

Bilinguale englische experimentelle Lehr- Lernarrangements im Fach Biologie

Konzeption, Durchführung und Evaluation der
kognitiven und affektiven Wirksamkeit



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften
der Bergischen Universität Wuppertal

angefertigt am
Lehrstuhl für Zoologie und Biologiedidaktik

vorgelegt von
Margarethe Buse
Wuppertal im Juli 2017

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20171024-140432-7

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20171024-140432-7>]

Erstgutachterin: Frau Prof'in Dr. Angelika Preisfeld

Zweitgutachterin: Frau Prof'in Dr. Bärbel Diehr

Der Zukunft gewidmet.

Für Christian, Jakob, Jan, Katharina, Mathias, Melina, Oliver, Sebastian sowie Rosa und Reinhard.

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	8
1 EINLEITUNG – ANLASS	13
1.1 Biowissenschaftlicher Hintergrund.....	17
1.1.1 Das Gehirn – Ein lebendes Netzwerk	17
1.1.2 Die Anatomie und Ontogenese des Wirbeltiergehirns	18
1.1.3 Das Gehirn – zytologisch betrachtet	29
1.1.4 Physiologische Vorgänge in den Neuronen – Die Generierung und Weiterleitung von Aktionspotenzialen	33
1.1.5 Bildgebende Verfahren	42
1.1.6 Das Elektroenzephalogramm (EEG).....	45
1.1.7 Das Motorische System	52
1.1.8 Neuronale Plastizität	60
1.2 Fachdidaktischer Hintergrund.....	73
1.2.1 Lerntheoretischer Hintergrund	73
1.2.2 Biologiedidaktischer Hintergrund zum Lernen im Schülerlabor - Praktischer Experimentalunterricht im Schülerlabor.....	94
1.2.3 Bilingual-didaktischer Hintergrund zum Lernen im Schülerlabor - bilinguales Lernen in den Sekundarstufen	122
1.3 Forschungsschwerpunkte der Studie	145
2 MATERIAL UND METHODEN	154
2.1 Beschreibung der Stichprobenzusammensetzung	154
2.1.1 Stichprobe der Hauptstudie.....	154
2.1.2 Stichproben der Nebenstudien.....	159
2.1.3 Stichprobe der Lehrkräftebefragung (begleitende Lehrkräfte).....	161
2.2 Versuchsdesign der Evaluierung	161
2.2.1 Struktur der Studie	161
2.2.2 Versuchsdesign der Hauptstudie	162
2.2.3 Versuchsdesign der Nebenstudien	163
2.2.4 Versuchsdesign der Lehrkräftebefragung	165
2.3 Messinstrumente der Evaluierung	165
2.3.1 Messinstrumente der Hauptstudie	167
2.3.2 Messinstrumente der Nebenstudien	183
2.4 Überblick über die evaluierten Laborkurse	190

2.4.1	Lernvoraussetzung der Schülerinnen und Schüler	190
2.4.2	Struktur, Lernziele und Ablauf des Schülerlaborkurses „The Brain – A Living Network“ (in deutscher und englischer Sprache).....	191
2.4.3	Besonderheiten des bilingual durchgeführten Schülerlabortages	203
2.4.4	Materialien der mono- und bilingualen Schülerlabortage	205
2.4.5	Kurzcharakterisierung des bilingualen Schülerlabortages aus bilingualer Sicht	211
2.5	Vorgehensweise bei der Dateneingabe und Auswertung	212
2.5.1	Fehlwerte ersetzen	213
2.5.2	Itemanalyse des Wissenstests	213
2.5.3	Itemanalyse der Lese- und Schreibfähigkeit in englischer Sprache....	215
2.5.4	Itemanalyse der affektiven Messinstrumente	215
2.5.5	Prüfung der Daten auf Normalverteilung.....	216
2.5.6	Prüfung der Daten auf Korrelation	217
2.5.7	Statistische Tests – t-Test, ANOVA, ANCOVA und Post-Hoc-Test	217
2.5.8	Festlegung der Signifikanzniveaus	220
2.5.9	Untersuchung der Effektstärke.....	221
2.5.10	Bildung von Subgruppen durch hierarchische Clusteranalyse.....	222
2.5.11	Faktorenanalytische Berechnungen	222
2.5.12	Vorgehensweise bei der Berichtung der Einflüsse der Personenvariablen Migrationshintergrund und Geschlecht.....	223
2.5.13	Vorgehensweise bei der Auswertung in den Nebenstudien.....	223
2.5.14	Vorgehensweise bei der Auswertung der Lehrkräftebefragung	225
3	ERGEBNISSE.....	226
3.1	Kognitive Wirksamkeit	227
3.2	Clusteranalyse zur Identifikation von Lernertypen.....	233
3.3	Einfluss der Personenvariablen auf den Wissenstest bzw. auf den Cloze Test	241
3.3.1	Einfluss ausgewählter Personenvariablen auf den biowissenschaftlichen Wissenstest.....	241
3.3.2	Einfluss der Personenvariablen auf die Testergebnisse des Cloze Tests.	247
3.3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse zum Kompetenzgewinn	252
3.4	Ergebnisse affektiv	254
3.4.1	Ergebnisse der biowissenschaftlich ausgerichteten affektiven Skalen	254

3.4.2	Affektive Wirksamkeit fremdsprachlicher Ausrichtung	288
3.5	Korrelationen ausgewählter Konstrukte verschiedener Skalen	305
3.6	Ergebnisse der Nebenstudien	307
3.6.1	Nebenstudie I (Odenthal 2015).....	307
3.6.2	Ergebnisse Studie II (Heidemann 2015)	311
3.6.3	Ergebnisse Studie III (Thum 2015)	313
3.7	Lehrkräftebefragung	316
4	DISKUSSION.....	319
4.1	Methodendiskussion.....	319
4.1.1	Qualität der Messinstrumente	319
4.1.2	Versuchsdesign	323
4.1.3	Berücksichtigung von Störvariablen	323
4.2	Ergebnisdiskussion.....	324
4.2.1	Wissenserwerb	324
4.2.2	Affektive Wirksamkeit.....	333
4.3	Zusammenfassung und Ausblick.....	350
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	356
	TABELLENVERZEICHNIS	362
5	LITERATURVERZEICHNIS	367
	DANKSAGUNG	401
	ANHANG	402
	ERKLÄRUNG	407

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

α	Cronbachs α
Abb.	Abbildung
AMPA	α -Amino-3-Hydroxy-5-Methyl-4-Isoxazolepropionsäure-Rezeptor
ALM	Allgemeines Lineares Modell
ANCOVA	Analysis of Covariance (Kovarianzanalyse)
ANOVA	Analysis of Variance (Varianzanalyse)
BeLL Bio	Bergisches Lehr-Lernlabor der Biologie
Bsp.	Beispiel
CA	Cornu ammonis
CALP	Cognitive Academic Language Proficiency, (Kognitive akademische Sprachfähigkeit, Fachsprachlichkeit)
CLIL	Content and Language Integrated Learning
CT	Computertomografie
DESI	Deutsch Englisch Schülerleistungen International
EEG	Elektroenzephalogramm, Elektroenzephalografie
FSK	Fähigkeitsselbstkonzept, Selbstkonzept
griech.	griechisch
ID	Instructional Design
IGLU	Internationale Grundschul-Lese-Untersuchung
KMK	Kultusministerkonferenz
L1	Muttersprache (Schulsprache)
L2	Erste Fremdsprache
lat.	lateinisch
LDP	Langzeitdepression (<i>long term depression</i>)
LTP	Langzeitpotenzierung (<i>long term potentiation</i>)
M1	Primärer Motorcortex
MRT	Magnetresonanztomografie (fMRT funktionelle MRT)
MSW NRW	Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen
NMDA	N-Methyl-D-Aspartat- Komplex (Rezeptor)
n.s.	nicht signifikant
η^2	Partielles Eta-Quadrat (Maß der Effektstärke für abhängige <i>t</i> -Tests)

ω^2	Omega-Quadrat (Maß der Effektstärke für unabhängige <i>t</i> -Tests)
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PET	Positronen-Emissions-Tomografie
PIRLS	Progress in Reading Literacy Studies
PISA	OECD Programme for International Student Assessment
PMA	Prämotorisches Areal
r	Korrelationskoeffizient
SD	Standard Deviation (engl.), Standardabweichung
SMA	Supplementär-motorisches Areal
SuS	Schülerinnen und Schüler
TIMSS	Trends in International Mathematics and Science Studies
u.a.	unter anderem
va, ba, na	Kürzel der affektiven Variablen im Vortest (Pretest), Behaltenstest (Posttest) und Nachtest (Follow up Test)
Vgl.	Vergleiche
VL-Kerne	Nucleus ventralis lateralis (Kerne des Thalamus)
z.B.	zum Beispiel
ZNS	Zentrales Nervensystem

ABSTRACT

In a globalized world, issues of general interest in politics, economics or sciences and engineering are very often discussed in English among the various parties concerned. Accordingly, the European Commission's policy aims at all children having a command both of their native language and two foreign languages at a high functional level.

Education based on content and language integrated learning (CLIL) is considered a successful model of teaching, helping both to learn a foreign language and to learn within that language a subject other than, for instance, English. At the same time, comparative studies such as PISA reveal heterogeneous knowledge among German students both in reading and scientific literacy. Thus, CLIL teaching/learning arrangements need to master heterogeneity, facilitate subject-related learning and support multilingualism, assuring subject-related knowledge in both the mother tongue and the foreign language.

Accordingly, the study in question offers scientific education on neurobiology in an experimental out-of-school teaching intervention for senior students. The study deals with the question as to how far teaching Biology in a CLIL setting with English as a foreign language affects the students' motivation and acquisition of scientific knowledge. To answer these questions a quantitative study with a quasi-experimental, pre-post-follow-up-design with a CLIL teaching/learning arrangement in English and a monolingual teaching/learning arrangement in German has been conducted (N=218). The self-concepts, the specific interests in the subjects concerned as well as experiment-related interests and flow experience were explored as biological and CLIL-related motivational variables.

Results revealed significant increase of cognitive knowledge in both treatments with equally high results. Overall the experiment-related motivational variables showed a treatment-independent level and development. However, identified learner types were apparently affected differently. While students primarily interested in Biology showed a short- and long-term rise in the self-concept of CLIL, students primarily interested in English showed a long-term rise in it. Additionally, all-rounders, interested both in English and Biology, showed a long-term decrease in pressure sensitivity caused by the scientific CLIL intervention. In the long term, students interested in Biology regarded the use of English in the scientific context as more authentic than any of the other groups. In conclusion, the results obtained on the scientific experimental out-of-school intervention with a CLIL setting showed that students of different preferences

could be equally well affected motivationally and cognitively. At the same time, it could be demonstrated that students develop scientific knowledge which they could perform in both English and German.

ZUSAMMENFASSUNG

Gesellschaftlich relevante Themen werden zunehmend international diskutiert und verhandelt und besonders im naturwissenschaftlich-technischen Bereich wird Englisch häufig als Kommunikations- und Arbeitssprache genutzt. Entsprechend wird seitens der Europäischen Kommission sprachliche Förderung in der Muttersprache und zwei Fremdsprachen auf möglichst hohem berufstauglichem Niveau angestrebt. Dabei wird bilingualer Unterricht als erfolgsversprechendes Lehr-Lernarrangement zur Entwicklung dieser Mehrsprachigkeit angesehen. Andererseits belegen Lernstudien für den deutschsprachigen Raum Entwicklungsbedarf im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundkenntnisse und Lesekompetenz. Sie belegen außerdem eine heterogene Leistungsverteilung in Lerngruppen. Folglich gilt es, Lernangebote zu entwickeln und mit ihnen zu untersuchen, ob experimentelle bilinguale Unterrichtsangebote das Potential haben, Sachfachlichkeit sowie Mehrsprachigkeit in der L1 und L2 zu fördern und ob sie einer Förderung der Mehrsprachigkeit auch für heterogene Lerngruppen dienen.

Das vorliegende Unterrichtsangebot „The Brain – A Living Network“ gab in naturwissenschaftlicher Hinsicht Einblicke in biologisch-medizinische Arbeitsweisen und verknüpfte bilingualen mit einem experimentellen Unterricht als außerschulisches Lernangebot. Das Lehr-Lernarrangement verstand sich als bilinguales Angebot für alle Lernenden auch ohne bilinguale Vorerfahrung, in dem das sachfachliche Lernen im Mittelpunkt stand und sprachlich intensiv interagiert wurde. Dieser ganztägige Schülerlabortag zur Neurobiologie für die SEK II wurde bilingual englisch und monolingual-deutsch durchgeführt und beforscht. Die quasiexperimentelle Stichprobe mit quantitativem Ansatz als Paper & Pencil Tests im Pre-, Post- und Follow-up-Design explorierte kognitive und affektive Daten. Neben dem sachfachlichen Wissen wurde die fremdsprachliche Sprachkompetenz untersucht. Erhoben wurden affektive Daten zur Durchführungs- und Auswertungskompetenz, zum Sach- und Fachinteresse Biologie und Englisch sowie zu sprachlichen und biologischen Fähigkeitsselbstkonzepten. Zusätzlich wurde das Flow-Erleben in den Experimentalsituationen beforscht. Qualitative Untersuchungen zum Concept

Mapping, zu Diskursfunktionen in englischer Sprache sowie zum Sprachgebrauch in englischer und deutscher Sprache im Pre- und Post-Design ergänzten die in der Hauptstudie vorgenommenen Untersuchungen.

In der vorliegenden Studie kann grundlegend die Machbarkeit des entwickelten Schülerlabortages zur Neurobiologie belegt werden. Weiterhin kann ein Wissenszuwachs bei den verschiedenen Lerngruppen ermittelt werden. Ein Vergleich des Wissenszuwachses bei bilingual englisch und monolingual-deutsch Unterrichteten zeigte in dieser Studie gleichwertige Ergebnisse. Auch mittels Concept Mapping wurde homogener, differenzierter und vernetzter Wissenszuwachs abgebildet. Insgesamt wird für die experimentbezogenen Variablen eine weitest gehende Treatment-Unabhängigkeit ermittelt. Für die anhand affektiver Variablen identifizierten Lernertypen wurden unterschiedliche Wirksamkeiten registriert: Während biologisch interessierte Lernende kurz- wie langfristig ein erhöhtes bilinguales Fähigkeitsselbstkonzept zeigen, wird diese Steigerung bei fremdsprachlich Interessierten langfristig sichtbar. Zudem zeigen sowohl sprachlich als auch biologisch interessierte Allrounder langfristig einen Abfall des Druckempfindens. Biologisch Interessierte schätzen langfristig die Bedeutung der Fremdsprache in der naturwissenschaftlichen Forschung höher ein. Aufgrund der identifizierten affektiven und kognitiven Ergebnisse kann insgesamt für das dieser Studie zugrundeliegende, bilinguale experimentale Lehr-Lernarrangement eine sehr homogene Wirksamkeit auf eine heterogene Schülerschaft angenommen werden. Auch kann belegt werden, dass eine doppelte Sachfachliteralität erzielt wurde.

