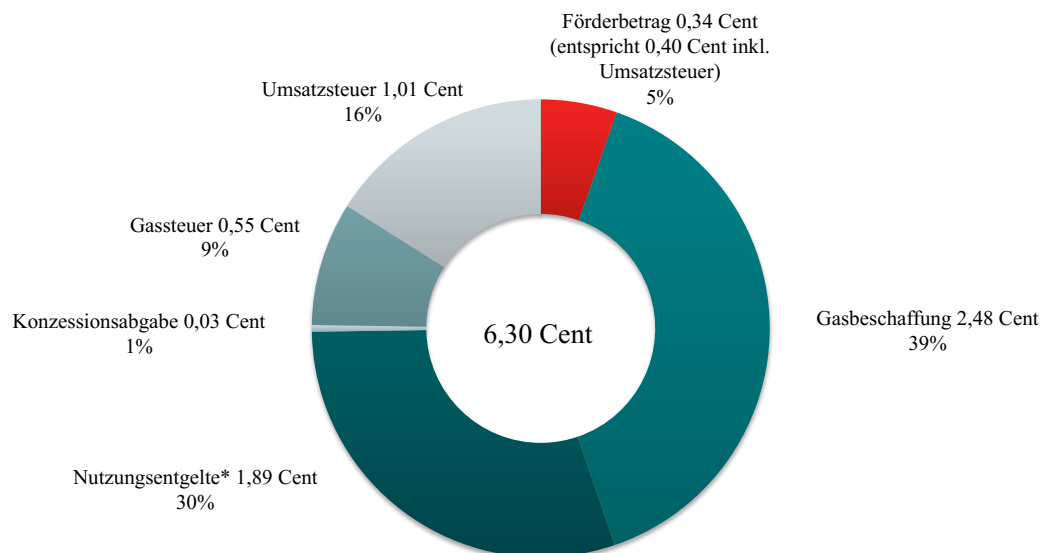


Quelle: Eigene Darstellung. Datenbasis Greenpeace Energy (o. J.b).

\* Juli 2016: keine Produktion

Die Greenpeace Energy bietet ein „Veränderungsprodukt“ (EIV 1P, S. 6) an und verlangt dafür einen Aufschlag gegenüber dem marktüblichen Erdgaspreis (ebd.). Dieser Aufschlag, der von der Greenpeace Energy »Förderbetrag« genannt wird, beträgt 0,34 Cent/kWh und entspricht einem Anteil von 5,4 % am Arbeitspreis (6,30 Cent/kWh) (Greenpeace Energy o. J.b). Die nachfolgende Grafik zeigt die einzelnen Preisbestandteile des Arbeitspreises »proWindgas«.

Abbildung 51: Preisbestandteile Arbeitspreis »proWindgas«



\* Die Netznutzungsentgelte variieren bundesweit je nach Netzgebiet. Bei diesem Wert handelt es sich um einen Durchschnitt, der über alle bundesdeutschen Netzentgelte gebildet wurde.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Greenpeace Energy (o. J.b).

Über eine Clustering der Preisbestandteile wird deutlich, dass der Arbeitspreis von »proWindgas« zu 56 % (inkl. Umsatzsteuer) und zu 48 % (exkl. Umsatzsteuer) aus staatlich induzierten Preisbestandteilen besteht.

Der Netto-Förderbetrag i. H. v. 0,34 Cent fließt in die Technologie(-entwicklung), d. h. direkt in die (Co-)Finanzierung von Windgas-Projekten (Bau/Einkauf von Elektrolyseuren) und wird auch für die Finanzierung von Windgas-Studien verwendet (EIV 1P, S. 6), (Greenpeace Energy 2015). Die ordnungsgemäße Weiterverwendung des Förderbetrages wird von einem unabhängigen Wirtschaftsprüfer testiert (ebd.). Der Verkauf eines Produktes mit einem festen Anteil regenerativen H<sub>2</sub> wäre für Greenpeace Energy wünschenswert, ist allerdings unter den derzeitigen Rahmenbedingungen<sup>510</sup> nicht umsetzbar (ebd., S. 7). Um eine feste Quote anbieten zu können, müsste die Wirtschaftlichkeit von P2G verbessert und gleichzeitig das Kundeninteresse geweckt werden mit dem Ziel, einen Schneeballeffekt zu generieren (ebd., S. 10). Anschließend bestünde die nächste Herausforderung, einen „möglichst intelligenten Einsatz von Elektrolyseuren für das energetische Gesamtsystem noch besser anzureizen“ (ebd.), welches mit der Generierung von (neuen) Geschäftsmodellen in andere Nutzungspfade (und Stufen der P2G-Innovationskaskade) korrespondiert.

Die Ertragsmechanik des Geschäftsmodells »proWindgas« basiert auf einer Mehrzahlungsbereitschaft der Kunden, die über den ökologischen Mehrwert des Veränderungsproduktes aktiviert wird (EIV 1P, S. 13). Mit Hilfe dieser Ertragsmechanik soll eine Symbiose zwischen ökonomischen und ökologischen Anforderungen hergestellt werden, die ein solides Fundament für ein adaptierbares Wirtschaftsmodell und damit für eine breite Anwendung bieten soll (ebd.). Über die Aktivierung der Mehrzahlungsbereitschaft wird zum einen das Beziehungsgeflecht zwischen Geschäftsmodell und der Wertschöpfung adressiert und zum anderen eine Veränderung der Geschäftsmodell-Elemente initiiert, da Kunden zu Partnern werden. Herauszustellen ist an dieser Stelle allerdings der über den Genossenschaftszweck begründete Vorteil, dass eine Profitmaximierung nicht im Vordergrund der Unternehmung steht, sondern eine „gute, sichere und saubere Energieversorgung“ (§ 2 Abs. 1 Satzung der Greenpeace Energy (o. J.c)). Dieses geht auch aus der Präambel der Greenpeace Energy Satzung hervor:

„Die Genossenschaft hat zum Ziel (...) eine nachhaltige und umweltverträgliche Energieversorgung zu möglichst kostengünstigen Preisen zu verschaffen. Ökonomie und Ökologie sollen für die Mitglieder zum Schutz des Klimas und der Umwelt verbunden werden. Die Greenpeace Energy eG muss sich an die vom Greenpeace e. V. festgelegten strengen ökologischen Kriterien halten.“ (ebd.)

Obwohl es sich um eine interessante Ertragsmechanik handelt, bestehen Zweifel an der Lukrativität des Geschäftsmodelles: Gemäß Expertenmeinung basieren die Anlagen auf einer fehlerhaften Investitionsbewertung und es bestehen derzeit zu große regulatorische und technologische Schwierigkeiten bei der Einspeisung in das Erdgasnetz (EIV 2P, S. 4). Auch bei den Geschäftsmodellen, die sich aus bestehenden Studien ableiten, wird zur Erreichung einer Wirtschaftlichkeit eine große Anlagenskalierung<sup>511</sup> als notwendig betrachtet, deren Marktimplementierung jedoch nicht unverzüglich erfolgen kann (ebd.). Zum anderen erfordern diese Geschäftsmodelle eine mit der Anlagengröße einhergehende ausreichende Nachfrage nach H<sub>2</sub>, welches wiederum mit der Notwendigkeit der Marktvergrößerung einhergeht (ebd.). Aus der Summe der Herausforderungen kann gefolgert

---

<sup>510</sup> Siehe insbesondere die Ausführungen zu den regulatorischen (Kapitel 7.5.2) und ökonomischen Unsicherheiten (Kapitel 7.5.3).

<sup>511</sup> Wie bereits aufgeführt, bestätigt dieses auch Jentsch (2014, S. 69): „Generell ist zu beobachten, dass größere Anlagen (die Darstellung umfasst Anlagen bis zu einer Leistung von ca. 6 MW) tendenziell günstiger [im Hinblick auf die Investitionskosten] sind als kleine Anlagen.“

werden, dass die Geschäftsmodellinnovation der Greenpeace Energy zwar über einen *eco-pull* initiiert wurde, sich aber nur durch einen *system-pull* zur Marktdurchdringung entfalten kann bzw. wird.

Eine weitere Geschäftsmodellinnovation ist »e-gas« der Audi AG, die im P2M-Nutzungspfad Kunden mit synthetischem CH<sub>4</sub> versorgt: Zusätzlich zu einem Leasingvertrag für einen Audi »A3 g-tron« können Kunden einen separaten Kraftstoffliefervertrag abschließen, über den die „Kunden für den A3 g-tron ein bestimmtes Kontingent an e-gas mitbestellen“ (audi 2013a). „Damit nehmen sie an einem bilanziellen Verfahren teil, das sicherstellt, dass die Menge Gas, die sie an der Erdgastankstelle in den Tank füllen, durch die Audi e-gas-Anlage ins Netz eingespeist worden ist.“ (ebd.) Zwar gibt Audi auf seiner Internetseite an, dass die Audi e-gas Anlage in Werlte ab der Inbetriebnahme im Jahr 2013 „voraussichtlich etwa 1.000 Tonnen Methan pro Jahr produzieren und dabei 2.800 Tonnen CO<sub>2</sub> binden“ (Audi 2013b) wird, aktuelle und jährliche Daten zu den Produktionsmengen, sowie zu den nachgefragten Kraftstofflieferverträgen sind allerdings auf der Internetseite nicht verfügbar. Auf Grund der unzureichenden Daten- und Informationslage kann das Geschäftsmodell »e-gas« in dieser Arbeit lediglich am Rande aufgeführt werden.

Die wegweisenden Lerneffekte für die Überführung von Systeminnovationen in Geschäftsmodellinnovationen können aus den zentralen Unsicherheiten abgeleitet werden, die P2X-Anlagen und insbesondere P2G-Anlagen tangieren. Zusammenfassend können die Unsicherheiten vereinfacht auf drei Variablen reduziert werden: Anlagenfahrweise der Elektrolyse, Erhöhung des Wirkungsgrades und unzureichende Wirtschaftlichkeit. Gleichzeitig skizzieren sie die zentralen Stellschrauben zur Weiterentwicklung. Aus der Fallstudienanalyse wird deutlich, dass die Unsicherheit primär im Zusammenspiel der regulatorischen und ökonomischen Dimension begründet ist: Über die staatlich induzierten Preisbestandteile und der damit verbundenen Verpflichtung zur Abführung von Letztverbraucherabgaben wird die Entwicklung und Etablierung von tragfähigen Geschäftsmodellen erschwert. Zusammen mit dem Ausbleiben von sektorübergreifenden CO<sub>2</sub>-Minderungszielen und keiner CO<sub>2</sub>-Besteuerung in Verbindung mit den niedrigen Preisen für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate kann keine ökonomische Vorteilhaftigkeit von EE-Gasen gegenüber konventionellen (gasförmigen) Energieträgern verwirklicht werden.

Wie die Fallstudienuntersuchung zeigt, begründet sich die Notwendigkeit von P2X-Anlagen über den Systemnutzen: Mit einer P2X-Anlage kann überschüssiger und sonst ungenutzter FEE-Strom in multiplen Nutzungspfaden verwendet werden, wodurch ein Beitrag zur Flexibilisierung des Stromsystems und zur Dekarbonisierung des Energiesystems geleistet werden kann. Deutlich ist, dass P2X ein notwendiges Element zur Umsetzung der Energiewende ist. Vor dem Hintergrund der sektorübergreifenden Dekarbonisierung kann der Stimulus des *system-pull* zur Marktdurchdringung von P2X-Geschäftsmodellinnovationen über den Systemnutzen begründet werden, da mit dem zunehmenden Ausbau erneuerbarer Energien der Bedarf für Speicher wächst. Der Innovationsstimulus des *system-pull* steht im Einklang mit dem grundlegenden Innovationsstimulus des *system-push*, der vor dem übergeordneten Ziel des Klimaschutzes die Energiewende und damit einen nahezu vollständigen Systemwechsel induziert. Zwar ist der Innovationsstimulus des *system-pull* systemimmanent, bedingt durch die primär in der regulatorischen Dimension verankerten Stellschrauben zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit sind aber in einem ersten Schritt zwei vorgelagerte Stimuli für die Entwicklung von P2G-Geschäftsmodellinnovationen notwendig: Der *regulatory-pull* d. h. direkte und

indirekte staatliche Veränderungsanreize (Anpassung staatlich induzierter Preisbestandteile für die Nutzungspfadunabhängige Verwendung von regenerativem H<sub>2</sub> und synthetischem CH<sub>4</sub>) und bzw. oder der *regulatory-push* (Novellierung des Emissionshandelssystems, Einführung einer CO<sub>2</sub>-Steuer). Der *system-push*, der über die Dekarbonierung und Substitution fossiler Energieträger innovationstimulierend auf die gesamte P2G-Innovationskaskade wirken kann, wird zusätzlich in der zweiten Stufe der P2G-Innovationskaskade verstärkt, da bei der Methanisierung grundsätzlich die Möglichkeit des CO<sub>2</sub>-Recyclings besteht.

Die Ergebnisse der Fallstudienuntersuchung heben hervor, dass mit dem P2G-Konzept neben Unsicherheiten auch Chancen einhergehen. Die nachfolgende SWOT-Analyse fasst, aufbauend auf den SWOT-Analysen von Leonzio (2017, S. 619), EWI et al. (2015, S. 74), Elsner/Sauer (2015, S. 45f., 50), Strauch/Schulzke/Jochum (2014, S. 18ff.), Thomas et al. (2016, S. 76) und Schweiger (2013, S. 72-83), die aus der P2G-Fallstudienuntersuchung extrahierten technologieinhärenten Stärken und Schwächen sowie die systeminhärenten Chancen und Risiken<sup>512</sup> zusammen.<sup>513</sup>

---

<sup>512</sup> In Anlehnung an die Begriffsdefinitionen in Kapitel 4.3.1.2 müsste der Begriff »Risiken« an dieser Stelle durch den Begriff »Unsicherheiten« ersetzt werden. Um hingegen konsistent mit dem in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur benannten Instrument der SWOT-Analyse zu bleiben, wird der Begriff der Risiken verwendet, gleichwohl auch Situationen unter Ungewissheit inkludiert sind.

<sup>513</sup> Für spezifische SWOT-Analysen zu einzelnen Energiespeichern wird auf Elsner/Sauer (2015) und zu einzelnen P2X-Systempfaden auf EWI et al. (2015) verwiesen.



Tabelle 32: SWOT-Analyse P2G-Innovationskaskade

	Stärken	Schwächen
Technologiehärent (intern)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe CO<sub>2</sub>-Einsparung</li> <li>• CO<sub>2</sub>-Recycling (Methanisierung)</li> <li>• Hohe Energiedichte</li> <li>• Hochskalierung möglich</li> <li>• Kleinskalierte, dezentrale Anwendung möglich</li> <li>• Elektrolyse: altbewährte Technologie und in der Anwendung stabil</li> <li>• Dargebot abhängige Fahrweise des Elektrolyseurs prinzipiell möglich</li> <li>• Leichte Prozessbedingungen hinsichtlich der erforderlichen Temperatur, des Drucks und der Reinheit der Gasströme</li> <li>• Kopplung von Strom- und Gasnetz</li> <li>• Multiple energiesektorübergreifende Nutzungspfade für regenerativen H<sub>2</sub> und synthetisches CH<sub>4</sub></li> <li>• Gasinfrastruktur vorhanden und für H<sub>2</sub>-Beimischung geeignet</li> <li>• H<sub>2</sub>-Beimischung: Private Endverbraucher erfahren keine Änderung</li> <li>• Synthetisches CH<sub>4</sub> 100 % Erdgaskompatibel</li> <li>• Steigender CH<sub>4</sub>-Bedarf</li> <li>• Nahezu unbegrenztes Potenzial für SNG-Injektion ins Erdgasnetz</li> <li>• Sehr großes Speicherpotential in der Gasinfrastruktur (TWh-Bereich)</li> <li>• CH<sub>4</sub>-Einspeisung: Endverbraucher erfahren keine Änderung</li> <li>• CO<sub>2</sub>-Recycling bei Methanisierung</li> <li>• Niedrigere Kosten pro MWh für den Energietransport über Pipelines statt Stromnetz</li> <li>• H<sub>2</sub>-Speicher: Hohe volumetrische und gravimetrische Energiedichte, bei Übertagespeicherung kaum Limitierung bei Platzwahl, sehr gute Skalierbarkeit (aus Anlagen- und Ressourcensicht), geringe Standfläche bei Untertagespeicher</li> <li>• H<sub>2</sub>-Kavernenspeicher: Speicherkosten pro kWh sehr gering</li> <li>• CH<sub>4</sub>-Langzeitspeicher: Geringes Gefahrenpotenzial, kein übermäßiger Flächenbedarf, dezentraler Aufbau möglich</li> <li>• Prinzipiell auch als Kurzzeitspeicher einsetzbar</li> <li>• Hohe Effizienz durch Wärmenutzung bei Kopplung mit bereits hochentwickelter KWK</li> <li>• Bereitstellung von Systemdienstleistungen</li> <li>• Keine starke Abhängigkeit von der geografischen Lage (Elektrolyse und Methanisierung)</li> <li>• Geringe gesellschaftliche Akzeptanzprobleme durch entfallenden Infrastrukturausbau und Bekanntheitsgrad der Energieträger</li> <li>• Keine Nahrungsmittelkonkurrenz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>-Quelle zur Methanisierung erforderlich (Kosten, Verfügbarkeit, grüner Charakter)</li> <li>• Zusätzliche Methanisierung kostenintensiv</li> <li>• Umwandlung in chemische Energieform bedeutet Wirkungsgradverluste</li> <li>• Mäßiger systembedingter Wirkungsgrad bei Rückverstromung (P2G2P)</li> <li>• Marktmodelle noch nicht entwickelt</li> <li>• Hohe (Investitions-)Kosten für die Elektrolyseanlage</li> <li>• Wirtschaftlichkeit insbesondere wegen Letztverbraucherabgabenlast nicht gegeben</li> <li>• Preisgünstiges Konkurrenzprodukt Erdgas</li> <li>• P2G noch im Forschungs- und Pilotbetrieb</li> <li>• H<sub>2</sub>-Handhabung mit Herausforderungen verbunden (z. B. Sicherheit, Dichtheit)</li> <li>• H<sub>2</sub>-Beimischungsgrenze ins Erdgasnetz</li> <li>• H<sub>2</sub>-Speicher erfordern großen Planungsaufwand und verfügen über eine geringe Effizienz</li> <li>• H<sub>2</sub>-Speicher: Gesellschaftliche Akzeptanz und ordnungspolitische Voraussetzungen</li> <li>• H<sub>2</sub>-Untertagespeicher (Salz-)Kavernen oder poröse Gesteinsformationen notwendig</li> <li>• CH<sub>4</sub>-Speicher: Abhängigkeit von der CO<sub>2</sub>-Bezugsquelle, Erdgasnetz und Katalysatormaterialien</li> <li>• Dynamik der CO<sub>2</sub>-Abtrennung und Methanisierung passt nicht zu dynamischem Erzeugungsmuster erneuerbaren H<sub>2</sub></li> <li>• Anstieg Gesamtstromnachfrage, daher unbedingt (F)EE als Ressourcenbasis notwendig</li> </ul>

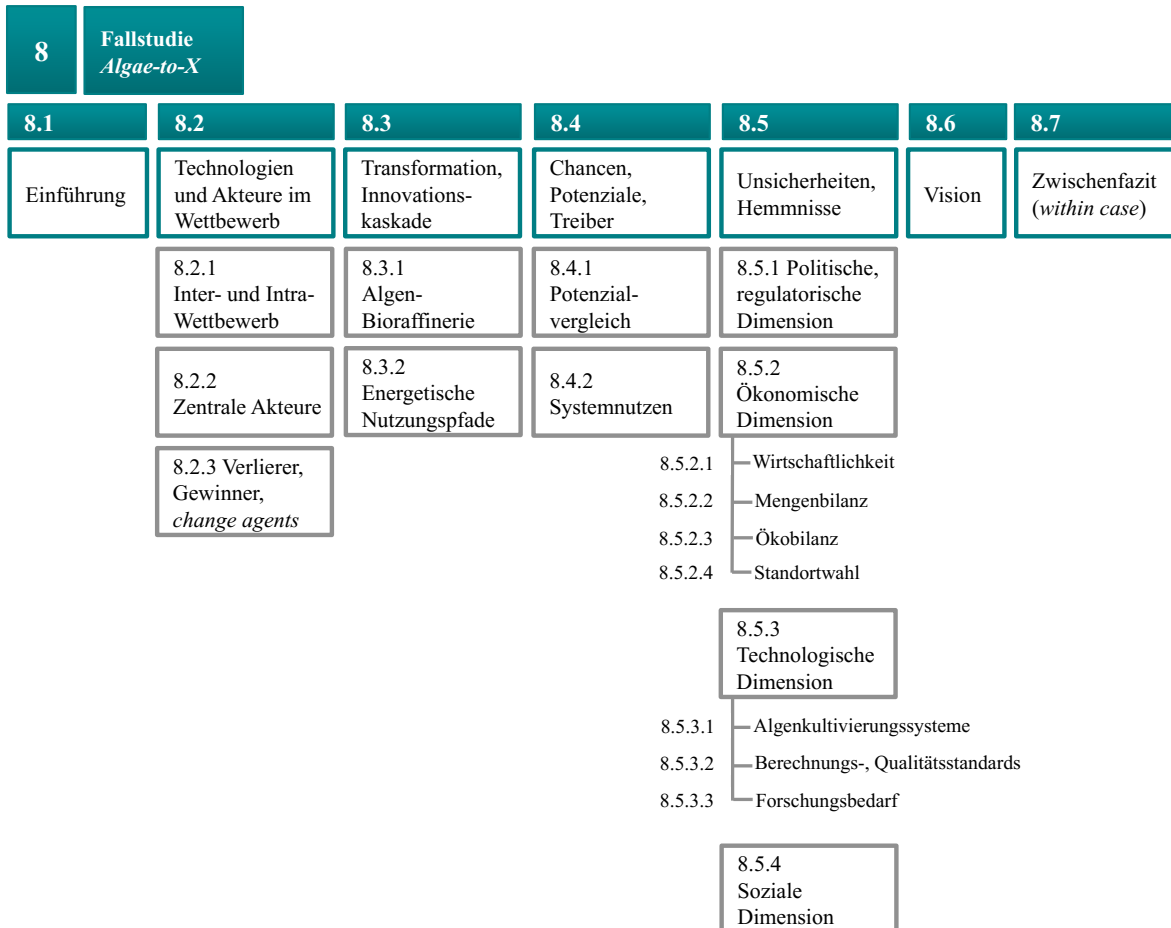
	Chancen	Risiken
Systeminhärent (extern)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methanisierung erreicht Marktreife</li> <li>• Elektrolysepreise fallen</li> <li>• Steigender CO<sub>2</sub>-Emissionshandelspreis und Einführung einer CO<sub>2</sub>-Steuer können einen (ökonomisch) positiven Einfluss auf P2G haben</li> <li>• Zukünftige Marktreife der Hochtemperatur-Elektrolyse</li> <li>• Entwicklung H<sub>2</sub>-verträglicher Technologien (Turbinen, CNG-Tanks)</li> <li>• Brennstoffzelle erreicht höhere technologische Reife</li> <li>• Anhaltend hoher (F)EE-Ausbau</li> <li>• Anstieg Gasnachfrage</li> <li>• Reduzierte Erdgas-Exportabhängigkeit</li> <li>• Novellen von Gesetzen und Regelwerken</li> <li>• Entwicklung politischer Ziele und <i>Roadmaps</i></li> <li>• FuE-Förderung und Diffusion</li> <li>• Entlastung des Stromnetzes durch dezentrale Erzeugung</li> <li>• Hohe Aufmerksamkeit der Gaswirtschaft, hoch motivierte Industriepartner</li> <li>• Auslaufen bestehender Verträge</li> <li>• Diversifizierung der im Energiesektor beteiligten Unternehmen über die Sektorkopplung</li> <li>• Bereits parallele Aktivitäten der EVU in beiden Sektoren (Strom und Gas)</li> <li>• Schaffung neuer Märkte</li> <li>• Substitution fossiler Energieträger</li> <li>• Systemnutzen: Nutzung überschüssiger FEE, Beitrag zur Netzstabilität und Versorgungssicherheit</li> <li>• Energiesektorübergreifende Dekarbonisierung</li> <li>• Synergien mit CCU</li> <li>• Export P2G-Technologie und EE-Gase</li> <li>• Deutschland mit (zukünftig) hohen FEE-Anteilen und solider Erdgasinfrastruktur ein guter Standort</li> <li>• H<sub>2</sub>-Speicher: Hohe Speicherkapazitäten (Gasnetz, Untertage)</li> <li>• Größte Langzeitspeicheroption für (F)EE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Investitionskosten für P2G und KWK verglichen mit konventioneller Anlagentechnik bei unsicheren Erlösoptionen</li> <li>• Geringe Anlagenauslastung</li> <li>• Begrenzte H<sub>2</sub>-Beimischung im Erdgasnetz</li> <li>• Sensible Gastechnologien auf der Anwenderseite (Industrie, CNG-Tanks)</li> <li>• Akzeptanzprobleme bei Netzbetreibern und (Industrie-)Kunden</li> <li>• Verlangsamung des (F)EE-Ausbaus</li> <li>• Starker europäischer und internationaler Wettbewerb</li> <li>• Fehlende Eintrittsbarrieren</li> <li>• Probleme bei Genehmigungsverfahren</li> <li>• Ungünstige Marktentwicklungen</li> <li>• Keine Konkurrenzfähigkeit zu fossilem Gas</li> <li>• Erdölführerschaft</li> <li>• Abhängigkeit vom Ölpreis</li> <li>• Alternative, international angelegte Langzeitspeicherkonzepte gewinnen an Bedeutung</li> <li>• Internationaler Netzverbund macht Speicher obsolet</li> <li>• Frühes FuE-Stadium</li> <li>• Gefahr <i>greenwashing</i> für CO<sub>2</sub>-Senke in fossilen Kraftwerken und industriellen Anlagen</li> <li>• H<sub>2</sub>-Speicher: Hohe Infrastruktur-Investitionen, Nutzungskonkurrenz bei Untertage-Gaslagerstätten, regulatorischer Rahmen (z. B. Steuern)</li> <li>• Zertifizierung CNG-Tanks mit bis zu 2 Vol.-% H<sub>2</sub>-Konzentration in Untersuchung</li> <li>• H<sub>2</sub>-Untertagespeicher (poröse Gesteine) mehr als 2 Vol.-% H<sub>2</sub>-Konzentration noch zu demonstrieren</li> <li>• CH<sub>4</sub>-Speicher: Politische Rahmenbedingungen unklar, Verknüpfung von Strom- und Gasnetz nicht Stand der Technik</li> </ul>

Quelle: Eigene Darstellung.

Wenn die chemische Energiespeicherung auf Basis von Überschüssen fluktuierender erneuerbarer Energien im Jahr 2050 einen wesentlichen Baustein des Energiesystems bilden soll, ist es auf Grund der starken Wechselwirkungen im Gesamtenergiesystem notwendig, bereits heute die infrastrukturellen Grundlagen dafür zu legen und Marktstrukturen sowie Erzeuger- und Verbraucherbeziehungen vorzudenken. Zur Begegnung der über die Langfristigkeit der Energiewende induzierten Unsicherheit kann aus der Fallstudienuntersuchung abgeleitet werden, dass über die Lerneffekte der ersten beiden Stufen der P2G-Innovationskaskade (Nutzung des regenerativen H<sub>2</sub> und Methanisierung des nicht in das Erdgasnetz einspeisbaren H<sub>2</sub> bzw. der sektorübergreifenden Direktnutzung des regenerativen H<sub>2</sub>) eine Unsicherheitsreduktion für die dritte Stufe der P2G-Innovationskaskade (Langzeitspeicherung) erzielt werden kann.

## 8 Fallstudie *Algae-to-X*

Abbildung 52: Struktur Kapitel 8

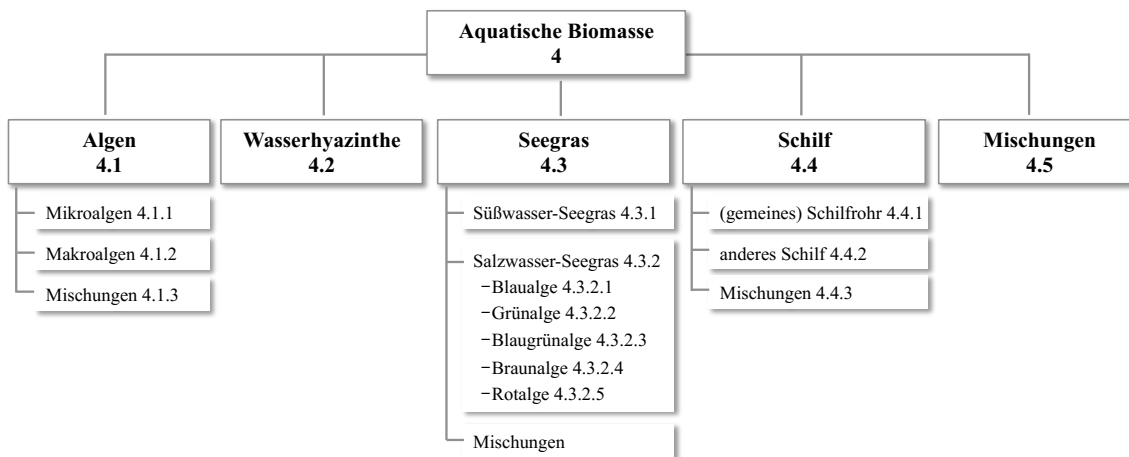


Quelle: Eigene Darstellung.

## 8.1 Einführung

*Algae-to-X* (A2X)<sup>514</sup> bezeichnet die Herstellung stofflicher und energetischer Produkte auf Basis von aquatischer Biomasse. Gemäß DIN EN ISO 17 225-1 wird aquatische Biomasse als vierte Hauptgruppe fester Biobrennstoffe in fünf Kategorien geteilt, wie die nachfolgende Abbildung zeigt.

Abbildung 53: Klassifizierung aquatischer Biomasse nach DIN EN ISO 17 225-1



Quelle: Eigene Darstellung.

Für die aquatische Biomasseproduktion sind Mikroalgen und Makroalgen in den Fokus der wissenschaftlichen Diskussion gerückt (Posten/Wilhelm 2016, S. 249), (Öko-Institut 2007)<sup>515</sup>. Als Energiequelle nutzen Algen, analog zu terrestrischen Pflanzen, das Sonnenlicht. Ihre Zellsubstanz (Biomasse<sup>516</sup>) bilden Algen über die Energiequelle in Verbindung mit der Kohlenstoffquelle CO<sub>2</sub>. Algen gehören zu der Klasse der phototropen Organismen. Als einer der wichtigsten Primärproduzenten der Erde existieren sie in nahezu allen Gewässern (marin, limnisch, fluviatil). (Griehl et al. 2012, S. 79), (Schneider/Gäth 2012, S. 55), (Griehl et al. 2009, S. 3) Schätzungen gehen von einer Algenartenvielfalt zwischen 200.000 und mehreren Millionen Spezies aus (FNR 2014, S. 53), (Griehl et al. 2012, S. 79), (Schneider/Gäth 2012, S. 55), (Hannon et al. 2010, S. 2), wovon rund 18.000 Makroalgen (Öko-Institut 2007, S. 3) und 10.000 bis 35.000 Mikroalgen (DECHEMA 2016, S. 6), (Pulz 2009, S. 88), (Berg-Nilsen 2006, S. 10) wissenschaftlich untersucht sind und lediglich ein Bruchteil der Algen (rd. 220 Makroalgen und rd. 20 Mikroalgen) gegenwärtig wirtschaftlich genutzt werden (DECHEMA 2016, S. 6), (Geier/Buchholz 2013, S. 328f.), (Griehl et al. 2012, S. 79).

<sup>514</sup> Dieser Begriff ist in der Wissenschaft und Praxis noch nicht etabliert. In Anlehnung an die strukturgebende Klassifikation von *Power-to-X* (P2X) wird der Begriff *Algae-to-X* (A2X) erstmalig eingeführt. Die Bezeichnung ermöglicht bereits über die Semantik die strukturelle und grundkonzeptionelle Parallelität der Fallstudien zu verdeutlichen: Ausgehend von dem synthetischen H<sub>2</sub> im P2X-Konzept, sowie ausgehend von der aquatischen Biomasse im A2X-Konzept sind zahlreiche energetische und stoffliche Nutzungspfade möglich – die beide über den Buchstaben »X« hervorgehoben werden.

<sup>515</sup> Zwar wurde in dem Arbeitspapier des Öko-Institutes (2007) auch Seegras zur rohstofflichen Verwendung und energetischen Nutzung aquatischer Biomasse diskutiert, bedingt durch die Ähnlichkeit zu terrestrischen Pflanzen ist die Umwandlung von Seegras in Biogas der Umwandlung von Makroalgen schlechter gestellt (ebd., S. 17). Auf Grund des geringen Potenzials wird Seegras im Rahmen dieser Arbeit nicht vertiefend betrachtet.

<sup>516</sup> Der Begriff der Biomasse umfasst „sämtliche Stoffe organischer Herkunft (d. h. kohlenstoffhaltige Materie)“ (Bloche-Daub et al. 2016, S. 3).

Mikroalgen (< 1 mm) sind vorwiegend oxygene Photosynthese betreibende<sup>517</sup> (phototrope), einzellige bzw. wenigzellige Organismen, die in Zellverbänden (Kolonien) auftreten können (BIOENERGIE 2020+ 2013, S. 4), (Griehl et al. 2012, S. 79), (Pulz 2009, S. 87), (E.ON Hanse 2009, S. 5), (Öko-Institut 2007, S. 4). Mikroalgen sind sowohl im Süß-, Brack- als auch im Salzwasser festsitzend oder schwebend<sup>518</sup> beheimatet (Geier/Buchholz 2013, S. 328), (Griehl et al. 2012, S. 79), (E.ON Hanse 2009, S. 5), (Öko-Institut 2007, S. 4). „Die wesentlichen Bestandteile von Mikroalgen sind Proteine und Aminosäuren, Fette und Fettsäuren, Mineralstoffe und Spurenelemente, Pigmente, Vitamine und antioxidative Schutzkomponenten“ (Pulz 2009, S. 89).<sup>519</sup> Die in der Praxis am häufigsten genutzten Mikroalgen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

**Tabelle 33: Mikroalgen – zentrale Gruppen und Gattungen**<sup>520</sup>

Mikroorganismen	Zentrale Gattungen	Nutzungspfade
<b>Procaryoten</b> Cyanobakterien (Blaualgen) <sup>521</sup>	Spirulina	Entwicklung von zukünftigen Biokraftstoffen (Biowasserstoff und Bioethanol)
	Synechococcus	Entwicklung von zukünftigen Biokraftstoffen (Biowasserstoff und Bioethanol)
	Synechocystis	Entwicklung von zukünftigen Biokraftstoffen (Biowasserstoff und Bioethanol)
<b>Eukaryotische Algen</b> Grünalgen	Chlamydomonas	Gewinnung von Wasserstoff Herstellung von Biomasse für die energetische Nutzung
	Chlorella	Nahrungsergänzungsmittel Biomasselieferant für Fette, Kohlenhydrate, Vitamine und Antioxidantien
	Haematococcus	Lebensmittelfarbstoff Astaxanthin
	Dunaliella	Proteine und Carotinoide
	Ostreococcus	Lipide
	Botryococcus	Biodiesel
<b>Eukaryotische Algen</b> Diatomeen	~	Pharmakologische Wertstoffe Nanotechnologie
<b>Eukaryotische Algen</b> Eustigmatophyceen	Nanochloropsis	Biodiesel

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Posten/Wilhelm (2016, S. 250-252).

<sup>517</sup> Neben photosynthetischen Mikroalgen existieren auch heterotrophe und mixotrophe Mikroalgen (Geier/Buchholz 2013, S. 328). Photosynthetische Mikroalgen zählen zu den autotrophen Mikroalgen, die anorganische Verbindungen als Kohlenstoffquelle und Licht als Energiequelle verwenden. Zu der Kategorie der autotrophen Mikroalgen zählen neben photosynthetischen Mikroalgen, chemoautotrophe Mikroalgen. Letztere verwenden ebenfalls anorganische Verbindungen als Kohlenstoffquelle, aber oxidierende anorganische Verbindungen als Energiequelle. Heterotrophe Mikroalgen verwenden organische Verbindungen für das Wachstum. Einige photosynthetische Mikroalgen sind auch mixotroph – sie kombinieren Heterotrophie und Autotrophie durch Photosynthese. (Dragone et al. 2010, S. 1356)

<sup>518</sup> Mikroalgen, die frei im Wasser schweben, werden auch als Phytoplankton bezeichnet (Griehl/Bieler/Posten 2012, S. 79), (E.ON Hanse 2009, S. 5). Sie sind „das erste Glied der Nahrungskette in Meeren und Seen“ (Eisenbrand/Schreier 2006, S. 21).

<sup>519</sup> Für eine Vertiefung zu den physiologischen Eigenschaften von Mikroalgen wird exemplarisch auf Posten/Wilhelm (2016, S. 252 f.), Hamed (2016, S. 1150f.) und Lee (2008) verwiesen.

<sup>520</sup> Die Klassifizierung der Algen erfolgt klassischerweise anhand von Farbstoffen oder Inhaltsstoffen (EIV 4A, S. 3).

<sup>521</sup> Die in der Praxis geläufige Bezeichnung der Blaualge für Cyanobakterien ist irreführend, da es sich bei Cyanobakterien um Procaryoten, d. h. Bakterien handelt. Diese können nicht der Kategorie der Eukaryoten (Algen) zugeordnet werden. (EIV 4A, S. 3) Auch ist anzumerken, dass Mikroalgen bedingt durch Stoffwechselwegunterschiede in der Lage sind andere Stoffe zu produzieren als Bakterien oder Eukalypten (EIV 1A, S. 9). Da die hier vorliegende Forschungsarbeit dem Fachbereich der Wirtschaftswissenschaften und nicht dem Fachbereich der Biotechnologie zugeordnet ist, wird diese Differenzierung im Folgenden nicht berücksichtigt.

Über verschiedene Stoffwechselwege wandeln Mikroalgen unter der Zugabe von Nährsalzen und Wasser die Energiequelle Sonnenlicht und die Kohlenstoffquelle CO<sub>2</sub> in Biomasse und wertvolle Inhaltsstoffe um: Wie z. B. Farbstoffe, Antioxidantien, Vitamine, Pharmaka, Pharma-Proteine, Kosmetika, Lebensmittel, Lebensmittelzusätze, Nahrungsergänzungsmittel, Zusatzstoffe für die Landwirtschaft und Aquakulturen (Düngemittel, Pestizide, Biostimulatoren), Futtermittel und -zusätze, chemische Grundstoffe (z. B. Biopolymere) und Bioenergieträger (Bioethanol, Biodiesel, Biowasserstoff, Biomechan, Biokerosin, Biomethanol) (DECHEMA 2016, S. 3), (Griehl/Bieler/Posten 2012, S. 81), (Pulz 2009, S. 89), (Posten et al. 2008, S. 1371). Die Einsatzgebiete von Mikroalgen umfassen ferner die Rekultivierung von Industriebrachen, die Abwasserreinigung, das CO<sub>2</sub>-Recycling, die Öl- und H<sub>2</sub>-Produktion und die Biosorption von Schwermetallen (Pulz 2009, S. 89), (Griehl et al. 2009, S. 4).<sup>522</sup> Mikroalgen verfügen damit über vielfältige Nutzungspfade. Sie können sowohl stofflich als auch energetisch genutzt werden – auch im Rahmen einer ganzheitlichen Nutzung über eine Algen-Bioraffinerie<sup>523</sup> (DECHEMA 2016, S. 13). Die Wahl der Algenart ist dabei abhängig vom jeweiligen Applikationswunsch: Für die Biodieselherstellung eignen sich besonders Algen mit einem hohen Lipidwert, für die Futtermittelherstellung hingegen Algen mit einem hohen Proteinwert (EIV 4A, S. 11). Beinhaltende Algen von Natur aus einen bestimmten Farbstoff, werden sie vorzugsweise für die Produktion dieser Farbstoffe verwendet (ebd.).

„Das Wachstum vieler Algen (...) beruht auf dem Prinzip der Teilung“ (Schneider/Gätz 2012, S. 55). Mikroalgen verfügen über sehr kurze Generationszeiten, so dass sie mit hoher Geschwindigkeit zu einer hohen Dichte heranwachsen können (Posten/Wilhelm 2016, S. 249).

„Im Zuge der Photosynthese bilden Mikroalgen sowohl komplexe Eiweißstrukturen als auch Lipide im Zellinneren. Diese eingelagerten Lipidtropfen können wie Öle und Fette traditioneller Energiepflanzen extrahiert und zur Energieproduktion eingesetzt werden.“ (Schneider/Gätz 2012, S. 55)

Makroalgen (> 1 mm) sind vielzellige Organismen, die in die Kategorien Grün-, Braun-, und Rotalgen unterteilt sind (E.ON Hanse 2009, S. 5), (Öko-Institut 2007, S. 3). Makroalgen werden insbesondere in der Nahrungsmittelindustrie, Textil- und Farbindustrie, der Kosmetik- und Pharmaindustrie, als Dickungsmittel in der Bioethanolindustrie sowie als Dünger, Fischfutter oder für die Abwasserbehandlung verwendet (Posten/Wilhelm 2016, S. 246), (Öko-Institut 2007, S. 17). Zudem können Makroalgen über einen Fermentationsprozess für die Produktion von Biogas genutzt werden (Öko-Institut 2007, S. 16-18). Da Braunalgen „kein Lignin enthalten, können sie nahezu vollständig fermentiert und für die Biogasherstellung genutzt werden“ (Posten/Wilhelm 2016, S. 249). In diesem Bereich ist „das Potenzial für Makroalgen sehr hoch“ (ebd.).

Makroalgen bilden im Gegensatz zu Mikroalgen keine Öltropfen im Zellinneren und können „nur eine deutlich geringere Menge an Biomasse vegetativ und generativ produzieren“ (Schneider/Gätz 2012, S. 55). Weiter ist das Potenzial von Makroalgen auf ausgewählte Länder in Afrika, Asien und Lateinamerika beschränkt (Posten/Wilhelm 2016, S. 24).<sup>524</sup> In Deutschland besteht eine niedrige Produktivität von Makroalgen (Öko-

---

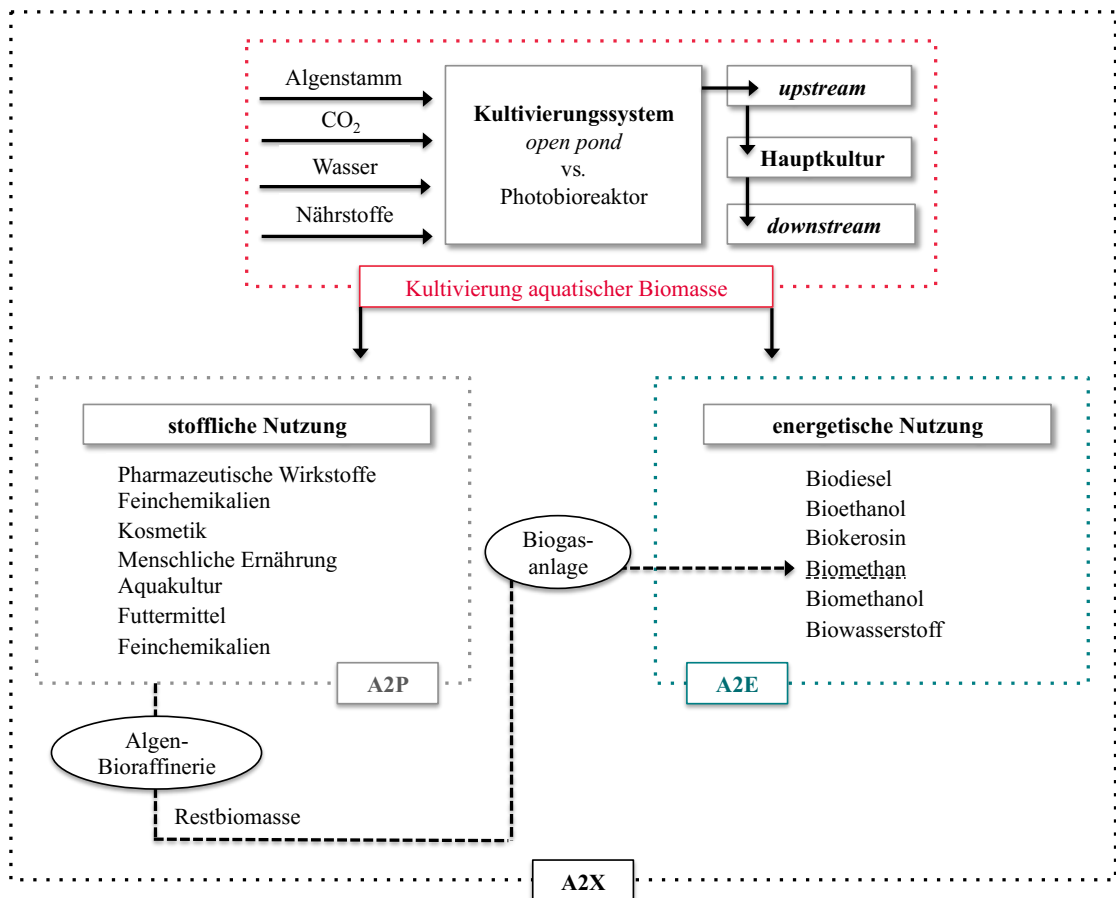
<sup>522</sup> Vgl. für die Mikroalgeneinsatzgebiete auch exemplarisch Schneider/Gätz (2012, S. 57-59), Posten et al. (2008, S. 1371), EIV 1A (S. 1), EIV 3A (S. 3-7) und EIV 4A (S. 3-5).

<sup>523</sup> Siehe ausführlich zum Konzept der Algen-Bioraffinerie Kapitel 8.3.1.

<sup>524</sup> Für eine vertiefende Darstellung der Produktionsmöglichkeiten und -chancen von (Makro-)Algen in Entwicklungsländern wird exemplarisch auf FAO (2002) verwiesen.

Institut 2007, S. 25). Einhergehend mit etwaigen Nutzungskonflikten bei der Kultivierung von Makroalgen (z. B. mit *offshore* Windkraftanlagen) an den deutschen Küsten und derzeit nicht vollständig abschätzbaren ökologischen Konsequenzen der Makroalgenkultivierung (Mono- und Mischkultur) sowie des Makroalgenwildfangs (ebd., S. 25, 29), kann auch für die Zukunft von einem geringen Gesamtpotenzial für die Makroalgenproduktion in Deutschland ausgegangen werden.<sup>525</sup> Im Zentrum der Energiegewinnung aus aquatischer Biomasse stehen damit Mikroalgen im Fokus der Wissenschaft und Wirtschaft und werden auch in der hier vorliegenden Arbeit fokussiert betrachtet.<sup>526</sup> Die nachfolgende Abbildung visualisiert das A2X-Konzept in einer abstrahierten Form.

Abbildung 54: A2X-Konzept



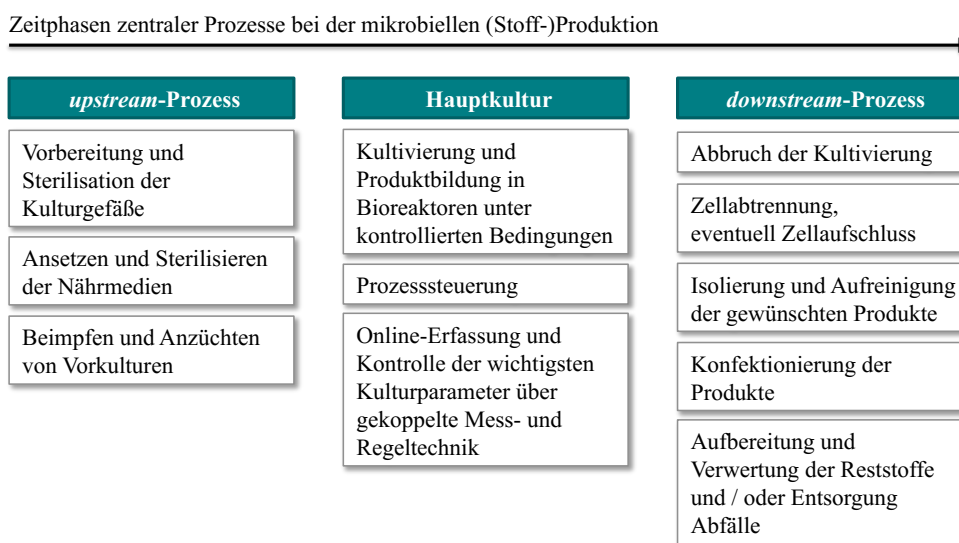
Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>525</sup> Für umfassende Analysen zu Makroalgen wird vornehmlich auf die Publikationen im Rahmen des europäischen Projektes »EnAlgae« (<http://www.enalgae.eu/>) verwiesen. EnAlgae ist eine zwischen 2011 und 2015 laufende strategische Initiative des INTERREG IVB Nordwesteuropa-Programms, bestehend aus 19 Partnern und 14 Beobachtern aus sieben EU-Mitgliedstaaten mit dem Ziel, eine nachhaltige Technologie für die Produktion von Algenbiomasse und für die kommerzielle Algenproduktion (energetische und stoffliche Nutzung) in Nordwesteuropa zu entwickeln. (EnAlgae o. J.)

<sup>526</sup> Im Folgenden wird der Begriff der Hauptgruppe »aquatische Biomasse«, sowie der Überbegriff »Algen« synonym für die Kategorie der Mikroalgen verwendet.

Die Kultivierung aquatischer Biomasse ist der Ausgangspunkt für A2X. In Abhängigkeit der Nutzungspfade erfolgt die Differenzierung in A2P (*Algae-to-Product*) und A2E (*Algae-to-Energy*). Letzteres ist als Überbegriff für die Herstellung algenbasierter Energieträger spezifiziert.<sup>527</sup> Als Verbindungslinie zwischen den stofflichen und den energetischen Nutzungspfaden fungiert die Algen-Bioraffinerie, in der die Algenrestbiomasse der stofflichen Verwendung in einer Biogasanlage zu Biomethan umgewandelt wird. Zur vertiefenden Darstellung der Prozesskette zur Herstellung aquatischer Biomasse werden die drei zentralen Prozessphasen der Mikroalgenkultivierung in der nachfolgenden Abbildung noch einmal differenziert dargestellt.

**Abbildung 55: Prozessphasen Mikroalgenkultivierung**



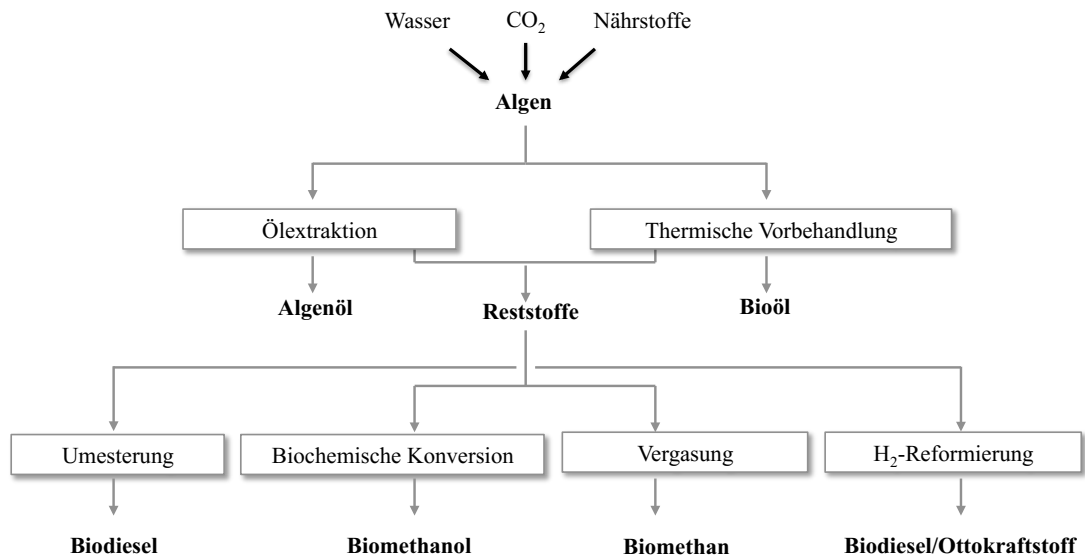
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Syl-datk (2006, S. 312).

Differenziert nach dem Endprodukt, zeigt die nachfolgende Grafik eine schematische Übersicht der Prozesskette zur Herstellung von Biokraftstoffen in den A2E-Nutzungspfaden aquatischer Biomasse.

<sup>527</sup> An dieser Stelle ist noch einmal darauf hinzuweisen, dass es sich bei den Bezeichnungen *Algae-to-Product* (A2P) und *Algae-to-Energy* (A2E) um erstmalig in den praktischen und wissenschaftlichen Kontext eingeführte Begriffe handelt. Die Bezeichnung und Differenzierung zwischen stofflicher und energetischer Nutzung aquatischer Biomasse ist hingegen geläufig, so dass im Folgenden neben den neu eingeführten auch die gängigen Bezeichnungen der stofflichen und energetischen Nutzungspfade verwendet werden.



Abbildung 56: Prozesskette zur Gewinnung ausgewählter Bioenergieträger auf Algenbasis



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Wesselak et al. (2017, S. 615).<sup>528</sup>

Die im Folgenden dargestellte Diskussion und Auswertung der A2X-Fallstudie basiert gemäß Kapitel 6 primär auf der Auswertung der Experteninterviews und wird um die Daten-Triangulation, in dessen Rahmen auch eigene Analysen implementiert sind, ergänzt.

<sup>528</sup> Für eine detaillierte Darstellung der Prozessketten differenziert nach Herstellungsverfahren wird auf Ryan (2009, S. 10-20) verwiesen.

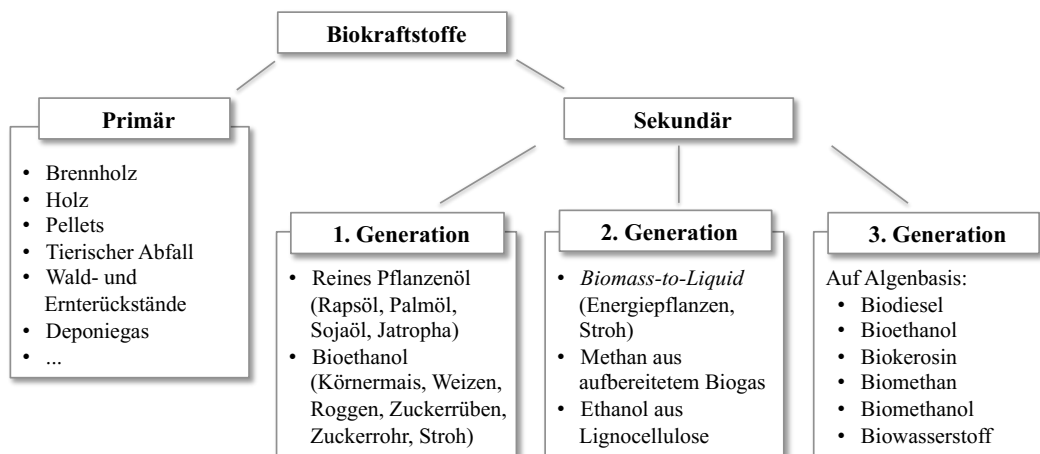
## 8.2 Technologien und Akteure im Wettbewerb

### 8.2.1 Inter- und Intra-Wettbewerb<sup>529</sup>

Wie bereits beschrieben wurde, kann aquatische Biomasse zur Herstellung einer Reihe von stofflichen und energetischen Produkten verwendet werden. Im A2X-Konzept bestehen grundsätzlich zwei zentrale Nutzungspfade: „Die **energetische Nutzung**, bei der die in der Biomasse gespeicherte Energie freigesetzt wird, und die **stoffliche Nutzung**, bei der einzelne Zellinhaltsstoffe verwertet werden.“ (E.ON Hanse 2009, S. 5, Hervorhebungen im Original)

Die Energiegewinnung aus Mikroalgen fällt in die Kategorie nachwachsender Rohstoffe<sup>530</sup> der dritten Generation und wird auch als Biomasse 3.0<sup>531</sup> bezeichnet (Griehl/Bieler/Posten 2012, S. 79), (Posten/Steinweg 2009, S. 48), (Posten et al. 2008, S. 1371). Bezogen auf den energetischen Nutzungspfad werden Kraftstoffe auf Mikroalgenbasis als dritte Generation der Biokraftstoffe<sup>532</sup> bezeichnet (Hyka et al. 2013), (Saifulah/Karim/Ahmed-Yazid 2014, S. 332), (Montero/Aristizábal/Reina 2011), (Dragone et al. 2010). Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick zu primären und sekundären Biokraftstoffen, differenziert nach den einzelnen Generationen.

Abbildung 57: Generationen Biokraftstoffe



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an FNR (2016), FNR (o. J.b), Dragone (2010, S. 1355).

<sup>529</sup> Wie bereits angemerkt, gehen die Begriffe »Intra-Wettbewerb« und »Inter-Wettbewerb« auf Luhmann/Schostok/Schaube (2014) zurück, die in ihrem Artikel darüber die „Stufen der Integration Erneuerbarer Energien im Strombereich“ (ebd., S. 3) definieren. Der Inter-Wettbewerb betont „den Charakter des Wettbewerbs zwischen Gruppen“ (ebd.) und der Intra-Wettbewerb den „diskriminierungsfreien Wettbewerb der Erneuerbaren Erzeugungsoptionen untereinander“ (ebd.).

<sup>530</sup> „Nachwachsende Rohstoffe, so die Definition, sind land- und forstwirtschaftlich erzeugte Produkte, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel Verwendung finden, sondern stofflich oder zur Erzeugung von Wärme, Strom oder Kraftstoffen genutzt werden.“ (FNR o. J.b)

<sup>531</sup> Kritisch anzumerken ist: „Über eine Einteilung in 1., 2. oder 3. Generation lassen sich Biokraftstoffe nur bedingt definieren. Denn in Abhängigkeit der gewählten Kriterien (Kosten, Rohstoff oder Entwicklungsstand des Herstellungsprozesses) variieren die Ergebnisse.“ (FNR 2014, S. 5)

<sup>532</sup> „Als Biokraftstoffe bezeichnet man flüssige oder gasförmige Energieträger, die aus pflanzlicher oder – in seltenen Fällen – tierischer Biomasse gewonnen werden. Sie zählen zu den erneuerbaren Energien (...) weil Pflanzen immer wieder nachwachsen, sofern die hierfür erforderlichen Ressourcen – wie die landwirtschaftliche Nutzfläche – nachhaltig eingesetzt werden.“ (FNR 2014, S. 4)

Mit aquatischer Biomasse kann eine Vielzahl an Substitutionsprodukten hergestellt werden. Speziell im energetischen Nutzungspfad (A2E) können die sechs Bioenergieträger Biodiesel, Bioethanol, Biokerosin, Biomethan, Biomethanol und Biowasserstoff produziert werden. Die Mikroalgenbioenergieträger stehen in einem direkten Konkurrenzverhältnis zu ihren konventionell erzeugten Pendanten. Der energetische Nutzungspfad aquatischer Biomasse steht im Inter-Wettbewerb in direkter Konkurrenz zu nachwachsenden Rohstoffen der ersten und zweiten Generation. Auf der einen Seite gilt terrestrische Biomasse als eine vielversprechende nachhaltige Energiequelle,<sup>533</sup> auf der anderen Seite bestehen zahlreiche ökologische und soziale Nachteile<sup>534</sup>, aus diesen ein ganzheitliches Potenzial der Biomasse 3.0 auf Basis von Mikroalgen zukünftig bedeutender sein könnte.<sup>535</sup>

Gemäß Expertenmeinung steht die energetische Nutzung aquatischer Biomasse zudem im Inter-Wettbewerb zu Photovoltaik, Solarthermie und insbesondere zum »Desertec« Projekt<sup>536</sup> (EIV 3A, S. 6), sowie langfristig in direkter Konkurrenz zu strombasierten Kraftstoffen (P2G, P2F, P2M)<sup>537</sup> (ebd., S. 8). Die Mikroalgenkultivierung steht im stofflichen Nutzungspfad der Bulkchemikalien in direkter Konkurrenz zu P2C (ebd., S. 10f.). Angemerkt wird, dass Algen zwar bei dem Prozess der Photosynthese und dem *upcycling* über CO<sub>2</sub> zu Bioplastik potenziell überlegen sind, gleichwohl der Wirkungsgrad bei P2C größer ist (ebd., S. 11). Leya (2013, S. 1) sieht eine Konkurrenz von A2X zu CCS, gleichwohl Algen bei der CO<sub>2</sub>-Nutzung über Rauchgas die „umweltfreundlichere Alternative“ (ebd.) sind. Abschließend ist beim Inter-Wettbewerb hervorzuheben, dass A2X über die Gesamtheit der Nutzungspfade hinweg mit konventionellen Produkten auf Erdölbasis konkurriert.

Der Intra-Wettbewerb vollzieht sich nicht, wie zunächst vermutet werden kann, zwischen den stofflichen (A2P) und energetischen (A2E) Nutzungspfaden, sondern ist von einem technologischen Wettbewerb der Algenkultivierungssysteme zur Herstellung aquatischer Biomasse geprägt. Wie im nachfolgenden Kapitel zu zeigen ist, kann vielmehr von einer Symbiose zwischen den stofflichen und energetischen Nutzungspfaden gesprochen werden. Im Rahmen der Algenkultivierungssysteme besteht hingegen sowohl bei den Experten, als auch in der wissenschaftlichen Literatur eine breite, von Uneinigkeit geprägte, Diskussion. Es kann davon ausgegangen werden, dass der technologische Charakter des Intra-Wettbewerbs über die Einordnung in eine junge Innovationsprozessstufe, die maßgeblich für die energetischen Nutzungspfade festgestellt werden kann, begründet ist. Eine ausführliche Diskussion der Algenkultivierungssysteme wird im Rahmen der technologischen Unsicherheit (Kapitel 8.5.3.1) geführt.

<sup>533</sup> In der Diskussion um die Vor- und Nachteile, die mit der energetischen Nutzung terrestrischer Pflanzen verbunden ist, basieren die Argumentation der Befürworter zumeist auf den folgenden Vorteilen. Grundsätzlich ist die terrestrische Biomasse im Vergleich zu fossilen Energieträgern CO<sub>2</sub>-neutral, nachwachsend, umwelt- und klimafreundlich (Zichy et al. 2014, S. 1). „Ökonomisch gesehen ist sie von Vorteil, da sie nicht nur der ohnehin krisengebeutelten Landwirtschaft eine neue Einkommensquelle verschafft, sondern auch Entwicklungsländern Chancen der wirtschaftlichen Entwicklung bietet. Aus politischer Perspektive spricht für sie, dass sie zu einer Diversifizierung der Energiequellen und damit zu einer grüneren Unabhängigkeit zu führen imstande ist.“ (ebd.)

<sup>534</sup> Für eine detaillierte Darstellung grundlegender und energieträgerspezifischer Nachteile wird auf die umfassende Analyse der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina (2012) verwiesen.

<sup>535</sup> Siehe für eine ausführliche Diskussion der Chancen, Potenziale und Treiber der Biomasseproduktion aus Mikroalgen Kapitel 8.4.

<sup>536</sup> <http://www.desertec.org/>.

<sup>537</sup> P2G wird auch als „[t]echnische Nachbildung der Photosynthese“ (Stern 2016b, S. 22) bezeichnet.

### 8.2.2 Zentrale Akteure

Bedingt durch die starke, sektorübergreifende Vernetzung und die vielfältigen stofflichen und energetischen Nutzungspfade in den unterschiedlichen Marktsegmenten, ist zur Umsetzung der potenziellen A2X-Systeminnovationen die Einbindung vielfältiger Akteure auf der Herstellerseite notwendig. Zu den zentralen Kooperationspartnern gehören gemäß Expertenmeinung, Anlagenbauer und Systemhersteller für Photobioreaktoren, Materialwissenschaftler (um z. B. Plexiglas mit speziellen anwendungsorientierten Beschichtungen herzustellen), CO<sub>2</sub>-Lieferanten, Biologen, Institutionen, die Algenstämme aus ihrer Sammlung zur Verfügung stellen, um das System anzufüttern, Institutionen bzw. Wissenschaftler der Biotechnologie zur passgenauen Wahl der Algensorte in Abhängigkeit des Nutzungspfades sowie Unternehmen welche die Nährstoffe zur Verfügung stellen<sup>538</sup> (EIV 3A, S. 216), (EIV 4A, S. 16). Zu einem zentralen Akteur im Bereich der CO<sub>2</sub>-Bereitstellung zählt »The Linde Group«, die derzeit in zahlreichen Forschungsprojekten, sowohl national als auch international involviert ist (EIV 4A, S. 16). Ihr Engagement beruht gemäß Expertenmeinung auf einem starken Eigeninteresse: Dem Verkauf ihres eigenen Produktes (CO<sub>2</sub>) (ebd.). Die zentralen Akteure auf der Abnehmerseite sind abhängig vom A2X-Nutzungspfad. Diese können beispielweise die Lebensmittel-, Chemie- und Futtermittelindustrie, aber auch Biogasanlagenbetreiber, Landwirte und Raffinerien sein (ebd.).

Zur Forcierung und Förderung der Technologieentwicklung können Cluster beitragen. Cluster werden von den Experten zum überwiegenden Teil positiv bewertet: Sie eignen sich zur branchenübergreifenden Identifikation von und dem (Wissens- sowie Interessens-) Austausch mit zentralen Akteuren, zur Schließung von Netzwerken und können zur Förderung der regionalen Wertschöpfung beitragen (EIV 1A, S. 26), (EIV 3A, S. 15, 21), (EIV 4A, S. 28). Zudem eignen sich Cluster zum Betreten und zur Forcierung neuer Geschäftsfelder.<sup>539</sup> Für die Technologieentwicklung ist ein intensiver Informationsaustausch notwendig, damit unternehmensübergreifende Lerneffekte erzielt werden können. Gemäß Expertenmeinung konnte bereits ein großes und breites Wissensspektrum aufgebaut werden, welches in Projekten jedoch nicht in einer umfassenden und ausreichenden Art und Weise abgerufen werden kann, da nicht jeder Akteur bereit ist sein Wissen zu teilen (EIV 3A, S. 15).

Aus den Experteninterviews können drei zentrale Voraussetzungen für erfolgreiche Cluster abgeleitet werden: Erstens sollte ein Cluster zielgerichtet sein, z. B. fokussiert auf einen speziellen Teil der Grundlagenforschung oder z. B. der Verwertung der aquatischen Biomasse (EIV 2A, S. 18). Die Zielsetzung des Clusters tangiert ferner die Frage der Industrie einbindung: Für Vermeidungs- oder Verbesserungsstrategien (z. B. Abwasser, Kosten, Abfall, Entsorgung) wird ein Cluster als ein sinnvolles Instrument erachtet, da über sie schneller mehr (Industrie-)Unternehmen profitieren können und somit ein Beitrag zur Generierung von Skaleneffekten erzielt werden kann (EIV 1A, S. 25). Besteht das Ziel hingegen in der Förderung einer vermarktungsfähigen Technologie, bei der eine Gewinn(ab)schöpfung zu erwarten ist, wird die Industrie gemäß Expertenmeinung daran

---

<sup>538</sup> Anzumerken ist an dieser Stelle, dass die Bereitstellung von Nährstoffen mit rd. einem Drittel ein zentraler Kostenfaktor ist, der einen maßgeblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit ausübt (EIV 4A, S. 16). Werden die Nährstoffe über den synergetischen Pfad der Abwasserreinigung bereitgestellt, gehören auch z. B. Klärwerke bzw. Stadt- und Entwässerungsbetriebe als Kooperationspartner zu den zentralen Akteuren. In diesem Fall können u. U. Kostenvorteile für beide Parteien erzielt werden.

<sup>539</sup> Dieses bestätigt auch EIV 2A (S. 18).

gehalten sein, ihre eigenen Vorteile daraus zu ziehen (ebd.). Zweitens sollte ein Cluster als eine Art geschützter Raum verstanden werden, innerhalb dessen ein offener Austausch möglich, jedoch nach außen die Wahrung einer gewissen Intimsphäre verbunden ist – sowohl in Bezug auf den Detailierungsgrad, als auch im Hinblick auf die Zukunftsperspektiven (EIV 3A, S. 15). Drittens sollte ein Cluster aus Unternehmen und Institutionen mit komplementären Fähigkeiten und Kompetenzen bestehen – insbesondere dann, wenn das Cluster nicht ausschließlich als Dialogplattform genutzt werden soll, sondern die Clustertätigkeit ergebnisorientiert angelegt ist und z. B. in einem gemeinsamen Forschungsantrag oder einem gemeinsamen Projekt münden soll (EIV 3A, S. 15), (EIV 1A, S. 25). Substitutive Kompetenzen in einem Cluster zusammenzubringen, trägt gemäß Expertenmeinung hingegen nicht zu einer gemeinsamen Projektentwicklung bei (EIV 3A, S. 15), (EIV 1A, S. 25). Für die Ausgestaltung zukünftiger Cluster wird angeregt, die Akteurskonstellation eines Clusters so aufzustellen, dass sowohl stoffliche als auch energetische Nutzungspfade über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg implementiert sind<sup>540</sup> (EIV 3A, S. 14, 17). Desweiteren wird angeregt, die nationale und internationale Kooperation mit Industriepartnern in der Forschungs- und Projektarbeit stärker zu strukturieren und Fördermittel gebündelt zu vergeben (ebd.).

### **8.2.3 Verlierer, Gewinner und *change agents***

Zu den Benachteiligten zählt gemäß Expertenmeinung zum einen die Solarbranche: Bedingt durch die gestiegenen Rohstoffkosten, die gesunkenen Subventionen und die Erhöhung der Zölle besteht eine hohe Marktkonkurrenz zu China (EIV 4A, S. 22). Zum anderen zählen gemäß Expertenmeinung die Atomenergiebranche und die EVU zu den Verlierern der Energiewende (ebd.). Neben den Milliardenverlusten, die mit dem Reaktorunfall in Fukushima einhergegangen sind (ebd.), hat auch der von der Bundesregierung avisierte Ausstieg aus der Kernenergie einen negativen Einfluss auf die EVU und wird zwangsläufig zur Degeneration der Atomenergiebranche in Deutschland führen. Zu den Gewinnern der Energiewende zählen gemäß Expertenmeinung der in der Bioenergie tätige Teil der Land- und Forstwirtschaft, Biogasanlagenbetreiber, die Windenergiebranche sowie Unternehmen, die im Marktumfeld von Energiespeichersystemen agieren (ebd.). Darüber hinaus kann auch die Automobilindustrie zu den Gewinnern der Energiewende zählen, sofern sie auf neue Antriebstechnologien (wie z. B. Elektromobilität) setzt (ebd.).

In den stofflichen Nutzungspfaden aquatischer Biomasse (A2P) existieren gemäß Expertenmeinung keine Verlierer sondern nur Gewinner, da keine Verdrängungsprodukte, sondern innovative Produkte wie z. B. Humaninsulin auf Bakterienbasis hergestellt werden (EIV 1A, S. 11). Diese innovativen Produkte erweitern die Produktpalette über substitutive Produktionsverfahren (ebd.). Kritisch ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass es sich analog zum energetischen Nutzungspfad auch im stofflichen Nutzungspfad gleichwohl um die Herstellung von Verdrängungsprodukten handeln kann, wenn z. B. konventionell hergestelltes Insulin von dem mit Bakterien hergestellten Insulin abgelöst wird oder wie z. B. der Anwendungsfall der Aquakultur zeigt, dass Fischmehl als Futterquelle über Mikroalgen substituiert wird.

---

<sup>540</sup> Dieses sei derzeit jedoch mit Schwierigkeiten verbunden, da die Cluster- und Projektfinanzierung aquatischer Biomasse verstärkt über das Biodiesel-Siegel erfolgt. Forschungsaktivitäten die nicht als primäres Ziel die Biodieselgewinnung avisieren, haben gemäß Expertenmeinung zum Teil mit Finanzierungsschwierigkeiten zu kämpfen (EIV 3A, S. 17).

In den energetischen Nutzungspfaden aquatischer Biomasse (A2E) können gegenwärtig noch nicht eindeutig Gewinner und Verlierer identifiziert werden (EIV 2A, S. 18). Begründet kann dieses maßgeblich mit dem frühen Stand der Mikroalgenkultivierungssysteme im Technologienentwicklungsprozess, des hohen Innovationsgrades und der Grenzhaftigkeit der Wirtschaftlichkeit. Unter der Annahme einer gegebenen Wirtschaftlichkeit könnten Hersteller von Algenkultivierungssystemen sowie Unternehmen (speziell KMU), welche die Technologien der einzelnen Systemkomponenten zur Verfügung stellen (wie z. B. Zentrifugenhersteller für die Biomassernte), zu den Gewinnern zählen. Auch Lieferanten, die Nährstoffe und CO<sub>2</sub> (z. B. »The Linde Group« oder Chemiekonzerne) bereitstellen, werden gemäß Expertenmeinung, neben den Biomasseabnehmern, als Gewinner klassifiziert werden können (EIV 4A, S. 23). Unter der Maßgabe der Überschreitung der Wirtschaftlichkeitsgrenze von A2E, würden die direkten Konkurrenten der Mikroalgenbiotechnologie zu den Verlierern zählen, insbesondere diejenigen, die derzeit noch auf den Pfad der fossilen Energiegewinnung setzen (ebd.). Aber auch der Teil der Landwirte, dessen Geschäftsmodell gegenwärtig maßgeblich auf dem Anbau von terrestrischen Energiepflanzen beruht, könnte ein Teil der zukünftigen Verlierer sein – insbesondere ohne eine Änderung ihres Geschäftsmodelles hin zu einem verstärkten Lebensmittelanbau bzw. dem Umschwenken hin zur Mikroalgenkultivierung oder des Ausbleibens einer entsprechenden Marktregulierung (EIV 3A, S. 19), (EIV 4A, S. 23).

Ob Mineralölkonzerne zu den zukünftigen Gewinnern oder Verlierern im energetischen Nutzungspfad aquatischer Biomasse zählen, wird von den Experten disparat bewertet: Auf der einen Seite besteht für Mineralölkonzerne und besonders für diejenigen, die auch in der Erdölförderung tätig sind, die Gefahr des Verlusts ihrer bestehenden *assets* (EIV 3A, S. 19). Auf der anderen Seite könnten Mineralölkonzerne zu den zukünftigen Gewinnern zählen, sofern sie die aquatische Biomasse mittelfristig als ein zweites und langfristig als ein neues und lukratives Geschäftsfeld verstehen – einer neuen Rohstoffquelle zur Herstellung von Energieträgern und Produkten, die bislang auf Erdölbasis produziert werden (ebd.).

Die EVU werden hingegen auf Grund ihrer bereits breit und tief verwurzelten FuE-Einbindung im Bereich der energetischen Nutzungspfade aquatischer Biomasse von den Experten nicht zu den Verlierern gezählt (EIV 3A, S. 19), (EIV 4A, S. 23), gleichwohl sie bedingt durch ihre bestehenden *assets*, insbesondere im Zusammenhang mit der fossilen Energieerzeugung, nicht zu den zentralen *change agents* gehören (EIV 2A, S. 2, 5). Dieses kann wie folgt begründet werden: Die Mikroalgenbiotechnologie ist für Energieversorger kein vorrangiges Geschäftsfeld, da sie mit ihrem angestammten Geschäft gegenwärtig (noch) ausreichend Erträge erwirtschaften können und die Mikroalgenbiotechnologie aus Sicht der Energieversorger, verglichen mit z. B. der Braun- und Steinkohleförderung, ein kompliziertes und derzeit (noch) teures Geschäftsfeld ist (ebd.). Auch wenn im Bereich der fossilen oder atomaren Energieerzeugung die Rohstoffe knapper und die Auflagen größer werden, würden Energieerzeuger gemäß Expertenmeinung den ihnen am nächsten zur Verfügung stehenden und damit zunächst einen einfacheren Weg gehen, bevor sie in das Geschäftsfeld der Mikroalgenbiotechnologie investieren (ebd.). Zwar tätigen Energieversorger in den energetischen Nutzungspfaden der Mikroalgenbiotechnologie Investitionen und gehören, wie die Tabelle 47 zu bestehenden A2X-Projekten in Deutschland (Anhang A.3) zeigt, zu den zentralen Akteuren, gemäß Expertenmeinung kann die Intention der Energieversorger allerdings teilweise als PR-Maßnahme und *greenwashing* interpretiert werden (EIV 2A, S. 5, 8f.), (EIV 3A, S. 14), (EIV 4A, S. 21).

Getrieben wird der *greenwashing*-Gedanke von den ungenutzten Möglichkeiten der Großunternehmen der Energiewirtschaft und der Industrie: Trotz der Größe ihres Handlungsbereichs, der ihnen für Impulse und Investitionen zur Verfügung steht und trotz des Handlungsdrucks den sie auf die Bundesregierung ausüben könnten (*shape the future*), zeigen sie nicht die Handlungs- und Beteiligungsbereitschaft, die sie zeigen könnten (EIV 4A, S. 21). Der zentrale Beweggrund von Energieversorgern, FuE im Bereich der energetischen Nutzung von Mikroalgen zu betreiben und in diesem Rahmen Demonstrations- und Pilotanlagen zu bauen, ist die Platzreservierung in der ersten Reihe: Energieversorger wollen von Beginn an dabei sein und nichts verpassen (EIV 2A, S. 9), (EIV 3A, S. 15, 18), (EIV 4A, S. 21). Zwar tätigen die Energieversorger bereits Investitionen in FuE, gemäß Expertenmeinung steigen sie jedoch erst zu einem späteren Zeitpunkt des Technologieentwicklungsprozesses ein, indem sie über einen (zweistelligen) Millionenbetrag die bis dato vorhandenen Patente und das *know-how* der eigentlichen Innovatoren einkaufen und dann an ihrer Stelle die Technologie bis zur Marktreife weiterentwickeln und großskaliert in den Markt einführen (EIV 2A, S. 9).

Zu den zentralen *change agents* zählen gemäß Expertenmeinung vornehmlich Großunternehmen der Industrie und Wirtschaft (EIV 4A, S. 22). Die KMU, die das sogenannte Rückgrat der deutschen Wirtschaft bilden, werden hingegen nicht als Initialzündler betrachtet (ebd., S. 26). Sie werden die Mikroalgentechnologie erst zu einem späteren Zeitpunkt – kurz vor der Marktdurchdringung – vorantreiben, aus der sich dann die notwendige Bedeutungs- und Verhaltensänderung entwickeln kann (ebd.). Den KMU wird damit tendenziell eine *follower* Strategie zugesprochen. Kurzfristige Anreize für KMU könnten beispielsweise Großunternehmen setzen, indem sie z. B. Flächen zur Verfügung stellen und sich an Projekten beteiligen (ebd., S. 27). Ein zentraler Faktor für die Initialzündung von (Groß-)Unternehmen ist die Sichtbarkeit – *change agents* sind und sollen nicht ausschließlich konzeptgebunden, sondern auch personengebunden sein (EIV 2A, S. 7). Personengebundene *change agents* sind aber eher in Großforschungszentren und weniger in (Groß-)Unternehmen angesiedelt (ebd.). Einschränkend anzumerken ist, dass es sich bei Großunternehmen, wie beispielsweise EVU, bedingt durch die Unternehmenskultur und Tradition zumeist um gewinnorientierte, pfadabhängige und auf kurzfristig sichtbare Ergebniszyklen ausgelegte Unternehmen handelt, die sich weder mit Druck noch monetären Anreizen in ein forschungsorientiertes Unternehmen, das Hochrisiko-Forschung betreibt, verwandeln können und werden lassen (ebd., S. 7f.). Um die Kreativität, die Risikobereitschaft und letztlich einen flexibleren Umgang mit Veränderungen in Großunternehmen zu fördern, könnten beispielsweise Ausgründungen (*spin-offs*) beitragen.<sup>541</sup>

Wie oben bereits dargelegt, verfügen einige Energieversorger nicht über eine herausragend intrinsische Motivation für A2X. Auch wenn sie notwendige *change agents* sein müssten, sind es momentan noch zumeist die kleinen Unternehmen (z. B. umweltorientierte Ingenieurbüros), die sich überdurchschnittlich in Projekten engagieren, gleichwohl von ihnen nicht eine sehr starke Initialzündung erwartet werden kann (EIV 3A, S. 18). Allerdings ist herauszustellen, dass sich gemäß Expertenmeinung ein Wandel bei den EVU als *change agents* vollzogen hat – waren sie bis vor einigen Jahren noch die treibenden Kräfte im Bereich der energetischen Nutzung aquatischer Biomasse, so scheint das Engagement in jüngster Zeit zum Teil abgenommen zu haben (ebd., S. 17). Begrün-

---

<sup>541</sup> Diese Handlungsoption wird durch das EIV 2A (S. 7) positiv bewertet.

det wird dieses maßgeblich durch Hürden bei der Technologieentwicklung und einem scheinbar fehlenden Interesse am stofflichen Nutzungspfad (ebd.). Gleichzeitig kristallisiert sich jedoch zunehmend die Notwendigkeit einer kaskadierenden Nutzung im Sinn einer Kombination der stofflichen und energetischen A2X-Nutzungspfade heraus. Aus dem Bereich der Großunternehmen im Mobilitätssektor zählen gemäß Expertenmeinung hauptsächlich der Flugzeughersteller Boeing und die Fluggesellschaft Lufthansa zu den *change agents*, die den Energieträger Biokerosin auf Basis von Mikroalgen forcieren, in dessen Entwicklung investieren und sich z. B. in dem Forschungsprojekt »Aufwind« engagieren (ebd., S. 19). Die Motivation dieser beiden *change agents* liegt gemäß Expertenmeinung auf dem beschränkten Zukunftspotenzial strombasierter Kraftstoffe begründet (ebd.).<sup>542</sup>

Weitere *change agents* sind in der Presse- und Medienbranche zu finden, die gemäß Expertenmeinung eine große multimediale Macht inne haben, Innovationen sowohl voranzutreiben als auch auszubremsen (EIV 4A, S. 22). Für eine ausführlichere Diskussion der Presse- und Medienakteure wird auf Kapitel 8.5.4 Soziale Dimension der Unsicherheit verwiesen.

Abschließend ist die Politik als *change agent* aufzuführen: Sie ist die treibende Kraft, der Initialzündler für die Veränderungen (EIV 4A, S. 20, 22). Mit den politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen, speziell im Hinblick auf die Setzung ökologisch orientierter Ziele und Grenzwerte (z. B. THG-Minderung differenziert nach Sektoren, Stellenwert und Anteil nachwachsender Rohstoffe im Rahmen der Energiewende) und der damit einhergehenden Marktregulierung, kann sowohl die Bundesregierung als auch die EU die Mikroalgenbiotechnologie und damit das A2X-Konzept vorantreiben (ebd.). *Top-down* kann die Politik gemäß Expertenmeinung einen größeren Druck erzeugen, als dieses *bottom-up* möglich wäre (ebd.). Ableitend aus den Experteninterviews, stehen der Politik zur Initiierung und Begleitung des Systemwandels maßgeblich drei strategische *top-down* orientierte Handlungsansätze zur Verfügung. Der erste strategische *top-down* orientierte Handlungsansatz ist die Vereinfachung von Genehmigungs- und Zulassungsverfahren im Bereich der aquatischen Biomasseerzeugung (EIV 2A, S. 5).<sup>543</sup>

Der zweite strategische *top-down* orientierte Handlungsansatz ist die Schaffung von Investitionsanreizen, nicht nur für die wissenschaftliche und institutionelle FuE, sondern auch produkt- und marktdurchdringungsorientiert z. B. für die Chemieindustrie und die Nahrungsmittelindustrie (EIV 2A, S. 5). Unternehmen tätigen Investitionen unter Unsicherheit, diese sollten sich jedoch im Terrain eines kalkulatorischen Risikos bewegen. Subventionen, wie sie im Bereich erneuerbarer Energien getätigt werden, können gemäß Expertenmeinung A2X-Investitionsanreize für Unternehmen setzen (EIV 2A, S. 5), (EIV 4A, S. 27), da damit die Investitionsunsicherheit stückweit in ein kalkulatorisches Risiko transferiert werden kann. Auf der anderen Seite werden Subventionen als ein negatives Marktregulierungsinstrument betrachtet, welches in den Fällen zur Anwendung kommt, in denen die Produktion zu Marktpreisen nicht möglich ist (EIV 1A, S. 13). Zu hinterfragen sei an dieser Stelle gemäß Expertenmeinung, ob die Entwicklung und die

---

<sup>542</sup> Deutlich wird an dieser Stelle die konträre Experteneinschätzung gegenüber der Sichtweise in der P2G-Fallstudie, in der zwar gleichfalls die Flugbranche als der zentrale *change agent* des Mobilitätsbereichs identifiziert wurde, allerdings vor dem Hintergrund, dass Biokerosin nicht der favorisierte Kraftstoff der Zukunft sein kann und wird (siehe Kapitel 7.2.3).

<sup>543</sup> Dieses kann mit Einschränkung auch für gentechnisch veränderte Organismen (GVO) gelten. Siehe für eine ausführlichere Diskussion der regulatorische GVO-Rahmenbedingungen Kapitel 8.5.1.



Produktion generell sinnvoll und notwendig sei, wenn es sich nicht ohne eine Subventionierung am Markt absetzen würde (ebd., S. 17f.). Über den Systemnutzen spezifischer Produkte heraus argumentiert, können Subventionen mit Einschränkung für Übergangsphasen ein geeignetes Instrument zur Förderung der FuE und der Entwicklung einer tragfähigen Wirtschaftlichkeit sein, insbesondere in Märkten, in denen Pfadabhängigkeiten und konzentrierte Marktmächte herrschen, hohe Anfangsinvestitionen notwendig und die Herstellungsverfahren sehr kostenintensiv sind und gleichzeitig diese Produkte einem höheren Zweck, wie z. B. über die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit dem Schutz des Klimas und der Umwelt, dienen.

Im Rahmen des zweiten strategischen *top-down* orientierten Handlungsansatzes ist zudem die Forschungsförderung zu betrachten. Hier zählen sowohl die politischen Akteure, die die Förderprogramme auflegen zu den *change agents*, als auch diejenigen, die die Förderprogramme abwickeln und damit direkte Fördermittelgeber sind und Marktanreize setzen, wie z. B. der Projektträger Jülich und die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (EIV 4A, S. 22). Die Forschungsförderung sollte stärker anwendungsorientiert, zielgerichtet, großskaliert und an dem *outcome* ausgerichtet angelegt werden (EIV 2A, S. 20), (EIV 3A, S. 14). Als Weiterführung der *outcome*-orientierten Ausrichtung der Forschungsförderung besteht der Verbesserungsvorschlag eines Experten in der leistungs- und ergebnisorientierten Vergabe staatlicher Forschungs- und Projektfördergelder, die zudem an Eigenmittel zu knüpfen sind (EIV 2A, S. 16f.). Einschränkend wird an dieser Stelle gleichzeitig angefügt, dass für den Bereich der Hochrisikoforschung Eigenmittel für Unternehmen auf 10 % zu beschränken seien, da hohe Eigenanteile wiederum zu einer Beschränkung der Forschungsanreize führen würden (ebd., S. 6). Die Knüpfung an Eigenmittel könnte einhergehend mit einer Verjüngung und Internationalisierung der Beurteilenden und einer Objektivierung des Bewertungsschemas für neue Förderanträge, zu einer Reduktion von Pfadabhängigkeiten und etwaiger „Seilschaften“ (ebd., S. 16) auf der Vergabeebene und letztlich zu einer Ausweitung der Chancen führen A2X voranzutreiben (ebd., S. 16f.). Die Gefahren, die mit einer starken *outcome*-orientierten Ausrichtung der Forschungsförderung einhergehen, wird dabei vernachlässigt: Zum einen würde der Grad zwischen Förderung und Subvention schmaler werden und zum anderen bestünde die Gefahr, dass die FuE vermehrt in den Bereichen stattfände, in denen Ergebnisse schnell und sichtbar abgebildet werden könnten und/oder Institutionen reich an Eigenmitteln sind. Dieses könnte sich primär für die strategisch orientierte Grundlagenforschung nachteilig auswirken.

Die gegenwärtig verstärkte Förderung des *screenings* von Mikroalgen im Stadium der Grundlagenforschung wird von den Experten disparat bewertet: Auf der einen Seite wird das *screening* von der *outcome*-Perspektive her als kontraproduktiv betrachtet, da es keinen direkten Beitrag zu der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit leistet (EIV 2A, S. 20). Die Förderprogramme sollten in der Zukunft auf die Verfahrenstechnik sowie Technologien zur Definition der Algenqualität ausgerichtet werden: Wie kann eine qualitativ hochwertige Biomasse aus Mikroalgen produziert werden? (ebd., S. 13) Auf der anderen Seite wird das *screening* von Mikroalgen, trotz der bereits hohen Anzahl wissenschaftlich untersuchter und klassifizierter Algenarten, weiterhin als ein wichtiges Forschungsfeld im Rahmen der Algenbiotechnologie betrachtet (EIV 1A, S. 10). Bedingt durch das große Potenzial, welches sich aus der Differenz zwischen wissenschaftlich untersuchten und der geschätzten Gesamtzahl potenzieller Algengattungen ableitet, ist das fortwährende Interesse des *screenings* nachvollziehbar – maßgeblich vor dem Hinter-

grund der artabhängigen Zusammensetzung der Algen z. B. in Bezug auf den Öl-, Lipid- und Proteingehalt und den damit einhergehenden unterschiedlichen potenziellen artspezifischen Nutzungspfaden.<sup>544</sup> Die stetig fortlaufende Suche nach neuen Algengattungen kann folgerichtig die Chance erhöhen, die Algengattung zu finden, die optimal für einen spezifischen Nutzungspfad ist.

Der dritte strategische *top-down* orientierte Handlungsansatz ist die Steigerung der Kompliziertheit (z. B. von Genehmigungsverfahren) und der Kosten der zu substituierenden Produkte, insbesondere der fossilen Energieträger (EIV 2A, S. 5). Erhöhen sich die Auflagen und Kosten bei der Herstellung ökologisch nicht verträglicher Energieträger und Produkte, könnte dieses im Umkehrschluss zu einer Förderung nachhaltiger Energieträger und Produkte führen (ebd.), da die Auflagen und Kosten einen zentralen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeits- und Konkurrenzverhältnisse entfalten. Dieser Handlungsansatz setzt an dem zweiten Teil Schumpeters schöpferischer Zerstörung an, dem Niedergang des Alten, als die notwendige Voraussetzung für die Schaffung des Neuen – der Innovation.<sup>545</sup>

---

<sup>544</sup> Siehe Kapitel 8.1.

<sup>545</sup> Siehe ausführlich Kapitel 4.1.1.

### 8.3 Transformation und Innovationskaskade

Zwar gehören Algen zu den ältesten Organismen der Erde, ihre Erforschung im Rahmen der Biotechnologie ist jedoch vergleichsweise sehr jung. Als eine sehr interessante Ressource und ein interessantes ökologisches System werden Algen seit den 1970er Jahren erforscht (EIV 1A, S. 9). Ein erstes Aufsehen hat die Algenbiotechnologie bereits in den 1990er Jahren erregt (EIV 4A, S. 27), welches sich in einer künstlichen Begeisterung der energetischen Verwertung der Mikroalgen zur Herstellung von Biodiesel kanalisiert hat (EIV 3A, S. 17). Zentrale Veränderungen in der Algenbiotechnologie vor und nach der Veröffentlichung des Energiekonzeptes 2050 der Bundesregierung im Jahr 2010 (BMWi/BMU 2010) und dem Kernreaktorunfall in Fukushima im Jahr 2011 sehen die Experten nicht (EIV 4A, S. 27), (EIV 2A, S. 19). Wie die anderen Energiewendeakteure haben auch die Akteure der Algenbiotechnologie den Reaktorunfall in Fukushima versucht medial zu nutzen, um die Rolle der Algenbiotechnologie in der Energiewende zu stärken (EIV 4A, S. 27). Die Forschung in der Algenbiotechnologie hat sich in den letzten Jahren maßgeblich in zwei Punkten weiterentwickelt, die bis heute das zentrale Forschungsspektrum bilden: Zum einen wurden Algenkultivierungssysteme (Photobioreaktoren) entwickelt, die zu einer Technologisierung der Kultivierung geführt haben und zum anderen hat die genetische Veränderung der Algenzelle einen hohen Stellenwert in der internationalen Algenbiotechnologieforschung, maßgeblich in den USA, angenommen (EIV 4A, S. 19), (EIV 3A, S. 1). Das größte Veränderungspotenzial für die Zukunft wird neben der (genetischen) Optimierung der Algenzelle in der Effizienzsteigerung der *downstream*-Prozesse<sup>546</sup> (EIV 4A, S. 19) und der Erzielung von Skaleneffekten gesehen (EIV 3A, S. 17).

Die Einordnung der Algenbiotechnologie in den Innovationsprozess bedarf einer differenzierten Betrachtung. Die biologischen und physiologischen Prozesse sind gemäß Expertenmeinung gut erforscht (EIV 4A, S. 17), gleichzeitig beschäftigt sich ein Teil der wissenschaftlichen Forschung weiterhin mit dem Algen-*screening* (u. a. im Hinblick auf die Zusammensetzungen und die Wachstumsraten), welches auf die hohe Trefferquote (1:20 bis 1:50) zurückgeführt werden kann – verglichen mit der *screening*-Quote (1:5.000)<sup>547</sup> wird das zukünftige Potenzial sichtbar (EIV 1A, S. 9), (EIV 3A, S. 1). Ein Grund für die stetige Suche nach neuen Algenarten ist, dass die Wahl der richtigen Spezies vom Nutzungspfad abhängt (EIV 4A, S. 11). Daher versucht die Wissenschaft weiterhin, die beste bzw. verglichen mit dem Stand der Forschung, die bessere Algenart zu finden, die den größtmöglichen Nutzen für den jeweiligen Nutzungspfad bieten kann, um die „Kultivierung weiter zu optimieren, denn hier entstehen die hohen Kosten“ (FNR 2014, S. 53).

Das Forschungsfeld der Manipulation der Algenzelle mit dem Ziel der Steigerung der Produktivität und der Lipidanteile befindet sich in Deutschland und auch in Europa noch im Anfangsstadium (EIV 4A, S. 17), (EIV 3A, S. 1). Dieses verdeutlicht auch der geringe Stellenwert bei den Forschungs- bzw. Projektförderanträgen, die z. B. bei der FNR eingehen (EIV 4A, S. 17). In Deutschland ist die genetische Veränderung von Algenzellen zwar nicht verboten, aber unterliegt gemäß dem Gesetz zur Regelung der Gentechnik

---

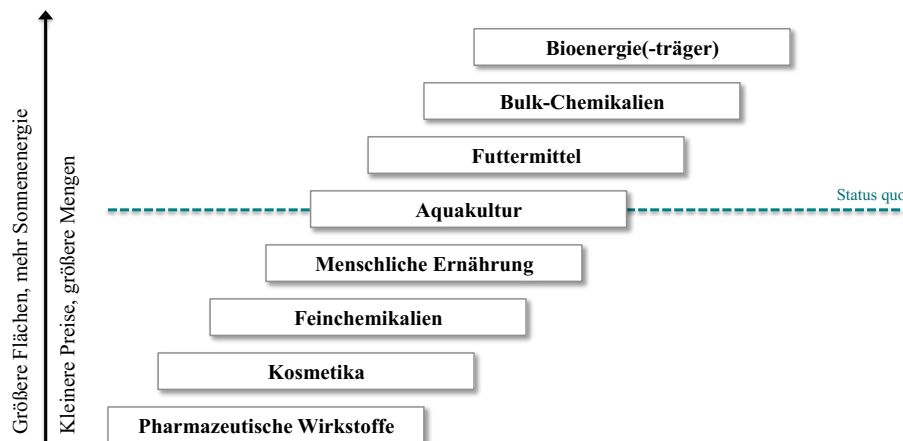
<sup>546</sup> Siehe Abbildung 55: Prozessphasen Mikroalgenkultivierung in Kapitel 8.1 Einführung.

<sup>547</sup> Hierbei handelt es sich um eine von dem Experten beispielhaft gewählte, algenartsspezifische *screening*-Quote, die zwischen den Algengattungen variieren kann.

(GenTG) strengen Sicherheits- und Genhemigungsbestimmungen.<sup>548</sup> Solange etwaige Gärreste bei der Biogasherstellung mit genmanipulierten Mikroalgen wieder zu der Landbewirtschaftung eingesetzt werden könnten, besteht die Gefahr, dass die genetisch veränderten Organismen (GVO) über terrestrische Pflanzen in die Nahrungskette gelangen (EIV 4A, S. 17). Deren Auswirkungen auf die menschliche und tierische Gesundheit, aber auch für die Flora und Fauna, sind nicht ganzheitlich abzuschätzen. Die erste Voraussetzung für die Nutzung genmanipulierter Mikroalgen ist demzufolge die Verwendung eines geschlossenen Kreislaufsystems bei der Algenbiomassegewinnung, welches derzeit noch nicht wirtschaftlich darstellbar ist (EIV 4A, S. 17).<sup>549</sup>

In der Algenbiotechnologie kann grundsätzlich zwischen einem *high-value*<sup>550</sup> und *low-cost* Produktspektrum unterschieden werden.<sup>551</sup> Zwischen diesen beiden Polen befindet sich der Bereich der *interim-value* Produkte<sup>552</sup>, die weder als ein Hochwertprodukt zu betrachten noch zu sehr geringen Preisen darstellbar sind. Diese *interim-value* Produkte „sind die Technologietreiber“ (EIV 3A, S. 3). Als Nahrungs(-ergänzungs-)mittel kann ihnen bereits ein großer wirtschaftlicher Stellenwert zugesprochen werden – leisten sie auf Grund ihres hohen Nährstoffwertes einen großen Beitrag zur Ernährung (Eisenbrand/Schreier 2006, S. 21). Als Futtermittel eignen sich Algen maßgeblich wegen ihrer hohen Anteile an Proteinen, Vitaminen und Spurenelementen (ebd.).<sup>553</sup> Die nachfolgende Abbildung zeigt das Produktspektrum der Algenbiotechnologie als ein „Trittstein-Modell“ (DECHEMA 2016, S. 17).

Abbildung 58: Trittstein-Modell aquatischer Biomasse



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an EIV 3A (S. 2f.), DECHEMA (2016, S. 17), Biosolarzentrum (o. J.).

<sup>548</sup> Siehe für eine ausführliche Betrachtung des GenTG Kapitel 8.5.1 Politische und regulatorische Dimension

<sup>549</sup> Siehe für eine Darstellung bestehender regulatorischer Rahmenbedingungen zur Verwendung genmanipulierter Algen Kapitel 8.5.1.

<sup>550</sup> Der *high-value* Bereich wird z. T. auch als *high-tech* Bereich bezeichnet (Griehl et al. 2009, S. 4).

<sup>551</sup> Diese zweigeteilte Differenzierung ist u. a. auch bei Griehl et al. (2009, S. 4) und EIV 3A (S. 3) zu finden.

<sup>552</sup> Der Begriff der *interim-value* Produkte wird an dieser Stelle erstmalig in die wissenschaftliche Diskussion eingeführt, um den Zwischenbereich der *high-value* und *low-cost* Produkte semantisch abbilden zu können. Er leitet sich aus dem im EIV 3A (S. 3) genutzten Begriff der „Mittelwelten“ ab.

<sup>553</sup> Siehe für einen Produktions- und Absatzkostenvergleich einzelner Endprodukte die Tabelle 38 in Kapitel 8.5.2.1.

Aus dem Status quo des Trittstein-Modells wird die Etablierung des *high-value* Produktbereichs der vergangenen Jahre deutlich – hier existieren bereits Geschäftsmodelle: So betrug z. B. der Umsatz von Astaxanthin (Produktbereich der Feinchemikalien) im Jahr 2009 insgesamt 25 Mio. US\$ (Sastre/Posten 2010, S. 1931). Der *interim-value* Produktbereich spiegelt den aktuellen Status quo des Innovationsprozesses wider: Gegenwärtig befindet sich die Algenbiotechnologie in der Stufe der Aquakultur<sup>554</sup> mit einer tendenziellen Entwicklung zu den Bulkchemikalien. Der letzte, in der Zukunft liegende, Bereich ist der *low-cost* Produktbereich der die energetischen A2X-Nutzungspfade fokussiert. Spätestens in diesem Terrain ist eine Energieneutralität über den gesamten Produktlebenszyklus erforderlich.

Das Trittstein-Modell charakterisiert den zeitlichen Verlauf der Technologieentwicklung, den potenziell sinkenden Preisverlauf pro kg Algenbiomasse (EIV 3A, S. 3) und den Anstieg der potenziellen Produktionsmenge. Daraus abgeleitet kann festgehalten werden, dass der Innovationsprozess hin zu einer energetischen Nutzung der Algenbiotechnologie (*low-cost* Produkte), den vorausgegangenen Pfad der stofflichen Nutzung und damit die Anwendungsfelder des *high-value* und *interim-value* Produktbereichs durchlaufen muss, um technologische Lerneffekte zu erzielen. Über die Technologieentwicklung sind Lerneffekte maßgeblich bei den Photobioreaktoren zu erreichen, um letztlich Skaleneffekte zu generieren, die sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirken. Die Verbindung zwischen dem potenziell sinkenden Preisverlauf pro kg Algenbiomasse und dem gleichzeitigen Anstieg der potenziellen Produktionsmenge deutet auf eine Produktivitäts- und Effizienzsteigerung der Algenbiotechnologie während des Verlaufs von der stofflichen zur energetischen Nutzung hin.

Im Hinblick auf den bevorstehenden Innovationsprozess und die zukünftigen Veränderungen und Entwicklungen kann aus den geführten Experteninterviews und dem Trittstein-Modell ein kaskadierender Innovationsprozess für die energetischen Nutzungspfade abgeleitet werden, der aus den beiden folgenden Stufen besteht:

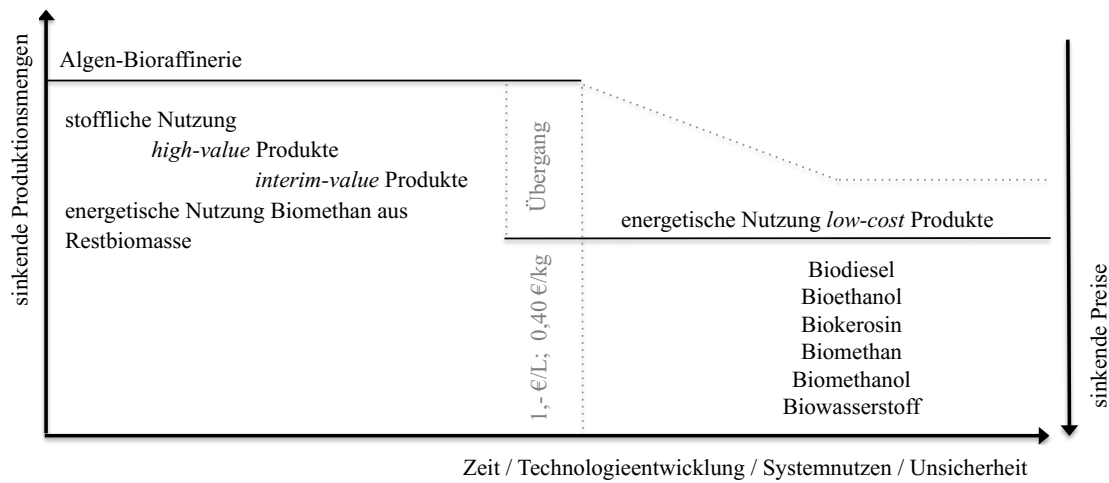
- A. Algen-Bioraffinerie
  - Stoffliche Nutzung: *high-value* und *interim-value* Produkte
  - Energetische Nutzung: Biomethan aus Restbiomasse
- B. Energetische Nutzung: *low-cost* Produkte
  - Biodiesel
  - Bioethanol
  - Biokerosin
  - Biomethan
  - Biomethanol
  - Biowasserstoff.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die aus dem A2X-Produktspektrum und dem Trittstein-Modell abgeleitete A2X-Innovationskaskade in Form einer vereinfachten schematischen Darstellung.

---

<sup>554</sup> Für eine Vertiefung zur Mikroalgenutzung in der Aquakultur wird exemplarisch auf Öko-Institut (2015) verwiesen.

Abbildung 59: Innovationskaskade A2X

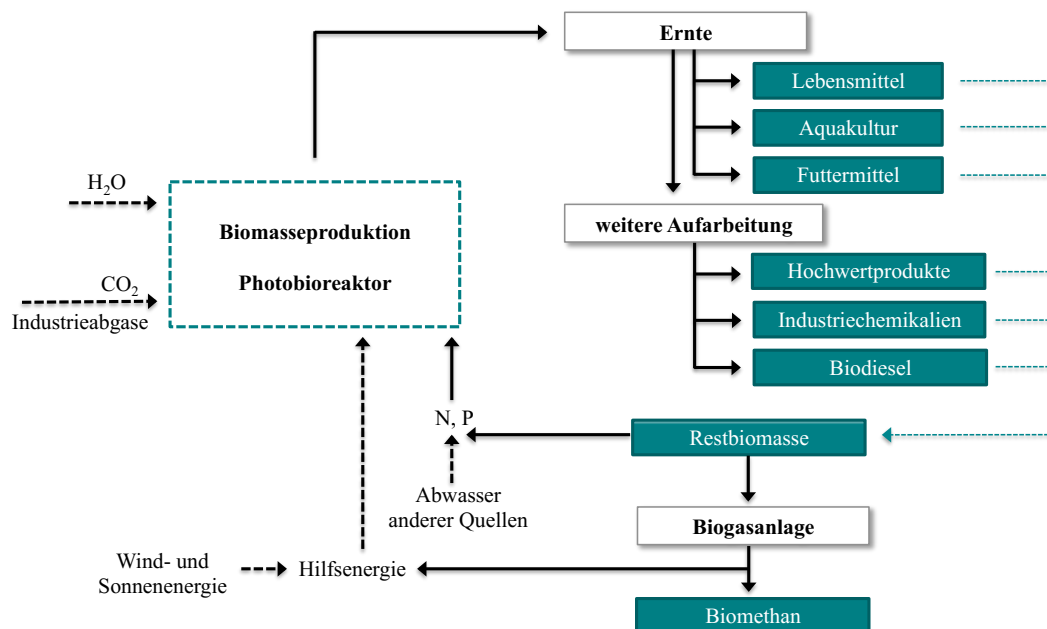


Quelle: Eigene Darstellung.

### 8.3.1 A2X-Innovationskaskade Stufe 1: Algen-Bioraffinerie

Wie bereits dargestellt, bestehen für die aquatische Biomassenutzung aus Mikroalgen grundsätzlich die zwei zentralen Pfade der stofflichen und energetischen Nutzung. Als Bindeglied zwischen den stofflichen und energetischen Nutzungspfaden steht die Algen-Bioraffinerie<sup>555</sup>, in der beide Nutzungspfade in der dargestellten Reihenfolge miteinander verbunden sind.

Abbildung 60: Algen-Bioraffinerie Konzept



Quelle: Eigene, modifizierte Darstellung in Anlehnung an DECHEMA (2016, S. 14).

<sup>555</sup> Das Konzept der Algen-Bioraffinerie basiert auf dem Konzept der klassischen Bioraffinerie, welches wiederum auf dem Grundkonzept der Erdölraffinerie aufbaut (BMBF 2012, S. 35), (Christi 2007, S. 302). Bioraffinerien werden über die zu erzeugende und zu verarbeitende Biomasse klassifiziert, wie z. B. Stärke-Bioraffinerien (auf Basis von Getreide), Pflanzenöl-Bioraffinerien (auf Basis von Ölsamen), grüne Bioraffinerien (auf Basis von Gras und Silage) (BMBF 2012, S. 35f.), (BMELV et al. 2012, S. 23). Für eine ausführliche Darstellung der einzelnen Bioraffinerien wird exemplarisch auf BMELV et al. (2012) verwiesen.

Den Stellenwert der Algen-Bioraffinerie pointiert die DECHEMA (2016, S. 15): Sie kann „ein Schlüssel zu einer international wettbewerbsfähigen, umwelt- und sozialverträglichen (Bio-)Wirtschaft, ganz im Sinn der (...) *Green Economy* sein“ (ebd., Hervorhebungen der Verfasserin). In einer Algen-Bioraffinerie besteht die erste Wertschöpfungsstufe aus der stofflichen Verwertung aquatischer Biomasse (A2P), bei der z. B. die mehrfach gesättigten Fettsäuren, Vitamine und Farbstoffe extrahiert werden. In der zweiten Wertschöpfungsstufe folgt eine energetische Nutzung (A2E), bei der die Restbiomasse für energetische Zwecke verwendet wird. (EIV 4A, S. 2-4) Einschränkend ist festzustellen, dass es sich hier speziell um die Herstellung von Biomethan über die Vergasung der Restbiomasse in einer Biogasanlage handelt. „Durch die Verwendung aller bei der Produktion anfallenden Rückstände entstehen in der Algenzucht keinerlei Abfälle und ein geschlossener Produktionskreislauf wird erreicht. Eine Algen-Kreislaufwirtschaft ist entstanden.“ (Schneider/Gätz 2012, S. 59) Ferner können in einer Algen-Bioraffinerie Verbundeffekte (*economies of scope*) erzielt werden. Die aufeinanderfolgenden Nutzungspfade sind im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage sinnvoll, weil die rein energetische Nutzung aquatischer Biomasse gemäß Expertenmeinung gegenwärtig noch nicht wirtschaftlich ist (EIV 4A, S. 2). Da die Algenkultivierung mit hohen Investitions- und Betriebskosten verbunden ist, kann derzeit nur über die stoffliche Verwertung ein wirtschaftlicher Ertrag erzielt werden (ebd.). Dieses bestätigt auch die DECHEMA (2016, S. 2):

„War damals noch die reine energetische Nutzung das zentrale Anliegen, ist inzwischen ein Bewusstsein gewachsen, dass die bereitgestellte chemisch-funktionelle Wertigkeit von Biomasse durch ausschließliche Konversion zu Energie nicht angemessen eingesetzt wird. Inzwischen wird die Bereitstellung von (Hoch-)Wertprodukten als – mit Blick auf Zeit und Wirtschaftlichkeit – schneller erreichbares Ziel weitgehend anerkannt.“

Zwar konstatieren Schneider/Gätz (2012, S. 59), dass die Biomethanherstellung mit dem aufeinanderfolgenden Wertschöpfungsstufen aus stofflicher und energetischer Nutzung bereits heute wirtschaftlich tragfähig ist, die DECHEMA (2016, S. 15) stellt jedoch fest, dass die Errichtung und der Betrieb weiterer Algen-Bioraffinerie Demonstrationsanlagen notwendig ist, „um belastbare Erkenntnisse über die Nachhaltigkeit solcher industriellen Wertschöpfungsketten zu gewinnen“. Daraus kann abgeleitet werden, dass das Algen-Bioraffinerie Konzept im Innovationsprozess zwischen den Phasen der Leistungs-, Prozess- und Geschäftsmodellentwicklung auf der einen sowie der Produktions- und Markteinführung auf der anderen Seite liegt. Über die Schnittstellen der Algenkultivierungssysteme im A2X-Konzept könnte die Weiterentwicklung des Algen-Bioraffinerie Konzeptes einhergehend mit der Marktausbreitung und -bewährung zudem positive Effekte auf die energetischen Nutzungspfade im Speziellen entfalten.

### 8.3.2 A2X-Innovationskaskade Stufe 2: Energetische Nutzungspfade

Die Einordnung der Mikroalgenbiotechnologie entlang des kaskadierenden Innovationsprozesses muss den obigen Ausführungen entsprechend Nutzungspfadspezifisch erfolgen. Während die stoffliche Nutzung aquatischer Biomasse den Markt mit den *high-value* Produkten bereits durchdrungen hat und tragfähige Geschäftsmodelle eine Umsetzung finden,<sup>556</sup> ist der *interim-value* Produktbereich der stofflichen Nutzung am Rande des Markteintrittes. Die energetischen Nutzungspfade des *low-cost* Produktbereichs stehen hingegen relativ weit am Anfang des Innovationsprozesses: Die Technologieentwicklung in den energetischen Nutzungspfaden ist aus dem Stadium der Grundlagenforschung und dem Labormaßstab herausgetreten (EIV 3A, S. 11),<sup>557</sup> es existieren bereits zahlreiche bioenergetischer-spezifische Demonstrationsanlagen. Bedingt durch die negative Energiebilanz und die vergleichsweise hohen Investitionskosten für den Bau von Photobioreaktoren, die mit negativen Auswirkungen auf die Gesamtbilanz einhergehen,<sup>558</sup> wird die Überleitung in die nächsten Stufen des Innovationsprozesses (großskalierte Demonstrationsanlagen, Produktions- und Markteinführung) zurzeit sowohl aus ökologischen als auch aus ökonomischen Gründen für nicht sinnvoll erachtet. Zudem besteht bei den Photobioreaktoren ein technologischer Weiterentwicklungsbedarf, da sich noch kein Photobioreaktorsystem etablieren konnte.<sup>559</sup> Diese Aspekte skizzieren die zentralen Herausforderungen zukünftiger FuE-Aktivitäten und begründen, dass die aus Mikroalgen gewonnenen Bioenergetischer gegenwärtig noch nicht mit ihren konventionellen Pendant konkurrieren können und im Vergleich zu anderen Systeminnovationen, wie z. B. P2G negativ bewertet werden<sup>560</sup>. Bevor vertiefend auf die über die Unsicherheit und Hemmnisse charakterisierten Herausforderungen eingegangen wird, werden im Folgenden zunächst die Chancen, Potenziale und Treiber dargestellt.

---

<sup>556</sup> Dieses Vorschreiten der aquatischen Biomasse im Innovationsprozesses konstatiert auch Leya (2013, S. 1) im Rahmen des Tagungsberichts zum 6. Bundesalgenstammtisch: „Waren Mikroalgen anfänglich noch zentrales Objekt der wissenschaftlichen Grundlagenforschung, so sind sie nun zum industriellen Rohstofflieferanten der Grünen Biotechnologie avanciert.“

<sup>557</sup> Dieses bestätigt auch die FNR (2014, S. 5): „Im Vergleich zu den markteingeführten Biokraftstoffen befinden sich ihre Herstellungsverfahren im frühen Stadium der technischen Entwicklung bis hin zu Pilot- und Demonstrationsanlagen“.

<sup>558</sup> Siehe zu vertiefenden Ausführungen der negativen Energie- und Gesamtbilanz Kapitel 8.5.2.3.

<sup>559</sup> An dieser Stelle ist auf den Inter-Wettbewerb der Algenkultivierungssysteme zu verweisen, der in der technologischen Dimension der Unsicherheit (Kapitel 8.5.3) vertieft wird. Mitunter ist das dafür ein Grund, dass der Markt intransparent ist. Bei den Systemherstellerangaben sind die Messmethoden teilweise nicht transparent, so dass keine klare und vergleichbaren Angaben zu den Herstellungsbedingungen und Messmethoden existieren. Teilweise handelt es sich z. B. bei den Produktionsmengen, um hochskalierte Laborwerte. Ob das Herstellungsverfahren und im engeren Sinn der Photobioreaktor tatsächlich in der Lage ist, diese Mengen zu produzieren, bleibt fragwürdig. (EIV 4A, S. 13)

<sup>560</sup> Siehe für die A2X-Konkurrenzverhältnisse, auch im Vergleich zu P2G, Kapitel 8.2.1.



## 8.4 Chancen, Potenziale und Treiber

In Anlehnung an die Begriffsdefinition der Unsicherheit<sup>561</sup> wird eine Chance als eine positive Zielverfehlung definiert. Im Gegensatz dazu steht der Begriff des Schadens, der als negative Zielverfehlung definiert ist. Der Fokus dieses Unterkapitels ist die Analyse der treibenden Faktoren die Potenziale, d. h. die bereits verfügbaren Möglichkeiten, in eine Chance überführen können.

### 8.4.1 Potenzialvergleich nachwachsender Rohstoffe

Mit dem Energiekonzept der Bundesregierung wird das Ziel angestrebt, bis zum Jahr 2050 den Primärenergieverbrauch um 50 % zu senken (BMWi/BMU 2010, S. 5). Die Szenarien zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts gehen „davon aus, dass (...) [die] Bioenergie dann in der Lage sein könnte, über ein Viertel des verbleibenden Bedarfs, entsprechend 1.915 PJ, zu stellen“ (FNR 2015a).<sup>562</sup> Die nachfolgende Tabelle zeigt den steigenden Anbau von Energiepflanzen in Deutschland.

**Tabelle 34: Anbau nachwachsender Rohstoffe (Energiepflanzen) in Deutschland**

Rohstoff	2014	2015*	2016**
Rapsöl für Biodiesel/Pflanzenöl (ha)	798.500	800.000	760.000
Pflanzen für Bioethanol (ha)	188.000	200.000	200.000
Pflanzen für Biogas (ha)	1.353.500	01.04.00	1.450.000
Pflanzen für Festbrennstoffe (ha)	10.500	11.000	11.000
<b>Summe Energiepflanzen (ha)</b>	<b>2.350.500</b>	<b>2.411.000</b>	<b>2.421.000</b>
Anteil am Primärenergieverbrauch (PJ)	247	253***	254***

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an FNR (2017), FNR (2015a).

\* vorläufige Werte

\*\*geschätzte Werte

\*\*\* eigene Hochrechnung

Wie die Tabelle zeigt, liegt der Anteil nachwachsender Rohstoffe (Energiepflanzen) am Primärenergieverbrauch (254 PJ im Jahr 2016) gemessen an dem Szenariowert von 1.915 PJ für das Jahr 2050 bei rd. 13 %. Um die heimischen Biomassepotenziale besser auszuschöpfen, forciert die Bundesregierung im Energiekonzept 2050 (BMWi/BMU 2010, S. 10) die „verstärkte Verwendung organischer Rest- und Abfallstoffe“. Eine Studie des FNR (2015b, S. 11f.) kommt zu dem Ergebnis, dass das ungenutzte technische Biomassepotenzial 448 PJ beträgt. Zusammen mit den bereits in der Nutzung befindlichen Rest- und Abfallstoffen (541 PJ), den Importen (66 PJ), dem Energieholz aus dem Wald (131 PJ) und dem Anbau der Energiepflanzen (247 PJ) besteht ein zusätzlicher Biomassebedarf i. H. v. 482 PJ im Jahr 2050 (FNR 2015c). Dieser zusätzliche Bedarf spiegelt das theoretische Potenzial aquatischer Biomasse in den energetischen Nutzungspfaden wider. Gleichwohl ist einschränkend anzumerken, dass der FNR eine Reihe von Lösungsoptionen vorschlägt (FNR 2015c), darunter auch die aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten kritisch zu betrachtende Importsteigerung nachwachsender Rohstoffe, bisher hingegen nicht die aquatische Biomasse. Mikroalgen, als nachwachsende Rohstoffe der dritten Generation, verfügen im Vergleich zu terrestrischen Pflanzen, die den

<sup>561</sup> Siehe Kapitel 4.3.1.2.

<sup>562</sup> Vgl. auch Prognos/EWI/GWS (2014, S. 237).

Ausgangspunkt für die Herstellung von Biokraftstoffen der ersten und zweiten Generation bilden, über zahlreiche ökologische, ökonomische und soziale Vorteile, wie die nachfolgende Diskussion darlegt.<sup>563</sup>

Mikroalgen können kontinuierlich und damit ganzjährig produziert werden, so dass eine Ertragssteigerung über den Faktor Zeit erzielt werden kann (EIV 4A, S. 3), (Saifullah/Karim/Ahmed-Yazid 2014, S. 333), (Zaimes/Khanna 2013, S. 1), (Pulz 2009, S. 89), (Griehl et al. 2009, S. 3). Mit einem „Ölgehalt [von] bis zu 50 % der Biotrockenmasse“ (DECHEMA 2016, S. 13) übersteigt dieser den Wert terrestrischer Pflanzen (ebd.). Mikroalgen weisen eine höhere Flächenproduktivität auf und können auch auf landwirtschaftlich ungeeigneten Flächen (Brachland, versiegelte Flächen, Dächer, (semi-)aride Klimazonen) kultiviert werden (EIV 4A, S. 3), (Lewandowski/Wilhelm 2016, S. 79), (Saifullah/Karim/Ahmed-Yazid 2014, S. 330), (Zaimes/Khanna 2013, S. 1), (Schneider/Gäth 2012, S. 57), (Griehl et al. 2009, S. 3), (Posten et al. 2008, S. 1371). Insbesondere wenn die Algen in städtischen Räumen (z. B. in einer Bioreaktorfassade) kultiviert werden, besteht keine Flächennutzungskonkurrenz (EIV 2A, S. 4). Kritisch hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang jedoch, dass in Abhängigkeit des Kultivierungssystems (speziell bei *open ponds*) trotz der hohen Produktivität sehr große Flächen notwendig sind (EIV 3A, S. 7).

Trotzdem kann der Flächenertrag bedingt durch das schnelle Mikroalgenwachstum gegenüber terrestrischen Pflanzen um das drei- bis fünffache gesteigert werden (Schneider/Gäth 2012, S. 55), (Posten et al. 2008, S. 137). Die FNR (2014, S. 53) fügt sogar an, dass der theoretisch mögliche Flächenertrag aquatischer Biomasse pro Flächeneinheit 30-fach höher sein kann als der derzeitige Rapsertag. „Mit dieser Flächeneffizienz sind ideale Voraussetzungen gegeben, Algen als erneuerbare Biomasseenergieträger zu nutzen.“ (Schneider/Gäth 2012, S. 55)

Mikroalgen stehen in keiner Konkurrenz zur Bodennutzung und Nahrungsmittelproduktion, so dass eine »Tank-Teller-Diskussion« für die Mikroalgenproduktion obsolet ist (EIV 4A, S. 3), (Schneider/Gäth 2012, S. 56f.). Ferner kann die Produktion von Mikroalgen sogar dazu beitragen, die »Tank-Teller-Diskussion« nachwachsender Rohstoffe der ersten und zweiten Generation zu entschärfen, indem der großflächige Anbau von terrestrischen Energiepflanzen verdrängt wird (Zaimes/Khanna 2013, S. 1).

Da Mikroalgen frei von Zellulose sind, weisen sie gegenüber terrestrischen Pflanzen eine höhere Photosynthese und damit einen höheren Wirkungsgrad (*Photo Conversion Efficiency* (PCE)<sup>564</sup>) auf. Über die Zellulosefreiheit generiert die Mikroalgenkultivierung auch keine Abfallbiomasse (EIV 3A, S. 10), (EIV 4A, S. 3f.), (Zaimes/Khanna 2013, S. 1), (Griehl et al. 2009, S. 3).

„Anstelle von Lignocellulose produzieren sie z. B. vermehrt Kohlenhydrate, Fettsäuren und Proteine, die einfacher zu chemischen Energieträgern zu veredeln sind als Lignocellulose (z. B. Fermentation zu Alkoholen oder Biogas, Hydrierung zu Kohlenwasserstoffen).“ (Franz/Posten/Schaub 2012, S. 1182)

<sup>563</sup> Da sich die Vorteile aquatischer Biomasse gegenüber terrestrischen Pflanzen, insbesondere für die Produktion von Biokraftstoffen, in der wissenschaftlichen Literatur argumentativ sehr gleichen, sei an dieser Stelle ferner exemplarisch auf Wesselak et al. (2017, S. 612f.), Abishek/Patel/Rajan (2014), Zaimes/Khanna (2013), Hannan et al. (2010), Chisti (2003) verwiesen, welche die in diesem Unterkapitel dargestellten Vorteile teilen.

<sup>564</sup> Der PCE ist der „Ausnutzungsgrad der Lichtenergie“ (Posten/Wilhelm 2016, S. 262). Der PCE wird auch zur Leistungsbewertung von Mikroalgenkultivierungssystemen verwendet. Siehe ausführlich Kapitel 8.5.3.

„Algen nutzen CO<sub>2</sub> als Rohstoff und können damit als CO<sub>2</sub>-Senke einen Beitrag zum Klimaschutz liefern.“ (Wesselak 2017, S. 612) Grundsätzlich ist für die energetischen Nutzungspfade auch Rauchgas aus Kraftwerken oder industriellen Prozessen eine mögliche CO<sub>2</sub>-Quelle, welches darüber hinaus eine umweltfreundliche CCS-Alternative darstellen würde (Saifullah/Karim/Ahmed-Yazid 2014, S. 330), (Zaimes/Khanna 2013, S. 1), (Leya 2013, S. 1), (Razzak et al. 2013, S. 624). Zudem können Mikroalgen neben einem CO<sub>2</sub>-Recycling auch „Abwärme von Generatoren und Industrieanlagen“ (Schneider/Gätz 2012, S. 57) nutzen.

Technologisch betrachtet, besteht die Möglichkeit Rauchgas aus der Zementindustrie für die Algenkultivierung zu verwenden und damit zu recyceln, ohne dabei auf hochwertige Filter oder Rauchgas-Zwischenstufen<sup>565</sup> angewiesen zu sein, wie in einem Forschungsprojekt der Polysius AG (heute Teil der ThyssenKrupp Resource Technologies GmbH) und der SSC Strategic Science Consult GmbH gezeigt wurde (ebd., S. 10), (ThyssenKrupp 2013, o. S.). Zu diesem Verfahren wurde unter der Veröffentlichungsnummer DE102009019206 B4 ein Patent beim Deutschen Patent- und Markenamt erteilt (Frie/Kerner 2012).<sup>566</sup> Handelt es sich um kontaminiertes Rauchgas, das beispielsweise Schwermetallanteile oder giftige organische Verbindungen enthält, ist bedingt durch die Algenkontamination eine *high-value* Verwertung in den stofflichen Nutzungspfaden ausgeschlossen (EIV 2A, S. 10). Die CO<sub>2</sub>-Bereitstellung, z. B. über die CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus einem Chemie- oder Kraftwerk, ist gemäß Expertenmeinung zwar technologisch möglich, wird aber auf Grund der Mengenrelation kritisch betrachtet (EIV 3A, S. 7), (EIV 2A, S. 11).<sup>567</sup> Abgeleitet aus den Forschungsergebnissen des BIQ-Algenhaus eignet sich im urbanen Raum ein Blockheizkraftwerk als eine saubere CO<sub>2</sub>-Quelle (EIV 2A, S. 11). Im Fall der CO<sub>2</sub>-Nutzung aus einer Biogasanlage, könnte unter der Bedingung der Verbrennung aquatischer Restbiomasse, eine CO<sub>2</sub>-Kreislaufnutzung erzielt werden (ebd., S. 10).

Abschließend ist beim Potenzialvergleich mit den terrestrischen Energiepflanzen hervorzuheben, dass mit der Algenkultivierung auch eine Ressourcenschonung verbunden ist: Zum einen werden fossile Ressourcen geschont, da im Gegensatz zu nachwachsenden Rohstoffen der ersten und zweiten Generation, auf die Verwendung fossiler Energieträger z. B. bei der Düngung, dem Pflanzenschutz und der Bodenbearbeitung verzichtet werden kann (Schneider/Gätz 2012, S. 56). Zum anderen weisen Mikroalgen „einen geringeren Wasserverbrauch als terrestrische Pflanzen“ (EIV 4A, S. 5) auf. Dieses gilt im Speziellen für geschlossene Bioreaktorsysteme, welches überdies den Vorteil bestärkt, dass Mikroalgen mit Einschränkung auch in (semi-)ariden Klimaregionen kultiviert werden können (Lewandowski/Wilhelm 2016, S. 79), (Posten et al. 2008, S. 1371).<sup>568</sup> Je nach Algengat-

<sup>565</sup> Für eine Vertiefende Ausführung zum Reinigungsverfahren von Rauchgasen mit Zwischenstufen wird exemplarisch auf Curtius (1986) verwiesen.

<sup>566</sup> An dieser Stelle ist auch ein Projekt von Vattenfall und GMP zu nennen, welches ein Mikroalgenkultivierungssystem als CO<sub>2</sub>-Senke für Rauchgas aus einem Braunkohlekraftwerk erforscht hat. Die Anlage wurde im Juli 2010 in Betrieb genommen worden. Im November 2011 lief das Projekt aus. (Vattenfall 2010a, 2010b)

<sup>567</sup> Siehe für eine Vertiefung zur Mengenrelation Kapitel 8.5.2.2.

<sup>568</sup> Dieses steht im Einklang mit der Möglichkeit und Notwendigkeit über die stoffliche Nutzung aquatischer Biomasse auch Nahrungs(-ergänzungs-)mittel zu produzieren (EIV 3A, S. 8). „Die Nutzung dürre- und hitzeresistenter Nutzpflanzen in ariden Gebieten der Erde wird in Zukunft immer wichtiger werden.“ (Breckle/Küppers 2011, S. 527) „Die steigende Zahl der Menschen, vor allem in Regionen mit Wasserknappheit und mit langen sommerlichen Hitzeperioden, stellt neue Anforderungen an die Landwirtschaft, d. h. an neue Nutzpflanzensorten und verbesserte Anbautechniken.“ (ebd., S. 517) Siehe für eine vertiefende Diskussion zur Standortwahl Kapitel 8.5.2.4.

tung kann die Wasserquelle aus Süß-, Brack- oder Salzwasser, aber auch aus Abwasser bestehen (EIV 3A, S. 19f.), (Saifullah/Karim/Ahmed-Yazid 2014, S. 330), (Razzak et al. 2013, S. 624).

Bei geschlossenen Bioreaktoren besteht zudem der Vorteil, dass keine Nährstoffe in den Boden und damit unter Umständen ins Grundwasser gelangen (EIV 3A, S. 20). Diese Vorteilhaftigkeit kann am folgenden Beispiel illustriert werden: Ein gemäß Expertenmeinung häufig vernachlässigter Aspekt bei der Bewertung von Biokraftstoffen (z. B. Biodiesel) aus terrestrischen Pflanzen (z. B. Raps) ist, dass nur ein Teil des Düngers (z. B. Nitrat, Stickstoff) von der Pflanze aufgenommen wird (EIV 1A, S. 23), (Cruzen et al. 2008).<sup>569</sup> Die restliche Menge des Düngers wird „von Bodenbakterien zu N<sub>2</sub>O umgewandelt“ (EIV 1A, S. 23), welches verglichen mit dem Treibhausgas CO<sub>2</sub> ein 298-faches GWP (*Global Warming Potential*) aufweist (IPCC 2007, S. 212).

Mikroalgen sind insbesondere durch ihre hohe Effizienz für die biotechnologische Nutzung interessant (Pulz 2009, S. 89). Sie besitzen Öle mit hohem Lipidgehalt und eine hohe Biomasseproduktivität (Saifullah/Karim/Ahmed-Yazid 2014, S. 330). Mit entsprechenden Kultivierungssystemen kann diese Effizienz so genutzt werden, dass dieses zu einer Überlegenheit gegenüber der Biomasse aus saisonal abhängigen Pflanzen führen kann (Pulz 2009, S. 89). Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Ertragsvergleich zwischen Mikroalgen und nachwachsenden Rohstoffen der ersten und zweiten Generation.

**Tabelle 35: Ertragsvergleich nachwachsender Rohstoffe**

	Ertrag in Tonnen pro ha/a			Ertrag in Liter pro ha/a	Wasser- verbrauch m <sup>3</sup> /GJ	Flächen- verbrauch m <sup>2</sup> /GJ	Benötigte Landfläche Mio. ha*
	TS	Protein	Öl	Biokraftstoff			
Mais	7 - 18	0,8 - 2	~	172	k. A.	k. A.	1.540
Sojabohnen	6 - 7	1,8 - 2,5	~	446	383	689	594
Raps	3 - 4	0,6 - 1,3	~	1.590	383	258	k. A.
Palmöl	2 - 3	0,2	~	5.950	75	52	45
Mikroalgen	30 - 550	15 - 70	46,9 - 140,7	58.700 - 136.900	< 379	2 - 13	1,1 - 2,5

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Saifullah/Karim/Ahmed-Yazid (2014, S. 33), Griehl et al. (2009, S. 4), Christi (2007, S. 296), FNR (o. J.c).

TS: Trockensubstanz

\*Zur Deckung von 50 % des US-Kraftstoffbedarfs

<sup>569</sup> Anzumerken sei an dieser Stelle zusammenfassend, dass die Höhe von N<sub>2</sub>O-Emissionen von Einflussfaktoren landwirtschaftlicher Managementmaßnahmen wie z. B. der Bodenbearbeitungsmaßnahmen, aber auch der Fruchtfolge, der Einarbeitung von Ernterückständen sowie der Art des Düngers und dessen Ausbringungsverfahren abhängt (Syska 2009 S. 15-17). „Die stärksten N<sub>2</sub>O Emissionen sind allerdings in Folge von Stickstoffdüngungen zu beobachten“ (ebd., S. 17). Für eine ausführliche Diskussion zu N<sub>2</sub>O-Emissionen in landwirtschaftlich genutzten Flächen wird exemplarisch auf Syska (2009, S. 15-18) und für eine Gegenüberstellung der N<sub>2</sub>O-Freisetzung verglichen zur CO<sub>2</sub>-Einsparung terrestrischer Biokraftstoffe wird exemplarisch auf Cruzen et al. (2008) verwiesen.

Wie bereits dargestellt, können über die energetischen Nutzungspfade aquatischer Biomasse eine Vielzahl von Bioenergieträgern produziert werden. Neben der zur Gewinnung von Biomethan verwerteten Restbiomasse aus den stofflichen Nutzungspfaden in einer Biogasanlage (Algen-Bioraffinerie Konzept) können zusätzlich Biodiesel, Bioethanol, Biokerosin, Biomethanol und Biowasserstoff auf der Grundlage von aquatischer Biomasse hergestellt werden. Die nachfolgende Tabelle stellt eine Auswahl von Bioenergieträgern auf Algenbasis gegenüber und skizziert die Vor- und Nachteile im Vergleich zu Energiepflanzen (nachwachsende Rohstoffe der ersten und zweiten Generation).

**Tabelle 36: Vergleich Energiegewinnung aus Mikroalgen differenziert nach Energieträgern**

<b>Energieträger</b> ↓ <b>Energiegehalt</b>	<b>Herstellungsprozess</b>	<b>Vorteile (+) und Nachteile (-) gegenüber Energiepflanzen der ersten und zweiten Generation</b>
Biodiesel ↓ 10,2 kWh/kg =37 MJ/kg	Umesterung	+ hoher Ölgehalt + geeignetes Fettsäureprofil + vergleichbare Qualität zu Diesel aus fossilen Quellen – hohe Investitionskosten – hohe Herstellungskosten
Bioethanol ↓ 7,4 kWh/kg =26,8 MJ/kg	Fermentation	– hohe Herstellungskosten – niedrige Prozesseffizienz
	Extrazelluläre Produktanreicherung	+ hohe Prozesseffizienz + niedrige Kosten – Langzeitstabilität
Biowasserstoff ↓ 2,75 kWh/kg =9,9 MJ/kg	Sauerstofffreie intrazelluläre Produktion	+ einfache Apparatechnik + geringe Investitionskosten – geringe Produktivität
Biomethan ↓ 10 kWh/kg =6,8 MJ/kg (bis 16 MJ/kg Trockenmasse)	Fermentation	+ hoher Wirkungsgrad + Technologie/Anlagen vorhanden + minimale Investitionskosten + auch Restalgenbiomasse als Substrat geeignet + Einsatz feuchter Biomasse möglich + Rückführung des CO <sub>2</sub> aus Biogas in Algenanlage möglich

Quelle: Eigene Darstellung nach Griehl/Bieler/Posten (2012, S. 80).

Wie die Tabelle zeigt, ist bei der Herstellung der unterschiedlichen Energieträger auf den Energiegehalt zu achten, so dass der zentrale Vergleichsparameter zwischen den Bioenergieträgern das Energieäquivalent sein muss (EIV 1A, S. 31f.).

Im Gegensatz zu den klassischen *triggern* einer Innovation (*demand-pull* und *technology-push*)<sup>570</sup> ist der zentrale innovationsauslösende Stimulus für die energetischen A2X-Nutzungspfade systembedingt (*system-push*): Zum einen wird in Algenkultivierungssystemen CO<sub>2</sub> (z. B. aus industriellen Prozessen) recycelt und zum anderen können ökologische Nachteile, die mit einem massiven Anbau terrestrischer Energiepflanzen einhergehen können, vermieden werden. Die zentralen Veränderungen und die damit verbundenen Chancen zur energetischen Mikroalgenutzung werden über den systemischen Innovationsprozess der Energiewende und die in diesem Zusammenhang stehenden Maßgaben der Bundesregierung induziert (EIV 4A, S. 19), die sich in einem *regulatory-push* (staatliche Regulationen, wie z. B. die Einführung einer CO<sub>2</sub>-Steuer) entfalten können. So sieht beispielsweise der Koalitionsvertrag zur 18. Legislaturperiode (CDU/CSU/SPD 2013, S. 39) vor, dass der Biomassezubaue „überwiegend auf Abfall- und Reststoffe begrenzt“ wird.

<sup>570</sup> Siehe Kapitel 4.3.3.

„Dies dient dem Schutz der Natur, vermeidet die ‘Vermaisung’ der Landschaft und entschärft Nutzungskonkurrenzen. (...) Dabei soll deren Einsatz einen sinnvollen Beitrag zum CO<sub>2</sub>-Minderungsziel leisten und Nutzungskonkurrenzen mit dem Arten- und Naturschutz entschärft werden.“ (ebd.)

In Anlehnung an die oben dargestellten Vorteile von Mikroalgen gegenüber terrestrischen Pflanzen, einhergehend mit den Potenzialen der energetischen Nutzungspfade, kann die Algenbiotechnologie einen großen Beitrag zu einer ökologisch nachhaltigen und sozialverträglichen Biomassegewinnung, wie sie im Rahmen der Energiewende avisiert wird, leisten (EIV 4A, S. 19). Denn wird der Grundsatz des Koalitionsvertrages dahingehend verstanden, dass keine primären Nahrungsmittel und Nahrungsmittelflächen für die Biomasseherstellung verwendet werden sollen, dann gewinnen neben Rest- und Abfallstoffen solche Ressourcen an Bedeutung, die nicht in der Konkurrenz zu Nahrungsmitteln stehen (ebd., S. 19f., 25). Algen sind ein hochwertiger Primärrohstoff, der grundsätzlich nicht zu den Rest- und Abfallstoffen zählt (EIV 4A, S. 25), (EIV 2A, S. 12). Entgegen der Expertenmeinung kann die Algenbiomasse im Fall der Algen-Bioraffinerie, d. h. einer energetischen Nutzung vorausgegangenen stofflichen Nutzung, als Reststoff bezeichnet werden, sofern die restliche Algenbiomasse der stofflichen Nutzung in einer Biogasanlage zur Biomethanherstellung zugeführt wird.<sup>571</sup>

#### **8.4.2 Systemnutzen**

Bedingt durch den steigenden Energiebedarf auf der einen und das begrenzte Potenzial fossiler Energieträger und terrestrischer Energiepflanzen (Flächenverbrauch, Verdrängung landwirtschaftlicher Flächen zur Nahrungsmittelbereitstellung) auf der anderen Seite, sowie vor dem Hintergrund, dass eine Erschließung weiterer landwirtschaftlicher Flächen kaum möglich ist, werden Mikroalgen und der Algenbiotechnologieforschung ein hoher Stellenwert zugesprochen (EIV 3A, S. 1). Die Einsatzgebiete der Algenbiotechnologie sind so vielfältig, dass neben der direkten energetischen Nutzung aquatischer Biomasse sowie der stofflichen Nutzung und damit des CO<sub>2</sub>-Recyclings, auch positive Beiträge für die Energiewende und den Klimaschutz geleistet werden können, wie z. B. durch die Substitution fossiler Energiequellen in der Kunststoffherstellung und der Energieeinsparung bei der Herstellung von Dünge-, Lebens- und Futtermitteln (ebd., S. 8). Indem industrielle CO<sub>2</sub>-Emissionen abgeschieden und in einem Algenkultivierungssystem als Rohstoff genutzt werden, kann die CO<sub>2</sub>-Bilanz dieser Industrien verbessert werden: Es entsteht „eine *Win-Win*-Situation für Kraftwerksbetreiber, Algenzüchter und [das] Klima“ (FNR 2014, S. 53, Hervorgebungen der Verfasserin). Neben dem Potenzial des CO<sub>2</sub>-Recyclings, kann A2E über die Substitution fossiler Energieträger ein großes Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Verminderung und gleichzeitig zur Ressourceneinsparung entfalten sowie zu einer nachhaltigen Rohstoff- und Energiebereitstellung beitragen (EIV 4A, S. 14). Über ihr großes Potenzial können Mikroalgen maßgeblich in der Zukunft einen Beitrag zur Energiewende leisten (ebd.), welches das folgende Beispiel skizziert. Der Anteil an dem Gesamterdölverbrauch der für die Herstellung von Kunststoff in Deutschland aufgewendet wird, beträgt 6 % (VKE 2003, S. 11). Wenn es gelingt, diesen oder einen Anteil davon über Biokunststoff auf Algenbasis zu substituieren und zusätzlich Nahrungs- oder Futtermittel herzustellen, dann wäre dieses gemäß Expertenmeinung bereits eine gute Bilanz (EIV 3A, S. 6).

---

<sup>571</sup> Siehe hierzu exemplarisch auch das Algen-Bioraffinerie Konzept (DECHEMA 2016, S. 14).

Außerdem kann die Mikroalgenkultivierung zur Erhöhung der Wertschöpfung in der heimischen Land- und Forstwirtschaft beitragen (EIV 4A, S. 14), indem die für die Produktion von Biokraftstoff auf Basis nachwachsender Rohstoffe der ersten und zweiten Generation genutzten landwirtschaftlichen Flächen wieder für die Nahrungsmittelproduktion zur Verfügung stehen.

Einer anderen Expertenmeinung nach nimmt der energetische Nutzungspfad der Algenbiotechnologie hingegen keinen hohen Stellenwert ein und kann keinen Beitrag zur Energiewende leisten. Begründet wird diese Aussage damit, dass unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen die Herstellung ausreichend großer Mengen nicht möglich ist und es sich damit im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit nicht um ein konkurrenzfähiges Produkt handelt. (EIV 1A, S. 2, 19) Vielmehr nehmen Algen im Bereich der *high-value* Produkte (A2P) einen besonders interessanten Stellenwert als Ressourcenquelle ein (ebd., S. 9). Zudem wird von dem Experten dargelegt, dass die zur Umsetzung und Erreichung der Energiewende avisierten Strategien und Maßnahmen lieber dahingehend Überdenkens würdig seien, stärker Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz und Energierückgewinnung in den Fokus zu nehmen (ebd., S. 14f., 19).<sup>572</sup>

Ein sehr großes Potenzial in der Mikroalgenbiotechnologie besteht jedoch in der Kopplung von Energie- und Nährstoffströmen. In einer Algen-Bioraffinerie werden Synergien zwischen der stofflichen und energetischen Nutzung von Mikroalgen geschaffen, welches einen Beitrag zur Kopplung landwirtschaftlicher Strukturen und zur Schließung von Stoffkreisläufen leisten kann. (EIV 4A, S. 15, 24) Überdies können (und im Sinn der Nachhaltigkeit sollten) auch bei der rein energetischen Nutzung Nährstoffe aus der Restbiomasse zurückgewonnen werden, die zu der Algenkultivierung wieder hinzugeführt werden, so dass ein Nährstoffkreislauf entsteht (EIV 3A, S. 20), (Hannon et al. 2010, S. 31).

Ein weiteres Potenzial von Mikroalgen besteht in der synergetischen Abwasserreinigung.<sup>573</sup> Über die Filterung von Abwässern mit Hilfe von Mikroalgen, kann sauberes Wasser hergestellt und gleichzeitig eine Versorgung der Algen mit Nährstoffen sichergestellt werden. Dieses kann zu einer Reduktion der Produktionskosten bei der Mikroalgenkultivierung beitragen, sofern das Abwasser kostenfrei zur Verfügung gestellt wird (EIV 1A, S. 32). Ein zentrales Kriterium für die Abwassernutzung im Rahmen der Algenkultivierung ist die Güte des Wassers bzw. der Grad seiner Verunreinigung: Das Abwasser darf nicht mit toxischen Stoffen belastet sein, da dieses sonst zu einem Sterben der Mikroalgenkultur führen könnte (ebd.). Im Fall der Verwendung von toxischem Abwasser wird das Voranstellen eines zumeist aufwendigen und kostenintensiven Reinigungsverfahrens notwendig (ebd.).

---

<sup>572</sup> Einschränkung anzumerken ist, dass es sich bei den vorliegenden Expertenaussagen um eine subjektive Einschätzung handelt, und dass andere Experten den Stellenwert der Algenbiotechnologie nicht einschätzen konnten bzw. vermochten, da im Rahmen der energetischen Nutzung gegenwärtig kein Unternehmen existiert, welches aquatische Biomasse wirtschaftlich herstellt und zur kommerziellen Energieträgergewinnung nutzt. Erschwerend kommt hinzu, dass sowohl der deutsche, als auch der internationale Markt von einer großen Intransparenz gekennzeichnet ist und bisher gemäß Expertenmeinung keine umfassenden und validen Vergleichsstudien existieren. Bislang bestehen lediglich Demonstrations- und Pilotanlagen in den energetischen A2X-Nutzungspfaden. (EIV 4A, S. 13) Ferner sind in den Statistiken zu nachwachsenden Rohstoffen für die Energieträgergewinnung Algen als Kategorie nicht aufgeführt (FNR 2016a, 2016b). Auf Grund dessen ist eine umfassende und objektive Aussage zum aktuellen Stellenwert nicht möglich.

<sup>573</sup> Für eine Vertiefung wird exemplarisch auf die Ergebnisse zum Projekt SAM: Synergie von Abwasserreinigung und Mikroalgenkultivierung (Sonnleiter et al. 2013) verwiesen.

Wie bereits im Einführungskapitel dargestellt, können aus aquatischer Biomasse, „eine Vielzahl von Kohlenstoffverbindungen“ (Griehl/Bieler/Posten 2012, S. 82) hervorgebracht werden, die gegenwärtig aus Erdöl gewonnen werden: Beispielsweise „Kunststoffe, Textilien, Farbstoffe, Pharmaka, Düngemittel oder Waschmittel“ (ebd.). Der bei der Algen-Bioraffinerie im Vordergrund stehende Systemgedanke kann zur Vernetzung und Verknüpfung unterschiedlicher Branchen, wie z. B. der Chemieindustrie und der Energiewirtschaft beitragen (EIV 4A, S. 5, 30). Aus dem Potenzial der Algenbiotechnologie leitet sich ein synergetisches, branchenübergreifendes Potenzial ab. Bedingt durch die vielfältigen Nutzungspfade und branchenübergreifenden Akteure kann der Algenbiotechnologie das Potenzial für einen Systemnutzen im Hinblick auf die positive Entwicklung der Energiewende zugesprochen werden.<sup>574</sup> Die Systemrelevanz ist dabei maßgeblich über die Wirtschaftlichkeit zu steuern, wie in Kapitel 8.5.2 gezeigt wird.

Eine treibende Kraft für die Algenbiotechnologie ist die Nachhaltigkeit. Mit zunehmendem Nachhaltigkeitsbewusstsein, welches auch in den sozialen und ökologischen Dimensionen der Nachhaltigkeit das Gesundheits- und Ernährungsbewusstsein miteinschließt, wächst die Nachfrage nach alternativen Ressourcen. Gleichzeitig steigt durch die Endlichkeit und ökologische Bedenklichkeit fossiler Energieträger die Nachfrage nach synthetischen bzw. Bioenergieträgern. Diese beiden Faktoren sind die treibenden Kräfte für die stofflichen und energetischen Algenapplikationen. (EIV 4A, S. 29) Dabei ist ein zentraler Punkt, dass zunächst die Bioökonomie im Sinn der stofflichen Nutzung anzutreiben ist und die energetische Nutzung sich kurzweilig dahinter einreihen sollte (EIV 3A, S. 21), denn die *interim-value* Produkte der stofflichen Nutzungspfade „sind die Technologietreiber“ (ebd., S. 3).

Trotz des hier dargestellten Systemnutzens kann davon ausgegangen werden, dass der übergeordnete innovationsauslösende Stimulus für Algenkultivierungssysteme nicht ein *system-pull* ist. Für das Gelingen des energetischen Systemwechsels, d. h. zur Transformation von einem fossilen zu einem auf erneuerbaren Energien basierenden System, sind Algenbioenergieträger nicht systemimmanent. Gleichzeitig können sie aber fossile Energieträger ablösen und über die CO<sub>2</sub>-Bindung und das CO<sub>2</sub>-Recycling einen essentiellen Beitrag zur sektorübergreifenden Dekarbonisierung und damit zum Gelingen der Energiewende leisten. In Folge dessen kann als innovationsauslösender Stimulus ein *system-push* angenommen werden, der sich in Anlehnung an die Multi-Impuls These über den *eco-pull* entfaltet.

---

<sup>574</sup> Dieses Potenzial wird von EIV 4A (S. 15) bestätigt.



## 8.5 Unsicherheiten und Hemmnisse

Der Begriff der Unsicherheit wird aufbauend auf der in dem Theoriekapitel 4.3.1.2 dargestellten Definition auch in dieser Fallstudie als positive und negative Zielabweichung verstanden.<sup>575</sup> Im vorangegangenen Unterkapitel wurden bereits die treibenden Faktoren analysiert, die zu einer positiven Zielabweichung im Sinn einer Chance führen können. Inhalt dieses Unterkapitels ist die Analyse der hemmenden Faktoren, die zu einer Zielverfehlung im Sinn eines Schadens führen können. Da für die einzelnen hemmenden Faktoren im Detail keine Annahmen über die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Zukunft angenommen werden können und die mögliche Berechnung und Existenz dieser nicht umfangreich auszuschließen ist – welches zur Unterscheidung zwischen Risiko und Ungewissheit voranzustellen wäre – wird im Folgenden weiterhin der Überbegriff der Unsicherheit verwendet.

Zusammengefasst können fünf Dimensionen der Unsicherheit aus der Fallstudienanalyse extrahiert werden, die sich auch in Form von Hemmnissen auswirken können: Die politische, regulatorische, ökonomische, technologische und soziale Unsicherheit. Da die verschiedenen Dimensionen teilweise aufeinander aufbauen, ineinandergreifen und sich gegenseitig bedingen, ist keine strikte Abgrenzung zwischen den Dimensionen möglich, so dass im Folgenden auf die Schnittstellen und Wechselwirkungen zwischen den Dimensionen zu verweisen ist.

### 8.5.1 Politische und regulatorische Dimension

Die politische und regulatorische Dimension der Unsicherheit ist über die Ungewissheit gegenüber zukünftigen politischen Zielsetzungen und ihrer Kontinuität fundiert (EIV 4A, S. 20, 25), (EIV 1A, S. 19). Die politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen sind stark vom EEG abhängig, mit dem die Bundesregierung zur Förderung und Impulssetzung, aber auch zum Aufbau von Hemmnissen in der Bioenergie beitragen kann (EIV 4A, S. 21). Daraus abgeleitet besteht die zentrale Frage, wie sich die Förderungs- und Subventionslandschaft im Rahmen der energetischen Zielsetzung verändern wird. (ebd., S. 20, 26)

Im Energiekonzept der Bundesregierung (BMWi/BMU 2010, S. 11) soll „die Bioenergie in der künftigen Energieversorgung eine wichtige Rolle spielen. Die Bioenergie soll als bedeutender erneuerbarer Energieträger in allen drei Nutzungspfaden ‘Wärme’, ‘Strom’ und ‘Kraftstoffe’ weiter ausgebaut werden“. Um den Anteil des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms am Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2025 auf 40 - 45 % zu steigern (§1 Abs. 2 Satz 1 EEG 2017), wird gemäß § 4 Nr. 4 EEG 2017 auch ein Ausbaupfad für Biomasseanlagen festgelegt, der einen „jährlichen Brutto-Zubau von Biomasseanlagen mit einer installierten Leistung von a) 150 Megawatt in den Jahren 2017 bis 2019 und b) 200 Megawatt in den Jahren 2020 bis 2022“ vorsieht. Eine Biomasseanlage wird gemäß § 3 Nr. 12 EEG 2017 als „jede Anlage zur Erzeugung von Strom aus Biomasse“ definiert. Gemäß § 2 Abs. 1 BiomasseV sind in diesem Sinn u. a. „Energieträger aus Phyto- und Zoomasse“ als Biomasse definiert. Gleichwohl die Spezifizierung des § 2 Abs. 2 und 3 BiomasseV die aquatische Biomasse nicht direkt adressiert, sie im § 3 BiomasseV aber auch nicht explizit ausgeschlossen ist, kann davon ausgegangen werden, dass aquatische Biomasse im Sinn der BiomasseV und damit im Rahmen der

---

<sup>575</sup> Siehe ausführlich Kapitel 4.3.1.2.