1 EINLEITUNG – ANLASS

Einerseits besteht gesellschaftlich ein großer Bedarf an sachfachlich und sprachlich gut ausgebildeten Bürgern und das Bestreben nach Erziehung zu verantwortungsbewusstem Denken und Handeln in der Gesellschaft (Reinmann und Mandl 2006). Andererseits weisen Lernstudien wie PISA und TIMSS national Optimierungsbedarf in den Bereichen naturwissenschaftliche Grundbildung (Scientific Literacy) und Lesekompetenz (Klieme et al. 2010; Schiepe-Tiska et al. 2013; Klieme et al. 2010; Bos 2012) aus. Auch legen Studien bezüglich der Fremdsprachenkenntnisse heterogene Bedingungen in Lerngruppen besonders in Gymnasien und Realschulen dar (DESI-Konsortium 2008).

Dem in den Naturwissenschaften oft bemängelten fehlenden Alltagsbezug und der fehlenden Experimentiertätigkeit in der Schule kann durch Entwicklung von kontextualisierten Lehr-Lernarrangements in Schülerlaboren begegnet werden (Glowinski 2007; Pawek 2009; Scharfenberg 2005; Brandt 2005; Damerau 2012). Schülerlabore bieten eine forschungsnahe, authentische Lernumgebung, welche praxisnah anwendungsorientierte Anteile besitzt und deren Relevanz für die Lernenden deutlich wird (Damerau 2012). Sie sind wissenschaftspropädeutisch, indem sie den Gang des wissenschaftlichen Erkenntniswegs nachvollziehen und Experimente der aktuellen Forschung aufgreifen. Anhand biologischer Fragestellungen wird so experimentell vernetztes Wissen erworben, Problemlösefähigkeit eingeübt und somit die Studierfähigkeit der Lernenden unterstützt. Die Themen und Methoden (Arbeitsweisen) der Schülerlaborkurse sind lehrplanrelevant an die Inhaltsbereiche der Richtlinien und Kernlehrpläne angepasst. Forschungen in Schülerlaborkursen untersuchten bislang die Akzeptanz seitens Lernender, die Motivation, das Interesse und den Wissenserwerb. Schlussfolgerungen ziehen zu können und Problemlösefähigkeit im Laborunterricht zu schulen, ist explizites Ziel von Schülerlaboren (Hofstein und Lunetta 2003). Ein Forschungsdesiderat ist es, die affektive und kognitive Wirksamkeit von Schülerlabortagen gemeinsam zu explorieren. Aktuell bilden die Förderung von Kompetenzen, die Entwicklung von Interessen sowie die Erhöhung des Fähigkeitsselbstkonzeptes den zentralen Gegenstand von Schülerlaborforschung.

Als sprachliches Leitziel der Schulen formuliert die Europäische Kommission die Förderung der Mehrsprachigkeit in kommunikativer Ausrichtung und mit möglichst hohem berufstauglichen Niveau (European Commission 2004). Schulisch führt dieses in Deutschland zur (Weiter-)Entwicklung des bilingualen Sachfachunterrichts und auch zur Aufnahme von sachfachlichen Themen in das Englischcurriculum der Qualifikationsphase (MSW NRW 2013a). Bilingualer Unterricht wird zunehmend neben den Gesellschaftswissenschaften auch in den Naturwissenschaften und hier besonders in der Biologie erteilt (Bohn 2013; Bohn und Doff 2010; Bonnet 2015). Bildete in vergangenen Jahren der fremdsprachliche Zugewinn (Bredenbröcker 2000; Lasagabaster 2011; Piske 2015) den Schwerpunkt in der bilingualen Forschung, so werden inzwischen sachfachliche Kompetenzgewinne untersucht. Erste Ergebnisse zu sachfachlichem Wissenserwerb liegen in den naturwissenschaftlichen bilingualen Fächern vor, die z.T. minderwertige Ergebnisse im Vergleich zu monolingual-deutsch durchgeführten Kursen aufweisen (z.B. Bohn und Doff 2010; Hartmannsgruber 2014; Rodenhauser 2016; Osterhage 2009) und z.T. gleichwertige beziehungsweise partiell gleichwertige Ergebnisse belegten (Osterhage 2009; Rodenhauser 2016; Baker 2002; Buse und Preisfeld 2016; Rodenhauser und Preisfeld 2015, 2016). Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des bilingualen Unterrichts scheint bislang noch umstritten. Zuweilen wird kritisiert, dass unterschiedliche Voraussetzungen und Leistungsstände im Zuge der Bildung von bilingualen Zügen als Pretestunterschiede keine Berücksichtigung finden und die genuine Wirkung bilingualen Unterrichts nicht ermittelt wird (Rumlich 2013). Nur vereinzelt liegen Ergebnisse zur motivationalen Wirksamkeit bilingualen Unterrichts vor (Lasagabaster 2011). Auch ist die Erreichung der doppelten Sachfachlateralität und der Gebrauch der Muttersprache wenig untersucht (Diehr 2012, 2016). Die Verknüpfung von Experimentalunterricht und fremdsprachlicher Förderung ist bislang ebenfalls wenig realisiert und im Rahmen von bilingualer Schülerlaborforschung kaum untersucht (Rodenhauser 2016) worden.

Folgende Charakteristika bestimmen den entwickelten und später vorgestellten Schülerlabortag: Inhaltlich betrachtet bearbeiten die Kursteilnehmenden die Thematik des lernenden Gehirns in vier Experimentalkomplexen: i) aus der Perspektive des sichtbaren Lernverhaltens beim motorischem Lernversuch, ii) aus der des bildgebenden Verfahrens bei der Elektroenzephalografie, iii) in anatomischer Hinsicht bei der Präparation des Schweinhirns und iv) in zytologischer Sicht bei der Identifikation der Pyramidenzellen. Methodisch werden die fachspezifischen

Arbeitsweisen des Mikroskopierens, der Herstellung von mikroskopischen Präparaten, des Präparierens und des Experimentierens eingeübt. Weiterhin wird der Einsatz von Anwendungs-Software, das computerbasierte Sammeln und Darstellen von Ergebnissen, das Erstellen einer Abschlusspräsentation sowie der sachfachliche Austausch und das Halten eines Vortrags in der Zielsprache erprobt. In sozialer Ausrichtung kennzeichnet den Schülerlabortag das arbeitsteilige Experimentieren in Kleingruppen von maximal 4 Schülerinnen und Schülern mit Einnahme wechselnder Rollen beim Experimentieren.

Das im Rahmen dieser Arbeit dargelegte Forschungsvorhaben des experimentell ausgerichteten Lehr-Lernarrangements verknüpft das praktische Arbeiten mit fremdsprachlicher Kommunikation. Biologiedidaktisch basiert dieser Schülerlabortag auf dem gemäßigten Konstruktivismus (Reinmann und Mandl 2006). Eine Typisierung aus sprachlicher Sicht wird anhand der Modelle von Krechel (2013a) und Diehr (2012) vorgenommen. Vergleichend mit einem monolingual-deutsch durchgeführten Kursus wird untersucht, ob ein bilingualer Schülerlabortag einen gleichwertigen kognitiven Wissenszuwachs erbringt. Gleichzeitig ist von zentralem Interesse, ob nicht-bilingual vorgebildete Lernende einen bilingualen Schülerlabortag in gleichem Maße erfolgreich absolvieren. Die kognitive Wirksamkeit wird in sachfachlich-biologischer und sprachlicher Hinsicht beleuchtet. Die affektive Wirksamkeit wird ebenfalls in biologisch-experimenteller und sprachlich-bilingualer Hinsicht exploriert. Da in diesem Forschungsvorhaben sachfachliche, fremdsprachliche und motivationale Konstrukte im Pre-, Post- und Follow-up-Design erhoben werden, kann die Wirksamkeit des Lehr-Lernarrangements auf die untersuchten Variablen betrachtet werden. Zudem besteht aufgrund der in Nebenstudien qualitativ erhobenen Ergebnisse eine Verknüpfungsmöglichkeit zu den quantitativ ermittelten Daten. Weiterhin wird exploriert, ob aufgrund von Personenvariablen Lernertypen identifiziert werden können. Zu untersuchen ist auch, ob anhand identifizierter Lernertypen eine gruppendifferenziert unterschiedliche kognitive und affektive Wirksamkeit des experimentellen Lehr-Lernarrangements belegt werden kann.

Abschließend erfolgt die Vorstellung der Struktur der vorliegenden Thesis. Zur Beantwortung der allgemeinen Forschungsfrage wird zunächst der biologiewissenschaftliche, lerntheoretische und fachdidaktische Hintergrund erläutert, dem sich die Formulierung der Forschungsfragen und Hypothesen anschließt. Im

Material- und Methoden-Teil werden das Versuchsdesign, die entwickelten monolingual-deutsch und bilingual englisch durchgeführten experimentellen Lehr-Lernarrangements mit dem Titel „The Brain - A Living Network“, die verwendeten Messinstrumente und Untersuchungsmethoden vorgestellt. Im Ergebnisteil werden zunächst die Forschungsfragen in kognitiver sachfachlicher und fremdsprachlicher Sicht und hiernach die Forschungsfragen der affektiven Wirksamkeit beantwortet. Abschließend werden die Ergebnisse auf der Basis der einführend formulierten Forschungsfragen und Hypothesen diskutiert und in Hinblick auf die übergeordnete Fragestellung nach kognitiver und affektiver Wirksamkeit des Lehr- Lernarrangements beleuchtet.

1.1 Biowissenschaftlicher Hintergrund

Im Folgenden wird der fachwissenschaftlich-theoretische Hintergrund zu den wissenschaftlichen Experimenten des Schülerlabortages „The Brain - A Living Network“ vorgestellt. Im Labortag wird die Ebene „motorisches Lernen“ anhand eines *Cup stacking*-Versuches, das bildgebende Verfahren am Beispiel des Elektroenzephalogramms, die Gehirnanatomie anhand der Präparation des Schweinehirns und die zelluläre Ebene exemplarisch in der Präparation von kortikalen Pyramidenzellen bearbeitet. Die Vorstellung des Laborkurses selbst erfolgt in Kapitel 2.

1.1.1 Das Gehirn – Ein lebendes Netzwerk

Die Forschung zur Neurobiologie und zum Lernen belegt, dass Menschen zu lebenslangem Lernen fähig sind und dass das menschliche Gehirn einen lebenslangen sowie ständigen Umbau vollzieht, der durch Stimuli aus seiner Umwelt initiiert wird. Dieser Prozess des ständigen Aufbaus neuer Verbindungen und des Abbaus nicht benötigter Verbindungen wird als Neuroplastizität bezeichnet. Frühe Erfahrungen beeinflussen, wie und was Menschen in ihrem späteren Leben in der Schule und danach lernen. Es gibt Hinweise darauf, dass sich zumindest einige Neuronen regenerieren bzw. neugebildet werden können und so das Lernen und das Gedächtnis unterstützen. Für die adulte Neurogenese im Hippocampus ist dieses beispielsweise belegt (Bischofberger und Schmidt-Hieber 2006; Bergami et al. 2015). Ebenso legen Ergebnisse aus der neurobiologischen Forschung nahe, dass Emotionen Einfluss auf Lernen, Gedächtnis und Abruf von Gelerntem ausüben (z.B. Hascher 2005; Hascher und Edlinger 2008).

Von besonderem Interesse im schulischen Bereich sind die Umbauprozesse im Gehirn im Zuge der Pubertät (Adoleszenz): So erfolgt der Abbau nicht benötigter Verbindungen und es kommt insgesamt zu einem verstärkten Abbau grauer Substanz sowie einem erheblichen Aufbau weißer Substanz. Bedeutsam ist die Reifung präfrontaler Netzwerke, die der kognitiven Kontrolle von Emotionen dienen. Charakterisierend für die Adoleszenz ist das Eingehen riskanter Entscheidungen, die mit einer langsamen Entwicklung der Fähigkeit zur Impulskontrolle und Verhaltenssteuerung sowie einer besonderen Responsivität des Belohnungssystems erklärbar ist und zudem durch emotionale und soziale Faktoren beeinflusst wird (Blakemore und Robbins 2012; Asato et al. 2010). Die Adoleszenz kann entsprechend

neurobiologisch als eine Phase des Hirnumbaus, der Hirnreifung und als kritische Entwicklungsperiode emotionalen Erlebens und Verhaltens betrachtet werden.

Weiterhin belegt die neurobiologische Forschung, dass circadiane Zyklen das Lernen und Lehren beeinflussen. So konnten Bear et al. (2009) den Einfluss von Schlaf und Schlafentzug auf das Lernen darstellen. Intelligenz und Kreativität - zwei eigenständige Fähigkeiten - scheinen durch die Umgebung und die Schule formbar zu sein. Auch der Einfluss des sozialen und kulturellen Schullebens bzw. der Einfluss von Emotionen auf das Lernen und Unterrichten ist inzwischen beforscht (z.B. Krapp 2005a, 2005b). Es liegen neue Erkenntnisse über verschiedene Aspekte der Gedächtnisbildung, beispielsweise über das Arbeitsgedächtnis vor (Sousa 2012). Modellorganismen für neurologische Forschung sind sowohl Säugetiere als auch Weichtiere. Der zelluläre Aufbau der Großhirnrinde von Säugetieren allgemein und der des Menschen ist fast identisch. Weichtiere, wie die Meeresschnecke *Aplysia californica* dienen als Modellorganismen, indem zelluläre und molekulare Mechanismen des Lernens an ihnen erforscht werden (Kandel 2005). Insbesondere ist der zelluläre Aufbau von Nervenzellen in Dendriten, Axone und Soma sehr vergleichbar. Die Meeresschnecke und der Mensch verfügen weiterhin über viele identische Neurotransmitter. Ergebnisse der Forschung beim Modellorganismus *Aplysia* können deshalb oft direkt auf die höheren Säuger übertragen werden (Kandel 2005). Diese Forschungsergebnisse und weitere Forschungsdesiderate machen die Thematik Gehirn und Lernen sowohl in biowissenschaftlicher als auch in fachdidaktischer Hinsicht zu einem lohnenden Forschungsthema.