Zubauraten inkludiert ist. An dieser Stelle wird deutlich, was von den Experten bereits im Rahmen der Interviews konstatiert wurde: Gegenwärtig existieren keine spezifischen politischen und regulatorischen Bestimmungen zu den energetischen Nutzungspfaden aquatischen Biomasse (EIV 3A, S. 14). Auch auf der europäischen Ebene fehlt für die Nutzung aquatischer Biomasse eine gemeinsame inhaltliche und politische Leitlinie (ebd.).

„Regularien auf der deutschen und der europäischen Ebene müssen formuliert und erlassen werden, um Produkte aus Mikroalgen für die Bereiche Pharma, Kosmetik, Lebensmittel, Futtermittel und Treibstoffe dem Markt zugänglich zu machen.“ (DECHEMA 2016, S. 20)

Eine solche gemeinsame Linie, insbesondere bezüglich der Förderung von aquatischer Biomasse, könnte einen positiven FuE-Beitrag anstoßen und zur Großskalierung der Demonstrationsanlagen beitragen (EIV 3A, S. 14). Zum Vorantreiben der Technologie bedarf es gemäß Expertenmeinung einer Anreizsetzung durch die Bundesregierung, welches wiederum einer Druckausübung seitens der Großunternehmen bedarf (EIV 4A, S. 21). Dieser Punkt verweist auf die Strategie zur Reduktion regulatorischer Unsicherheit des *shape the future*, die insbesondere Großunternehmen adressiert. KMU wird bei dieser Strategie hingegen nur mit der Bündelung ihrer Kräfte über Verbandsstrukturen eine ausreichende Marktmacht zugesprochen, um einen Einfluss auf die Bundesregierung auszuüben.<sup>576</sup>

Abschließend ist im Rahmen der politischen und regulatorischen Unsicherheiten auf die Verwendung genmanipulierter Algen einzugehen. Mit dem am 18.07.2016 geänderten Gesetz zur Regelung der Gentechnik (Gentechnikgesetz – GenTG) kommt die Bundesregierung der freiwilligen Umsetzung der Richtlinie (EU) 2015/412 zur Änderung der Richtlinie 2001/18/EG zu der den Mitgliedstaaten eingeräumten Möglichkeit nach, den Anbau von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) in ihrem Hoheitsgebiet zu beschränken oder zu untersagen (Bundesrat 2016c, S. 1).

Gemäß Sprink et al. (2016, S. 1501) beziehen sich die europäischen Regelungen der Richtlinie (EU) 2015/412 zwar grundsätzlich sowohl auf den prozess- als auch den produktorientierten Umgang mit GVO, die Interpretation der Richtlinie lässt jedoch einen prozessorientierten Fokus im Hinblick auf die Frage erkennen, ob der Prozess zu einem GVO führt oder nicht.<sup>577</sup> Ferner stellen Sprink et al. (2016, S. 1502) fest, dass mit der Richtlinie (EU) 2015/412 ursprünglich beabsichtigt war, die Unsicherheit, die mit der Entwicklung und Kommerzialisierung von GVO einhergeht, in eine Sicherheitssituation zu wandeln. Allerdings hat sich bedingt durch den zunehmenden wissenschaftlichen Fortschritt in der Genmanipulation ein neues Wissen eröffnet, welches die Forderung nach einer differenzierteren Betrachtung darlegt (ebd.). Spring et al. (2016) präsentieren verschiedene Modelle, die als Inspirationsquelle für die Entwicklung eines dynamischen Regulierungssystems in der EU dienen sollen, das flexibel genug sein soll, einen Platz für jede neuartige Pflanzenforschung und Zuchttechnik zu schaffen.

---

<sup>576</sup> Siehe für die Strategieoptionen zur Begegnung regulatorischer (Un-)Sicherheitssituationen Kapitel 5.1.

<sup>577</sup> Im Gegensatz dazu konstatieren Sprink et al. (2016, S. 1501), dass die US-amerikanischen Regulierungen auf einer Risikoeinschätzung für Menschen, Tiere und die Umwelt basiert und damit überwiegend auf das Endprodukt fokussiert ist.

Für die im Jahr 2016 beschlossene Novellierung des GenTG kann als eine erste Einschätzung aus dem Gesetzestext abgeleitet werden, dass die Vorschriften sowohl prozessorientiert (z. B. § 4 GenTG Einrichtung einer Kommission für Biologische Sicherheit, § 7 GenTG Sicherheitsstufen und Sicherheitsmaßnahmen, § 8 GenTG und § 10 GenTG zu Genehmigungen und Genehmigungsverfahren) als auch ergebnisorientiert (insbesondere die Forderung einer Risikobewertung nach § 6 GenTG) angelegt sind. Ob die Genmanipulation von Algen für die Herstellung aquatischer Biomasse durchgeführt werden darf, und falls ja, unter welchen Auflagen, hängt von der Einordnung in eine der vier Sicherheitsstufen des § 7 Abs. 1 GenTG ab. Die Bundesregierung entscheidet über die Einstufung auf Basis der nachfolgenden Kriterien:

„Die Zuordnung erfolgt anhand des Risikopotentials der gentechnischen Arbeit, welches bestimmt wird durch die Eigenschaften der Empfänger- und Spenderorganismen, der Vektoren sowie des gentechnisch veränderten Organismus. Dabei sind mögliche Auswirkungen auf die Beschäftigten, die Bevölkerung, Nutztiere, Kulturpflanzen und die sonstige Umwelt einschließlich der Verfügbarkeit geeigneter Gegenmaßnahmen zu berücksichtigen.“ (§ 7 Abs. 1 GenTG)

Die Klassifizierung der vier Sicherheitsstufen erfolgt gemäß § 7 Abs. 1 GenTG auf der Grundlage einer Risikoabschätzung „nach dem Stand der Wissenschaft (...) für die menschliche Gesundheit und die Umwelt“. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Sicherheitsstufen und zugeteilten Risikoklassen gemäß § 7 Abs. 1 GenTG, sowie die Genehmigungsnotwendigkeiten in den einzelnen Klassen auf der Grundlage des § 8 GenTG.<sup>578</sup>

**Tabelle 37: Regulatorische Klassifizierung gentechnischer Anlagen<sup>579</sup> gemäß GenTG**

Sicherheitsstufe	Risikoabschätzung	Genehmigung
1	Kein Risiko	Anzeigespflicht vor Errichtung, bzw. vor Inbetriebnahme
2	Geringes Risiko	Anmeldepflicht vor Errichtung, bzw. vor Inbetriebnahme oder Beantragung Anlagengenehmigung
3	Mäßiges Risiko	Anlagengenehmigung erforderlich
4	Hohes Risiko oder ein begründeter Verdacht	Anlagengenehmigung erforderlich

Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>578</sup> Kritisch hervorzuheben ist, dass der § 33 GenTG einen Haftungshöchstbetrag einführt: „Sind infolge von Eigenschaften eines Organismus, die auf gentechnischen Arbeiten beruhen, Schäden verursacht worden, so haftet der Betreiber im Falle des § 32 den Geschädigten bis zu einem Höchstbetrag von 85 Millionen Euro. Übersteigen die mehreren auf Grund desselben Schadensereignisses zu leistenden Entschädigungen den in Satz 1 bezeichneten Höchstbetrag, so verringern sich die einzelnen Entschädigungen in dem Verhältnis, in dem ihr Gesamtbetrag zu dem Höchstbetrag steht.“ Gentechnische Anlagen der Sicherheitsstufe 2 bis 4 sind gemäß § 34 Abs. 1 GenTG dazu verpflichtet eine Deckungsvorsorge zu treffen. Diese kann maßgeblich über „eine Haftpflichtversicherung bei einem im Geltungsbereich dieses Gesetzes zum Geschäftsbetrieb befugten Versicherungsunternehmen oder (...) durch eine Freistellungs- oder Gewährleistungsverpflichtung des Bundes oder eines Landes“ (§ 34 Abs. 2 GenTG) erfolgen.

<sup>579</sup> Gemäß § 3 Nr. 4 GenTG ist eine gentechnische Anlage eine „Einrichtung, in der gentechnische Arbeiten (...) im geschlossenen System durchgeführt werden und bei der spezifische Einschließungsmaßnahmen angewendet werden, um den Kontakt der verwendeten Organismen mit Menschen und der Umwelt zu begrenzen und ein dem Gefährdungspotenzial angemessenes Sicherheitsniveau zu gewährleisten“. Gentechnische Arbeiten umfassen gemäß § 3 Nr. 2 GenTG „a) die Erzeugung gentechnisch veränderter Organismen, b) die Vermehrung, Lagerung, Zerstörung oder Entsorgung sowie der innerbetriebliche Transport gentechnisch veränderter Organismen sowie deren Verwendung in anderer Weise, soweit noch keine Genehmigung für die Freisetzung oder das Inverkehrbringen zum Zweck des späteren Ausbringens in die Umwelt erteilt wurde“.

Über diese Einzelfallregelung entfaltet sich die regulatorische Unsicherheit, in welche Sicherheitsstufe eine gentechnische Anlage in der Mikroalgenkultivierung unter der Verwendung GVO zu klassifizieren ist und überdies, ob die Anlage tatsächlich errichtet bzw. in Betrieb genommen werden darf.

## 8.5.2 Ökonomische Dimension

### 8.5.2.1 Wirtschaftlichkeit

Die ökonomische Dimension der Unsicherheit steht in einer Wechselbeziehung zu den Nutzungspfaden aquatischer Biomasse im A2X-Konzept: Wie bereits in Kapitel 8.3 dargestellt, werden die Produktspektren in einen *high-value*, *interim-value* und *low-cost* Bereich klassifiziert. Während im *high-value* Produktspektrum der stofflichen Nutzungspfade Verkaufspreise in einem Gramm-Euro-Maßstab erzielt werden können, ist der *low-cost* Produktbereich der energetischen Nutzung von einem Kilogramm-Cent-Maßstab geprägt (EIV 1A, S. 5). Die Spannbreite möglicher Verkaufspreise für die Endprodukte ist damit groß und divergiert in Abhängigkeit der Nutzungspfade. Die derzeitigen Produktionskosten für die Herstellung von Algenbiomasse betragen rd. 10,- €/kg (EIV 1A, S. 33) und bei Algenöl über 10,- €/L (FNR 2014, S. 53), wie auch die nachfolgende tabellarische Übersicht zeigt. Schätzungen gehen davon aus, dass ab einem Preis von 0,40 €/kg Algenbiomasse (EIV 1A, S. 30f., 33) bzw. ab einem Algenölpreis von 1,- €/L (EIV 3A, S. 1) die Wirtschaftlichkeit bei den energetischen Nutzungspfaden in greifbare Nähe rückt. Bei der stofflichen Nutzung gehen Wirtschaftlichkeitsschätzungen von einer Preisspanne zwischen 100,- €/kg und 60,- €/kg Algenbiomasse aus (EIV 1A, S. 8). Diese Preisunterschiede können dazu führen, dass unter den derzeitigen Voraussetzungen die stofflichen Nutzungspfade denen der energetischen Nutzungspfade für Innovationsinvestitionen vorgezogen werden.

**Tabelle 38: Preise für Produkte auf Basis aquatischer Biomasse**

Produktgruppe	Produkte <sup>580</sup>	Preis
Farbstoffe	β-Carotin	300 - 1.500 US\$/kg
	Astaxanthin	3.000 - 10.000 US\$/kg
	Phycocyanin	500 - 100.000 US\$/kg
	Phycoerythrin	10.000 - 15.000 US\$/kg
Biomasse	Nahrungsergänzungsmittel	40 - 80 US\$/kg
	Futterzusatzmittel	10 - 130 US\$/kg
	Aquakultur	50 - 150 US\$/kg
	Düngemittel	> 10 US\$/kg
Fettsäuren	Mehrfach ungesättigte	80 - 160 US\$/kg
	Insotopenmarkierte Fettsäuren (Fettsäuren, Aminosäuren, Nucleotide)	60.000 - 26 Mio. US\$/kg
Biokraftstoffe	Algenbiomasse (Photobioreaktor)*	9 - 10 €/kg ( <i>base case</i> ) 3,80 €/kg ( <i>projected case</i> )
	Algenbiomasse ( <i>raceway pond</i> )*	1,60 - 1,80 €/kg ( <i>base case</i> ) 0,30 - 0,40 €/kg ( <i>projected case</i> )
	Zwischenöl (Triglyceride) ( <i>open pond</i> )***	2,13 US\$/L (MFSP)
	Zwischenöl (Triglyceride) (Photobioreaktor)***	4,53 US\$/L (MFSP)
	Biodiesel ( <i>rotating algae biofilm reactor</i> )**	26,10 US\$/L ( <i>base case</i> ) 2,96 US\$/L (MFSP)
	Biodiesel ( <i>open pond</i> )***	2,46 US\$/L (MFSP)
	Biodiesel (Photobioreaktor)***	5,13 US\$/L (MFSP)

Quelle: Eigene Darstellung. Datenbasis Barlow/Sims/Quinn (2016, S. 360), Slade/Bauen (2013, S. 35), Griel/Posten (2013, S. 329), Davis/Aden/Pienkos (2011), Griel et al. (2009, S. 9).

\* techno-economic assessment nach Slade/Bauen (2013)

\*\* techno-economic assessment nach Barlow/Sims/Quinn (2016). Originalangaben pro Gallone zu Gunsten der Vergleichbarkeit in Liter umgerechnet (metrisches Maß: 1 gal = 4 L)

\*\*\* techno-economic assessment nach Davis/Aden/Pienkos (2011). Originalangaben pro Gallone zu Gunsten der Vergleichbarkeit in Liter umgerechnet (metrisches Maß: 1 gal = 4 L)

MFSP: *Minimum Fuel Selling Price*

Wie der beispielhafte Vergleich zu den Großhandels- und Verbraucherpreisen von Biodiesel (E10) und Diesel zeigt, ist in den energetischen Nutzungspfaden, insbesondere bei der Herstellung von algenbasiertem Biodiesel, aktuell keine konkurrenzfähige Produktion möglich (EIV 1A, S. 2). Der limitierende Faktor ist die Wirtschaftlichkeit (EIV 4A, S. 14), (EIV 3A, S. 1), (EIV 2A, S. 4), (EIV 1A, S. 2), die über eine Vielzahl an Parametern bestimmt wird. Gemäß Expertenmeinung gehen zu Lasten der Wirtschaftlichkeit sowohl hohe Investitionskosten als auch hohe operative Kosten (kosten- und energieintensive Prozesskette) (EIV 4A, S. 5, 18, 24). Im Besonderen die *downstream*-Prozesse sind energie- und damit kostenintensiv, welches insgesamt zu einer schlechten Energiebilanz führt (EIV 4A, S. 15), (EIV 1A, S. 24, 31). Darüber hinaus ist die Bereitstellung von Nährstoffen mit rd. einem Drittel ein zentraler Kostenfaktor, der einen maßgeblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit ausübt (EIV 4A, S. 16). Slade/Bauen (2013, S. 29) konstatieren, dass eine Kostenreduktion von bis zu 50 % erzielt werden kann, wenn Nährstoffe, CO<sub>2</sub> und Wasser kostengünstig zur Verfügung gestellt werden. Gleichzeitig beschränkt diese Anforderung die Anzahl verfügbarer Standorte (ebd.).

<sup>580</sup> Für eine Vertiefung zu einem Inhaltsstoffvergleich von Nahrungsmitteln auf Mikroalgenbasis mit konventionellen Nahrungsmitteln wird exemplarisch auf Griehl et al. (2009, S. 10) und für Gesundheitsvorteile ausgewählter bioaktiver Verbindungen auf Mikroalgenbasis auf Hamed (2016, S. 1107) verwiesen.

Einhergehend mit einer Produktdifferenzierung in den *high-value*, *interim-value* und *low-cost* Bereich, ist die Wahl eines geeigneten Kultivierungssystems zu treffen. Bedingt durch die hohen Investitionskosten geschlossener Reaktorsysteme gegenüber *open-pond* Systemen, gilt: „Je teurer ein Reaktor ist, desto teurer muss auch das Produkt sein“ (EIV 1A, S. 5) welches aus der aquatischen Biomasse hergestellt werden soll (ebd.). Aus dieser einfachen ökonomischen Relation kann abgeleitet werden, dass bei den vorherrschenden Energiepreisen die Produktion von algenbasierten Energieträgern in geschlossenen Photobioreaktoren derzeit nicht wirtschaftlich vorteilhaft darstellbar ist. Dieses konstatieren auch Griehl et al. (2009, S. 4):

„Die Produktion von Mikroalgen ist bisher nur in spezifischen Anwendungen wirtschaftlich. Die breite Anwendung erfordert neben der Etablierung geeigneter Kulturmedien die innovative Entwicklung effektiver Photobioreaktoren und Aufbereitungstechnologien.“

„Ziel ist der optimale Reaktor, der pro m<sup>2</sup> nicht mehr als 40 € kosten soll und praktisch ohne Hilfsenergie auskommt, um damit die ökonomischen Voraussetzungen zur *Biofuel*-Produktion mit Mikroalgen zu schaffen.“ (Posten/Steinweg 2009, S. 49, Hervorhebungen der Verfasserin) Die größte Unsicherheit in der ökonomischen Dimension ist folglich die Wirtschaftlichkeit: Welche technischen und technologischen Voraussetzungen sind für den Eintritt in die Wirtschaftlichkeit notwendig? Welche Komplementärtechnologien (z. B. Oberflächenbeschichtungen) sind in welcher Art und Weise erforderlich und wann werden diese zu welchem Preis zur Verfügung stehen? (EIV 3A, S. 2) Welche zukünftigen Innovationen sind unerlässlich, um den Prozess wirtschaftlich darstellen zu können? (EIV 4A, S. 25) Wie groß werden die Innovationsschritte bzw. Innovationssprünge sein? (ebd.) Wie wird dann die Wirtschaftlichkeitsbilanz z. B. in zehn Jahren aussehen? (ebd.)

Die zentrale Unsicherheit ist die zeitpunktabhängige wirtschaftliche Tragfähigkeit des Systems. Zwar bietet A2X große Potenziale, zu welchem Zeitpunkt sie auch ökonomisch abgeschöpfbar sind, ist hingegen unklar (EIV 4A, S. 20). Dieses ist von der Erreichung zentraler technologischer Entwicklungsschritte abhängig (ebd.) und lässt darauf schließen, dass die ökonomische Unsicherheit maßgeblich technologisch bestimmt ist.

#### 8.5.2.2 Mengenbilanz

Ein weiterer limitierender Faktor, um eine konkurrenzfähige Produktion der *low-cost* Produkte der energetischen Nutzungspfade abzubilden, ist die Mengenrelation (EIV 1A, S. 1f.). Biokraftstoffe auf Algenbasis sind ein niedrigpreisiges und großvolumiges Produkt. Die Herstellung eines großvolumigen Produkts benötigt große Mengen an Algenbiomasse, welches wiederum große Mengen an Licht, Wasser, CO<sub>2</sub> und Nährstoffen impliziert (EIV 1A, S. 7). So bestehen im Hinblick auf die erforderliche Menge an Nährstoffen, die zur Algenbiomassekultivierung für energetische notwendig ist, Zweifel an der Verfügbarkeit derartig großer Mengen (EIV 1A, S. 3). Ein gleichzeitiger, massiver Ausbau der stofflichen und energetischen Nutzungspfade in ambitionierten Maßstäben wird bedingt durch die Mengen- und Flächenrelation gemäß Expertenmeinung nicht möglich sein (EIV 3A, S. 8). Auch die gesamte Biodieselsubstitution über aquatische Biomasse wird in Deutschland durch die zugrundegelegte Mengenrelation nicht umzusetzen sein (EIV 1A, S. 1). Dieses kann auch an dem Relationsbeispiel der Stoffstrombilanz für den US-Markt von Christi (2013, S. 202f.) bestätigt werden,<sup>581</sup> der als Hemmnisse für die

---

<sup>581</sup> Für eine ausführliche Mengenrelation wird auf den oben genannten Autor verwiesen.

Mikraolgenkultivierung die mangelnde Verfügbarkeit von CO<sub>2</sub> und Nährstoffen (Stickstoff und Phosphor) konstatiert. Lösungsansätze können beispielsweise die CO<sub>2</sub>-Extraktion aus der Atmosphäre, die Nutzung von Abwasser als Nährstoffquelle und die Genmanipulation der Alge sein (ebd., S. 203f., 208-210). Als weitere Hemmnisse führt Christi (2013) auf, dass einige Herstellungsverfahren über einen schlechten Wasser-, und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, eine schlechte Energiebilanz sowie hohe Produktions- und Investitionskosten verfügen.<sup>582</sup>

In Zusammenhang mit der Mengenrelation steht die mangelnde Verfügbarkeit großer Produktionskapazitäten. In Anlehnung an eine (nicht repräsentative) Telefonumfrage mit internationalen Herstellern aquatischer Biomasse kann eine maximale Produktionsmenge von 300 t pro Jahr angeboten werden, welches einem Äquivalent von rd. 150 t Algenöl entspricht (EIV 1A, S. 34).<sup>583</sup> Verglichen mit dem deutschen Biokraftstoffverbrauch im Jahr 2015 i. H. v. 3,4 Mio. t (FNR 2015d), ist die oben dargestellte Produktionsmenge marginal. Eine Option zur Erzielung steigender Produktionsmengen und zur Senkung der Kosten sind Skaleneffekte (*economies of scale*). Bezugnehmend auf die Problematik der Mengenrelation, die mit einer mittelfristig progressiven und insbesondere einer exponentiellen Ausweitung der Produktionsmengen einhergehen würde, ist die Verwirklichung von Skaleneffekten mit Vorsicht zu genießen (EIV 1A, S. 34). Mit Blick auf den technologischen Reifegrad der verfügbaren Algenkultivierungssysteme<sup>584</sup> würde eine Produktionsausweitung eine große Flächeninanspruchnahme implizieren (ebd.). Ferner kann nicht abschließend überprüft werden, ob es sich bei den von Systemherstellern angegebenen potenziellen Produktionsmengen um reale Erfahrungswerte oder um hochskalierte Laborwerte handelt: Da die Herstellungsbedingungen und Messmethoden teilweise nicht transparent und öffentlich zugänglich sind, besteht keine Klarheit ob die Algenkultivierungssysteme auch tatsächlich in der Lage sind, die von den Systemherstellern angegebenen Mengen zu produzieren (EIV 4A, S. 13).<sup>585</sup>

Bevor Skaleneffekte erzielt werden können und sollten, ist die Weiterentwicklung und Großskalierung von Photobioreaktoren voranzutreiben. Denn wie die Ausführungen zur ökonomischen Dimension der Unsicherheit zeigen, ist die zentrale Stellschraube zur Erreichung der Wirtschaftlichkeit, insbesondere in den energetischen Nutzungspfaden, die technologische Weiterentwicklung.

---

<sup>582</sup> Der Aspekt des *Life Cycle Assessment* (LCA) wird im nachfolgenden Kapitel vertieft.

<sup>583</sup> Auch Christi (2013, S. 207) bestätigt Einschränkungen in der Algenbiomasse-Produktionstechnologie.

<sup>584</sup> Das gegenwärtig technologisch am weitesten entwickelte Algenkultivierungssystem ist ein *open pond*. Siehe für einen ausführlichen Vergleich der Algenkultivierungssysteme Kapitel 8.5.3.1.

<sup>585</sup> Siehe für eine vertiefende Diskussion zu den Messmethoden und Qualitätsstandards Kapitel 8.5.3.2.

### 8.5.2.3 Ökobilanz

Für die energetischen Nutzungspfade ist eine Gesamtbilanz zu erstellen, die neben den Investitions- und Herstellungskosten, besonders die Mengen und die Kosten externer Energiequellen, die Verfügbarkeit von Licht, Wasser und CO<sub>2</sub> sowie die Kosten und die Verfügbarkeit von Nährstoffen (primär Nitrat, Phosphor, Phosphat und Stickstoff) in die Betrachtung inkludiert (EIV 1A, S. 3f., 7f.). In diesem Sinn wird eine Ökobilanz gefordert, die sich auf die Berücksichtigung der Stoffströme bezieht: „Alle Stoffströme, die mit dem betrachteten System verbunden sind (Rohstoffeinsätze und Emissionen aus Vor- und Entsorgungsprozessen, aus der Energieerzeugung, aus Transporten und anderen Prozessen) sind zu berücksichtigen“ (UBA 2013, o. S.). Da Algen Stickstoff nicht aus der Luft beziehen können, sondern auf eine Zugabe von Nitratdünger angewiesen sind, muss die Düngemittelherstellung ökonomisch quantifiziert werden (EIV 1A, S. 3f., 7f.). Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, dass Dünger auch bei der konventionellen Landwirtschaft zur Lebensmittelherstellung verwendet wird (ebd.). Die Herstellung von Düngemitteln ist teuer und eine vermehrte Nutzung dieser kann zu einer »Tank-Teller-Diskussion« führen, wenn eine Abwägung zwischen der Düngemittelverwendung für die konventionelle Landwirtschaft zur Lebensmittelherstellung auf der einen und zur Mikroalgenkultivierung zur Herstellung von Bioenergieträgern auf der anderen Seite erfolgen würde (ebd.).

Die Aufstellung und Berücksichtigung einer Gesamtbilanz, die auch Nährstoffströme einbezieht, ist zentral für eine umfassende und realitätsnahe Bewertung der A2E-Nutzungspfade und wird gemäß Expertenaussage häufig im Rahmen politischer und wissenschaftlicher Diskussionen vernachlässigt (EIV 1A, S. 9). Es ist hervorzuheben, dass eine ganzheitliche Betrachtung – die Aufstellung einer Gesamtbilanz – gemäß Expertenaussage als ein systemimmanentes Problem adressiert wird, da zumeist Teilbilanzen zugrunde gelegt werden, die nicht die Gesamtheit aller ein- und ausgehenden Ströme einbeziehen und überdies der Bilanzraum nicht klar definiert wird (ebd., S. 23). Dieses Vorgehen ist nicht zulässig und führt in der Konsequenz zu Bilanzierungsfehlern (ebd.) und Schwierigkeiten bei der Vergleichbarkeit in Bezug auf die Herstellung von Bioenergieträgern. Neben einer Bilanz der Stoffströme ist auch eine Energiebilanz aufzustellen (ebd., S. 24, 31). Die Energiebilanz sollte alle Energieflüsse bilanzieren, auch die notwendige Hilfsenergie die z. B. für die Algensuspension benötigt wird. Angeraten wird, einen Photobioreaktor zu verwenden „der am absoluten Minimum für die Mischenergie – pneumatisch zur Blasenenerzeugung bei der Platte und mechanische Pumpenergie beim Rohr – arbeitet“ (Posten/Wilhelm 2016, S. 262). Ein Ansatzpunkt zur Energieeinsparung bei der Algensuspension ist eine dynamische Anpassung des „realen CO<sub>2</sub>-Bedarfs und der Mischintensität an den momentanen Verbrauch, der sich u. a. wegen des sich laufend verändernden Sonnenstandes permanent ändert“ (ebd.).

Im Rahmen einer Ökobilanz ist über die stoffstrom- und energieorientierte Betrachtung hinaus eine medienübergreifende Untersuchung erforderlich, bei der die Gesamtheit der „relevanten potenziellen Schadwirkungen auf die Umweltmedien Boden, Luft, Wasser“ (UBA 2013, o. S.) zu berücksichtigen sind. Dieser Grundsatz der Ökobilanz wurde im Rahmen der Experteninterviews nur einmal erwähnt (EIV 1A). Trotzdem sei an dieser Stelle festzuhalten, dass die (ganzheitliche) Ökobilanz ein wichtiges Bewertungsinstrument zur ganzheitlichen Abschätzung der Umweltauswirkungen, die aus der stofflichen und energetischen Nutzung aquatischer Biomasse resultieren können, ist.



In der wissenschaftlichen Literatur existiert eine Studienvielzahl und -vielfalt Endprodukt- und Kultivierungssystem spezifischer *Life Cycle Assessments* (LCA). Die LCA-Studien zeigen, dass die A2E-Umweltauswirkungen abhängig von der Art der Anbaumaßnahmen, Algenkultivierungsbedingungen, Reaktorkonfigurationen und Algenernteoptionen sind (Zaimes/Khanna 2013, S. 2). Bezogen auf die Umweltauswirkungen und die Energieeffizienz, kommen LCA-Studien infolgedessen zu sehr heterogenen Ergebnissen, auch im Hinblick auf die Frage, ob Algenbiokraftstoffe vor- oder nachteilig gegenüber konventionellen Kraftstoffen zu bewerten sind (Tu/Eckelman/Zimmerman 2017, S. 9423), (Zaimes/Khanna 2013, S. 2). Dieses ist maßgeblich auf die Unterschiede in Bezug auf den Anwendungsbereich (z. B. Systemgrenze, Funktionseinheit), die technologische Bezugnahme auf den Herstellungsprozess (Mikroalgenkultivierungssystem) sowie die Annahmen und Datenquellen zurückzuführen (Tu/Eckelman/Zimmerman 2017, S. 9419). Bedingt durch die zahlreich verfügbaren LCA-Studien und LCA-Meta-Studien, besteht ein Harmonisierungsbedarf, um die Ergebnisse unter gleicher Maßgabe zu bewerten (ebd., S. 9419-9421). Die von Tu/Eckelman/Zimmerman (2017) durchgeführte Meta-Analyse untersucht und harmonisiert 54 LCA-Studien der Jahre 2009 bis 2016 und präsentiert aufbauend auf den Ergebnissen eine harmonisierte Datenbank mit vereinheitlichten Annahmen, Datenquellen und Berechnungsverfahren für jede Herstellungsstufe der Algen-Biokraftstoffe (ebd., S. 9419, 9430). Einen dezidierten Vergleich der Umweltauswirkungen verschiedener Algen-Biokraftstoff-Prozessketten auf Basis der harmonisierten Datenbank steht jedoch noch aus und soll Teil der weiterführenden Studien von Tu/Eckelman/Zimmerman (2017, S. 9430) sein.<sup>586</sup> Bedingt durch die sehr heterogenen Ergebnisse bestehender LCA-Studien kann eine ökologische Vorteilhaftigkeit von Algen-Biokraftstoffen quantitativ nicht gefestigt werden.

Ungeachtet dessen ist an dieser Stelle die mit der Öko- und im engeren mit der Energiebilanz im Zusammenhang stehende externe künstliche Temperierung und Belichtung hervorzuheben. Die Wachstumsrate und damit die Produktionsrate der Mikroalgen, die für eine hohe Biomassekonzentration notwendig ist, ist stark von konstanten Lichtverläufen (Globalstrahlung), konstanten Temperaturverläufen und der Prozesstechnik abhängig (Posten/Wilhelm 2016, S. 263), (FNR 2014, S. 53), (Franz/Posten/Schaub 2012, S. 1182), (Griel et al. 2009, S. 4). Um eine konstante Temperierung künstlich zu erschaffen, eignen sich z. B. die folgenden Maßnahmen:

„temperiertes Gewächshaus, Einbau in künstliche Wasserkörper zur Dämpfung der Tag/Nacht-Temperaturzyklen, Verwendung von das Infrarotlicht reflektierenden Materialien für den Transparentkörper und/oder aktive Kühlung durch Besprühen mit Wasser“ (Posten/Wilhelm 2016, S. 263).

Prinzipiell führt indes jede künstliche Temperierung und externe Lichtquelle zu einer Verschlechterung der Energiebilanz und einer Erhöhung der Kosten (EIV 4A, S. 24), (EIV 3A, S. 10), (Posten/Wilhelm 2016, S. 263). Auch wenn Potenziale zur Kosten- und Energiereduktion bestehen, bleiben ökonomische Unsicherheiten: Wo sind geeignete, sonnenreiche und in großem Ausmaß verfügbare Landflächen, die zur Algenkultivierung genutzt werden können? (EIV 3A, S. 1)

---

<sup>586</sup> Hierfür haben Tu/Eckelman/Zimmerman (2017, S. 9430) bereits ein Excel-Makro-basiertes Werkzeug namens „*Meta-Analysis Tool for Algae Biofuels* (MATAB)“ entwickelt.

#### 8.5.2.4 Standortwahl

Für die Herstellung aquatischer Biomasse zum Zweck der energetischen Nutzung, sind, wie bereits dargestellt, sehr große Flächen notwendig, um eine kritische Menge zu produzieren. Die Flächeninanspruchnahme variiert dabei in Abhängigkeit des Kultivierungssystems. Wie bereits dargelegt, ist die Mikroalgen-Wachstumsrate, die für eine hohe Biomassekonzentration notwendig ist, stark von konstanten Licht- und Temperaturverläufen abhängig. Daher verfügt Deutschland als Standort nicht über die besten Grundvoraussetzungen: „In Mitteleuropa sind im Winter die durchschnittlichen Temperaturen zu niedrig und im Sommer wegen der starken Sonneneinstrahlung zu hoch“ (Posten/Wilhelm 2016, S. 263), dagegen sind die Tageslängen im mitteleuropäischen Sommer größer, welches den Vorteil längerer Betriebszyklen begründet (ebd.). Gleichzeitig „erhoffen sich gerade in den Industrienationen Betreiber von Kohle-, Gas- oder Reststoffkraftwerken eine Verbesserung ihrer CO<sub>2</sub>-Bilanz, indem sie die Rauchgase der Kraftwerke in benachbarte Algenzuchtanlagen einleiten“ (FNR 2014, S. 53).

Geeignete Standorte für die Errichtung von Produktionsanlagen zur Algenkultivierung in großem Maßstab<sup>587</sup> befinden sich gemäß Expertenmeinung vorzugsweise in subtropischen bis tropischen Gebieten wie z. B. in (Süd)Spanien oder Afrika (EIV 3A, S. 7, 20), (EIV 4A, S. 30). Zu den dezidierten Standortvorteilen dieser Regionen zählen „eine konstante Lufttemperatur (...) und/oder eine größere Höhe über dem Meeresspiegel“ (Posten/Wilhelm 2016, S. 263). Dementsprechend wird das Potenzial für die (sub-)tropischen Regionen dieser Erde, besser bewertet, als das Potenzial für Deutschland, welches jedoch stark von der Technologieentwicklung der kommenden Dekaden abhängig ist (EIV 4A, S. 30). Weiterer Forschungsbedarf besteht an dieser Stelle z. B. bezugnehmend auf die Möglichkeit der Entkopplung der Kultivierungsflächen von der geografischen Lage der Nutzung, so dass die Standorte großskalierter Kultivierungssysteme z. B. in (sub-)tropischen Gebieten errichtet werden könnten, die aquatische Biomasse aber vornehmlich in den energetischen Nutzungspfaden hingegen in Deutschland eingesetzt bzw. konsumiert wird. Ferner ist interessant zu untersuchen, bis zu welcher Investitionssumme sich ein mitteleuropäischer Produktionsstandort auf Grund der längeren Sommertage unter der Prämisse der Reaktorstilllegung im Winter rentiert (Posten/Wilhelm 2016, S. 263).

Die über die Entkopplung von Produktions- und Konsumstandort begünstigte Schaffung bzw. Verstärkung von Abhängigkeitsverhältnissen Deutschlands zu anderen Staaten wird gemäß Expertenmeinung tendenziell als unkritisch eingestuft (EIV 3A, S. 7). Da der Großteil des Erdöls und Erdgases nicht in Deutschland gefördert wird, bestehen bereits Abhängigkeitsverhältnisse im Energiesektor. Zudem liegen Teile potenzieller Regionen, die für die Mikroalgenkultivierung interessant sein könnten, in der Europäischen Union, die sowohl politisch als auch ökonomisch mit marginalen Risiken behaftet sind (EIV 3A, S. 7). Deutschland und NRW werden bedingt durch die hohe Flächeninanspruchnahme gemäß Expertenmeinung hingegen keine konzentrierte Rolle bei der geografischen Verteilung potenzieller A2E-Mikroalgenkultivierungssysteme einnehmen (EIV 3A, S. 7, 17, 20), (EIV 4A, S. 30). Sie sind allerdings ein geeigneter Standort für die Algenkultivierung zum Zwecke der stofflichen Nutzung – insbesondere für Hochwertprodukte und in NRW insbesondere für Bulkchemikalien (EIV 3A, S. 7, 17, 20), (EIV 4A, S. 30). Zudem

---

<sup>587</sup> Dieses bezieht sich auf die *interim-value* Stufe der A2X-Innovationskaskade und die Bulkchemikalien im Besonderen (EIV 3A, S. 20).

kann auch das Konzept der Algen-Bioraffinerie für Deutschland und für NRW (EIV 3A, S. 20) sowie das BIQ-Algenhaus in den urbanen Räumen Deutschlands interessant sein (EIV 3A, S. 8), (EIV 2A, S. 1f., 20). Immerhin existiert in NRW ein Stilllegungs- und Brachflächenanteil von 9,5 Tsd. ha (2014) und in Deutschland von 188,6 Tsd. ha (2014) (Statistisches Bundesamt 2014, S. 18).

Ein zentrales Kriterium im Rahmen der Standortfrage von Mikroalgenkultivierungssystemen ist den vorangestellten Ausführungen zur Folge die geografische Nähe zum (maximalen) Sonneneintrag, dem die Nähe zur CO<sub>2</sub>-Quelle untergeordnet ist (EIV 3A, S. 20). Im speziellen Fall des BIQ-Algenhaus, dessen Standort vornehmlich in urbanen Räumen angesiedelt ist, ist die Nähe zu einer CO<sub>2</sub>-Quelle indessen ein entscheidender Standortfaktor (EIV 2A, S. 10). Ferner zählt zu den Standortwahlkriterien das Vorliegen einer Wasserquelle. Wie bereits dargelegt, kann diese in Abhängigkeit der Algengattung aus Süß-, Brack- oder Salzwasser oder, um weitere Synergieeffekte zu erzeugen, auch aus Abwasser bestehen. Anzumerken ist, dass neben der Algenzucht auch für das Kühlsystem von Photobioreaktoren eine Wasserquelle notwendig ist (EIV 3A, S. 19). Die Errichtung von Algenkultivierungssystemen in ariden Klimazonen, wo die Sonneneinstrahlung zwar sehr hoch ist, aber nur geringe Wasservorkommen existieren, wird gemäß Expertenmeinung infolgedessen als ein nicht sinnvoller Standort eingeschätzt, da eine externe Wasserversorgung mit hohen Kosten verbunden ist und sich negativ auf die Gesamtbilanz auswirkt (EIV 1A, S. 30) – außer die Wüste grenzt unmittelbar an ein maritimes Gebiet (EIV 3A, S. 20).<sup>588</sup>

---

<sup>588</sup> Für einen quantifizierten Standortvergleich der Biomasse und Biowasserstoffträge aus der Mikroalgenkultivierung mit Photobioreaktoren wird auf das mathematische Modell von Franz et al. (2012) verwiesen. „Das Modell ist gestützt auf kinetische Ansätze für Biomassewachstum und H<sub>2</sub>-Erzeugung und basiert auf theoretisch maximalen PCEs. Außerdem sind verschiedene Temperaturabhängigkeiten der Kinetik berücksichtigt.“ (Franz/Posten/Schaub 2012, S. 1183)

### 8.5.3 Technologische Dimension

#### 8.5.3.1 Algenkultivierungssysteme

Mikroalgenkultivierungssysteme können in drei Kategorien unterteilt werden: Natürliche Systeme (Seen z. B. Myanmar See), offene Systeme (*open pond*, *raceway pond*) und geschlossene Systeme (z. B. Photobioreaktor (z. B. röhrenförmig, plattenförmig), Medusareaktor, H-Reaktor).<sup>589</sup> Die nachfolgende Gegenüberstellung vergleicht die beiden künstlichen Systeme anhand zentraler Kenngrößen.

**Tabelle 39: Vergleich *raceway pond* und Photobioreaktor**

<i>Raceway pond</i>	Metrik	Photobioreaktor
Niedrig	<i>Capital investment</i>	Hoch
Gut	Skalierbarkeit	Variabel
Viele große Teiche im Betrieb	<b>Technologie-Verfügbarkeit</b>	Nicht im Großmaßstab demonstriert
Hohe (sehr verdünnte Kultur)	<b>Downstream-Prozesskosten</b>	Niedrige (höhere Kulturdichte)
1 g/L	<b>Biomassekonzentration</b>	5 g/L (zukünftig 10 g/L)
Niedrig (offen für invasive Arten)	<b>Sterilität</b>	Hoch (geschlossenes System)
Hoch (Verdampfung)	<b>Wasserverbrauch</b>	Niedriger
Schwankend	<b>Temperatur</b>	Konstant
0,01 MJ/MJ - 0,05 MJ/MJ	<b>Photo Conversion Efficiency</b>	0,1 MJ/MJ (theoretischer Laborwert)

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an EIV 3A (S. 16), Posten/Wilhem (2016, S. 263f.), Davis/Aden/Pienkos (2011, S. 3525).

Wie die eingangs in diesem Kapitel aufgeführte Auflistung zeigt, existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Kultivierungssysteme für die Herstellung von aquatischer Biomasse.<sup>590</sup> Noch hat sich kein Standard-Photobioreaktor etabliert (EIV 1A, S. 10). Offene Produktionssysteme gelten als technologisch ausgereizt, welches geschlossene Photobioreaktorsysteme in das Zentrum des wissenschaftlichen Interesses rücken (EIV 3A, S. 2). Bei den geschlossenen Systemen handelt es sich im Gegensatz zu offenen Systemen um industrielle Prozesse (ebd.). Verglichen mit terrestrischen Pflanzen kann eine Algenkultivierung in einem *open pond* keinen wesentlich höheren Biomassertrag pro Hektar erzielen (ebd.). Die Vorteile aquatischer Biomasse gegenüber der Biomassegewinnung aus terrestrischen Pflanzen (z. B. der höhere Biomassertrag pro Hektar und die Anbaumöglichkeiten in trockenen Regionen)<sup>591</sup> kommen erst bei industriellen Algenkultivierungssystemen (Photobioreaktoren) bedeutsam zur Geltung (EIV 3A, S. 2).

<sup>589</sup> Geschlossene Systeme (Photobioreaktoren) repräsentieren eine Bioreaktorklasse. Für weitere Bioreaktorklassen bzw. -typen (z. B. Rührkessel, Membranreaktor, Schlaufeneraktor, Wirbelschichtreaktor und Festbettreaktor) wird exemplarisch auf Chmiel (2011, S. 197-236) verwiesen.

<sup>590</sup> Gemäß Expertenmeinung bestehen sogar über 100 unterschiedliche Photobioreaktortypen (EIV 1A, S. 11), die im Rahmen dieser Fallstudie allerdings weder flächendeckend identifiziert, noch analysiert werden können. Anzumerken sei an dieser Stelle, dass es auch „Disposable Einweg-Gefäße für Bioreaktoren und Fermenter“ (bbi biotech o. J.b, Hervorhebungen der Verfasserin) gibt, die für einen sterilen Herstellungsprozess der stofflichen Nutzung von EIV 1A (S. 11) positiv bewertet werden.

<sup>591</sup> Siehe für eine vertiefende Darstellung der Vorteile aquatischer Biomasse gegenüber terrestrischer Biomasse Kapitel 8.4.1.

**Tabelle 40: Vergleich eines Rohr- und Plattenreaktors**

	<b>Rohrreaktor (tubular reactor)</b>	<b>Plattenreaktor (plate reactor)</b>
Länge eines Rohres	20 - 200 m	2 - 4 m
Dicke *eines Rohres	*0,03 - 0,06 m	0,02 - 0,05 m
Höhe *des Zaunes	*2 - 5 m	1 - 2 m
Begasungsrate	0,1 - 0,2 LGas/(LMedium min)	0,1 - 0,2 LGas/(LMedium min)
CO <sub>2</sub> -Anteil bei der Begasung	10 - 100 %	5 - 10 %
Fließgeschwindigkeit	0,2 - 0,5 m/s	~
<i>Photo Conversion Efficiency</i> (PCE)	4 - 6 %	3 - 4 %
Volumetrischer Leistungseintrag	150 - 400 W/m <sup>3</sup>	50 - 100 W/m <sup>3</sup>
Biomassekonzentration	2 - 4 kg/m <sup>3</sup>	2 - 4 kg/m <sup>3</sup>
Volumetrische Produktivität	0,8 - 1,5 kg/(m <sup>3</sup> d)	0,4 - 0,8 kg/(m <sup>3</sup> d)

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Posten/Wilhelm (2016, S. 264).

Ein zentrales Kriterium für die Wirtschaftlichkeit ist die Flächenproduktivität, da mit zunehmender Flächeninanspruchnahme ein Kostenanstieg verbunden ist und die Systemkosten ein maßgebliches Bewertungskriterium darstellen (EIV 4A, S. 11). Die effektiv nutzbare Produktionsfläche ist zur Hochskalierung des Systems wichtig, „um in einem wirtschaftlichen Bereich zu bleiben“ (ebd.).

„Für Photobioreaktoren, die nur mit Sonnenlicht betrieben werden, ist – unabhängig von der genauen Reaktorgeometrie – die pro Fläche eingestrahlte Sonnenenergie der entscheidende Wert. (...) Werte für die Flächenproduktivität von 20 g/(m<sup>2</sup> d) können üblicherweise erreicht werden; höhere Werte von bis zu 50 g/(m<sup>2</sup> d) sind zeitweise unter idealen Bedingungen möglich.“ (Posten/Wilhelm 2016, S. 261f.)

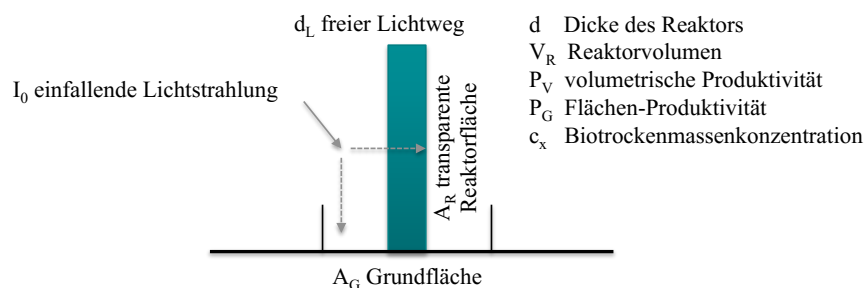
Ein Experte schlägt neben dem Indikator der Herstellungskosten den Indikator der Raum-Zeit-Ausbeute vor, der ebenfalls in der chemischen Industrie verwendet wird (EIV 1A, S. 7, 10). Die Raum-Zeit-Ausbeute ist eine volumetrische Größe, welche die Produktion (gebildete Biomasse als Trockengewicht) pro Zeiteinheit in einer Volumeneinheit (Gramm pro Liter pro Stunde) angibt (EIV 1A, S. 7, 10), (Posten/Wilhelm 2016, S. 261). „Ein hoher Wert signalisiert einen intensiven Betrieb des Reaktors. (...) Im Labor werden standardmäßig bei mittleren Biomassekonzentrationen volumetrische Produktivitäten von 1 g/(L d) erreichbar.“ (Posten/Wilhelm 2016, S. 261) Problematisch ist der Vergleich in Bezug auf den Lichteinfall, da dieser flächenbezogen gemessen wird – außer es handelt sich um eine volumetrische Beleuchtung (EIV 1A, S. 7, 10).

Wie die Experteninterviews zeigen, reichen für eine ganzheitliche Bewertung der Kultivierungssysteme als Innovationsinvestition, die in der einschlägigen Literatur verwendeten Leistungskriterien (Biomassekonzentration, Produktivität, PCE)<sup>592</sup> nicht aus. Zudem bedarf es einer Diskussion grundsätzlicher Konstruktionsmerkmale, welche gleichzeitig die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Kultivierungssystems adressieren und den technologischen Weiterentwicklungsbedarf implizieren.

<sup>592</sup> In einer vereinfachten Form kann beispielsweise für Biodiesel eine hohe Produktivität attestiert werden, wenn der Liter-Öl Gehalt pro Hektar bzw. der Kubikmeter-Öl Gehalt pro Hektar hoch ist und gleichzeitig der Flächenverbrauch (Quadratmeter pro Kilogramm Biomasse bzw. pro Liter Öl) gering ist (EIV 1A, S. 31).

Mit dem Ziel, dass jede Alge ausreichend Licht erhält und damit eine Gradientenbildung vermieden wird, ist die Algensuspension d. h. die Verwirbelung und die Strömung ein zentrales Kriterium (EIV 4A, S. 10), (Posten/Wilhelm 2016, S. 259). Die Mischzeiten und -richtungen unterscheiden sich in Abhängigkeit der Bioreaktorform und sind sowohl an der Richtung der Strömung als auch am Lichtgradienten auszurichten (Posten/Wilhelm 2016, S. 259). Für die Algensuspension muss allerdings „Hilfsenergie (...) zum Mischen, Begasen und Transportieren der Suspension“ (ebd., S. 260) bereitgestellt werden, die zu einer schlechteren Energie- und Kostenbilanz führt (ebd.). Im Zusammenhang mit der Algensuspension ist eine optimale Lichtverdünnung, d. h. ein optimales Verhältnis zwischen Licht und Schatten zu erzielen, welches auf das Kriterium der Lichtverhältnisse und damit der Lichtverfügbarkeit verweist (EIV 3A, S. 16), (EIV 4A, S. 11). Die nachfolgende Abbildung skizziert die zentralen Parameter der optimalen Lichtverdünnung am Beispiel eines plattenförmigen Reaktors.

**Abbildung 61: Kenngrößen Photobioreaktor**



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Posten/Wilhelm (2016, S. 258).

Für den Lichteintrag eines Photobioreaktors ist das Verhältnis zwischen Reaktorfläche und Reaktorvolumen ( $A_R/V_R$ ) entscheidend (Posten/Wilhelm 2006, S. 258). „Je höher dieser Wert ist, um so gleichmäßiger kann sich das Licht im Volumen verteilen.“ (ebd.) Die Lichtverdünnung kann über das Verhältnis der transparenten Reaktoroberfläche und der Reaktorgrundfläche ( $A_R/A_G$ ) erhöht und über „die vertikale Höhe und/oder durch lichtleitende Einbauten“ (ebd., S. 259) optimiert werden. Da das Licht beim „Durchgang durch die Algensuspension durch Absorption und Streuung (exponentiell) ab[nimmt]“ (ebd.), kann nur ein bestimmter Lichtanteil die gegenüberliegende Photobioreaktorseite erreichen (ebd.). Der Lichtweg  $d_L$  bezeichnet die Strecke, die das Licht auf dem Weg durch den Photobioreaktor zurücklegt (ebd.).

„Je niedriger dieser Wert ist (...), desto höhere Biomassekonzentrationen können erreicht werden, ohne dass eine zu große Dunkelzone entsteht. Für die genannten Parameter muss ein Kompromiss gefunden werden, da bei höherer Lichtverdünnung und kürzeren Lichtwegen der Materialaufwand steigt.“ (Posten/Wilhelm 2016, S. 258f.)

Welche Bioreaktorform die beste Lichtverfügbarkeit darbietet, wird von den Experten unterschiedlich bewertet: Gemäß EIV 3A (S. 16) kann sich das Sonnenlicht in röhrenförmigen Reaktoren am besten über die Oberfläche verteilen; gemäß EIV 1A (S. 10) bieten plattenförmige Reaktoren, die eine große Fläche im Verhältnis zum Volumen vorweisen, eine gute Lichtversorgung der Algen – allerdings unter Inkaufnahme strömungsmechanischer Nachteile. Ferner könnten auch die klassischen, sehr gut erforschten Rührkessel zur Algenkultivierung für die energetischen Nutzungspfade verwendet wer-

den, sofern sie z. B. mit Leuchtdioden (LED) beleuchtet werden (EIV 1A, S. 10). Für die energetischen Nutzungspfade ist eine externe Beleuchtung mit LED aber nicht sinnvoll, da sonst aus einer Energiegewinnungs- eine Energievernichtungsanlage wird (EIV 3P, S. 9). Denn wie bereits dargestellt, führt jede künstliche Temperierung und externe Lichtquelle prinzipiell zu einer Verschlechterung der Energiebilanz und einer Erhöhung der Kosten. Ein weiteres Kriterium kann die verfahrenstechnische CO<sub>2</sub>-Hinzugabe sein: Eine übermäßige Blasenbildung bei der CO<sub>2</sub>-Zugabe könnte die Systemfunktionalität und optimalen Kultivierungsbedingungen beeinträchtigen.

Speziell für geschlossene Photobioreaktorsysteme ist die Langlebigkeit des Reaktors unter konstanten Qualitätsstandards ein zentrales Bewertungskriterium (EIV 4A, S. 11). Damit geht die Frage einher, wie häufig der Reaktor ausgetauscht werden muss (ebd.) und impliziert als Bewertungskriterium die Wartungshäufigkeit und die damit verbundenen direkten und indirekten Kosten. In diesem Zusammenhang ist das Material, aus dem der Photobioreaktor besteht, und dessen Haltbarkeit elementar (ebd.).

Ein Photobioreaktor kann aus Glas oder aus Kunststoff (z. B. Polyvinylchlorid, Polyethylen, Polycarbonat, Polyacryl, Polysiloxane) gefertigt sein (EIV 1A, S. 6), (EIV 2A, S. 19), (EIV 3A, S. 16), (EIV 4A, S. 11), (Posten/Wilhelm 2016, S. 260). Da davon ausgegangen wird, dass Glas teurer ist als Kunststoff, hat die Wahl des Materials wiederum Auswirkungen auf die Systemkosten (EIV 4A, S. 11), (EIV 3A, S. 12), so dass Glas eher bei *high-value* Produkten der stofflichen Nutzungspfade verwendet wird (Posten/Wilhelm 2016, S. 260).<sup>593</sup> Zudem ist die Handhabung und Verarbeitung von Glas schwieriger (Posten/Wilhelm 2016, S. 260): Glas ist schwerer als Plastik, es hat eine geringere Biegefestigkeit und die Schlagfähigkeit von Glas ist begrenzt, so dass Glas verglichen mit Kunststoff eine höhere Bruchwahrscheinlichkeit aufweist (EIV 3A, S. 13), (EIV 1A, S. 6). Glas weist dagegen eine höhere Haltbarkeit und damit eine höhere Beständigkeit auf (EIV 2A, S. 19), sowie „eine höhere Standzeit in Hinblick auf Trübung durch UV-Licht oder Oberflächenschäden durch Staub“ (Posten/Wilhelm 2016, S. 260). Kunststoff kann bedingt durch die Kräfteinwirkungen zu Verformungen neigen, die wiederum zu Knickstellen und Rissbildungen führen können, was letztlich in einem unkontrollierten Austreten der Biomasse resultieren kann (ebd.). Daher wird in der Kategorie der Kunststoffe „[w]egen der hohen Festigkeit, Reinigbarkeit und Wetterbeständigkeit (...) Polycarbonat (PC) bevorzugt“ (ebd.). Abschließend ist an dieser Stelle die Ästhetik des Materials anzufügen, die im Speziellen Fall des BIQ-Algenhauses eine zentrale Rolle beim Einfügen in das Stadtbild spielt, so dass beim BIQ-Algenhaus die Materialwahl auf Glas fiel (ebd.).

Sofern eine (vorgelagerte) stoffliche Nutzung der Algenbiomasse vorgesehen ist, ist die Einhaltung der Leitlinien „Guter Herstellungspraxis“ (GMP – *Good Manufacturing Practice*)<sup>594</sup> unabdingbar. Dieses gilt im Besonderen für die stoffliche Nutzung im Pharma- und Lebensmittelbereich. Zwar sind Feinchemikalien nicht direkt in den GMP-Leitlinien adressiert, eine Sterilität ist gleichwohl im Hinblick auf die Vermeidung unerwünschter Nebenprodukte und zur Sicherung der Qualitätsansprüche zu wahren. (EIV 1A, S. 6), (EIV 3A, S. 21)

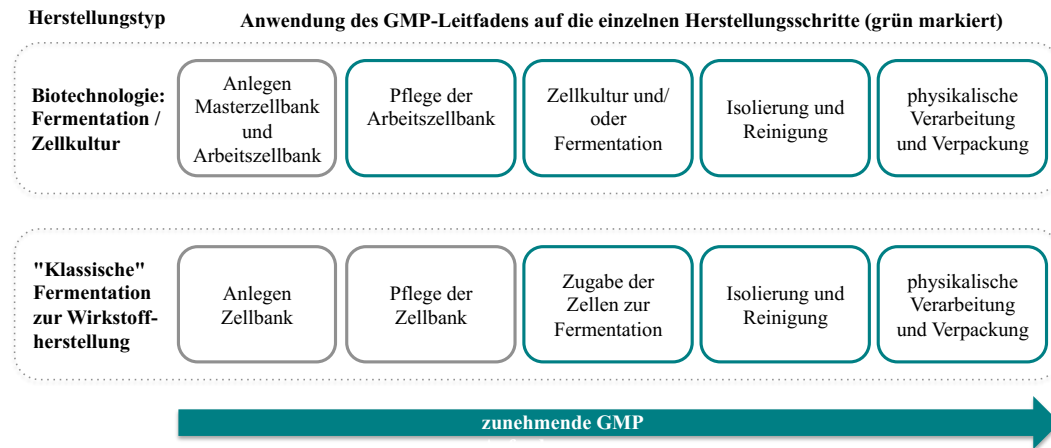
---

<sup>593</sup> Anzumerken ist, dass Hersteller von Glasröhrenreaktoren hingegen auf niedrigere Kosten verglichen mit ähnlichen Kunststofflösungen hinweisen (bbi biotech o. J.a).

<sup>594</sup> Siehe EG-GMP Leitfadens „*EudraLex - Volume 4 - Good Manufacturing Practice (GMP) guidelines Part II*“ (Europäische Kommission 2014) bzw. die Bekanntmachung des Bundesministeriums für Gesundheit zu § 2 Nr. 3 AMWHV vom 21.04.2015, in der deutschen Übersetzung (BMG 2015).

Die Anwendung der GMP-Leitlinien ist abhängig vom Herstellungstyp und nimmt mit zunehmender Wertschöpfungsstufe zu, welches die nachfolgende Abbildung für die zwei zentralen Herstellungstypen im stofflichen Nutzungspfad aquatischer Biomasse zeigt.

Abbildung 62: Anwendungsgebiet GMP-Leitlinien



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an BMG (2015, S. 6).

Dabei werden an Wirkstoffe, die mit Hilfe von Zellkulturen/Fermentation hergestellt werden, zusätzliche Anforderungen gestellt (BMG 2015, Kapitel 18). In Anlehnung an die GMP-Leitlinien muss es sich bei der Fermentation um ein steriles Herstellungsverfahren handeln das fremdkeimfrei ist (EIV 1A, S. 6). Eine Kontamination<sup>595</sup> ist zu vermeiden und bei genetisch veränderten Algen ist der Biomasseaustritt aus dem Reaktor zu verhindern (ebd.). Die Wahl des Materials, aus dem ein Photobioreaktor zu fertigen ist, geht bedingt mit dem hohen Anspruch an Sterilisierbarkeit und Dichtigkeit mit der Wahl des bzw. der Nutzungspfade einher. Sofern der energetischen Verwendung aquatischer Biomasse ein stofflicher Nutzungspfad vorangestellt wird, ist ein steriles Herstellungsverfahren notwendig. „Fermenter die im Sterilbereich eingesetzt werden (...) [sind] eine hochwertige verfahrenstechnische Entwicklung“ (ebd.), die im Gegensatz zu nicht sterilen und insbesondere offenen Produktionssystemen folglich mit höheren Investitions- und Betriebskosten verbunden sind (ebd.). Für einen sterilen Photobioreaktor sind die zentralen Merkmalskriterien für die Materialwahl die Lichtdurchlässigkeit, Druckstabilität und eine Wärmebeständigkeit von über 121 °C (ebd.).

Abschließend ist anzumerken, dass neben der Wahl eines geeigneten Kultivierungssystems ein zentraler Einflussfaktor für eine optimale Algenkultivierung in der Standardisierung und Kontrolle der Betriebsbedingungen liegt, da die Wachstumsraten von Mikroalgen an bestimmte Bedingungen geknüpft sind (EIV 2A, S. 13).

<sup>595</sup> Gemäß BMG (2015, S. 32) wird der Begriff der Kontamination wie folgt definiert: „Das unerwünschte Einbringen von Verunreinigungen chemischer oder mikrobiologischer Natur oder von Fremdstoffen in oder auf Rohmaterialien, Zwischenprodukten oder Wirkstoffen während der Produktion, Probenahme, Verpackung oder Umverpackung, Lagerung oder dem Transport.“



### 8.5.3.2 Einheitliche Berechnungs- und Qualitätsstandards

Eine weitere Herausforderung, die mit der technologischen Unsicherheitsdimension verbunden ist, besteht in der Vergleichbarkeit und öffentlichen Zugänglichkeit (Transparenz) von Forschungsergebnissen. Damit Investitionen stärker in die Forschung, Entwicklung und Herstellung von A2E fließen, ist die Flankierung von Rahmenbedingungen im Sinn einer Zugrundelegung von einheitlichen Qualitätskriterien und -maßstäben für die Messung und Bewertung der Biomasseproduktion erforderlich (EIV 4A, S. 28f.), (EIV 2A, S. 12f.). Die bisweilen veröffentlichten Ergebnisse, die für Kultivierungssysteme zur Herstellung aquatischer Biomasse dargelegt werden, sind auf Grund unterschiedlicher Darreichungsformen, die aus einem Konglomerat diverser Parameter, Einheiten und Maßstäbe bestehen, nur schwer zu vergleichen (EIV 4A, S. 28), (EIV 1A, S. 7).<sup>596</sup> So wird beispielweise die Produktivität in Quadratmeter, Kubikmeter, Hektar oder auch Raum-Zeit-Ausbeuten präsentiert (EIV 4A, S. 28), (EIV 1A, S. 7). Eine notwendige Voraussetzung zur Entwicklung von Qualitätskriterien sind definierte und kontrollierte Produktionsbedingungen, die wiederum die Verfügbarkeit von Produktionssystemen erfordern (EIV 2A, S. 12). Produktionssysteme werden in diesem Fall als geschlossene Reaktorsysteme verstanden, da im Gegensatz zu ihnen in offenen Systemen (*open ponds*), primär auf Grund der mangelnden Abschottung von Umweltbedingungen, keine (nahezu vollständig) definierbaren und kontrollierbaren Bedingungen geschaffen werden können. Für die Weiterentwicklung der stofflichen Nutzungspfade (z. B. Lebensmittel, Futtermittel und (Grund-)Chemikalen) sind definierbare und kontrollierte Produktionsbedingungen unumgänglich. Als erste Leistungskriterien werden die in der Tabelle 40 zum Vergleich der beiden Photobioreaktoren zugrundegelegten Kriterien und Einheiten nach Posten/Wilhelm (2016), erweitert um die Herstellungskosten (EIV 1A, S. 7, 10) pro volumenspezifischer Produktivitätseinheit sowie eine Gesamtbilanz, die eine Stoff- und Energiebilanz inkludiert, vorgeschlagen.

Zwar existieren wissenschaftlich anerkannte allgemeine Berechnungsgrundsätze (EIV 2A, S. 13), hinsichtlich der Offenlegung der Produktionsparameter und -bedingungen sowie der (Hoch-)Skalierung und Darreichung der Forschungsergebnisse existieren hingegen weitläufige Freiheitsgrade.<sup>597</sup> Zur Lösung der Transparenz- und Vergleichbarkeitsproblematik können die folgenden drei Ansätze beitragen. Die Einführung einer Norm (z. B. DIN-Norm)<sup>598</sup>, in der die Qualitätskriterien und -maßstäbe für die Messung und Bewertung der Biomasseproduktion in Algenkultivierungssystemen verbindlich geregelt werden, kann zur Transparenz und Vergleichbarkeit beitragen (EIV 4A, S. 29f.). Zweitens kann eine Erhöhung der Nachprüfbarkeit mit der Präsentation des FuE-Standes über Pilot- und Demonstrationsanlagen in der Öffentlichkeit, einen Beitrag

<sup>596</sup> Einzelne Algenarten sind gemäß Expertenmeinung in der wissenschaftlichen Literatur hingegen gut charakterisiert und taxonomisch klassifiziert (EIV 1A, S. 7).

<sup>597</sup> Dieses bestätigt u. a. auch das MWK (2013, S. 54): „Kritisch im Bereich der öffentlichen Wahrnehmung ist die Wirtschaftlichkeit der Prozesse, die oft auf kleinskaligen Laboranlagen mit nicht optimierten verfahrenstechnischen Einheiten basiert.“

<sup>598</sup> „DIN-Normen sind das Ergebnis nationaler, europäischer oder internationaler Normungsarbeit. Jeder kann die Erstellung einer Norm beantragen. Normen werden von Ausschüssen bei DIN, bei den europäischen Normungsorganisationen CEN/CENELEC oder bei den internationalen Normungsorganisationen ISO/IEC nach festgelegten Grundsätzen, Verfahrens- und Gestaltungsregeln erarbeitet. (...) Normen entstehen im Konsens. Das bedeutet, die Experten verständigen sich unter Berücksichtigung des Standes der Technik auf eine gemeinsame Version der Inhalte, die versucht, alle Interessen der Beteiligten zu berücksichtigen und Gegenargumente auszuräumen. DIN-Normen werden spätestens alle fünf Jahre auf Aktualität überprüft. Entspricht eine Norm nicht mehr dem Stand der Technik, so wird ihr Inhalt überarbeitet oder die Norm zurückgezogen.“ (DIN o. J.)

leisten, die Transparenz gegenüber einer Vielzahl von Akteuren zu fördern, indem die Machbarkeit im Sinn der technischen Umsetzung demonstriert wird (EIV 1A, S. 14), (EIV 2A, S. 14f.). Dieses würde gleichzeitig die Institutionen und Unternehmen stärker in die Pflicht nehmen und zu einer Erhöhung der Bewertungsstrenge führen (EIV 2A, S. 14), (EIV 1A, S. 14). Drittens können ein kontinuierliches Monitoring und eine Evaluation helfen, die Nachprüfbarkeit zu stärken und die Vergleichbarkeit zu erhöhen, sofern sie an objektiven Bewertungsrichtlinien ausgerichtet sind und von externen Experten durchgeführt werden (EIV 2A, S. 15).<sup>599</sup>

Insgesamt kann festgehalten werden, dass in der aquatischen Biomasseherstellung Langzeiterfahrungen bestehen, die maßgeblich auf dem stofflichen Nutzungspfad beruhen. Diese Erfahrungen konnten bisweilen aber weder in Langzeitstudien, noch in internationalen Vergleichsstudien zu Kultivierungssystemen wissenschaftlich aufbereitet werden (EIV 4A, S. 13, 28). Einhergehend mit der zuvor beschriebenen Transparenz- und Vergleichbarkeitsproblematik besteht die Herausforderung über einen langen Zeitraum, unter definierten Kultivierungsbedingungen, eine konstante Biomasseproduktion zu erzielen, die einer bestimmten Qualität genügt (EIV 2A, S. 13). Erst wenn Studien, die diesen Ansprüchen entsprechen, in ausreichender Anzahl öffentlich zugänglich vorliegen, ist eine fundierte und unabhängige Bewertung der einzelnen Mikroalgenkultivierungssysteme möglich.

#### 8.5.3.3 Forschungsbedarf

Abschließend ist bei der technologischen Dimension der Unsicherheit auf den bevorstehenden Forschungsbedarf einzugehen, den die Experten als Optimierungspotenzial skizziert haben. Vorweggenommen sei, "wenn es (...) gelingt, die Algenfermentation mit gleicher Zelldichte und gleicher Wachstumsgeschwindigkeit wie in der bakteriellen / klassischen Biotechnologie zu erreichen" (EIV 1A, S. 10), dann ist der FuE-Barf weitgehend abgeschlossen. Solange dieses nicht möglich ist, besteht die Notwendigkeit der Produktivitätssteigerung über einzelne technologische Stellschrauben, die auf Basis der Experteninterviews EIV 3A (S. 9, 13f.) und EIV 4A (S. 15, 18) in der nachfolgenden Liste zusammengefasst sind.

- Verbesserung der Lichtverfügbarkeit;
- Kontinuierlicher Betrieb des Photobioreaktors und damit eine bessere Anlagenkapazitätsauslastung;
- Verbesserung der Wärmezufuhr;
- Wiederverwendung von Restwärme und Infrarot;
- Weiterentwicklung der Mikroalgenkultivierung (Systeme, Reaktoren, Zentrifugen, Sterilität);
- Kultivierungsbedingungen (Nährstoffzufuhr, Algen-*screening*);
- Akkumulation der Lipide ausbalancieren;
- Kosten- und Energiereduktion in den *downstream*-Prozessen (Ernte, Aufschluss der Zelle, Extraktion).

---

<sup>599</sup> Für etablierte Evaluations-Standards wird auf die Standards der Deutschen Gesellschaft für Evaluation verwiesen (DeGEval 2008, 2002).

Unter Bezugnahme auf die Diskussion zum Einsatz gentechnisch veränderter Organismen (GVO) in Kapitel 8.5.1, kann zur Herstellung von *low-cost* Produkten (Bioenergieträger) eine Optimierung der Mikroalgenbiologie durch genetische und metabolische Verfahren erforderlich sein (Christi 2013, S. 201), (Christi 2007, S. 304), um die Produktivitätsraten zu erhöhen und konkurrenzfähige Produkte herstellen zu können. In Deutschland warnt das Institut für unabhängige Folgenabschätzung in der Biotechnologie (Testbiotech 2010a, 2010b) jedoch vor genveränderten Algen zur Herstellung von Biokraftstoffen, auf Grund der unkontrollierbaren Risiken für die Umwelt, auch bei der Kultivierung in geschlossenen Photobioreaktoren.

#### **8.5.4 Soziale Dimension**

Die soziale Dimension der Unsicherheit wurde in den geführten Interviews von den Experten lediglich am Rand thematisiert. Wie bereits in Kapitel 8.2.3 angemerkt, kommt den (Massen-)Medien ein besonderer Stellenwert zu, die Akzeptanz in der Bevölkerung gegenüber Bioenergieträgern auf Basis aquatischer Biomasse zu verstärken bzw. im negativen Fall zu hemmen (EIV 4A, S. 22). Als ein hemmendes Beispiel wird die angstsüchrende Medienberichterstattung zur Einführung des Biokraftstoffs E10 aufgeführt (ebd.), welches auch u. a. die Automobilwoche (2014) bestätigt. Prof. Ludwig Eichinger, Direktor des Instituts für deutsche Sprache, sieht als Begründung für die Verunsicherung der Verbraucher die „Wahl der Schlüsselbegriffe und des Namens“ (VDS 2011, o. S.), im Speziellen der Begriff der „E10-Verträglichkeit“ (ebd.) hat maßgeblich dazu beigetragen und wurde über die Medienberichterstattung verstärkt.

Im Hinblick auf das BIQ-Algenhaus besteht gemäß Expertenmeinung grundsätzlich eine Akzeptanz und Zufriedenheit, allerdings sehe die Gesellschaft noch keinen Mehrwert, welches das Ausbleiben eines Aktionismus spiegelt (EIV 2A, S. 20). Bei den A2E-Nutzungspfaden in Gänze kann hingegen noch keine große Akzeptanz und kein großes Vertrauen festgestellt werden, wie es bei anderen erneuerbaren Energiequellen und -trägern der Fall ist (EIV 4A, S. 25). Begründet wird dieses mit der Jugend der Technologie und der marginalen Kundgebung in der Öffentlichkeit (ebd.). Hier besteht noch Handlungsbedarf (ebd.) und gleichzeitig eine Handlungsmöglichkeit, die Nutzung aquatischer Biomasse positiv und medienwirksam zu etikettieren.

## 8.6 Vision

Visionär betrachtet, ergeben sich aus den Experteninterviews vielfältige Zukunftsbilder für die Algenbiotechnologie im Jahr 2050. Die Marktstellung im Lebensmittel- und Futtermittelbereich wird im Jahr 2050 gestärkt sein (EIV 4A, S. 29), (EIV 2A, S. 21) und Neben-, Abfall- und Reststoffe der aquatischen Biomasseproduktion werden eine übergeordnete Rolle bei der Herstellung von algenbasierten Bioenergieträgern (im Speziellen bei der Produktion von Biodiesel) einnehmen (EIV 4A, S. 29), (EIV 3A, S. 8). Dabei bleiben die Grenzen der stofflichen und energetischen Nutzungspfade in ihrer zeitlichen Folge bestehen: Ein gleichzeitiger, massiver Ausbau in ambitionierten Maßstäben wird bedingt durch die Mengenrelation auch langfristig nicht möglich sein (EIV 3A, S. 8). Es bedarf zunächst der Voranstellung der ersten Stufen der A2X-Innovationskaskade der Algen-Bioraffinerie (Herstellung von *high-value* und *interim-value* Produkten bei gleichzeitiger Verwertung der Restalgenbiomasse in einer Biogasanlage (Biomethanherstellung)). Erst über eine anwendungsorientierte Technologie(-weiter-)entwicklung, die mit einer Erhöhung der Anlagenskalierung verbunden ist, eine ausgeglichene und nachhaltige Energie- und Gesamtbilanz sowie die Umsetzung von Lern- und Skaleneffekten inkludiert, kann die zweite Stufe der A2X-Innovationskaskade (Herstellung von *low-cost* Produkten in den energetischen Nutzungspfaden) erreicht werden: Visionär betrachtet, könnte die Algenbiotechnologie im Jahr 2050 einen essenziellen Beitrag zur Herstellung von algenbasierten Bioenergieträgern und damit zur Dekarbonisierung des Energiesystems leisten.

In einem anderen Zukunftsbild wird zwar der Lebensmittel- und Futterbereich im Jahr 2050 zentral auf Algenbasis ausgelegt sein (EIV 2A, S. 21), (EIV 4A, S. 29), die energetischen Nutzungspfade werden allerdings erst für das Jahr 2100 als eine tragende Säule des Energiesystems gesehen (EIV 2A, S. 21). Dieses Zukunftsbild basiert auf der Annahme, dass bei zunehmender Reduktion des Energieverbrauchs ein nahezu auf 100 % erneuerbaren Energien basierendes Energiesystem<sup>600</sup> auch ohne A2E sichergestellt werden kann<sup>601</sup> (ebd., S. 21f.). Zudem wird angenommen, dass in diesem Zukunftsbild die Energieversorgung keinen zentralen Stellenwert im Jahr 2050 einnehmen wird (ebd.). Vielmehr werden bedingt durch das stetige Bevölkerungswachstum Versorgungsprobleme mit Nahrungsmitteln und die Urbanisierung auf der einen Seite sowie veränderte Ökosysteme und die Auswirkungen des Klimawandels auf der anderen Seite zu den zentralen gesellschaftlichen Herausforderungen zählen (ebd.). Erst wenn in rund 100 Jahren A2E eine tragfähige Wirtschaftlichkeit frei von Förderung und Subvention attestiert werden kann, ist selbige gemäß Expertenmeinung eine interessante Option (ebd.). In diesem Zukunftsbild werden Mikroalgen im Jahr 2050 einen bedeutenden Einfluss in der Defossilisierung des urbanen Raums und der Stadtentwicklung, besonders für Mega-Städte einnehmen, so können z. B. Bioreaktor-Fassaden (BIQ-Algenhaus) Wärme als Nebenprodukt aus den Kultivierungssystemen nutzen, um in diesem Bereich fossile Energie(-träger) und CO<sub>2</sub>-Emissionen einzusparen (ebd., S. 20-22).

---

<sup>600</sup> So würden im Jahr 2050 gemäß diesem Zukunftsbild Kraftfahrzeuge mit Gas betrieben werden oder elektrisch fahren, z. B. Autos mit PV-Anlagen auf dem Dach (EIV 2A, S. 21).

<sup>601</sup> Kritisch anzumerken ist an dieser Stelle jedoch, dass mit aquatischer Biomasse neben Biodiesel auch andere Bioenergieträger wie z. B. Biowasserstoff und Biomethan hergestellt werden können, die auch zu einem nahezu 100 % erneuerbaren Energien Szenario beitragen würden. Dieser potenzielle Beitrag der aquatischen Biomasse in einem nahezu 100 % auf erneuerbaren Energien beruhenden Energiesystem wird von dem Experten an dieser Stelle jedoch indirekt ausgeklammert.

## 8.7 Zwischenfazit: Zentrale Lerneffekte für Geschäftsmodellinnovationen (*within-case* Analyse)

Aus der Fallstudienanalyse kann abgeleitet werden, dass die Entwicklung und Etablierung von A2X-Geschäftsmodellen vorwiegend für die energetischen Nutzungspfade eine zentrale Herausforderung darstellt. In Kapitel 4.4 wurde festgehalten, dass ein Geschäftsmodell aus den zentralen Elementen: Nutzenversprechen, Kundensegment, Wertschöpfungskette, Ertragsmechanik, Partner, Vision, Führung, sowie dem Beziehungsgeflecht zwischen Geschäftsmodell und der Wertschöpfung (Wertgenerierung und Sicherung des geschaffenen Wertes) besteht.

Für eine Auswahl stofflicher Nutzungspfade existieren bereits tragfähige Geschäftsmodelle, wie z. B. für pharmazeutische Produkte, Kosmetika, Feinchemikalien und Nahrung(-ergänzungs-)mittel. Als ein kurzfristig zur wirtschaftlichen Tragfähigkeit führendes Geschäftsmodell wird die Herstellung von *high-value* Produkten und die Verfütterung der Restbiomasse in Aquakulturen gehandelt (EIV 3A, S. 4). Mittelfristig wird die Produktion von Bulkchemikalien in ein Geschäftsmodell transferiert werden können, dafür sind aber noch konkrete Produktvorschläge notwendig (EIV 3A, S. 22), (EIV 1A, S. 18), d. h. das Geschäftsmodell-Element des Nutzenversprechens muss zunächst (re-)formiert werden. Die Annahme wird von einem Experten (EIV 3A, S. 22) bestätigt, dass z. B. für Kunststoff auf Algenbasis eine Mehrzahlungsbereitschaft der Kunden generiert werden kann. Da es sich in diesem Fall um ein B2B-Geschäft<sup>602</sup> handelt, geht der Experte davon aus, dass grundsätzlich zwar eine Mehrzahlungsbereitschaft bestehen könnte, der Aufpreis allerdings an den Endkonsumenten weitergegeben werden würde (ebd.).

Ein Geschäftsmodell, welches mittelfristig eine wirtschaftliche Tragfähigkeit verspricht, ist die Algen-Bioraffinerie, bei der eine Kopplung der stofflichen und energetischen Wertschöpfungskette vollzogen wird. Die Kopplung der Wertschöpfungsketten kann unterschiedliche Intensitäten aufweisen, wie bereits in Kapitel 8.3 veranschaulicht. Von den Experten wird dabei als potenzielles Geschäftsmodell die gekoppelte Herstellung von *high-value* Produkten wie z. B. ungesättigten Fettsäuren für den Lebensmittelmarkt und der Verwertung der Restbiomasse in einer Biogasanlage diskutiert (EIV 3A, S. 4).

Zur Entwicklung von Geschäftsmodellen in der zweiten Stufe der A2X-Innovationskaskade (energetische Nutzungspfade) sind gemäß Expertenmeinung Pilot- und Demonstrationsanlagen von zentraler Bedeutung. Über diese kann die Machbarkeit präsentiert werden, um letztlich auch weitere Forschungsgelder zu akquirieren (EIV 3A, S. 4). Außerdem können so technologische Fortschritte erzielt werden, die aus dem Labormaßstab hinausreichen und zur Hochskalierung und damit wirtschaftlichen Tragfähigkeit der Anlage beitragen.

Im Wirkungsgefüge der Unterkategorien der ökonomischen Unsicherheitsdimension adressieren die Geschäftsmodellinnovationen die Neuerung des Nutzenversprechens und der Ertragsmechanik. Im Fokus steht indes das Beziehungsgeflecht zwischen dem Geschäftsmodell und der Wertschöpfung (Wertgenerierung und Sicherung des geschaffenen Wertes). Bedingt durch die schlechte Energie- und Stoffbilanz, die auch eine schlechte Wirtschaftlichkeit reflektiert, besteht das zentrale Hemmnis zur Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle in der technologischen Weiterentwicklung der Anlagen. Die zentrale

---

<sup>602</sup> B2B (*Business-to-Business*) beschreibt die Geschäftsbeziehung zwischen Unternehmen.

Herausforderung im energetischen Nutzungspfad der Mikroalgenbiotechnologie besteht damit in der Kostendegression auf der einen und der Senkung der *input*-Energie auf ein Minimumniveau – hin zu einer Energieneutralität – auf der anderen Seite (EIV 3A, S. 15).

Überdies besteht die Herausforderung, das bestehende Engagement sowohl in der Industrie, als auch im Rahmen der öffentlichen Förderung auf einem hohen Niveau beizubehalten (EIV 3A, S. 21): Wie bereits in Kapitel 8.2 kritisch angemerkt wurde, erfolgt die A2E-Förderung verstärkt über das Biodiesel-Siegel, so dass Projekte, die sich zwecks der Technologienentwicklung in der ersten Stufe der A2X-Innovationskaskade (Algen-Bioraffinerie) befinden, teilweise mit Schwierigkeiten konfrontiert sind, finanzielle Forschungs- und Projektförderungen einzuwerben. Wünschenswert ist gemäß Expertenmeinung ein Umdenken in der Forschungs- und Projektförderung, dahingehend, dass bei einer gleichzeitigen Substitution fossiler Energieträger im Rahmen der Bioökonomie auch ein Teil der stofflichen Nutzungspfade bedient werden muss (ebd.). Dieses würde die teilweise überzogenen Erwartungen, dass A2E die Abhängigkeit zu fossilen Energieträgern beenden und den Klimawandel abmildern kann, entgegenstehen. Dieses Umdenken würde die Erwartungen auf ein realistisches Plateau anheben (ebd.) und letztlich auch zur Förderung von Geschäftsmodellinnovationen in der ersten Stufe der A2X-Innovationskaskade (Algen-Bioraffinerie) beitragen.

Die wegweisenden Lerneffekte für die Überführung von Systeminnovationen in Geschäftsmodellinnovationen können aus den zentralen Unsicherheiten abgeleitet werden, die A2X-Anlagen tangieren. Zusammenfassend können die Unsicherheiten vereinfacht auf drei Variablen reduziert werden: Unzureichende Wirtschaftlichkeit, negative Öko- und Energiebilanz und ein hoher FuE-Bedarf bei den Algenkultivierungssystemen. Gleichzeitig skizzieren sie die zentralen Stellschrauben zur Weiterentwicklung. Aus der Fallstudienanalyse wird deutlich, dass die Unsicherheit primär im Zusammenspiel der ökonomischen und technologischen Dimension begründet ist: Über das frühe Stadium der Algenkultivierungssysteme im Innovationsprozess, in Verbindung mit der Heterogenität der Berechnungs- und Qualitätsstandards und der stetigen Suche nach (besser) geeigneten Algengattungen, besteht ein umfassender Forschungs- und technologischer Weiterentwicklungsbedarf. Dieser spiegelt sich in der gegenwärtig vorherrschenden negativen Öko- und Energiebilanz und letztlich in einer unzureichenden Wirtschaftlichkeit der A2E-Anlagen, wodurch keine ökonomische Vorteilhaftigkeit der Bioenergieträger gegenüber fossilen Energieträgern verwirklicht werden kann.

Wie die Fallstudienuntersuchung zeigt, begründet sich die Notwendigkeit von A2X-Anlagen zum Teil über den Systemnutzen: Bioenergieträger auf Algenbasis verfügen im Vergleich zu terrestrischen Energiepflanzen über zahlreiche Vorteile. Zudem kann mit Algenkultivierungssystemen CO<sub>2</sub> recycelt werden, welches sonst ungenutzt gespeichert (CCS) oder in die Atmosphäre entweichen würde. Vor dem Hintergrund einer sektorübergreifenden Dekarbonisierung kann der innovationsauslösende Stimulus des *system-pull* im Rahmen der A2X-Fallstudie nicht konstatiert werden: Die Notwendigkeit von A2X-Anlagen kann eher über den nahezu vollständigen Systemwandel der Energiewende aus dem innovationsauslösenden Stimulus des *system-push*, statt systemimmanent aus dem *system-pull* abgeleitet werden. Der Innovationsstimulus des *system-push* basiert auf dem grundlegenden Innovationsstimulus des *eco-pull*, der vor dem übergeordneten Ziel des Klimaschutzes die Energiewende und damit einen nahezu vollständigen Systemwechsel induziert. Der *system-push* kann über die zwei vorgelagerten Stimuli *regulatory-pull*

(direkte und indirekte staatliche Veränderungsanreize d. h. u. a. der Vorzug von Biomasserest- und Abfallstoffen) und *regulatory-push* (Novellierung Emissionshandelssystem, Einführung einer CO<sub>2</sub>-Steuer) verstärkt werden.

Die Ergebnisse der Fallstudienuntersuchung heben hervor, dass mit der Systeminnovation A2X neben Unsicherheiten auch Chancen einhergehen. Die nachfolgende SWOT-Analyse fasst, aufbauend auf den SWOT-Analysen von BMELV et al. (2014, S. 9), IUS (2014, S. 67), Gendy/El-Temtamy (2013, S. 45) und Burgess et al. (2011, S. 52) die aus der A2X-Fallstudienuntersuchung extrahierten technologieinhärenten Stärken und Schwächen sowie systeminhärenten Chancen und Risiken<sup>603</sup> zusammen.<sup>604</sup>

---

<sup>603</sup> In Anlehnung an die Begriffsdefinitionen in Kapitel 4.3.1.2 müsste der Begriff »Risiken« an dieser Stelle durch den Begriff »Unsicherheiten« ersetzt werden. Um hingegen konsistent mit dem in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur benannten Instrument der SWOT-Analyse zu bleiben, wird der Begriff der Risiken verwendet, gleichwohl auch Situationen unter Ungewissheit inkludiert sind.

<sup>604</sup> Für herstellungsverfahrensspezifische SWOT-Analysen wird exemplarisch auf Arvaniti/Higson (2015) und für SWOT-Analysen zu nachwachsenden Rohstoffen der ersten und zweiten Generation auf BMELV (2014) und IUS (2014) verwiesen.

Tabelle 41: SWOT-Analyse A2X-Innovationskaskade

	Stärken	Schwächen
Technologieinhärent (intern)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>-Bindung und CO<sub>2</sub>-Recycling</li> <li>• Keine Nahrungsmittelkonkurrenz</li> <li>• Flächenertrag um ein Vielfaches höher als beim Anbau terrestrischer Pflanzen</li> <li>• Anbau auf landwirtschaftlich nicht nutzbaren Flächen (Brachland, versiegelte Flächen, Dächer, (semi-)aride Klimazonen)</li> <li>• Nutzung von Solarenergie</li> <li>• Höherer Wirkungsgrad (PCE) gegenüber terrestrischen Pflanzen</li> <li>• Durch Zellulosefreiheit keine Abfallbiomasse</li> <li>• Kultivierung in Süß-, Brack-, Salz- und Abwasser</li> <li>• Synergetische Abwasserreinigung</li> <li>• Geringer Wasserverbrauch bei geschlossenen Kultivierungssystemen</li> <li>• Schwierigkeitsgrad Herstellungsprozess vergleichbar mit dem terrestrischer Biomasse</li> <li>• Potenziell breite Palette an Mehrwert- und Hochwertprodukten</li> <li>• Potenzial zur Hochskalierung</li> <li>• Algenbiotechnologie etabliertes Forschungsfeld</li> <li>• Vielzahl potenzieller Algenarten</li> <li>• Hohe Biomassekonzentration und -produktivität</li> <li>• Niedrigenergie-Bioreaktor-Design kann Kosten und installierte Größe reduzieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ökologische Nachhaltigkeit nicht abschließend verifiziert (Existenz unterschiedlicher LCA-Ergebnisse)</li> <li>• Beurteilung ökonomischer Nachhaltigkeit indifferent</li> <li>• Beurteilung sozialer Nachhaltigkeit fehlt</li> <li>• Optimale Balance zwischen hohem Lipidgehalt, schneller Wachstumsrate, einfacher Ernte und kostengünstigen Herstellungsverfahren schwierig</li> <li>• GVO könnten eine Lösung sein, sind aber mit neuen Gefahren verbunden</li> <li>• Kommerziell unreife Technologie (<i>interim-value</i> und <i>low-cost</i> Produkte)</li> <li>• <i>Downstream</i>-Prozesse und geschlossene Systeme insgesamt prozess-, energie-, und kostenintensiv</li> <li>• Hoher Bedarf an Nährstoffen und Wasser (speziell bei <i>open ponds</i>)</li> <li>• Kreislaufführung von Nährstoffen und Wasser nicht befriedigend</li> <li>• Notwendigkeit vorgelagerter Abwasserreinigung unklar</li> <li>• Großproduktion könnte zu neuen Nachteile im Vergleich zu Laborexperimenten führen</li> <li>• Produktentwicklung und -veredelung unterentwickelt</li> <li>• Geeignete Algenart ist standortabhängig</li> <li>• Mangel an realen CO<sub>2</sub>-Sequestrierungsdaten im kommerziellen Maßstab</li> <li>• CO<sub>2</sub>-Abscheideeffizienz und Gasabscheidetechnologien nicht entwickelt bzw. kalkuliert</li> <li>• Sehr große Landfläche zur Hochskalierung erforderlich (<i>open ponds</i>)</li> <li>• Sonnenlicht nicht kontinuierlich verfügbar</li> <li>• Künstliche Lichtenergie anspruchsvoll, energie- und kostenintensiv</li> </ul>
Systeminhärent (extern)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>-Senke</li> <li>• Sektorübergreifende Substitution rohölbasierter Rohstoffe und Produkte sowie fossiler Energieträger</li> <li>• Sektorübergreifende Wertschöpfung durch neue Produkte mit neuen Funktionalitäten und Nutzungsoptionen</li> <li>• Vermarktung von Produkten mit hoher Wertschöpfung</li> <li>• Erschließung neuer Märkte</li> <li>• Export von deutschen Technologien und Anlagen für die Kultivierung</li> <li>• Starke nationale und große internationale FuE</li> <li>• Starker Anlagenbau in Deutschland</li> <li>• Über Förderung und Subventionen Steigerung der Wirtschaftlichkeit</li> <li>• Anreize zur Weiterentwicklung der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Atmosphäre</li> <li>• GVO können zu Fachalgen mit wünschenswerten Eigenschaften werden</li> <li>• Energiekosten durch optimalen Sonneneintrag reduzieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Öffentliche Besorgnis über GVO, Wasserverbrauch und -verfügbarkeit, Flächeninanspruchnahme</li> <li>• GVO könnten regulatorische Einschränkungen und gesellschaftliche Ablehnung induzieren</li> <li>• Akzeptanz (Markt, Gesellschaft) nicht abschließend analysiert</li> <li>• CO<sub>2</sub>-Emissionshandel und CO<sub>2</sub>-Steuer unzureichend</li> <li>• Mangel an Infrastrukturentwicklung und Fachkräften</li> <li>• Notwendige Zeitspanne zur Hochskalierung und Kommerzialisierung kann zum Ausschluss der Technologie führen</li> <li>• Abhängigkeit von der Nachfrage nach Biokraftstoffen</li> <li>• Wirtschaftlichkeit abhängig von Produktivität und Bio-Ölpreis</li> <li>• Neue erneuerbare Technologien für die Energieerzeugung können ökonomisch wettbewerbsfähiger sein</li> <li>• Diffusionsschwierigkeiten: Große Anzahl konkurrierender regenerativer (Bio)Energieträger könnten Algen-Bioenergieträger verzögern</li> <li>• Klimatische Voraussetzungen in Deutschland nicht optimal</li> <li>• Starke, kompetitive FuE außerhalb von Deutschland</li> </ul>

Quelle: Eigene Darstellung.

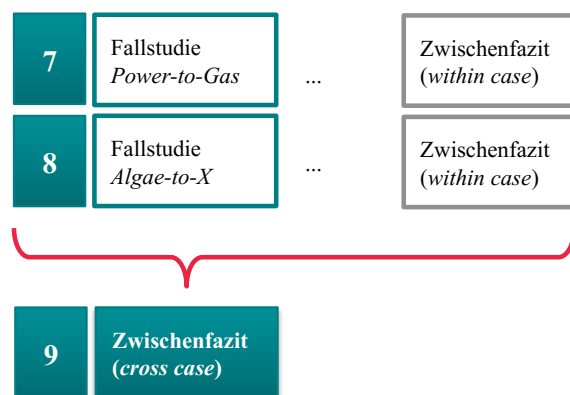


Wenn Bioenergieträger auf Mikroalgenbasis im Jahr 2050 einen wesentlichen Baustein des Energiesystems bilden sollen, sind bereits heute die auf FuE basierenden Grundlagen dafür zu legen und Marktstrukturen sowie Erzeuger- und Verbraucherbeziehungen vorzudenken. Zur Begegnung der über die Langfristigkeit der Energiewende induzierten Unsicherheit kann aus der Fallstudienuntersuchung abgeleitet werden, dass über die Lerneffekte der ersten Stufe der A2X-Innovationskaskade (Algen-Bioraffinerie) eine Unsicherheitsreduktion für die zweite Stufe der A2X-Innovationskaskade (energetische Nutzung) erzielt werden kann.

## 9 Zwischenfazit: Zentrale Lerneffekte für strategische Geschäftsmodellinnovationen (*cross-case* Analyse)

Nachdem in Kapitel 7.7 und 8.7 spezifische Lerneffekte für strategische Geschäftsmodellinnovationen aus den Fallstudien P2G und A2X abgeleitet wurden (*within-case* Analysen), werden in diesem Zwischenfazit die zentralen Ergebnisse in Form einer *cross-case* Analyse verdichtet und verglichen. Die nachfolgende Abbildung zeigt die schematische Extraktion der empirisch gestützten Lerneffekte für strategische Geschäftsmodellinnovationen.

Abbildung 63: Struktur Kapitel 9



Quelle: Eigene Darstellung.

Die Ergebnisse der Fallstudienanalysen zeigen, dass neben Unsicherheiten vor allem Potenziale im Hinblick auf die Dekarbonisierung des Energiesystems über P2G und A2X bestehen. Dabei können Geschäftsmodellinnovationen, die aus dem heute bereits existierenden Potenzial, als eine Unternehmensantwort (*creative response*) auf die mit dem systemischen Innovationsprozess der Energiewende einhergehenden Herausforderungen (Neuigkeitsgrad, Komplexität, Unsicherheit, Konfliktgehalt, Langfristigkeit) betrachtet und in eine Chance überführt werden. Im Rahmen dieser *cross-case* Analyse werden nachfolgend zunächst auf einer übergeordneten Ebene die zentralen Unterschiede beziehungsweise auf die thematisch fokussierten Inhalte innerhalb der Experteninterviews sowie Unterschiede beziehungsweise auf die Wertschöpfungsketten, die ökologische Bewertung der Systeminnovationen und die Bewertung der CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen in Verbindung mit einem CH<sub>4</sub>-Potenzialvergleich dargestellt. Anschließend werden aus den Ergebnissen der Fallstudienuntersuchungen die wesentlichen Erkenntnisse für den Innovationsprozess und die zentralen Lerneffekte für die strategischen Geschäftsmodellinnovationen zusammengefasst und verglichen.

Auffällig ist, dass im Rahmen der A2X-Fallstudie von den Experten ein stärkerer Fokus auf die Akteure und die Bewertung der Anlagen gelegt wurde und bei P2G die Diskussion auf einer übergeordneten Ebene, primär beziehungsweise auf die Unsicherheiten und Hemmnisse bei der Umsetzung, stattgefunden hat. Im Rahmen der Experteninterviews erfolgte bei den energetischen Nutzungspfaden im A2X-Konzept eine kritische Debatte zum Gelingen und dem Beitrag von A2E zur Umsetzung der Energiewende. Der System-

nutzen und die Frage des grundsätzlichen Gelingens von P2G wurde hingegen wenig diskutiert und seitens der Experten nicht in Frage gestellt.

Die Wertschöpfungsketten von A2X und P2X zeigen eine unterschiedliche Reihenfolge für die Extraktion von (Zwischen-)Produkten der stofflichen Nutzungspfade: Während bei einer Algen-Bioraffinerie in einem ersten Schritt die Wertprodukte (z. B. Bulkchemikalien) hergestellt werden (A2P) und in einem zweiten Schritt die Nutzung der Restbiomasse in einer Biogasanlage zu Biomethan umgewandelt wird (A2E), werden bei P2X zunächst die Energieträger (regenerativer H<sub>2</sub>, synthetisches CH<sub>4</sub>) hergestellt (P2G) und anschließend z. B. zu Bulkchemikalien weiterverarbeitet (P2C). In diesem Sinn handelt es sich in einer abstrahierten Sichtweise um reziproke Wertschöpfungsketten.

Bezugnehmend auf die ökologische Gesamtbilanz (LCA) zeigt die Daten-Triangulation, dass eine LCA von P2G im Gegensatz zu A2X unstrittig und gemessen am Wirkungsgrad positiv ist, gleichwohl der Wirkungsgrad in Abhängigkeit der P2X-Nutzungspfade divergiert. Die niedrigen Wirkungsgrade, im Speziellen bei der dritten Stufe der P2G-Innovationskaskade (H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> Langzeitspeicherung) tragen in Verbindung mit der Rückverstromung (P2G2P) auch zur mangelhaften Konkurrenzfähigkeit bei. Den Ergebnissen der Fallstudienuntersuchung entsprechend muss bei A2X derzeit von einer negativen Nettoenergiebilanz und einer negativen Gesamtbilanz ausgegangen werden. Die Frage nach dem Positiven der Nettoenergiebilanz und der Gesamtbilanz ist in der P2G-Fallstudie bereits beantwortet. Dieses kann als ein Indikator für die vorangeschrittene Einstufung von P2G im Innovationsprozess angenommen werden. Im Rahmen der Experteninterviews wurden ökologische Bedenken nur in Bezug zur Systeminnovation A2X thematisiert. In der P2G-Fallstudie erfolgte hingegen keine Ansprache der ökologischen Bewertung von den Experten und wurde dementsprechend ausschliesslich auf Basis externer Daten im Rahmen der Triangulation adressiert.

Zudem wird ein Unterschied in der Bewertung der CO<sub>2</sub>-Bezugsquellen zwischen den Fallstudien deutlich: Die Quellen des für die Methanisierung (zweite Stufe der P2G-Innovationskaskade) notwendigen CO<sub>2</sub> werden im Rahmen der Experteninterviews für die Zeit der FuE-Phase disparat und für die Phase der Kommerzialisierung maßgeblich nur aus biogenen und atmosphärischen Quellen positiv bewertet. Bei der A2X-Fallstudie diskutierten die Experten CO<sub>2</sub> als Rohstoff hingegen nicht quellenbezogen. Deutlich wurde jedoch, dass der Systemnutzen von A2X über die CO<sub>2</sub>-Bindung und das CO<sub>2</sub>-Recycling sowohl von den Experten als auch über die Daten-Triangulation als ein prominenter Vorteil bewertet wurde. Die Erkenntnisse zeigen, dass die CO<sub>2</sub>-Verwendung aus fossilen Kraftwerken und industriellen Anlagen in der A2X-Fallstudie und damit im Gegensatz zur P2G-Fallstudie durchweg positiv bewertet werden kann. Aus technologischer Sicht ist bei der Algenkultivierung nicht die Quelle an sich, sondern die CO<sub>2</sub>-Punktquelle mit einer konstanten und maßvollen Blasenbildung für eine reibungslose Systemfunktionalität und die Förderung optimaler Algenkultivierungsbedingungen von zentraler Bedeutung.

Werden beide Verfahren als Herstellung von regenerativen bzw. biogenen Energieträgern im Sinn einer künstlichen versus natürlichen Photosynthese verstanden, so kann aus den Fallstudienuntersuchungen abgeleitet werden, dass P2G zur Herstellung synthetischen CH<sub>4</sub> über die potenziellen Produktionserträge im Vorteil zu sein scheint. Bei A2X kann das Potenzial für die Biomethanherstellung zurzeit nur für die Algen-Bioraffinerie abgeleitet werden, welches wiederum allein auf der Nutzung der Restalgenbiomasse in einer

Biogasanlage (erste Stufe der A2X-Innovationskaskade) basiert, dessen Produktionserträge über den Charakter der mit den *high-value* bzw. *interim-value* Produkten verbundenen niedrigen Produktionsmengen geringer erscheinen.

Die Notwendigkeit einer anwendungsorientierten und zielgerichteten staatlichen Förderung zur Unterstützung der Wirtschaftlichkeit wird von den Experten sowohl bei der Systeminnovation P2G als auch bei der Systeminnovation A2X angefügt. In beiden Fallstudien wird die Politik als zentraler *change agent* gesehen, der sowohl direkt technologiebezogen (*top-down*), als auch indirekt über die Transformation des Wissenschaftssystems eingreifen kann.

Tragfähige Geschäftsmodelle bestehen bei A2X im Rahmen der A2P-Nutzungspfade über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg, gleichwohl A2X insgesamt ein frühes Stadium im Innovationsprozess zugeschrieben wird. Bei P2G besteht ein tragfähiges Geschäftsmodell primär für die vorgelagerte Wertschöpfungsstufe des Anlagenbaus von Elektrolyseuren (die z. B. für den Einsatz in der Chemieindustrie hergestellt werden). Ein Geschäftsmodell, das die gesamte Wertschöpfungskette zur Herstellung regenerativen H<sub>2</sub> in der P2G-Fallstudie abbildet, ist das Geschäftsmodell »proWindgas« der Greenpeace Energy, welches über die Aktivierung einer Mehrzahlungsbereitschaft Kunden als Partner einbindet und auf diese Weise zwar einen kontinuierlich steigenden, bisweilen jedoch nur geringen Anteil regenerativen H<sub>2</sub> in der am Markt angebotenden Gaszusammensetzung präsentieren kann. Übergreifend betrachtet, ist die Systeminnovation P2G in einem fortgeschritteneren Stadium des Innovationsprozesses angesiedelt: Die Grundlagenforschung ist vollständig abgeschlossen, Pilot- und Demonstrationsprojekte existieren in unterschiedlichen Nutzungspfaden und die Technologie befindet sich auf der Schwelle zur Marktreife. Die Marktdurchdringung wird im Grunde nur über die ausreichende Verfügbarkeit an Elektrolyseuren und fluktuierenden erneuerbaren Energien, der Verbesserung der dargebotsabhängigen Anlagenfahrweise der Elektrolyseure, der Hochskalierung der Anlagen, aber maßgeblich durch die regulatorischen Rahmenbedingungen gehemmt. Hingegen kann für die energetischen A2X-Nutzungspfade ein weitaus höherer technologischer Forschungsbedarf konstatiert werden, der sich in der Weiterentwicklung der Technologie selbst (Algenkultivierungssysteme: Photobioreaktoren und z. B. die Versuche, Süßwasseralgen in Salzwasser zu kultivieren) sowie der stetig weiterzuführenden Grundlagenforschung z. B. im Bezug auf das Algen-*screening*, der Entwicklung gentechnisch veränderter Algen und dessen ganzheitlichen Auswirkungen sowie der Schaffung einer positiven Gesamtbilanz zeigt. Trotz der vorangeschrittenen Stufe von P2G im Innovationsprozess zeigen die Fallstudienanalysen, dass verglichen mit A2X bei P2G mehr Unsicherheiten bestehen. Dieses kann möglicherweise über die vergleichsweise junge Stufenzuordnung im Innovationsprozess begründet werden: Etwaige Unsicherheiten sind bei den (energetischen) A2X-Nutzungspfaden noch nicht identifiziert. Anders als bei P2G, bei der die Elektrolyse als die grundlegende technologische Herstellungskomponente ein alt bekanntes und bewertetes Verfahren darstellt, befinden sich die (Herstellungs-)Verfahren der Algenkultivierung, im Speziellen die geschlossenen Systeme (Photobioreaktoren), noch im FuE-Stadium.<sup>605</sup>

---

<sup>605</sup> Dieses zeigt und begründet auch die umfassende Diskussion der unterschiedlichen A2X-Herstellungsverfahren im Rahmen der technologischen Unsicherheitsdimension (siehe Kapitel 8.5.3.1).

Zusammengefasst kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Wirtschaftlichkeit von P2G primär regulatorisch und von A2X (insbesondere für die energetischen Nutzungspfade) vorrangig technologisch bedingt ist.

Bei der Transformation von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen wird aus den Untersuchungen deutlich, dass beide Fallstudien aus dem Systemnutzen der Dekarbonisierung heraus über einen *system-push*, der auf einem *eco-pull* basiert, stimuliert werden. Bezugnehmend auf den *Multi-Level-Perspective* Ansatz können Nischeninnovationen und hier im Besonderen Systeminnovationen über einen *system-push* in strategische Geschäftsmodellinnovationen transferiert werden, die zu vielfältigen Lösungen auf der Regimeebene beitragen, um den Problemen und Herausforderungen auf der Landschaftsebene zu begegnen. Bei A2X wird der *eco-pull* zudem über die Nachteile, die mit der Herstellung nachwachsender Rohstoffe der ersten und zweiten Generation einhergehen, begründet. Angelehnt an die Multi-Impuls These<sup>606</sup> kann der innovationsauslösende Stimulus des *system-push* sowohl bei A2X als auch bei P2G über den *regulatory-push* und den *regulatory-pull* als Impulsverstärker zur Entwicklung und Etablierung von Geschäftsmodellinnovationen hervorgehoben werden. Fortan kann konstatiert werden, dass der in Kapitel 4.3.3 theoriegestützte, gedanklich abgeleitete Stimulus des *system-pull* ein innovationsauslösender *trigger* für P2G ist, der über den Systemnutzen des Beitrags zur Stabilisierung des Stromnetzes (Flexibilisierungsoption) und damit zur Versorgungssicherheit sowie dem Systembeitrag zum Ausbau (fluktuierender) erneuerbarer Energien über die Funktion eines Speichers und der Sektorkopplung legitimiert werden kann. Wie bereits angemerkt, verfügt zwar ebenfalls A2X über einen Systemnutzen, dieser ist allerdings nicht systemimmanent, sondern vollzieht sich auf der Landschaftsebene – dem nahezu vollständigen Systemwechsel hin zu einer sektorübergreifenden Dekarbonisierung.

Zusammenfassend kann abgeleitet werden, dass neben den in der Literatur beschriebenen Triebkräften des *technology-push*, *demand-pull*, *eco-pull*, *regulatory-push*, *regulatory-pull*, *society-push* und *vision-pull*, die Existenz der systeminduzierten Innovationsimpulse des *system-push* und des *system-pull* auch im Rahmen der Fallstudienuntersuchungen festgestellt werden.

Als zentraler Lerneffekt kann festgehalten werden, dass in beiden Fallstudien eine Überführung von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen mit Hilfe von Innovationskaskaden möglich ist. Die P2G-Innovationskaskade manifestiert sich über die drei Stufen:

- A. Wasserstoffelektrolyse
  - Beimischung ins Erdgasnetz (P2G, P2G2P)
  - Anwendungsfallorientierte Nutzung (P2I, P2F, P2M, P2H)
- B. Methanisierung
  - Einspeisung ins Erdgasnetz (P2G, P2G2P)
  - Anwendungsfallorientierte Nutzung (P2I, P2F, P2M, P2H)
- C. Langzeitspeicher (P2G, P2G2P)
  - Wasserstoff (H<sub>2</sub>)
  - Methan (CH<sub>4</sub>).

---

<sup>606</sup> Siehe Kapitel 4.3.3.

Die A2X-Innovationskaskade besteht aus den zwei Stufen:

A. Algen-Bioraffinerie

- Stoffliche Nutzung: *high-value* und *interim-value* Produkte
- Energetische Nutzung: Biomethan aus Restbiomasse

B. Energetische Nutzung: *low-cost* Produkte

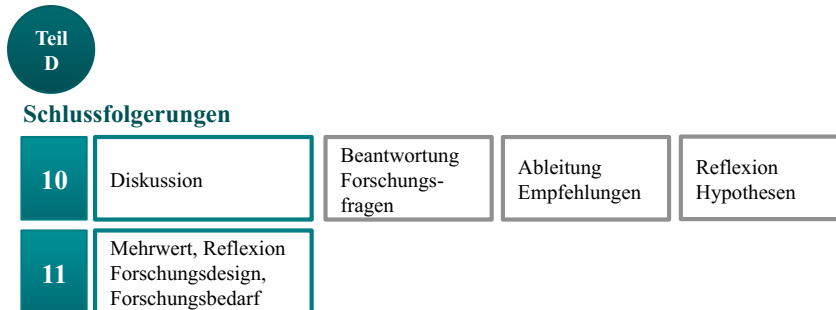
- Biodiesel
- Bioethanol
- Biokerosin
- Biomethan
- Biomethanol
- Biowasserstoff.

Die *cross-case* Analyse zeigt, dass in der A2X-Innovationskaskade erst im Übergang von der ersten zur zweiten Stufe der Fokus auf die energetischen Pfade über die Nutzung der *low-cost* Produkte gelegt wird. In der ersten Stufe der A2X-Innovationskaskade erfolgt die Betrachtung der energetischen Algenbiomassenutzung nur über die Verwertung der Restalgenbiomasse in einer Biogasanlage. Die P2G-Innovationskaskade ist hingegen von Beginn an über die energetischen Nutzungspfade geprägt. Dieses kann jedoch auch über die in dieser Arbeit gesetzte Betrachtungsgrenze auf P2G als Teilobjekt des P2X-Konzeptes begründet werden. Wäre der Horizont der Fallstudie hingegen als eine auf die Gesamtheit der Nutzungspfade ausgeweitete Betrachtung von P2X gewählt worden, hätte dieses zu einer vermehrten Implementierung stofflicher Nutzungspfade in die Analyse geführt. Ungeachtet der Betrachtungsgrenzen wird aus dem Vergleich der beiden Innovationskaskaden deutlich, dass eine reziproke Wertschöpfungskettenstruktur vorliegt: Bei P2X können stoffliche und energetische Nutzungspfade simultan verfolgt werden, da die stofflichen Nutzungspfade auf den energetischen Nutzungsfaden aufbauen (regenerativer  $H_2$ , synthetisches  $CH_4$ ). Diese EE-Gase können direkt für die stofflichen Nutzungspfade in industriellen Prozessen verwendet (z. B. P2C, P2P) oder über additionalen Weiterverarbeitungsschritte in anderen Sektoren genutzt werden (z. B. P2M, P2F). Bei der A2X-Innovationskaskade ist hingegen der energetischen Nutzung eine stoffliche Nutzung voranzusetzen: Die Fallstudienauswertung zeigt, dass eine Kopplung der energetischen und stofflichen Nutzung aquatischer Biomasse nur über eine Algen-Bioraffinerie möglich ist, da im Anschluss an eine energetische keine stoffliche Nutzung mehr realisierbar ist. Die energetischen A2X-Nutzungspfade stehen derzeit am Anfang des Innovationsprozesses, so dass die Lerneffekte aus den heute bereits teilweise in tragfähige Geschäftsmodelle überführten stofflichen Nutzungspfaden eine sinnvolle Basis für die Weiterentwicklung der energetischen Nutzungspfade darstellen können. Anzumerken ist, dass die der zweiten Stufe der A2X-Innovationskaskade eingeordneten Energieträger grundsätzlich analog zu P2G nicht nur im energetischen, sondern auch im stofflichen Bereich genutzt werden könnten (z. B. Biowasserstoff für industrielle Prozesse).

Ein weiterer Unterschied zwischen den Innovationskaskaden besteht in der über den Zeitverlauf zu betrachtenden Effizienz: Im Verlauf der P2X-Innovationskaskade sinkt der Wirkungsgrad mit jeder Stufe – von der Wasserstoffelektrolyse über die Methanisierung bis hin zu der Rückverstromung der gespeicherten EE-Gase. Bei der A2X-Innovationskaskade erhöht sich im zeitlichen Verlauf der Wirkungsgrad gemessen an der Produktivität, da im Zeitverlauf eine Steigerung der Produktionsmengen in Verbindung mit sinkenden Preisen angenommen wird – von den stofflichen Nutzungspfaden mit einem Gramm-Euro-Maßstab hin zu energetischen Nutzungspfaden mit einem Kilogramm-Cent-Maßstab.

# Teil D: Schlussfolgerungen

Abbildung 64: Struktur Teil D



Quelle: Eigene Darstellung.



## 10 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand in der ganzheitlichen Betrachtung der mit der Transformation von Systeminnovationen zu strategischen Geschäftsmodellinnovationen einhergehenden Herausforderungen, die zugleich Treiber als auch Hemmnisse der Energiewende sind. Auf übergeordneter Systemebene bestand das Ziel in der Identifikation handlungsrelevanter Stellschrauben, die explizit zu einer Förderung der Systeminnovationen und damit implizit zu einer Förderung der Dekarbonisierung beitragen. Der Fokus lag dabei auf der Überführung von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen im Rahmen der Energiewende und der Rolle von Innovationskaskaden. Auf einer Meta-Ebene sollte damit die Leitfrage beantwortet werden, wie Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen transferiert werden können, damit die Dekarbonisierung für Unternehmen rentabel wird. Vor dem Hintergrund dieser Zielsetzung werden nachfolgend die Ergebnisse dieser Arbeit diskutiert und zusammengefasst: In Kapitel 10.1 werden die beiden forschungsleitenden Fragenkomplexe beantwortet und in Kapitel 10.2 werden daran anknüpfend Empfehlungen für die Überführung von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen abgeleitet. In Kapitel 10.3 erfolgt die Überprüfung der Hypothesen.

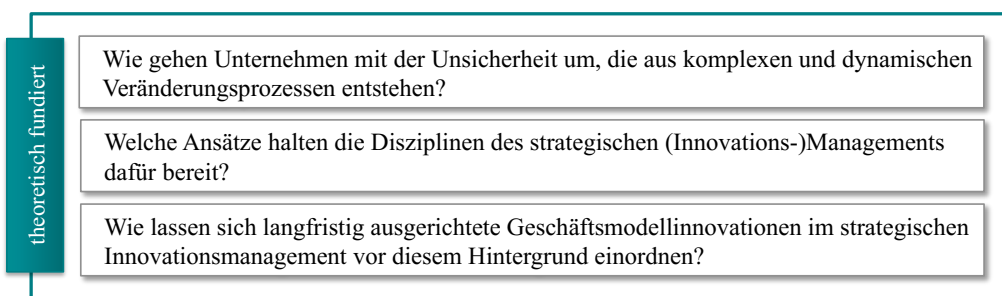
### 10.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Die Beantwortung der Forschungsfragen gliedert sich im Folgenden entlang der beiden Fragenkomplexe 1 (theoretisch fundiert) und 2 (empirisch gestützt).

#### 10.1.1 Theoretisch fundierte Forschungsfragen

Um die forschungsleitenden Fragen, die dieser Arbeit zugrunde gelegt wurden, zu beantworten, wurden in einem ersten theoriegeleiteten Schritt die Disziplinen des strategischen Managements und des strategischen Innovationsmanagements auf den Umgang mit den aus dem systemischen Innovationsprozess abgeleiteten Herausforderungen, sowie strategischen Geschäftsmodellinnovationen als Instrument des strategischen (Innovations-) Managements, untersucht (Teil B Theoretische Einbettung strategischer Geschäftsmodellinnovationen als Instrument des strategischen (Innovations-)Managements).<sup>607</sup>

Abbildung 65: Forschungsfragen zum Teil B



Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>607</sup> Siehe für eine ausführliche Darstellung des theoretischen Teils des Forschungsdesigns Kapitel 2.2.

**Forschungsfrage 1.1: Wie gehen Unternehmen mit der Unsicherheit um, die aus komplexen und dynamischen Veränderungsprozessen entstehen?**

Bei den Herausforderungen der Unsicherheit, Komplexität und Dynamik handelt es sich um in der wirtschaftswissenschaftlichen Theorie prinzipiell bekannte Phänomene. Ihre Adressierung und der Versuch der Bewältigung erfolgt im Rahmen des strategischen (Innovations-)Managements.<sup>608</sup> So ist das oberste Ziel des strategischen Managements die Sicherung des langfristigen Erfolgs, der die Überlebensgrundlage für ein Unternehmen begründet.<sup>609</sup> Das strategische Management gestaltet, lenkt und entwickelt unternehmerisches Denken und Handeln in komplexen, langfristigen, dynamischen und unsicheren Umwelten mit dem auf einen unternehmerischen Erfolg gerichteten Ziel, um mit Hilfe von Veränderungsfähigkeit (Transformation) und Widerstandsfähigkeit (Resilienz) Diskontinuitäten zu begegnen, effektiv und effizient zu wirtschaften und über die Wandlung von strategischen Erfolgspotenzialen in strategische Erfolgspositionen Wettbewerbsvorteile zu generieren.<sup>610</sup> Als ganzheitlicher Plan für ein Vorgehen gründet das strategische Management auf einer Strategie, die unter Vorwegnahme zukunftsgerichteter Entscheidungen in der Gegenwart und unter Berücksichtigung erwarteter Umweltveränderungen, die in der Gegenwart notwendigen Voraussetzungen zur Erreichung der Ziele in der Zukunft schafft. Im besten Fall führt eine Strategie über Zeitvorsprünge zu Wettbewerbsvorteilen und zur gewünschten Unternehmensentwicklung, die grundsätzlich über eine Optimierung oder eine Erneuerung gestaltet werden kann.<sup>611</sup> Als merklicher Unterschied zum Vergleichszustand wird eine Erneuerung als Innovation definiert, die als Quelle strategischer Erfolgspotenziale zur Erlangung von Wettbewerbsvorteilen und Besetzung strategischer Erfolgspositionen sowie zur Erfüllung der Unternehmensziele dient.<sup>612</sup>

Auch für die Transformation des Energiesystems ist die Unsicherheit, die sich aus komplexen und dynamischen Veränderungsprozessen ergibt, kein neues Phänomen für Unternehmen der Energiewirtschaft und den angrenzenden Branchen. Den systemischen Prozess der Energiewende betreffend, führen Umfang, Intensität, Geschwindigkeit und die Langfristigkeit der zu vollziehenden Transformation indes zu einem sehr hohen Neuigkeitsgrad, der die Unsicherheitssituation verstärkt. Dabei wurde gezeigt, dass die Unsicherheiten vorrangig im Gestaltungsspielraum politischer, rechtlicher und regulatorischer Rahmenbedingungen liegen, der Unternehmen nur durch die strategische Option des *shape the future* begegnen können: Große Unternehmen und in Verbänden organisierte KMU können, sofern sie über ein überzeugendes Geschäftsmodell verfügen, versuchen, einen Einfluss auf Regierungen und Regularien zu nehmen, um die Chancen zu erhöhen, dass die von den Unternehmen oder Verbänden gewünschten Ergebnisse sich durchsetzen.<sup>613</sup> Dieser Handlungsansatz kann von dem strategischen (Innovations-)Management gefestigt werden, der Unternehmen als aktive Gestalter der Zukunft begreift, die in einer permanenten Interaktion mit ihrer Umwelt stehen.<sup>614</sup>

---

<sup>608</sup> Siehe Kapitel 3.1.2.1, 3.1.3.1, 4.1.2.2 und 4.3.1.

<sup>609</sup> Siehe Kapitel 3.1.3.1.

<sup>610</sup> Siehe Kapitel 3.1.3.2.

<sup>611</sup> Siehe Kapitel 3.1.1.1 und 3.1.2.1.

<sup>612</sup> Siehe Kapitel 4.1.1 und 4.1.2.1.

<sup>613</sup> Siehe Kapitel 1.2 und 5.1.

<sup>614</sup> Siehe Kapitel 3.1.3.2 und 5.1.

**Forschungsfrage 1.2: Welche Ansätze halten die Disziplinen des strategischen (Innovations-)Managements dafür bereit?**

Zur Begegnung der Herausforderungen, die sich letztlich in dem langfristigen Überleben eines Unternehmens kanalisieren, hält das strategische Management ein diversifiziertes Portfolio theoretischer Ansätze bereit.<sup>615</sup> Aus der fokussierten Betrachtung der markt-, ressourcen- und kompetenzorientierten Ansätze kann abgeleitet werden, dass über die Beschreibung der Quellen des Unternehmenserfolgs zur Begegnung der Unsicherheit, eine Konvergenz dieser Ansätze erforderlich ist: Der markt- und der ressourcenorientierte Ansatz stehen bei der Identifikation strategischer Erfolgsfaktoren in einem komplementären Verhältnis zueinander, betrachten den Ursprung des Unternehmenserfolgs aus zwei unterschiedlichen Perspektiven und damit zwei unterschiedlichen zeitlichen Maßnahmenabfolgen zur Erreichung einer überdurchschnittlichen *performance*, die letztlich das Überleben des Unternehmens sichern soll.<sup>616</sup> Als Brückenfunktion zwischen diesen beiden Ansätzen steht der kompetenzorientierte Ansatz, der dauerhafte Wettbewerbsvorteile aus einer Bündelung von Ressourcen und Fähigkeiten begründet. Letztere werden im engeren Sinn als Fähigkeit zur Lösung von Problemen, z. B. im Hinblick auf strategische Innovationen verstanden.<sup>617</sup> Zur Entwicklung einer Strategie, welche die Richtung des strategischen Handelns zur Erzielung strategischer Erfolgsfaktoren determiniert, stellt das strategische Management eine Vielzahl von Prozessmodellen bereit. Die in einer Synopse verdichteten Prozessmodelle umfassen die fünf Phasen: Strategische Zielplanung, strategische Analyse, Strategieformulierung, Strategieimplementierung, strategische Kontrolle.<sup>618</sup> Neben dem Durchlaufen der einzelnen Phasen kann abgeleitet werden, dass eine Strategie im Dreiklang des markt-, ressourcen- und kernkompetenzorientierten Ansatzes zu entwickeln und ganzheitlich bezugnehmend auf ihren Inhalt, Kontext und Prozess zu formulieren ist, um den Unsicherheiten aus den Veränderungsprozessen zu begegnen.<sup>619</sup>

Die Erkenntnisse des strategischen Innovationsmanagements zeigen, dass eine zentrale Möglichkeit zur Begegnung der Unsicherheit, die aus komplexen, dynamischen und unsicheren Veränderungsprozessen entsteht, die Umwandlung der Unsicherheit in und eine aktive Nutzung von Chancen ist. So kann der schöpferische Prozess der Zerstörung nicht nur zu einer Verdrängung des Alten, sondern auch zu einer Kreation von Innovationen beitragen, die im Sinn von Innovationsinvestitionen zur Erwirtschaftung von Einnahmen in der Zukunft dienen.<sup>620</sup> Für die Entwicklung von Innovationen hält das strategische Innovationsmanagement ein großes Kontingent von in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur stark heterogen dargestellten Prozessmodellen bereit.<sup>621</sup>

Der Vergleich der Prozessmodelle zur Strategie- und Innovationsentwicklung zeigt, dass beide das selbe Ziel verfolgen: Die Entwicklung strategischer Erfolgspotenziale und dessen Transformation zu strategischen Erfolgspositionen über die Entfaltung von Wettbewerbsvorteilen und damit der langfristigen Sicherung des Unternehmenserfolgs. Bedingt durch zahlreiche Rückkopplungsschleifen zwischen den Phasen und multiplen

---

<sup>615</sup> Siehe Abbildung 20: Systematisierung Forschungsansätze anhand wissenschaftlicher Disziplinen des strategischen Managements.

<sup>616</sup> Siehe Kapitel 3.3.2.2 und 3.3.2.3.

<sup>617</sup> Siehe Kapitel 3.3.2.4.

<sup>618</sup> Siehe Kapitel 3.2.

<sup>619</sup> Siehe Kapitel 3.3.1.

<sup>620</sup> Siehe Kapitel 4.1.1.

<sup>621</sup> Siehe Kapitel 4.2.

*outputs* (Theorie, Technologie, Prototyp, Pilot- und Demonstrationsanlagen, Invention, Innovation) sind Innovationsprozesse im Gegensatz zu Strategieprozessen, die auf den singulären *output* der Strategie ausgelegt sind, durch ein höheres Maß an Unsicherheit und Komplexität gekennzeichnet.<sup>622</sup> Zusammen mit einer hohen Transformationsgeschwindigkeit und -dynamik sowie dem Neuigkeitsgrad, der sich inkrementell aus dem systemischen Innovationsprozess der Energiewende und der Langfristigkeit der zu vollziehenden Transformation (Zieljahre 2050-2100) entfaltet,<sup>623</sup> wird deutlich, dass die klassischen Ansätze zur Entwicklung von Innovationen erschöpfend sind.

Zur Vorzeichnung einer langfristigen, unsichereren und komplexen Zukunft, wie sie aus dem systemischen Innovationsprozess der Energiewende resultiert, wird daher das Konzept der Innovationskaskaden herangezogen. Eine Innovationskaskade ist eine langfristige, von dynamischen Rückkopplungsschleifen geprägte Verkettung (radikaler) Innovationen, deren einzelne Innovationen der Kette (Entwicklungsstufen der Innovationskaskade) im Sinn des Innovationsprozesses zwar jeweils in sich geschlossen sind, im Hinblick auf den Endpunkt der Kaskade aber eine notwendige Voraussetzung für die Entwicklung einer neuen Innovation (Entwicklungsstufe) darstellen. Die Technologieentwicklung und die gesammelten Lerneffekte der vorgelagerten Innovation(en) tragen zur Technologieentwicklung, dem Aufbau von Lerneffekten, der Erzielung von Skaleneffekten und der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der nachgelagerten Innovation(en) bei.<sup>624</sup>

**Forschungsfrage 1.3: Wie lassen sich langfristig ausgerichtete Geschäftsmodellinnovationen im strategischen Innovationsmanagement vor diesem Hintergrund einordnen?**

Als Bindeglied zwischen Unternehmen und Wertschöpfung steht das Geschäftsmodell, welches den ganzheitlichen Plan zum zukünftigen Vorgehen (Strategie) in einen wertorientierten Plan übersetzt, indem die Logik des Unternehmens abgebildet und der Weg zur Erreichung der Wettbewerbsvorteile in einer aggregierten und komplexitätsreduzierenden Form vor- bzw. nachgezeichnet wird. Über die Antizipation von Veränderungen der Unternehmensumwelt werden Geschäftsmodelle selbst zu einem Innovationsobjekt und können eine Unternehmensantwort beziehungsweise auf die Veränderungen der unsicheren und dynamischen Unternehmensumwelt sein. Geschäftsmodelle adressieren dabei, analog zur Disziplin des strategischen Managements, den Dreiklang des markt-, ressourcen- und kernkompetenzorientierten Ansatzes.<sup>625</sup>

Der Bedeutungszuwachs für Geschäftsmodellinnovationen wird über die zunehmende Infragestellung bestehender Geschäftsmodelle bei der Einführung von Systeminnovationen deutlich: Für eine nahezu vollständige Dekarbonisierung des (Energie-)Systems sind Systeminnovationen unerlässlich, um in einem Wirkungsgeflecht technologischer, sozialer und infrastruktureller Elemente eine Veränderung bzw. Erneuerung in und von einem gesamten sozio-technischen System zu vollziehen.<sup>626</sup> Zur Umsetzung von Systeminnovationen auf der *landscape* Ebene ist eine Übersetzung und ggf. Skalierung der Innovationen auf der Systemebene für und in die Unternehmensebene notwendig. Systeminnovationen können und müssen in strategische Geschäftsmodellinnovationen überführt werden,

---

<sup>622</sup> Siehe Kapitel 4.2.

<sup>623</sup> Siehe Kapitel 1.2 und Kapitel 4.2.

<sup>624</sup> Siehe Kapitel 5.2.

<sup>625</sup> Siehe Kapitel 4.4.

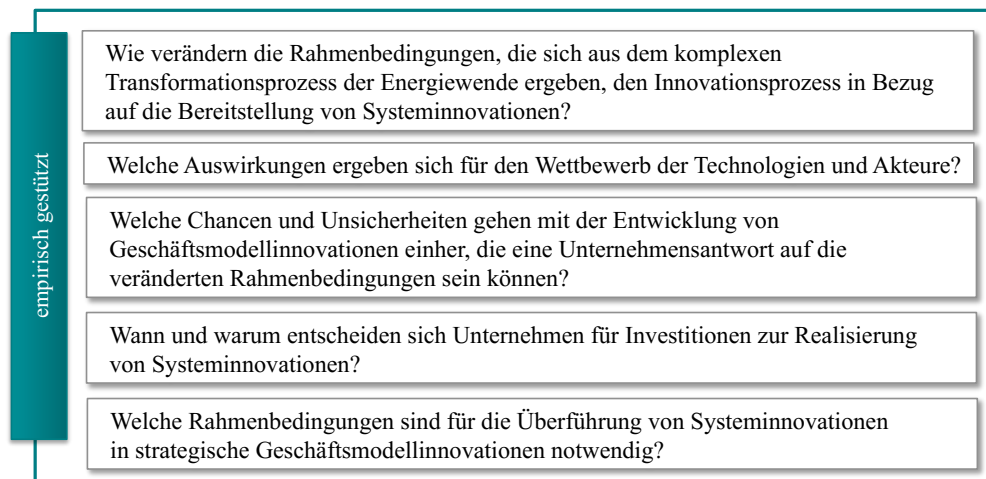
<sup>626</sup> Siehe Kapitel 1.2 und 4.1.2.1.

da Geschäftsmodelle einen Ansatz zur ganzheitlichen Erklärung der zukünftigen Sicherung des langfristigen Unternehmenserfolgs auf einer Systemebene bereitstellen.<sup>627</sup> Und wenn Veränderungen auf der Systemebene stattfinden, steigt die Bedeutung zur Veränderung bzw. Erneuerung von Geschäftsmodellen auf der Unternehmensebene.

### 10.1.2 Empirisch gestützte Forschungsfragen

Der zweite Schritt der methodischen Herangehensweise zur Beantwortung der Forschungsfragen ist empirisch gestützt und wurde in Teil C dieser Arbeit am Beispiel der Systeminnovationen *Power-to-Gas* (P2G) und *Algae-to-X* (A2X) untersucht.<sup>628</sup> Die methodische Herangehensweise der Fallstudienuntersuchungen bestand in der Durchführung von zehn explorativen Experteninterviews, die um eine Daten-Triangulation sowie eigene Analysen erweitert wurden.<sup>629</sup>

Abbildung 66: Forschungsfragen zum Teil C



Quelle: Eigene Darstellung.

#### **Forschungsfrage 2.1: Wie verändern die Rahmenbedingungen, die sich aus dem komplexen Transformationsprozess der Energiewende ergeben, den Innovationsprozess in Bezug auf die Bereitstellung von Systeminnovationen?**

Die Struktur der im theoretischen Bezugsrahmen des strategischen (Innovations-) Managements analysierten Prozessmodelle konnte im Rahmen der Fallstudienanalysen nicht abgebildet werden, denn wie bereits dargelegt, greifen diese bei Systeminnovationen nicht umfassend. Ausgehend von der in Kapitel 4.1.3.3 dargestellten Kritik, kann konstatiert werden, dass auch Technologielebenszyklus-Modelle für die Abbildung und Überführung von Systeminnovationen in Geschäftsmodellinnovationen nicht angewendet werden können: Vielmehr steht die Weiterentwicklung der substitutiven Systeminnovation bzw. im engeren Sinn der Technologie an sich bei der Überführung im Vordergrund und nicht die Erkenntnis über den Zeitpunkt eines optimalen Übergangs von einer reifen in eine neue, substitutive Technologie, wie z. B. der zeitliche Übergang von der konventionellen Erdgasförderung zur Herstellung synthetischen oder biogenen CH<sub>4</sub> über P2G oder A2E.

<sup>627</sup> Siehe Kapitel 4.4.

<sup>628</sup> Siehe für die Begründung der Fallstudienauswahl Kapitel 2.2 und für eine umfassende Definition von P2X und P2G sowie A2X die Einführungskapitel der jeweiligen Fallstudien (7.1 und 8.1).

<sup>629</sup> Siehe für eine ausführliche Darstellung des empirischen Forschungsdesigns Kapitel 6.

Da die Grundlage der Fallstudien nicht singuläre Innovationen sondern Systeminnovationen bilden, wurde deutlich, dass die Einordnung der Systeminnovationen P2G und A2X in den Innovationsprozess zunächst einer differenzierten Betrachtung bedurfte. Bedingt durch die vorherrschende Komplexität und Heterogenität innerhalb einer Systeminnovation musste die Zuordnung in die Innovationsphasen in Abhängigkeit der Wertschöpfungsstufen erfolgen. Demzufolge wurden die Systeminnovationen in einem ersten Schritt partiell untersucht und anschließend in einer sequentiellen Verkettung in Innovationskaskaden überführt.<sup>630</sup>

Die Ergebnisse der Fallstudienuntersuchungen zeigen, dass in einer Analogie zur Beantwortung des theoretischen Fragenkomplexes, Innovationskaskaden die Diskrepanz zwischen dem singulären und eingeschränkten Betrachtungshorizont klassischer Innovationsprozesse und der Interdisziplinarität und Langfristigkeit der Energiewende adressieren können. Aus den Innovationskaskaden, die als eine langfristige, von dynamischen Rückkopplungsschleifen geprägte Verkettung (radikaler) Innovationen auf der Zeitachse definiert sind, können Lerneffekte aus den vorgelagerten für die nachgelagerten Stufen der Innovationskaskaden abgeleitet werden. Die vorgelagerten Stufen schaffen die Voraussetzung für die Gewinnung von Lerneffekten, die zur technologischen und ökonomischen Weiterentwicklung der nachgelagerten Stufen dienen und zur ganzheitlichen Entwicklung und Etablierung der Systeminnovationen beitragen.<sup>631</sup>

Die Fallstudienanalyse bestätigt zudem die Reduktion der mit dem Charakteristikum der Langfristigkeit des systemischen Innovationsprozesses der Energiewende verbundenen Unsicherheit: Die über die Verkettung der Innovationen entstehenden Kaskaden, decken auf dem Weg zur Erreichung der finalen Stufe der Systeminnovation, Geschäftsmodellinnovationen auf, die als eine ganzheitliche Reflexion der zukünftigen Sicherung des langfristigen Erfolgs von Unternehmen auf einer Systemebene dienen.<sup>632</sup> Denn wenn eine nahezu vollständige Dekarbonisierung des (Energie-)Systems erreicht werden soll, die z. B. auf der Grundlage der chemische Energiespeicherung auf Basis von Überschüssen fluktuierender erneuerbarer Energien und/oder Bioenergieträgern auf Mikroalgenbasis im Jahr 2050, als ein wesentlicher Baustein des Energiesystems, fundieren soll, besteht auf Grund der starken Wechselwirkungen im Gesamtenergiesystem die Notwendigkeit, bereits heute die FuE und infrastrukturellen Grundlagen dafür zu legen und Marktstrukturen sowie Erzeuger- und Verbraucherbeziehungen vorzudenken.<sup>633</sup>

Zusammenfassend kann abgeleitet werden, dass die Rahmenbedingungen, die sich aus dem systemischen Innovationsprozess der Energiewende ergeben, den Innovationsprozess von einer singulären in eine systemorientierte Gestalt in Form von Innovationskaskaden verändern.

### **Forschungsfrage 2.2: Welche Auswirkungen ergeben sich für den Wettbewerb der Technologien und Akteure?**

Die Fallstudienuntersuchungen bestätigen den schöpferischen Prozess der Zerstörung, den Innovationen auslösen, weiten diesen zusätzlich durch die Systeminnovationen, die mit der Erneuerung multipler Elemente des gesamten sozio-technischen Systems einher-

---

<sup>630</sup> Siehe Kapitel 7.3 und 8.3.

<sup>631</sup> Siehe Kapitel 7.3 und 8.3.

<sup>632</sup> Siehe Kapitel 9.

<sup>633</sup> Siehe Kapitel 7.7 und 8.7.

gehen, aus. Systeminnovationen sind zur Herstellung vielfältiger Substitute in der Lage und bewegen sich dementsprechend in vielfältigen, sektorübergreifenden Wettbewerbssituationen (Inter- und Intra Wettbewerb). Dieses impliziert neben Unsicherheiten, insbesondere Chancen für die Ableitung einer Vielzahl strategischer Geschäftsmodellinnovationen. Die mit den Systeminnovationen einhergehende Kopplung und teilweise Verschmelzung von Sektoren und die Veränderung der Wertschöpfungsketten ermöglichen und erfordern auch eine Neuorganisation der Akteure.<sup>634</sup>

Zum einen wird zur Novellierung der Geschäftsmodelle im Rahmen der Überführung von Systeminnovationen in die Unternehmen eine sektorübergreifende und damit systemweite Kooperation der Akteure notwendig, wie z. B. Anlagenbetreiber und CO<sub>2</sub>-Emittenten.<sup>635</sup> Zum anderen treten bisweilen zu den konventionellen Energieträgererzeugern (insbesondere fossile Energieträger, terrestrische Energiepflanzen) gehörende Unternehmen und Branchen, wie z. B. die Gaswirtschaft in den Vordergrund, die aus der Systeminnovation heraus und über die Novellierung ihrer Geschäftsmodelle eine Sicherung ihrer bestehenden *assets* in Zeiten des Systemwechsels anstreben. Gleichzeitig zeigen die Fallstudienuntersuchungen, dass mit dem hohen Neuigkeitsgrad, in Verbindung mit der gestiegenen Komplexität und Interdisziplinarität ein Konfliktgehalt einhergeht, der sich in einer Kannibalisierung bestehender Geschäftsmodelle entfalten kann. Dem Beispiel der Gaswirtschaft folgend, kann festgehalten werden, dass die konventionelle Gaswirtschaft durch die Herstellung des Substitutionsgutes (synthetisches bzw. biogenes CH<sub>4</sub>) zwar in ihrem bestehenden Geschäft bedroht ist, gleichzeitig aber als wesentlicher Kooperationspartner für die Markteinführung und -durchdringungen betrachtet wird. Sofern sie ihr Geschäftsmodell novelliert, gehört die Gaswirtschaft zu den *change agents* und damit langfristig zu den möglichen Gewinnern. Für Mineralölkonzerne und den Mobilitätsbereich zeichnen die Fallstudienuntersuchungen ein ähnliches, wenn gleich nicht so deutliches Phänomen ab.<sup>636</sup>

### **Forschungsfrage 2.3: Welche Chancen und Unsicherheiten gehen mit der Entwicklung von Geschäftsmodellinnovationen einher, die eine Unternehmensantwort auf die veränderten Rahmenbedingungen sein können?**

Die Chancen, die mit Geschäftsmodellinnovationen einhergehen, können auf der Systemebene über den Nutzen der Systeminnovationen selbst begründet werden: Der Substitution fossiler Energieträger und auf fossilen Rohstoffen basierende Produkte, dem Beitrag zur sektorübergreifenden Dekarbonisierung zur Umsetzung des Systemwandels und damit dem Schutz des Klimas. Mit der frühzeitigen Tötigung von Innovationsinvestitionen und der implizierten Novellierung ihrer Geschäftsmodelle können Unternehmen mit dem Ziel der langfristigen Erfolgssicherung, früh- und damit rechtzeitig den Veränderungen und Unsicherheiten, die aus dem systemischen Innovationsprozess der Energiewende resultieren, begegnen. Dabei bestätigen auch die Fallstudien, dass eine aktive Gestaltung der Zukunft, so wie sie im Rahmen des strategischen (Innovations-)Managements und der Begegnung regulatorischer Unsicherheiten der Strategieoption *shape the future* konstatiert wird, elementar für die Entwicklung von Geschäftsmodellinnovationen ist. Großunternehmen, Verbände aber auch Cluster, die als branchenübergreifender Zusammenschluss von Unternehmen und Institutionen verstanden werden, können *bottom-up* einen

---

<sup>634</sup> Siehe Kapitel 7.2.1 und 8.2.1.

<sup>635</sup> Siehe Kapitel 7.2.2 und 8.2.2.

<sup>636</sup> Siehe Kapitel 7.2.3 und 8.2.3.

Handlungsdruck für politische und regulatorische (Förder-)Maßnahmen erzeugen – insbesondere dann wenn sich ein Umdenken der Akteure vollzieht und zwar weg von einem Konkurrenzdenken und hin zu einem gemeinsamen Streben nach einer branchenübergreifenden Dekarbonisierung des (Energie-)Systems.<sup>637</sup> Über die Entwicklung strategischer Geschäftsmodellinnovationen können Unternehmen den Anforderungen des Systemwandels entsprechen und gleichzeitig den Wandel selbst initiieren und über die Vorwegnahme des Wandels die Chancen für eine langfristige und erfolgreiche Unternehmensentwicklung nutzen.<sup>638</sup>

Dieses würde parallel mit der Forderung des strategischen Managements einhergehen, die in einer Kopplung des Unternehmens mit seiner Umwelt besteht und dem Anspruch eines ganzheitlichen *strategy fit* und *strategic fit* entsprechen sollte: Die aus der Umwelt hervorgehenden Chancen und Risiken sind mit den unternehmensinternen Stärken und Schwächen in Einklang zubringen – im Zweifel sind die unternehmensinternen Stärken und Schwächen so weiter zu entwickeln, dass sie den Umwelтанforderungen entsprechen. Ein zentraler Kopplungspunkt, der zugleich die regulatorische Unsicherheit und den Handlungsdruck adressiert, ist der Staat-Unternehmens-Fit: Die Abstimmung zwischen Unternehmen und politischen Vorgaben sowie staatlicher Regulierung.<sup>639</sup>

Die Fallstudienuntersuchungen zeigen, dass neben zahlreichen Chancen für das System und für die Akteure, gleichfalls Unsicherheiten verbunden sind, die sowohl die Entfaltung der Systeminnovationen im Ganzen, als auch die herausgebildeten strategischen Geschäftsmodellinnovationen hemmen. Aus dem Ergebnisvergleich der Fallstudien kann abgeleitet werden, dass mit zunehmendem Voranschreiten der Systeminnovationen im Innovationsprozess eine Zunahme der Unsicherheiten für Geschäftsmodellinnovationen verbunden ist. Zudem wird in Anhängigkeit des Innovationsstadiums die Dimension der Unsicherheit von einer technologischen hin zu einer regulatorischen Dimension der Unsicherheit transferiert. Als Schnittstelle des Übergangs von der technologischen zur regulatorischen Dimension der Unsicherheit liegt die ökonomische Dimension, die aus der technologischen Dimension im frühen Innovationsstadium und der regulatorischen Dimension der Unsicherheit im vorangeschrittenen Innovationsstadium resultiert.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Unsicherheiten, die mit der Entwicklung von tragfähigen Geschäftsmodellinnovationen einhergehen, ökonomisch fundiert sind, in Abhängigkeit des Neuigkeitsgrades aber technologisch bzw. regulatorisch bedingt sind.

#### **Forschungsfrage 2.4: Wann und warum entscheiden sich Unternehmen für Investitionen zur Realisierung von Systeminnovationen?**

Wie bereits in der vorausgegangenen Forschungsfrage beantwortet, hängt die Entwicklung von tragfähigen Geschäftsmodellinnovationen primär von der ökonomischen Vorteilhaftigkeit, die über technologische bzw. regulatorische Rahmenbedingungen beeinflusst wird, ab. Die Analysen der Systeminnovationen P2G und A2X zeigen, dass sich Unternehmen maßgeblich auf Grund der Unsicherheiten gegen bzw. nicht mit aller Kraft für die Innovationsinvestitionen entscheiden. Eine Übersicht bestehender und geplanter Pilot- und Demonstrationsanlagen zeigt zwar auf der einen Seite ein reges Engagement

---

<sup>637</sup> Siehe Kapitel 7.2.2, 8.2.3 und 8.5.1.

<sup>638</sup> Siehe Kapitel 5.1.

<sup>639</sup> Siehe Kapitel 3.1.1.2 und 3.1.3.2.



der Unternehmen, stellt gleichzeitig aber heraus, dass die Anlagen bisweilen nicht die notwendige Skalierung, gemessen an der installierten Leistung bzw. den Produktionskapazitäten, erreichen, obwohl das theoretische Potenzial in Teilen bereits vorhanden ist.<sup>640</sup>

Aus der Analyse der *change agents* kann abgeleitet werden, dass sich Unternehmen zwar für ein Engagement in den Systeminnovationen entscheiden, dieses allerdings tendenziell maßvoll angelegt ist. Beweggründe für den zurückhaltenden Charakter könnten neben Pfadabhängigkeiten, dem Konfliktgehalt bei der Kannibalisierung angestammter Geschäftsfelder, einer tendenziell risikoaversiven Haltung und z. T. *greenwashing* gleichzeitig aber auch das Bedürfnis einer frühzeitigen Marktsondierung und -besetzung sein.<sup>641</sup>

### **Forschungsfrage 2.5: Welche Rahmenbedingungen sind für die Überführung von Systeminnovationen in Geschäftsmodellinnovationen notwendig?**

Die Rahmenbedingungen, die eine Überführung von Systeminnovationen in, und eine Entwicklung von, Geschäftsmodellinnovationen fördern können, sind erstens die gezielte Förderung der Systeminnovationen. Eine staatliche Forschungs- und Innovationsförderung sollte dabei sowohl eine technologieorientierte Forschung als auch eine sozio-ökonomisch ausgerichtete Transformationsforschung adressieren und dabei folgenden Anforderungen entsprechen: *Outcome*- und anwendungsorientiert, zielgerichtet, großskaliert sowie Markteintritt begleitend. In Anlehnung an die Begriffsdifferenzierung zwischen einer Innovation und Invention die auf dem Wirtschaftlichkeitskriterium basiert,<sup>642</sup> kann festgestellt werden, dass die staatliche Innovationsförderung auf die Prozessphasen zur Entwicklung einer Invention beschränkt ist. Aus der Analyse der Fallstudien wird deutlich, dass bedingt durch die hohe Unsicherheit und verbunden mit der Langfristigkeit der zu vollziehenden (System-)Transformation, eine marktdurchdringungsorientierte Förderung bis zum Stadium der Entwicklung eines tragfähigen Geschäfts(-modells) notwendig ist. Kriterien für eine geschäftsmodellspezifische Innovationsförderung sollten an der Wirtschaftlichkeit ausgelegt werden und *outcome*-orientierte ökonomische Relativitätskriterien enthalten, wie z. B. die geringsten Investitions- und Betriebskosten, die effektivste Nutzung des gesetzten Budgets, die höchste Anlageneffizienz. Eine staatlich induzierte Anreizsetzung in den vorgelagerten Stufen der Innovationskaskaden könnte auch zu einer Weiterentwicklung der nachgelagerten Stufen beitragen.

Zweitens können für die Systeminnovationen förderliche Rahmenbedingungen auch über die Benachteiligung der Märkte und Geschäftsmodelle gesetzt werden, die auf die Herstellung oder Nutzung fossiler Energieträger ausgerichtet sind. Mögliche Ansatzpunkte sind z. B. die Steigerung der Kompliziertheit bei Vergabe- und Genehmigungsverfahren, die Festlegung sektorübergreifender CO<sub>2</sub>-Minderungsziele, die Einführung einer CO<sub>2</sub>-Steuer für CO<sub>2</sub>-intensive Unternehmen und Produkte, die Erhöhung der Preise für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate und die Senkung der Ausgabemenge verfügbarer CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate. Zudem kann auch die Festlegung von verbindlichen und ambitionierten Zielen wie z. B. zu regenerativen Anteilen in den Sektoren Gas, Wärme, Mobilität und energieintensiven Produkten wie z. B. Kunststoffen zu einer Förderung der Rahmenbedingungen für die Entfaltung von nachhaltigen Geschäftsmodellinnovationen beitragen.

---

<sup>640</sup> Siehe Kapitel 7.1, 7.4, 8.1, 8.4, 8.5.2.3 und Anhang A.3.

<sup>641</sup> Siehe Kapitel 7.2.3 und 8.2.3.

<sup>642</sup> Siehe Kapitel 4.1.3.1.

## 10.2 Ableitung von Empfehlungen

Mit der Beantwortung der Forschungsfragen können zusammenfassend Empfehlungen für die Überführung von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen abgeleitet werden, die im Folgenden differenziert in eine Unternehmensperspektive und eine politisch-regulatorische Perspektive dargestellt werden.

### Unternehmensperspektive

- Vor dem Hintergrund des Bedeutungszuwachses von Systeminnovationen für eine nahezu vollständige Dekarbonisierung des (Energie-)Systems, sollten Unternehmen strategische Geschäftsmodellinnovationen ableiten, um den Veränderungen und Herausforderungen, die mit dem systemischen Transformationsprozess der Energiewende einhergehen, zu begegnen.
- Über die Entwicklung von Geschäftsmodellinnovationen können Unternehmen die Herausforderungen der Energiewende in einen strategischen Vorteil transferieren, indem sie den Anforderungen des Systemwandels entsprechen und gleichzeitig den Wandel selbst initiieren und über die Vorwegnahme des Wandels die Chancen für eine langfristige und erfolgreiche Unternehmensentwicklung nutzen. Unternehmen wird empfohlen, früh- und damit rechtzeitig Innovationsinvestitionen zu tätigen, um mit der implizierten Novellierung ihrer Geschäftsmodelle den langfristigen Unternehmenserfolg zu sichern.
- Bedingt durch den hohen Neuigkeitsgrad, die Komplexität, Langfristigkeit der Energiewende, der Notwendigkeit interdisziplinärer Lösungen sowie der hohen Transformationsgeschwindigkeit und -dynamik sollten Unternehmen das Konzept der Innovationskaskaden im Rahmen ihres strategischen (Innovations-)Managements implementieren und etablieren. Innovationskaskaden können langfristige, von dynamischen Rückkopplungsschleifen geprägte Verkettungen (radikaler) Innovationen vorzeichnen und Möglichkeiten zum Aufbau von Lerneffekten, der Erzielung von Skaleneffekten und der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit aufzeigen. Über das Konzept der Innovationskaskaden kann der Innovationsprozess zudem von einer singulären in die erforderliche systemorientierte Gestalt formiert werden.
- Die Unsicherheiten, die sich bei der Überführung von Systeminnovationen in Geschäftsmodellinnovationen ergeben, befinden sich vorrangig im Gestaltungsspielraum politischer, rechtlicher und regulatorischer Rahmenbedingungen. Unternehmen können diesen Unsicherheiten nur durch die strategische Option des *shape the future* begegnen. Große Unternehmen und in Verbänden organisierte KMU sollten ihre Rolle als Gestalter der Zukunft wahrnehmen und einen Einfluss auf Regierungen und Regularien ausüben und *bottom-up* einen Handlungsdruck für politische und regulatorische (Förder-)Maßnahmen erzeugen. Die aktive Gestaltung der Zukunft kann dazu beitragen, das wirtschaftliche Umfeld zu verbessern und damit die Chancen erhöhen, dass sich die nachhaltigen Geschäftsmodellinnovationen tragfähig entfalten lassen. Zudem wird Unternehmen auf Grund der Größe der Herausforderung ein Umdenken – weg von einem Konkurrenzdenken und hin zu einem gemeinsamen Streben nach einer branchenübergreifenden Dekarbonisierung des (Energie-)Systems – empfohlen.