1.1.2 Die Anatomie und Ontogenese des Wirbeltiergehirns

Es wird zunächst die Ontogenese des Wirbeltiergehirns am Beispiel des Menschen erörtert, bevor die für den Laborkurs Neurobiologie relevanten Strukturen und Funktionen des menschlichen Gehirns dargestellt werden. Abschließend werden die Unterschiede zum Schweinehirn herausgestellt.

Das menschliche Gehirn aus 100 Milliarden Zellen bestehend ist ca. 1400 g schwer, macht weniger als 2% der Körpermasse aus und benötigt dennoch ca. 20% des Gesamtgrundumsatzes (Sousa 2012). Es ist Steuer- und Informationszentrale zugleich, verarbeitet alle Sinnesleistungen und induziert Reaktionen, steuert unsere Bewegung und alle Vorgänge im Körper. Weiterhin prozessiert es Sprechen und Denken und ist Sitz des Gedächtnisses. Ein Vergleich der Wirbeltiere offenbart

evolutionäre Tendenzen: Die Gliederung in Vorder-, Zwischen-, Mittel-, Kleinhirn und Hirnstamm lässt sich bei allen Wirbeltieren gut nachverfolgen. Auch ist der evolutionäre Trend der Telencephalisierung deutlich. Beim Menschen ist die Ausdehnung des Großhirns sehr augenscheinlich und folglich die Entwicklung des Endhirns am weitesten fortgeschritten. Das Cerebrum ist von zentraler Bedeutung für sensorische Wahrnehmung, Lernen, Gedächtnis und bewusstes Verhalten. Vor allem die Konnektivität, die Verknüpfung von Hirnbereichen sowie Neuronen untereinander, ist maßgeblich für die besondere Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns verantwortlich (Purves 2011).

Ontogenetisch betrachtet ist das menschliche Gehirn im ständigen Wandel begriffen: Im Verlauf der menschlichen Individualentwicklung nimmt das Gehirn an Volumen zu. Schon 12 Tage nach Zeugung bilden Nervenzellen erste Schaltkreise aus. Bei der Geburt sind im Gehirn über 100 Milliarden Nervenzellen ausgebildet. Schon vier Wochen nach der Befruchtung startet die neuronale Entwicklung. Vier Monate danach sind 200 Milliarden Neuronen gebildet, von denen die Hälfte im Verlaufe des fünften Monats abgebaut wird, weil einige Neuronen keine Verknüpfungen im heranwachsenden Embryo herstellen. Das gezielte Absterben von Neuronen ist genetisch fixiert und bewirkt, dass nur jene Neuronen bestehen bleiben, welche erfolgreich Verknüpfungen zu anderen Neuronen hergestellt haben (Sousa 2012).

Wie in Abbildung 1 am Menschen gezeigt, entwickeln sich während der Ontogenese aller Wirbeltiergruppen aus dem vorderen Bereich des Neuralrohrs zunächst drei Bestandteile: das Vorderhirn (Prosencephalon), das Mittelhirn (Mesencephalon) und das Rautenhirn (Rhombencephalon) (Purves 2011). Der hintere Teil des Neuralrohrs entwickelt sich zum Rückenmark. Der in diesem frühen Entwicklungsstadium sichtbar werdende lineare Aufbau spiegelt den Informationsfluss auch im voll entwickelten Gehirn wider (Bear et al. 2009).

Aus den drei embryonal vorliegenden Hirnbereichen entwickeln sich die weiteren Strukturen des adulten Gehirns. Aus dem Prosencephalon entwickeln sich Cerebrum (Telencephalon, Großhirn) und Diencephalon (Zwischenhirn). Aus dem embryonalen Mesencephalon entwickeln sich jene Strukturen, die Aspekte visueller und auditiver Informationen verarbeiten. Aus dem Rautenhirn entwickeln sich das Cerebellum, der *Pons* und die *Medulla oblongata* als Fortsatz des Rückenmarks (*Medulla spinalis*). Der

Hirnstamm, der aus Mittelhirn und Nachhirn (*Pons* und *Medulla oblongata*) besteht, wird zusammen mit dem Zwischenhirn als Stammhirn bezeichnet.

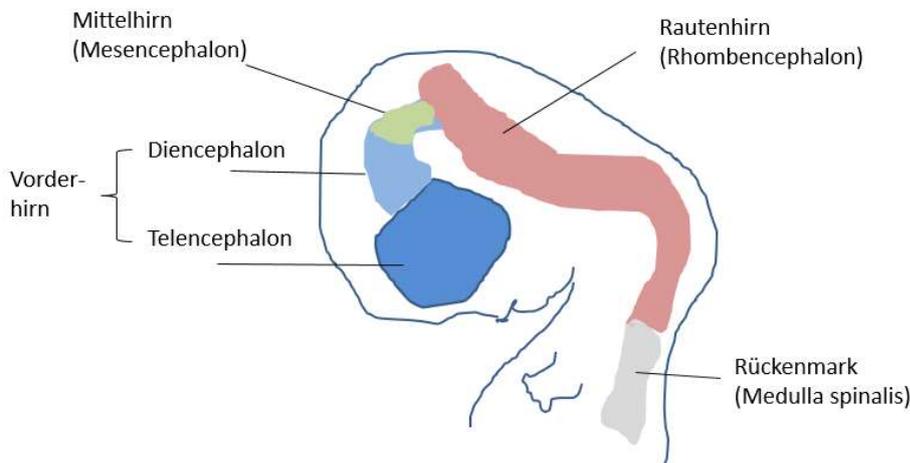


Abbildung 1: Frühe Embryonalentwicklung des menschlichen Nervensystems (nach 60 Tagen), verändert nach Purves (2011)

Die Neuronen eines Neugeborenen sind noch unreif: Vielen von ihnen fehlt die Myelinscheide und sie verfügen lediglich über wenige Verknüpfungen (Sousa 2012). Im Laufe der postnatalen Entwicklung besteht eine wesentliche Veränderung nachfolgend in der Ausbildung von Synapsen sowie von Neuroglia und Myelinscheiden. Im Alter von zwei Jahren entspricht die Synapsenzahl schon der von Erwachsenen.

Das Nervensystem ist grundsätzlich aus zwei Zellarten aufgebaut, aus den Neuronen und den Gliazellen (Campos-Ortega 2001). Neuronen, die funktionelle Einheit des Nervensystems, führen ihre Aufgaben nicht isoliert, sondern in Neuronenverbänden (*cell assemblies*) durch. Dabei sind Neuronen keine fest verdrahteten Funktionseinheiten, sondern eine Vielzahl lebender Neuronenverbände, die sich aufgrund von sensorischen Erfahrungen z.T. individuell verschieden, strukturell und funktionell verändern und so Neuroplastizität zeigen. Das Lernen bedingt so eine ungleiche Plastizität. Ein Neuron kann bis zu 10 000 Synapsen tragen, was bedeutet, dass das menschliche Gehirn insgesamt über 1 Billiarde (10^{15}) synaptische Verbindungen aufweisen kann, eine unglaublich große Zahl von Verknüpfungen, die dem Menschen das Verarbeiten und Speichern von vielen Daten über Jahrzehnte ermöglicht. Es erlaubt das Erinnern und Erkennen von Gesichtern, Plätzen sowie das Lernen von Sprachen (Sousa 2012).

Neuere Forschungsergebnisse belegen, dass sogenannte Spiegelneuronen sowohl die Wahrnehmung als auch die Durchführung von Bewegungsabläufen steuern. Neurobiologen nehmen an, dass diese Spiegelneuronen u.a. dazu dienen, dass Individuen die Intentionen ihres Gegenübers dekodieren und so dessen Verhalten vorhersagen können. Sie ermöglichen auch die Umsetzung der von anderen gemachten Erfahrungen, den Nachvollzug der damit verbundenen Emotionen und sind Grundlage für erlebte Empathie (Sousa 2012).

Das adulte menschliche Gehirn

Betrachtet man das menschliche Gehirn in seitlicher Ansicht von außen (vgl. Abbildung 2), können drei Regionen unterschieden werden. Dies sind der Hirnstamm, dem das Kleinhirn aufliegt und an den sich nach vorne und oben das stark entwickelte und massiv gefaltete Großhirn anschließt. Das Kleinhirn, welches von geringerer Größe als das Großhirn ist, enthält jedoch genauso viele Neuronen wie dieses und ist maßgebliches Bewegungskontrollzentrum und mit dem Großhirn sowie dem Rückenmark umfangreich verbunden. Der Hirnstamm, der aus Zellen und Fasern besteht, verknüpft das Großhirn mit dem Rückenmark und dem Kleinhirn in beide Richtungen auf- und absteigend (Bear et al. 2009). Gehirn und Rückenmark bilden das Zentrale Nervensystem (ZNS) und dienen der Verarbeitung, Speicherung und dem Abruf von Informationen.

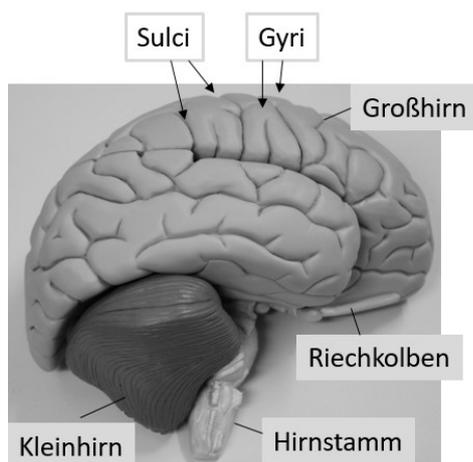


Abbildung 2: Menschliches Gehirn in seitlicher Außensicht (Modell). Grau unterlegt sind die Hirnregionen¹.

Das Gehirn integriert und kontrolliert alle Aktivitäten und Bewegungen. Die 5 Hauptregionen des Wirbeltiergehirns werden im Medialsagittalschnitt sichtbar

¹ So nicht anders ausgewiesen, sind die Fotos eigene Aufnahmen und die Abbildungen von der Autorin erstellt.

(Abbildung 2): Das Großhirn, das Kleinhirn, das Diencephalon (Zwischenhirn), das Mesencephalon (Mittelhirn) und das Nachhirn werden im Folgenden in Struktur und Funktion kurz vorgestellt.

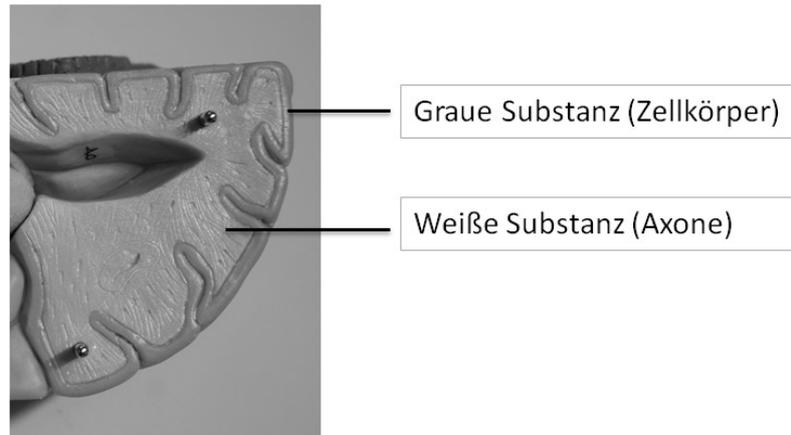


Abbildung 3: *Substantia grisea* (Graue Substanz) und *Substantia alba* (Weiße Substanz) der Großhirnrinde (Menschliches Gehirn, Modell)

Von oben dorsal betrachtet überdeckt das Großhirn, auch Cerebrum, Telencephalon oder Endhirn genannt, alle anderen Hirnbestandteile und ist der größte, stark gefaltete Gehirnbestandteil: Oberflächenvergrößernd bildet es Sulci, die Furchen des Großhirns, und Gyri, die Aufwölbungen des Großhirns (Abbildung 3). Im Querschnitt wird sichtbar, dass das Großhirn aus zwei Schichten aufgebaut ist (Abbildung 3): Es besteht aus einem äußeren Neocortex (auch *Cortex cerebri*, Großhirnrinde, zerebraler Cortex, graue Substanz), welches reich an Zellkörpern der Pyramidenzellen und deren Dendriten ist, ca. 4 mm dick und ausgebreitet die Fläche eines Quadratmeters einnimmt. Diesem folgt nach innen die Axone und Myelinzellen enthaltende weiße Substanz (*Substantia grisea*). Das Großhirn kann in zwei zerebrale Hemisphären unterteilt werden, wobei die Neuronen der rechten Hemisphäre die linke Körperseite kontrollieren sowie steuern und umgekehrt. Die beiden Hemisphären sind über den Balken (*Corpus callosum*, Abbildung 4) verbunden. Dieser besteht aus weißer Substanz, d.h. hauptsächlich aus Axonen und Myelinscheiden, welche die Zellkörper im Neocortex untereinander und verschiedene Hirnregionen miteinander verbindet. Die Großhirnrinde ist der Ort, der mit menschlichem Verstand und menschlicher Wahrnehmung assoziiert ist (Bear et al. 2009).

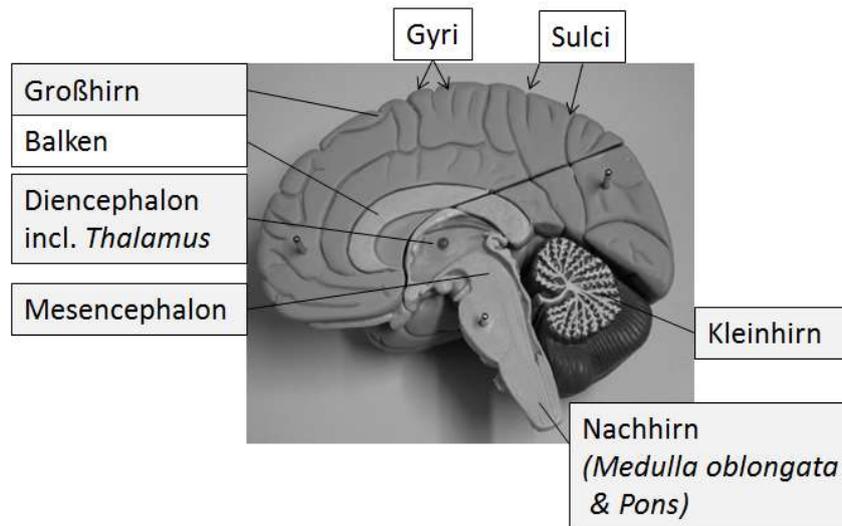


Abbildung 4: Querschnitt durch das menschliche Gehirn (Medianschnitt, Modell). Grau hinterlegt sind die Hauptregionen des Gehirns.