### Politisch-regulatorische Perspektive

- Über die gezielte Förderung von Systeminnovationen kann die Überführung von Systeminnovationen in Geschäftsmodellinnovationen für Unternehmen unterstützt werden. Eine staatliche Forschungs- und Innovationsförderung sollte sowohl eine technologieorientierte Forschung als auch eine sozio-ökonomisch ausgerichtete Transformationsforschung adressieren und dabei folgenden Anforderungen entsprechen: *Outcome*- und anwendungsorientiert, zielgerichtet, großskaliert sowie Markteintritt begleitend. Der Politik wird empfohlen, die staatliche Innovationsförderung, bedingt durch die Langfristigkeit der zu vollziehenden (System-)Transformation und der damit verbundenen hohen Unsicherheit, auf eine marktdurchdringungsorientierte Förderung bis hin zum Stadium der Entwicklung eines tragfähigen Geschäfts(-modells) auszuweiten. Die Kriterien für eine geschäftsmodellspezifische Innovationsförderung sollten am Kriterium der Wirtschaftlichkeit ausgelegt werden und *outcome*-orientierte ökonomische Relationskriterien enthalten, wie z. B. die geringsten Investitions- und Betriebskosten, die effektivste Nutzung des gesetzten Budgets, die höchste Anlageneffizienz.
- Die Politik sollte die verbindlichen und ambitionierten Nachhaltigkeitsziele zum Schutz des Klimas sektorübergreifend formulieren. Dabei wird insbesondere die Festlegung von Zielsetzungen bezugnehmend auf regenerative Anteile in den Sektoren Gas, Wärme, Mobilität und energieintensiven Produkten wie z. B. Kunststoffen empfohlen.
- Der Politik wird empfohlen, auf nationaler und europäischer Ebene die Einschränkungen bei der Nutzung fossiler Energieträger restriktiver zu gestalten. Mögliche Handlungsansätze sind Vergabe- und Genehmigungsverfahren, die Festlegung sektorübergreifender CO<sub>2</sub>-Minderungsziele, die Einführung einer CO<sub>2</sub>-Steuer für CO<sub>2</sub>-intensive Unternehmen und Produkte, die Erhöhung der Preise für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate und die Senkung der Ausgabemenge verfügbarer CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate.
- Der Politik wird empfohlen, umfassende gesetzliche Regelungen für die energetische, (infra-)strukturelle, technische und wirtschaftliche Kopplung der verschiedenen Teile und Sektoren des Energiesystems zu formulieren und damit insbesondere einen Beitrag zur Verzahnung der bislang regulatorisch getrennt voneinander erfassten Sektoren Gas, Mobilität, Strom und Wärme zu leisten.

Beiden Akteurskreisen kann aus den Ergebnissen der Forschungsarbeit empfohlen werden, die Rahmenbedingungen und FuE-Aktivitäten mit Blick auf die Erhöhung der Skalierung bestehender und zukünftiger (Pilot- und Demonstrations-)Anlagen anzupassen, um einen ausreichend hohen Beitrag zur sektorübergreifenden Systemtransformation der Dekarbonisierung leisten zu können.

### 10.3 Reflexion der Hypothesen

Die Überprüfung der Hypothesen basiert auf den zentralen Erkenntnissen des praktischen Bezugsrahmens der Dekarbonisierung des Energiesystems (Teil A, Kapitel 1), des theoretischen Bezugsrahmens des strategischen (Innovations-)Managements (Teil B) sowie der empirischen Untersuchung ausgewählter Systeminnovationen (Teil C) und gliedert sich im Folgenden entlang der drei in Kapitel 2.1 formulierten Hypothesen.

**Hypothese 1: Ausgehend davon, dass die Energiewende ein systemischer Transformationsprozess ist, der durch ein hohes Maß an Komplexität und Dynamik gekennzeichnet ist, sind zur Umsetzung der Energiewende neben technologischen Innovationen auch Systeminnovationen und interdisziplinäre Zugänge notwendig.**

Wie die einleitenden Ausführungen dieser Arbeit gezeigt haben, handelt es sich bei der Energiewende um einen systemischen Transformationsprozess, der von einem hohen Neuigkeitsgrad und dem daraus resultierenden Fehlen an Erfahrungswissen, einer außerordentlichen Langfristigkeit der zu vollziehenden Transformation und gemäß Fishedick et al. (2014, S. 12) von einer beschleunigten Transformationsdynamik und einer hohen Komplexität des Transformationsprozesses gekennzeichnet ist. Da die Energiewirtschaft auf Grund ihrer starken Einbindung in das gesamte Wirtschaftssystem die klima- und energiepolitischen Minderungs- und Ausbaupotenziale nicht im Alleingang verwirklichen kann, ist es notwendig, auch außerhalb der energetischen Wertschöpfungskette die Minderungs- und Ausbauziele zu erreichen. Der mit der Energiewende eingeleitete Systemwandel einer nahezu vollständigen Dekarbonisierung muss daran anknüpfend sektorübergreifend stattfinden, welches die mit der Energiewende verbundene Herausforderung der Interdisziplinarität verdeutlicht. Zusammen genommen entsteht mit der Energiewende eine Unsicherheitssituation, die sich über die Energiewirtschaft hinaus auf multiple Branchen erstreckt.<sup>643</sup> Jedoch können mit der Energiewende auch Chancen für die Energiewirtschaft und die Industrie eröffnet, (Investitions-)Impulse für Innovationen gesetzt und die (energie-)wirtschaftlichen Strukturen verändert werden.<sup>644</sup>

Bedingt durch die Möglichkeit der Veränderung bzw. Erneuerung in und von einem gesamten sozio-technischen System, wächst die Bedeutung von Systeminnovationen. Sie entfalten ihre novellierende Wirkung in einem Geflecht technologischer, sozialer und infrastruktureller Elemente und nehmen eine zentrale Treiberfunktion zur Dekarbonisierung des Energiesystems ein.<sup>645</sup> Der Begriff der Systeminnovation impliziert die Erkenntnis, dass sich technologische Innovationen nur in einem geeigneten sozialen, politischen, kulturellen, strukturellen und institutionellen Umfeld werden durchsetzen können.

Die in der empirischen Untersuchung als Fallbeispiele ausgewählten Systeminnovationen *Power-to-Gas* (P2G) und *Algae-to-X* (A2X)<sup>646</sup> verdeutlichen den Charakter einer Systeminnovation anhand ihres Systemnutzens wie folgt: Beide Systeminnovationen können langfristig zur sektorübergreifenden Dekarbonisierung des Energiesystems beitragen, indem sie fossile Energieträger substituieren, CO<sub>2</sub> als Rohstoff verwenden und ihre Wirkungen auch in Geschäftsmodellen und Infrastrukturen anderer Branchen entfalten.

---

<sup>643</sup> Siehe zudem Kapitel 5.1.

<sup>644</sup> Siehe Kapitel 1.2.

<sup>645</sup> Siehe für eine umfassende Definition einer Systeminnovation Kapitel 4.1.2.1.

<sup>646</sup> Siehe für eine umfassende Definition die Einleitungskapitel 7.1 und 8.1 der einzelnen Fallstudien.

Darüber hinaus zeichnet sich der Systemnutzen von P2G über den Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes (Flexibilisierungsoption) und damit zur Versorgungssicherheit sowie dem Systembeitrag zum Ausbau (fluktuierender) erneuerbarer Energien über die Funktion eines Speichers der über die Sektorkopplung legitimiert werden kann, aus.<sup>647</sup> Bei der Systeminnovation A2X wird der Systemnutzen über das Potenzial der CO<sub>2</sub>-Senke, der sektorübergreifenden Senkung des Rohölverbrauchs, der Ressourceneinsparung z. B. von terrestrischen Energiepflanzen, der Schließung von (Nähr-)Stoffkreisläufen und der synergetischen Abwasserreinigung deutlich.<sup>648</sup>

Über den systemischen Innovationsprozess der Energiewende und den damit einhergehenden sektorenübergreifenden Herausforderungen wird der verstärkte Bedeutungszuwachs von Systeminnovationen hervorgehoben, so dass konstatiert werden kann, dass auf dem Weg zur Dekarbonisierung neben technologischen Innovationen zukünftig insbesondere Systeminnovationen erforderlich sind. Demzufolge kann die Hypothese 1 bestätigt werden.

**Hypothese 2: Als Bindeglied zwischen Unternehmen und Wertschöpfung berücksichtigen strategische Geschäftsmodellinnovationen die Unternehmensumwelt sorgfältig und knüpfen an die Anforderungen der Energiewende an.**

Geschäftsmodelle sind das Bindeglied zwischen Unternehmen und Wertschöpfung, die den ganzheitlichen Plan zum zukünftigen Vorgehen (Strategie), der dem strategischen Management zugrunde gelegt ist, in einen wertorientierten Plan übersetzen, indem sie die Logik des Unternehmens darstellen und den Weg zur Erreichung der Wettbewerbsvorteile in einer aggregierten und komplexitätsreduzierenden Form vor- bzw. nachzeichnen. Dieses wird im Beziehungsgeflecht zwischen dem Geschäftsmodell und dem strategischen (Innovations-)Management deutlich: Sowohl das strategische Management als auch das strategische Innovationsmanagement verfolgen das übergeordnete Ziel der Generierung von Erfolgspotenzialen über Wettbewerbsvorteile.<sup>649</sup> Analog zum strategischen Management kann auch ein Geschäftsmodell aus den drei Perspektiven des markt-, ressourcen-, und kernkompetenzorientierten Ansatzes betrachtet werden (Wirtz 2013, S. 17, 31), (Morris/Schindehutte/Allen 2005, S. 727). Das übergeordnete Ziel eines Geschäftsmodells ist die Erklärung von Wettbewerbsvorteilen eines Unternehmens (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1029). Im Beziehungsgeflecht zwischen Geschäftsmodell und Wertschöpfung werden die internen Kompetenzen und Ressourcen des Unternehmens begründet, welche die Grundlage für einen Wettbewerbsvorteil darstellen können (Morris/Schindehutte/Allen 2005, S. 729), (Afuah/Tucci 2001, S. 4). Neben den Interaktionsbeziehungen der klassischen Industrieökonomik in Anlehnung an das *structure-conduct-performance* Paradigma nach Mason/Bain<sup>650</sup> konnte aufbauend auf dem dynamisierten *structure-conduct-performance* Paradigma nach Porter (1981) abgeleitet werden, dass Geschäftsmodelle auch zudem selbst Marktveränderungen entfalten können. Für ein Geschäftsmodell ist neben der Wertgenerierung auch die Sicherung des geschaffenen Wertes maßgeblich (Csik/Gassmann 2015, S. 305), (Zott/Amit/Massa 2011, S. 1019),

---

<sup>647</sup> Siehe Kapitel 7.1, 7.4 und 7.7.

<sup>648</sup> Siehe Kapitel 8.1, 8.4 und 8.7.

<sup>649</sup> Siehe exemplarisch Bea/Haas (2013, S. 495), Bleicher (2011, S. 89), Specht/Beckmann/Amelingmeyer (2002, S. 3), Gälweiler (1986, S. 246), Pümpin (1986, S. 29) und zur Vertiefung der Argumentation die Kapitel 3.1.3 und 4.1.1.

<sup>650</sup> Vgl. Bain (1956, 1968) und Mason (1939).

(Teece 2010, S. 184). Aufbauend auf der in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur sehr heterogen dargestellten Beziehungsstruktur zwischen einer Strategie und einem Geschäftsmodell wurde festgehalten, dass ein Geschäftsmodell aus einer instrumentellen Sichtweise heraus die Übersetzung einer intendierten Strategie in einen wertorientierten Plan ist.

Ein zentraler Aspekt des strategischen Innovationsmanagements war die Erkenntnis, dass die als Innovation definierte Durchsetzung neuer Kombinationen (Schumpeter 1934, S. 101) von zentraler Bedeutung ist. In Anlehnung an Specht/Beckmann/Amelingmeyer (2002, S. 3) dienen Innovationen als Quelle für strategische Erfolgspotenziale und für die Generierung von Wettbewerbsvorteilen. Dabei können in Anlehnung an Morris (2003, S. 24f., 27) für Branchen, die von einem starken Transformationscharakter und zunehmender Wettbewerbsintensität geprägt sind, insbesondere Geschäftsmodellinnovationen eine bedeutende Rolle annehmen. Denn, wie bereits festgestellt, ermöglichen sie neben der Wertgenerierung auch die Sicherung des geschaffenen Wertes und bilden gemäß Morris (2003, S. 25) damit eine zentrale Grundlage für die Überlebensfähigkeit von Unternehmen.

In dieser Arbeit wurde elaboriert, dass ein Geschäftsmodell, als ein Instrument des strategischen Managements, zur inhaltlichen Ausgestaltung einer Innovation dient und gleichzeitig selbst zum Innovationsobjekt werden kann. Es kann als Instrument für die Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle genutzt werden, um über die Antizipation von unsicheren und dynamischen Veränderungen der Unternehmensumwelt, dieser mit einer Unternehmensantwort in Form von Geschäftsmodellinnovationen zu begegnen.<sup>651</sup>

Zur Begegnung der aus der Langfristigkeit der Energiewende resultierenden Unsicherheitssituation sind den Ausführungen des theoretischen Bezugsrahmens zum strategischen (Innovations-)Management zur Folge strategische Geschäftsmodellinnovationen notwendig. Auch die empirische Untersuchung ausgewählter Systeminnovationen bestätigt, dass sich die zentrale Herausforderung in der ökonomischen Dimension über die Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle manifestiert,<sup>652</sup> die sich bei P2G maßgeblich aus regulatorischen Hemmnissen und bei A2X aus dem noch notwendigen technologischen Weiterentwicklungsbedarf ableitet.<sup>653</sup>

**Hypothese 3: Die Überführung von Systeminnovationen in Geschäftsmodellinnovationen kann über Innovationskaskaden erfolgen und aus der Systembetrachtung heraus als *system-push* und *system-pull* bezeichnet werden.**

Wie bereits im Rahmen der Beantwortung der Forschungsfragen konnte sowohl theoretisch (Forschungsfrage 1.1) abgeleitet, als auch empirisch (Forschungsfrage 2.1) bestätigt werden, dass das noch sehr junge Konzept der Innovationskaskaden die Diskrepanz zwischen dem singulären und eingeschränkten Betrachtungshorizont klassischer Innovationsprozesse und der Interdisziplinarität und außerordentlichen Langfristigkeit der Energiewende auflösen kann. Insbesondere für Systeminnovationen, die zur Dekarbonisierung des (Energie-)Systems und zur Umsetzung der Energiewende mittel- bis langfristig einen hohen Stellenwert einnehmen werden – dessen technologische Grundlagen aber

---

<sup>651</sup> Siehe Kapitel 4.4.

<sup>652</sup> Siehe Kapitel 7.5.3 und 8.5.2.

<sup>653</sup> Siehe Kapitel 7.5.2 und 8.5.3, die *within-case* Analysen der Kapitel 7.7 und 8.7 sowie die *cross-case* Analyse des Kapitels 9.

bereits heute zu entwickeln sind, um die Neuerungen zum Zeitpunkt der Notwendigkeit vorhalten zu können – kann das Konzept der Innovationskaskaden einen wertvollen Beitrag leisten. Über das Vorausdenken zeitlich aufeinanderfolgender und miteinander verbundener Innovationen werden die notwendigen Geschäftsmodellinnovationen als kreative Antwort der Unternehmen auf den systemischen Innovationsprozess der Energiewende abgeleitet. Zugleich können über die Technologieentwicklung und gesammelten Lerneffekte der vorgelagerten Stufe(n) der Innovationskaskade, Beiträge zur Technologieentwicklung, dem Aufbau von Lerneffekten, der Erzielung von Skaleneffekten und der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der nachgelagerten Stufe(n) der Innovationskaskade erreicht werden.<sup>654</sup>

Ein kaskadenförmiger Innovationsprozess, dessen langfristige Zielerreichung die letzte Entwicklungsstufe der Innovationskaskade ist und der auf der Entwicklung technologieverwandter Nutzungspfade basiert, kann die Entwicklung von strategischen Geschäftsmodellinnovationen vorantreiben, indem die Unsicherheit bei der Überführung aus den Systeminnovationen reduziert wird. Das Konzept der Innovationskaskaden leistet ebenfalls einen Beitrag zur Prädiktion der (fernen) Zukunft, der Zielfestlegung im strategischen (Innovations-)Management und der Unsicherheitsreduktion bei Investitionsentscheidungen.<sup>655</sup> Dabei kann auch die empirische Untersuchung ausgewählter Systeminnovationen, die mit dem Konzept der Innovationskaskaden verbundene Senkung der Unsicherheit, die sich aus der außerordentlichen Langfristigkeit der Energiewende ergibt, bestätigen.<sup>656</sup> Sowohl in der P2G- als auch in der A2X-Fallstudie besteht eine kaskadenförmige Innovationsentwicklung, die heute bereits vorgezeichnet werden kann: Multiple, in sich geschlossene und überlappende Innovationszyklen, die eigenständige Zielsetzungen verfolgen und trotzdem einem übergeordneten langfristigen Systemziel dienen. Zusammenfassend kann die Hypothese bestätigt werden, dass zur Begegnung der aus der Langfristigkeit der Energiewende resultierenden Unsicherheitssituation strategische Geschäftsmodellinnovationen notwendig sind, die über Innovationskaskaden abzuleiten sind.

Aufbauend auf der Multi-Impuls These von Klemmer/Lehr/Löbke (1999, S. 80) wurde gezeigt, dass *eco-innovations* und im Besonderen Nachhaltigkeitsinnovationen in Anlehnung an Fichter (2005, S. 131-132) über eine Vielzahl von Impulsen stimuliert werden können (*technology-push, demand-pull, eco-pull, regulatory-push, regulatory-pull, society-push, vision-pull*), um einen *creative response* (Schumpeter 1947, S. 150) der Unternehmen auszulösen. Die Kreativität ist im Sinn einer innovativen Antwort von Unternehmen auf die sie tangierenden Herausforderungen zu verstehen. Abgeleitet aus dem *Multi-Level-Perspective* Ansatz von Geels (2004, 2005) und Geels/Schot (2007) wurde ein weiterer innovationsauslösender Stimulus abgeleitet: Der *system-push*. Er entfaltet seine innovationsstimulierende Wirkung über den Beitrag zur Umsetzung der Energiewende und der damit einhergehenden Initiierung eines nahezu vollständigen Systemwechsels, der als energiesystemübergreifende Transformation einer nahezu vollständigen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen definiert ist.<sup>657</sup> Mit dem Ziel der Dekarbonisierung entsteht ein systembedingter Druck auf die Entwicklung und Markteinführung von

---

<sup>654</sup> Siehe Kapitel 5.2 und 10.1.

<sup>655</sup> Siehe Kapitel 5.2.

<sup>656</sup> Siehe Kapitel 7.3, 8.3 und 9.

<sup>657</sup> Siehe Kapitel 2.1 und 4.3.3.

Innovationen, die in der Lage sind, eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen einzuleiten und/oder zu verstärken. Der *system-push* trägt primär zur Entwicklung von Innovationen bei, die einen effektiven Systemwandel initiieren und umsetzen. Wird von dem System hingegen ein Sog erzeugt, der seine innovationsauslösende Wirkung über die komplementäre und unterstützende Funktion von Innovationen in bereits eingeschlagenen technologischen Transformationspfaden entfaltet, kann von einem *system-pull* ausgegangen werden. Der *system-pull* trägt primär zu der Entwicklung von Innovationen bei, die einen effizienten Vollzug des Systemwandels ermöglichen.

Die beiden in dieser Arbeit theoriegestützten und gedanklich abgeleiteten Stimuli werden unter dem Terminus »systeminduzierte Impulse« zusammengefasst. Systeminduzierte Innovationen basieren auf der strategischen Annahme, dass der Innovationsprozess über die Notwendigkeit der Dekarbonisierung langfristig aus dem systemischen Innovationsprozess der Energiewende getrieben ist.

Die empirische Untersuchung ausgewählter Systeminnovationen zeigt, dass beide Fallstudien aus dem Systemnutzen der Dekarbonisierung heraus über einen *system-push* stimuliert werden. Angelehnt an die Multi-Impuls These, kann der innovationsauslösende Stimulus des *system-push* sowohl bei A2X, als auch bei P2G über den *regularory-push* und den *regulatory-pull* als Impulsverstärker zur Entwicklung und Etablierung von Geschäftsmodellinnovationen hervorgehoben werden. Die empirische Untersuchung zeigte zudem, dass im Rahmen der P2G-Fallstudie zusätzlich der Stimulus des *system-pull* ein innovationsauslösender *trigger* für die Ableitung von Innovationskaskaden im Rahmen der Überführung von Systeminnovationen in Geschäftsmodellinnovationen sein kann, wohingegen bei der A2X-Fallstudie die Existenz eines *system-pull* nicht belegt werden konnte.

Aufbauend auf den sieben in der wissenschaftlichen Literatur identifizierten *triggern*, wurden im Rahmen der theoretischen Weiterentwicklung zwei weitere innovationsauslösende Stimuli zunächst gedanklich abgeleitet und anschließend in den Fallstudienanalysen empirisch überprüft. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse kann die Hypothese bestätigt werden, dass die Überführung von Systeminnovationen in Geschäftsmodellinnovationen über die Ableitung von Innovationskaskaden über die systeminduzierten Impulse des *system-push* und des *system-pull* stimuliert werden kann.



## 11 Mehrwert der Arbeit, Reflexion des Forschungsdesigns und weiterführender Forschungsbedarf

Diese Forschungsarbeit stellt einen substanziellen Beitrag zur Entscheidungsfindung im strategischen (Innovations-)Managements für Unternehmen der Energiewirtschaft und der THG-intensiven Sektoren dar – Bereiche, die von einem erheblichen Transformationsdruck gekennzeichnet sind. Insbesondere für Unternehmen, die bedingt durch den Wandel des Energiesystems großen Herausforderungen gegenüberstehen, leistet diese Arbeit einen Beitrag zur Ableitung neuer, nachhaltiger und ökonomisch tragfähiger Geschäftsmodelle. Im Mittelpunkt stehen die Systeminnovationen *Power-to-Gas* (P2G) und *Algae-to-X* (A2X). Dabei wird der Begriff *Algae-to-X* erstmalig in die wissenschaftliche und praktische Diskussion eingeführt und konzeptionell fundiert. Mit einer ganzheitlichen Untersuchung der Innovationsprozesse, den damit verbundenen Chancen, Potenzialen, Unsicherheiten, Hemmnissen und visionären Zukunftsbildern von *Power-to-Gas* und *Algae-to-X* werden konkrete Handlungsansätze zur Förderung von Systeminnovationen und der Überführung in Geschäftsmodellinnovationen im *window of opportunity* der Energiewende herausgearbeitet.

Diese Forschungsarbeit trägt zudem zur Weiterentwicklung der wirtschaftswissenschaftlichen Theoriebasis in den Disziplinen des strategischen Managements und des strategischen Innovationsmanagements bei: Aufbauend auf einer breiten und tiefgreifenden Analyse bestehender Ansätze wird die Bedeutung von Systeminnovationen und Geschäftsmodellinnovationen herausgestellt und die tragende Rolle des, in der Theorie noch relativ jungen, Konzeptes der Innovationskaskaden für die Umsetzung des systemischen Transformationsprozesses der Energiewende theoretisch fundiert und empirisch gestützt. Hervorzuheben ist, dass die Unsicherheiten, die mit der Entwicklung von tragfähigen Geschäftsmodellinnovationen einhergehen, ökonomisch fundiert sind, in den Beispielen in Abhängigkeit des Neuigkeitsgrades und damit der Entwicklungsstufe der Innovationskaskade aber technologisch (A2X) bzw. regulatorisch (P2G) bedingt sind. Bei der Überführung von Systeminnovationen in strategische Geschäftsmodellinnovationen über die Ableitung von Innovationskaskaden stellt diese Arbeit zwei neue, theoretisch fundiert und empirisch überprüfte innovationsauslösende Stimuli vor: Die systeminduzierten Impulse des *system-push* und des *system-pull*.

Das dieser Arbeit zugrunde gelegte Forschungsdesign ist über den Bezugsrahmen des strategischen (Innovations-)Managements theoretisch fundiert und über die ganzheitliche Analyse zweier Systeminnovationen im Rahmen der Fallstudienuntersuchungen empirisch gestützt. In einer Reflexion des Forschungsdesigns ist jedoch einschränkend anzuführen, dass die Anzahl der untersuchten Fallstudien weder dem Kriterium der Repräsentativität bezugnehmend auf die Grundgesamtheit der relevanten Systeminnovationen entsprechen noch dem Anspruch einer Querschnitt- und Längsschnittstudie genügen.

Die in dieser Arbeit beispielhaft untersuchten Systeminnovationen stehen in einer engen Wechselwirkung zur Energiewende und deren Gelingen, einer politisch und regulatorisch induzierten Systemveränderung über eine nahezu vollständige Dekarbonisierung. Ob das Konzept der Innovationskaskaden und die systeminduzierten Innovationsimpulse des *system-push* und des *system-pull* überdies auf andere Fälle innerhalb und außerhalb der Energiewende übertragbar sind, sollte Teil einer weiterführenden Forschung sein. Eine vertiefende Untersuchung der Innovationskaskaden und systeminduzierten Innovationsimpulse könnte beispielsweise in den Möglichkeiten und Grenzen der Adaption auf andere Speicher- und Flexibilisierungstechnologien, weiteren P2X-Nutzungsfaden (z. B. P2C, P2M) oder dezidiert innerhalb der einzelnen A2X-Nutzungspfade (A2P, A2E) begründet werden.

Ein weiteres Forschungsfeld könnte neben einer vertikalen auch eine horizontale Vertiefung der Forschungsfrage darstellen, die mit der Untersuchung geeigneter Methoden zur Bewertung von Geschäftsmodellinnovationen im Speziellen, auf deren Basis Unternehmen ihre Investitionsentscheidung treffen, einhergeht. So könnte beispielsweise das Konstrukt trendantizipierender Geschäftsmodellinnovationen nach Granig/Ratheiser/Gaggl (2016), welches aufbauend auf dem *business model canvas* nach Osterwalder/Pigneur (2011) u. a. eine erste Auswahl an Methoden bereit hält, weiterführend im Hinblick auf das Konzept der Innovationskaskaden analysiert werden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass sowohl das Konzept der Innovationskaskaden als auch die systeminduzierten Innovationsstimuli zwar ein junges bzw. neues aber gleichsam interessantes Forschungsobjekt der Wirtschaftswissenschaften sind. Vor dem Hintergrund ihres Beitrages zur Reduktion der mit der durch den systemischen Innovationsprozess der Energiewende einhergehenden Unsicherheitssituation bei Innovationsentscheidungen können die beiden in dieser Arbeit theoretisch abgeleiteten und empirisch gestützten Konzepte den Weg zur Dekarbonisierung des (Energie-)Systems über Ansätze zur Ableitung neuer nachhaltiger und ökonomisch tragfähiger Geschäftsmodelle unterstützen.

## **Anhang**

## A.1 Vergleich ausgewählter Prozessmodelle

Tabelle 42: Prozessmodelle des strategischen Managements

Autoren	1. strategische Zielplanung	2. strategische Analyse	3. Strategieformulierung	4. Strategieimplementierung	5. Strategiekontrolle
Wheelen/ Hunger (2012, S. 39)		1. Environmental scanning – gathering information (SWOT Analyse)	2. Strategy formulation (developing long-range plans)	3. Strategy implementation: putting strategy into action	4. Evaluation & control (monitoring performance)
Welge/ Al-Laham (2012, S. 186ff.)	1. Strategische Zielplanung: Unternehmenspolitik, Leitbild, strategische Zielsetzung	2. Strategische Analyse: Unternehmens- und Umweltanalyse, Prognose und Frühaufklärung	3. Strategieformulierung und -bewertung	3. Strategieumsetzung	4. Strategiekontrolle
Kreikebaum/ Gilbert/Behnam (2011, S. 55ff.)	1. Vision und strategische Zielplanung	2. Segmentierung (SGF, SGE) 3. Strategische Analyse	4. Strategieentwicklung und -bewertung	5. Strategieimplementierung	6. Strategische Kontrolle
Bausch (2006, S. 197)	2. Festlegung strategischer Ziele	1. Interne und externe Analysen (Unternehmens- und Umfeldanalysen)	3. Untersuchung strategischer Handlungsoptionen und Strategieentscheidungen	4. Strategieoperationalisierung: Festlegung von Maßnahmen und Budgets 5. Strategieorientierte Entwicklung von Strukturen, System, Kultur	6. Strategiekontrolle
Müller-Stewens/ Lechner (2005)	2. Mission values and vision goals	1. Internal and external analyses of the situation and integration of both analytical results	3. Strategy evaluation and selection at five levels (network, corporate, business, functional and issue strategies)	4. Strategic program	5. Feedback
Farjoun (2002, S. 581)	*siehe Strategieformulierung	1. Analyse externer (Unternehmensumwelt) & interner (Organisation) Einflüsse	2. Strategieformulierung (inkl. Ziele*, Haltung, Schachzüge)	3. Strategierealisierung/-implementierung	4. Feedback, Revision, Lernen und Kontrolle der Unternehmensperformance
Kohlöffel (2000, S. 2)	1. Entwicklung eines strategischen Rahmens: Vision/Leitbild, strategisches Zielsystem, SGE, Kernkompetenzen		2. Entwicklung von Strategien (Strategieoptionen, Strategieprozess, strategischer Plan)	3. Umsetzung von Strategien (Wandel, Implementierungsinstrumente, strategisches Controlling*, strategische Frühaufklärung)	*siehe Strategieimplementierung
Schendel/Hofer (1979 S. 14-18)	1. Goal formulation: goal structure	2. Environmental analysis	3. Strategy formulation: proposed strategies 4. strategy evaluation: strategy choice	5. Strategy implementation	6. Strategic control: performance results, test of consistency

Quelle: Eigene Darstellung.

**Tabelle 43: Prozessmodelle der strategischen Planung**

<b>Autoren</b>	<b>1. strategische Zielplanung</b>	<b>2. strategische Analyse</b>	<b>3. Strategieformulierung</b>	<b>4. Strategieimplementierung</b>	<b>5. Strategiekontrolle</b>
Hax/ Majluf (1984)		1. Structural conditions	2. Strategy formulation (covers corporate, business and functional strategies)	3. Strategic programs. 4. Strategic and operational budgeting	
Rogers (1981)	1. Set objectives	2. Environmental assessment (market/clients, products/ services, competition)	3. Modify objectives 4. Develop and analyze strategic alternatives – select/ optimize plan(s)	5. Implement plan	6. Feedback/ control
Mazzolini (1981)	1. Decision-need identification		2. Search for alternatives 3. Investigation of courses of action 4. Review and approval	5. Implementation	
Lorange (1980)	1. Objectives setting – identification of relevant strategic alternatives		2. Strategic programming – develop programs for achieving chosen objectives	3. Budgeting – establish detailed action program for strategy	4. Monitoring – measure progress toward fulfilment of strategies 5. Establish incentives to motivate goal achievement
Hofer/ Schendel (1978)	1. Identification of desired corporate objectives and major business areas	2. Identify SBU environmental characteristics and trends – external and internal analyses 3. gap-analysis	4. Identification and evaluation of strategic options 5. Design portfolio and forecast future 6. Identify gap closing options 7. Derive SBU and corporate strategies	8. Implementation	9. Revise objectives and strategies
Andrews (1971)	1. Identification of objectives	2. Environmental and resource analysis 3. Identification of opportunities and threats	4. Identification of strategic alternatives – strategic decision making process 5. Social responsibilities 6. Management values	7. Organizational structure and relationships 8. Organizational processes and behavior 9. Leadership	10. Revise objectives and strategies
Andrews (1971)	1. Identification of objectives	2. Environmental and resource analysis 3. Identification of opportunities and threats	4. Identification of strategic alternatives – strategic decision making process 5. Social responsibilities 6. Management values	7. Organizational structure and relationships 8. Organizational processes and behavior 9. Leadership	10. Revise objectives and strategies
Steiner (1969)	1. Purpose of the firm and values of top-managers	2. Evaluation of threats, opportunities, weaknesses and strengths	3. Long-term objectives – strategic planning and plans 4. Medium-range programming – design subpolicies and substrategies	5. Short-term programming and tactical plans 6. Design organization for plans	7. Review and evaluation of plans – continuous feasibility tests
Ansoff (1965)	1. Objectives	2. Internal and external analyses; gap-analysis	3. Development of decision criteria – feasibility study 4. Decision making	5. Strategic plan – productmarket, administrative and finance strategy as well as strategic budget	6. Review

Quelle: Eigene, erweiterte Darstellung in Anlehnung an Gilbert/Behnam (2009, S. 72).

## A.2 Vergleich ausgewählter Definitionen zu den Begriffen Geschäftsmodell und Geschäftsmodellinnovation

Tabelle 44: Definitionen Geschäftsmodell

Autoren	Definition Geschäftsmodell	*
Csik/Gassmann (2015, S. 306), Csik (2014, S. 25)	„Ein Geschäftsmodell zeigt auf, wie ein Unternehmen durch das Zusammenspiel des Nutzenversprechens, des Kundensegmentes, der Wertschöpfungskette und der Ertragsmechanik Wert schafft und einen Teil des geschafften Wertes für dich sichert.“	B E
Halecker/Hölzle (2014, S. 184)	„Allgemeiner Konsens herrscht darüber, dass ein Geschäftsmodell beschreibt, welchen Wert dem Kunden geboten wird, wie dieser Wert geschaffen wird und wie letztendlich damit Geld verdient werden kann (...).“	B E
Halecker/Hölzle/Sittner (2014, S. 3)	„Das Geschäftsmodell bildet die Grundlogik eines Unternehmens mit den wesentlichen Elementen und Zusammenhängen vereinfacht ab. Das Nutzenversprechen für den Kunden (Value Proposition) steht im Mittelpunkt der Betrachtung. Das Geschäftsmodell kann konzeptionell für die Planung, Beurteilung und zur Kommunikation eingesetzt werden oder zur Analyse der relevanten Aktivitäten der Nutzenerbringung.“	E
Gassmann/Frankenberger/Csik (2013, S. 7, 10)	„Zusammenfassend ist ein Geschäftsmodell darüber definiert, wer die Kunden sind, was verkauft wird, wie man es herstellt und wie man einen Ertrag realisiert. Kurz gesagt, das Wer-Was-Wie-Wert? definiert ein Geschäftsmodell, wobei die ersten beiden 'W' die externe Dimension eines Geschäftsmodells adressieren und die letzten beiden 'W' die interne Dimension. (...) Eine erfolgreiche Geschäftsmodellinnovation schafft Werte und schützt diese für das eigene Unternehmen.“	E
Schallmo (2013, S. 22f., Hervorhebungen im Original)	„Ein Geschäftsmodell ist die Grundlogik eines Unternehmens, die beschreibt, welcher Nutzen auf welche Weise für Kunden und Partner gestiftet wird. Ein Geschäftsmodell beantwortet die Frage, wie der gestiftete Nutzen in Form von Umsätzen an das Unternehmen zurückfließt. Der gestiftete Nutzen ermöglicht eine Differenzierung gegenüber Wettbewerbern, die Festigung von Kundenbeziehungen und die Erzielung eines Wettbewerbsvorteils. Ein Geschäftsmodell beinhaltet folgende Dimensionen und Elemente: Die <i>Kundendimension</i> beinhaltet die Kundensegmente, die Kundenkanäle und die Kundenbeziehungen. Die <i>Nutzendimension</i> beinhaltet die Leistungen und den Nutzen. Die <i>Wertschöpfungsdimension</i> beinhaltet die Ressourcen, die Fähigkeiten und die Prozesse. Die <i>Partnerdimension</i> beinhaltet die Partner, die Partnerkanäle und die Partnerbeziehungen. Die <i>Finanzdimension</i> beinhaltet die Umsätze und die Kosten. Die Zielsetzung ist, die Geschäftsmodell-Elemente so miteinander zu kombinieren, dass sich die Geschäftsmodell-Elemente gegenseitig verstärken. Somit ist es möglich, Wachstum zu erzielen und gegenüber Wettbewerbern schwer imitierbar zu sein.“	B E
Wirtz (2013, S. 73)	„Ein Business Model stellt eine stark vereinfachte und aggregierte Abbildung der relevanten Aktivitäten einer Unternehmung dar. Es erklärt wie durch die Wertschöpfungskomponente einer Unternehmung vermarktungsfähige Informationen, Produkte und/oder Dienstleistungen entstehen. Neben der Architektur der Wertschöpfung werden die strategische sowie Kunden- und Markt Komponente berücksichtigt, um das übergeordnete Ziel der Generierung bzw. Sicherung des Wettbewerbsvorteils zu realisieren.“	B
König/Buddrick (2013, S. 17f.)	„Ein Geschäftsmodell besteht dabei immer aus drei komplementären Elementen, die systemisch das Ziel haben, zu beschreiben, wie der Kundennutzen wirtschaftlich erfolgreich erbracht wird: Als erster Bestandteil beschreibt die Produkt-Markt-Kombination, welche Kundensegmente über welchen Kundennutzen wie bedient werden. Auf der anderen Seite beschreibt der zweite Bestandteil, welche Konfiguration der Wertschöpfungskette notwendig ist, um diesen Kundennutzen zu schaffen. Zuletzt beschreibt der dritte Bestandteil komplementär die Ertragsmechanik, also wie Umsatz und Kosten zueinanderstehen und das gesamte Geschäftsmodell wirtschaftlich werden lassen.“	B E
Vahs/Brem (2013, S. 61)	„Ein Geschäftsmodell (Business Model) kann als die Art und Weise verstanden werden, in der ein Unternehmen seine Wertschöpfungsaktivitäten konfiguriert und durchführt, um einen möglichst hohen Kundennutzen zu stiften und damit dauerhafte Wettbewerbsvorteile zu generieren.“	B
Osterwalder/Pigneur (2011, S. 18)	„Ein Geschäftsmodell beschreibt das Grundprinzip, nach dem eine Organisation Werte schafft, vermittelt und erfasst.“	B
Casadesus-Masanell/Ricart (2010, S. 195f.)	„(...) a business model, we argue, is a reflection of the firm's realized strategy. (...) Business Model refers to the logic of the firm, the way it operates and how it creates value for its stakeholders; and Strategy refers to the choice of business model through which the firm will compete in the marketplace (...).“	B

<b>Autoren</b>	<b>Definition Geschäftsmodell</b>	<b>*</b>
König (2010, S. 4f.)	„Bei einem Geschäftsmodell handelt es sich um eine modellhafte Vorstellung, wie verschiedene Kategorien einer Anbieter-Kundenbeziehung so konfiguriert und administriert werden, dass ihr Zusammenwirken zu einer erfolgreichen Geschäftsentwicklung führt.“	B E
Johnson/ Christensen/Kagermann (2008, S. 52)	„A business model, from our point of view, consists of four interlocking elements that, taken together, create and deliver value. The most important to get right, by far, is the first.“	B E
Morris/ Schindelhutte/Allen (2005, S. 727)	„A business model is a concise representation of how an interrelated set of decision variables in the areas of venture strategy, architecture, and economics are addressed to create sustainable competitive advantage in defined markets.“	B
Osterwalder/ Pigneur/Tucci (2005, S. 3)	„A business model is a conceptual tool containing a set of objects, concepts and their relationships with the objective to express the business logic of a specific firm. Therefore we must consider which concepts and relationships allow a simplified description and representation of what value is provided to customers, how this is done and with which financial consequences.“	B
Shafer/Smith/ Linder (2005, S. 204)	„We (...) define a business model as a representation of a firm’s underlying core logic and strategic choice for creating and capturing value within a value network. The core logic should be as comprehensive as possible, not simply one or two components, and the business model should reflect the firm’s strategic choices.“	B
Pateli/Giaglis (2004, S. 308)	„In other words, business models are not conceived as a purely management-related concept, but embrace a broad spectrum of organizational activities, from the operational (processes) to the strategic level. Moreover, given the evolution of networked organizations and the growing adoption of eBusiness [sic!], the definition of business models has been extended to include inter-organizational activities, roles, and elements as well.“	E
Rappa (2004, S. 34)	„A business model is a method of doing business. All business models specify what a company does to create value, how it is situated among upstream and downstream partners in the value chain, and the type of arrangement it has with its customers to generate revenue.“	B
Morris (2003, S. 19)	„(...) a ‘business model’ is a description of the entire marketplace and the relationship of the company to that commercial environment. It is a precise definition of who customers are, and how the company intends to satisfy their needs both today and tomorrow. A business model also includes a specific assessment of today’s competitors, and tomorrow’s, and the technologies that will be embedded in various competing versions of products and services.“	B E
Mitchell/Coles (2004, S. 17)	„A business model is the combination of ‘who’, ‘what’, ‘when’, ‘where’, ‘why’, ‘how’, and ‘how much’ an organization uses to provide its goods and services and develop resources to continue its efforts. A business model replacement improves performance in at least four of these business model elements versus the competition to create sustained enhancements in company earnings, cash flow and revenues.“	E
Magretta (2002, S. 4)	„A good business model answers Peter Drucker’s age-old questions: Who is the customer? And what does the customer value? It also answers the fundamental question every manager must ask: How do we make money in this business? What is the underlying economic logic that explains how we can deliver value to the customers at an appropriate cost?“	B
Chesbrough/ Rosenbloom (2002, S. 529)	„A successful business model is creates a heuristic logic that connects technical potential with the realization of economic value.“	B
Amit/Zott (2001, S. 493)	„A business model depicts the design of transaction content, structure, and governance so as to create value through the exploitation of business opportunities.“	B
Afuah/Tucci (2001, S. 3f.)	„A business model „is the method by which a firm builds and uses its resources to offer its customers better value than its competitors and to make money doing so. It deals how a firm makes money and how it plan to do so in the long term. The model is what enables a firm to have a sustainable competitive advantage, to perform better than its rivals in the long term. (...)“	B
Hamel (2000, S. 73)	„A business concept comprises four major components: Core Strategy, Strategic Resources, Customer Interface, Value Network. (...) The four components are linked together by three ‘bridge’ components: Core Strategy > Configuration of Activities > Resource Base; Core Strategy > Customer Benefits > Customer Interface; Resource Base > Company Boundaries > Value Network.“	E
Linder/Cantrell (2000, S. 1)	„A Business model, strictly speaking, ist he organization’s core logic for creating value.“	B

Quelle: Eigene Darstellung.

\* Kategorien

B: Beziehung zwischen dem Geschäftsmodell und der Wertschöpfung eines Unternehmens

E: Fragmentierung des Geschäftsmodells in einzelne Elemente

**Tabelle 45: Definitionen Geschäftsmodellinnovation**

<b>Autor</b>	<b>Definition Geschäftsmodellinnovation</b>
Csik (2014, S. 36), Csik/Gassmann (2015, S. 306)	„Unter einer Geschäftsmodellinnovation ist eine Neuerung eines Geschäftsmodells zu verstehen, welche sich auf die Veränderung von mehreren Geschäftsmodell-elementen (Nutzenversprechen, Kundensegment, Wertschöpfungskette, Ertragsmechanik) bezieht.“
Halecker/Hölzle (2014, S. 184)	„Der Begriff Geschäftsmodellinnovation, bei dem die Gestaltungs- und Veränderungsfunktion eines Geschäftsmodells im Fokus steht, kann aus zwei Blickwinkeln betrachtet werden. Zum einen beschreibt der Begriff den Prozess, der eine neue Geschäftsmodellidee erarbeitet und erfolgreich im Markt etabliert. Zum anderen beschreibt die Geschäftsmodellinnovation aber auch das Endergebnis des Prozesses.“
Schallmo (2013, S. 29)	„Die Innovationsobjekte im Rahmen der Geschäftsmodell-Innovation sind einzelne Geschäftsmodell-Elemente (z. B. Kundensegmente, Leistungen) bzw. das gesamte Geschäftsmodell. Der Innovationsgrad betrifft sowohl die inkrementelle (geringfügige) als auch die radikale (fundamentale) (Weiter-) Entwicklung eines Geschäftsmodells. Die Bezugseinheit zur Feststellung des Neuigkeitsgrades ist primär der Kunde; sie kann allerdings auch den Wettbewerb, die Industrie und das eigene Unternehmen betreffen. Die Geschäftsmodell-Innovation erfolgt anhand eines Prozesses mit einer Abfolge von Aufgaben und Entscheidungen, die in logischem und zeitlichem Zusammenhang zueinander stehen. Die Aufgaben dienen der Entwicklung, der Implementierung und der Vermarktung eines Geschäftsmodells dienen. Die Zielsetzung ist, Geschäftsmodell-Elemente so zu kombinieren, damit für Kunden und für Partner auf eine neue Weise Nutzen gestiftet wird; somit ist auch eine Differenzierung gegenüber Wettbewerbern möglich. Diese Differenzierung dient dazu, die Kundenbeziehungen zu festigen und einen Wettbewerbsvorteil aufzubauen. Eine weitere Zielsetzung ist, eine schwere Imitierbarkeit zu erreichen und das sich die Geschäftsmodell-Elemente gegenseitig verstärken, um Wachstum zu generieren.“
Wirtz (2010, S. 203)	„Zum einen wird das Business Model-Design im Kontext einer Unternehmensgründung betrachtet, wobei insbesondere der Planungsprozess im Vordergrund steht. Zum anderen wird das (Re-) Design eines existierenden Business Models im Rahmen eines bestehenden Unternehmens untersucht.“
Lindgardt et al. (2009, S. 2)	„Innovation becomes BMI [Business model innovation] when two or more elements of a business model are reinvented to deliver value in a new way. [...] BMI can provide companies a way to break out of intense competition, under which product or process innovations are easily imitated, competitors' strategies have converged, and sustained advantage is elusive.“
Labbé/Mazet (2005, S. 897f.)	„Eine Geschäftsmodellinnovation verändert eine oder mehrere Dimensionen eines Geschäftsmodells (Produkt-/Markt-Kombination, Wertschöpfungsarchitektur und Ertragsmodell), sodass eine neuartige Konfiguration der Elemente eines Geschäftsmodells entsteht und umgesetzt wird.“
Mitchell/Coles (2004, S. 17)	„By business model innovation, we mean business model replacements that provide product or service offerings to customers and end users that were not previously available. We also refer to the process of developing these novel replacements as business model innovation.“
Steenkamp/Walt (2004, S. 5)	„BMI promotes the innovation of the total business model of an organization in order to become customer focused. It identifies human involvement in, and interaction with, customized products according to customers' specific needs as the core activity of the new business model.“
Stähler (2002, S. 52)	„Geschäftsmodellinnovationen sind immer Wachstumsstrategien. Einerseits kann eine Geschäftsmodellinnovation dazu dienen [sic!] in einer bestehenden Industrie die Art und Weise der Wertschöpfung zu verändern, um ein bestehendes Bedürfnis von Kunden zu befriedigen, andererseits kann eine Geschäftsmodellinnovation bewusst in entstehenden, neuartigen Märkten eingesetzt werden, um überhaupt diese Märkte zu erschliessen [sic!].“
Hamel (2000, S. 69f.)	„New business models are more than disruptive technologies, they are completely novel business concepts. They are more than replacements for what already is. Instead, they open up entirely new possibilities. (...) Business concept innovation is meta-innovation, in that it changes the very basis for competition within an industry or domain.“

Quelle: Eigene Darstellung.



## A.3 Übersicht bestehender Pilot- und Demonstrationsprojekte in Deutschland

Tabelle 46: Übersicht P2G-Projekte in Deutschland, sortiert nach Anlagenleistung

Projektname, Betreiber	Standort	Elektrolyse	Leistung in kW	Inbetrieb- nahme	H <sub>2</sub> - Produktion in m <sup>3</sup> /h	CH <sub>4</sub> - Produktion in m <sup>3</sup> /h	CO <sub>2</sub> -Quelle
NBB Netzgesellschaft Berlin- Brandenburg	Berlin	PEM	7	in Planung	1		
sunfire Power-to-Liquids		SOEC	10	2014			
Power to Gas Biogasbooster / MicroPhyros	Staubing, Bayern		10	2014		0,4	Biogas- anlage Klärwerk Straubing
Integrated High-Temperature Electrolysis and Methanisation for Effectice Power to Gas Conversation		SOEC	15	in Bau			
Stromlückenfüller - Test		PEM	20	2015			
Fachhochschule Stralsund	Stralsund, Mecklenburg- Vorpommern		20				
Extyron Demonstrationsanlage	Rostock, Mecklenburg- Vorpommern	alkalisch	21	2015	4	1	
Methanisierung am Eichhof			25	2012	6	4	Biogas
Fraunhofer IWES	Bad Hersfeld, Hessen	alkalisch	25	2012	6	1,5	
Solare Wasserstofftankstelle Freiburg		PEM	30	2012			
SolviCore	Hanau, Hessen		35		4		
Fraunhofer ISE	Freiburg, Baden- Württemberg		40	2012	6		
Extyron Zero-Emission- Wohnpark	Alzey, Rheinland-Pfalz	alkalisch	62,5	in Planung	10	2,5	
Smart Grid Solar / Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.	Arzberg, Bayern		75	2016	10		
Power to Gas im Eucolino am Standort Schwandorf			108	2012	21,3	5,3	Biogas
biologische Methanisierung mittels Rieselbettreaktor / BTU-Cottbus	Cottbus, Brandenburg	alkalisch	145	2015	4	1	
Komplexerprobung und Opti- mierung der Wasserstofferzeu- gung aus fluktuierender Wind- energie mittels Druckelektrolyse und Speicherung der Produktga- se / Wassertoff- Forschungszentrum BTU- Cottbus	Cottbus, Brandenburg		145	2012	20-30		

Projektname, Betreiber	Standort	Elektolyse	Leistung in kW	Inbetrieb- nahme	H <sub>2</sub> - Produktion in m <sup>3</sup> /h	CH <sub>4</sub> - Produktion in m <sup>3</sup> /h	CO <sub>2</sub> -Quelle
RWE Power	Niederaussem, NRW	PEM	100 (300)	2013	20-50	1,25	
RWE- Demonstrationsanlage Ibbenbüren / RWE Deutschland	Ibbenbüren, NRW	PEM	150 (200)	2015	30 (40)		
GrInHy / Salzgitter Mannesmann For- schung GmbH	Salzgitter, Niedersachsen		150	2016	40		
Hypos – Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany			150	in Planung	ca.1 Fass Rohölsubsti- tut pro Tag ~ 159 L Fischer- Tropsch- Produkt	diverse	
Power-2-Hydrogen- Tankstelle	Hamburg	PEM	185	2015	bis zu 65 kg/Tag	ja	
Stromlückenfüller - Pilotphase		PEM	200	in Bau			
Hypos LocalHy / Hypos – Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany		alkalisch	250	in Planung			
ZSW- Forschungsplattform Power-to-Gas		alkalisch	250	2012	50	12,5	diverse
Viessmann Mikrobielle Methanisierung		PEM	275	2013	ja		
Wasserstoffversor- gungs- und Energie- komplementärsystem / Anwendungszentrum H <sub>2</sub> Herten	Zeche Ewald, Herten, NRW	alkalisch	280	2013	30	keine	
Leuchtturmprojekt Power-to-Gas Baden- Württemberg – F&E- Plattform / Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff- Forschung (ZSW)	Grenzach- Wyhlen, Baden- Württemberg		300	in Bau	70		
CO <sub>2</sub> RRECT			300	2013	50		Braunkohle- kraftwerk Nieder- außem
Strom zu Gas – Demonstrationsanlage / Thüga-Gruppe		PEM	300	2014	geplant		
Mainova	Frankfurt am Main, Hessen	alkalisch	300	2014	60		
Stadwerke Emden, Bau und Entsorgung- betriebe Emden		alkalisch	312	in Planung	60	14	
BioPower2Gas Power-to-Gas- Pilotanlage Allendorf / Viessmann	Allendorf, Hessen	PEM	400	2015	60-220	15-55	benachbarte Biogas- anlage, Schwachgas oder Biogas

<b>Projektname, Betreiber</b>	<b>Standort</b>	<b>Elektolyse</b>	<b>Leistung in kW</b>	<b>Inbetrieb- nahme</b>	<b>H<sub>2</sub>- Produktion in m<sup>3</sup>/h</b>	<b>CH<sub>4</sub>- Produktion in m<sup>3</sup>/h</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Quelle</b>
Hybridkraftwerk Prenzlau / Enertrag	Prenzlau, Brandenburg	alkalisch	500	2011	120		
Multi-Energie- Tankstelle H <sub>2</sub> BER / Total Deutschland, Enertrag, Linde	Berlin	alkalisch	500	2014	210 kg/Tag		
Wasserstofftankstelle HafenCity / Vattenfall Europe Innovations	HafenCity, Hamburg	alkalisch	600	2011/2012			
Leuchtturmprojekt Power-to-Gas Baden- Württemberg – Demonstrationsanlage / Energiedienst AG	Grenzach- Wyhlen, Baden- Württemberg	alkalisch	1.000	in Bau	200		
WindGas Hamburg / E.ON	Hamburg- Reitbrook	PEM	1.000	2015	265		
Windpark RH <sub>2</sub> -WKA und RH <sub>2</sub> -PtG	Grapzow, Mecklenburg- Vorpommern	alkalisch	1.000	2012	210	in Diskus- sion	
Stromlückenfüller – Kombikraftwerk		PEM	1.000	in Planung			
Windgas Haßfurt / Greenpeace Energy eG, Städtische Betrie- be Haßfurt	Haßfurt, Bayern	PEM	1.250	2016	225		
WindGas Falkenhagen / Uniper Gas Storage (früher E.ON)	Falkenhagen, Brandenburg	alkalisch	2.000	2013	360	keine	
Audi e-gas Projekt / Audi AG	Werlte, Niedersachsen	alkalisch	6.000	2013	1.300	300	benachbarte Biogasanlage EWE AG
Energiepark Mainz / Stadtwerke Mainz, Linde	Mainz, Rheinland-Pfalz	PEM	6.000 (3x 2.000)	2015	1000		
bioCONNECT / Hochschule Ostwestfa- len-Lippe, Institut für Lebensmittel- technologie	Lemgo, NRW		k. A.	2016			Alkoholische Gärung
Hypos rSOC / Hypos – Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany		SOEC	k. A.	in Planung			
Hypos KobiGasErzeu- gung / Hypos – Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany		PEM	k. A.	in Planung		ja	

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von dena (o. J.e), Stenzel et al. (2016, S. 47), Focht (2016, S. 12), e21.info (2013, S. 42f.), erweitert um eigene Recherchen.

Tabelle 47: Übersicht A2X-Projekte in Deutschland

Betreiber	Standort	Beginn Laufzeit	Fassungsvermögen	Anlagenart	Kultivierungssystem	Nutzungspfad
EnBW	Reutlingen, Baden-Württemberg	2008-2010	4,32 m <sup>3</sup> (3 Module à 8 Reaktoren)	Nutzung von Rauchgasen eines Biogasbetriebenen BHKWs für die Algenkultivierung	Kultivierungssystem für Mikroalgen auf Basis von 180 L Flat-Panel-Airlift-Photobioreaktoren	Methan
RWE	Bergheim-Niederaußem, NRW	2008-2011				
E.ON	Hamburg Reitbrook	Seit 2008	1,44 m <sup>3</sup> (2 Module à 4 Reaktoren)	Nutzung von Rauchgasen eines Erdgasbetriebenen BHKWs für die Algenkultivierung	Kultivierungssystem für Mikroalgen auf Basis von 180 L Flat-Panel-Airlift-Photobioreaktoren	Methan
FairEnergie	Reutlingen, Baden-Württemberg	2010-2014	4,32 m <sup>3</sup> (4 Module à 6 Reaktoren)	Nutzung von Rauchgasen eines Erdgasbetriebenen BHKWs für die Algenkultivierung	Kultivierungssystem für Mikroalgen auf Basis von 180 L Flat-Panel-Airlift-Photobioreaktoren im Gewächshaus	
GMB / Vattenfall	Senftenberg, Brandenburg	2010-2015	2,16 m <sup>3</sup> (2 Module à 4 Reaktoren)	Nutzung von Abgasen eines Braunkohleheizkraftwerks für die Algenkultivierung	Kultivierungssystem für Mikroalgen auf Basis von 180 L Flat-Panel-Airlift-Photobioreaktoren im Gewächshaus	Methan
Südzucker AG	Zeitz, Sachsen-Anhalt	Seit 2014	4,30 m <sup>3</sup> (4 Module à 6 Reaktoren)	Nutzung von Gärgasen aus der Ethanolfermentation zur Algenkultivierung	Kultivierungssystem für Algenbiomasse auf Basis von 180 L Flat-Panel-Airlift-Photobioreaktoren zur Erzeugung von Biokraftstoffen	Methan
RAG / Universität Duisburg-Essen / Fraunhofer Institut	Bottrop, NRW	Seit 2014		Versuchsanlage		Methan, Ethanol
IBA Hamburg	Hamburg	Seit 2013		Prototyp		Methan
Technische Universität München	München, Bayern			Laboraufbau		
Agrar Energie Oberhausen	Oberhausen, NRW	Seit 2014		Demonstationsanlage		
Algomel	Klötze, Sachsen-Anhalt	Seit 1999		Mikoralgen-Farm		Stoffliche Nutzung
Sylter Algenfarm	Sylt, Schleswig-Holstein					Stoffliche Nutzung, Lebensmittel
Ro-V-AL GbR	Rockstedt, Thüringen					Stoffliche Nutzung
Yes we can farm	Markdorf, Baden-Württemberg	Seit 2016				Stoffliche Nutzung
Evergreen-Food GmbH	Vechta, Niedersachsen					Stoffliche Nutzung, Lebensmittel

Quelle: Eigene Darstellung.

## A.4 Gesprächsleitfaden Experteninterviews

<b>A</b>	<b>Status quo</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welchen Stellenwert hat die Systeminnovation im Rahmen der Energieforschung?</li> <li>• Wo sehen Sie in diesem Zusammenhang ihre Institution?</li> <li>• Welche wichtigen Kooperationen (Forschung / Wirtschaft) haben Sie im In- und Ausland? Sehen Sie generell / zukünftig als wichtig / interessant an?</li> <li>• Welche sind die wichtigsten Lieferanten entlang der Wertschöpfungskette Windgas?</li> <li>• Wer ist potentieller Abnehmer / Kunde?</li> <li>• In welchem Stadium befindet sich die Systeminnovation im Innovationsprozess?</li> <li>• Welche Kriterien würden Sie zur Beurteilung von der Systeminnovation heranziehen?</li> <li>• Welche Kriterien würden Sie zur Diversifizierung einzelner Verfahren heranziehen?</li> </ul>
<b>B</b>	<b>Veränderungen</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie hat sich die Technologie in den letzten Jahren entwickelt?</li> <li>• Was ist aus Ihrer Sicht die bedeutendste Entwicklungsstufe gewesen? Und warum?</li> <li>• Auf welchen Gebieten sehen Sie das größte Potenzial für Veränderungen?</li> <li>• Wie robust sind diese Veränderungen?</li> <li>• Welche Veränderungen sehen Sie in der Vergangenheit / Gegenwart (strukturell / technologisch / gesellschaftlich / politisch)?</li> <li>• Welche Veränderungen Sehen Sie Anpassungsschwierigkeiten für Marktteilnehmer (insbesondere für die Energiewirtschaft / Chemieindustrie)? Wenn ja, welche?</li> <li>• Wer treibt Veränderungen maßgeblich voran? Wen sehen Sie dabei als <i>change agents</i>?</li> <li>• Welche Unternehmen / Branche würden Sie zu den Gewinnern oder Verlierern der Systeminnovation zählen? Warum?</li> </ul>
<b>C</b>	<b>Chancen /Potenziale /Treiber</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welche Chancen und Potenziale sehen Sie kurz-, mittel-, langfristig?</li> <li>• Sehen Sie ein Innovationspotenzial für die Systeminnovation? Falls ja, welches und wie groß schätzen Sie es ein?</li> <li>• Welche sind die treibenden Kräfte?</li> <li>• Welche Märkte sind betroffen?</li> <li>• Wenn Sie ein <i>window of opportunity</i> skizzieren, wie würde das aussehen?</li> </ul>
<b>D</b>	<b>Hemmnisse /Risiken /Unsicherheiten</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welchen Hemmnissen / Barrieren steht die Systeminnovation entgegen?</li> <li>• Welche Unsicherheiten / Risiken wirken auf den Bereich der Systeminnovation?</li> <li>• Mit welchen Unsicherheiten / Risiken werden Märkte durch die Systeminnovation konfrontiert?</li> <li>• Wie äußern sich diese Unsicherheiten / Risiken? Führen die Unsicherheiten / Risiken zu Bedeutungs- und Verhaltensänderungen?</li> <li>• Welche Maßnahmen / Instrumente / Strategien könnten Ihrer Meinung nach Unsicherheiten / Risiken oder Hemmnisse verringern?</li> <li>• Was hat sich beim Umgang mit Unsicherheiten / Risiken heute im Vergleich zu früher (vor Energiekonzept / Fukushima) geändert?</li> <li>• Wer sind die betroffenen Marktteilnehmer dieser Unsicherheiten?</li> </ul>
<b>E</b>	<b>Herausforderungen / Visionen</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie beurteilen Sie Cluster?</li> <li>• Ist Ihre Institution Teil / Mitglied eines Clusters? Was war Ihre Motivation teilzunehmen?</li> <li>• Welche Rahmenbedingungen sind wichtig / notwendig, um die Entwicklung der Systeminnovation bzw. den Markt voranzutreiben? (z. B. rechtliche Rahmenbedingungen, Standortfaktoren)</li> <li>• Welche Rahmenbedingungen müssten aus Ihrer Sicht flankiert werden, damit Investitionen stärker in die Forschung der Systeminnovation gehen und wie verändern sich diese Rahmenbedingungen?</li> <li>• Welche Veränderungen sehen Sie in der Zukunft? (strukturell / technologisch /gesellschaftlich / politisch)?</li> <li>• Visionär betrachtet – wo sehen Sie die Systeminnovation im Jahr 2050?</li> </ul>
<b>F</b>	<b>Soziodemografische Fragen</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Art der Institution (Institut, Universität, Verband...)</li> <li>• Branche / Fachgebiet</li> <li>• Akademischer Grad</li> <li>• Vernetzung in Gremien, Mitgliedschaften</li> </ul>

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- 50Hertz / Amprion / TransnetBW / Tennet TSO (Hrsg., 2015): EEG-Umlage 2016 beträgt 6,354 Cent pro Kilowattstunde. Pressemitteilung vom 15.10.2015. In: Netztransparenz.de – Informationsplattform der deutschen Übertragungsnetzbetreiber. [https://www.netztransparenz.de/de/file/20151015-Pressemitteilung-EEG-Umlage-2016\\_und\\_EEG-Vorschau\\_2016-2020\\_FINAL.pdf](https://www.netztransparenz.de/de/file/20151015-Pressemitteilung-EEG-Umlage-2016_und_EEG-Vorschau_2016-2020_FINAL.pdf) (letzter Zugriff 08.09.2016)
- Abell, Derek F. (1999): Competing Today While Preparing for Tomorrow. In: Sloan Management Review, Jg. 40, Nr. 3, S. 73-81
- Abishek, Monford P. / Patel, Jay / Rajan, Anand P. (2014): Algae Oil: A Sustainable Renewable Fuel of Future. In: Biotechnology Research International, Jg. 2014, Artikel-Nr. 272814
- ADAC (Hrsg., o. J.): Monatliche Durchschnittspreise Kraftstoffe seit 2000. <https://www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/kraftstoffpreise/kraftstoff-durchschnittspreise/default.aspx> (letzter Zugriff 20.07.2017)
- Adelhelm, Silvia (2013): Geschäftsmodellinnovationen. Eine Analyse am Beispiel der mittelständischen Pharmaindustrie. Josef Eul, Köln. Dissertation Universität Potsdam 2013
- Adelphi / Borderstep Institut (Hrsg., 2013): Treiber und Hemmnisse für die Transformation der deutschen Wirtschaft zu einer „Green Economy“. Endbericht. Im Auftrag des BMBF – Bundesministeriums für Bildung und Forschung. AutorInnen: Kahlenborn, Walter / Mewes, Heike / Knopf, Jutta / Hauffe, Petra / Kampffmeyer, Nele / Fichter, Klaus / Clausen, Jens / Weiß, Ralf / Beucker, Severin / Bergset, Linda. [https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/green\\_economy\\_studie\\_adelphi\\_borderstep\\_0.pdf](https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/green_economy_studie_adelphi_borderstep_0.pdf) (letzter Zugriff 06.07.2017)
- Afuah, Allan / Tucci, Christopher L. (2001): Internet Business Models and Strategies. Text and Cases. McGraw-Hill Irwin, Boston et al.
- Agora Energiewende (Hrsg., o. J.): Glossar. <https://www.agora-energiewende.de/de/service/glossar/> (letzter Zugriff 22.01.2017)
- Agora Energiewende (Hrsg., 2012): 12 Thesen zur Energiewende. Ein Diskussionsbeitrag zu den wichtigsten Herausforderungen im Strommarkt. Kurzfassung. [http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Impulse/12\\_Thesen/Agora\\_12\\_Thesen\\_Kurzfassung\\_2.Auflage\\_web.pdf](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Impulse/12_Thesen/Agora_12_Thesen_Kurzfassung_2.Auflage_web.pdf) (letzter Zugriff 28.01.2014)
- Agricola, Annegret-Cl. / Weber, Andreas (2015): Klimaziele erreichen mit Power-to-Gas. In: gwf – Gas + Erdgas, Jg. 2015, Nr. 7, S. 482-485
- Aicher, Thomas / Blum, Ludger / Specht, Michael (2004): Wasserstoffgewinnung aus Erdgas – Anlagenentwicklung und Systemtechnik. In: FVEE – Forschungsverbund Erneuerbare Energien (Hrsg., 2004): Wasserstoff und Brennstoffzellen - Energieforschung im Verbund. Themenheft 2004, S. 60-64. <http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2004/th2004.pdf> (letzter Zugriff 10.07.2017)
- Al-Debei, Mutaz M. / El-Haddadeh, Ramzi / Avison, David (2008): Defining the Business Model in the New World of Digital Business. In: Proceedings of the Americas Conference on Information Systems, Jg. 14, S. 1-11. <http://bura.brunel.ac.uk/bitstream/2438/2887/1/AMCIS2008.pdf> (letzter Zugriff 15.03.2016)

- Albach, Horst / Simon, Hermann (Hrsg., 1976): Investitionstheorie und Investitionspolitik privater und öffentlicher Unternehmen. Bericht von der wissenschaftlichen Tagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e. V., 20.-24.05.1975. Gabler, Wiesbaden
- Alisch, Katrin / Arentzen, Ute / Winter, Eggers (2004): Gabler Wirtschaftslexikon (E-J). 16., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage. Gabler, Wiesbaden
- Alkhafaji, Abbass F. (2003): Strategic Management. Formulation, Implementation, and Control in a Dynamic Environment. The Harworth Press, New York / London / Oxford
- Amann, Klaus / Petzold, Jürgen (2014): Management und Controlling – Instrumente, Organisation, Ziele. Springer Gabler, Wiesbaden
- Ambrosini, Véronique / Bowmann, Cliff (2009): What are dynamic capabilities and are they a useful construct in strategic management? In: International Journal of Management Reviews, Jg. 11, Nr. 1, S. 29-49
- Amit, Raphael / Schoemaker, Paul (1993): Strategic Assets and Organizational Rent. In: Strategic Management Journal, Jg. 14, Nr. 1, S. 33-46
- Amit, Raphael / Zott, Christoph (2001): Value Creation in E-Business. In: Strategic Management Journal, Jg. 22, Nr. 6/7, Special Issue, Entrepreneurship: Entrepreneurial Strategies for Wealth Creation, S. 493-520
- Andrews, Kenneth, R. (1971/1987): The Concept of Corporate Strategy. Vorliegend in der 3. Auflage von 1987. Irwin, Homewood, Illinois
- Ang, Andrew / Chen, Joseph / Xing, Yuhang (2006): Downside Risk. In: The Review of Financial Studies, Jg. 19, Nr. 4, S. 1191-1239
- Ansoff, Igor H. (1965): Corporate strategy: An analytic approach to business policy for growth and expansion. McGraw-Hill, New York
- Ansoff, Igor H. (1976): Managing surprise and discontinuity: strategic response to weak signals. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Jg. 28, Nr. 3, S. 129-152
- Ansoff, Igor H. (1979): The changing shape of the strategic problem. In: Journal of General Management, Jg. 4, Nr. 4, S. 42-58
- Ansoff, Harry I. (1984): Implanting Strategic Management. Prentice-Hall International, Englewood Cliffs et al.
- Ansoff, Igor H. (1991): Critique of Henry Mintzberg's 'The design school: reconsidering the basic premises of strategic management'. In: Strategic Management Journal, Jg. 12, Nr. 6, S. 449-461
- Ansoff, Igor H. / Hayes, Robert L. (1976): Introduction. In: Ansoff, Igor H. / Declerck, Roger P. / Hayes, Robert L. (Hrsg., 1976): From Strategic Planning to Strategic Management. John Wiley & Sons, London et al., S. 1-12
- Ansoff, Igor H. / Declerck, Roger P. / Hayes, Robert L. (Hrsg., 1976): From Strategic Planning to Strategic Management. John Wiley & Sons, London et al.
- Ansoff, Igor H. / Declerck, Roger P. / Hayes, Robert L. (1976): From Strategic Planning to Strategic Management. In: Ansoff, Igor H. / Declerck, Roger P. / Hayes, Robert L. (Hrsg., 1976): From Strategic Planning to Strategic Management. John Wiley & Sons, London et al., S. 39-78
- Ansoff, Igor H. / McDonell, Edward (1990): Implanting Strategic Management. 2. Ausgabe. Prentice Hall International, Hemel Hempstead
- Antoni, Julia / Kostka, Johannes (2012): Wege zur Wirtschaftlichkeit von Power-to-Gas-Anlagen. In: energie | wasser-praxis 12/2012 – DVGW Jahresrevue, S. 100-102
- Antranikian, Garabed (Hrsg., 2006): Angewandte Mikrobiologie. Springer, Berlin / Heidelberg, S. 305-311
- Arnsward, Ulrich (2012): Öffentliche versus private Güter. Philosophische Gedanken zur ökonomischen Theorie der öffentlichen Güter und zu Gemeinschaftsgütern als politischen Gütern. In: Maring, Matthias (Hrsg., 2012): Globale öffentliche Güter in interdisziplinären Perspektiven. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, S. 267-298

- Arthur D. Little (Hrsg., 1985): Management im Zeitalter der strategischen Führung. Gabler, Wiesbaden
- Arvaniti, Efthalia / Higson, Adrian (2015): SWOT ANALYSES of 20 cultivation systems for algae production for energy purposes in the NW European region. EnAlgae Projektbericht WP2A12.01.  
[http://www.enalgae.eu/getfile.php?type=site\\_documents&id=WP2A12.01%20SWOT%20analyses%20of%2020%20algae%20concepts.pdf](http://www.enalgae.eu/getfile.php?type=site_documents&id=WP2A12.01%20SWOT%20analyses%20of%2020%20algae%20concepts.pdf). (letzter Zugriff 23.08.2017)
- Audi (Hrsg., 2013a): Audi A3 Sportback g-tron. <https://www.audi-technology-portal.de/de/mobilitaet-der-zukunft/audi-future-lab-tron-experience/test-audi-a3-g-tron> (letzter Zugriff 23.08.2017)
- Audi (Hrsg., 2013b): Audi e-gas. <https://www.audi-technology-portal.de/de/mobilitaet-der-zukunft/audi-future-lab-mobility/audi-future-energies/audi-e-gas> (letzter Zugriff 23.08.2017)
- Austerschulte, Linda (2014): Entwicklung einer Vorgehensweise zur Erstellung eines Messinstruments für einzelne Dynamic Capabilities. Dissertation Universität Bremen 2012. Springer, Wiesbaden.
- Automobilwoche (Hrsg., 2014): Blog: E10 - der Skandal, der keiner war. Eintrag vom 23.09.2014.  
<http://www.automobilwoche.de/article/20140923/BLOGS01/140929978/1287/bl og-e10---der-skandal-der-keiner-war> (letzter Zugriff 17.07.2017)
- Bäcker, Axel (1996): Rationalität als Grundproblem der strategischen Unternehmensplanung. Ein Beitrag zur Erklärung und Überwindung der Rationalitätskrise in der Planungstheorie. Dissertation Fernuniversität Hagen. DUV / Gabler, Wiesbaden.
- Bähring, Katrin / Hauff, Sven / Sossdorf, Maik / Thommes, Kirsten (2008): Methodische Grundlagen und Besonderheiten der qualitativen Befragung von Experten in Unternehmen: Ein Leitfaden. In: Die Unternehmung, Jg. 62, Nr. 1, S. 89-111
- Bain, Joe S. (1956): Barriers to new competition. Harvard University Press, Cambridge
- Bain, Joe S. (1968): Industrial organization. Second Edition. John Wiley & Sons, New York / London / Sydney
- Baker, Norman R. / Siegman, Jack / Rubenstein, Albert H. (1967): The Effects of Perceived Needs and Means on the Generation of Ideas for Industrial Research and Development Projects. In: IEEE Transactions on Engineering Management, Jg. 40, Nr. 4, S. 156-163
- Bamberg, Günter / Coenenberg, Adolf G. / Krapp, Michael (2012): Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 15. überarbeitete Auflage. Vahlen, München
- Bandow, Gerhard / Holzmüller, Hartmut H. (Hrsg., 2010): Das ist doch gar kein Modell! Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften. Gabler / GWV, Wiesbaden
- Barlow, Jay / Sims, Ronald C. / Quinn, Jason C. (2016): Techno-economic and life-cycle assessment of an attached growth algal biorefinery. In: Bioresource Technology Jg. 200, S. 260-368
- Barnard, Chester J. (1970): Die Führung großer Organisationen. Girardet, Essen. Übersetzt von Boetticher, Karl W. Lizenzausgabe der 17. Auflage des Buches „The Functions of the Executive“. Originalausgabe erschienen bei Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts
- Barney, Jay (1991a): Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. In: Journal of Management, Jg. 17, Nr. 1, S. 99-120
- Barney, Jay (1991b): Special Theory Forum. The Resource-Based Model of the Firm: Origins, Implications, and Prospects. In: Journal of Management, Jg. 17, Nr. 1, S. 97-98
- Barney, Jay B. (1997/2002): Gaining and Sustaining Competitive Advantage. Vorliegend in der 2. Auflage von 2002. Prentice Hall, Upper Saddle River NJ