Des Weiteren liegen zwei wichtige Strukturen unterhalb des Neocortex: die Basalganglien (nicht in der Abbildung sichtbar) und der Hippocampus (lat. Seepferdchen). Die Basalganglien bewirken zusammen mit dem Zwischenhirn (Thalamus) eine Feineinstellung und Kontrolle des motorischen Lernens. Sie fungieren als wichtige Filter für diverse Informationen aus verschiedensten Bereichen des Großhirns. Weiterhin dienen sie bei der Erstellung von Motorprogrammen der Rückkopplung zwischen Neocortex und Thalamus (Abbildung 4). Der Hippocampus ist bei der Speicherung von Informationen von besonderer Bedeutung und dient der Überführung von Gedächtnisinhalten vom Kurzzeitgedächtnis in das Langzeitgedächtnis (Purves 2011). Zudem gleicht er permanent im Arbeitsgedächtnis eintreffende Informationen mit abgespeicherten Informationen ab und dient so der Bedeutungssuche. Interessanterweise besitzt der Hippocampus lebenslanglich die Fähigkeit der Neurogenese, der Bildung neuer Neuronen (Bischofberger und Schmidt-Hieber 2006; Bergami et al. 2015).

Das *Cerebellum* oder Kleinhirn (lat. kleines Hirn), als Ausstülpung des *Pons* entstanden (Bear et al. 2009; Purves 2011), grenzt an diesen und ist über eine Vielzahl von Fasersträngen mit dem Hirnstamm verbunden. Es kann ebenfalls in zwei Hemisphären unterteilt werden, besteht aus weißer und grauer Substanz und weist an seiner Oberfläche ebenfalls ausgeprägte Faltungen auf. Darüber hinaus verfügt es über eine höhere Zellanzahl als alle anderen Gehirnbereiche zusammen (Sousa 2012). Seine Funktionen sind die Koordination der Muskeltätigkeit, der Erhalt des

Gleichgewichts, der Abgleich von Befehlen aus höheren Gehirnregionen mit der tatsächlichen Bewegung und die Feinabstimmungen von motorischen Befehlen (Purves 2011). Weiterhin dient es dazu, die Kraft und das Ausmaß der Bewegungen zu regulieren und zu speichern, automatisierte Motorprogramme zu steuern und ist beim Erlernen motorischer Fertigkeiten von Bedeutung.

Das Nachhirn (Abbildung 4) besteht aus der *Medulla oblongata* (Verlängertes Mark) und dem *Pons* (Brücke). Die *Medulla oblongata* ist direkt über dem Rückenmark gelegen und steuert lebenswichtige Funktionen wie Verdauung, Atmung und Kontrolle des Herzschlags. Sie enthält u.a. die auf- und absteigenden Fasern der Pyramidalbahnen. Der *Pons*, oberhalb der *Medulla oblongata* lokalisiert, sendet unter anderem Informationen zu Bewegungsvorgängen zwischen Groß- und Kleinhirn. Das Mesencephalon (Mittelhirn, vgl. Abbildung 4), oberhalb des *Pons* gelegen, steuert viele sensorische und motorische Funktionen, wie die Augenbewegung oder die Koordination visueller und auditiver Reflexe. Das Diencephalon (Zwischenhirn, Abbildung 4) liegt oberhalb des Mittelhirns und enthält u.a. den Thalamus (griech. Kammer), der für die Informationsverarbeitung bedeutsam ist: Der Thalamus prozessiert einen Großteil der Informationen, die das Großhirn aus dem ZNS erreichen und verschaltet Impulse aller sensorischen Systeme zum Neocortex, die zurück gesendet zum Thalamus, als Funktionsschleifen verknüpft werden

Das Gehirn des Hausschweins

Das im Labortag eingesetzte Schweinehirn dient dazu, wesentliche Bauprinzipien des menschlichen Gehirns am Beispiel eines Säugetiergehirns zu vergegenwärtigen. Anatomische Besonderheiten des Schweinehirns werden am Schülerlabortag selbst nur thematisiert, wenn Schülerinnen und Schüler auf diese zu sprechen kommen.

Der Aufbau von Schweine- und Menschenhirn ist prinzipiell gleich. Dies betrifft sowohl die relative Lage der Gehirnteile zueinander als auch die Lage und den Aufbau von Hippocampus, Rückenmark und Kleinhirn (Nickel et al. 2004). Im Vergleich zum menschlichen Gehirn zeigt das Schweinehirn eine weniger stark ausgeprägte Telencephalisierung mit dünnerer Großhirnrindenschichtung und einem stärker ausgebildeten Riechkolben (Abbildung 6).

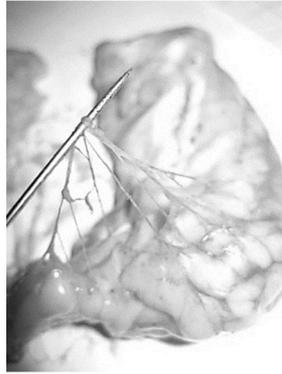


Abbildung 5: Leptomeninx inklusive Blutgefäßen

Nach außen hin umgeben die Hirnhäute das Schweinehirn. Mit einer Präpariernadel von der Hirnoberfläche angehoben (Abbildung 5), kann die weiche Hirnhaut (Leptomeninx) nebst darin befindlicher Blutgefäße sichtbar gemacht werden. Die innere Schicht, die *Pia mater*, kleidet die Furchungen und Vertiefungen an der Hirnoberfläche aus. Weiterhin fällt bei Betrachtung der Oberfläche des Schweinehirns die starke Faltung des Großhirns auf (Abbildung 6) und damit verbunden die Bildung der Gyri (Einfaltungen) und Sulci (Ausstülpungen). Die unterschiedliche Faltung des Kleinhirns und Großhirns ist ebenfalls deutlich erkennbar (ebd.). In der Außenansicht ist die Dreiteilung des Schweinehirns in Großhirn, Kleinhirn und Hirnstamm sichtbar sowie oft auch der Riechkolben (*Bulbus olfactorius*).

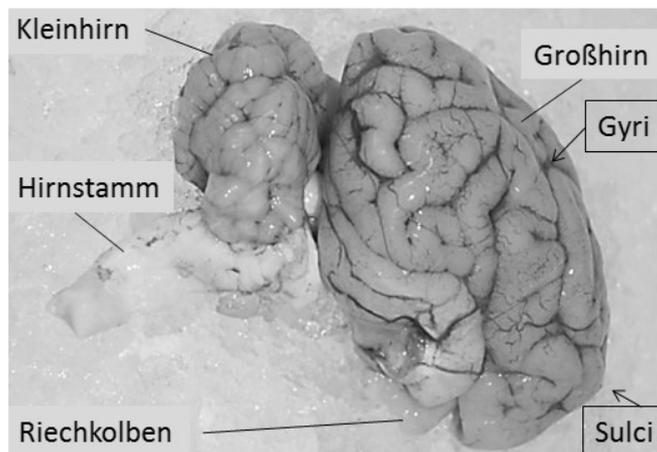


Abbildung 6: Schweinehirn in Außenansicht: Grau hinterlegt sind die Hirnregionen

Im Medianschnitt können die weiteren, für Wirbeltiergehirne typischen Strukturen unterschieden werden: Das Großhirn nebst Balken, das Diencephalon und das Mesencephalon können neben dem Kleinhirn und dem Nachhirn differenziert werden. Sowohl beim Großhirn als auch beim Kleinhirn wird die Schichtung in graue Substanz

(Dendriten und Soma enthaltend) und weiße Substanz (die Axone nebst Markscheiden enthaltend) sichtbar.

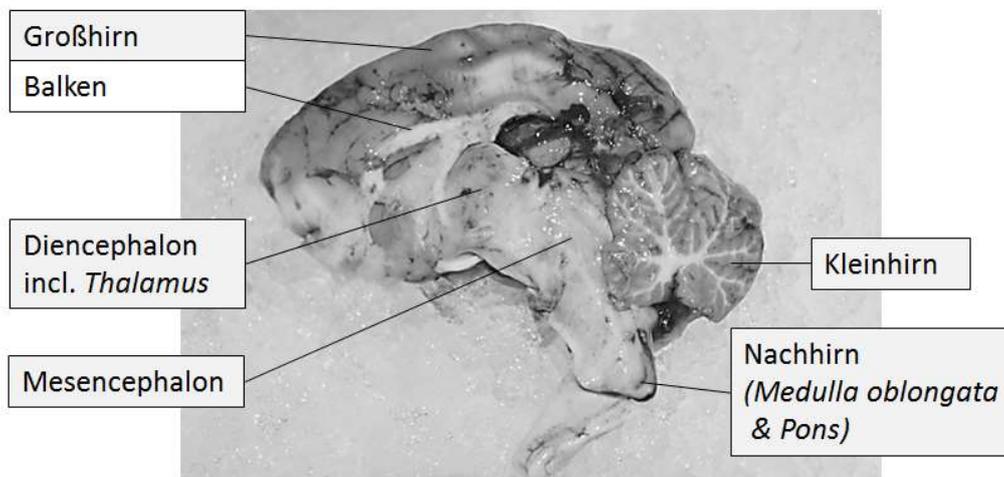


Abbildung 7: Schweinehirn im Medianschnitt

Großhirnregionen und ihre Funktionen

Nachdem die grundsätzliche Struktur des menschlichen Gehirns und des Schweinehirns erörtert worden sind, werden überblicksmäßig die Hirnlappen der menschlichen Großhirnrinde und deren Funktion vorgestellt. Anschließend werden die Vorgänge des Lernens allgemein und des motorischen Lernens vertieft betrachtet.

Grundsätzlich dient das Großhirn der Verarbeitung von Sinneseindrücken, dem Entwickeln von willkürlichen Bewegungen, Lernen und Sprache und der Verarbeitung von geistigen Wahrnehmungen (Bear et al. 2009). Anatomisch und funktional werden entsprechend vier Gehirnregionen als Hirnlappen unterschieden (Abbildung 8). Der paarige Frontlappen (*Lobus frontalis*, Stirnlappen) ist nach hinten durch die Zentralfurche vom Parietallappen (*Lobus parietales*, Scheitellappen) begrenzt. Von dort posterior (nach hinten) schließt sich der Okzipitallappen (*Lobus occipitalis*, Hinterhauptlappen) an. Seitlich grenzt vom Frontal- und Parietallappen nach unten zu beiden Seiten der Temporallappen (*Lobus temporalis*, Schläfenlappen) an (Bear et al. 2009).

Erkenntnisse über die Funktionalität der Hirnlappen wurden häufig aufgrund von unfall- oder krankheitsbedingten Ausfällen ermittelt. Heute werden entsprechende Informationen mittels der bildgebenden Verfahren der Positronenemissionstomographie (PET) und der Magnetresonanztomographie (MRT) erlangt. In Tabelle 1 werden die Funktionen der vier identifizierten Hirnlappen zusammengefasst.

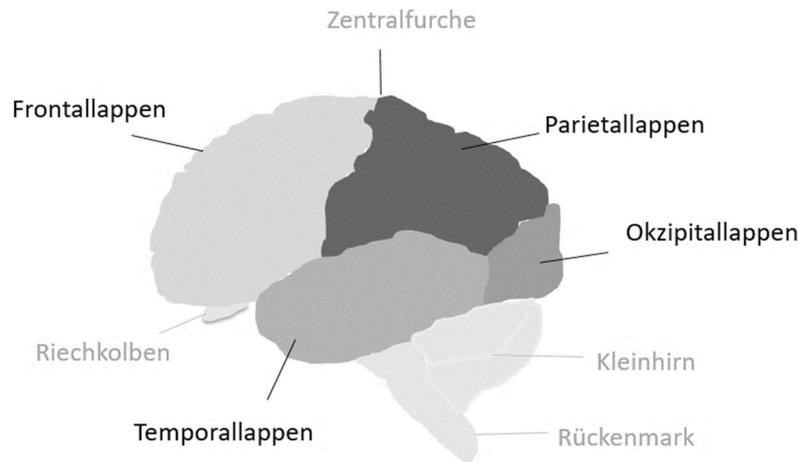


Abbildung 8: Die vier Hirnlappen der Großhirnhemisphäre, verändert nach Purves (2011)

Tabelle 1: Die menschlichen Hirnlappen und ihre Funktionen in Kürze

Struktur	Funktion
Frontallappen	<ul style="list-style-type: none"> • Besonders die Präfrontallappen – ausführendes Kontrollzentrum • Planung und Denken • Überwachung komplexerer Denkfunktionen • Steuerung der Problemlösung • Regulation des emotionalen Systems • Sitz der Persönlichkeit • Sitz des Großteils des Arbeitsgedächtnisses
Temporallappen	<ul style="list-style-type: none"> • Verarbeitung von Geräuschen und Musik • Sitz der Gesichts- und Objekterkennung • Sitz eines Teils des Langzeitgedächtnisses • Sitz des Sprachzentrums
Okzipitallappen	<ul style="list-style-type: none"> • Verarbeitung visueller Informationen
Parietallappen	<ul style="list-style-type: none"> • Räumliche Orientierung • Rechnen • Verschiedene Formen des Erkennens • Sensorische Empfindungen

Der im vorderen Bereich der Großhirnrinde befindliche Frontallappen ist vom Parietallappen durch die große Zentralfurche abgegrenzt (Abbildung 8). Der hinter der Stirn gelegene Präfrontallappen ist ausführendes Kontrollzentrum. Dieser steuert erfahrungs- und wissensbasierte Entscheidungen gegenüber anderen Impulsen. Entsprechend ist er mit dem Planen und Denken befasst und somit rationales und

ausführendes Kontrollzentrum des Gehirns, das komplexes Denken überwacht, die Problemlösung steuert sowie das emotionale System reguliert. Der Frontallappen ist Sitz des Arbeitsgedächtnisses (Sousa 2012). Seine Assoziationsareale sind von vielschichtiger Bedeutung: Planung und vorausschauendes Handeln sowie die Persönlichkeit beeinflussende Aspekte werden von hier gesteuert (Purves 2011). Einen Bereich des Frontallappens direkt vor der Zentralfurche nimmt der Motorcortex (motorische Cortex) ein, der Bewegungsprogramme erstellt und die Muskeln der Körperteile kontrolliert (Schmidt und Schaible 2006). Im Frontallappen ist auch das für die Sprachproduktion zuständige Broca-Zentrum lokalisiert (Lehmann-Horn 2010).