- Bartling, Hartwig / Luzius, Frank (2014): Grundzüge der Volkswirtschaftslehre. Einführung in die Wirtschaftstheorie und Wirtschaftspolitik. 17., verbesserte und ergänzte Auflage. Franz Vahlen, München
- Baumbach, Günter / Hartmann, Hans / Höfer, Isabel / Hofbauer, Hermann / Hülsmann, Theresa / Kaltschmitt, Martin / Lenz, Volker / Neuling, Ulft / Nussbaumer, Thomas / Obernberger, Ungwald / Schulze, Anna-Lena / Wilk, Veronika / Winter, Franz (2016): Grundlagen der thermo-chemischen Umwandlung biogener Festbrennstoffe. In: Kaltschmitt, Martin / Hartmann, Hans / Hofbauer, Hermann (Hrsg., 2016): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg, S. 579-814
- Baur, Nina / Blasius, Jörg (Hrsg., 2014): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Springer, Wiesbaden
- Bausch, Andreas (2006): Branchen- und Wettbewerbsanalyse im strategischen Management. In: Hahn, Dietger / Taylor, Bernard (Hrsg., 2006): Strategische Unternehmensplanung – Strategische Unternehmensführung. 9., überarbeitete Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg / New York, S. 196-214
- bbi biotech (Hrsg., o. J.a): Photobioreaktoren. <http://bbi-biotech.com/produkte/fermenter-bioreaktoren/photobioreaktoren/> (letzter Zugriff 19.03.2017)
- bbi biotech (Hrsg., o. J.b): Bioreaktor und Fermenter Gefäße. <http://bbi-biotech.com/produkte/zubehoer/bioreaktor-gefase/> (letzter Zugriff 16.07.2017)
- BCG – Boston Consulting Group (Hrsg., 1988): Vision und Strategie. Kommentare, September 1988. Zusammenfassung der Präsentationen und Diskussionsbeiträge der 34. Kronberger Konferenz im Oktober 1987
- BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft / CTG – Corporate Transformation Group (Hrsg., 2010): Trendstudie Energiewirtschaft. Innovationen: Neue Wege – neue Chancen.
- BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (Hrsg., 2015): Strompreisanalyse August 2015, Haushalte und Industrie. [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/8CFC3276B7FF3A9CC1257DDA0049A5D0/\\$file/150831\\_BDEW\\_Strompreisanalyse\\_August2015.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/8CFC3276B7FF3A9CC1257DDA0049A5D0/$file/150831_BDEW_Strompreisanalyse_August2015.pdf) (letzter Zugriff 11.07.2017)
- Bea, Franz H. / Haas, Jürgen (2013): Strategisches Management. 6., vollständig überarbeitete Auflage. UVK, Konstanz
- Becker, Fred, G. (2011): Grundlagen der Unternehmensführung. Einführung in die Managementlehre. Erich Schmidt, Berlin
- Becker, Fred G. / Fallgatter, Michael J. (2007): Strategische Unternehmensführung. Eine Einführung. 3., neu bearbeitete Auflage. Erich Schmidt, Berlin
- Becker, Stefan (2008): Innovationsmanagement – Ein fachkonzeptionelles Referenzmodell. Shaker, Aachen. Dissertation Universität Münster (Westfalen) 2007
- BEE – Bundesverband Erneuerbare Energien (Hrsg., 2016): BEE-Stellungnahme zum Diskussionsentwurf der Bundesregierung „Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung des Energiesteuer und des Stromsteuergesetzes“. Stand 22.04.2016. [http://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Positionspapiere\\_Stellungnahmen/20160519\\_BEE-Stellungnahme\\_Energie-\\_und\\_Stromsteuergesetz.pdf](http://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Positionspapiere_Stellungnahmen/20160519_BEE-Stellungnahme_Energie-_und_Stromsteuergesetz.pdf) (letzter Zugriff 13.08.2016)
- Behrendt, Siegfried (2010): Integriertes Roadmapping. Nachhaltigkeitsorientierung in Innovationsprozessen des Pervasive Computing. Springer, Berlin / Heidelberg
- Belliveau, Paul / Griffin, Abbie / Somermeyer, Stephen (Hrsg., 2002): The PDMA Tool-Book 1 for New Product Development. John Wiley & Sons, Hoboken
- Berg-Nilsen, Jan (2006): Production of Micro algae-based Products. A map of available production methods for micro algae and market opportunities for algae-based products as a basis for establishing commercial operations. [http://www.nordicinnovation.org/Global/\\_Publications/Reports/2006/Production%20of%20micro%20alga-based%20products.pdf](http://www.nordicinnovation.org/Global/_Publications/Reports/2006/Production%20of%20micro%20alga-based%20products.pdf) (letzter Zugriff 07.03.2017)

- Berger, Ulrike / Bernhard-Mehlich, Isolde / Oertel, Simon (2014): Die Verhaltenswissenschaftliche Entscheidungstheorie. In: Kieser, Alfred / Ebers, Mark (Hrsg., 2014): Organisationstheorie. 7., aktualisierte und überarbeitete Auflage. Kohlhammer, Stuttgart, S. 118-163
- Berkers, Eric / Geels Frank W. (2011): System innovation through stepwise reconfiguration: the case of technological transitions in Dutch greenhouse horticulture (1930-1980). In: Technology Analysis & Strategic Management, Jg. 23, Nr. 3, S. 227-247
- Bester, Helmut (2017): Theorie der Industrieökonomik. 7., korrigierte und ergänzte Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg
- Bilobrk, Andrija (2016): Steuerliche Förderung unternehmerischer Forschung und Entwicklung. Eine Simulation alternativer steuerlicher Fördermaßnahmen für Personen- und Kapitalgesellschaften. Josef Eul, Lohmar
- Binder, Volker A. / Kantowsky, Jan (1996): Technologiepotenziale – Neuausrichtung der Gestaltungsfelder des Strategischen Technologiemanagements. Gemeinschaftsdissertation Universität St. Gallen
- BIOENERGIE 2020+ (Hrsg., 2013): Synergie von Abwasserreinigung und Mikroalgenkultivierung. Projekt SAM. Publizierbarer Projektendbericht. AutorInnen: Sonnleiter, Andreas / Bacovska, Dina / Humel, Stefan / Drosch, Bernhard / Nussbaurer, Magdalena / Bochmann, Günther / Schagerl, Michael / Ludwig, Irena / Jerney, Jacqueline / Winzley, Andreas / Gaisbauer, Michael / Hölzl, Thomas. [https://www.bioenergy2020.eu/webroot/files/file/Projektendbericht\\_Synergie\\_Abwasser\\_Mikroalgen\\_2013.pdf](https://www.bioenergy2020.eu/webroot/files/file/Projektendbericht_Synergie_Abwasser_Mikroalgen_2013.pdf) (letzter Zugriff 07.03.2017)
- Biosolarzentrum (Hrsg., o. J.): Kultivierung von Mikroalgen. Photobioreaktor-Systeme vom Reagenzglas bis zur modularen Produktionsanlage. [http://www.gicon.de/uploads/tx\\_sbdownloader/Prospekt\\_Mikroalgen\\_DE.pdf](http://www.gicon.de/uploads/tx_sbdownloader/Prospekt_Mikroalgen_DE.pdf) (letzter Zugriff 20.07.2017)
- Birch, Hayley (2016): 50 Schlüsselideen Chemie. Springer, Heidelberg
- Birnbaum, Ulf / Bongartz, Richard / Linssen, Jochen / Makewitz, Peter / Vögele, Stefan (2010): Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung. Fossil basierte Kraftwerkstechnologien, Wärmetransport, Brennstoffzellen. Abschlussbericht des BMWi-Forschungsvorhabens: "Verbundprojekt: Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung; Teilprojekt: Technologieanalyse fossile Energieumwandlung". Forschungszentrum Jülich. Institut für Energieforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE)
- Bitzer, Bernd (1990): Innovationshemmnisse im Unternehmen. Dissertation Universität Bremen. DUV, Wiesbaden.
- Bleicher, Knut (1991/2011): Das Konzept Integriertes Management. Visionen – Missionen – Perspektiven. Vorliegend in der 8., überarbeiteten und erweiterten Auflage von 2011. Campus, Frankfurt am Main
- Bley, Thomas (Hrsg., 2009): Biotechnologische Energieumwandlung. Gegenwärtige Situation, Chancen und künftiger Forschungsbedarf. acatech – Deutsche Akademie für Technikwissenschaften. Springer, Berlin / Heidelberg
- Bloche-Daub, Karina / Hartmann, Hans / Hofbauer, Hermann / Kaltschmitt, Martin / Pfeiffer, Diana / Thormann, Lisa / Thrän, Daniela (2016): Einleitung und Zielsetzung. In: Kaltschmitt, Martin / Hartmann, Hans / Hofbauer, Hermann (Hrsg., 2016): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg S. 1-76
- Bloech, Jürgen / Götze, Uwe / Huch, Burkhard / Lücke, Wolfgang / Rudolph, Friedhelm (Hrsg., 1994): Strategische Planung. Instrumente, Vorgehensweisen und Informationssysteme. Physica, Heidelberg

- Blum, Ulrich (2001): Risiko aus volkswirtschaftlicher Sicht. In: Gleißner, Werner / Meier, Günter (Hrsg., 2001): Wertorientiertes Risiko-Management für Industrie und Handel. Methoden, Fallbeispiele, Checklisten. Gabler, Wiesbaden, S. 409-424
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg., o. J.a): Förderung in der Forschung. <https://www.bmbf.de/de/foerderung-in-der-forschung-642.html> (letzter Zugriff 30.07.2016)
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg., o. J.b): Internetportal „Research in Germany“. <http://www.research-in-germany.org/de.html> (letzter Zugriff 30.07.2016)
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg., o. J.c): Förderberatung des Bundes – Forschung und Innovation. <http://www.foerderinfo.bund.de> (letzter Zugriff 30.07.2016)
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg., o. J.d): Kopernikus-Projekte für die Energiewende. <https://www.kopernikus-projekte.de/> (letzter Zugriff 30.07.2016)
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg., 2012): Weiße Biotechnologie. Chancen für eine biobasierte Wirtschaft. [https://www.bmbf.de/pub/Weisse\\_Biotechnologie.pdf](https://www.bmbf.de/pub/Weisse_Biotechnologie.pdf) (letzter Zugriff 15.07.2017)
- BMELV – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz / BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung / BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit / BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2014): Roadmap Bioraffinerien im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. 2., leicht veränderte Auflage der im Jahr 2012 erschienenen Auflage. [https://www.bmbf.de/pub/Roadmap\\_Bioraffinerien.pdf](https://www.bmbf.de/pub/Roadmap_Bioraffinerien.pdf) (letzter Zugriff 15.07.2017)
- BMG – Bundesministerium für Gesundheit (Hrsg., 2015): Bekanntmachung des Bundesministeriums für Gesundheit zu § 2 Nummer 3 der Arzneimittel- und Wirkstoffherstellungsverordnung – AMWHV vom 21.04.2015. In: Bundesanzeiger – BAnz AT 27.05.2015 B2. [https://www.bundesanzeiger.de/ebanzwww/contentloader?state.action=genericsearch\\_loadpublicationpdf&session.sessionid=e235d5c242263db3970624c6d42331a9&fts\\_search\\_list.destHistoryId=96764&fts\\_search\\_list.selected=661eaa8cdf114071&state.filename=BAZ%20AT%2027.05.2015%20B2](https://www.bundesanzeiger.de/ebanzwww/contentloader?state.action=genericsearch_loadpublicationpdf&session.sessionid=e235d5c242263db3970624c6d42331a9&fts_search_list.destHistoryId=96764&fts_search_list.selected=661eaa8cdf114071&state.filename=BAZ%20AT%2027.05.2015%20B2) (letzter Zugriff 19.03.2017)
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg., 2009): Erneuerbare Energien – Innovationen für eine nachhaltige Entwicklung. 7., aktualisierte Auflage, 06/2009. [http://www.ifeu.de/energie/pdf/ee\\_innovationen\\_energiezukunft\\_broschuere.pdf](http://www.ifeu.de/energie/pdf/ee_innovationen_energiezukunft_broschuere.pdf) (letzter Zugriff 02.07.2017)
- BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg., 2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf) (letzter Zugriff 29.05.2017)
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg., o. J.): Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP). <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/nationales-innovationsprogramm-wasserstoff-und-brennstoffzellentechnologie-nip.html> (letzter Zugriff 31.08.2016)

- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., o. J.a): So setzt sich der Strompreis zusammen.  
<https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2014/12/2014-12-30-strompreis.html> (letzter Zugriff 18.08.2016)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., o. J.b): Eine Zielarchitektur für die Energiewende: Von politischen Zielen bis zu Einzelmaßnahmen.  
<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/zielarchitektur.html> (letzter Zugriff 10.07.2017)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2011): Der Weg zur Energie der Zukunft – sicher, bezahlbar und umweltfreundlich.  
[http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010-beschluesse-juni-2011.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010-beschluesse-juni-2011.pdf?__blob=publicationFile&v=1) (letzter Zugriff 25.05.2017)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2012): Technologie- und Innovationspolitik. Neue Initiativen für ein technologiefreundliches Deutschland.  
[http://de.koinno-bmwi.de/system/publications/files/000/000/044/original/Technologie-\\_und\\_Innovationspolitik\\_-\\_BMWi.pdf?1372759560](http://de.koinno-bmwi.de/system/publications/files/000/000/044/original/Technologie-_und_Innovationspolitik_-_BMWi.pdf?1372759560) (letzter Zugriff 02.09.2017)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2014a): Smart Energy made in Germany. Erkenntnisse zum Aufbau und zur Nutzung intelligenter Energiesysteme im Rahmen der Energiewende.  
<https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/smart-energy-made-in-germany,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff 12.08.2016)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2014b): Die Energie der Zukunft. Erster Fortschrittsbericht zur Energiewende.  
<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/fortschrittsbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff 13.08.2016)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2014c): Der Bergbau in der Bundesrepublik Deutschland 2013. Bergwirtschaft und Statistik – 65. Jahrgang 2014. Dokumentation.  
<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Dokumentationen/dokumentation-der-bergbau-in-der-brd-2013,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff 01.10.2015)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2015a): Ein Strommarkt für die Energiewende Ergebnispapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Weißbuch).  
<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/weissbuch,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff 12.08.2016)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2015b): Die Energie der Zukunft. Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende. Langfassung.  
<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/V/vierter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff 12.08.2016)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2016a): Die Energie der Zukunft. Fünfter Monitoring-Bericht zur Energiewende. Langfassung.  
[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fuenfter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=38](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fuenfter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?__blob=publicationFile&v=38) (letzter Zugriff 21.07.2017)

- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2016b): Die Energiewende – ein gutes Stück Arbeit. Innovation durch Forschung. Erneuerbare Energien und Energieeffizienz: Projekte und Ergebnisse der Forschungsförderung 2015. [https://www.ptj.de/lw\\_resource/datapool/\\_items/item\\_6411/innovation-durch-forschung-2015.pdf](https://www.ptj.de/lw_resource/datapool/_items/item_6411/innovation-durch-forschung-2015.pdf) (letzter Zugriff 02.07.2017)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2016c): Bundesbericht Energieforschung 2016. Forschungsförderung für die Energiewende. <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/bundesbericht-energieforschung-2016,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff 12.08.2016)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2017a): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=12](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=12) (letzter Zugriff 25.05.2017)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2017b): German Pavillon EXPO 2017 Astana. Deutscher Pavillon. [http://www.expo2017-deutschland.de/de/deutscher\\_pavillon/](http://www.expo2017-deutschland.de/de/deutscher_pavillon/) (letzter Zugriff 10.07.2017)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg., 2017c): German Pavillon EXPO 2017 Astana. Pavillon-Tour. [http://www.expo2017-deutschland.de/de/deutscher\\_pavillon/pavillon\\_tour/](http://www.expo2017-deutschland.de/de/deutscher_pavillon/pavillon_tour/) (letzter Zugriff 10.07.2017)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) / BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. 28.09.2010. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=3) (letzter Zugriff 25.05.2017)
- BNetzA – Bundesnetzagentur (Hrsg., 2014): Positionspapier zur Anwendung der Vorschriften der Einspeisung von Biogas auf die Einspeisung von Wasserstoff und synthetischem Methan in Gasversorgungsnetze – Ergebnis der Konsultation. [http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/Gas/Einspeisung\\_Wasserstoff\\_u\\_synth\\_Methan/Konsultationsergebnisse.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/Gas/Einspeisung_Wasserstoff_u_synth_Methan/Konsultationsergebnisse.pdf?__blob=publicationFile&v=1) (letzter Zugriff 09.08.2016)
- BNetzA – Bundesnetzagentur (Hrsg., 2017): Kraftwerksliste Bundesnetzagentur (bundesweit; alle Netz- und Umspannebenen) Stand 31.03.2017. [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/Kraftwerksliste\\_2017\\_1.xlsx](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/Kraftwerksliste_2017_1.xlsx) (letzter Zugriff 11.07.2017)
- BNetzA – Bundesnetzagentur / Bundeskartellamt (Hrsg., 2016): Monitoringbericht 2015 Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB Stand: 10.11.2015. Korrektur: 21.03.2016. [http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2015/Monitoringbericht\\_2015\\_BA.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2015/Monitoringbericht_2015_BA.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (letzter Zugriff 18.08.2016)
- Boeckelmann, Lukas / Mildner, Stormy A. (2011): Unsicherheit, Ungewissheit, Risiko: Die aktuelle wissenschaftliche Diskussion über die Bestimmung von Risiken. SWP-Zeitschriftenschau, Nr. 2, 09/2011, Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP), Berlin
- Boehm, Andrea / Mengel, Andreas / Muhr, Thomas (Hrsg., 1994): Texte verstehen: Konzepte, Methoden, Werkzeuge. UVK, Konstanz
- Bogaschewsky, Ronald / Rollberg, Roland (1998): Prozeßorientiertes Management. Springer, Berlin / Heidelberg / New York

- Bogner, Alexander / Littig, Beate / Menz, Wolfgang (Hrsg., 2009): Experteninterviews. Theorien, Methoden, Anwendungsfelder. 3., grundlegend überarbeitete Auflage. VS / GWV, Wiesbaden
- Bogner, Alexandre / Menz, Wolfgang (2009): Das theoriegenerierende Experteninterview. Erkenntnisinteresse, Wissensformen, Interaktion. In: Bogner, Alexander / Littig, Beate / Menz, Wolfgang (Hrsg., 2009): Experteninterviews. Theorien, Methoden, Anwendungsfelder. 3., grundlegend überarbeitete Auflage. VS / GWV, Wiesbaden, S. 61-98
- Bogner, Alexander / Littig, Beate / Menz, Wolfgang (2014): Interviews mit Experten. Eine praxisorientierte Einführung. Springer, Wiesbaden
- Bohnsack, Ralf / Marotzki, Winfried / Meuser, Michael (Hrsg., 2011): Hauptbegriffe Qualitativer Sozialforschung. 3., durchgesehene Auflage. Barbara Budrich, Opladen / Farmington Hills
- Bontrup, Heinz-J. / Marquardt, Ralf-M. (2010): Kritisches Handbuch der deutschen Elektrizitätswirtschaft. Branchenentwicklung. Unternehmensstrategien, Arbeitsbeziehungen. Forschung aus der Hans-Böckler-Stiftung (Hrsg.). Edition sigma, Berlin
- Boysen, Kurt / Hohlfeldt, Gottfried / Jacob, Hans-Joachim / Nehles, Fritz / Wellmann, Richard (Hrsg., 1992): Der Wirtschaftsprüfer für innovative Herausforderungen. Festschrift für Hans-Heinrich Otte. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Brauchlin, Emil / Wehrli, Hans-Peter (1991): Strategisches Management. Lehrbuch mit Fallstudien. Oldenbourg, München
- Braun-Unkhoff, Marina / Le Clercq, Patrick (2008): Mit der Kraft von Pflanzen und Algen. Alternative Kraftstoffe in der Luftfahrt. In: DLR Nachrichten – Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, Nr. 119, Mai 2008, S. 28-31
- Braun, Norman / Gautschi, Thomas (2011): Rational-Choice-Theorie. Juventa, Weinheim / München
- Breckle, Siegmund W. / Küppers, Manfred (2011): Nutzpflanzen für aride und semi-aride Gebiete. In: Lozán, José L. / Graßl, Hartmut / Hupfer, Peter / Karbe, Ludwig / Schönwiese, Christian-Dietrich (Hrsg., 2011): Warnsignale Klima. Genug Wasser für alle? 3. Auflage. S. 517-527
- Bretz, Hartmut (1988): Unternehmertum und Fortschrittsfähige Organisation. Wege zu einer Betriebswirtschaftlichen Avantgarde. Barbara Kirsch, Herrsching
- Brinkmann, Christian / Deeke, Axel / Völker, Brigitte (Hrsg., 1995): Experteninterviews in der Arbeitsmarktforschung. Diskussionsbeiträge zu methodischen Fragen und praktischen Erfahrungen. Beiträge zur Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 191. Bundesanstalt für Arbeit, Nürnberg
- Brockhoff, Klaus (1997): Forschung und Entwicklung. Planung und Kontrolle. 4., ergänzte Auflage. Oldenbourg, München
- Brüning, Anne (2011): Interview zum Jahr der Chemie „Eines der größten Probleme der Menschheit lösen“ mit Professor Ferdi Schütz, Max Planck-Institut. In: Frankfurter Rundschau, online, aktualisiert am 08.02.2011. <http://www.fr-online.de/wissenschaft/interview-zum-jahr-der-chemie--eines-der-groessten-probleme-der-menschheit-loesen-,1472788,7171580.html> (letzter Zugriff 16.10.2012)
- Buchholz, Wolfgang / Olemotz, Thomas (1995): Markt- vs. Ressourcenbasierter Ansatz – Konkurrierende oder komplementäre Konzepte im Strategischen Management? Arbeitspapiere Nr. 1/95, Justus-Liebig-Universität Gießen, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften. Professur für Betriebswirtschaftslehre II, Organisation, Unternehmensführung, Personalwirtschaft
- Bührke, Thomas / Wengenmayr, Roland (Hrsg., 2012): Erneuerbare Energien. Konzepte für die Energiewende. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wiley-VCH, Weinheim

- BUND NRW – Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland Landesverband Nordrhein-Westfalen (Hrsg., 2009): Ökologisches Feigenblatt CCS. CO<sub>2</sub>-Abscheidung ist kein Beitrag zum Klimaschutz. Autor: Jansen, Dirk. [http://www.bund-nrw.de/fileadmin/bundgruppen/bcmlsvnrw/PDF\\_Dateien/Themen\\_und\\_Projekte/Energie\\_und\\_Klima/Kohlekraftwerke/BUNDhintergrund\\_CCS\\_06\\_2009.pdf](http://www.bund-nrw.de/fileadmin/bundgruppen/bcmlsvnrw/PDF_Dateien/Themen_und_Projekte/Energie_und_Klima/Kohlekraftwerke/BUNDhintergrund_CCS_06_2009.pdf) (letzter Zugriff 03.12.2016)
- Bundesrat (Hrsg., 2015): Drucksache 542/15 (Beschluss). Vom 18.12.2015. Stellungnahme des Bundesrates: Entwurf eines Gesetzes zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz). <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/S-T/stellungnahme-des-bundesrates-542-5,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff 13.08.2016)
- Bundesrat (Hrsg., 2016a): Drucksache 355/16. Vom 08. Juli 2016. Gesetzesbeschluss des Deutschen Bundestages. Gesetz zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien. [http://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2016/0301-0400/355-16.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2016/0301-0400/355-16.pdf?__blob=publicationFile&v=1) (letzter Zugriff 12.08.2016)
- Bundesrat (Hrsg., 2016b): Drucksache 356/16. Vom 30.06.2016. Gesetzesbeschluss des Deutschen Bundestages. Gesetz zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz). [http://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2016/0301-0400/356-16.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2016/0301-0400/356-16.pdf?__blob=publicationFile&v=1) (letzter Zugriff 12.08.2016)
- Bundesrat (Hrsg., 2016c): Drucksache 650/16. Vom 04.11.2016. Gesetzentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Vierten Gentechnikgesetzes zur Änderung des Gentechnikgesetzes. [https://www.umwelt-online.de/PDFBR/2016/0650\\_2D16.pdf](https://www.umwelt-online.de/PDFBR/2016/0650_2D16.pdf) (letzter Zugriff 16.07.2017).
- Bundesregierung (Hrsg., o. J.): Glossar zu Energie. <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/FAQ/faq-energie.html> (letzter Zugriff 04.01.2017)
- Bundesregierung (Hrsg., 2011): Energiewende – die Gesetze. Mit diesen sechs neuen Gesetzen hat die Bundesregierung die Energiewende eingeleitet. <https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/Artikel/2011/08/2011-08-05-gesetze-energiewende.html> (letzter Zugriff 22.07.2017)
- Bundesregierung (Hrsg., 2016a): Gegenäußerung der Bundesregierung zur Stellungnahme des Bundesrates vom 18.12.2015 zum Entwurf eines Gesetzes zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz) – BR DrS. 542/15 (Beschluss). In: Deutscher Bundestag (2016b): Drucksache 18/7317 18. Wahlperiode 20.01.2016. Gesetzentwurf der Bundesregierung Entwurf eines Gesetzes zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz). Anlage 4, S. 170-178. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/073/1807317.pdf> (letzter Zugriff 13.08.2016)
- Bundesregierung (Hrsg., 2016b): Diskussionsentwurf der Bundesregierung: Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung des Energiesteuer- und des Stromsteuergesetzes. Bearbeitungsstand: 22.04.2016, 8:56 Uhr. [http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Gesetze/2016-05-19-Energiesteuer.pdf;jsessionid=9AFA51515F63AB42A3EA8C01E6F6E9CB?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Gesetze/2016-05-19-Energiesteuer.pdf;jsessionid=9AFA51515F63AB42A3EA8C01E6F6E9CB?__blob=publicationFile&v=3) (letzter Zugriff 13.08.2016)
- Bundesregierung (Hrsg., 2016c): Gesetzentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Gesetzes zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2016). [http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gesetzentwurf-ausschreibungen-erneuerbare-energien-aenderungen-eeg-2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gesetzentwurf-ausschreibungen-erneuerbare-energien-aenderungen-eeg-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (letzter Zugriff 01.08.2017)

- Burger, Markus (2013): Selbstverstärkende Dynamiken in Netzwerken. Interorganisationale Pfadabhängigkeit von Allokationspraktiken. Dissertation Freie Universität Berlin 2012. Springer, Wiesbaden
- Burgess, John / Jeffrey, Lewis / Lowe, Allen / Schnuck, Stephen / Flentje, Warren (2011): Novel CO<sub>2</sub> Capture Task Force Report. December 2011. <http://hub.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/44151/novelco2capturetaskforcereportfinal.pdf> (letzter Zugriff 23.08.2017)
- Campenhausen, Claus von (2006): Risikomanagement. Was der Manager wissen muss. Orell Füssli, Zürich
- Carbon Market Watch (Hrsg., 2016): Industry windfall profits from Europe's carbon market 2008-2015. [http://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2016/11/CMW-Industry-windfall-profits-from-Europe's-carbon-market-2008-2015\\_web\\_final.pdf](http://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2016/11/CMW-Industry-windfall-profits-from-Europe's-carbon-market-2008-2015_web_final.pdf) (letzter Zugriff 03.12.2016)
- Casadesus-Masanell, Ramon / Ricart, Joan E. (2010): From Strategy to Business Models and onto Tactics. In: Long Range Planning, Jg. 43, Nr. 2-3, S. 195-215
- CDU – Christlich Demokratische Union Deutschlands / CSU – Christlich-Soziale Union / SPD – Sozialdemokratische Partei Deutschlands (Hrsg., 2013): Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 18. Legislaturperiode, „Deutschlands Zukunft gestalten“.  
<https://www.cdu.de/sites/default/files/media/dokumente/koalitionsvertrag.pdf> (letzter Zugriff 28.01.2014)
- Chaffee, Ellen E. (1985): Three Models of Strategy. In: Academy of Management Review, Jg. 10, Nr. 1, S. 89-98
- Chandler, Alfred D. (1962): Strategy and structure. Chapters in the History of the Industrial enterprise. Reprint 1976. The M.I.T. Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge / Massachusetts / London
- Chemie.de (Hrsg., o. J.a): Erdgas. <http://www.chemie.de/lexikon/Erdgas.html> (letzter Zugriff 10.07.2017)
- Chemie.de (Hrsg., o. J.b): Wirkungsgrad.  
<http://www.chemie.de/lexikon/Wirkungsgrad.html> (letzter Zugriff 10.07.2017)
- Chesbrough, Henry (2010): Business Model Innovation: Opportunities and Barriers. In: Long Range Planning, Jg. 43, Nr. 2-3, S. 354-363
- Chesbrough, Henry / Rosenbloom, Richard S. (2002): The role of business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies. In: Industrial and Corporate Change, Jg. 11, Nr. 2, S. 529-555
- Chmiel, Horst (Hrsg., 2011): Bioverfahrenstechnik. 3. Auflage. Spektrum Akademischer, Heidelberg
- Chmiel, Horst (2011): Bioreaktoren. In: Chmiel, Horst (Hrsg., 2011): Bioverfahrenstechnik. 3. Auflage. Spektrum Akademischer, Heidelberg, S. 197-236
- Christensen, Clayton M. / Matzler, Kurt / Friedrich von den Eichen, Stephan (2013): The Innovator's Dilemma: Warum etablierte Unternehmen den Wettbewerb um bahnbrechende Innovationen verlieren. Die europäische Perspektive. 1., korrigierter Nachdruck. Franz Vahlen, München
- Christensen, Clayton M. / Raynor, Michael / McDonald, Rory (2016): Was ist Disruptive Innovation? Die wohl einflussreichste Managementtheorie der vergangenen 20 Jahre wird oft missverstanden. Was sie erklärt – und was nicht. In: Harvard Business Manager, Jg. 38, 01/2016, S. 64-75
- Christi, Yusuf (2007): Biodiesel from microalgae. In: Biotechnology Advances, Jg. 25, Nr. 3, S. 294-306
- Christi, Yusuf (2013): Constraints to commercialization of algal fuels. In: Journal of Biotechnology, Jg. 167, Nr. 2, S. 201-214
- Christiaans, Thomas (2008): Endogenes und semi-endogenes Wachstum. In: Das Wirtschaftsstudium, Jg. 37, Nr. 3, S. 391-397
- Clausen, Thies (2009): Rationalität und ökonomische Methode. Mentis, Paderborn



- Clausewitz, Carl von (1832): Vom Kriege. Ferdinand Dümmler, Berlin. Vorliegend in der Auflage von Marwedel, Ulrich (Hrsg., 1994): Carl von Clausewitz. Vom Kriege. Philipp Reclam jun., Ditzingen
- Clauß, Thomas / Pietruska, Sascha (2016): Langfristige Unternehmensperformance: Rekonfiguration des Unternehmens durch Geschäftsmodellinnovation. In: Künzel, Hansjörg (Hrsg., 2016): Erfolgsfaktor Performance Management. Leistungsbereitschaft einer aufgeklärten Generation. Springer, Berlin / Heidelberg, S. 179-198
- Cohen, Michael D. / March, James G. / Olsen, Johan P. (1972): A Garbage Can Model of Organizational Choice. In: Administrative Science Quarterly, Jg. 17, Nr. 1, S. 1-25
- Coleman, James S. (1991): Grundlagen der Sozialtheorie. Band 1: Handlungen und Handlungssystem. Oldenbourg, München
- Cooper, Robert G. (1990): Stage-gate systems: A new tool for managing new products. In: Business Horizons, Jg. 33, Nr. 3, S. 44-54
- Cooper, Robert G. (1996): Overhauling the New Product Process. In: Industrial Marketing Management, Jg. 5, Nr. 6, S. 465-482
- Cooper, Robert G. (2009): How Companies are reinventing their idea-to-launch methodologies. In: Research Technology Management, Jg. 52, Nr. 2, S. 47-57
- Corsten, Hans (Hrsg., 1995): Lexikon der Betriebswirtschaftslehre. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Oldenbourg, München
- Cremer, Harald (2014): Innovationen und Clusterstrategie – die Förderpolitik des 21. Jahrhunderts. In: Mai, Manfred (Hrsg., 2014): Handbuch Innovationen. Interdisziplinäre Grundlagen und Anwendungsfelder. Springer, Wiesbaden, S. 254-265
- Crotogino, Fritz (2011): Wasserstoffspeicherung im geologischen Untergrund – Stand der Technik und Potenzial. Vortrag im Rahmen der Tagung Energiespeicher für Deutschland. Rahmenbedingungen, Geschäftsfelder und Wirtschaftlichkeit, Köln, 07-09.11.2011. [http://www.kbbnet.de/wp-content/uploads/2011/05/201111\\_Köln\\_Cro-Wasserstoffspeicherung-im-geol-Untergrund.pdf](http://www.kbbnet.de/wp-content/uploads/2011/05/201111_Köln_Cro-Wasserstoffspeicherung-im-geol-Untergrund.pdf) (letzter Zugriff 16.12.2016)
- Crutzen, Paul J. / Mosier, Arvin R. / Smith, Keith A. / Winiwart, Wilfried (2008): N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. In: Atmospheric Chemistry and Physics, Jg. 8, S. 389-395. <http://www.atmos-chem-phys.net/8/389/2008/acp-8-389-2008.pdf> (letzter Zugriff 13.05.2017)
- Csik, Michaela (2014): Muster und das Generieren von Ideen für Geschäftsmodellinnovationen. Dissertation Universität St. Gallen. Difo-Druck, Bamberg
- Csik, Michaela / Gassmann, Oliver (2015): Innovative Geschäftsmodelle als Wettbewerbsfaktor. Teil 1: Grundlagen zu Geschäftsmodellen und deren Innovationen. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt) – Zeitschrift für Studium und Forschung, Jg. 44, Nr. 6, S. 302-308
- Curtius, Friedrich (Erfinder, 1986): Verfahren zur trockenen Reinigung von Rauchgasen. Europäische Patentanmeldung. Veröffentlichungsnummer EP0205866 A1. Anmeldenummer EP19860106380 EP 0205866 A1. <https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=EP&NR=0205866A1&KC=A1&FT=D&ND=&date=19861230&DB=&locale=#> (letzter Zugriff 26.05.2017)
- Daft, Richard L. (2001): Organization theory and design. 7. Auflage. SouthWesternCollege Publishing, Ohio
- Davis, Ryan / Aden, Andy / Pienkos, Philip T. (2011): Techno-economic analysis of autotrophic microalgae for fuel production. In: Applied Energy, Jg. 88, Nr. 10, S. 3524-3531

- DBFZ – Deutsches BiomasseForschungsZentrum (Hrsg., 2010): Ökologische und ökonomische Bewertung der Produktion von Biomethanol für die Biodieselherstellung. Kurzstudie. Autoren: Majer, Stefan / Gröngröf, Arne.  
[https://www.ufop.de/files/8513/3907/5702/3514000\\_DBFZ\\_Kurzstudie\\_Biomethanol\\_2010-06-222.pdf](https://www.ufop.de/files/8513/3907/5702/3514000_DBFZ_Kurzstudie_Biomethanol_2010-06-222.pdf) (letzter Zugriff 21.07.2017)
- DBI – Deutsches Brennstoffinstitut (Hrsg., 2014): Stellungnahme zum Positionspapier der BNetzA. In: BNetzA – Bundesnetzagentur (Hrsg., 2014b): Positionspapier zur Anwendung der Vorschriften der Einspeisung von Biogas auf die Einspeisung von Wasserstoff und synthetischem Methan in Gasversorgungsnetze – Ergebnis der Konsultation.  
[http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/Gas/Einspeisung\\_Wasserstoff\\_u\\_synth\\_Methan/Konsultationsergebnisse.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/Gas/Einspeisung_Wasserstoff_u_synth_Methan/Konsultationsergebnisse.pdf?__blob=publicationFile&v=1) (letzter Zugriff 09.08.2016), S. 21-22
- DDPP – Deep Decarbonization Pathways Project (Hrsg., 2015): Pathways to deep decarbonization 2015 report, SDSN – IDDRI. [http://deepdecarbonization.org/wp-content/uploads/2016/03/DDPP\\_2015\\_REPORT.pdf](http://deepdecarbonization.org/wp-content/uploads/2016/03/DDPP_2015_REPORT.pdf) (letzter Zugriff 03.03.2017)
- DECHEMA – DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie (Hrsg., 2008): Diskussionspapier. Verwertung und Speicherung von CO<sub>2</sub>. AutorInnen: Ausfelder, Florian / Bazzanella, Alexis M.  
[https://dechema.de/dechema\\_media/diskussionco2-view\\_image-1-called\\_by-dechema-original\\_site-dechema\\_eV-original\\_page-124930.pdf](https://dechema.de/dechema_media/diskussionco2-view_image-1-called_by-dechema-original_site-dechema_eV-original_page-124930.pdf) (letzter Zugriff 03.12.2016)
- DECHEMA – DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie (Fachgruppe Algenbiotechnologie) (Hrsg., 2016): Mikroalgen-Biotechnologie – Gegenwärtiger Stand, Herausforderungen, Ziele.  
[http://dechema.de/dechema\\_media/PP\\_Algenbio\\_2016\\_ezl-p-20001550.pdf](http://dechema.de/dechema_media/PP_Algenbio_2016_ezl-p-20001550.pdf) (letzter Zugriff 07.03.2017)
- Deeke, Axel (1995): Experteninterviews – ein methodologisches und forschungspraktisches Problem. Einleitende Bemerkungen und Fragen zum Workshop. In: Brinkmann, Christian / Deeke, Axel / Völker, Brigitte (Hrsg., 1995): Experteninterviews in der Arbeitsmarktforschung. Diskussionsbeiträge zu methodischen Fragen und praktischen Erfahrungen. Beiträge zur Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 191. Bundesanstalt für Arbeit, Nürnberg, S. 7-22
- DeGEval – Deutsche Gesellschaft für Evaluation (Hrsg., 2002): Checkliste zur Anwendung der Standards. Begleitmaterial zu den Standards für Evaluation.  
<http://www.degeval.de/fileadmin/DeGEval-Standards/Checkliste.pdf> (letzter Zugriff 01.09.2016)
- DeGEval – Deutsche Gesellschaft für Evaluation (Hrsg., 2008): Standards für Evaluation. 4., unveränderte Auflage. Mainz.  
[http://www.degeval.de/images/stories/Publikationen/DeGEval\\_-\\_Standards.pdf](http://www.degeval.de/images/stories/Publikationen/DeGEval_-_Standards.pdf) (letzter Zugriff 01.09.2016)
- DEHSt – Deutsche Emissionshandelsstelle (Hrsg., 2014): Grundlagen des Emissionshandels. Stand 22.01.2014.  
[https://www.dehst.de/DE/Emissionshandel/Grundlagen/grundlagen\\_node.html](https://www.dehst.de/DE/Emissionshandel/Grundlagen/grundlagen_node.html) (letzter Zugriff 03.12.2016)
- Dena – Deutsche Energie-Agentur (Hrsg., o. J.a): Spartenübergreifende Systemlösung Power to Gas. In: Strategieplattform Power to Gas.  
<http://www.powertogas.info/power-to-gas/spartenuebergreifende-systemloesung/> (letzter Zugriff 11.08.2016)
- Dena – Deutsche Energie-Agentur (Hrsg., o. J.b): Energiespeicher von Letztverbraucherabgaben befreien. In: Strategieplattform Power to Gas.  
<http://www.powertogas.info/5-stellschrauben/nicht-letzterverbraucher/> (letzter Zugriff 11.08.2016)

- Dena – Deutsche Energie-Agentur (Hrsg., o. J.c): Power to Gas: 5 Stellschrauben für die Marktreife. In: Strategieplattform Power to Gas. <http://www.powertogas.info/5-stellschrauben/kurzfassung/> (letzter Zugriff 12.08.2016)
- Dena – Deutsche Energie-Agentur (Hrsg., o. J.d): Markteinführung von erneuerbarem Wasserstoff und Methan bis 2022 sicherstellen. In: Strategieplattform Power to Gas. <http://www.powertogas.info/5-stellschrauben/markteinfuehrung/> (letzter Zugriff 13.08.2016)
- Dena – Deutsche Energie-Agentur (Hrsg., o. J.e): Pilotprojekte. [http://www.powertogas.info/power-to-gas/pilotprojekte-im-ueberblick/?no\\_cache=1](http://www.powertogas.info/power-to-gas/pilotprojekte-im-ueberblick/?no_cache=1) (letzter Zugriff 24.08.2017)
- Dena – Deutsche Energie-Agentur (Hrsg., 2015): Systemlösung Power to Gas. Chancen, Herausforderungen und Stellschrauben auf dem Weg zur Marktreife. 10/2015. [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Energiesysteme/Dokumente/1511\\_dena-Broschuere\\_Power-to-Gas.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Energiesysteme/Dokumente/1511_dena-Broschuere_Power-to-Gas.pdf) (letzter Zugriff 09.08.2016)
- Dena – Deutsche Energie-Agentur (Hrsg., 2016a): Potenzialatlas Power to Gas. Klimaschutz umsetzen, erneuerbare Energien integrieren, regionale Wertschöpfung ermöglichen. 06/2016. AutorInnen: Schenuit, Carolin / Heuke, Reemt / Paschke, Jan. [http://www.powertogas.info/fileadmin/content/Downloads\\_PtG\\_neu/Potenzialatlas/dena\\_Potenzialatlas\\_PowerToGas\\_2016-07-01.pdf](http://www.powertogas.info/fileadmin/content/Downloads_PtG_neu/Potenzialatlas/dena_Potenzialatlas_PowerToGas_2016-07-01.pdf) (letzter Zugriff 09.08.2016)
- Dena – Deutsche Energie-Agentur (Hrsg., 2016b): Initiative Erdgasmobilität. Stellungnahme zum Diskussionsentwurf eines zweiten Gesetzes zur Änderung des Energiesteuer- und des Stromsteuergesetzes mit Bezug auf § 2. [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/dena-Initiative-Erdgasmobilitaet-Stellungnahme-Energiesteuerermaessigung\\_\\_2.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/dena-Initiative-Erdgasmobilitaet-Stellungnahme-Energiesteuerermaessigung__2.pdf) (letzter Zugriff 13.08.2016)
- Denzin, Norman K. (1989): *The Research Act. A theoretical introduction to sociological method*. 3. Auflage. Prentice Hall, Englewood Cliffs NJ
- Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina (Hrsg., 2012): Statement. Bioenergy – Chances and Limits. [https://www.leopoldina.org/uploads/tx\\_leopublication/201207\\_Stellungnahme\\_Bioenergie\\_LAY\\_en\\_final\\_01.pdf](https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/201207_Stellungnahme_Bioenergie_LAY_en_final_01.pdf) (letzter Zugriff 17.07.2017)
- Deutscher Bundestag (Hrsg., 2008): Drucksache 16/9896, 16. Wahlperiode, 01.07.2008. Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung. Technikfolgenabschätzung (TA). CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Lagerung bei Kraftwerken. Sachstandsbericht zum Monitoring „Nachhaltige Energieversorgung“. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/098/1609896.pdf> (letzter Zugriff 14.01.2017)
- Deutscher Bundestag (Hrsg., 2012): Aktueller Begriff. Power to Gas. [https://www.bundestag.de/blob/192428/c2cf809dd7287c6e8096c23caee03210/power\\_to\\_gas-data.pdf](https://www.bundestag.de/blob/192428/c2cf809dd7287c6e8096c23caee03210/power_to_gas-data.pdf) (letzter Zugriff 17.07.2017)
- Deutscher Bundestag (Hrsg., 2014a): Drucksache 18/72121, 18. Wahlperiode, 15.07.2014. Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung. Technikfolgenabschätzung (TA). Climate Engineering. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/021/1802121.pdf> letzter Zugriff 14.01.2017)
- Deutscher Bundestag (Hrsg., 2014b): Aktueller Begriff: Nachhaltige Entwicklung – „Planetare Grenzen“. [https://www.bundestag.de/blob/279434/12fcb3040a6f085a130bec56b20366a2/planetare\\_grenzen-data.pdf](https://www.bundestag.de/blob/279434/12fcb3040a6f085a130bec56b20366a2/planetare_grenzen-data.pdf) (letzter Zugriff 02.09.2017)
- Deutscher Bundestag (Hrsg., 2016a): Änderungen im Immissionschutzgesetz [sic!]. Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit/Ausschuss – 08.06.2016. Aktuelle Meldungen (hib) Nr. 201606. <https://www.bundestag.de/presse/hib/201606/-/426820> (letzter Zugriff 12.08.2016)

- Deutscher Bundestag (Hrsg., 2016b): Drucksache 18/7317, 18. Wahlperiode, 20.01.2016. Gesetzentwurf der Bundesregierung Entwurf eines Gesetzes zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz). <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/073/1807317.pdf> (letzter Zugriff 13.08.2016)
- Deutscher Bundestag (Hrsg., 2016c): Handelsperiode (2021-2030) Überblick zum Kommissionsvorschlag und Auswirkungen auf deutsche Unternehmen. Wissenschaftliche Dienste, Dokumentation, Aktenzeichen: WD 8-3000-014/16. Stand 4.3.2016. <https://www.bundestag.de/blob/417774/df0ed7eae55a2831a98527666c7a41f7/wd-8-014-16-pdf-data.pdf> (letzter Zugriff 13.08.2016)
- DIE – Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (Hrsg., 2014): Green Industrial Policy. Managing Transformation under Uncertainty. Diskussionspapier 28/2010. AutorInnen: Lütkenhorst, Wilfried / Altenburg, Tilman / Pegels, Anna / Vidican, Georgeta. [https://www.die-gdi.de/uploads/media/DP\\_28.2014.pdf](https://www.die-gdi.de/uploads/media/DP_28.2014.pdf) (letzter Zugriff 22.07.2017)
- Diekmann, Andreas (2016): Empirische Sozialforschung. Grundlagen, Methoden, Anwendungen. Vollständig überarbeitete und erweiterte Neuausgabe, 10. Auflage, 27. Auflage der Gesamtausgabe. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg
- Dillerup, Ralf / Stoi, Roman (2013): Unternehmensführung. 4., komplett überarbeitete und erweiterte Auflage. Vahlen, München
- DIN – Deutsche Industrienorm (Hrsg., o. J.): DIN-Norm. <http://www.din.de/de/uebernormen-und-standards/din-norm> (letzter Zugriff 17.07.2017)
- Dittmar, Norbert (2009): Transkription. Ein Leitfaden mit Aufgaben für Studenten, Forscher und Laien. 3. Auflage. VS / GWV, Wiesbaden
- DLR – Arbeitsgemeinschaft Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt / Institut für Technische Thermodynamik, Abt. Systemanalyse und Technikbewertung / Fraunhofer IWES – Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik / IFNE -Kassel Ingenieurbüro für neue Energien (Hrsg., 2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Schlussbericht BMU - FKZ 03MAP146. AutorInnen: Nitsch, Joachim / Pregger, Thomas / Naegler, Tobias / Heide, Dominik / Luca de Tena, Diego / Trieb, Franz / Scholz, Yvonne / Nienhaus, Kristina / Gerhardt, Norman / Sterner, Michael / Trost, Tobias / von Oehsen, Amany / Schwinn, Rainer / Pape, Carsten / Hahn, Henning / Wickert, Manuel / Wenzel, Bernd. [http://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/bilder/portal/portal\\_2012\\_1/leitstudie2011\\_bf.pdf](http://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/bilder/portal/portal_2012_1/leitstudie2011_bf.pdf) (letzter Zugriff 26.11.2016)
- Doran, George T. (1981): There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. In: Management Review, Jg. 70, Nr. 11, S. 35-36
- Dragone, Giuliano / Fernandes, Bruno / Vicente, António A. / Teixeira, José A. (2010): Third generation biofuels from microalgae. In: Mendez-Vilas, Antonio (Hrsg., 2010): Current Research, Technology and Education. Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. FORMATEX Microbiology Series N° 2, Jg. 2, S. 1355-1366. <http://www.formatex.info/microbiology2/1355-1366.pdf> (letzter Zugriff 07.03.2017)
- Dresing, Thorsten / Pehl, Thorsten (2015): Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende. 6. Auflage. Eigenverlag, Marburg. <http://www.audiotranskription.de/Praxisbuch-Transkription.pdf> (letzter Zugriff 01.08.2015)
- Drosdowski, Günther (1989): Duden, Etymologie. Herkunftswörterbuch der deutschen Sprache. 2., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Dudenverlag, Mannheim et al.
- Drucker, Peter F. (1963): Managing for Business Effectiveness. In: Harvard Business Review, Jg. 41, Nr. 3, S. 53-60

- Drucker, Peter F. (1969): *The Age of Discontinuity. Guidelines to Our Changing Society.* Butterworth-Heinemann, London
- Drucker, Peter F. (1974): *Management. Tasks, Responsibilities, Practices.* Harper & Row, New York
- Dubs, Rolf / Euler, Dieter / Rüegg-Stürm, Johannes / Wyss, Christina (Hrsg., 2004): *Einführung in die Managementlehre.* Haupt, Bern / Stuttgart / Wien
- DVFG – Deutscher Verband Flüssiggas (Hrsg., 2016): *Diskussionsentwurf: Zweites Gesetz zur Änderung des Energiesteuergesetzes – Autogas.*  
[http://dvfg.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/Stellungnahme\\_zu\\_Steuervorteil\\_Autogas\\_DVFG\\_Position\\_Mai\\_2016.pdf](http://dvfg.de/fileadmin/user_upload/downloads/Stellungnahme_zu_Steuervorteil_Autogas_DVFG_Position_Mai_2016.pdf) (letzter Zugriff 13.08.2016)
- DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (Hrsg., 2011): *Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW G 262 (A), Nutzung von Gasen aus regenerativen Quellen in der öffentlichen Gasversorgung*
- DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (Hrsg., 2013): *Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW G 260 (A), Gasbeschaffenheit*
- DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (Hrsg., 2016): *Stellungnahme vom 28.04.2016 zum Referentenentwurf 2016. Unter den Blickwinkeln Sektorkopplung, Biomethan, Kraft-Wärme-Kopplung, Power-to-Gas.*  
[https://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/gas/anwendung/stellungnahme\\_referententwurf\\_eeg.pdf](https://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/gas/anwendung/stellungnahme_referententwurf_eeg.pdf) (letzter Zugriff 09.08.2016)
- DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (Hrsg., 2017): *10 Thesen zur Sektorkopplung. Positionspapier.*  
[https://www.bdew.de/internet.nsf/id/3cc78be7f576bf4ec1258110004b1212/\\$file/bdew%20positionspapier\\_10%20thesen%20zur%20sektorkopplung\\_o%20a.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/3cc78be7f576bf4ec1258110004b1212/$file/bdew%20positionspapier_10%20thesen%20zur%20sektorkopplung_o%20a.pdf) (letzter Zugriff 21.07.2017)
- e21.info (Hrsg., 2013): *Marktüberblick Power-to-Gas-Projekte.* In: e21.info – für die Köpfe der Energiewende. Jg. 2013, Nr. 5, S. 42-43
- E.ON Hanse (Hrsg., 2009): *Multitalente, auch im Dienste des Klimas.* [http://www.eon-hanse.com/pages/eha\\_de/Engagement/Umweltaktivitaeten/Mikroalgenprojekt\\_Hamburg/Algenbroschuere\\_final\\_2200\\_240609\\_\(2\).pdf](http://www.eon-hanse.com/pages/eha_de/Engagement/Umweltaktivitaeten/Mikroalgenprojekt_Hamburg/Algenbroschuere_final_2200_240609_(2).pdf) (letzter Zugriff 30.06.2014)
- ECRA – European Cement Research Academy (Hrsg., 2009): *Technical Report. TR-ECRA-106/2009. ECRA CCS Project - Report about Phase II.* [https://www.ecra-online.org/fileadmin/redaktion/files/pdf/ECRA\\_\\_Technical\\_Report\\_CCS\\_Phase\\_II.pdf](https://www.ecra-online.org/fileadmin/redaktion/files/pdf/ECRA__Technical_Report_CCS_Phase_II.pdf) (letzter Zugriff 24.11.2016)
- EEX – European Energy Exchange (Hrsg., o. J.): *EU Emission Allowances | Secondary Market.* Stand 02.12.2016.  
<https://www.eex.com/de/marktdaten/umweltprodukte/spotmarkt/european-emission-allowances#!/2016/12/02> (letzter Zugriff 02.12.2016)
- EEX – European Energy Exchange (Hrsg., 2009): *Emissionshandel an der EEX erfolgreich gestartet.* Pressemitteilung vom 09.03.2005. Release 0001A.  
<https://www.eex.com/blob/268/ba6b7d63e2c5bc1b328badd3cbb4e9e0/presse-2005-03-09-data.pdf> (letzter Zugriff 02.12.2016)
- Eggers, J. P. (2012): *Falling Flat. Failed Technologies and Investment under Uncertainty.* In: *Administrative Science Quarterly*, Jg. 57, Nr. 1, S. 47-80
- Eisenbrand, Gerhard / Schreier, Peter (Hrsg., 2006): *RÖMPP Lexikon Lebensmittelchemie. 2., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage.* Thieme, Stuttgart
- Eisenführ, Franz / Weber, Martin (2003): *Rationales Entscheiden. 4., neu bearbeitete Auflage.* Springer, Berlin / Heidelberg
- Eisenhardt, Kathleen M. (1989): *Building Theories from Case Study Research.* In: *Academy of Management Review*, Jg. 14, Nr. 4, S. 532-550
- Eisenhardt, Kathleen M. / Martin, Jeffrey A. (2000): *Dynamic Capabilities: What Are They?* In: *Strategic Management Journal*, Jg. 21, Nr. 10/11, Special Issue: The Evolution of Firm Capabilities, S. 1105-1121

- Elsner, Peter / Sauer, Dirk U. (Hrsg., 2015): Materialien. Energiespeicher. Technologies-teckbrief zur Analyse „Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050“. [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Materialien/ESYS\\_Technologiesteckbrief\\_Energiespeicher.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Materialien/ESYS_Technologiesteckbrief_Energiespeicher.pdf) (letzter Zugriff 10.07.2017)
- Elsner, Peter / Fishedick, Manfred / Sauer, Dirk U. (Hrsg., 2015): Analyse. Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050. Technologien – Szenarien – Systemzusammenhänge. [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Kooperationspublikationen/ESYS\\_Analyse\\_Flexibilitaetskonzepte.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Kooperationspublikationen/ESYS_Analyse_Flexibilitaetskonzepte.pdf) (letzter Zugriff 10.07.2017)
- EnAlgae (Hrsg., o. J.): EnAlgae: an INTERREG IVB North West Strategic Initiative. <http://www.enalgae.eu/> (letzter Zugriff 27.08.2017)
- EnergieAgentur.NRW (Hrsg., 2014): Virtuelles Institut: Strom zu Gas und Wärme. Flexibilitätsoptionen im integrierten Strom-, Gas- und Wärmesystem. Broschüre. <https://broschueren.nordrheinwestfalendirekt.de/broschuerenservice/energieagentur/virtuelles-institut-strom-zu-gas-und-waerme-flexibilitaetsoptionen-im-integrierten-strom-gas-und-waermesystem/1792> (letzter Zugriff 30.12.2016)
- Engel, Kai / Nippa, Michael (Hrsg., 2007): Innovationsmanagement. Von der Idee zum erfolgreichen Produkt. Physika, Heidelberg
- Engelkamp, Paul / Sell, Friedrich L. (2017): Einführung in die Volkswirtschaftslehre. 7., ergänzte und aktualisierte Auflage. Springer, Deutschland
- Erdmann, Georg / Zweifel, Peter (2010): Energieökonomik. Theorie und Anwendungen. 2., verbesserte Auflage. Springer, Heidelberg et al.
- Eriksson, Lina (2011): Rational Choice Theory – Potential and Limits. Palgrave Macmillan, Houndmills et al.
- Esser, Hartmut (1999): Soziologie – Allgemeine Grundlagen. 2., durchgesehene Auflage. Campus, Frankfurt am Main / New York
- EU-VRI – The European Virtual Institute for Integrated Risk Management (Hrsg., o. J.): Alfa-Bird: Alternative Fuels and Biofuels for Aircraft Development. Broschüre zum EU-Projekt. [http://www.eu-vri.eu/images/projects/Leaflet/Alfa-Bird\\_%20Leaflet\\_ver20\\_bc\\_14032012.pdf](http://www.eu-vri.eu/images/projects/Leaflet/Alfa-Bird_%20Leaflet_ver20_bc_14032012.pdf) (letzter Zugriff 05.10.2016)
- Europäische Kommission (Hrsg., 2012): Innovation für nachhaltiges Wachstum: eine Bioökonomie für Europa. Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss der Regionen. Brüssel, 13.02.2012. COM(2012) 60 final. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012DC0060&from=DE> (letzter Zugriff 19.03.2017)
- Europäische Kommission (Hrsg., 2014): EudraLex. The Rules Governing Medicinal Products in the European Union Volume 4. Good Manufacturing Practice. Medicinal Products for Human and Veterinary Use. Part II: Basic Requirements for Active Substances used as Starting Materials. Ares(2014)2674284. Brussels, 13.08.2014. [http://ec.europa.eu/health/sites/health/files/files/eudralex/vol-4/2014-08\\_gmp\\_part1.pdf](http://ec.europa.eu/health/sites/health/files/files/eudralex/vol-4/2014-08_gmp_part1.pdf) (letzter Zugriff 19.03.2017)
- Europäische Kommission (Hrsg., 2015): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Verbesserung der Kosteneffizienz von Emissionsminderungsmaßnahmen und zur Förderung von Investitionen in CO<sub>2</sub>-effiziente Technologien. Brüssel, 15.07.2015. COM(2015) 337 final. 2015/148 (COD). <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/eu-kommission-aenderung-richtlinie-2003-87-eg-verbesserung-kosteneffizienz-emissionsminderungsmaßnahmen-foerderung-investitionen-co2.property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff 19.08.2016)

- Eurostat – Statistical office of the European Union (Hrsg., 2016): Energiepreisstatistik. Datenauszug vom Juli 2016. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy\\_price\\_statistics/de#Strompreise\\_f.C3.BCr\\_Industriekunden](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_price_statistics/de#Strompreise_f.C3.BCr_Industriekunden) (letzter Zugriff 11.10.2017)
- EWI – Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln / Forschungszentrum Jülich (IEK-3) / Forschungszentrum Jülich (IEK-STE) / GWI – Gas- und Wärme-Institut Essen / Ruhruniversität Bochum, Technische Chemie / Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie / ZBT – Zentrum für Brennstoffzellentechnik (Hrsg., 2015): Abschlussbericht zum Vorprojekt. Virtuelles Institut: Strom zu Gas und Wärme. Flexibilisierungsoptionen im Strom-Gas-Wärme-System. Entwicklung einer Forschungsagenda vor dem Hintergrund der spezifischen Rahmenbedingungen und Herausforderungen für NRW. [http://strom-zu-gas-und-waerme.de/wp-content/uploads/2016/07/Virtuelles\\_Institut\\_Strom\\_zu\\_Gas\\_und\\_Waerme\\_Abschlussbericht\\_Vorprojekt.pdf](http://strom-zu-gas-und-waerme.de/wp-content/uploads/2016/07/Virtuelles_Institut_Strom_zu_Gas_und_Waerme_Abschlussbericht_Vorprojekt.pdf) (letzter Zugriff 11.07.2017)
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (Hrsg., 2002): Prospects for Seaweed Production in Developing Countries. FAO Fisheries Circular No. 968 FIIU/C968 (En). Autor: McHugh, Dennis J. <http://www.fao.org/docrep/004/y3550e/y3550e00.HTM> (letzter Zugriff 08.03.2017)
- Farjoun, Moshe (2002): Towards an Organic Perspective on Strategy. In: Strategic Management Journal, Jg. 23, Nr. 7, S. 561-594
- Fenn, Jackie / Raskino, Mark (2008): Mastering the hype cycle. How to Choose the Right Innovation at the Right Time. Harvard Business Press, Boston, Massachusetts
- FfE – Forschungsstelle für Energiewirtschaft (Hrsg., 2010): Merit Order des Kraftwerksparks. Autoren: Roon, Serafin von / Huck, Malte. [http://www.ffe.de/download/wissen/20100607\\_Merit\\_Order.pdf](http://www.ffe.de/download/wissen/20100607_Merit_Order.pdf) (letzter Zugriff 13.08.2016)
- Fichter, Klaus (2005): Interpreneurship. Nachhaltigkeitsinnovationen in interaktiven Perspektiven eines vernetzenden Unternehmertums. Habilitationsschrift. Metropolis, Marburg
- Fichter, Klaus (2010): Nachhaltigkeit: Motor für schöpferische Zerstörung? In: Howaldt, Jürgen / Jacobsen, Heike (Hrsg., 2010): Soziale Innovation. Auf dem Weg zu einem postindustriellen Innovationsparadigma. VS / Springer, Wiesbaden, S. 181-198
- Fichter, Klaus / Noack, Torsten / Beucker, Severin / Bierter, Willy / Springer, Stefanie (2006): Nachhaltigkeitskonzepte für Innovationsprozesse. Fraunhofer IRB, Stuttgart. [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2014/06/Nachhaltigkeitskonzepte\\_fuer\\_Innovationsprozesse.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2014/06/Nachhaltigkeitskonzepte_fuer_Innovationsprozesse.pdf) (letzter Zugriff 19.07.2017)
- Figge, Lisa / Otto Marc-Felix (2013): Regulatorische Unsicherheiten als Herausforderung für das Risikomanagement. In: emw – Energie, Markt, Wettbewerb, Jg. 11, Nr. 1, S. 56-59
- Filho, Walter L. (Hrsg., 2017): Innovation in der Nachhaltigkeitsforschung. Ein Beitrag zur Umsetzung der UNO Nachhaltigkeitsziele. Springer, Deutschland
- Fishedick, Manfred (2013): Vorstellung der Vorgehensweise bei der Erstellung von Klimaschutzszenarien und -maßnahmen. Vortrag im Rahmen der 4. Sitzung des Klimaschutzplan Koordinierungskreis, 25.11.2013. [http://www.klimaschutz.nrw.de/fileadmin/Dateien/Download-Dokumente/Sonstiges/3\\_Vortrag\\_Fishedick\\_Klimaschutzplan\\_Vorstellung\\_MF\\_2\\_\\_CH.PDF](http://www.klimaschutz.nrw.de/fileadmin/Dateien/Download-Dokumente/Sonstiges/3_Vortrag_Fishedick_Klimaschutzplan_Vorstellung_MF_2__CH.PDF) (letzter Zugriff 29.01.2014)

- Fischedick, Manfred / Thomas, Stefan (2013): Energiewende in Deutschland, eine komplexe Transformationsaufgabe und die besondere Rolle der Energieeffizienz. In: Kästner, Thomas / Rentz, Henning (Hrsg., 2013): Handbuch Energiewende. ETV Energieverlag, Essen, S. 295-307
- Fischedick, Manfred / Görner, Klaus / Thomeczek, Margit (Hrsg., 2015): CO<sub>2</sub>: Abtrennung, Speicherung, Nutzung. Ganzheitliche Bewertung im Bereich von Energiewirtschaft und Industrie. Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg
- Fischedick, Manfred / Günster, Werner / Fahlenkamp, Hans / Meier, Hans-Joachim / Neumann, Frank / Oeljeklaus, Gerd / Rode, Helmut / Schimkat, Armin / Beigel, Jürgen / Schwürer, Dietmar (2006): CO<sub>2</sub>-Abtrennung im Kraftwerk. Ist eine Nachrüstung für bestehende Anlagen sinnvoll? In: VGB PowerTech, Jg. 86, Nr. 4, S. 108-117
- Fischedick, Manfred / Knoop, Katharina / Samadi, Sascha (2015): Dekarbonisierung des Energiesystems ist keine Frage der Zeit. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung, 10.12.2015, Nr. 287, S. V2
- Fischedick, Manfred / Richwien, Martina / Lechtenböhrer, Stefan / Zeiss, Christoph / Espert Valentin (2015): Klimaschutzpläne und -gesetze – partizipationsorientierte Instrumente vorausschauender Klima- und Standortpolitik. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Jg. 65, Nr. 5, S. 18-21
- Fischedick, Manfred / Samadi, Sascha / Hoffmann, Clemens / Henning, Hans M. / Pregar, Thomas / Leprich, Uwe / Schmidt, Maike (2014): Phasen der Energietransformation. In: Forschung für die Energiewende – Phasenübergänge aktiv gestalten. Beiträge zur FVEE-Jahrestagung 2014, S. 12-18.  
<http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2014/th2014.pdf> (letzter Aufruf 12.06.2016)
- FIZ Karlsruhe – Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur (Hrsg., 2017): Kavernenspeicher. Salzkavernen deutschlandweit nutzen. Mitteilung vom 12.4.2017. [http://forschung-energiespeicher.info/wind-zu-wasserstoff/projektliste/projekt-einzelansicht/74/Salzkavernen\\_deutschlandweit\\_nutzen/](http://forschung-energiespeicher.info/wind-zu-wasserstoff/projektliste/projekt-einzelansicht/74/Salzkavernen_deutschlandweit_nutzen/) (letzter Zugriff 09.10.2017)
- Flick, Uwe (2008): Triangulation. Eine Einführung. 2. Auflage. VS / GWV, Wiesbaden
- Flick, Uwe (2011): Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg
- Flick, Uwe (2014): Gütekriterien qualitativer Sozialforschung. In: Baur, Nina / Blasius, Jörg (Hrsg., 2014): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Springer, Wiesbaden, S. 411-424
- Flick, Uwe / Kardorff, Ernst von / Steinke, Ines (Hrsg., 2008): Qualitative Forschung. Ein Handbuch. 6., durchgesehene und aktualisierte Auflage. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg., o. J.a): Nachwachsende Rohstoffe. Überblick. <https://www.fnr.de/nachwachsende-rohstoffe/ueberblick/> (letzter Zugriff 13.07.2017)
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg., o. J.b): Biokraftstoffe. <https://www.fnr.de/nachwachsende-rohstoffe/bioenergie/biokraftstoffe/> (letzter Zugriff 13.07.2017)
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg., o. J.c): Rohstoffe. <https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/biodiesel/rohstoffe/> (letzter Zugriff 20.07.2017)
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg., o. J.d): Biodiesel. <https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/biodiesel/> (letzter Zugriff 20.07.2017)
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg., 2014): Biokraftstoffe. 4. Auflage. [https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/r/brosch\\_biokraftstoffe\\_web.pdf](https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/r/brosch_biokraftstoffe_web.pdf) (letzter Zugriff 08.03.2017)



- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg., 2015a): Primärenergieverbrauch und Bioenergie 2014. Grafik.  
<https://bioenergie.fnr.de/bioenergie/biomasse/biomasse-potenziale/potenziale-von-rest-und-abfallstoffen/> (letzter Zugriff 19.07.2017)
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg., 2015b): Biomassepotenziale Rest- und Abfallstoffe. Status quo in Deutschland.  
[https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/s/c/schriftenreihe\\_band\\_36\\_web\\_01\\_09\\_15.pdf](https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/s/c/schriftenreihe_band_36_web_01_09_15.pdf) (letzter Zugriff 19.07.2017)
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg., 2015c): Bioenergie im Energiekonzept 2050. Grafik und Erklärung. <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/bioenergie-szenario-2050.html> (letzter Zugriff 19.07.2017)
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg., 2015d): Biokraftstoffverbrauch in Deutschland 2015. Grafik. <https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/biodiesel/> (letzter Zugriff 19.07.2017)
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg., 2016a): Basisdaten Bioenergie. Stand: 10/2016. <https://www.fnr.de/basisdaten/bioenergie/bioenergie.html> (letzter Zugriff 19.07.2017)
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg., 2016b): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2016. 16. Auflage.  
[http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere\\_Basisdaten\\_Bioenergie\\_20162.pdf](http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_Basisdaten_Bioenergie_20162.pdf) (letzter Zugriff 08.03.2017)
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg., 2017): Anbau Nachwachsender Rohstoffe in Deutschland 2014-2016 (in Hektar). Grafik.  
[https://mediathek.fnr.de/downloadable/download/sample/sample\\_id/1273/](https://mediathek.fnr.de/downloadable/download/sample/sample_id/1273/) (letzter Zugriff 19.07.2017)
- Focht, Peter (2016): Je größer, desto besser, gilt nicht. In: *Energie & Management*, Jg. 2016, Nr. 5, S. 12-13
- Ford, David / Ryan, Chris (1981): Taking Technology to Market. In: *Harvard Business Review*, Jg. 59, Nr. 2, S. 117-126
- Foster, Richard N. (1986): Innovation. Die technologische Offensive. Gabler, Wiesbaden
- Franke, Nikolaus / von Braun, Christoph-Friedrich (Hrsg., 1998): Innovationsforschung und Technologiemanagement – Konzepte, Strategien, Fallbeispiel. Springer, Berlin / Heidelberg
- Franz, Anette / Posten, Clemens / Schaub Georg (2012): Mikroalgenerträge in verschiedenen Klimaregionen – Modellstudien für die Biomasse- und H<sub>2</sub>-Erzeugung in idealisierten Photobioreaktoren. In: *Chemie Ingenieur Technik*, Jg. 84, Nr. 8, S. 1182-1183
- Franz, Anette / Lehr, Florian / Posten, Clemens / Schaub, Georg (2012): Modeling microalgae cultivation productivities in different geographic locations – estimation method for idealized photobioreactors. In: *Biotechnology Journal*, Jg. 7, Nr. 4, S. 546-557
- Fraunhofer IWES – Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (Hrsg., 2014): Geschäftsmodell Energiewende. Eine Antwort auf das „Die-Kosten-der-Energiewende“-Argument. AutorInnen: Gerhardt, Norman / Sandau, Fabian / Zimmermann, Britta / Pape, Carsten / Bofinger, Stefan / Hoffmann, Clemens.  
[https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschungsthemen/energie/Studie\\_Energiewende\\_Fraunhofer-IWES\\_20140-01-21.pdf](https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschungsthemen/energie/Studie_Energiewende_Fraunhofer-IWES_20140-01-21.pdf) (letzter Zugriff 04.12.2016)

- Fraunhofer UMSICHT – Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik / Fraunhofer IWES – Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (Hrsg., 2014): Abschlussbericht Metastudie »Energiespeicher«. Im Auftrag des BMWi – Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. AutorInnen: Doetsch, Christian / Grevé, Anna / Hochloff, Patrick / von Appen, Jan / Trost, Tobias / Gerhardt, Norman / Puchta, Matthias / Jentsch, Mareike / Schreiber, Michael / Rohrig, Kurt / Meyer, Benedikt / Wendorff, Mareike / Hashemi, Ashkan / Kanngießer, Annedore.  
<http://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/pressemitteilungen/2015/Abschlussbericht-Metastudie-Energiespeicher.pdf> (letzter Zugriff 26.10.2015)
- Fraunhofer UMSICHT – Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Hrsg., 2015): Metastudie. Die Bedeutung von Stromspeichern für die Energiewende. Pressemitteilung vom 29.09.2015.  
<http://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/2015/metastudie-energiespeicher.html> (letzter Zugriff 04.09.2016)
- Fredrickson, James W. (Hrsg., 1990): Perspectives on Strategic Management, Harper Business, New York
- Freeman, Chris (1979): The determinants of innovation. In: Futures, Jg. 11, Nr. 3, S. 206-215
- Freeman, Chris / Soete, Luc (1997): The economics of Industrial Innovation. 3. Auflage. MIT Press, Cambridge, Massachusetts
- Fresewinkel, Mark (2016): Effizienzsteigerung mikroalgenbasierter Energiegewinnung durch Prozessintegration – Prozessauslegung und Modellierung der Glycolatproduktion und Konstruktion eines Biofilmreaktors. Dissertation KIT –Karlsruher Institut für Technologie
- Frie, Sebastian / Kerner, Martin (Erfinder, 2012): Verfahren und Anlage zur Verwertung von gasförmigen und/oder festen Inhaltsstoffen in Abgasen. Patentschrift. DE 102009019206 B4. Inhaber: Thyssenkrupp Polysius AG.  
<https://register.dpma.de/DPMAREGISTER/pat/PatSchrifteneinsicht?docId=DE102009019206B4> (letzter Zugriff 25.05.2017)
- Frießem, Martina R. (2014): Multikriterielle, kausalanalytische Betrachtung von Erfolgstreibern technologischer Frühaufklärung in industriellen Unternehmensnetzwerken. Dissertation Ruhr-Universität Bochum 2013
- Fritzsche, Carolin / Ochsner, Christian (2014): Die Innovationszulage: Ein neuer Ansatz der Innovationsförderung. In: ifo Dresden berichtet, 3/2014. <https://www.cesifo-group.de/portal/page/portal/FBF26DF36AB41B51E04400144FAFBA7C> (letzter Zugriff 10.10.2016)
- Frondele, Manuel / Vance, Colin (2017): Emissionsstandards für Neuwagen: Die Crux mit dem Rebound. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt) – Zeitschrift für Studium und Forschung, Jg. 46, Nr. 1, S. 25-29
- Froschauer, Ulrike / Lueger, Manfred (2003): Das qualitative Interview. Zur Praxis interpretativer Analyse sozialer Systeme. Facultas, Wien
- Froschauer, Ulrike / Lueger, Manfred (2009): ExpertInnengespräche in der interpretativen Organisationsforschung. In: Bogner, Alexander / Littig, Beate / Menz, Wolfgang (Hrsg., 2009): Experteninterviews. Theorien, Methoden, Anwendungsfelder. 3., grundlegend überarbeitete Auflage. VS / GWV, Wiesbaden, S. 239-258
- Fuß, Susanne / Karbach, Ute (2014): Grundlagen der Transkription. Eine praktische Einführung. Barbara Budrich, Opladen / Toronto
- Gälweiler, Aloys (1986): Unternehmensplanung. Grundlagen und Praxis. Neuausgabe bearbeitet und ergänzt von Markus Schwaninger. Campus, Frankfurt am Main / New York
- Gälweiler, Aloys (1987): Strategische Unternehmensführung. Campus, Frankfurt am Main / New York

- Gartner (Hrsg., 1995): When to Leap on the Hype Cycle. Autor: Jackie Fenn.  
<https://www.gartner.com/doc/484408/leap-hype-cycle> (letzter Zugriff 31.09.2017)
- Garz, Detlef / Kraimer, Klaus (Hrsg., 1991): Qualitativ-empirische Sozialforschung. Konzepte, Methoden, Analysen. Westdeutscher, Opladen
- Gassmann, Oliver / Frankenberger, Karolin / Csik, Michaela (2013): Geschäftsmodelle entwickeln. 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator. Hanser, München
- Gausemeier, Jürgen / Plass, Christoph (2014): Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung. Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. 2. Auflage. Carl Hanser, München
- Geels, Frank W. (2004): From sectoral systems of innovation to socio-technical systems Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. In: Research Policy, Jg. 33, Nr. 6-7, S. 897-920
- Geels, Frank W. (2005): Processes and patterns in transitions and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective. In: Technological Forecasting & Social Change, Jg. 72, Nr. 6, S. 681-696
- Geels, Frank W. / Schot, Johan (2007): Typology of sociotechnical transition pathways. In: Research Policy, Jg. 36, Nr. 3, S. 399-417
- Geels, Frank / Kern, Florian / Fuchs, Gerhard / Hinderer, Nele / Kungl, Gregor / Mylan, Josephine / Neukirch, Mario / Wassermann, Sandra (2017): Die Realisierung soziotechnischer Transformationspfade: Eine reformulierte Typologie und eine vergleichende Mehrebenenanalyse der deutschen und britischen CO<sub>2</sub>-Reduzierungspolitik im Stromsektor (1994-2014). In: Schippl, Jens / Grunwald, Armin / Renn, Ortwin (Hrsg., 2017): Die Energiewende verstehen – orientieren – gestalten. Erkenntnisse aus der Helmholtz-Allianz ENERGY-TRANS. Nomos, Baden-Baden, S. 53-122
- Geier, Stephanie / Buchholz, Rainer (2013): Marine Biotechnologie. Mikroalgen: Produktionsmechanismen der Zukunft? In: BioSpektrum, Jg. 19, Nr. 3, S. 328-331
- Gelderens, Jacob van (unter dem Pseudonym Fedder, J.) (1913): Springvloed. Beschouwingen over industriele ontwikkeling en prijsbeweging. In: De Nieuwe Tijd, Jg. 18, Nr. 4-6, S. 253-277, 369-384, 445-464
- Gendy, Tahani S. / El-Temtamy, Seham A. (2013): Commercialization potential aspects of microalgae for biofuel production: An overview. In: Egyptian Journal of Petroleum, Jg. 22, Nr. 1, S. 43-51
- Gerpott, Torsten J. (2005): Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement, 2., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Ghaziani, Amin / Ventrasca, Mark J. (2005): Keywords and Cultural Change: Frame Analysis of Business Model Public Talk, 1975-2000. In: Sociological Forum, Jg. 20, Nr. 4, S. 523-559
- Gilbert, Clark (2003): The disruption opportunity. In: MIT Sloan Management Review, Jg. 44, Nr. 4, S. 27-33
- Gilbert, Dirk U. / Behnam, Michael (2009): Strategy process management in multinational companies: status quo, deficits and future perspectives. In: Problems and perspectives in management, Jg. 7, Nr. 1, S. 70-85
- Gjoksi, Nisida (2011): Innovation and sustainable development: Linkages and perspectives for policies in Europe. ESDN – European Sustainable Development Network, Quarterly Report June 2011. [http://www.sdnetwork.eu/quarterly%20reports/report%20files/pdf/2011-June-Innovation\\_and\\_sustainable\\_development.pdf](http://www.sdnetwork.eu/quarterly%20reports/report%20files/pdf/2011-June-Innovation_and_sustainable_development.pdf) (letzter Zugriff 01.07.2017)
- Glaser, Barney G. / Strauss, Anselm L. (2010): Grounded Theory. Strategien qualitativer Forschung. 3. Auflage. Hans Huber, Bern
- Gläser, Jochen / Laudel, Grit (2010): Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse, als Instrument rekonstruierender Untersuchungen. 4. Auflage. VS / Springer, Wiesbaden