Der obere Bereich des Temporallappens dient dem Empfang und der Verarbeitung von auditiven Informationen des Gehörs, etwa dem Verstehen von gesprochener Sprache sowie dem Erkennen von Geräuschen und Musik (Sousa 2012). Hier ist das für das Sprachverstehen verantwortliche Wernicke-Zentrum und der limbische Assoziationskortex lokalisiert (Birbaumer und Schmidt 2010a). Die Assoziationsareale des Temporallappens unterstützen das Erkennen, Identifizieren und Benennen von Objekten, beispielsweise auch das Zuordnen und Wiedererkennen von Gesichtern. Die Temporallappen sind Teil des Langzeitgedächtnisses (Sousa 2012).

Im Parietallappen liegt direkt hinter der Zentralfurche der primäre somatosensorische Cortex. Er prozessiert v.a. die räumliche Orientierung, das Rechnen und verschiedene Formen des Erkennens. Zudem empfängt er über den Thalamus Informationen zum Berührungs- und Drucksinn, so dass die gesamte Körperoberfläche hier repräsentiert ist. Bereiche mit besonderem taktilen Diskriminierungsvermögen bzw. mit hoher Dichte an Mechanorezeptoren sind besonders ausgedehnt repräsentiert (Purves 2011).

Der Okzipitallappen dient dem Empfang und der Verarbeitung von visuellen Informationen. Das zugehörige Assoziationsareal unterstützt die Deutung der visuellen Welt und die Umsetzung des visuellen Erlebens in Sprache.

In allen Hirnregionen befinden sich sowohl unimodale als auch polymodale Regionen: Während unimodale Areale auf eine Sinnesmodalität reagieren und als primäre sensorische oder motorische Areale bezeichnet werden, integrieren oder assoziieren polymodale mehrere Sinnesmodalitäten und Willkürmotorik. Sie werden entsprechend Assoziationsareale genannt. Zusätzlich ist die Großhirnrinde assoziativer Speicher für

sprachliches sowie nichtsprachliches Wissen und erlernte Fertigkeiten (Birbaumer und Schmidt 2010a).

1.1.3 Das Gehirn – zytologisch betrachtet

Im Weiteren werden zunächst Neuronen und Gliazellen als das Nervensystem kennzeichnende Zelltypen vorgestellt. Exemplarisch wird die Struktur und Funktion von Pyramidenzellen näher beleuchtet. Auch werden das sie umgebende Gewebe am Beispiel des Neocortex behandelt und Besonderheiten des Motorcortex benannt. Schließlich werden die physiologischen Vorgänge der Generation und Weiterleitung von Aktionspotenzialen an Neuronen näher beleuchtet.

Das Nervensystem ist grundsätzlich aus zwei Zelltypen, den Neuronen (Nervenzellen) und Gliazellen (Stützzellen; griech. Leim), aufgebaut. Neuronen sind erregbar und generieren elektrische Signale in Form von Aktionspotenzialen oder Nervenimpulsen und leiten diese weiter. Kennzeichnend für sie ist der Besitz eines Axons oder Neurits in Form eines langen Fortsatzes. Demgegenüber leiten Gliazellen keine Aktionspotenziale weiter. Sie unterstützen Neuronen mechanisch, immunologisch oder metabolisch. Gliazellen umgeben Axone, isolieren sie elektrisch und erhöhen so ihre Leitgeschwindigkeit für Aktionspotenziale (Purves 2011).

Die Neuronen

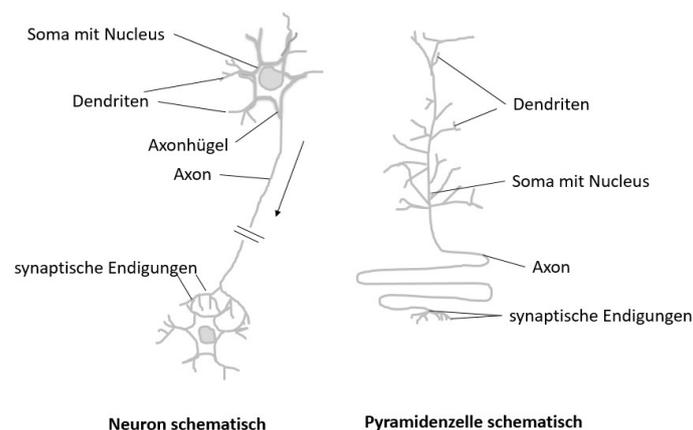


Abbildung 9: Neuronen und ihre typischen Kennzeichen: Neuron schematisch und Pyramidenzelle schematisch, verändert nach Purves (2011). Der Pfeil indiziert die Richtung der Informationsweiterleitung.

Generell werden bei allen Neuronentypen vier charakteristische Bereiche identifiziert: Der Zellkörper, die Dendriten, ein oder mehrere Axone und die synaptischen Endigungen (Abbildung 9). Der die Zellorganellen und den Zellkern tragende

Zellkörper (Soma oder Perikaryon) bildet Auswüchse in Form von Dendriten (griech. *dendron* = Baum), welche Informationen von anderen Neuronen oder Sinneszellen an den Zellkörper übermitteln. Ein oft deutlich längerer Fortsatz wird als Axon bezeichnet. An seinem Ursprung ist der für die Generierung von Aktionspotenzialen verantwortliche Axonhügel gelegen. Führen über die Dendriten empfangene Informationen am Axonhügel zur Bildung von Aktionspotenzialen, werden diese über das Axon weitergeleitet und an den feinen Verästelungen am Ende der Axone über sogenannte synaptische Endigungen (Axonterminale oder Synapsenendknöpfchen) an Zielzellen übertragen. Die Synapse, die die Membranen von zwei Neuronen und den dazwischenliegenden synaptischen Spalt umfasst, ist die Übertragungsstruktur für Nervenimpulse. Die Übertragung erfolgt chemisch in Form von Neurotransmittern. Gelangt ein Aktionspotenzial zu den synaptischen Endigungen (präsynaptische Membran), werden aus Vesikeln Neurotransmitter ausgeschüttet, die an der postsynaptischen Membran des Folgeneurons an Rezeptoren binden und dort die Aktivität der postsynaptischen Zelle hemmen (inhibierend) oder erhöhen (erregend, exzitatorisch). Synapsen als Struktur sind plastisch und somit wandelbar in Zahl, Größe sowie Empfindlichkeit (Bear et al. 2009).

Die Gliazellen

Es befinden sich zahlenmäßig mehr Gliazellen als Neuronen im menschlichen Gehirn. Gliazellen sind von unterschiedlicher Form und besitzen vielfältige Funktionen: Sie dienen der Ausschüttung von Neurotransmittern, fungieren als mechanische Stützen der Neuronen, unterstützen die Kontaktaufnahme der Neuronen untereinander in der Embryonalphase, dienen der Nährstoffversorgung sowie der Aufrechterhaltung des extrazellulären Milieus oder der Isolation und bewerkstelligen die Entfernung von Zelltrümmern und Fremdpartikeln. Gliazellen können bezüglich ihrer Form und Funktion unterschieden werden: Im Zentralnervensystem (ZNS) bilden Oligodendrocyten elektrisch isolierende Plasmamembranen um die Axone von Neuronen. Im peripheren Nervensystem übernehmen Schwann-Zellen diese Aufgabe. Beide Zelltypen produzieren eine lipidreiche Substanz, das Myelin, glänzend weiß im Aussehen. Der krankhafte Verlust der Myelinschicht, beispielsweise bei Multipler Sklerose, beeinträchtigt die Weiterleitung von Aktionspotenzialen. Sternförmige Astrocyten schützen das Gehirn vor toxischen Substanzen, indem sie als Blut-Hirn-Schranke die kleinsten, durchlässigsten Blutgefäße im Gehirn umgeben und die

Endothelien vor dem Durchtritt toxischer oder unerwünschter Substanzen schützen (Purves 2011).

Die Pyramidenzellen

Exemplarisch für die Vielzahl von Neuronen werden nachfolgend die in der Großhirnrinde und im Hippocampus befindlichen Pyramidenzellen sowie der Aufbau des sie umgebenden Gewebes, die Großhirnrinde (Neocortex), am Beispiel des Menschen vorgestellt.

Die Pyramidenzellen machen 80 % aller Neuronen aus und sind vor Ort über Axonkollaterale miteinander verbunden. Ihre Axone sind zu einem Großteil (bis zu 90%) mit anderen kortikale Bereiche verbunden und stellen zudem die einzigen Ausgänge des Kortex dar (Birbaumer und Schmidt 2010a). Die Pyramidenzellen des Neocortex (Abbildung 10) variieren in ihrer Größe, besitzen sowohl apikal als auch basal gelegen spitz zulaufende Zellkörper und pyramidenförmig ausgebildete Dendriten. Die Pyramidenzellen sind über bis zu 10.000 Synapsen mit anderen Zellen verbunden (Zschocke 2002) und verarbeiten deren Informationen. In mikroskopischen Abbildungen sind Pyramidenzellen aufgrund ihrer Zellkörperform nur bei entsprechender Schnittebene identifizierbar (Abbildung 10). In detaillierten mikroskopischen Abbildungen können Soma, Zellkern sowie Dendriten, nicht aber Axone zugeordnet werden (Abbildung 11).

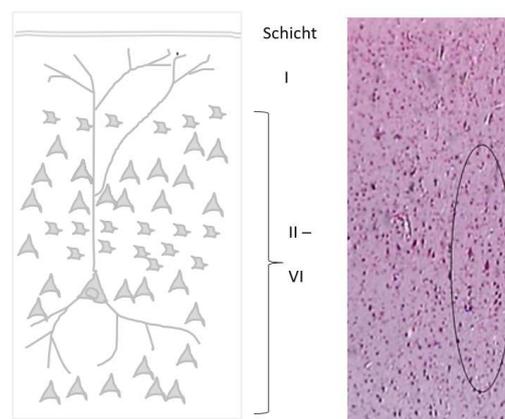


Abbildung 10: Aufbau der Großhirnrinde schematisch (links), mikroskopisch (rechts): Unter der Hirnhaut liegt die Großhirnrinde, die aus einer Molekularschicht (I) besteht, der mehrere Schichten Pyramidenzellen, sog. Zellschichten (II-IV) folgen. Verändert nach Bear et al. (2009). Im mikroskopischen Bild wird die Anordnung der Pyramidenzellen in Säulen deutlich.

Die verarbeiteten Informationen werden über die Axone weitergeleitet. Diese efferenten Axone sind verzweigt und können eine Länge von bis zu 2 Meter haben. Im

gesamten Neocortex sind die Pyramidenzellen zytologisch in Säulen sichtbar (Abbildung 10). Sie sind physiologisch betrachtet in Schichten angeordnet und machen bis zu 85% aller Zellen des Neocortex aus. Die Axone der Pyramidenzellen verlassen den Neocortex als Projektionsfasern und sind exzitatorisch. Das Elektroenzephalogramm resultiert vor allem aus ihren EPSP. Pyramidenzellen sind typischerweise in Hippocampus und Neocortex lokalisiert. Sie sind von besonderer Bedeutung für die Verarbeitung räumlicher Information, dienen als assoziativer Speicher und sind von Bedeutung für das Lernen und das Gedächtnis. Pyramidenzellen übertragen Informationen der Sinnesorgane via Thalamus an den Neocortex.

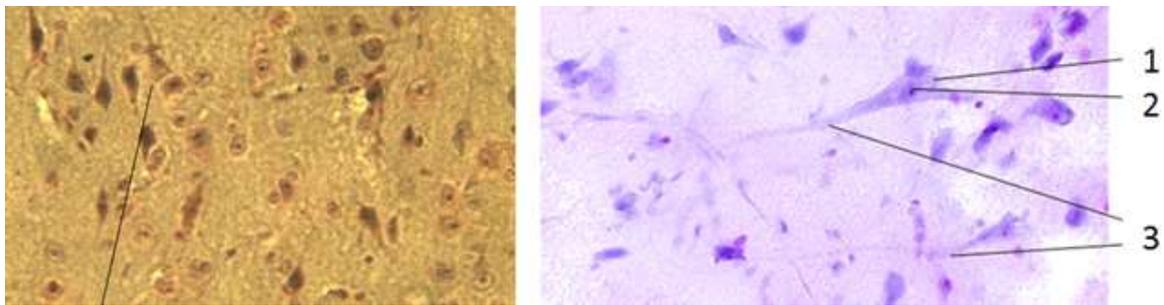


Abbildung 11: Mikroskopische Bilder der Pyramidenzellen in unterschiedliche Vergrößerung (eigene Aufnahmen). Links: Pyramidale Form der Zellkörper sowie Zellkern und Dendriten sind sichtbar, Axon nicht unterscheidbar. Rechts: Pyramidenzellen im Detail: 1 Zellkörper, 2 Nucleus, 3 Axon- bzw. Dendritenursprünge

Der Neocortex (Der menschliche Kortex)

Das Großhirn besteht aus der Großhirnrinde (Graue Substanz, Substantia grisea), die die Zellkörper der Neuronen enthält, und der darunter gelegenen weißen Substanz (*Substantia alba*), die vor allem aus Axonen besteht, die der Verbindung zu anderen Bereichen des Gehirns und des Großhirns dienen. Die weiße Substanz kann als Informations-Transport-System des Neocortex bezeichnet werden. Der Neocortex ist mit Sinneswahrnehmung, bewussten Bewegungen, Lernen, Sprechen und geistiger Wahrnehmung assoziiert.

Die Großhirnrinde aller Wirbeltiere ist ähnlich aufgebaut und zeigt eine Anordnung in Zellschichtung parallel zur Hirnoberfläche angeordnet, eine darüberliegende Molekularschicht, die somafrei ist, und eine bis sechs Zellschichten von Pyramidenzellen. Die Zellkörper der Neuronen sind in Schichten parallel zur Hirnoberfläche angeordnet (Abbildung 10, II-IV), um die Informationen zu verarbeiten, die zu ihnen über Synapsen gelangen. Der menschliche Neocortex besteht aus 6

Schichten von Pyramidenzellen. Die außen gelegene Molekularschicht (Abbildung 10, Schicht I), besteht aus den Dendriten der Pyramidenzellen, ist fast frei von Zellkörpern (Bear et al. 2009) und dient als Antenne des Neocortex. Die von Pyramidenzellen gebildeten Neuronenverbände dienen der Verarbeitung von Informationen, die zu ihnen gelangen. Entsprechend kann die graue Substanz als Prozessor des Neocortex angesehen werden. Umgeben sind Pyramidenzellen von kleinzelligen Gliazellen, die sie ernähren, das chemische Milieu regulieren und die Ausbreitung der Transmitter limitieren.

1.1.4 Physiologische Vorgänge in den Neuronen – Die Generierung und Weiterleitung von Aktionspotenzialen

Nachdem zunächst anatomische und zytologische Grundlagen der Neuronen erläutert wurden, werden im Folgenden die physiologischen Abläufe der Generation von Aktionspotenzialen und Weiterleitung von Nervenimpulsen beschrieben. Letztere stellen die Grundlage für die Aufzeichnung von Elektroenzephalographien dar. Zunächst werden die Eigenschaften und Mechanismen dargestellt, die zur Bildung eines Ruhepotenzials führen.

1.1.4.1 Das Ruhepotenzial

Das Ruhepotential wird vor allem durch eine Ungleichverteilung der Ionen zwischen Zellinnerem und Außenmilieu bestimmt. Bedeutsam sind weiterhin Membraneigenschaften wie die Permeabilitätseigenschaften für Ionen sowie die Aktivität der Natrium-Kalium-Pumpe. In Abbildung 12 sind die wesentlichen Aspekte zusammengefasst, die das Zustandekommen eines Ruhepotenzials bedingen. Sie werden nachfolgenden erläutert.

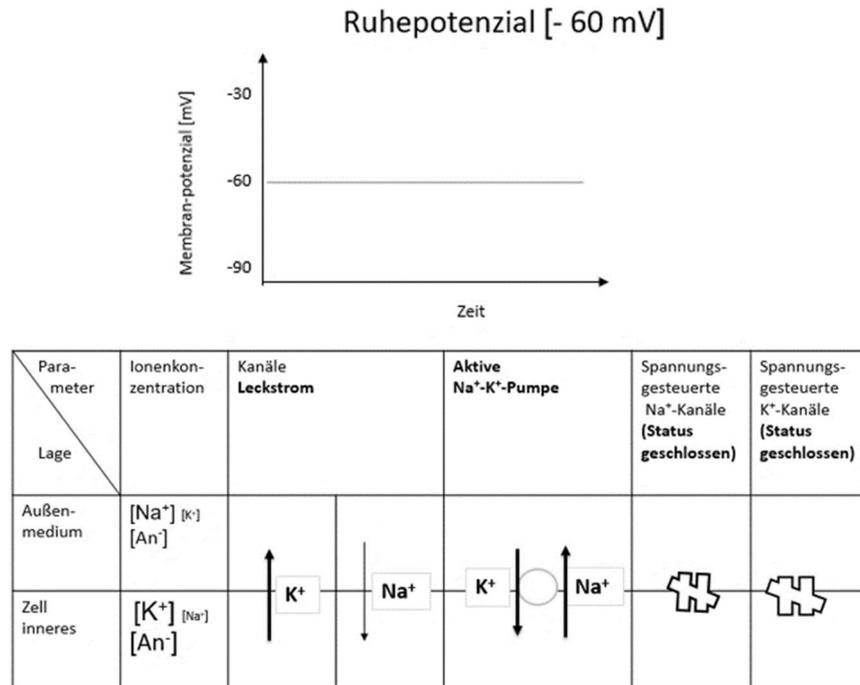


Abbildung 12: Das Ruhepotenzial (Wesentliche Kenngrößen): Der Graph zeigt das gemessene Membranpotenzial in Millivolt (mV). In der Tabelle sind maßgebliche Merkmale des Ruhepotenzials fett hervorgehoben. Kanäle für Chlorid- und Calcium-Ionen bleiben unberücksichtigt.

Im Zellinneren herrscht eine höhere Konzentration an Kalium-Ionen (K^+) und im Außenmilieu eine höhere Natriumionenkonzentration (Na^+). Gleichzeitig befinden sich sowohl im Zellinneren als auch im Außenmedium negativ geladene Ionen, die z.T. aufgrund ihrer Größe immobil sind. Kleinere Anionen diffundieren jedoch in geringem Maße durch die Membran. Über die Plasmamembran hinweg herrscht eine elektrische Ladungsdifferenz, so dass das Zellinnere gegenüber dem Außenmilieu negativ geladen ist und im Ruhezustand ein Membranpotenzial von -70 bis -60 mV herrscht (Ruhepotenzial, vgl. Abbildung 12). Ursache für dieses Ruhepotenzial sind Leckströme, die es Kalium-Ionen erlauben, dem Konzentrationsgefälle folgend, passiv durch Kanäle hindurch nach außen zu gelangen. Gleichzeitig können Natriumionen nach innen gelangen (Abbildung 12). Negativ geladene Anionen wirken dem Ausströmen der K^+ -Ionen elektrisch entgegen. Daraus resultiert ein Gleichgewicht zwischen dem nach außen wirksamen Konzentrationsgradient und dem nach innen gerichteten Ladungsgradient, welches als Membranpotenzial bezeichnet wird (Purves 2011).

Weiterhin sind die Permeabilitätseigenschaften der Membran im Ruhezustand von Bedeutung, die durch den Zustand verschiedener Ionenkanäle und die Aktivität der

Natrium-Kalium-Pumpe bestimmt werden. Die Lipiddoppelschicht der Plasmamembran ist insgesamt betrachtet recht impermeabel für Ionen, enthält jedoch integrale Proteinmoleküle, die als Ionentransporter oder Ionenkanäle fungieren und im geöffneten oder geschlossenen Zustand vorliegen können. Diese tragen einerseits dazu bei, das Ionenungleichgewicht des Ruhepotenzials zu gewährleisten, weil sie für eine Ladungsverteilung sorgen. Andererseits bewirken sie die Entstehung des Aktionspotenzials. In die Membran integriert sind Ionenkanäle für verschiedenste Ionen (K^+ , Na^+ , Cl^- , und Ca^{2+} , vgl. Abbildung 12), die das selektive Passieren per Diffusion durch diese Ionenkanäle in beide Richtungen ermöglichen. Dabei wird die Nettobewegung in Stärke und Richtung durch das Konzentrationsgefälle des jeweiligen Ions (chemischer Gradient) und die Spannung über die Plasmamembran (elektrischer Gradient) bestimmt und zusammenfassend als elektrochemischer Gradient bezeichnet. Im Ruhezustand sind die K^+ -Kanäle also am häufigsten geöffnet, für diesen Ionentyp am stärksten permeabel und als Leckkanäle (Abbildung 12) hauptverantwortlich für die Bildung des Ruhepotenzials. Da die Na^+ - K^+ -Pumpe die K^+ wieder ins Zellinnere transportiert, diffundieren diese dem elektrochemischen Gradienten folgend nach außen. In einem gewissen Umfang folgen Cl^- -Anionen. Viele Cl^- -Ionen liegen jedoch gebunden vor und sind somit impermeabel. Das so erzeugte elektrische Potenzial zieht K^+ in die Zelle zurück. Das sog. Kalium-Gleichgewichtspotenzial markiert den Punkt, an dem, bedingt durch den Konzentrationsgradienten für K^+ und das negative elektrische Potenzial, die Nettodiffusion von K^+ -Ionen stoppt. Die Na^+ - K^+ -Pumpe (Abbildung 12), als integraler Proteinkomplex, wirkt im aktiven Transport unter ATP-Verbrauch als eine Ionenpumpe und befördert aktiv als Antiporter gleichzeitig Na^+ aus dem Zellinnern und K^+ ins Zellinnere und etabliert so Konzentrationsunterschiede bezüglich dieser Ionen: Im Zellinneren findet sich im Vergleich zum Außenmedium eine höhere K^+ -Konzentration, im Außenmedium im Vergleich zum Innenmedium eine höhere Na^+ -Konzentration (Purves 2011).

1.1.4.2 Die Entstehung von Aktionspotenzialen

Für die Entstehung des Aktionspotenzials ist das Öffnen der spannungsgesteuerten Kanäle für Na^+ von besonderer Bedeutung. Der Einstrom von Na^+ bewirkt eine Depolarisation, die ein Öffnen von K^+ -Kanälen zur Folge hat, die zu einer Repolarisierung inklusive einer kurzzeitigen Hyperpolarisation führt. Wesentliche

Merkmale der Entwicklung sind in Abbildung 13 dargestellt und werden im Folgenden erläutert.

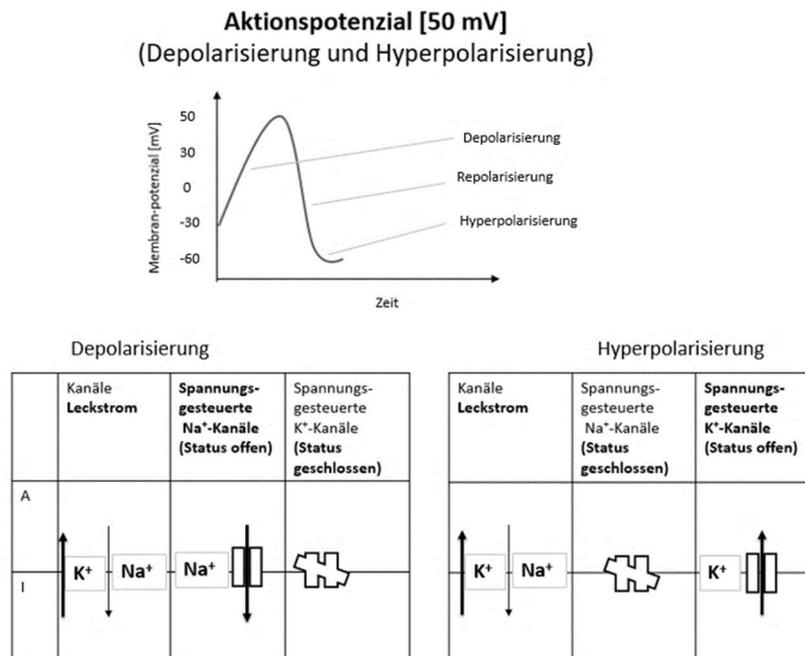


Abbildung 13: Das Aktionspotenzial (Wesentliche Kenngrößen): Der Graph zeigt den zugehörigen Verlauf des Membranpotenzials. In der Tabelle sind maßgebliche Merkmale des Aktionspotenzials fett hervorgehoben.

Aktionspotenziale sind plötzlich auftretende Veränderungen des Membranpotenzials und mit einer erheblichen Veränderung der elektrischen Ladung verbunden (Bear et al. 2009), die durch eine hinreichend starke Polarisierung im Bereich des Axonhügels erzeugt werden. Sie werden ausgelöst, wenn das Membranpotenzial um fünf bis zehn Millivolt gegenüber dem Ruhepotenzial verändert ist. Grundsätzlich breiten sich lokale elektrische Ströme nicht weit über das Axon aus, wobei die Weiterleitungsgeschwindigkeit von Aktionspotenzialen variiert. An unmyelinisierten Axonen verbreiten sie sich mit einer Geschwindigkeit von bis zu 2m pro Sekunde, an myelinisierten Axonen mit einer Geschwindigkeit von bis zu 100m pro Sekunde. Das Membranpotenzial beträgt dabei etwa +50mV und ist von einer Dauer von ein bis zwei Millisekunden (Purves 2011). Aktionspotenziale entstehen durch das Öffnen der spannungsgesteuerten Na⁺- und K⁺-Kanäle der Axonmembran. Im Zustand des Ruhepotentials sind die meisten Kanäle geschlossen (Abbildung 13). Wird ein Neuron so stark erregt, dass die Depolarisation der Membran zum Axonhügel gelangt, werden spannungsgesteuerte Kanäle für eine Millisekunde geöffnet (Abbildung 13). Dies führt zum Einstrom von Na⁺ und einer noch stärkeren Depolarisation der Membran.

Infolgedessen werden weitere spannungsgesteuerte Na^+ -Kanäle geöffnet und somit wird der Einstrom von Na^+ intensiviert und die Depolarisierung vorangetrieben. Wird ein bestimmter Schwellenwert des Membranpotenzials erreicht, schließen sich die spannungsgesteuerten Natriumkanäle und die spannungsgesteuerten Kaliumkanäle öffnen. Durch das Öffnen dieser Kaliumkanäle wird nun der K^+ - Ausstrom erhöht, der den „normalen“ Leckstrom der K^+ -Ionen unterstützt (Abbildung 13). Das Membranpotenzial wird negativer, was zur Repolarisierung der Membran führt. Es kommt schließlich zur Hyperpolarisation (Abbildung 13). Diese Kaliumkanäle öffnen sich zwar langsamer als die Natriumkanäle, bleiben jedoch länger geöffnet als diese. Mit dem Schließen der spannungsgesteuerten Kaliumkanäle kehrt das Neuron in das Ruhepotenzial zurück (Purves 2011).

Die Refraktärzeit unterbindet das erneute Öffnen für bis zu zwei Millisekunden und wird zum einen durch den Öffnungsmechanismus der Na^+ -Kanäle bedingt. Na^+ -Kanäle werden durch die starke Depolarisierung der Membran inaktiviert und erst durch ein stark negatives Membranpotenzial wieder deinaktiviert (Bear et al. 2009). Die Öffnungsdauer der Kaliumkanäle trägt ebenfalls zur Refraktärzeit bei, weil deren langsames und länger anhaltendes Öffnen zu einer Hyperpolarisation führt, was eine verzögerte Rückkehr ins Ruhepotenzial bewirkt. Erst wenn die spannungsabhängigen K^+ -Kanäle geschlossen sind, ist die Membran für ein nächstes Aktionspotenzial bereit (Bear et al. 2009). Beide Mechanismen zusammen bedingen die Ausbreitung der Erregung in Richtung der synaptischen Enden. Die Höhe eines Aktionspotenzials ändert sich im Verlauf der Weiterleitung nicht. Sie bildet sich dem Alles-oder-Nichts-Prinzip folgend in Wechselwirkung zwischen spannungsgesteuerten Natriumkanälen und Membranpotenzial aus. Ein Aktionspotenzial bildet sich aufgrund der Refraktärzeit des zuvor erregten Membranbereiches unidirektional aus und ist selbstregenerierend, indem sich lokale Stromflüsse in benachbarte Regionen ausbreiten. Die entsprechenden Membranbereiche werden bis zum Schwellenwert depolarisiert und benachbarte Axonregionen stimulieren sich fortlaufend zur Bildung von Aktionspotenzialen. Dies geschieht, indem einströmende Na^+ negative Ladung aus der Umgebung auf die Zellinnenseite ziehen. Dieses übt eine elektrische Anziehungskraft (Elektrotonus, elektrotonisches Potenzial) auf die Umgebung aus, was zu einer Depolarisation der betreffenden Region führt. Die durch dieses Abziehen von Anionen bedingte Depolarisation erzeugt Ionenströme, die sich passiv entlang des Axons fortsetzen. Die Myelinisierung unterstützt die Weiterverbreitung der Ionenströme und

es werden saltatorisch Aktionspotenziale nur im Bereich der mit spannungsgesteuerten Kanälen ausgestatteten Ranvier-Schnürringe generiert (Purves 2011).