- Gleißner, Werner / Meier, Günter (Hrsg., 2001): Wertorientiertes Risiko-Management für Industrie und Handel. Methoden, Fallbeispiele, Checklisten. Gabler, Wiesbaden
- Global Climate Forum / Germanwatch (Hrsg., 2016): Grüner Investitionsschub in Europa. Zwölf Empfehlungen für Green Growth und eine erfolgreiche Energiewende. Abschlussbericht des BMBF-Projekts „Investitionsschub durch die deutsche Energiewende in Zeiten der Finanz- und Wirtschaftskrise“. AutorInnen: Mielke, Jahel / Zimmermann, Hendrik / Vermaßen, Hannah / Retzlaff, Nane / Burck, Jan. <http://www.globalclimateforum.org/fileadmin/ecf-documents/pdf/Abschlussbericht021216.pdf> (letzter Zugriff 06.07.2017)
- Globocnik, Dietfried / Salomo, Søren (2014): Erfolgsfaktoren des strategischen Innovationsmanagement. In: Granig, Peter / Hartlieb, Erich / Lercher, Hans (Hrsg., 2014): Innovationsstrategien. Von Produkten und Dienstleistungen zu Geschäftsmodellinnovationen. Springer, Wiesbaden, S. 55-69
- Gomez, Peter / Hahn, Dietger / Müller-Stewens, Günter / Wunderer, Rolf (Hrsg., 1994): Unternehmerischer Wandel. Konzepte zur organisatorischen Erneuerung. Gabler, Wiesbaden
- Goos, Philipp / Hagenhoff, Svenja (2003): Strategisches Innovationsmanagement: Eine Bestandsaufnahme. Arbeitsbericht Nr. 11/2003. Schumann, Matthias (Hrsg.), Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Wirtschaftsinformatik, Leipzig
- Görner, Klaus (2015): CCS-Prozesskette. In: Fishedick, Manfred / Görner, Klaus / Thomeczek, Margit (Hrsg., 2015): CO<sub>2</sub>: Abtrennung, Speicherung, Nutzung. Ganzheitliche Bewertung im Bereich von Energiewirtschaft und Industrie. Springer Vieweg, Berlin / Heidelberg, S. 255-482
- Gößling-Reisemann, Stefan / Stührmann, Sönke / Wachsmuth, Jakob / von Gleich, Arnim (2013): Vulnerabilität und Resilienz von Energiesystemen. In: Radtke, Jörg / Hennig, Bettina (Hrsg., 2013): Die deutsche „Energiewende“ nach Fukushima. Der wissenschaftliche Diskurs zwischen Atomausstieg und Wachstumsdebatte. Metropolis, Marburg, S. 367-396
- Götze, Uwe / Rudolf, Friedhelm (1994): Instrumente der strategischen Planung. In: Bloech, Jürgen / Götze, Uwe / Huch, Burkhard / Lücke, Wolfgang / Rudolph, Friedhelm (Hrsg., 1994): Strategische Planung. Instrumente, Vorgehensweisen und Informationssysteme. Physica, Heidelberg, S. 1-56
- Götzmann, Frank (1991): Rationalität in betriebswirtschaftlichen Ansätzen. In: Das Wirtschaftsstudium, Jg. 20, Nr. 8-9, S. 573-575
- Götzmann, Frank (1995): Rationalität. In: Corsten, Hans (Hrsg., 1995): Lexikon der Betriebswirtschaftslehre. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Oldenbourg, München, S. 827-831
- Gould, Julius / Kolb, William L. (Hrsg., 1964): A Dictionary of the Social Sciences. MacMillan, New York
- Grant, Robert M. / Nippa, Michael (2006): Strategisches Management – Analyse, Entwicklung und Implementierung von Unternehmensstrategien. 5., aktualisierte Auflage. Pearson Studium, München / Heidelberg
- Granig, Peter / Hartlieb, Erich / Lercher, Hans (Hrsg., 2014): Innovationsstrategien. Von Produkten und Dienstleistungen zu Geschäftsmodellinnovationen. Springer, Wiesbaden
- Granig, Peter / Ratheiser, Vera / Gaggl, Erich (2016): Trendantizipierende Geschäftsmodellinnovationen. 102 – Strategisches Innovationsmanagement in volatilen Märkten. [http://ffhoarep.fh-ooe.at/bitstream/123456789/506/1/102\\_310\\_Granig\\_FullPaper\\_dt\\_Final.pdf](http://ffhoarep.fh-ooe.at/bitstream/123456789/506/1/102_310_Granig_FullPaper_dt_Final.pdf) (letzter Zugriff 19.07.2017)
- Grant, Robert M. (2010): Contemporary Strategy Analysis. 7., überarbeitete Auflage. John Wiley & Sons, Chichester
- Greenpeace Energy (Hrsg., o. J.a): Windgas – Rückenwind für die Energiewende. <https://www.greenpeace-energy.de/privatkunden/windgas.html> (letzter Zugriff 10.07.2017)

- Greenpeace Energy (Hrsg., o. J.b): Unser Windgas im Detail. <https://www.greenpeace-energy.de/privatkunden/windgas/unser-windgas-im-detail.html> (letzter Zugriff 13.07.2017)
- Greenpeace Energy (Hrsg., o. J.c): Satzung von Greenpeace Energy eG. <https://www.greenpeace-energy.de/rechtliches/satzung-der-genossenschaft.html> (letzter Zugriff 13.07.2017)
- Greenpeace Energy (Hrsg., 2016): Windgas und Sektorkopplung. Vortrag im Rahmen des BEE-Unternehmertag, Workshop 4, Power-to-X: Wie die Zusammenarbeit zwischen den Sektoren Strom, Wärme, Mobilität und Industrie gelingt, 24.02.2016. [https://www.bee-ev.de/fileadmin/user\\_upload/Neujahrsempfang/UNT\\_NJE\\_2016/BEE-Unternehmertag\\_2016\\_Windgas\\_und\\_Sektorkopplung\\_Greenpeace\\_Energy\\_Friedrich.pdf](https://www.bee-ev.de/fileadmin/user_upload/Neujahrsempfang/UNT_NJE_2016/BEE-Unternehmertag_2016_Windgas_und_Sektorkopplung_Greenpeace_Energy_Friedrich.pdf) (letzter Zugriff 23.07.2017)
- Greenpeace Energy (Hrsg., 2017): Unsere Antwort auf den Spiegel-Artikel "Geist aus der Flasche", Nr. 29/2017. Ohne Windgas keine erfolgreiche Energiewende. 19.07.2017 – Kommentar. <https://www.greenpeace-energy.de/presse/artikel/ohne-windgas-keine-erfolgreiche-energiewende.html> (letzter Zugriff 23.07.2017)
- Griehl, Carola / Bieler, Simone / Posten, Clemens (2012): Kraftstoffe aus Algen. Konzentrierte grüne Energie. In: Bürke, Thomas / Wengenmayr, Roland (Hrsg., 2012): Erneuerbare Energien. Konzepte für die Energiewende. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wiley-VCH, Weinheim, S. 79-82
- Griehl, Carola / Loettel, Wolfgang / Pulz, Wolfgang / Kerner, Martin (2009): Produkte und Anwendungen der Mikroalgenbiotechnologie sowie die Nachhaltigkeit der phototrophen Biotechnologie. Für das Netzwerk „Technologien zur Erschließung der Ressource Mikroalgen – TERM“
- Grinin, Leonid / Korotayev, Andrey / Tausch, Arno (2016): Economic Cycles, Crises, and the Global Periphery. Springer, Switzerland
- Grünig, Rudolf / Kühn, Richard (2000): Methodik der strategischen Planung. Ein prozessorientierter Ansatz für Strategieplanungsprojekte. Reihe Praxishilfen für Unternehmen; Band 5. Paul Haupt, Bern / Stuttgart / Wien
- Gudehus, Timm (2015): Dynamische Märkte. Grundlagen und Anwendungen der analytischen Ökonomie. 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg
- Gutenberg, Erich (1983): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Erster Band: Produktion. 24., unveränderte Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg / New York
- GWI – Gas- und Wärme-Institut Essen / EWI – Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln / Forschungszentrum Jülich / Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie / ZBT – Zentrum für Brennstoffzellentechnik / Ruhruniversität Bochum, Technische Chemie (Hrsg., 2014): Auswertung von Studien zu künftigem Bedarf an Stromspeicherung. Beitrag zum Vorprojekt Virtuelles Institut: Strom zu Gas und Wärme – Flexibilisierungsoptionen im Strom-Gas-Wärme-System. [https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/Virtuelles\\_Institut\\_Strom\\_zu\\_Gas\\_und\\_Waerme\\_Anlage\\_Studienauswertung.pdf](https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/Virtuelles_Institut_Strom_zu_Gas_und_Waerme_Anlage_Studienauswertung.pdf) (letzter Zugriff 11.07.2017)

- GWI – Gas- und Wärme-Institut Essen / EWI – Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln / Forschungszentrum Jülich / Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie / ZBT – Zentrum für Brennstoffzellentechnik / Ruhruniversität Bochum, Technische Chemie (Hrsg., 2015): Technologiecharakterisierungen in Form von Steckbriefen. Beitrag zum Vorprojekt Virtuelles Institut: Strom zu Gas und Wärme – Flexibilisierungsoptionen im Strom-Gas-Wärme-System. Stand: 14.01.2015.  
[https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/Virtuelles\\_Institut\\_Strom\\_zu\\_Gas\\_und\\_Waerme\\_Anlage\\_Steckbriefsammlung.pdf](https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/Virtuelles_Institut_Strom_zu_Gas_und_Waerme_Anlage_Steckbriefsammlung.pdf) (letzter Zugriff 10.07.2017)
- Habermas, Jürgen (1981): Theorie des kommunikativen Handelns, Band 1: Handlungsrationality und gesellschaftliche Rationalisierung. Suhrkamp, Frankfurt am Main
- Hahn, Dietger (2006): Strategische Unternehmensführung – Grundkonzept. In: Hahn, Dietger / Taylor, Bernard (Hrsg., 2006): Strategische Unternehmensplanung – Strategische Unternehmensführung. 9., überarbeitete Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg / New York, S. 29-50
- Hahn, Dietger / Taylor, Bernard (Hrsg., 2006): Strategische Unternehmensplanung – Strategische Unternehmensführung. 9., überarbeitete Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg / New York
- Halecker, Bastian (2013): Eine systemorientierte Betrachtung des Geschäftsmodell Konzeptes – eine Literaturanalyse. Working Paper
- Halecker, Bastian / Hölzle, Katharina (2014): Klassifikation von Methoden zur Geschäftsmodellinnovation entlang eines systemorientierten Gesamtkonzeptes. In: Zeitschrift für KMU & Entrepreneurship (ZfKE), Jg. 62, Nr. 2, S. 183-190
- Halecker, Bastian / Hölzle, Katharina / Sittner, Michel (2014): Ergebnisbericht zur Studie: Business Development und Geschäftsmodellinnovation – Status quo und zukünftige Entwicklungen. Universität Potsdam, Lehrstuhl für Innovationsmanagement und Entrepreneurship (IME) (Hrsg.).  
[https://www.researchgate.net/profile/Bastian\\_Halecker/publication/271501065\\_Business\\_Development\\_und\\_Geschäftsmodellinnovation\\_-\\_Status\\_quo\\_und\\_zukunfftige\\_Entwicklungen/links/54c8f6510cf22d626a3a7d5b/Business-Development-und-Geschaeftsmodellinnovation-Status-quo-und-zukuenfftige-Entwicklungen.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Bastian_Halecker/publication/271501065_Business_Development_und_Geschäftsmodellinnovation_-_Status_quo_und_zukunfftige_Entwicklungen/links/54c8f6510cf22d626a3a7d5b/Business-Development-und-Geschaeftsmodellinnovation-Status-quo-und-zukuenfftige-Entwicklungen.pdf) (letzter Zugriff 20.09.2017)
- Halfmann, Jost / Japp, Klaus P. (1990): Riskante Entscheidungen und Katastrophentenziale. Elemente einer soziologischen Risikoforschung. Westdeutscher, Op-laden
- Hambrick, Donald C. (1980): Operationalizing the Concept of Business-Level Strategy in Research. In: Academy of Management Review, Jg. 5, Nr. 4, S. 567-575
- Hambrick, Donald C. (1983): Some tests of the effectiveness and functional attributes of Miles and Snow's strategic types. In: Academy of Management Journal, Jg. 26, Nr. 1, S. 5-25
- Hamed, Imen (2016): The Evolution and Versatility of Microalgal Biotechnology: A Review. In: Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, Jg. 15, Nr. 6, S. 1104-1123
- Hamel, Gary (1994): The Concept of Core Competence. In: Hamel, Gary / Heene, Aimé (Hrsg., 1994): Competence-based Competition. John Wiley & Sons, Chichester et al., S. 11-33
- Hamel, Gary (2000): Leading the Revolution. How to Thrive in Turbulant Times by Making Innovation a Way of Life. Harvard Business School Press, Boston
- Hamel, Gary / Heene, Aimé (Hrsg., 1994): Competence-based Competition. John Wiley & Sons, Chichester et al.
- Hamel, Gary / Prahalad, Coimbatore K. (1992): Subjects: Core competencies; Letters to the editor. In: Harvard Business Review, Jg. 70, Nr. 3, S. 164-170
- Hamel, Gary / Prahalad, Coimbatore K. (1993): Strategy as Stretch and Leverage. In: Harvard Business Review, Jg. 71, Nr. 2, S. 75-84

- Hammer, Richard M. (1988): Strategische Planung und Frühaufklärung. Oldenbourg, München
- Hammer, Richard M. (2015): Unternehmensplanung. Planung und Führung. 9., überarbeitete und erweiterte Auflage. De Gruyter Oldenbourg, Berlin / München / Boston
- Hannon, Michael / Gimpel, Javier / Tran, Miller / Rasala, Beth / Mayfield, Stephen (2010): Biofuels from algae: challenges and potential. In: Biofuels, Jg. 1, Nr. 5, S. 763-784. Vorliegend in der Version „Author Manuscript“.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3152439/pdf/nihms269384.pdf> (letzter Zugriff 16.07.2017)
- Hansen, Gary S. / Wernerfelt, Birger (1989): Determinants of Firm Performance: The Relative Importance of Economic and Organizational Factors. In: Strategic Management Journal, Jg. 10, Nr. 5, S. 399-411
- Hartmann, Matthias (2013): Technologiemanagement. In: Schmeisser, Wilhelm / Krimphove, Dieter / Hentschel, Claudia / Hartmann, Matthias (Hrsg., 2013): Handbuch Innovationsmanagement. UVK, Konstanz / München, S. 257-282
- Hauschildt, Jürgen (1992): Ist das Rechnungswesen Innovationsfeindlich? In: Boysen, Kurt / Hohlfeldt, Gottfried / Jacob, Hans-Joachim / Nehles, Fritz / Wellmann, Richard (Hrsg., 1992): Der Wirtschaftsprüfer für innovative Herausforderungen. Festschrift für Hans-Heinrich Otte. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, S. 51-67
- Hauschildt, Jürgen / Salomo, Sören (2007): Innovationsmanagement. 4., überarbeitete, ergänzte und aktualisierte Auflage. Franz Vahlen, München
- Hauschildt, Jürgen / Salomo, Sören (2011): Innovationsmanagement. 5., überarbeitete, ergänzte und aktualisierte Auflage. Franz Vahlen, München
- Hax, Arnoldo C. / Majluf, Nicolas S. (2006): Corporate Strategy: The Core Concepts. In: Hahn, Dietger / Taylor, Bernard (Hrsg., 2006): Strategische Unternehmensplanung – Strategische Unternehmensführung. 9., überarbeitete Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg / New York, S. 73-81
- Hedley, Barry (1977): Strategy and the „Business Portfolio“. In: Long Range Planning, Jg. 10, Nr. 1, S. 9-15
- Helfferrich, Cornelia (2011): Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews. 4. Auflage. VS / Springer, Wiesbaden
- Heller, Tobias (2014): Die Entstehung der Pfadabhängigkeit – Eine Analyse zu strategischen Entscheidungsprozessen in Organisationen. Dissertation Bergische Universität Wuppertal. <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20150602-085237-2> (letzter Zugriff 08.07.2017)
- Hendricks, [sic!] Chris A. / Turkenburg, Wim C. (1997): Towards Meeting CO<sub>2</sub> Emission Targets: The Role of Carbon Dioxide Removal. In: IPTS Report Nr. 16, S. 13-21. <http://aei.pitt.edu/82621/1/16.pdf> (letzter Zugriff 15.01.2017)
- Hendriks, Chris / Graus, Wina / Bergen, Frank van (2004): Global carbon dioxide storage potential and costs. Im Auftrag des Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. [http://www.ecofys.com/files/files/ecofys\\_2004\\_globalcarbondioxidestorage.pdf](http://www.ecofys.com/files/files/ecofys_2004_globalcarbondioxidestorage.pdf) (letzter Zugriff 15.11.2016)
- Henderson, Bruce D. (1973): The Experience Curve – Reviewed IV. The Growth Share Matrix or The Product Portfolio. Reprint Nr. 135. <https://www.bcg.com/documents/file13904.pdf> (letzter Zugriff 11.02.2016)
- Henderson, Rebecca. M. / Clark, Kim. B. (1990): Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. In: Administrative Science Quarterly, Jg. 35, Nr. 1, S. 9-30
- Henning, Hans-Martin / Palzer, Andreas / Pape, Carsten / Borggreffe, Frieder / Jachmann, Henning / Fishedick, Manfred (2015): Phasen der Transformation des Energiesystems. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Jg. 65, Nr. 1-2, S. 10-13

- Herdzina, Klaus / Seiter, Stephan (2015): Einführung in die Mikroökonomik. 12., überarbeitete und erweiterte Auflage. Franz Vahlen, München
- Hering, Thomas (1995): Investitionstheorie aus der Sicht des Zinses. Dissertation Universität Münster (Westfalen) 1994. DUV, Wiesbaden
- Herstatt, Cornelius (1999): Theorie und Praxis der frühen Phasen des Innovationsprozesses. In: *io Management*, Jg. 68, Nr. 10, S. 72-81
- Herstatt, Cornelius / Lettl, Christopher (2004): Management of 'technology push' development projects. In: *International Journal of Technology Management*, Jg. 27, Nr. 2/3, S. 155-175
- Herstatt, Cornelius / Verworn, Birgit (Hrsg., 2007): Management der frühen Innovationsphasen. Grundlagen - Methoden - Neue Ansätze. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Gabler / GWV, Wiesbaden
- Hillson, David (2002): Extending the risk process to manage opportunities. In: *International Journal of Project Management*, Jg. 20, Nr. 3, S. 235-240
- Hinterhuber, Hans H. (2015): Strategische Unternehmensführung. Das Gesamtmodell für nachhaltige Wertsteigerung. 9., völlig neu bearbeitete Auflage. Erich Schmidt, Berlin
- Hinterhuber, Hans H. / Friedrich, Stephan A. / Al-Ani, Ayad / Handlbauer, Gernot (Hrsg., 2000): Das Neue Strategische Management. Perspektiven und Elemente einer zeitgemäßen Unternehmensführung. 2., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage. Gabler, Wiesbaden
- Hölscher, Reinhold / Elfgren, Ralph (Hrsg., 2001): Herausforderung Risikomanagement – Identifikation, Bewertung und Steuerung industrieller Risiken. Gabler, Wiesbaden
- Hofer, Charles W. / Schendel, Dan (1978/1982): Strategy Formulation: Analytical Concepts. Vorliegend als 8. Nachdruck von 1982. West Publishing Company, St Paul et al.
- Hoffmann, Clemens / Bofinger, Stefan / Fishedick, Manfred / Martin, Niklas (2015): Die Energiewende als Innovationstreiber. In: FVEE – Forschungsverbund Erneuerbare Energien (Hrsg., 2015): Forschung für die Energiewende. FVEE Jahrestagung 2014, Berlin, S. 37-42.  
<http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2014/th2014.pdf> (letzter Zugriff 201.07.2017)
- Hoffmann-Riem, Christa (1980): Die Sozialforschung einer interpretativen Soziologie. Der Datengewinn. In: *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, Jg. 32, Nr. 2, S. 339-372
- Hoffrage, Ulrich / Hertwig, Ralph / Gigerenzer, Gerd (2005): Die ökologische Rationalität einfacher Entscheidungs- und Urteilsheuristiken. In: Siegenthaler, Hansjörg (Hrsg., 2005): Rationalität im Prozess kultureller Evolution. Rationalitätsunterstellungen als eine Bedingung der Möglichkeit substanzieller Rationalität des Handelns. Mohr Siebeck, Tübingen, S. 65-89
- Holzmann, Patrick (2015): Geschäftsmodellinnovation. *Zeitschrift für KMU und Entrepreneurship*, Jg. 63, Nr. 2, S. 183-189
- Homp, Christian (2000): Entwicklung und Aufbau von Kernkompetenzen. Dissertation Universität Gießen. Gabler / DUV, Wiesbaden
- Hornecker, Eva (2010): Qualitative empirische Methoden – Ein Überblick.  
<http://www.media.tuwien.ac.at/e.hornecker/WInfPr2/QualMethoden4-1.pdf> (letzter Zugriff 01.05.2011)
- Hougaard, Soren (2005): The Business Idea. The Early Stages of Entrepreneurship. Springer, Berlin / Heidelberg
- House, Kurt Z. / Bacligb, Antonio C. / Ranjanc, Manya / Nieropb, Ernst A. van / Wilcox, Jennifer / Herzog, Howard J. (2011): Economic and energetic analysis of capturing CO<sub>2</sub> from ambient air. In: *PNAS – Proceedings of the National Academy of Sciences*, Jg. 108, Nr. 51, S. 20428-20433



- Howaldt, Jürgen / Jacobsen, Heike (Hrsg., 2010): Soziale Innovation. Auf dem Weg zu einem postindustriellen Innovationsparadigma. VS / Springer, Wiesbaden
- Hron, Aemilian (1994): Interview. In: Huber, Günter / Mandl, Heinz (Hrsg., 1994): Verbale Daten. Eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der Erhebung und Auswertung. 2. Auflage. Beltz Psychologie, Weinheim, S. 119-140
- Huber, Günter / Mandl, Heinz (Hrsg., 1994): Verbale Daten. Eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der Erhebung und Auswertung. 2. Auflage. Beltz Psychologie, Weinheim
- Hughes, David G. / Chafin, Don C. (1996): Turning New Product Development into a Continuous Learning process. In: Journal of Product Innovation Management, Jg. 13, Nr. 2, S. 89-104
- Hungenberg, Harald (2012): Strategisches Management in Unternehmen – Ziele, Prozesse, Verfahren. 7., aktualisierte Auflage. Springer, Wiesbaden
- Hungenberg, Harald (2014): Strategisches Management in Unternehmen – Ziele, Prozesse, Verfahren. 8., aktualisierte Auflage. Springer, Wiesbaden
- Hünerberg, Reinhard (2013): Innovationsmarketing. In: Schmeisser, Wilhelm / Krimphove, Dieter / Hentschel, Claudia / Hartmann, Matthias (Hrsg., 2013): Handbuch Innovationsmanagement. UVK, Konstanz / München, S. 283-342
- Hunger, David J. / Wheelen, Thomas L. (1998): Essentials of Strategic Management. Reprinted with corrections. Addison-Wesley Longman Inc. Reading, Massachusetts et al.
- Hutterer, Peter (2013): Dynamic Capabilities und Innovationsstrategien Interdependenzen in Theorie und Praxis. Dissertation Johannes Kepler Universität Linz 2012. Springer, Wiesbaden
- Hyka, Petr / Lickova, Sandra / Přibyl, Pavel / Melzoch, Karel / Kovar, Karin (2013): Flow cytometry for the development of biotechnological processes with microalgae. In: Biotechnology Advances, Jg. 31, Nr. 1, S. 2-16
- IASS – Institute for Advanced Sustainability Studies Potsdam / KIT – Karlsruher Institut für Technologie (Hrsg., 2015): Crack it: Fossile Energie ohne Klimagase. IASS und KIT entwickeln Technologie zur Erzeugung von Wasserstoff aus Methan ohne Kohlendioxid-Emissionen. Pressemitteilung vom 16.11.2015. [http://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/files/pm\\_deutsch\\_methan\\_cracking.pdf](http://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/files/pm_deutsch_methan_cracking.pdf) (letzter Zugriff 10.07.2017)
- IBM Deutschland (Hrsg., 2008): Das Unternehmen der Zukunft. Global CEO-Study. <https://www-935.ibm.com/services/de/gbs/pdf/2008/ceostudy-de.pdf> (letzter Zugriff 02.09.2017)
- ICM – Innovation City Management (Hrsg., o. J.): InnovationCiry Ruhr. Modellstadt Bottrop. <http://www.icruhr.de> (letzter Zugriff 10.12.2016)
- IGV – Industriegaseverband (Hrsg., o. J.): Der Industriegaseverband: Forum der deutschen Gase-Industrie. Imagebroschüre. [http://www.industriegaseverband.de/sites/default/files/igv\\_imagebroschuere.pdf](http://www.industriegaseverband.de/sites/default/files/igv_imagebroschuere.pdf) (letzter Zugriff 09.08.2016)
- iit – Institut für Innovation und Technik (Hrsg., 2014): SystemInnovationen – Handlungsoptionen für zukunftsfähige Spitzentechnologien. Working Paper. Autoren: Richter, Martin / Seidel, Uwe / Wangler, Leo. In: iit Perspektive Nr. 17. <http://www.iit-berlin.de/de/publikationen/systeminnovationen-handlungsoptionen-fuer-zukunftsfahige-spitzentechnologien/> (letzter Zugriff 02.07.2017)
- INES – Initiative Erdgasspeicher (Hrsg., o. J.): Speichertypen. <http://erdgasspeicher.de/de/erdgasspeicher/speichertypen/speichertypen.html> (letzter Zugriff 16.12.2016)
- InfluenceMap (Hrsg., 2016a): European Cement and Carbon Pricing Regulatory Risk. 11/2016. [http://influencemap.org/site/data/000/235/Cement\\_Report\\_Nov\\_16.pdf](http://influencemap.org/site/data/000/235/Cement_Report_Nov_16.pdf) (letzter Zugriff 03.12.2016)

- InfluenceMap (Hrsg., 2016b): The Cement Sector and Climate. European cement sector continues to obstruct climate policy to protect old business model. Press Release, 30.11.2016.  
[http://influencemap.org/site/data/000/235/Cement\\_Press\\_Release\\_Nov\\_2016.pdf](http://influencemap.org/site/data/000/235/Cement_Press_Release_Nov_2016.pdf) (letzter Zugriff 03.12.2016)
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg., 2007): Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.  
[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4\\_wg1\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4_wg1_full_report.pdf) (letzter Zugriff 17.07.2017)
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg., 2014a): Climate Change 2014: Synthesis Report. Summary for Policymakers. [http://www.de-ipcc.de/\\_media/SYR\\_AR5\\_SPM.pdf](http://www.de-ipcc.de/_media/SYR_AR5_SPM.pdf) (letzter Zugriff 10.07.2015)
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg., 2014b): Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Summary for Policymakers. IPCC-Arbeitsgruppe 3: Klimaschutz zum Fünften Sachstandsbericht. [http://www.de-ipcc.de/\\_media/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_summary-for-policymakers\\_approved\\_final.pdf](http://www.de-ipcc.de/_media/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers_approved_final.pdf) (letzter Zugriff 10.07.2015)
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg., 2014c): Climate Change 2014: Synthesis Report. Annex II: Glossary. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_Annexes.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_Annexes.pdf) (Zugriff 02.05.2016)
- IUS – IUS Institute for Environmental Studies Weibel & Ness (Hrsg., 2014): SWOT analysis and biomass competition analysis for SUPRABIO biorefineries. AutorInnen: Kretschmer, Walter / Bischoff, Silke / Hanebeck, Gunnar / Müller-Falkenhahn, Hartmut.  
[https://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/IUS\\_2014\\_SWOT%20and%20biomass%20competition%20analyses%20of%20SUPRABIO%20biorefineries\\_2014-08-31.pdf](https://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/IUS_2014_SWOT%20and%20biomass%20competition%20analyses%20of%20SUPRABIO%20biorefineries_2014-08-31.pdf) (letzter Zugriff 23.08.2017)
- IW – Institut der deutschen Wirtschaft (Hrsg., 2013): Folgen der Energiewende für die deutsche Industrie. Positionen: Beitrag zur Ordnungspolitik aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln. Autoren: Bardt, Hubertus / Kempermann, Hanno
- IWR – Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (Hrsg., o. J.a): Verbrauch, Energieverbrauch. <http://www.energiestatistik-nrw.de/energie/verbrauch> (letzter Zugriff 01.10.2015)
- IWR – Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (Hrsg., o. J.b): Stromverbrauch. <http://www.energiestatistik-nrw.de/energie/strom/stromverbrauch> (letzter Zugriff 01.10.2015)
- IWR – Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (Hrsg., o. J.c): CO<sub>2</sub>-Emissionen. <http://www.energiestatistik-nrw.de/klima/co2-emissionen> (letzter Zugriff 13.07.2017)
- Jakobs, Birgit (2000): Skalen zur Einschätzung des Dekubitusrisikos. Reliabilität und Validität von der Norton- und Bradenskala. Schlütersche, Hannover
- Japp, Klaus P. (1990): Das Risiko der Rationalität für technisch-ökologische Systeme. In: Halfmann, Jost / Japp, Klaus P. (1990): Riskante Entscheidungen und Katastrophenpotenziale. Elemente einer soziologischen Risikoforschung. Westdeutscher, Opladen
- Jauch, Lawrence R. / Osborn, Richard N. (1981): Toward an Integrated Theory of Strategy. In: Academy of Management Review, Jg. 6, Nr. 3, S. 491-498

- Jentsch, Mareike (2014): Potenziale von Power-to-Gas Energiespeichern. Modellbasierte Analyse des markt- und netzseitigen Einsatzes im zukünftigen Stromversorgungssystem. Dissertation Universität Kassel. Fraunhofer IWES (Hrsg., 2014). <https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/Forschungsfelder/Energie-Rohstoffe/Potenziale%20von%20Power-to-Gas%20Energiespeichern.pdf> (letzter Zugriff 22.01.2017)
- Johnson, Mark W. / Christensen, Clayton M. / Kagermann, Henning (2008): Reinventing Your Business Model. In: Harvard Business Review, Jg. 86, Nr. 12, S. 50-59
- Jonen, Andreas (2007): Semantische Analyse des Risikobegriffs: Strukturierung der betriebswirtschaftlichen Risikodefinitionen und literaturempirischen Auswertung. Working Paper. In: Beiträge zur Controlling-Forschung, Nr. 11. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/57899/1/715575333.pdf> (letzter Zugriff 04.12.2016)
- Junginger, Markus / Krcmar, Helmut (2003): Risikomanagement im Informationsmanagement – Eine spezifische Aufgabe des IV-Controllings. In: Information Management & Consulting, Jg. 18, Nr. 2, S. 16-23
- Kahneman, Daniel (2003): Maps of Bounded Rationality: Psychology for Behavioral Economics. In: The American Economic Review, Jg. 93, Nr. 5, S. 1449-1475
- Kaltschmitt, Martin / Hartmann, Hans / Hofbauer, Hermann (Hrsg., 2016): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg
- Karidi, Maria / Schneider, Martin / Gutwald, Rebecca (Hrsg., 2017): Resilienz. Interdisziplinäre Perspektiven zu Wandel und Transformation. Springer, Wiesbaden
- Katz, Tobias (2010): Ein Beitrag zur Bewertung von Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit. Dissertation RWTH Aachen. <http://darwin.bth.rwth-aachen.de/opus3/volltexte/2010/3308/pdf/3308.pdf> (letzter Zugriff 04.12.2016)
- KBA – Kraftfahrt Bundesamt (Hrsg., 2017): Personenkraftwagen am 01.01.2017 nach ausgewählten Merkmalen. [http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Ueberblick/2017\\_b\\_barometer.html?nn=1133288](http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Ueberblick/2017_b_barometer.html?nn=1133288) (letzter Zugriff 25.05.2017)
- Keiffenheim, Marcel (2015): Windgas. Chancen von „Power-to-Gas“ für die Energiewende. Vortrag im Rahmen NetzLabor der Bürger-Energie Berlin, 19.01.2015. [http://www.buerger-energie-berlin.de/wp-content/uploads/150119\\_Windgas\\_mke.pdf](http://www.buerger-energie-berlin.de/wp-content/uploads/150119_Windgas_mke.pdf) (letzter Zugriff 23.07.2017)
- Keith, David / Ha-Duong, Minh / Stolaroff, Joshua (2006): Climate Strategy with CO<sub>2</sub> Capture from the Air. In: Climatic Change, Jg. 74, Nr. 1, S. 17-45
- Kern, Werner (1976): Innovation und Investition. In: Albach, Horst / Simon, Hermann (Hrsg., 1976): Investitionstheorie und Investitionspolitik privater und öffentlicher Unternehmen. Bericht von der wissenschaftlichen Tagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e. V., 20.-24.05.1975. Habler, Wiesbaden, S. 273-301
- Kesselring, Alexander / Leitner, Michaela (2008): Soziale Innovation in Unternehmen. Zentrum für soziale Innovation (Hrsg.). Im Auftrag der Unruhe Privatstiftung. [https://www.zsi.at/attach/Soziale\\_Innovation\\_in\\_Unternehmen\\_ENDBERICHT.pdf](https://www.zsi.at/attach/Soziale_Innovation_in_Unternehmen_ENDBERICHT.pdf) (letzter Zugriff 29.07.2016)
- Keuper, Frank (2001): Strategisches Management. Oldenbourg, München / Wien
- Kieser, Alfred / Ebers, Mark (Hrsg., 2014): Organisationstheorie. 7., aktualisierte und überarbeitete Auflage. Kohlhammer, Stuttgart
- Kim, Chan W. / Mauborgne, Renée A. (2004): Blue Ocean Strategy. In: Harvard Business Review, Jg. 82, Nr. 10, S. 76-84
- Kim, Chan W. / Mauborgne, Renée A. (2005): Blue Ocean Strategy. From Theory to Practice. In: California Management Review, Jg. 43, Nr. 3, S. 105-121
- Kim, Chan W. / Mauborgne, Renée A. (2009): How Strategy Shapes Structure. In: Harvard Business Review, Jg. 87, Nr. 9, S. 72-81

- Kirchner, Michael (2002): Risikomanagement. Problemaufriss und praktische Erfahrungen unter Einbeziehung eines sich ändernden unternehmerischen Umfeldes. Rainer Hampp, München / Mering
- Kirsch, Werner (1977): Einführung in die Theorie der Entscheidungsprozesse. 2., durchgesehene und ergänzte Auflage der Bände I bis III als Gesamtausgabe. Gabler, Wiesbaden
- Kirsch, Werner (1992): Kommunikatives handeln, Autopoiese, Rationalität. Sondierungen zu einer evolutionären Führungslehre. Barbara Kirsch, München 1992
- Kirsch, Werner / Knyphausen, Dodo zu / Ringsletter, Max (1989): Grundideen und Entwicklungstendenzen im strategischen Management. In: Riekhof, Hans-Christian (Hrsg., 1989): Strategieentwicklung. Konzepte und Erfahrungen. Poeschel, Stuttgart, S. 5-22
- Klaus, Peter (1987): Durch den Strategie-Theorien-Dschungel... Zu einem Strategischen Management Paradigma? In: DBW – Die Betriebswirtschaft, Jg. 47, Nr. 1, S. 50-68
- Kleinknecht, Alfred (1990): Innovation Patterns in Crisis and Prosperity: Schumpeter's Long Cycle Reconsidered. 2. Auflage (Nachdruck). MacMillan Press, Hampshire / London
- Kleinknecht, Alfred / Bain, Donald (Hrsg., 1993): New Concepts in Innovation Output Measurement. Palgrave Macmillan, London
- Kleinknecht, Alfred / Reijen, Jeroen O. N. / Smits, Wendy (1993): Collecting Literature-based Innovation Output Indicators. The experience in the Netherlands. In: Kleinknecht, Alfred / Bain, Donald (Hrsg., 1993): New Concepts in Innovation Output Measurement. Palgrave Macmillan, London, S. 42-84
- Klemmer, Paul / Lehr, Ulrike / Löbke, Klaus (1999): Umweltinnovationen. Anreize und Hemmnisse. Analytica, Berlin
- Kline, Stephen J. / Rosenberg, Nathan (1986): An Overview of Innovation. In: Landau, Ralph / Rosenberg, Nathan (Hrsg., 1986): The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth National Academies Press, Washington D. C., S. 275-305
- Klöpisch, Volker (2009): Sunzi. Die Kunst des Krieges. Insel, Frankfurt am Main / Leipzig
- Kluge, Friedrich (2002): Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache. 24., durchgesehene und erweiterte Auflage. De Gruyter, Berlin / New York
- Knight, Frank H. (1921): Risk, Uncertainty and Profit. Houghton Mifflin, Boston / New York
- Knight, Kenneth E. (1967): A Descriptive Model of the Intra-Firm Innovation Process. In: The Journal of Business, Jg. 40, Nr. 4, S. 478-496
- Knoblauch, Hubert (2011): Transkription. In: Bohnsack, Ralf / Marotzki, Winfried / Meuser, Michael (Hrsg., 2011): Hauptbegriffe Qualitativer Sozialforschung. 3., durchgesehene Auflage. Barbara Budrich, Opladen / Farmington Hills, S. 159-160
- Knyphausen-Aufseß, Dodo zu (1995): Theorie der Strategischen Unternehmensführung, State of the Art und neue Perspektiven. Gabler, Wiesbaden
- Koen, Peter A. / Ajamian, Greg M. / Boyce, Scott / Clamen, Allen / Fisher, Eden / Fountoulakis, Stavros / Johnson, Albert / Puri, Pushpinder / Seibert, Rebecca (2002): Fuzzy Front End: Effective Methods, Tools, and Techniques. In: Beliveau, Paul / Griffin, Abbie / Somermeyer, Stephen (Hrsg., 2002): The PDMA ToolBook 1 for New Product Development. John Wiley & Sons, Hoboken, S. 5-35
- Kohlöffel, Klaus M. (2000): Strategisches Management. Alle Chancen nutzen – Neue Geschäfte erschließen. Carl Hanser, München / Wien
- Kondratjew, Nikolai D. (1926): Die langen Wellen der Konjunktur. In: Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik, Band 56, S. 573-609

- König, Rheinhold (2010): Geschäftsmodellierung – zwischen Methodik und Kunst. In: markeZin, Nr. 1, 02/2010, S. 3-12
- König, Rheinhold / Buddrick, Alexander (2013): Das Geschäftsmodell-Konzept und die doppelte Innovationsfunktion. In: markeZin, Nr. 4, 02/2013, S. 16-24
- Kopatz, Michael / Kettler, Claudia / Gundlach, Karin / Preute, Maximilian / Schaller, Sandra (2013): Energiewende. Aber fair! Wie sich die Energiezukunft sozial tragfähig gestalten lässt. Oekom, München
- Kowal, Sabine / O'Connell, Daniel C. (2008): Zur Transkription von Gesprächen. In: Flick, Uwe / Kardorff, Ernst von / Steinke, Ines (Hrsg., 2008): Qualitative Forschung. Ein Handbuch. 6., durchgesehene und aktualisierte Auflage. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, S. 437-447
- Krautwald, Judith / Baier, Urs (2016): Biologische Methanisierung. Methanogenese als mikrobiologische Alternative zur kathalytischen Methanisierung. In: Aqua & Gas, Jg. 5, Nr. 7/8, S. 18-23
- Krebs, Dagmar / Menold, Natalja (2014): Gütekriterien quantitativer Sozialforschung. In: Baur, Nina / Blasius, Jörg (Hrsg., 2014): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Springer, Wiesbaden, S. 425-438
- Krech, Jörg (1998): Grundriß der strategischen Unternehmensplanung. Oldenbourg, München / Wien
- Kreikebaum, Hartmut (1995): Strategische Unternehmensplanung. In: Corsten, Hans (Hrsg., 1995): Lexikon der Betriebswirtschaftslehre. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Oldenbourg, München, S. 919-924
- Kreikebaum, Hartmut (1997): Strategische Unternehmensplanung. 6., überarbeitete und erweiterte Auflage. Kohlhammer, Stuttgart / Berlin / Köln
- Kreikebaum, Hartmut / Gilbert, Dirk U. / Behnam, Michael (2011): Strategisches Management. 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Kohlhammer, Stuttgart
- Kreutzer, Ralf T. (2017): Konzeption und Grundlagen des Change-Managements. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt) – Zeitschrift für Studium und Forschung, Jg. 46, Nr. 1, S. 10-17
- Kromrey, Helmut (2009): Empirische Sozialforschung. Modelle und Methoden der standardisierten Datenerhebung und Datenauswertung. 2., überarbeitete und ergänzte Auflage. Lucius & Lucius, Stuttgart
- Kroy, Walter (1995): Technologiemanagement für grundlegende Innovationen. In: Zahn, E. (Hrsg., 1995): Handbuch Technologiemanagement. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, S. 57-79
- Krubasik, Edward (1982): Technologie. Strategische Waffe. In: Wirtschaftswoche, Jg. 36, Nr. 25, S. 28-33
- Krüger, Wilfried / Homp, Christian (1997): Kernkompetenz-Management. Steigerung von Flexibilität und Schlagkraft im Wettbewerb. Gabler, Wiesbaden
- Kuckshinrichs, Wilhelm / Markewitz, Peter / Linssen, Jochen / Zapp, Petra / Peters, Martina / Köhler, Burkhard / Müller, Thomas E. / Leitner, Walter (2010): Weltweite Innovationen bei der Entwicklung von CCS-Technologien und Möglichkeiten der Nutzung und des Recyclings von CO<sub>2</sub>. Endbericht März 2010. Im Auftrag des BMWi – Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. [http://www.catalyticcenter.rwth-aachen.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/innovationen-bei-CCS-und-CCU.pdf](http://www.catalyticcenter.rwth-aachen.de/fileadmin/user_upload/pdf/innovationen-bei-CCS-und-CCU.pdf) (letzter Zugriff 26.11.2016)
- Kuhn, Wolfgang (1992): Forschung und Entwicklung im Lagebericht. Eine theoretische und empirische Untersuchung. Steuer- und Wirtschaftsverlag, Hamburg
- Kunz, Vorker (2004): Rational Choice. Campus, Frankfurt am Main / New York

- Künzel, Hansjörg (Hrsg., 2016): Erfolgsfaktor Performance Management. Leistungsbe-  
reitschaft einer aufgeklärten Generation. Springer, Berlin / Heidelberg
- Kurzweil, Peter / Dietlmeier, Otto K. (2015): Elektrochemische Speicher. Superkonden-  
satoren, Batterien, Elektrolyse-Wasserstoff, rechtliche Grundlagen. Springer,  
Wiesbaden
- Labbé, Marcus / Mazet, Tobias (2005): Die Geschäftsmodellinnovations-Matrix©: Ge-  
schäftsmodellinnovationen analysieren und bewerten. In: Der Betrieb, Jg. 2005,  
Nr. 17, S. 897-902
- Lamnek, Siegfried (2005): Qualitative Sozialforschung. 4., vollständig überarbeitete  
Auflage. Beltz, Weinheim / Basel
- Landau, Ralph / Rosenberg, Nathan (Hrsg., 1986): The Positive Sum Strategy: Harness-  
ing Technology for Economic Growth National Academies Press, Washington  
D. C.
- Lane, David A. (2016): Innovation cascades: artefacts, organization and attributions. In:  
Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, Jg. 371,  
Nr. 1690, S. 1-9
- Lane, David / Maxfield, Robert / Read, Dwight / Leeuw, Sander van der (2009): From  
Population to Organization Thinking. In: Lane, David / Pumain, Denise / Leeuw,  
Sander E. van der / West, Geoffrey (Hrsg., 2009): Complexity Perspectives in In-  
novation and Social Change. Methodos Series 7. Springer, o. O., S. 11-41
- Lane, David / Pumain, Denise / Leeuw, Sander E. van der / West, Geoffrey (Hrsg., 2009):  
Complexity Perspectives in Innovation and Social Change. Methodos Series 7.  
Springer, o. O.
- Latif, Mojib (2009): Klimawandel und Klimadynamik. Eugen Ulmer, Stuttgart
- Lau, Carsten / Dechange, André / Flegel, Tina (Hrsg., 2013): Projektmanagement im  
Energiebereich. Springer, Wiesbaden
- Laux, Helmut (2007): Entscheidungstheorie. 7., überarbeitete und erweiterte Auflage.  
Springer, Berlin / Heidelberg / New York
- LBEG – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (Hrsg., 2017):  
Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2016.  
[https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/120143/Erdoel\\_und\\_Erdgas\\_in\\_der\\_Bundesrepublik\\_Deutschland\\_2016.pdf](https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/120143/Erdoel_und_Erdgas_in_der_Bundesrepublik_Deutschland_2016.pdf) (letzter Zugriff 09.10.2017)
- Lee, Robert E. (2008): Phycology. 4. Auflage. Cambridge University Press, Cambridge  
et al.
- Leeuw, Sander van der / Lane, David / Read, Dwight (2009): The Long-Term Evolution  
of Social Organization. In: Lane, David / Pumain, Denise / Leeuw, Sander E. van  
der / West, Geoffrey (Hrsg., 2009): Complexity Perspectives in Innovation and  
Social Change. Methodos Series 7. Springer, o. O., S. 85-116
- Legewie, Heiner (1994): Globalauswertung. In: Boehm, Andrea / Mengel, Andreas /  
Mühr, Thomas (Hrsg., 1994): Texte verstehen: Konzepte, Methoden, Werkzeuge.  
UVK, Konstanz, S. 177-182
- Leonzio, Grazia (2017): Design and feasibility analysis of a Power-to-Gas plant in Ger-  
many. In: Journal of Cleaner Production, Jg. 162, S. 609-623
- Lewandowski, Iris / Wilhelm, Christian (2016): Biomasseentstehung. In: Kaltschmitt,  
Martin / Hartmann, Hans / Hofbauer, Hermann (Hrsg., 2016): Energie aus Bio-  
masse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3., aktualisierte und erweiterte  
Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg, S. 77-123
- Leya, Thomas (2013): Biomasse - Biomasse - Biomasse! Report. Sektion Phykologie in  
der Deutschen Botanischen Gesellschaft
- Lindblom, Charles E. (1959): The Science of „Muddling Through“. In: Public Admin-  
istration Review, Jg. 19, Nr. 2, S. 79-88
- Lindenberg, Siegwart (1985): An assessment of the new political economy: Its potential  
for the social science and for sociology in particular. In: Sociological Theory, Jg.  
3, Nr. 1 (Frühjahr 1985), S. 99-114

- Linder, Jane / Cantrell, Susan (2000): Changing Business Models: Surveying the landscape. Accenture (Hrsg.).  
<https://pdfs.semanticscholar.org/3505/d56b0c632879a32715d56a131261ba7deac1.pdf> (letzter Zugriff 02.05.2017)
- Lindgardt, Zhenya / Reeves, Martin / Stalk, George / Deimle, Michael S. (2009): Business Model Innovation. When the Game Gets Tough, Change the Game. BCG – Boston Consulting Group (Hrsg.). <https://www.bcg.com/documents/file36456.pdf> (letzter Zugriff 01.05.2017)
- Löschel, Andreas / Erdmann, Georg / Staiß, Frithjof / Ziesing, Hans-Joachim (2012): Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“. Stellungnahme zum ersten Monitoring-Bericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2011, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/M-O/monitoringbericht-stellungnahme-kurz,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff 28.01.2014)
- Löschel, Andreas / Erdmann, Georg / Staiß, Frithjof / Ziesing, Hans-Joachim (2014): Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“. Stellungnahme zum ersten Fortschrittsbericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2013. Berlin et al., 11/2014. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/monitoringbericht-energie-der-zukunft-stellungnahme-2013.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/monitoringbericht-energie-der-zukunft-stellungnahme-2013.pdf?__blob=publicationFile&v=3) (letzter Zugriff 11.07.2017)
- Löschel, Andreas / Erdmann, Georg / Staiß, Frithjof / Ziesing, Hans-Joachim (2015): Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“. Stellungnahme zum vierten Monitoring-Bericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2014. Berlin et al., 11/2015. <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/M-O/monitoringbericht-energie-der-zukunft-stellungnahme-2014,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff 13.08.2016)
- Lorange, Peter (1980): Corporate Planning. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ
- Lozán, José L. / Graßl, Hartmut / Hupfer, Peter / Karbe, Ludwig / Schönwiese, Christian-Dietrich (Hrsg., 2011): Warnsignale Klima: Genug Wasser für alle? 3. Auflage
- Lück, Wolfgang (2001): Chancenmanagementsystem – neue Chance für Unternehmen. In: BetriebsBerater, Jg. 56, Nr. 45, S. 2312-2315
- Lück, Wolfgang / Henke, Michael / Gaenslen, Philipp (2002): Die interne Revision und das Interne Überwachungssystem vor dem Hintergrund eines integrierten Risikomanagements. In: Hölscher, Reinhold / Elfgen, Ralph (Hrsg., 2001): Herausforderung Risikomanagement – Identifikation, Bewertung und Steuerung industrieller Risiken. Gabler, Wiesbaden, S. 225-238
- Lüdeke, Holger / Biedermann, Annette / Thiele, Reynaldo Valle / Bresser, Rudi K. F. (2006): Zum Umgang mit Tautologien in der Managementforschung. Eine Analyse des Ressourcenbasierten Ansatzes. In: DBW – Die Betriebswirtschaft, Jg. 66, Nr. 5, S. 561-584
- Luhmann, Jochen / Schostok, Dorothea / Schaub, Philipp (2014): Vom Inter- zum Intra-Wettbewerb. Stufen der Integration Erneuerbarer Energien im Strombereich. In: UmweltWirtschaftsForum, Jg. 22, Nr. 1, S. 3-15
- Luhmann, Niklas (1973): Zweckbegriff und Systemrationalität – Über die Funktion von Zwecken in sozialen Systemen. Suhrkamp, Tübingen
- Macharzina, Klaus / Wolf, Joachim (2012): Unternehmensführung. Das internationale Managementwissen. Konzepte-Methoden-Praxis. 8., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Gabler / Springer, Wiesbaden
- Machoney, Joseph T. / Pandian, Rajendran, J. (1992): The Resourced-Based View within the Conversation of Strategic Management. In: Strategic Management Journal, Jg. 13, Nr. 5, S. 363-380
- Magretta, Joan (2002): Why Business Models Matter. In: Harvard Business Review, Jg. 80, Nr. 5, S. 86-92

- Mai, Manfred (Hrsg., 2014): Handbuch Innovationen. Interdisziplinäre Grundlagen und Anwendungsfelder. Springer, Wiesbaden
- Mai, Manfred (2014): Innovationspolitik – Politik für Innovationen. In: Mai, Manfred (Hrsg., 2014): Handbuch Innovationen. Interdisziplinäre Grundlagen und Anwendungsfelder. Springer, Wiesbaden, S. 234-251
- Majer, Helge (2001): Moderne Mikroökonomik. Ganzheitliche Sicht. Oldenbourg, München / Wien
- March, James G. (Hrsg., 1990): Entscheidung und Organisation – Kritische und konstruktive Beiträge, Entwicklungen und Perspektiven. Gabler, Wiesbaden
- March, James G. (1990): Beschränkte Rationalität, Ungewißheit und die Technik der Auswahl. In: March, James G. (Hrsg., 1990): Entscheidung und Organisation – Kritische und konstruktive Beiträge, Entwicklungen und Perspektiven. Gabler, Wiesbaden, S. 297-328
- Marcus, Aöfred / Aragon-Correa, J. Alberto / Pinkse, Jonathan (2011): Firms, Regulatory Uncertainty, and the Natural Environment. In: California Management Review, Jg. 54, Nr. 1, S. 5-16
- Maring, Matthias (Hrsg., 2012): Globale öffentliche Güter in interdisziplinären Perspektiven. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe
- Markides, Costas (1997): Strategic Innovation. In: Sloan Management Review, Jg. 38, Nr. 3, S. 9-23
- Markides, Costas (1998): Strategic Innovation in Established Companies. In: Sloan Management Review, Jg. 39, Nr. 3, S. 31-42
- Markides, Costas (2006): Disruptive Innovation: In Need of Better Theory. In Journal of Product Innovation Management, Jg. 23, Nr. 1, S. 19-25
- Mason, Edward S. (1939): Price and production policies of large-scale enterprises. In: American Economic Review, Jg. 29, Nr. 1, S. 61-74
- Mayring, Philipp (2000): Qualitative Inhaltsanalyse. In: Forum Qualitative Sozialforschung, Jg. 1, Nr. 2, S. 1-10. [https://www.ph-freiburg.de/fileadmin/dateien/fakultaet3/sozialwissenschaft/Quasus/Volltexte/2-00mayring-d\\_qualitativeInhaltsanalyse.pdf](https://www.ph-freiburg.de/fileadmin/dateien/fakultaet3/sozialwissenschaft/Quasus/Volltexte/2-00mayring-d_qualitativeInhaltsanalyse.pdf) (letzter Zugriff 17.5.2016)
- Mayring, Philipp (2008): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 10., neu ausgestattete Auflage. Beltz, Weinheim / Basel.
- Mayring, Philipp / Fenzel, Thomas (2014): Qualitative Inhaltsanalyse. In: Baur, Nina / Blasius, Jörg (Hrsg., 2014): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Springer, Wiesbaden, S. 543-556
- Mazzolini, Renato (1981): How Strategic Decisions are Made. In: Long Range Planning, Jg. 14, Nr. 3, S. 85-96
- McCreadie, Karen (2010): Sunzis Die Kunst des KriegeS. 52 brillante Ideen für Ihr Business. Englische Originalausgabe: »Sun Tzu's The Art of War. A 52 Brilliant Ideas Interpretation by Karen McCreadie«, The Infinite Ideas Company 2008. Aus dem Englischen von Nikolas Bertheau. Gabal, Offenbach
- McGrath, Rita G. (2010): Business Models: A Discovery Driven Approach. In: Long Range Planning, Jg. 43, Nr. 2/3, S. 247-261
- McKelvey, Maureen / Niosi, Jorge (2015): Innovation Cascades and the Emergence of the Bio-Economy. In: Proceedings of PICMET '15: Management of the Technology Age
- Meckling, William, H. (1976): Values and the Choice of the Model of the Individual in the Social Science. In: Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik. Jg. 112, Nr. 4, 12/1976, S. 545-560
- Meier, Günter (2001): Markt und Trends im Risk-Management. In: Gleißner, Werner / Meier, Günter (Hrsg., 2001): Wertorientiertes Risiko-Management für Industrie und Handel. Methoden, Fallbeispiele, Checklisten. Gabler, Wiesbaden, S. 17-26



- Mendez-Vilas, Antonio (Hrsg., 2010): Current Research, Technology and Education. Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. FORMATEX Microbiology Series, Jg. 2, Nr. 2.  
<http://www.formatex.org/microbiology2/chapters2.html> (letzter Zugriff 07.03.2017)
- Meuser, Michael / Nagel, Ulrike (1991): Experteninterviews – vielfach erprobt, wenig bedacht. Ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion. In: Garz, Detlef / Kramer, Klaus (Hrsg., 1991): Qualitativ-empirische Sozialforschung. Konzepte, Methoden, Analysen. Westdeutscher, Opladen, S. 441-471
- Meuser, Michael / Nagel, Ulrike (2009a): Experteninterview und Wandel der Wissensproduktion. In: Bogner, Alexander / Littig, Beate / Menz, Wolfgang (Hrsg., 2009): Experteninterviews. Theorien, Methoden, Anwendungsfelder. 3., grundlegend überarbeitete Auflage. VS / GWV, Wiesbaden, S. 35-60
- Meuser, Michael / Nagel, Ulrike (2009b): Das Experteninterview – konzeptionelle Grundlagen und methodische Anlage. In: Pickel, Susanne / Pickel, Gert / Lauth, Hans-Joachim / Jahn, Detlef (Hrsg., 2009): Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft. Neue Entwicklungen und Anwendungen. VS / GWV, Wiesbaden, S. 465-479
- Meuser, Michael / Nagel, Ulrike (2011): Experteninterview. In: Bohnsack, Ralf / Marotzki, Winfried / Meuser, Michael (Hrsg., 2011): Hauptbegriffe Qualitativer Sozialforschung. 3., durchgesehene Auflage. Barbara Budrich, Opladen / Farmington Hills, S. 57-58
- Michel, Kay (1987): Technologie im strategischen Management. Erich Schmidt, Berlin
- Miles, Raymond E. / Snow, Charles C. (1986): Unternehmensstrategien. McGraw-Hill Book Company, Hamburg et al.
- Miles, Raymond E. / Snow, Charles C. / Meyer Alan D. / Coleman, Henry J. (1978): Organizational Strategy, Structure and Process. In: The Academy of Management Review, Jg. 3, Nr. 3, S. 546-562
- Mintzberg, Henry (1973): Strategy-Making in Three Modes. In: California Management Review, Jg. 16, Nr. 2, S. 44-53
- Mintzberg, Henry (1978): Patterns in Strategy Formation. In: Management Science, Jg. 24, Nr. 9, S. 934-948
- Mintzberg, Henry (1979): The structuring of organisations. A synthesis of the research. Prentice-Hall, London
- Mintzberg, Henry (1980): The nature of managerial work. Prentice-Hall, London
- Mintzberg, Henry (1987): The Strategy Concept I: Five Ps For Strategy. In: California Management Review, Jg. 30, Nr. 1, S. 11-24
- Mintzberg, Henry (1990): Strategy Formation. Schools of Thought. In: Fredrickson, James W. (Hrsg., 1990): Perspectives on Strategic Management, Harper Business, New York, S. 105-235
- Mintzberg, Henry (1995): Die Strategische Planung. Aufstieg, Niedergang und Neubestimmung. Carl Hanser / Prentice-Hall International, München / Wien / London
- Mintzberg, Henry / Lampel, Joseph (1999): Reflecting on the Strategy Process. In: Sloan Management Review, Spring 1999, S. 21-30
- Mintzberg, Henry / McHugh, Alexandra (1985): Strategy Formation in an Adhocracy. In: Administrative Science Quarterly, Jg. 30, Nr. 2, S. 160-197
- Mintzberg, Henry / Ahlstrand, Bruce / Lampel, Joseph (1999): Strategy Safari. Eine Reise durch die Wildnis des strategischen Managements. Ueberreuter, Wien
- Mirow, Michael (1998): Innovation als strategische Chance. In: Franke, Nikolaus / von Braun, Christoph-Friedrich (Hrsg., 1998): Innovationsforschung und Technologiemanagement – Konzepte, Strategien, Fallbeispiel. Springer, Berlin / Heidelberg, S. 481-492
- Misoch, Sabina (2015): Qualitative Interviews. De Gruyter Oldenbourg, Berlin et al.
- Mitchell, Donald W. / Coles, Carol B. (2004): Business model innovation breakthrough moves. In: Journal of Business Strategy, Jg. 25, Nr. 1, S. 16-26

- Mittermeier, Christoph (2004): Lange Wellen der Konjunktur. Standortbestimmung und betriebswirtschaftliche Auswirkung. Dissertation Universität Regensburg 2003, Peter Lang, Frankfurt am Main
- MKULNV NRW – Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg., 2014): EnergieDaten.NRW 2014.  
[https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/energiekosten.nrw\\_2014.pdf](https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/energiekosten.nrw_2014.pdf) (letzter Zugriff 01.10.2015)
- MULNV NRW – Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg., 2017): Taufe der "MS innogy" auf dem Baldeneysee. Pressemitteilung vom 31.08.2017.  
[https://www.nachhaltigkeit.nrw.de/themen/aktuelles/news/?tx\\_news\\_pi1%5Bnews%5D=112&tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=a1d885df485376373f523c1f602ec2a2](https://www.nachhaltigkeit.nrw.de/themen/aktuelles/news/?tx_news_pi1%5Bnews%5D=112&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=a1d885df485376373f523c1f602ec2a2) (letzter Zugriff 10.09.2017)
- Monopolkommission (Hrsg., 2009): Strom und Gas 2009: Energiemärkte im Spannungsfeld von Politik und Wettbewerb. Sondergutachten 54.  
[http://monopolkommission.de/images/PDF/SG/s54\\_volltext.pdf](http://monopolkommission.de/images/PDF/SG/s54_volltext.pdf) (letzter Zugriff 12.07.2017)
- Montero, María F. / Aristizábal, Manuela / Reina, García R. (2011): Isolation of high-lipid content strains of the marine microalga *Tetraselmis suecica* for biodiesel production by flow cytometry and single-cell sorting. In: *Journal of Applied Phycology*, Jg. 23, Nr. 6, S. 1053-1057
- Morris, Langdon (2003): Business Model Warfare. The Strategy of Business Breakthroughs. Innovationslab White Paper.  
<http://www.innovationlabs.com/BusinessModelWarfare.pdf> (letzter Zugriff 30.03.2016)
- Morris, Michael / Schindehutte, Minet / Allen, Jeffrey (2005): The entrepreneur's business model: toward a unified perspective. In: *Journal of Business Research*, Jg. 58, Nr. 6, S. 726-735
- Mühlfeld, Claus / Windolf, Paul / Lampert, Norbert / Krüger, Heidi (1981): Auswertungsprobleme offener Interviews. In: *Soziale Welt*, Jg. 32, Nr. 3, S. 325-352
- Müller-Christ, Georg (2014): Nachhaltiges Management. Einführung in Ressourcenorientierung und widersprüchliche Managementrationalitäten, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Nomos, Baden-Baden
- Müller-Prothmann, Tobias (2009): Innovationsmanagement. Carl Hanser, München
- Müller-Stewens, Günter / Lechner, Christoph (2005): Strategisches Management. Wie strategische Initiativen zum Wandel führen. Der St. Galler General Management Navigator ®. 3., aktualisierte Auflage. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Müller, Andreas (2017): Power to Gas aus Sicht der Bundesnetzagentur. Vortrag im Rahmen der Fachtagung Energie Umwelt Zukunft, 26.01.2017.  
<https://www.energiefachtagung.com/wp-content/uploads/2-Mueller-Energie-Umwelt-Zukunft-Leipzig.pdf> (letzter Zugriff 21.07.2017)
- Musgrave, Richard A. (1957): A Multiple Theory of Budget Determination. In: *Finanz-Archiv / Public Finance Analysis New Serie*, Jg. 17, Nr. 3, S. 333-343
- MWK – Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg (Hrsg., 2013): Bioökonomie im System aufstellen. Konzept für eine baden-württembergische Forschungsstrategie „Bioökonomie“. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/publikation/did/biooekonomie-im-system-aufstellen/> (letzter Zugriff 23.08.2017)
- Nefiodow, Leo A. (1999): Der sechste Kondratieff. Wege zur Produktivität und Vollbeschäftigung im Zeitalter der Information. 3., überarbeitete Auflage. Rhein-Sieg, Sankt Augustin
- Neumann, John von / Morgenstern, Oskar (1944): *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press, Princeton, NJ

- Next Kraftwerke (o. J.): Was ist die Residuallast? Definition. <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/strommarkt/residuallast> (letzter Zugriff 22.01.2017)
- Niederberger, Marlen (2015): Methoden der Experteneinbindung. In: Niederberger, Marlen / Wassermann, Sandra (Hrsg., 2015): Methoden der Experten- und Stakeholdereinbindung in der sozialwissenschaftlichen Forschung. Springer, Wiesbaden, S. 33-47
- Niederberger, Marlen / Wassermann, Sandra (Hrsg., 2015): Methoden der Experten- und Stakeholdereinbindung in der sozialwissenschaftlichen Forschung. Springer, Wiesbaden
- Niermann, Peter F.-J. (2014): Was ist Management? In: Niermann, Peter F.-J. / Schmutte, Andre M. (Hrsg., 2014): Exzellente Managemententscheidungen – Methoden, Handlungsempfehlungen, Best Practices. Springer Gabler, Wiesbaden, S. 3-54
- Niermann, Peter F.-J. / Schmutte, Andre M. (Hrsg., 2014): Exzellente Managemententscheidungen – Methoden, Handlungsempfehlungen, Best Practices. Springer Gabler, Wiesbaden
- Noé, Manfred (2013): Innovation 2.0. Unternehmenserfolg durch intelligentes und effizientes Innovieren. Springer, Wiesbaden
- Nolte, Heike (Hrsg., 1998): Aspekte ressourcenorientierter Unternehmensführung. Rainer Hampp, München / Mering
- Nolte, Heike / Bergmann, Rainer (1998): Ein Grundmodell des ressourcenorientierten Ansatzes der Unternehmensführung. In: Nolte, Heike (Hrsg., 1998): Aspekte ressourcenorientierter Unternehmensführung. Rainer Hampp, München / Mering, S. 1-27
- Nova Institute (Hrsg., 2012): CO<sub>2</sub> as chemical feedstock – a challenge for sustainable chemistry. 10.-11.10.2012, Haus der Technik, Essen (Germany). Conference Journal
- NRW.INVEST (Hrsg., o. J.): NRW: führender Wirtschaftsstandort Deutschlands. <https://www.nrwinvest.com/de/nrw-ueberblick/standortfaktoren-nrw/nrw-wirtschaftsstandort/> (letzter Zugriff 08.10.2015)
- OECD – Organisation for Economic Cooperation and Development / Eurostat – Statistical office of the European Union (Hrsg., 2005): The Measurement of Scientific and Technological Activities. Oslo Manual. Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data. Third edition. <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/9205111e.pdf?expires=1498930798&id=id&accname=guest&checksum=18E82EF161AA24486E04B03762E25312> (letzter Zugriff 01.07.2017)
- OECD – Organisation for Economic Cooperation and Development (Hrsg., 2016): Die OECD in Zahlen und Fakten 2015-2016. Wirtschaft, Umwelt, Gesellschaft. [http://www.oecd-ilibrary.org/economics/die-oecd-in-zahlen-und-fakten-2015-2016\\_factbook-2015-de](http://www.oecd-ilibrary.org/economics/die-oecd-in-zahlen-und-fakten-2015-2016_factbook-2015-de) (letzter Zugriff 30.07.2016)
- Öko-Institut (Hrsg., 2007): Nachhaltige aquatische Biomasse: Überblick zu rohstofflichen Verwendungen und Überlegungen zu Möglichkeiten und Grenzen der energetischen Nutzung. Arbeitspapier. Autorin: Richter, Ines. [http://iinas.org/tl\\_files/iinas/downloads/bio/oeko/2007\\_Aqua-Biomasse.pdf](http://iinas.org/tl_files/iinas/downloads/bio/oeko/2007_Aqua-Biomasse.pdf) (letzter Zugriff 07.03.2017)
- Öko-Institut (Hrsg., 2014): Prüfung der klimapolitischen Konsistenz und der Kosten von Methanisierungsstrategien. Studie. AutorInnen: Hermann, Hauke / Emele, Lukas / Loreck, Charlotte. <https://www.oeko.de/oekodoc/2005/2014-021-de.pdf> (letzter Zugriff 21.10.2016)
- Öko-Institut (Hrsg., 2015): Synopse der übergeordneten Erkenntnisse aus der Nachhaltigkeitsbewertung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Rahmen der DBU-Förderinitiative „Nachhaltige Aquakultur“. Im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Autoren: Möller, Martin / Antony, Florian. <https://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/041115094404a19o.pdf> (letzter Zugriff 19.07.2017)

- Öko-Institut / LBD – LBD Beratungsgesellschaft (Hrsg., 2015): Die Leistungsfähigkeit des Energy-only-Marktes und die aktuellen Kapazitätsmarkt – Vorschläge in der Diskussion. Kommentierung und Bewertung der Impact-Assessment-Studien zu Kapazitätsmechanismen im Auftrag Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie sowie die Einordnung des Fokussierten Kapazitätsmarktes. AutorInnen: Matthes, Felix C. / Hermann, Hauke / Cook, Vanessa / Diermann, Carsten / Schlemmermeier, Ben. [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/mum/intern/Dateien/Dokumente/5\\_Energie/Versorgungssicherheit/Leistungsfahigkeit\\_EOM.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/mum/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Versorgungssicherheit/Leistungsfahigkeit_EOM.pdf) (letzter Zugriff 25.06.2017)
- Oppenländer, Karl H. / Popp, Werner (Hrsg., 1995): Innovationen und wirtschaftlicher Fortschritt: betriebs- und volkswirtschaftliche Perspektiven. Paul Haupt, Berne
- Osterloh, Margit (1994): Neue Ansätze im Technologiemanagement vom Technologieportfolio zum Portfolio der Kernkompetenzen. In: *io Management Zeitschrift*, Jg. 63, Nr. 5, S. 47-50
- Osterwalder, Alexander / Pigneur, Yves (2011): *Business Model Generation*. Ein Handbuch für Visionäre, Spielveränderer und Herausforderer. Campus, Frankfurt am Main / New York
- Osterwalder, Alexander / Pigneur, Yves / Tucci, Christopher L. (2005): Clarifying Business Models: Origins, Present, and Future of the Concept. In: *Communications of the Association for Information Systems*, Jg. 16, S. 1-25
- OVG NRW – Oberverwaltungsgericht für das Land Nordrhein-Westfalen (Hrsg., 2014): Oberverwaltungsgericht hält das Rohrleitungsgesetz für die Kohlenstoffmonoxid-(CO)-Pipeline der Bayer AG für verfassungswidrig. Pressemitteilung vom 28.08.2014. [http://www.ovg.nrw.de/behoerde/presse/pressemitteilungen/01\\_archiv/2014/25\\_140828/index.php](http://www.ovg.nrw.de/behoerde/presse/pressemitteilungen/01_archiv/2014/25_140828/index.php) (letzter Zugriff 29.12.2016)
- Parsons, Talcott (1951): *The Social System*. Free Press, Glencoe, IL
- Pateli, Adamantia G. / Giaglis, George M. (2004): A research framework for analysing eBusiness models. In: *European Journal of Information Systems*, Jg. 13, Nr. 4, S. 302-314
- Pavel, Ferdinand / Leitzke, Marianne / Costard, Jano (2009): Staatliche Innovationsförderung. In *Sachen Effektivität lohnt ein zweiter Blick*. DIW-Wochenbericht Nr. 22, S. 358-366. [http://diw-econ.de/wp-content/uploads/2014/02/WB\\_22\\_09\\_Innovationsfoerderung\\_Beitrag.pdf](http://diw-econ.de/wp-content/uploads/2014/02/WB_22_09_Innovationsfoerderung_Beitrag.pdf) (letzter Zugriff 21.10.2016)
- Penrose, Edith T. (1959/1980): *The Theory of the growth of the Firm*. Basil Blackwell, Oxford. Vorliegend in der 2. Auflage von 1980
- Perkmann, Marcus / Spicer, André (2010): What are business models? Developing a theory of performative representation. In: *Research in the Sociology of Organizations*, Jg. 29, S. 265-275. Vorliegend in einer public access Version mit der Seitennummerierung 1-16. [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1554845](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1554845) (letzter Zugriff 01.04.2016)
- Perl, Elke (2003): Grundlagen des Innovations- und Technologiemanagements. In: *Strebels, Heinz (Hrsg., 2003): Innovations- und Technologiemanagement*. WUV, Wien, S. 15-48
- Perlit, Manfred / Offinger, Andreas / Reinhardt, Michael / Shug, Klaus (Hrsg., 1997): *Strategien im Umbruch*. Neue Konzepte der Unternehmensführung. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Pfeiffer, Werner / Metze, Gerhard / Schneider, Walter / Amler, Robert (1982): *Technologie-Portfolio zum Management strategischer Zukunftsgeschäftsfelder*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen
- Pfriem, Reinhard (2006): *Unternehmensstrategien – Ein kulturalistischer Zugang zum Strategischen Management*. Metropolis, Marburg

- Pickel, Susanne / Pickel, Gert / Lauth, Hans-Joachim / Jahn, Detlef (Hrsg., 2009): Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft. Neue Entwicklungen und Anwendungen. VS / GWV, Wiesbaden
- PLANET – PLANET Planungsgruppe Energie und Technik / Fachhochschule Lübeck / Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung / Institut für Energie und Umwelt an der Fachhochschule Stralsund / KBB Underground Technologies (Hrsg., 2014): Integration von Wind-Wasserstoff-Systemen in das Energiesystem. Abschlussbericht. AutorInnen: Stolzenburg, Klaus / Hamelmann, Roland / Wietschel, Martin / Genoese, Fabio / Michaelis, Julia, Lehmann, Jochen / Mieke, Andreas / Krause, Stephan / Sponholz, Christian / Donadei, Sabine / Crotofino, Fritz / Acht, Andreas, Horvath, Peter-Laszlo. Gefördert durch nip – Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. Beauftragt vom BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. In Abstimmung mit NOW – Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. [https://www.now-gmbh.de/content/5-service/4-publikationen/4-nip-wasserstoff-und-brennstoffzellentechnologie/abschlussbericht\\_integratio\\_n\\_von\\_wind-wasserstoff-systemen\\_in\\_das\\_energiesystem.pdf](https://www.now-gmbh.de/content/5-service/4-publikationen/4-nip-wasserstoff-und-brennstoffzellentechnologie/abschlussbericht_integratio_n_von_wind-wasserstoff-systemen_in_das_energiesystem.pdf) (letzter Zugriff 16.12.2016)
- Pleschak, Franz / Sabisch, Helmut (1996): Innovationsmanagement. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Plötz, Christiane (2003): Sequestrierung von CO<sub>2</sub>: Technologien, Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 "Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit". Berlin / Heidelberg. [http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2003/wbgu\\_jg2003\\_ex07.pdf](http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2003/wbgu_jg2003_ex07.pdf) (letzter Zugriff 15.01.2017)
- Porter, Michael E. (1980): Competitive Strategy. Techniques for Analyzing Industries and Competitors. Free Press, New York
- Porter, Michael E. (1981): The Contributions of Industrial Organization to Strategic Management. In: Academy of Management Review, Jg. 6, Nr. 4, S. 609-620
- Porter, Michael E. (1985): Competitive Advantage. Creating and Sustaining Superior Performance. Free Press, New York
- Porter, Michael E. (2013): Wettbewerbsstrategie. Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten. 12., aktualisierte und erweiterte Auflage. Campus, Frankfurt am Main
- Porter, Michael E. (2014): Wettbewerbsvorteile. Spitzenleistungen erreichen und behaupten. 8., durchgesehene Auflage. Campus, Frankfurt am Main / New York
- Posten, Clemens / Steinweg, Christian (2009): Biomasse 3.0 – Multitalente. In: labor&more, Nr. 4, S. 48-49
- Posten, Clemens / Wilhelm, Christian (2016): Aquatische Biomasse. In: Kaltschmitt, Martin / Hartmann, Hans / Hofbauer, Hermann (Hrsg., 2016): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg, S. 249-272
- Posten, Clemens / Schaub, Georg / Lehr, Florian / Kruse, Olaf / Hankamer, Ben (2008): Biomasse 3.0 – Produktion von Mikroalgen für die energetische Nutzung. In: Chemie Ingenieur Technik, Jg. 80, Nr. 9, S. 1371
- Prahalad, Coimbatore K. / Hamel, Gary (1990): The Core Competence of the Cooperation. In: Harvard Business Review, Jg. 68, Nr. 3, S. 79-91
- Prognos / Energynautics / GWS – Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforshung (Hrsg., 2014): Entwicklung und Durchführung einer Impactanalyse für den Klimaschutzplan Nordrhein-Westfalen. Endbericht. Im Auftrag des Landes NR (vertreten durch das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz). [https://www.prognos.com/uploads/tx\\_atwpubdb/140926\\_Prognos\\_LandNRW\\_Bericht\\_ImpactanalyseNRW.pdf](https://www.prognos.com/uploads/tx_atwpubdb/140926_Prognos_LandNRW_Bericht_ImpactanalyseNRW.pdf) (letzter Zugriff 23.08.2015)