Vorgänge an der Synapse bei der Übertragung von Nervenimpulsen

In diesem Abschnitt wird dargestellt, wie Neuronen mit anderen Zellen über spezialisierte Bereiche, die Synapsen, kommunizieren. Hier wird der am häufigsten auftretende Typ der chemischen Synapse exemplarisch vorgestellt, bei der die Übertragung von Impulsen mittels Neurotransmittern erfolgt. Modellhaft werden hier die Vorgänge an der motorischen Endplatte, die exzitatorische und inhibierende Wirkung dargelegt, und kurz relevante Zusammenhänge fürs Lernen und Gedächtnis erörtert.

Synapsen sind morphologisch spezialisierte Kontaktstellen zwischen Zellen, die der Informationsübertragung dienen und im Falle der chemischen Synapsen Überträgerstoffe (Transmitter) in den synaptischen Spalt ausschütten (Heckmann und Dudel 2010). Die Synapsen von Motoneuron sind gut untersucht. Sie verfügen über ein Axon, das viele Kollaterale (Zweige, vgl. Abbildung 14) am Ende desselben ausbildet und präsynaptisch mit Neurotransmitter- gefüllte synaptische Vesikel (hier Acetylcholin, ACh) besitzt. Die freigesetzten Neurotransmittermoleküle diffundieren durch den zwischen prä- und postsynaptischer Membran liegenden synaptischen Spalt von 20 – 40 nm Breite (Purves 2011), der mit einer Matrix aus faserförmigen extrazellulären Proteinen angefüllt ist (Bear et al. 2009).

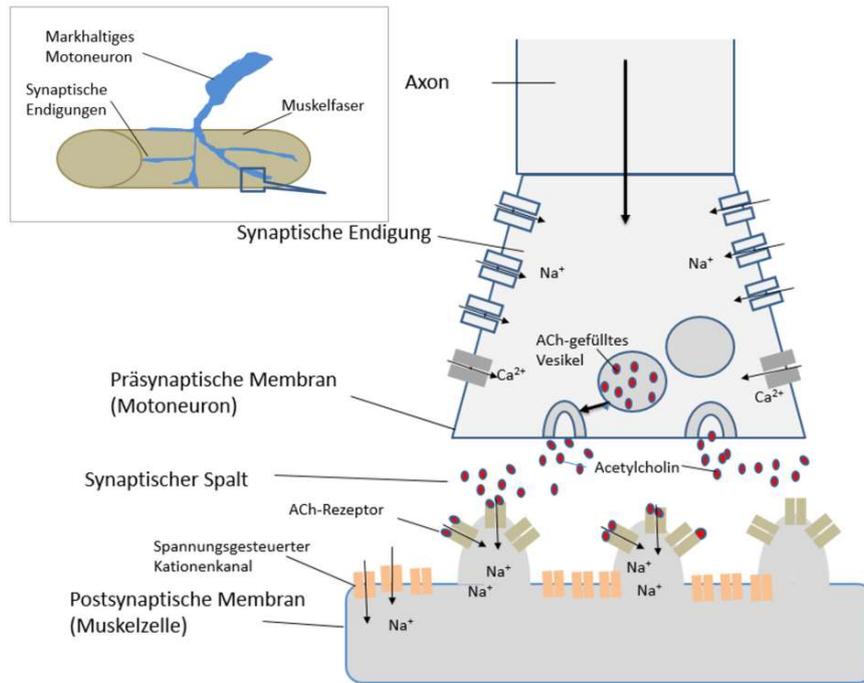


Abbildung 14: Die synaptische Übertragung am Motoneuron, nach Heckmann & Dudel (2010) sowie Purves (2011)

Die Ausschüttung von Neurotransmittern erfolgt bei Eintreffen von Nervenimpulsen an präsynaptische Endigungen. Dabei löst die Depolarisation dort zunächst das Öffnen der spannungsabhängigen Ca^{2+} -Kanäle aus (vgl. Abbildung 14). Da die Ca^{2+} -Konzentration im Außenmedium größer ist, strömen die Kationen nach innen (Purves 2011), was das Verschmelzen der in der aktiven Zone befindlichen Neurotransmittergefüllten Vesikel mit der präsynaptischen Membran und die Ausschüttung in den synaptischen Spalt bewirkt (Heckmann und Dudel 2010). Postsynaptisch binden die Neurotransmitter an spezifische Rezeptoren und lösen eine Depolarisation der Membran aus. Die mit ihnen verknüpften Kanäle (Liganden-gesteuerte Na^+ - und K^+ -Kanäle, vgl. Abbildung 14) öffnen sich. Es kommt aufgrund des elektrochemischen Gradienten zu einem Nettoeinstrom von Na^+ . Die sich ausbreitende Depolarisation führt zur Öffnung spannungsgesteuerter Na^+ -Kanäle, was letztlich die Ausbildung von Aktionspotentialen bewirkt (Purves 2011). Heckmann und Dudel (2010) belegen experimentell, dass das postsynaptische Membranpotenzial durch eine relativ unspezifische Erhöhung der Membranleitfähigkeit für Na^+ , Ca^{2+} und K^+ entsteht.

Die Synapsen zwischen Motoneuronen und Muskelzellen wirken immer exzitatorisch (erregend), so dass die Ausschüttung des Neurotransmitters (ACh) eine Depolarisation und bei Erreichen des Schwellenwertes Aktionspotenziale auslöst, also ein Potenzial, welches weniger negativ ist als das Ruhepotenzial (EPSP,

exzitatorisches postsynaptisches Potenzial). Interneuronen besitzen auch inhibierende (hemmende) Synapsen. Entsprechende Neurotransmitter binden an Cl⁻-Kanäle. Da sich im Außenmedium mehr Chloridionen befinden als im Zellinneren, führt ein Öffnen der Cl⁻-Kanäle zu einem Einstrom von Cl⁻ in die Zelle. Das Andocken der Neurotransmitter an diese Liganden-gesteuerten Cl⁻-Kanäle bewirkt entsprechend eine Hyperpolarisation unter den Schwellenwert (IPSP, inhibierendes postsynaptisches Potential), womit die Auslösung eines Aktionspotenzials unwahrscheinlicher wird (Purves 2011).

Neuronen verfügen über eine Vielzahl von Dendriten, mit denen viele unterschiedliche Neuronen über ihre synaptischen Endigungen verbunden sind. Deren präsynaptische Membranen können verschiedenste Neurotransmitter freisetzen. Die postsynaptische Membran wiederum verfügt über diverse Rezeptoren für Neurotransmitter. Neuronen empfangen die unterschiedlichen Eingangssignale (EPSP, IPSP) über ihre Dendriten sowie den Zellkörper und summieren diese am Axonhügel auf. Bei der räumlichen Summation werden simultan eintreffende Signale an unterschiedlichen Stellen aufsummiert, bei der zeitlichen Summation werden Signale, die am selben Ort in rascher Folge eintreffen, summiert.

Neurotransmitter und ihre Wirkung

Neben dem an Motoneuronen vorhandenen Neurotransmitter Acetylcholin existieren eine Vielzahl weiterer klassischer Neurotransmitter und Peptidüberträgerstoffe. Die wichtigsten sind in Tabelle 2 aufgeführt (Heckmann und Dudel 2010).

Tabelle 2: Häufig im ZNS vorkommende Neurotransmitter. Dargestellt sind jeweils Beispiele und Eigenschaften

Chemische Struktur	Beispiele	Eigenschaften
Kleinmolekulare Aminosäuren	Acetylcholin	Erregung an Motoneuronen
	Glyzin	Hemmung an Motoneuronen
	GABA (γ-butyric acid)	Hemmung im ZNS
	Glutamat	Erregung im ZNS
Monamine	Adrenalin, Noradrenalin, Dopamin } Katecholamine	Zentral und peripher, Erregung oder Hemmung

Peptid-Überträgerstoffe	Endorphine, Enkephaline	Im ZNS und vegetativen Nervensystem, Modulatoren
-------------------------	-------------------------	--

Während die klassischen Neurotransmitter direkt über die Hemmung oder Erregung im Nervensystem wirksam werden, beeinflussen Peptidüberträgerstoffe die Intensität und Dauer der Wirkung der klassischen Überträgerstoffe (Heckmann und Dudel 2010). Grundsätzlich gilt dabei, dass die Neurotransmitter an unterschiedliche Rezeptoren binden können. Die besondere Wirkung der Rezeptoren für das Lernen wird am Beispiel des Neurotransmitters Glutamat und der zugehörigen Rezeptoren erläutert. Glutamat kann grundsätzlich an die NMDA-Rezeptoren (NMDA für N-Methyl-D-Aspartat) beziehungsweise die AMPA-Rezeptoren (AMPA für α -Amino-3-hydroxy-5-methyl-4-Isoxazol-Propionsäure) binden. Durch eine Bindung des Glutamats an die Rezeptoren werden die Liganden-gesteuerten Na^+ -Kanäle geöffnet, der Na^+ -Einstrom eingeleitet sowie die Depolarisation der Membran bewirkt (vgl. Tabelle 3). Im zeitlichen Verlauf der Antwort unterscheiden sich die beiden Glutamat-Rezeptoren: Bei AMPA-Rezeptoren kommt es zu einem raschen Na^+ -Einstrom, bei den NMDA-Rezeptoren hingegen zu einem langsameren und längerfristigen Na^+ -Einstrom. Voraussetzung für Aktivierung der NMDA-Rezeptoren ist jedoch eine Vordepolarisierung aufgrund der Aktivierung anderer Rezeptoren. Ist dies der Fall, werden zusätzlich Ca^{2+} -Poren geöffnet. Ca^{2+} wirkt hier als sekundärer Bote und bedingt gleichzeitig längerfristige zelluläre Veränderungen.

Tabelle 3: Langzeitpotenzierung (LTP) an Pyramidenzellen - der Einfluss der Anbindung des Transmitters Glutamat

	AMPA-Rezeptoren	NMDA-Rezeptoren
Voraussetzung	keine	Vordepolarisierung
Wirkungsweise Liganden-Anbindung	Rascher Na^+ -Einstrom	Langsamer und langfristiger Na^+ -Einstrom
Weiterer Effekt	keiner	Zusätzliche Öffnung der Ca^{2+} -Kanäle

Zwei zelluläre synaptische Reaktionen auf Erfahrungen des Nervensystems stellen die Langzeitpotenzierung (LTP, *long-term potentiation*) und die Langzeitdepression (LTD) dar (Heckmann und Dudel 2010). Langzeitpotenzierungen sind unter anderem an Pyramidenzellen des Hippocampus untersucht und wurden experimentell durch

hochfrequent evozierte Aktionspotenziale ausgelöst (Heckmann und Dudel 2010). Werden bestimmte Neuronen wiederholt aktiviert, führt dieses zu einer verstärkten postsynaptischen Reaktion, die tage- bis wochenlang nachweisbar ist. Am Beispiel der zwei Glutamat-Rezeptoren erläutert, bedeutet dies: Bei geringer Stimulation werden die AMPA-Rezeptoren aktiviert und Aktionspotenziale ausgelöst. Bei intensiverer Stimulation jedoch werden zusätzlich die NMDA-Rezeptoren aktiviert und neben Na^+ auch Ca^{2+} ausgeschüttet. Letzteres bewirkt langanhaltende Veränderungen an der postsynaptischen Membran, die die Response auf erneute Inputs intensivieren (Purves 2011).

Demgegenüber bezeichnet die Langzeitdepression die Abschwächung (Depression, vgl. Tabelle 4) der synaptischen Übertragungsfähigkeit und ist an Purkinje-Zellen des Kleinhirns beobachtet worden (Heckmann und Dudel 2010): Werden Purkinje-Zellen über zwei von drei Zugängen gleichzeitig erregt, führt dieses zur Hemmung der Übertragung via eines Zuganges für Stunden, d.h. es kommt zur Langzeitdepression. Die Langzeitdepression wird damit erklärt, dass einer der beiden Zugänge, wie auch bei der Langzeitpotenzierung über die AMPA-Rezeptoren wirkt. Durch die parallele Aktivierung über den zweiten Eingang werden die AMPA-Rezeptoren jedoch desensibilisiert (Heckmann und Dudel 2010).

Tabelle 4: Mechanismus der Langzeitdepression an Purkinje-Zellen - Der Einfluss von zwei Eingängen

Eingang über	Kletterfasern (1. Eingang)	Parallelfasern (2. Eingang)
Transmitter-ausschüttung	<ul style="list-style-type: none"> • Mäßige Glutamat-Ausschüttung 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesteigerte Glutamat-Ausschüttung
Bindung der Neurotransmitter an	<ul style="list-style-type: none"> • AMPA-Rezeptoren 	<ul style="list-style-type: none"> • Metabotrope Glutamat-Rezeptoren
Wirkung	<ul style="list-style-type: none"> • Ca^{2+}-Einstrom • Große Depolarisierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Freisetzung von Ca^{2+} aus intrazellulären Speichern • Langfristige Densibilisierung der AMPA-Rezeptoren

1.1.5 Bildgebende Verfahren

Bevor das bildgebende Verfahren des Elektroenzephalogramms im Detail dargestellt wird, werden überblickshaft die bildgebenden Verfahren der Magnetresonanztomographie (MRT), der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) vorgestellt.