- Prognos / EWI – Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln / GWS – Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (Hrsg., 2014): Endbericht. Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Projekt Nr. 57/12. Im Auftrag des BMWi – Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=7) (letzter Zugriff 11.07.2017)
- Prognos / EWI – Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln / GWS – Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (Hrsg., 2016): Black Swans (Risiken) in der Energiewende. Risikomanagement für die Energiewende. Endbericht. Im Auftrag des BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. [http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energiewende-black-swans-risiken-studie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energiewende-black-swans-risiken-studie.pdf?__blob=publicationFile&v=8) (letzter Zugriff 11.07.2017)
- Pulz, Otto (2009): Mikroalgen als Energieträger der Zukunft. In: Bley, Thomas (Hrsg., 2009): Biotechnologische Energieumwandlung. Gegenwärtige Situation, Chancen und künftiger Forschungsbedarf. acatech – Deutsche Akademie für Technikwissenschaften. Springer, Berlin / Heidelberg, S. 87-95
- Pümpin, Cuno (1986): Management strategischer Erfolgspositionen. Das SEP-Konzept als Grundlage wirkungsvoller Unternehmensführung. 3., überarbeitete Auflage. Paul Haupt, Bern / Stuttgart
- Pümpin, Cuno (1992): Strategische Erfolgspositionen. Methodik der dynamischen strategischen Unternehmensführung. Paul Haupt, Bern / Stuttgart
- Quinn, James B. (1980): Strategies for Change. Logical Incrementalism. Irwin, Homewood, Illinois
- Radtke, Jörg / Hennig, Bettina (Hrsg., 2013): Die deutsche „Energiewende“ nach Fukushima. Der wissenschaftliche Diskurs zwischen Atomausstieg und Wachstumsdebatte. Metropolis, Marburg.
- Ranjan, Manya / Herzog, Howard J. (2011): Feasibility of air capture. In: Energy Procedia, Jg. 4, S. 2869-2876
- Rappa, Michael A. (2004): The utility business model and the future of computing services. In: IBM Systems Journal, Jg. 43, Nr. 1, S. 32-42
- Razzak, Shaikh A. / Hossain, Mohammed M. / Lucky, Rahima A. / Bassi, Amarjeet S. / de Lasa, Hugo (2013): Integrated CO<sub>2</sub> capture, wastewater treatment and biofuel production by microalgae culturing – A review. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Jg. 27, S. 622-653
- Reboredo, Juan C. / Rivera-Castro, Miguel A. / Ugolini, Andrea (2016): Downside and upside risk spillovers between exchange rates and stock prices. In: Journal of Banking and Finance, Jg. 62, S. 76-96
- Redlich, Tobias (2011): Wertschöpfung in der Bottom-up-Ökonomie. Wulfsberg, Jens P. (Hrsg.). Springer, Berlin / Heidelberg
- Regenthal, Gerhard (2009): Ganzheitliche Corporate Identity. Profilierung von Identität und Image. 2. Auflage. Gabler, Wiesbaden
- Regierungskommission Deutscher Corporate Governance Kodex (o. J.): Internetseite <http://www.dcgk.de/de/> (letzter Zugriff 18.02.2016)
- Reid, Alasdair / Miedzinski, Michal (2008): Systematic Innovation Panel on ecoinnovation. Final report for sectoral innovation watch. <http://www.casi2020.eu/app/web1/files/download/eco-innovation.pdf> (letzter Zugriff 01.07.2017)
- Reimer, Jürgen-Michael (2005): Verhaltenswissenschaftliche Managementlehre. Haupt, Bern / Stuttgart / Wien
- Renn, Ortwin (2014): Das Risikoparadox. Warum wir uns vor dem Falschen fürchten. Fischer, Frankfurt am Main
- Renn, Ortwin / Schweizer, Pia-Johanna / Dreyer, Marion / Klinke, Andreas (2007): Risiko. Über gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit. Oekom, München

- Rennings, Klaus (2000): Redefining innovation – eco-innovation research and the contribution from ecological economics. In: *Ecological Economics*, Jg. 32, Nr. 2, S. 319-332
- Reuter, Ute (2011): Die empirische Überprüfbarkeit des ressourcenbasierten Ansatzes. Diskussionspapierreihe Innovation, Servicedienstleistungen und Technologie. Betriebswirtschaftliches Institut, Universität Stuttgart, Nr. 5/2011
- Riekhof, Hans-Christian (Hrsg., 1989): Strategieentwicklung. Konzepte und Erfahrungen. Poeschel, Stuttgart
- Riewe, Johannes / Jost H. Meyer (2015): Stromspeicherdefinition im EnWG – Ein Werkzeugkasten aus rechtswissenschaftlicher Sicht. In: *EWeRK – Zeitschrift des Instituts für Energie- und Wettbewerbsrecht in der Kommunalen Wirtschaft e. V.*, Jg. 2015, Nr. 3, S. 138-144
- Rockström, Johan / Steffen, Will / Noone, Kevin / Persson, Åsa / Chapin, F. Stuart III / Lambin, Eric / Lenton, Timothy M. / Scheffer, Marten / Folke, Carl / Schellnhuber, Hans Joachim / Nykvist, Björn / De Wit, Cynthia A. / Hughes, Terry / Leeuw, Sander van der / Rodhe, Henning / Sörlin, Sverker / Snyder, Peter K. / Costanza, Robert / Svedin, Uno / Falkenmark, Malin / Karlberg, Louise / Corell, Robert W. / Fabry, Victoria J. / Hansen, James / Walker, Brian / Liverman, Diana / Richardson, Katherine / Crutzen, Paul / Foley, Jonathan (2009a): Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. In: *Ecology and Society*, Jg. 14, Nr. 2, Artikel 32
- Rockström, Johan / Steffen, Will / Noone, Kevin / Persson, Åsa / Chapin, F. Stuart III / Lambin, Eric / Lenton, Timothy M. / Scheffer, Marten / Folke, Carl / Schellnhuber, Hans Joachim / Nykvist, Björn / De Wit, Cynthia A. / Hughes, Terry / Leeuw, Sander van der / Rodhe, Henning / Sörlin, Sverker / Snyder, Peter K. / Costanza, Robert / Svedin, Uno / Falkenmark, Malin / Karlberg, Louise / Corell, Robert W. / Fabry, Victoria J. / Hansen, James / Walker, Brian / Liverman, Diana / Richardson, Katherine / Crutzen, Paul / Foley, Jonathan (2009b): A safe operating space for humanity. In: *Nature*, Jg. 461, Nr. 7263, S. 472-475
- Rogall, Holger / Oebels, Kerstin (2010): Von der Traditionellen zur Nachhaltigen Ökonomie. Working Papers of the Institute of Management Berlin at the Berlin School of Economics and Law (HWR Berlin), Nr. 53
- Rogers, Rolf E. (1981): *Corporate Strategy and Planning*. Grid Publishing, Columbus, Ohio
- Rogler, Silvia (2002): *Risikomanagement im Industriebetrieb – Analyse von Beschaffungs-, Produktions- und Absatzrisiken*. Habilitationsschrift Universität Göttingen 1999. DUV, Wiesbaden
- Roland Berger (Hrsg., 2013): *Energieradar. Das Zukunftsradar für die deutsche Energiewirtschaft*. AutorInnen: Stäglich, Jörg / Fritz, Thomas / Thewissen, Christian / Mohnen, Alwine / Schall, Dominik.  
[https://www.rolandberger.com/publications/publication\\_pdf/roland\\_berger\\_zukunftsradar\\_d\\_20130320.pdf](https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_zukunftsradar_d_20130320.pdf) (letzter Zugriff 06.07.2017)
- Rolf, Gabriele / Spahn, P. Bernd / Wagner, Gert (Hrsg., 1988): *Sozialvertrag und Sicherung. Zur ökonomischen Theorie staatlicher Versicherungs- und Umverteilungssysteme*. Band 2. Campus, Frankfurt am Main
- Rothwell, Roy (1995): The fifth generation innovation process. In: Oppenländer, Karl H. / Popp, Werner (Hrsg., 1995): *Innovationen und wirtschaftlicher Fortschritt: betriebs- und volkswirtschaftliche Perspektiven*. Paul Haupt, Bern, S. 9-26
- Rüegg-Stürm, Johannes (2002): *Das neue St. Galler Management-Modell. Grundkategorien einer modernen Managementlehre – der HSG-Ansatz*. Haupt, Bern et al.
- Rüegg-Stürm, Johannes (2004): *Das neue St. Galler Management-Modell. Band 1*. In: Dubs, Rolf / Euler, Dieter / Rüegg-Stürm, Johannes / Wyss, Christina (Hrsg., 2004): *Einführung in die Managementlehre*. Haupt, Bern / Stuttgart / Wien S. 65-134

- Rühli, Edwin (Hrsg., 1989): Strategisches Management in schweizerischen Industrieunternehmen. Paul Haupt, Bern / Stuttgart
- Rühli, Edwin (1989): Strategische Unternehmensführung heute. In: Rühli, Edwin (Hrsg., 1989): Strategisches Management in schweizerischen Industrieunternehmen. Paul Haupt, Bern / Stuttgart, S. 11-54
- Rühli, Edwin (1994): Die Resource-based View of Strategy. Ein Impuls für einen Wandel im unternehmenspolitischen Denken und Handeln? In: Gomez, Peter / Hahn, Dietger / Müller-Stewens, Günter / Wunderer, Rolf (Hrsg., 1994): Unternehmerischer Wandel. Konzepte zur organisatorischen Erneuerung. Gabler, Wiesbaden, S. 31-57
- Rumelt, Richard P. / Schendel, Dan / Teece, David J. (1991): Strategic Management and Economics. In: Strategic Management Journal, Jg. 12, Special Issue: Fundamental Research Issues in Strategy and Economics. Winter 1991, S. 5-29
- Ryan, Catie (2009): Cultivating Clean Energy: The Promise of Algae Biofuels. <https://www.nrdc.org/sites/default/files/cultivating.pdf> (letzter Zugriff 19.07.2017)
- Saifullah, A. Z. A. / Karim, Md. Abdul / Ahmed-Yazid, Aznizar (2014): Microalgae: An Alternative Source of Renewable Energy. In: American Journal of Engineering Research, Jg. 3, Nr. 3, S. 330-338
- Salomo, Sören (2003): Konzept und Messung des Innovationsgrades – Ergebnisse einer empirischen Studie zu innovativen Entwicklungsvorhaben. In: Schwaiger, Manfred / Harhoff, Dietmar (Hrsg., 2003): Empirie und Betriebswirtschaft. Entwicklungen und Perspektiven. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, S. 399-427
- Salomo, Sören / Gemünden, Hans G. / Billing, Fabian (2007): Dynamisches Schnittstellenmanagement radikaler Innovationsvorhaben. In: Herstatt, Cornelius / Verworn, Birgit (Hrsg., 2007): Management der frühen Innovationsphasen. Grundlagen – Methoden – Neue Ansätze. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Gabler / GWV, Wiesbaden, S. 215-248
- Sanchez, Ron (2004): Understanding competence-based management. Identifying and managing five modes of competence. In: Journal of Business Research, Jg. 57, Nr. 5, S. 518-532
- Sanchez, Ron / Heene, Aimé (1997): Reinventing Strategic Management: New Theory and Practice for Competence-based Competition. In: European Management Journal, Jg. 15, Nr. 3, S. 303-317
- Sastre, Rosa R. / Posten, Clemens (2010): Die vielfältige Anwendung von Mikroalgen als nachwachsende Rohstoffe. In: Chemie Ingenieur Technik 2010, Jg. 82, Nr. 11, S. 1925-1939
- Schallmo, Daniel (2013): Geschäftsmodell-Innovation. Grundlagen, bestehende Ansätze, methodisches Vorgehen und B2B-Geschäftsmodelle. Dissertation Universität Ulm 2012. Springer, Wiesbaden
- Schaltegger, Stefan / Herzig, Christian / Kleiber, Oliver / Müller, Jan (2002): Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen. Konzepte und Instrumente zur nachhaltigen Unternehmensentwicklung. Im Auftrag des BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit / BDI – Bundesverband der deutschen Industrie (Hrsg.). 1. Auflage, Berlin. [http://www.sustainment.de/wp-content/uploads/Nachhaltigkeitsmanagement\\_in\\_Unternehmen.pdf](http://www.sustainment.de/wp-content/uploads/Nachhaltigkeitsmanagement_in_Unternehmen.pdf) (letzter Zugriff 03.08.2016)



- Schaltegger, Stefan / Herzer, Christian / Kleiber Oliver / Klinke, Thorsten / Müller, Jan (2007): Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen – Von der Idee zur Praxis: Managementansätze zur Umsetzung von Corporate Social Responsibility und Corporate Substability. BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; econsence – Forum Nachhaltige Entwicklung der deutschen Wirtschaft; CSM – Centre for Sustainability Management, Leuphana Universität (Hrsg.). <http://www.bmub.bund.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen/wirtschaft-und-umwelt/wirtschaft-und-umwelt-download/artikel/nachhaltigkeitsmanagement-in-unternehmen/> (letzter Zugriff 03.08.2016)
- Schanz, Günther (1979): Rationalität und Verhalten. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt) – Zeitschrift für Studium und Forschung, Jg. 8, Nr. 10, S. 469-473
- Schendel, Dan / Hofer, Charles W. (Hrsg., 1979): Strategic Management: A New View of Business Policy and Planning. Little, Brown and Company, Boston / Toronto
- Schendel, Dan / Hofer, Charles W. (1979): Introduction. In: Schendel, Dan / Hofer, Charles W. (Hrsg., 1979): Strategic Management: A New View of Business Policy and Planning. Little, Brown and Company, Boston / Toronto, S. 1-22
- Scherer, Viktor / Stolten, Detlef / Franz, Johannes / Riensche, Ernst (2012): CCS-Abscheidetechniken: Stand der Technik und Entwicklungen. In: Chemie Ingenieur Technik (CIT), Jg. 84, Nr. 7, S. 1026-1040
- Schippl, Jens / Grunwald, Armin / Renn, Ortwin (Hrsg., 2017): Die Energiewende verstehen – orientieren – gestalten. Erkenntnisse aus der Helmholtz-Allianz ENERGY-TRANS. Nomos, Baden-Baden
- Schlaak, Thomas M. (1999): Der Innovationsgrad als Schlüsselvariable - Perspektiven für das Management von Produktentwicklungen. Dissertation Universität Kiel. DUV, Wiesbaden
- Schlick, Gerhard H. (1998): Unternehmensentwicklung – Gestaltungspotenziale, Veränderungschancen, Perspektiven. Schäffer-Poeschl, Stuttgart
- Schmeisser, Wilhelm (Hrsg., 2010): Technologiemanagement und Innovationserfolgsrechnung. Oldenbourg, München
- Schmeisser, Wilhelm / Solte, Mario (2010): Technologiecontrolling und Innovationserfolgsrechnung im Rahmen des Technologie-Life-Cycle. In: Schmeisser, Wilhelm (Hrsg., 2010): Technologiemanagement und Innovationserfolgsrechnung. Oldenbourg, München, S. 25-108
- Schmeisser, Wilhelm / Krimphove, Dieter / Hentschel, Claudia / Hartmann, Matthias (Hrsg., 2013): Handbuch Innovationsmanagement. UVK, Konstanz / München
- Schmeisser, Wilhelm / Höhne, Dora / Hutzler, Jan / Tran, Hanh Nguyen (2015): Wertorientierte Geschäftsmodelle. UVK, Konstanz / München
- Schmidt, Oliver / Hawkes, Adam / Gambhir, Ajay / Staffell, Iain (2017): The future cost of electrical energy storage based on experience rates. In: Nature Energy, Jg. 2, Artikel-Nr. 17110, S. 1-8
- Schmitt-Grohé, Jochen (1972): Produktinnovation. Verfahren und Organisation der Neuproduktplanung. Gabler, Wiesbaden
- Schneck, Ottmar (Hrsg., 2015): Lexikon der Betriebswirtschaftslehre. 3.000 grundlegende und aktuelle Begriffe für Studium und Beruf. 9., vollständig überarbeitete Auflage. dtv, München
- Schneider, Janin / Gäth, Stefan (2012): Mikroalgen – Rohstoffquelle der Zukunft? Regenerative Biomasse und Träger erneuerbarer Energie. In: Spiegel der Forschung. Nr. 1/2012. Justus-Liebig-Universität Gießen. [http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2012/8787/pdf/SdF\\_2012\\_1\\_54\\_59.pdf](http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2012/8787/pdf/SdF_2012_1_54_59.pdf) (letzter Zugriff 07.03.2017)
- Schneidewind, Uwe (1998): Die Unternehmung als strukturpolitischer Akteur. Kooperatives Schnittmengenmanagement im ökologischen Kontext. Habilitationsschrift Universität St. Gallen. Metropolis, Marburg

- Schnell, Rainer / Hill, Paul B. / Esser, Elke (2005): Methoden der empirischen Sozialforschung. 7., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage. Oldenbourg, München / Wien
- Schönbäck, Wilfried (1988): Subjektive Unsicherheit als Gegenstand staatlicher Intervention. In: Rolf, Gabriele / Spahn, P. Bernd / Wagner, Gert (Hrsg., 1988): Sozialvertrag und Sicherung. Zur ökonomischen Theorie staatlicher Versicherungs- und Umverteilungssysteme. Band 2. Campus, Frankfurt am Main, S. 45-63
- Schönborn, Gregor (2014): Unternehmenskultur als Erfolgsfaktor der Corporate Identity. Die Bedeutung der Unternehmenskultur für den ökonomischen Erfolg von Unternehmen. Dissertation Universität Leipzig. Springer, Wiesbaden
- Schostok, Dorothea / Fishedick, Manfred (2014): Energiespeicher Windgas Eine Untersuchung der Unsicherheit als Herausforderung für die Unternehmensstrategie am Beispiel der Chemieindustrie und der Energiewirtschaft. In: 13. Symposium Energieinnovation, 12.-14.02.2014, Graz, Austria  
[https://www.tugraz.at/fileadmin/user\\_upload/Events/Eninnov2014/files/lf/LF\\_Schostok.pdf](https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2014/files/lf/LF_Schostok.pdf) (letzter Zugriff 28.07.2014)
- Schreyögg, Georg (1984): Unternehmensstrategie. Grundfragen einer Theorie strategischer Unternehmensführung. Habilitationsschrift. De Gruyter, Berlin / New York
- Schulz, Carsten / Kroh, Julia / Lütjen, Heiner (2017): Innovationen in der Energiewirtschaft sind machbar! Innovationsmanagement als Erfolgsfaktor von Energieversorgern. <https://www.techman.uni-kiel.de/de/downloads/files/innovationen-in-der-energiewirtschaft-sind-machbar-innovationsmanagement-als-erfolgsfaktor-von-energieversorgern> (letzter Zugriff 06.07.2017)
- Schumpeter, Joseph A. (1934/1987): Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. Eine Untersuchung über Unternehmerrgewinn, Kapital, Kredit, Zins und den Konjunkturzyklen. Duncker und Humblot, Berlin. Vorliegend in der 7. Auflage von 1987, als unveränderter Nachdruck, der 1934 erschienenen 4. Auflage
- Schumpeter, Joseph A. (1939): Business Cycles. A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process. McGraw-Hill, New York / London. Vorliegend als deutsche Fassung, in der Neuauflage von 2008: Konjunkturzyklen. Eine theoretische, historische und statistische Analyse der kapitalistischen Prozesse. Neuauflage 2008. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen
- Schumpeter, Joseph A. (1946/2005): Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie. Vorliegend in der 8., unveränderten Auflage von 2005. Narr Francke Attempto, Tübingen
- Schumpeter, Joseph A. (1947): The Creative Response in Economic History. In: The Journal of Economic History, Jg. 7, Nr. 2, S. 149-159
- Schütz, Stefan / Härtel, Phillipp (2015): Klimaschutz und regenerativ erzeugte chemische Energieträger – Infrastruktur und Systemanpassungen zur Versorgung mit regenerativen chemischen Energieträgern aus in- und ausländischen regenerativen Energien. 07/2015. Im Auftrag des UBA – Umweltbundesamt. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate\\_change\\_08\\_2016\\_klimaschutz\\_und\\_regenerativ\\_erzeugte\\_chemische\\_energiesetrae.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_08_2016_klimaschutz_und_regenerativ_erzeugte_chemische_energiesetrae.pdf) (letzter Zugriff 01.03.2017)
- Schwaiger, Manfred / Harhoff, Dietmar (Hrsg., 2003): Empirie und Betriebswirtschaft. Entwicklungen und Perspektiven. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Schweiger, Gerald (2013): Die Analyse der Power-to-Gas Technologie und deren Rolle in der zukünftigen Energieversorgung. Masterarbeit Karl-Franzens-Universität Graz. <http://unipub.uni-graz.at/obvugr/hs/download/pdf/240274?originalFilename=true> (letzter Zugriff 26.08.2017)
- Seddon, Peter B. / Lewis, Geoffrey P. (2003): Strategy and Business Models: What's the Difference? Konferenzbeitrag: 7th Pacific Asia Conference on Information Systems, 10-13.07.2003., Adelaide, South Australia. <http://www.pacis-net.org/file/2003/papers/e-business/219.pdf> (letzter Zugriff 06.05.2016)

- Senge, Peter M. (2011): Die fünfte Disziplin. Kunst und Praxis lernender Organisationen. 11., völlig überarbeitete und aktualisierte Auflage. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Servatius, Hans-Gerd (1991): Vom strategischen Management zur evolutionären Führung: auf dem Weg zu einem ganzheitlichen Denken und Handeln. Poeschel, Stuttgart
- Servatius, Hans-Gerd (2012): Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem mit neuen Geschäftsmodellen. In: Servatius, Hans-Gerd / Schneidewind, Uwe / Rohlfing, Dirk (Hrsg., 2012): Smart Energy – Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem. Springer, Berlin / Heidelberg, S. 3-43
- Servatius, Hans-Gerd / Schneidewind, Uwe / Rohlfing, Dirk (Hrsg., 2012): Smart Energy – Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem. Springer, Berlin / Heidelberg.
- Shafer, Scott M. / Smith, H. Jeff / Linder, Jane C. (2005): The power of business models. In: Business Horizons Jg. 48, Nr. 3, S. 199-207
- Shenhar, Aaron J. (1998), From Theory to Practice: Toward a Typology of Project-Management Styles. In: IEEE-Transactions on Engineering Management, Jg. 45, Nr. 1, S. 33-48
- Siegenthaler, Hansjörg (Hrsg., 2005): Rationalität im Prozess kultureller Evolution. Rationalitätsunterstellungen als eine Bedingung der Möglichkeit substanzieller Rationalität des Handelns. Mohr Siebeck, Tübingen
- Simon, Herbert A. (1957): Models of Man. Social and Rational. Mathematical Essays on Rational Human Behavior in Social Setting. John Wiley & Sons, New York / Chapman & Hall, London
- Simon, Herbert A. (1964): Rationality. In: Gould, Julius / Kolb, William L. (Hrsg., 1964): A Dictionary of the Social Sciences. The Free Press, New York, S. 573-574
- Simon, Herbert A. (1976): Administrative behavior. A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization. 4. Auflage. The Free Press, New York
- Simon, Hermann (1989): Die Zeit als strategischer Erfolgsfaktor. In: Riekhof, Hans-Christian (Hrsg., 1989): Strategieentwicklung. Konzepte und Erfahrungen. Poeschel, Stuttgart, S. 47-72
- Simon, Hermann / Gathen, Andreas von der (2002): Das große Handbuch der Strategieinstrumente. Werkzeuge für eine erfolgreiche Unternehmensführung. Campus, Frankfurt am Main / New York
- Slade Raphael / Bauen, Ausilio (2013): Micro-algae cultivation for biofuels: Cost, energy balance, environmental impacts and future prospects. In: Biomass and Bioenergy, Jg. 53, S. 29-38
- Smith, Adrian / Voß, Jan-Peter / Grin, John (2010): Innovation studies and sustainability transitions: the allure of the multi level perspective and its challenges. In: Research Policy, Jg. 39, Nr. 4, S. 435-448
- Socolow, Robert H. / Desmond, Michael D. / Aines, Roger / Blackstock, Jason J. / Bolland, Olav / Kaarsberg, Tina / Lewis, Nathan / Mazzotti, Marco / Pfeffer, Allen / Sirola, Jafred, J. / Sawyer, Karma / Smit, Berend / Wilcox, Jennifer (2011): Direct Air Capture of CO<sub>2</sub> with Chemicals. A Technology Assessment for the APS Panel on Public Affairs.  
[www.aps.org/policy/reports/assessments/upload/dac2011.pdf](http://www.aps.org/policy/reports/assessments/upload/dac2011.pdf) (letzter Zugriff 11.07.2017)
- Someren, Taco C. R. van (2005): Strategische Innovationen. So machen Sie Ihr Unternehmen einzigartig. Gabler / GWV, Wiesbaden
- Sommerlatte, Tom / Deschamps, Jean-Philippe (1985): Der strategische Einsatz von Technologien – Konzepte und Methoden zur Einbeziehung von Technologien in die Strategieentwicklung des Unternehmens. In: Arthur D. Little (Hrsg., 1985): Management im Zeitalter der strategischen Führung. Gabler, Wiesbaden, S. 39-76

- Sonnleiter, Andrea / Bacovsky, Dina / Humel, Stefan / Drosig, Bernhard / Nussbaumer, Magdalena / Bochmann, Günther / Schagerl, Michael / Ludwig, Irina / Jerney, Jacqueline / Winzely, Andreas / Gaisbauer, Michael / Hölzl, Thomas (2013): Synergie von Abwasserreinigung und Mikroalgenkultivierung. Projekt SAM. [https://www.bioenergy2020.eu/webroot/files/file/Projektendbericht\\_Synergie\\_Abwasser\\_Mikroalgen\\_2013.pdf](https://www.bioenergy2020.eu/webroot/files/file/Projektendbericht_Synergie_Abwasser_Mikroalgen_2013.pdf) (letzter Zugriff 19.17.2017)
- Sortino, Frank A. / Satchell, Stephen E. (Hrsg., 2001): *Managing Downside Risk in Financial Markets. Theory, Practice and Implementation*. Butterworth-Heinemann, Oxford
- Specht, Günter / Beckmann, Christoph / Amelingmeyer, Jenny (2002): *FuE-Management. Kompetenz im Innovationsmanagement*. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Sprink, Thorben / Eriksson, Dennis / Schiemann, Joachim / Hartung, Frank (2016): Regulatory hurdles for genome editing: process- vs. product-based approaches in different regulatory context. In: *Plant Cell Reports*, Jg. 35, Nr. 7, S. 1493-1506
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (Hrsg., 2013): *Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen: Den Strommarkt der Zukunft gestalten*. Deutscher Bundestag 18. Wahlperiode, Drucksache 18/281 v. 13.12.2013, Unterrichtung durch die Bundesregierung. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/002/1800281.pdf> (letzter Zugriff 29.01.2014)
- Staehele, Wolfgang, H. (1992): *Funktionen des Managements: eine Einführung in einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Probleme der Unternehmensführung*. 3., neubearbeitete und erweiterte Auflage. Paul Haupt, Bern / Stuttgart
- Staehele, Wolfgang H. (1994): *Management – Eine verhaltenswissenschaftliche Perspektive*. 7. Auflage. Überarbeitet von Conrad, Peter / Sydow, Jörg. Franz Vahlen, München
- Stalk, George / Evans, Philip / Schulman, Lawrence E. (1992): *Competing on Capabilities: The New Rules of Corporate Strategy*. In: *Harvard Business Review*, Jg. 70, Nr. 2, S. 57-69
- Stanger, Sonja (2017): *Nachhaltigkeit als Determinante des Innovationserfolgs – ein Systematic-Literature-Review und Entwicklung eines konzeptionellen Modells*. In: Filho, Walter L. (Hrsg., 2017): *Innovation in der Nachhaltigkeitsforschung. Ein Beitrag zur Umsetzung der UNO Nachhaltigkeitsziele*. Springer, Deutschland, S. 61-77
- Statistisches Bundesamt (Hrsg., 2007): *Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008)*. <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/Content75/KlassifikationWZ08.html> (letzter Zugriff 08.09.2016)
- Statistisches Bundesamt (Hrsg., 2015): *Produzierendes Gewerbe – Beschäftigung und Umsatz der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden nach Bundesländern*. Fachserie 4 Reihe 4.1.4. [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Strukturdaten/BeschaeftigungUmsatzBundeslaender2040414147004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Strukturdaten/BeschaeftigungUmsatzBundeslaender2040414147004.pdf?__blob=publicationFile) (letzter Zugriff 01.10.2015)
- Statistisches Bundesamt (Hrsg., 2016): *Preise: Daten zur Energiepreisentwicklung. Lange Reihen von Januar 2000 bis Juni 2016. Stand 27.07.2016*. [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergiepreisentwicklungPDF\\_5619001.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergiepreisentwicklungPDF_5619001.pdf?__blob=publicationFile) (letzter Zugriff 21.08.2016)
- Staub, Selva / Kaynak, Ramazan / Gok, Tarkan (2016): *What affects sustainability and innovation – Hard or soft corporate identity?* In: *Technological Forecasting & Social Change*, Jg. 102, S. 72-79

- Stähler, Patrick (2002): Geschäftsmodelle in der digitalen Ökonomie. Merkmale, Strategien und Auswirkungen. Dissertation Universität St. Gallen 2001. Eul, Lohmar
- Steenkamp, C. / Walt, A. van der (2004): Web phenomenon applied as ICT platform in support of business model innovation. In South African Journal of Information Management, Jg. 6, Nr. 1, S. 1-8
- Steger, Ulrich / Achterberg, Wouter / Blok, Kornelis / Bode, Henning / Frenz, Walter / Gather, Corinna / Hanekamp, Gerd / Imboden, Dieter / Jahnke, Matthias / Kost, Michael / Kurz, Rudi / Nutzinger, Hans G. / Ziesemer, Thomas (2002): Nachhaltige Entwicklung und Innovation im Energiebereich. Springer, Berlin et al.
- Steiner, Georg A. (1969): Top Management Planning. Macmillan, New York
- Steinke, Ines (1999): Kriterien qualitativer Forschung. Ansätze zur Bewertung qualitativ-empirischer Sozialforschung. Juventa, Weinheim / München
- Steinke, Ines (2008): Gütekriterien qualitativer Forschung. In: Flick, Uwe / Kardorff, Ernst von / Steinke, Ines (Hrsg., 2008): Qualitative Forschung. Ein Handbuch. 6., durchgesehene und aktualisierte Auflage. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, S. 319-331
- Steinle, Claus (2005): Ganzheitliches Management. Eine mehrdimensionale Sichtweise integrierter Unternehmensführung. Gabler, Wiesbaden
- Steinmann, Horst / Schreyögg, Georg (2005): Management. Grundlagen der Unternehmensführung – Konzepte, Funktionen, Fallstudien. 6., vollständig überarbeitete Auflage. Gabler, Wiesbaden
- Steinmann, Horst / Walter, Martin (1990): Managementprozeß. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt) – Zeitschrift für Studium und Forschung, Jg. 19, Nr. 7, S. 340-345
- Steinmann, Horst / Schreyögg, Georg / Koch, Jochen (2013): Management. Grundlagen der Unternehmensführung. Konzepte - Funktionen - Fallstudien. 7., vollständig überarbeitete Auflage. Springer Gabler, Wiesbaden
- Stenzel, Peter / Hennings, Wilfried / Linssen, Jochen / Wulf, Christian (2016): Energiespeicher. In: BWK – Das Energie-Fachmagazin, Jg. 2016, Nr. 5, S. 38-50
- Stern, Nicholas (2007): The Economics of Climate Change. The Stern Review. Cambridge University Press, Cambridge et al.
- Sterner, Michael (o. J.): Segelenergie. Follow the wind. <http://segelenergie.de> (letzter Zugriff 04.02.2017)
- Sterner, Michael (2009): Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems. Limiting global warming by transforming energy systems. Dissertation Universität Kassel. Kassel University Press (Erneuerbare Energien und Energieeffizienz, 14). <http://www.uni-kassel.de/upress/publi/abstract.php?978-3-89958-798-2> (letzter Zugriff 12.01.2014)
- Sterner, Michael (2013): Power-to-Gas 2.0 - Sail Energy - Energy harvesting by wind powered energy ships. Vortrag auf der IRES – International Renewable Energy Storage Conference, 18.-20.11.2013, Berlin.  
<https://www.youtube.com/watch?v=n1nWXHhSyLU> (Part 1/3),  
<https://www.youtube.com/watch?v=m81JfkoYRFI> (Part 2/3),  
<https://www.youtube.com/watch?v=NjCPDP-8PR8> (Part 3/3)
- Sterner, Michael (2014): Stellungnahme zum Positionspapier der BNetzA. In: BNetzA – Bundesnetzagentur (Hrsg., 2014b): Positionspapier zur Anwendung der Vorschriften der Einspeisung von Biogas auf die Einspeisung von Wasserstoff und synthetischem Methan in Gasversorgungsnetze – Ergebnis der Konsultation. [http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/Gas/Einspeisung\\_Wasserstoff\\_u\\_synth\\_Methan/Konsultationsergebnisse.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/Gas/Einspeisung_Wasserstoff_u_synth_Methan/Konsultationsergebnisse.pdf?__blob=publicationFile&v=1) (letzter Zugriff 09.08.2016), S. 21-22

- Sterner, Michael (2016a): Power-to-X und Sektorkopplung. Einordnung, Technologien, Potenziale. Vortrag Im Rahmen des Landesprogramms Bürgerforum Energieland Hessen, 29.11.2016.  
[https://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen/Prof\\_Dr\\_Michael\\_Sterner\\_Power\\_to\\_X\\_Technologien\\_und\\_Sektorkopplung.pdf](https://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen/Prof_Dr_Michael_Sterner_Power_to_X_Technologien_und_Sektorkopplung.pdf) (letzter Zugriff 21.07.2017)
- Sterner, Michael (2016b): Die Bedeutung und Nutzung von Windgas für das Gelingen der Energiewende. Vortrag im Rahmen des 10. Energietages 5.0, Energiewende - Windgas als Lösung? Regenerative Energieerzeugung, Energiespeicherung, Energieverwertung, 25.08.2016.  
[http://www.energietag50.de/images/sampledData/PDF/2016\\_Sterner\\_Jade\\_Windgas.pdf](http://www.energietag50.de/images/sampledData/PDF/2016_Sterner_Jade_Windgas.pdf)
- Sterner, Michael / Stadler, Ingo (2014): Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration. Springer, Berlin / Heidelberg
- Sterner, Michael / Jentsch, Mareike / Holzhammer, Uwe (2011): Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes. Gutachten. IWES – Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, Kassel.  
[http://wiki.imwe.me/\\_media/ee:greenpeace\\_energy\\_gutachten\\_windgas\\_fraunhofer\\_sterner.pdf](http://wiki.imwe.me/_media/ee:greenpeace_energy_gutachten_windgas_fraunhofer_sterner.pdf) (letzter Zugriff 28.01.2014)
- Sterner, Michael / Thema, Martin / Eckert, Fabian / Lenck, Thorsten / Götz, Philipp (2015): Bedeutung und Notwendigkeit von Windgas für die Energiewende in Deutschland. FENES – Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher OTH Regensburg / Energy Brainpool. Im Auftrag von Greenpeace Energy. Regensburg / Hamburg / Berlin. [https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/2015\\_FENES\\_EBP\\_GPE\\_Windgas-Studie.pdf](https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/2015_FENES_EBP_GPE_Windgas-Studie.pdf) (letzter Zugriff 04.02.2017)
- Stolaroff, Joshua K. / Keith, David W. / Lowry, Gregory V. (2008): Carbon Dioxide Capture from Atmospheric Air Using Sodium Hydroxide Spray. In: Environmental Science & Technology, Jg. 42, Nr. 8, S. 2728-2735
- Strauch, Sabine / Schulzke, Tim / Jochum, Oliver (2014): Alternative ways of biomethane production – a SWOT analysis.  
[http://www.greengasgrids.eu/fileadmin/greengas/media/Downloads/GGG\\_SWOT\\_analysis\\_FINAL.pdf](http://www.greengasgrids.eu/fileadmin/greengas/media/Downloads/GGG_SWOT_analysis_FINAL.pdf) (letzter Zugriff 26.08.2017)
- Strebel, Heinz (Hrsg., 2003): Innovations- und Technologiemanagement. WUV., Wien
- Stummer, Christian / Günther, Markus / Köck, Anna M. (2008): Grundzüge des Innovations- und Technologiemanagements. 2., aktualisierte Auflage. Facultas, Wien
- Stummer, Frank (2008): Resource-based View. In: Das Wirtschaftsstudium, Jg. 37, Nr. 5, S. 689
- Stürmer, Bernd / Frick, Volkmar / Specht, Michael / Sterner, Michael / Hahn, Bethold (Erfinder, 2009): Energieversorgungssystem und Betriebsverfahren. Offenlegungsschrift. DE 10 2009 018 126 A1 2010.10.14.  
<https://register.dpma.de/DPMAregister/pat/PatSchrifteneinsicht?docId=DE102009018126A1> (letzter Zugriff 25.05.2017)
- Süß, Stefan (2009): Managementkonzept. In: DBW – Die Betriebswirtschaft, Jg. 69, Nr. 1, S. 113-117
- Syldatk, Christoph (2006): Mikrobielle Stoffproduktion. In: Antranikian, Garabed (Hrsg., 2006): Angewandte Mikrobiologie. Springer, Berlin / Heidelberg, S. 305-311
- Szyska, Britta M. (2009): Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen des prozessorientierten Modells DNDC zur Schätzung klimarelevanter Treibhausgasemissionen aus der Pflanzenproduktion. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen. [http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2010/7609/pdf/SzyskaBrigitta\\_2009\\_06\\_25.pdf](http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2010/7609/pdf/SzyskaBrigitta_2009_06_25.pdf) (letzter Zugriff 13.05.2017)
- Taleb, Nassim N. (2007): The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable. Random House, New York

- Taleb, Nassim N. (2010): *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*. 2. Auflage. Random House, New York
- Tanțău, Adrian D. / Bock, Jürgen (2010): *Strategisches Management. Strategische Instrumente für Zentral- und Osteuropa*. Uranus, București
- Teece, David J. (2007): *Explicating Dynamic Capabilities: the Nature and Microfoundations of (sustainable) Enterprise Performance*. In: *Strategic Management Journal*, Jg. 28, Nr. 13, S. 1319-1350
- Teece, David J. (2010): *Business Models, Business Strategy and Innovation*. In: *Long Range Planning*, Jg. 43, Nr. 2/3, S. 172-194
- Teece, David J. (2011): *Dynamic Capabilities & Strategic Management. Organizing for Innovation and Growth*. Oxford University Press, Oxford / New York
- Teece, David, J. / Pisano, Gary / Shuen, Amy (1997): *Dynamic Capabilities and Strategic Management*. In: *Strategic Management Journal*, Jg. 18, Nr. 7, S. 509-533
- Testbiotech – Institut für unabhängige Folgenabschätzung in der Biotechnologie (Hrsg., 2010a): *Pressemitteilung vom 16.09.2010. Testbiotech warnt vor Einsatz synthetischer Algen Umweltrisiken künstlicher Organismen nicht kontrollierbar*. [https://www.testbiotech.org/sites/default/files/PM%20Synbiol\\_TBT.pdf](https://www.testbiotech.org/sites/default/files/PM%20Synbiol_TBT.pdf) (letzter Zugriff 17.07.2017)
- Testbiotech – Institut für unabhängige Folgenabschätzung in der Biotechnologie (Hrsg., 2010b): *Synthetische Biologie und künstliches Leben – eine kritische Analyse. Teil 2: Die Erzeugung und Nutzung von Biokraftstoffen der zweiten Generation („Synthi-Fuels“)*. AutorInnen: Then, Christoph / Potthof, Christof / Hamberger, Sylvia. [https://www.testbiotech.org/sites/default/files/Testbiotech%20Synthi\\_Fuel.pdf](https://www.testbiotech.org/sites/default/files/Testbiotech%20Synthi_Fuel.pdf) (letzter Zugriff 17.07.2017)
- Thom, Norbert (1980): *Grundlagen des betrieblichen Innovationsmanagement* S. 2., völlig neu bearbeitete Auflage. Hanstein, Königstein / Ts
- Thom, Norbert (1983): *Innovations-Management. Herausforderungen für den Organisator*. In: *zfo – Zeitschrift Führung + Organisation*, Nr. 1, S. 4-11
- Thomas, Denis / Mertens, David / Meeus, Marcel / Van der Laak, Wouter / Francois, Isabel (2016): *Power-to-Gas Roadmap for Flanders*. <http://www.power-to-gas.be/final-report> (letzter Zugriff 26.08.2017)
- Thommen, Jean-Paul (2008): *Managementorientierte Betriebswirtschaftslehre*. 8., überarbeitete und erweiterte Auflage. Versus, Zürich
- ThyssenKrupp (Hrsg., 2013): *ThyssenKrupp Resource Technologies – gemeinsam mehr bewegen. Innovative Lösungen für die Minerals-, Mining- und Zementindustrie*. *Pressemitteilung vom 05.04.2013*. [https://www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com/de/press\\_detail\\_7552.html](https://www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com/de/press_detail_7552.html) (letzter Zugriff 25.05.2017)
- Tidd, Joe / Bessant, John / Pavitt, Keith (2005): *Managing Innovation. Integrating Technological, Market and Organizational Change*. 3., Auflage. John Wiley & Sons, Hoboken
- Tiefel, Thomas (Hrsg., 2007): *Gewerbliche Schutzrechte im Innovationsprozess*. DUV / GWV, Wiesbaden
- Tiefel, Thomas (2007): *Technologielebenszyklus-Modelle – Eine kritische Analyse*. In: Tiefel, Thomas (Hrsg., 2007): *Gewerbliche Schutzrechte im Innovationsprozess*. DUV / GWV, Wiesbaden, S. 25-49
- Trinczek, Rainer (2009): *Wie befrage ich Mitarbeiter? Methodische und methodologische Aspekte des Experteninterviews als qualitativer Methode empirischer Sozialforschung*. In: Bogner, Alexander / Littig, Beate / Menz, Wolfgang (Hrsg., 2009): *Experteninterviews. Theorien, Methoden, Anwendungsfelder*. 3., grundlegend überarbeitete Auflage. VS / GWV, Wiesbaden, S. 225-238
- Trost, Tobias / Horn, Sönke / Jentsch, Mareike / Sterner, Michael (2012): *Erneuerbares Methan: Analyse der CO<sub>2</sub>-Potenziale für Power-to-Gas Anlagen in Deutschland. Erneuerbare Energien im Gasnetz speichern*. In: *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, Jg. 37, Nr. 3, S. 173-190

- Trost, Tobias / Hobmeier, Thomas (2013): Ökologische Bewertung von Power-to-Gas Speicherpfaden anhand von Fallbeispielen. [https://www.eaaw.de/fileadmin/\\_migrated/content\\_uploads/Poster\\_Trost.pdf](https://www.eaaw.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/Poster_Trost.pdf) (letzter Zugriff 17.07.2017)
- Troud, Jack / Wied, Lorenz M. (2014): Positionierung von Innovationen. In: Granig, Peter / Hartlieb, Erich / Lercher, Hans (Hrsg., 2014): Innovationsstrategien. Von Produkten und Dienstleistungen zu Geschäftsmodellinnovationen. Springer, Wiesbaden, S. 43-52
- Tu, Qingshi / Eckelman, Matthew J. / Zimmerman, Julie B. (2017): Meta-analysis and Harmonization of Life Cycle Assessment Studies for Algae Biofuels. In: Environmental Science Technology, Jg. 51, Nr. 17, S. 9419-9432
- Tversky, Amos / Kahneman, Daniel (1974): Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. In: Science, Jg. 185, Nr. 4157, S. 1124-1131
- Tversky, Amos / Kahneman, Daniel (1981): The Framing of Decisions and the Psychology of Choice. In: Science, Jg. 211, Nr. 4481, S. 453-458
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2010): Energieziel 2050. 100% Strom aus erneuerbaren Quellen. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/energieziel\\_2050.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/energieziel_2050.pdf) (letzter Zugriff 16.04.2016)
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2012): Glossar zum Ressourcenschutz. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4242.pdf> (letzter Zugriff 16.04.2016)
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2013): Ökobilanz. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaftskonsum/produkte/oekobilanz> (letzter Zugriff 17.07.2017)
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2015): Rebound-Effekte: Ihre Bedeutung für die Umweltpolitik. AutorInnen: de Haan, Peter / Peters, Anja / Semmeling, Elsa / Marth, Hans / Kahlenborn, Walter. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte\\_31\\_2015\\_rebound-effekte\\_ihre\\_bedeutung\\_fuer\\_die\\_umweltpolitik.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_31_2015_rebound-effekte_ihre_bedeutung_fuer_die_umweltpolitik.pdf) (letzter Zugriff 28.06.2017)
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2016a): Erneuerbare Energien in Zahlen. Stand 01.06.2016. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen> (letzter Zugriff 17.08.2016)
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2016b): Emissionen ausgewählter Treibhausgase nach Kategorien. [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3\\_t\\_ab\\_emi-ausgew-thg-kat\\_2016-04-22.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3_t_ab_emi-ausgew-thg-kat_2016-04-22.pdf) (letzter Zugriff 27.11.2016)
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2016c): Der Europäische Emissionshandel. <http://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/der-europaeische-emissionshandel#textpart-2> (letzter Zugriff 03.12.2016)
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2017a): National Trend Tables for the German Atmospheric Emission Reporting 1990-2015. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2017\\_01\\_23\\_em\\_entwicklung\\_in\\_d\\_trendtabelle\\_thg\\_v1.0.xlsx](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2017_01_23_em_entwicklung_in_d_trendtabelle_thg_v1.0.xlsx) (letzter Zugriff 25.05.2017)
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2017b): Climate footprint 2016: Transport sector and cool weather cause spike in emissions. <https://www.umweltbundesamt.de/en/press/pressinformation/climate-footprint-2016-transport-sector-cool> (letzter Zugriff 25.05.2017)
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2017c): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/treibhausgas-emissionen-in-deutschland> (letzter Zugriff 25.05.2017)



- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2017d): Erneuerbare Energien in Zahlen.  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#textpart-1> (letzter Zugriff 25.05.2017)
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg., 2017e): Fracking.  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/grundwasser/nutzung-belastungen/fracking> (letzter Zugriff 10.07.2017)
- Ulrich, Hans (1970): Die Unternehmung als produktives soziales System: Grundlagen der allgemeinen Unternehmenslehre. 2., überarbeitete Auflage. Paul Haupt, Bern / Stuttgart
- Ulrich, Hans (1984): Management. Paul Haupt, Bern
- Ulrich, Hans / Krieg, Walter (1971/1974): St. Galler Management-Modell. Vorliegend in der 3., verbesserten Auflage von 1974. Paul Haupt, Bern
- Ulrich, Karl T. / Eppinger, Steven D. (1995): Product Design and Development. 3. Auflage. McGraw-Hill / Irwin, New York et al.
- Ulrich, Peter (1986): Transformation der ökonomischen Vernunft. Fortschrittsperspektiven der modernen Industriegesellschaft. Paul Haupt, Bern / Stuttgart
- UNDESA – United Nations Department of Economic and Social Affairs (Hrsg., 2015): World Population Prospects. The 2015 Revision. Key Findings and Advance Tables. [https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key\\_findings\\_wpp\\_2015.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf) (letzter Zugriff 02.09.2017)
- UNEP – United Nations Environment Programme (Hrsg., 2011): Towards a green economy. Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. [https://www.unep.org/greeneconomy/sites/unep.org/greeneconomy/files/field/ima/ge/green\\_economyreport\\_final\\_dec2011.pdf](https://www.unep.org/greeneconomy/sites/unep.org/greeneconomy/files/field/ima/ge/green_economyreport_final_dec2011.pdf) (letzter Zugriff 13.07.2017)
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (Hrsg., 1998a): Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf> (letzter Zugriff 01.03.2015)
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (Hrsg., 1998b): Kyoto Protokoll to the United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> (letzter Zugriff 01.03.2015)
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (Hrsg., 1992): United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf> (letzter Zugriff 01.03.2015)
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (Hrsg., 2015): Adoption of the Paris Agreement. Conference of the Parties, Twenty-first session, Paris, 30.11.-11.12.2015. <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> (letzter Zugriff 01.05.2016)
- Vahs, Dietmar / Brem, Alexander (2013): Innovationsmanagement – Von der Idee zur erfolgreichen Vermarktung. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Vahs, Dietmar / Burmester, Ralf (2002): Innovationsmanagement. Von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung. 2., überarbeitete Auflage. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Vattenfall (Hrsg., 2010a): Baubeginn für Versuchsanlage: Kraftwerks-Rauchgas soll Algenwachstum beschleunigen. Pressemeldungen vom 05.04.2010. <https://corporate.vattenfall.de/newsroom/pressemeldungen/pressemeldungen-import/baubeginn-fur-versuchsanlage-kraftwerks-rauchgas-soll-algenwachstum-beschleunigen/> (letzter Zugriff 17.07.2017)
- Vattenfall (Hrsg., 2010b): Pressemeldungen vom 22.07.2010. Anlage zur Algenzucht in Betrieb genommen. <https://corporate.vattenfall.de/newsroom/pressemeldungen/pressemeldungen-import/anlage-zur-algenzucht-in-betrieb-genommen/> (letzter Zugriff 17.07.2017)

- VCI – Verband der Chemischen Industrie (Hrsg., 2016a): Daten und Fakten. Wettbewerbsfähige Energie: Energiewende bezahlbar machen.  
<https://www.vci.de/vci/downloads-vci/top-thema/daten-fakten-energiewende-bezahlbar-machen-de.pdf> (letzter Zugriff 18.09.2016)
- VCI – Verband der Chemischen Industrie (Hrsg., 2016b): Argumente und Positionen. Wettbewerbsfähige Energie: Energiewende bezahlbar machen.  
<https://www.vci.de/vci/downloads-vci/top-thema/botschaften-forderungen-energiewende-bezahlbar-machen.pdf> (letzter Zugriff 18.09.2016)
- VDS – Verein Deutscher Sprache (Hrsg., 2011): Negativer Name sorgte für Misserfolg von neuem E10-Kraftstoff. VDS-Infobrief 13. Woche. Presseschau vom 29.03.-04.04.2011. <http://web2.kundenserver5.de/infobriefe2011/902-vds-infobrief-13-2011> (letzter Zugriff 17.07.2017)
- Verworn, Birgit / Herstatt, Cornelius (2000): Modelle des InnovationsprozesseS. 10/2000, Arbeitspapier Nr. 6.  
[https://www.tuhh.de/tim/downloads/arbeitspapiere/Arbeitspapier\\_6.pdf](https://www.tuhh.de/tim/downloads/arbeitspapiere/Arbeitspapier_6.pdf) (letzter Zugriff 31.06.2016)
- Vieweg, Wolfgang (2014): Der Chance eine Chance. Warum Risiken minimieren der falsche Weg ist. Essay. In: ChangeX In die Zukunft denken. Ressort: Wirtschaft & Management. Erscheinungsdatum: 15.01.2014. [http://www.management-by-options.de/download/2014-01-16\\_Essay\\_ChangeX.pdf](http://www.management-by-options.de/download/2014-01-16_Essay_ChangeX.pdf) (letzter Zugriff 31.06.2016)
- Vieweg, Wolfgang (2015): Management in Komplexität und Unsicherheit. Für agile Manager. Springer, Wiesbaden
- VKE – Verband Kunststoffherzeugende Industrie (Hrsg., 2003): Kunststoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.  
[http://www.plasticseurope.de/Documents/Document/20100730095659-Kunststoffe\\_in\\_E\\_und\\_E.pdf](http://www.plasticseurope.de/Documents/Document/20100730095659-Kunststoffe_in_E_und_E.pdf) (letzter Zugriff 19.07.2017)
- Vogel, Rick / Güttel, Wolfgang H. (2013): The Dynamic Capability View in Strategic Management: A Bibliometric Review. In: International Journal of Management Reviews, Jg. 15, Nr. 4, S. 426-446
- Voigt, Kai-Ingo (1992): Strategische Planung und Unsicherheit. Gabler, Wiesbaden
- Voigt, Kai-Ingo (2008): Industrielles Management. Industriebetriebslehre aus prozessorientierter Sicht. Springer, Berlin / Heidelberg
- Volker, Herbort (2014): Geschäftsmodell-Innovationen im analytischen Wettbewerb. Vorgehensmodell, Anwendung und Evaluierung anhand eines Beispielunternehmens aus der Photovoltaik-Branche. Dissertation Universität Ulm
- Völker, Rainer / Thome, Christoph / Schaaff, Holger (2012): Innovationsmanagement. Bestandteile – Theorien – Methoden. Kohlhammer, Stuttgart
- Voß, Alfred (2008): Risiko in der Energiebranche – Basics, Methoden und Chancen. Vortrag im Rahmen der Energiegespräche Ossiach, 18.-20.06.2008.  
[http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/pb\\_pdf/Voss\\_Ossiach\\_2008.pdf](http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/pb_pdf/Voss_Ossiach_2008.pdf) (letzter Zugriff 04.07.2017)
- Wagner, Hermann-Josef / Koch, Marco K. / Burkhardt, Jörg / Böckmann, Thomas G. / Feck, Norbert / Kruse, Philipp (2007): CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung Ein ganzheitlicher Vergleich verschiedener Techniken. In: BWK – Das Energie-Fachmagazin, Bd. 59, Nr. 10, S. 44-52
- Ward, Stephen / Chapman, Chris (2003): Transforming project risk management into project uncertainty management. In: International Journal of Project Management, Jg. 21, Nr. 2, S. 97-105
- Wassermann, Sandra (2015): Das qualitative Experteninterview. In: Niederberger, Marlen / Wassermann, Sandra (Hrsg., 2015): Methoden der Experten- und Stakeholdereinbindung in der sozialwissenschaftlichen Forschung. Springer, Wiesbaden, S. 51-67

- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (Hrsg., 2011): Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine große Transformation, Berlin.  
[http://www.wbgu.de/fileadmin/user\\_upload/wbgu.de/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2011/wbgu\\_jg2011.pdf](http://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu.de/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2011/wbgu_jg2011.pdf) (letzter Zugriff 04.07.2017)
- Weber, Linsey (2016): Methan-Cracken – eine vielversprechende Brückentechnologie auf unserem Weg zur Dekarbonisierung. <http://blog.iass-potsdam.de/de/2016/02/methan-cracken-eine-vielversprechende-brueckentechnologie-auf-unserem-weg-zur-dekarbonisierung/> (letzter Zugriff 10.07.2017)
- Weber, Max (1976): Wirtschaft und Gesellschaft – Grundriss der verstehenden Soziologie. 1. Halbband. 5., revidierte Auflage. J.C.B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen
- Weiss, Martin / Hungenberg, Harald / Döbrich, Christoph / Warnecke, Dennis (2008): Identifikation von immateriellen Unternehmensressourcen zum Wachstum durch Diversifikation. Das VRILS-Modell – Ein konzeptioneller Ansatz. Arbeitspapier Nr. 08-01, Lehrstuhl für Unternehmensführung Universität Erlangen.  
[http://www.management.wiso.uni-erlangen.de/Forschung/Arbeitspapiere/IUP%20AP%2008-01%20Identifikation%20und%20Kategorisierung%20von%20Ressourcen\\_vF.pdf](http://www.management.wiso.uni-erlangen.de/Forschung/Arbeitspapiere/IUP%20AP%2008-01%20Identifikation%20und%20Kategorisierung%20von%20Ressourcen_vF.pdf) (letzter Zugriff 31.01.2016)
- Welge, Martin K. / Al-Laham, Andreas (2012): Strategisches Management. Grundlagen - Prozesse - Implementierung. 6., aktualisierte Auflage. Springer Gabler, Wiesbaden
- Werhahn, Peter H. (1980): Menschenbild, Gesellschaftsbil und Wissensbegriff in der neuen Betriebswirtschaftslehre. Faktortheoretischer Ansatz, entscheidungstheoretischer Ansatz und Systemansatz im Vergleich. Paul Haupt, Bern / Stuttgart
- Wernerfelt, Birger (1984): A Resource-Based View of the Firm. In: Strategic Management Journal, Jg. 5, Nr. 2, S. 171-180
- Wesselak Viktor / Schabbach, Thomas / Link, Thomas / Fischer, Joachim (2017): Handbuch Regenerative Energietechnik. 3. Auflage. Springer, Deutschland
- Wheelen, Thomas L. / Hunger, David J. (2012): Concepts in Strategic Management and Business Policy. Toward global sustainability. 13. Auflage. Pearson, Boston et al.
- Wirtz, Bernd W. (2001): Electronic business. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Gabler, Wiesbaden
- Wirtz, Bernd W. (2013): Business Model Management. Design-Instrumente- Erfolgsfaktoren von Geschäftsmodellen. 3., aktuelle und überarbeitete Auflage. Springer, Wiesbaden
- Wirtz, Bernd W. / Nitzsche, Philipp (2011a): Integriertes Business Model. In: WISU – Das Wirtschaftsstudium, Jg. 40, Nr. 7, S. 945-951
- Wirtz, Bernd W. / Nitzsche, Philipp (2011b): Management eines integrierten Business Model. In: WISU – Das Wirtschaftsstudium, Jg. 41, Nr. 1, S. 83-88
- Wimmer, Peter / Neuberger, Oswald (1998): Personalwesen 2 – Personalplanung, Beschäftigungssysteme, Personalkosten, Personalcontrolling. Ferdinand Enke, Stuttgart
- Witt, Jürgen (1996): Grundlagen für die Entwicklung und die Vermarktung neuer Produkte. In: Witt, Jürgen (Hrsg., 1996): Produktinnovation. Franz Vahlen, München, S. 1-110
- Witt, Jürgen (Hrsg., 1996): Produktinnovation. Franz Vahlen, München
- Witt, Peter (2010): Netzplanmodelle im Innovationsmanagement. In: Bandow, Gerhard / Holzmüller, Hartmut H. (Hrsg., 2010): „Das ist doch gar kein Modell!“ Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften. Gabler / GWV, Wiesbaden, S. 311-332
- Witt, Peter (2013): Innovationsmanagement in Energieversorgungsunternehmen. In: Lau, Carsten / Dechange, André / Flegel, Tina (Hrsg., 2013): Projektmanagement im Energiebereich. Springer, Wiesbaden, S. 53-68

- Wöhe, Günter / Döring, Ulrich (2000): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 20., neubearbeitete Auflage. Franz Vahlen, München
- Wöhe, Günter / Döring, Ulrich (2010): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 24., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Franz Vahlen, München
- Wolf, Dorothee (2005): Ökonomische Sicht(en) auf das Handeln. Ein Vergleich der Akteursmodelle in ausgewählten Rational-Choice-Konzeptionen. Dissertation. Metropolis, Marburg
- Wolfrum, Bernd (1994): Schnittstellenprobleme zwischen F&E und Marketing im Innovationsmanagement. In: wisu – Das Wirtschaftsstudium Jg. 23, Nr. 12, S. 1016-1022
- Wolke, Thomas (2016): Risikomanagement. 3., vollständig überarbeitete, erweiterte und aktualisierte Auflage. De Gruyter, Berlin / Boston
- Wördenweber, Burkard / Wickord, Wiro (2008): Technologie- und Innovationsmanagement im Unternehmen. Lean Innovation. 3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer, Berlin / Heidelberg
- Wuppertal Institut – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg., o. J.a): Institutionalisierte Begleitforschung für die InnovationCity Ruhr. <http://wupperinst.org/p/wi/p/s/pd/441/> (letzter Zugriff 10.12.2016)
- Wuppertal Institut – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg., o. J.b): InnovationCity Roll-out. <http://wupperinst.org/p/wi/p/s/pd/634/> (letzter Zugriff 10.12.2016)
- Wuppertal Institut – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg., 2009): Eco-innovation – putting the EU on the path to a resource and energy efficient economy. Wuppertal Spezial 38. AutorInnen: Bleischwitz, Raimund / Bahn-Walkowiak, Bettina / Irrek, Wolfgang / Schepelmann, Phillip / Schmidt-Bleek, Friedrich / Giljum, Stefan / Lutter, Stephan / Bohunovski, Lisa / Hinterberger, Friedrich / Hawkins, Elizabeth / Kuhndt, Michael / Pratt, Nadine. <https://epub.wupperinst.org/files/3433/WS38.pdf> (letzter Zugriff 29.06.2017)
- Wuppertal Institut – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg., 2010): EIO. Europäisches Analysezentrum für Öko-Innovationen (EU Eco-Innovation Observatory). <https://wupperinst.org/p/wi/p/s/pd/277/> (letzter Zugriff 01.07.2017)
- Wuppertal Institut – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg., 2011): Chancen durch Klimaschutz. Positive ökonomische Implikationen einer ehrgeizigen Klimaschutzpolitik für Schlüsselbranchen. Kurzanalyse. AutorInnen: Fishedick, Manfred / Best, Benjamin / Luhmann, Hans-Jochen / Vallentin, Daniel / Borbonus, Sylvia / Friege, Jonas / Samadi, Sascha. [https://epub.wupperinst.org/files/3811/3811\\_Chancen\\_Klimaschutz.pdf](https://epub.wupperinst.org/files/3811/3811_Chancen_Klimaschutz.pdf) (letzter Zugriff 20.07.2017)
- Wuppertal Institut – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg., 2012): Der Rebound-Effekt. Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz. Autor: Santarius, Tilman. <https://epub.wupperinst.org/files/4219/ImpW5.pdf> (letzter Zugriff 28.06.2017)
- Wuppertal Institut – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg., 2015a): Das Paris Agreement: Startschuss für echte globale Klimakooperation. Erste Einschätzungen des Wuppertal Instituts. AutorInnen: Arens, Christof / Hermwille, Lukas / Kreibich, Nico / Mersmann, Florian / Obergassel, Wolfgang / Ott, Hermann E. / Wang-Helmreich, Hanna. [http://wupperinst.org/uploads/tx\\_wupperinst/Paris\\_Kurzanalyse.pdf](http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/Paris_Kurzanalyse.pdf) (letzter Zugriff 01.05.2016)

- Wuppertal Institut – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg., 2015b): CO<sub>2</sub> ReUse NRW. Evaluating gas sources, demand and utilization for CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> within the North Rhine-Westphalia area with respect to gas qualities. Management Summary. AutorInnen: Schüwer, Dietmar / Arnold, Karin / Bienge, Katrin / Bringezu, Stefan / Echternacht, Laura / Esken, Andrea / Fishedick, Manfred / Geibler, Justus von / Höller, Samuel / Merten, Frank / Perrey, Karen (Covestro Deutschland AG) / Pastowski, Andreas / Pietzner, Katja / Schneider, Clemens / Terrapon-Pfaff, Julia C. / Viebahn, Peter. Gefördert vom Climate-KIC Deutschland. Berlin.  
[http://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/CO2\\_ReUse\\_summary.pdf](http://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/CO2_ReUse_summary.pdf) (letzter Zugriff 03.12.2016)
- Wuppertal Institut – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg., 2015c): CO<sub>2</sub> ReUse NRW. Evaluating gas sources, demand and utilization for CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> within the North Rhine-Westphalia area with respect to gas qualities. Final Report. AutorInnen: Schüwer, Dietmar / Arnold, Karin / Bienge, Katrin / Bringezu, Stefan / Echternacht, Laura / Esken, Andrea / Fishedick, Manfred / Geibler, Justus von / Höller, Samuel / Merten, Frank / Perrey, Karen (Covestro Deutschland AG) / Pastowski, Andreas / Pietzner, Katja / Schneider, Clemens / Terrapon-Pfaff, Julia C. / Viebahn, Peter. Gefördert vom Climate-KIC Deutschland, Berlin.  
<https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/6010> (letzter Zugriff 03.12.2016)
- Wuppertal Institut – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg., 2015d): Nachhaltigkeitsindikatoren auf EU, Bundes- und Länderebene – eine Übersicht. Excel-Datei zum AP 5.1 im Rahmen des Zuwendungsprojektes „Konzeptionelle Analysen und Überlegungen zur Ausgestaltung einer Nachhaltigkeitsstrategie NRW aus wissenschaftlicher Sicht“. Autorin: Schostok, Dorothea.  
[http://wupperinst.org/uploads/tx\\_wupperinst/NHS\\_NRW\\_AP5-1\\_Nachhaltigkeitsindikatoren\\_Anhang.pdf](http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/NHS_NRW_AP5-1_Nachhaltigkeitsindikatoren_Anhang.pdf) (letzter Zugriff 12.12.2016)
- Wuppertal Institut – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg., 2015e): DDPP – Deep Decarbonization Pathways Project. Wege zu einer weitgehenden Dekarbonisierung Deutschlands. Kurzfassung. AutorInnen: Hillebrandt, Katharina / Samadi, Sascha / Fishedick, Manfred.  
[http://wupperinst.org/uploads/tx\\_wupperinst/DDPP\\_DE\\_summary\\_de.pdf](http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/DDPP_DE_summary_de.pdf) (letzter Zugriff 01.06.2016)
- Wuppertal Institut – Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg., 2016): Rohstoffverbrauch und Rohstoffproduktivität – ein Zielkorridor 2030 für NRW. Bericht zum AP 4.2 im Rahmen des Zuwendungsprojektes „Konzeptionelle Analysen und Überlegungen zur Ausgestaltung einer Nachhaltigkeitsstrategie NRW aus wissenschaftlicher Sicht“. AutorInnen: Acosta, José F. / Schostok, Dorothea.  
[https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/NHS\\_NRW\\_AP4-2\\_Rohstoffe.pdf](https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/NHS_NRW_AP4-2_Rohstoffe.pdf) (letzter Zugriff 04.04.2017)
- Wurm, Berthold A. (2003): Determinanten des erfolgreichen strategischen Wandels – Am Beispiel der deutschen Elektrizitätswirtschaft. Dissertation Universität Augsburg 2002. DUV / GWV, Wiesbaden
- Zahn, Erich (Hrsg., 1995): Handbuch Technologiemanagement. Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Zahn, Erich / Weidler, Andreas (1995): Integriertes Innovationsmanagement. In: Zahn, Erich (Hrsg., 1995): Handbuch Technologiemanagement. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, S. 351-376
- Zaimes, Georg G. / Khanna, Vikas (2013): Microalgal biomass production pathways: evaluation of life cycle environmental impacts. In: Biotechnology for Biofuels 2013, Jg. 88, Nr. 6, S. 1-11  
<https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/1754-6834-6-88> (letzter Zugriff 08.03.2017)

- Zichy, Michael / Dürnberger, Christian / Formowitz, Beate / Uhl, Anne (2014): Energie aus Biomasse – ein ethisches Diskussionsmodell. 2., aktualisierte Auflage. Springer, Wiesbaden
- Zohm, Frederik (2004): Management von Diskontinuitäten: Das Beispiel der Mechatronik in der Automobilzulieferindustrie. Dissertation RWTH Aachen 2003. DUV / GWV, Wiesbaden
- Zott, Christoph / Amit, Raphael / Massa, Lorenzo (2011): The Business Model: Recent Developments and Future Research. In: Journal of Management, Jg. 37, Nr. 4, S. 1019-1042
- Zotter, Karl-Andreas (2003): Modelle des Innovations- und Technologiemanagements. In: Strebel, Heinz (Hrsg., 2003): Innovations- und Technologiemanagement. WUV, Wien, S. 49-91
- ZSW – Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff- Forschung Baden-Württemberg (Hrsg., 2014): Dynamische Simulation der Ausbauszenarien für erneuerbare Stromversorgung in Baden-Württemberg bis 2050 nach dem Gutachten zur Vorbereitung eines Klimaschutzgesetzes (SimBW). Speicherbedarf in Deutschland und Baden-Württemberg. Abschlussbericht. AutorInnen: Höfling, Holger / Capota, Michael / Jachmann, Henning. [https://www.zsw-bw.de/uploads/media/Abschlussbericht\\_SimBW\\_2014.pdf](https://www.zsw-bw.de/uploads/media/Abschlussbericht_SimBW_2014.pdf) (letzter Zugriff 21.07.2017)

## Verzeichnis Gesetze, Richtlinien und Normen

- AMWHV – Verordnung über die Anwendung der Guten Herstellungspraxis bei der Herstellung von Arzneimitteln und Wirkstoffen und über die Anwendung der Guten fachlichen Praxis bei der Herstellung von Produkten menschlicher Herkunft (Arzneimittel- und Wirkstoffherstellungsverordnung – AMWHV). Arzneimittel- und Wirkstoffherstellungsverordnung vom 03.11.2006 (BGBl. I S. 2523), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 07.07.2017 (BGBl. I S. 2842) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/amwhv/BJNR252310006.html> (letzter Zugriff 11.10.2017)
- AusglMechV – Verordnung zum EEG-Ausgleichsmechanismus (Ausgleichsmechanismusverordnung – AusglMechV). Ausgleichsmechanismusverordnung vom 17.12.2015 (BGBl. I S. 146). [https://www.gesetze-im-internet.de/ausglmechv\\_2015/BJNR014610015.html](https://www.gesetze-im-internet.de/ausglmechv_2015/BJNR014610015.html) (letzter Zugriff 09.08.2016)
- BGBl – Bundesgesetzblatt (1998): Teil I, G 5702, Nr. 23 vom 28.04.1998, S. 730ff. Bundesanzeiger, Bonn. <http://www1.bgbli.de/> (letzter Zugriff 06.07.2017)
- BGBl – Bundesgesetzblatt (2011): Teil I, G 5702, Nr. 41 vom 03.08.2011. Bundesanzeiger, Bonn. <http://www1.bgbli.de/> (letzter Zugriff 12.08.2016)
- BGBl – Bundesgesetzblatt (2016): Teil I, G 5702, Nr. 37 vom 29.07.2016. Bundesanzeiger, Bonn. <http://www1.bgbli.de/> (letzter Zugriff 12.08.2016)
- BImSchG – Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG). Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17.05.2013 (BGBl. I S. 1274), das durch Artikel 3 des Gesetzes vom 26.07.2016 (BGBl. I S. 1839) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschg/gesamt.pdf> (letzter Zugriff 12.08.2016)
- BiomasseV – Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung – BiomasseV). Biomasseverordnung vom 21.06.2001 (BGBl. I S. 1234), die zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 13.10.2016 (BGBl. I S. 2258) geändert worden ist. <http://www.gesetze-im-internet.de/biomassev/BiomasseV.pdf> (letzter Zugriff 17.07.2017)
- DIN EN ISO 14044:2006-10, Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006)
- DIN EN ISO 14040:2009-11, Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)
- DIN EN ISO 17225-1:2014-09, Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO 17225-1:2014)
- EEG 2014 – Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2014). Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21.07.2014 (BGBl. I S. 1066), das durch Artikel 9 des Gesetzes vom 26.07.2016 (BGBl. I S. 1786) geändert worden ist. Hinweis: Änderung durch Art. 9 G v. 26.7.2016 I 1786 (Nr. 37) noch nicht berücksichtigt. [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg\\_2014/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg_2014/gesamt.pdf) (letzter Zugriff 09.08.2016)
- EEG 2017 – Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2017). Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21.07.2014 (BGBl. I S. 1066), das durch Artikel 24 Absatz 29 des Gesetzes vom 23.06.2017 (BGBl. I S. 1693) geändert worden ist. [https://www.gesetze-im-internet.de/eeg\\_2014/BJNR106610014.html](https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BJNR106610014.html) (letzter Zugriff 17.07.2017)

- EnergieStG – Energiesteuergesetz. Energiesteuergesetz vom 15.07.2006 (BGBl. I S. 1534; 2008 I S. 660, 1007), das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 03.12.2015 (BGBl. I S. 2178) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/energiestg/gesamt.pdf> (letzter Zugriff 09.08.2016)
- EnWG – Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG). Energiewirtschaftsgesetz vom 07.07.2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 26.07.2016 (BGBl. I S. 1786) geändert worden ist. [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/enwg\\_2005/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/enwg_2005/gesamt.pdf) (letzter Zugriff 09.08.2016)
- GasNZV – Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen (Gasnetzzugangsverordnung – GasNZV). Gasnetzzugangsverordnung vom 03.09.2010 (BGBl. I S. 1261), die zuletzt durch Artikel 314 der Verordnung vom 31.08.2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist. [https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gasnzv\\_2010/gesamt.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gasnzv_2010/gesamt.pdf) (letzter Zugriff 09.08.2016)
- GenTG – Gesetz zur Regelung der Gentechnik (Gentechnikgesetz – GenTG). Gentechnikgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 16.12.1993 (BGBl. I S. 2066), das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 13 des Gesetzes vom 18.07.2016 (BGBl. I S. 1666) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/gentg/BJNR110800990.html> (letzter Zugriff 17.07.2017)
- HGB – Handelsgesetzbuch. Handelsgesetzbuch in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 4100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 05.07.2017 (BGBl. I S. 2208) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/hgb/HGB.pdf> (letzter Zugriff 17.07.2017)
- KWKG – Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz – KWKG). Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz vom 21.12.2015 (BGBl. I S. 2498), das durch Artikel 4 Absatz 74 des Gesetzes vom 18.07.2016 (BGBl. I S. 1666) geändert worden ist. [https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/kwkg\\_2016/gesamt.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/kwkg_2016/gesamt.pdf) (letzter Zugriff 09.08.2016)
- PatG – Patentgesetz. Stand: Neugefasst durch Bekanntmachung vom 16.12.1980; 1981 I 1; zuletzt geändert durch Art. 2 G v. 4.4.2016 I 558. <http://www.gesetze-im-internet.de/patg/> (letzter Zugriff 01.08.2016)
- Richtlinie 96/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.12.1996 betreffend gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt. Abl. L 27, S. 20-29. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0092&from=DE> (letzter Zugriff 06.07.2017)
- Richtlinie 98/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.12.1996 betreffend gemeinsame Vorschriften für den Erdgasbinnenmarkt. Abl. L 204, S. 1-12. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0030&from=DE> (letzter Zugriff 06.07.2017)
- Richtlinie 2009/72/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 13.07.2009 über gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt und zur Aufhebung der Richtlinie 2003/54/EG. Abl. L 211, S. 55-93. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0072&from=DE> (letzter Zugriff 09.08.2016)
- Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23.04.2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. Abl. L 140, S. 16-62. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=de> (letzter Zugriff 09.08.2016)



- Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 22.10.2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe. Abl. L 307, S. 1 – 20. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=DE> (letzter Zugriff 13.08.2016)
- Richtlinie (EU) 2015/412 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 11.03.2015 zur Änderung der Richtlinie 2001/18/EG zu der den Mitgliedstaaten eingeräumten Möglichkeit, den Anbau von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) in ihrem Hoheitsgebiet zu beschränken oder zu untersagen. Abl. L 68, S. 1-8. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0412&from=DE> (letzter Zugriff 17.07.2017)
- Richtlinie (EU) 2015/652 des Rates vom 20.04.2015 zur Festlegung von Berechnungsverfahren und Berichterstattungspflichten gemäß der Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Qualität von Otto- und Dieselmotorkraftstoffen. Abl. L 107, S. 26-67. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0652&from=DE> (letzter Zugriff 09.08.2016)
- Richtlinie (EU) 2015/1513 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 09.09.2015 zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG über die Qualität von Otto- und Dieselmotorkraftstoffen und zur Änderung der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Abl. L 239, S. 1-29. [http://www.ufop.de/files/2914/4258/1924/150915\\_Aenderungsrichtlinie\\_EU\\_Amtsblatt.pdf](http://www.ufop.de/files/2914/4258/1924/150915_Aenderungsrichtlinie_EU_Amtsblatt.pdf) (letzter Zugriff 09.08.2016)
- StromNEV – Verordnung über die Entgelte für den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen (Stromnetzentgeltverordnung – StromNEV). Stromnetzentgeltverordnung vom 25.07.2005 (BGBl. I S. 2225), die durch Artikel 3 des Gesetzes vom 26.07.2016 (BGBl. I S. 1786) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/stromnev/gesamt.pdf> (letzter Zugriff 13.08.2016)
- StromStG – Stromsteuergesetz. Stromsteuergesetz vom 24.03.1999 (BGBl. I S. 378; 2000 I S. 147), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 27.08.2017 (BGBl. I S. 3299; 2018 I 126) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/stromstg/StromStG.pdf> (letzter Zugriff 11.10.2017)