Tabelle 5: Bildgebende Verfahren im Überblick

Typus	Name	Prinzip/ Leistungsfähigkeit
non-invasiv	Computertomografie (CT)	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtbarmachung der groben Verteilung grauer und weißer Substanz • Röntgenquelle (Wiederholbarkeit, Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten)
non-invasiv	Magnetresonanztomografie MRT	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr fein differenzierte Hirnaufnahmen • Protonen unterschiedlicher Energieniveaus werden registriert (Wasserstoffatome) • Dauer der Untersuchung - ca. 15 min
invasiv	Positronenemissionstomografie (PET)	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtbarmachen funktioneller Hirnaktivität (eines Bereichs von 50 – 100 mm³, bzw. mehreren hunderttausend Zellen) • Aktivitätsmessung von Neuronenpopulationen • Identifikation von Gehirnbereichen hohen regionalen Blutflusses und Metabolismus • Injektion radioaktiver Lösung inklusiver Positronen (Strahlenbelastung, eingeschränkte Wiederholbarkeit) • Injektion radioaktiver 2-Desoxyglucose (2-DG) zur Messung des Metabolismus (Fixierung der phosphorylierten Form in aktiven Neuronengruppen) • Dauer der Untersuchung - eine bis mehrere Minuten
non-invasiv	Funktionelle Magnettomografie (fMRT)	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtbarmachen funktioneller Hirnaktivität • Sichtbarmachen des Blutsauerstoffgehaltes • Verhältnis von oxygenisiertem zu desoxygenisiertem Hämoglobin • Dauer der Untersuchung - wenige Sekunden • Bei starker Auflösung (10-20 mm³)
non-invasiv	Elektroenzephalografie (EEG)	<ul style="list-style-type: none"> • Direkte Messung von Neuronenaktivität größerer Zellverbände an Hirnoberfläche • Messung von Hirnrhythmen

Computertomografie (CT)

Die Computertomografie (CT, griech. „schneiden“, „abbilden“) als digitales Schichtverfahren (Mumenthaler und Mattle 2008) wurde von Godfrey Hounsfields und Allan Cormarck entwickelt und 1979 mit einem Nobelpreis bedacht. Ziel ist die noninvasive Erzeugung von Bildquerschnitten in gewünschten Ebenen, bei denen die Röntgenquelle um den Kopf kreist. Auf der der Röntgenquelle abgewandten Seite des Kopfes werden die resultierenden Röntgenstrahlen registriert und im Computer mittels Algorithmen analysiert. Auf diese Weise können die grobe Verteilung von grauer und

weißer Substanz sowie die Lage von Ventrikeln erstmals sichtbar gemacht werden (Bear et al. 2009).

Magnetresonanztomografie (MRT)

Eine Modifikation und Weiterentwicklung des CT stellt die Magnetresonanztomografie (MRT, Kernspintomografie) dar, mit der detailliertere Aufnahmen erzeugt werden. Mittels der nichtinvasiven Magnetresonanztomografie können Atome in Anzahl und Position nachgewiesen und so detaillierte Bilder des Gehirns erstellt werden. Die gebräuchlichste Form der Magnetresonanztomografie quantifiziert Wasserstoffatome, deren Kerne aus einem Proton bestehend, einem Magnetfeld ausgesetzt werden und in einem hohen oder niedrigen Energieniveau befindlich markiert werden. Für die Aufnahme ist der Kopf zwischen den Polen eines starken Magnetfeldes positioniert. Werden die Protonen mit elektrischen Magnetwellen einer bestimmten Frequenz (der Resonanzfrequenz) bestrahlt, versetzt sie diese in einen Zustand hoher Energie. Wird das Radiosignal abgestellt, fallen einige Protonen in den Zustand niedriger Energie zurück und emittieren ein Radiosignal, welches räumlich fein unterschieden aufgenommen werden kann und zu einem differenzierten Bild führt. Ein magnetischer Gradient wird in verschiedensten Winkeln zum Kopf angelegt und die Wasserstoffmenge bestimmt. Diese Messung dauert ca. 15 Minuten (Bear et al. 2009). Das erzeugte MRT-Bild ist eine kartografische Darstellung der MRT-Signale und bildet die physikalischen Gegebenheiten ab (Mumenthaler und Mattle 2008).

Mittels CT und MRT können anatomische Strukturveränderungen am lebenden Gehirn, wie unfallbedingte Schwellungen des Gehirns oder von Tumoren gut beobachtet werden. Für die Betrachtung funktioneller Vorgänge im Gehirn, die chemischer oder elektrischer Natur sind, bedarf es anderer Verfahren, die im Folgenden vorgestellt werden.

Positronen-Emissions-Tomografie (PET) und funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT)

Zur Darstellung der funktionellen Gehirnaktivität kommen am häufigsten die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) zum Einsatz. Sie ermöglichen die Sichtbarmachung veränderter Gehirnaktivität, die im Zusammenhang mit der Planung und Durchführung von Handlungen stehen. Mit beiden Verfahren kann der regionale Blutfluss und

Metabolismus im Gehirn registriert werden. Zugrunde liegt das Prinzip, dass aktive im Vergleich zu inaktiven Neuronen einen höheren Bedarf an Glucose sowie Sauerstoff zeigen und folglich in ihnen mehr Blut transportiert wird (Bear et al. 2009).

Beim invasiven Verfahren der PET wird eine radioaktive Lösung ins Blut injiziert, die Positronen, positiv geladene Elektronen, emittiert. Positronen fließen mit dem Blut in Regionen höchster Aktivität, treten dort mit Elektronen in Wechselwirkung und aus der resultierenden elektromagnetischen Strahlung werden Photonen emittiert und registriert. Bei der Messung der metabolischen Gehirnaktivität kommen Fluor- und Sauerstoffisotope zum Einsatz, die Positronen emittieren. Radioaktive 2-Desoxyglucose (2-DG) wird ins Blut injiziert, gelangt zu aktiven Gehirnregionen und wird hier auch von den aktiven Neuronen aufgenommen, phosphoryliert und verbleibt in der Zelle. Die Anzahl der aufgenommenen 2-DG, die Photonen emittiert, korreliert mit der Aktivität der Neuronen und liefert Informationen über Aktivitätsniveaus unterschiedlicher Neuronenpopulationen. Vorteil dieses Verfahrens ist es, dass die Gehirnaktivität direkt bei Aufgabenausführung beobachtet werden kann. Eine PET hat eine Auflösungsgrenze von 50-100 mm³ und zeigt so die Gehirnaktivität eines Bereiches von mehreren hunderttausend Zellen. Diese zwischen einer und mehreren Minuten dauernde Gehirnanalyse kann aufgrund der Strahlenbelastung an einem Probanden nur wenige Male vorgenommen werden (Bear et al. 2009).

Die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT)

Mittels einer modifizierten MRT, der funktionalen Magnetresonanztomografie (fMRT), können lokale Veränderungen des Blutsauerstoffgehaltes gemessen werden, indem sie sich die unterschiedliche Resonanz von Oxyhämoglobin (oxygenisierte Form des Hämoglobins im Blut) und Desoxyhämoglobin (Hämoglobin, das O₂ abgegeben hat) zunutze macht. In einer aktiveren Gehirnregion sind der Blutfluss und die Sauerstoffabgabe erhöht. Eine verstärkte neuronale Aktivität wird entsprechend über das Verhältnis von Oxyhämoglobin zu Desoxyhämoglobin ermittelt. Vorteilhaft ist, dass Messungen innerhalb weniger Sekunden bei starker Auflösung (10-50 mm³) gelingen und noninvasiv sind.

1.1.6 Das Elektroenzephalogramm (EEG)

Im Folgenden wird das bildgebende Verfahren des Elektroenzephalogramms ausführlicher dargestellt, da es im Rahmen des Schülerlabortages zum Einsatz

kommt. Es stellt das älteste nicht-invasive bildgebende Verfahren zur Registrierung von Gehirnaktivität dar. 1929 beobachtete Hans Berger erstmals bei Menschen, dass ein EEG im Wachzustand anders aussieht als im Schlaf.

Mittels Elektroenzephalogramm wird die allgemeine Aktivität der Großhirnrinde gemessen (Bear et al. 2009), indem es die Potenzienschwankungen des Kortex als Summe synchron auftretender exzitatorischer und inhibitorischer synaptischer Potenziale registriert (Mumenthaler und Mattle 2008). Das EEG kommt als schmerzloses, nicht-invasives bildgebendes Verfahren besonders in der Schlafforschung und bei der Diagnose von Epilepsie und Hirntod zum Einsatz. Es ist ungeeignet, die Quellen neuronaler Aktivität zu lokalisieren, besonders nicht in tiefer gelegenen Hirnregionen. Mit ihm kann jedoch die Aktivität von Neuronen direkt gemessen werden (Bear et al. 2009).

Standardmäßig werden beim Elektroenzephalogramm nach dem sogenannten *Ten-Twenty*-System Elektroden auf der Schädeloberfläche platziert und dabei entweder bipolar oder monopolar plus Referenzelektrode angeordnet (Mumenthaler und Mattle 2008). Eine leitfähige Substanz wird unter den Elektroden aufgetragen und die Signale über Kabel abgeleitet, die über einen Verstärker mit dem Aufnahmecomputer verbunden sind. Das durch die Schädeldecke und weiter dazwischenliegenden Schichten abgeschwächte Signal wird mittels Verstärker adjustiert. Geringe Spannungsschwankungen mit Amplituden weniger Zehntel Mikrovolt (μV) zwischen zwei Elektrodenpaaren der anterioren und posterioren Hirnregionen beziehungsweise zwischen rechter und linker Hemisphäre sind messbar (Bear et al. 2009).

Um exemplarisch die Wirkungsweise eines EEG zu zeigen, kann eine bipolare Ableitung erprobt werden. Am Beispiel des im Schülerlabortag zum Einsatz gekommenen Physiologie-Aufzeichnungssystems der Firma Ad Instrument wird die Aufnahme eines EEG-Signals kurz erläutert. Die Signale der Großhirnrinde werden über Elektroden unter Einsatz einer Elektrolyte-haltigen Paste am Schädel fixiert. Über einen Verstärker (*Amplifier* im *Power Lab*) werden die eintreffenden Signale verstärkt und mittels der zugehörigen Software auf dem Computer registriert. Als Form der Ableitung kommt hier die bipolare Ableitung zum Einsatz, die die Potentialdifferenz zwischen zwei Hirnregionen, hier des Frontal- und des Okzipitallappens, erfasst (Ebe et al. 2002, vgl. Abbildung 15). Eine zusätzlich ergänzte Referenzelektrode auf der Stirn minimiert die Störungen. Grundsätzlich kann im EEG eine Artefaktbildung

beobachtet werden, ein systembedingter Übertragungsfehler des EEG-Programms. Sie wird beispielsweise durch Kopfbewegung, Augenzwinkern oder unvollständig vollzogene Konnektivität der Elektroden erzeugt und führt zu großen Ausschlägen im Gesamt-EEG (Abbildung 16).

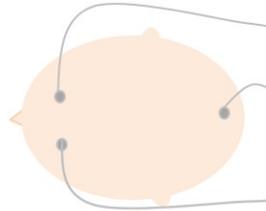


Abbildung 15: Bipolare Ableitung am Frontal- und Okzipitallappen mit frontaler Referenzelektrode

Die EEG-Rhythmen

In diesem Abschnitt werden das EEG selbst und seine Komponenten in Form der Frequenzbänder überblicksmäßig betrachtet (vgl. Abbildung 16), bevor im Anschluss ausführlicher auf die Alphawellen eingegangen wird. Alpha-Wellen werden an dieser Stelle besonders herausgestellt, weil sie für klinische Belange und die Analyse des EEG im Schülerlabortag von besonderer Bedeutung sind.

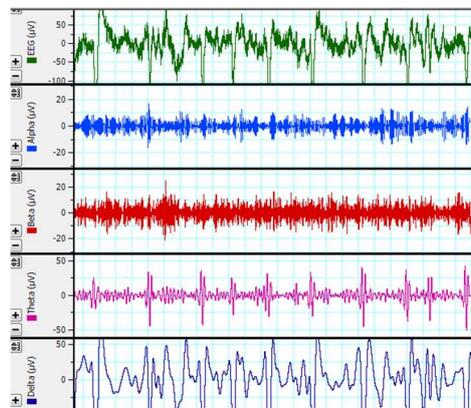


Abbildung 16: Ausschnitt eines Gesamt-EEG (in grün dargestellt) mit den vier Frequenzbändern der Alpha-(blau), Beta-(rot), Theta-(pink) und Deltawellen (violett)

Bei der Analyse gilt es zunächst Artefakte-freie Bereiche des EEG auszuwählen. Diese sind die Bereiche des Gesamt-EEG zwischen $+50\mu\text{V}$ und $-50\mu\text{V}$ (vgl. Abbildung 16). Bei der Messung der EEG-Wellen werden Frequenzbänder unterschieden, die digital herausgefiltert als Alpha-, Beta-, Theta- und Deltawellen (Abbildung 16) sichtbar gemacht werden können. Alphawellen (α -Wellen) zeigen eine vergleichsweise niedrige Frequenz von 8-13Hz und treten in Ruhe oder im Wachzustand bei geschlossenen Augen auf (vgl. Abbildung 16). Demgegenüber zeigen Betawellen (β -Wellen) eine Frequenz von 13-30Hz (Abbildung 16) und signalisieren einen aktiven

Kortex. Die mittels dieser EEG-Software nicht abgebildeten Gammawellen (γ -Wellen) sind mit über 30 Hz hochfrequent und treten bei anspruchsvoller kognitiver Tätigkeit bzw. hochkonzentrierter Aufmerksamkeit auf. Stärker niederfrequent erscheinen Thetawellen, die mit 4-7Hz in bestimmten Schlafstadien auftreten (vgl. Abbildung 16). Die niedrigste Frequenz weisen Deltawellen auf, die durch häufig auftretende große Amplituden charakterisiert sind (Abbildung 16) und typischerweise in Tiefschlafphasen auftreten (Bear et al. 2009).

Der Alpha-Grundrhythmus

Klinisch sind Ruhe-EEG von besonderer Bedeutung: Sie werden bei wachen Patienten, in einer liegenden oder sitzenden Position, im entspannten Zustand bei geschlossenen Augen abgeleitet. Resultierend werden vor allem langsame EEG-Wellen gemessen, die besonders über dem Okzipitallappen deutlich zu registrieren sind. Demgegenüber werden beim Öffnen der Augen hochfrequente Wellen kleinerer Amplitude gemessen (Birbaumer und Schmidt 2006b).

Im Schülerlabortag wird ein EEG bei geöffneten und geschlossenen Augen geschrieben. Um Daten zu erheben, werden Artefakte-freie, ruhige Bereiche des Gesamt-EEG für die Analyse ausgewählt (vgl. Abbildung 16 und Abbildung 17) und in stärkerer Vergrößerung bezüglich der Frequenz und Amplitude analysiert (Abbildung 17 und Abbildung 18).

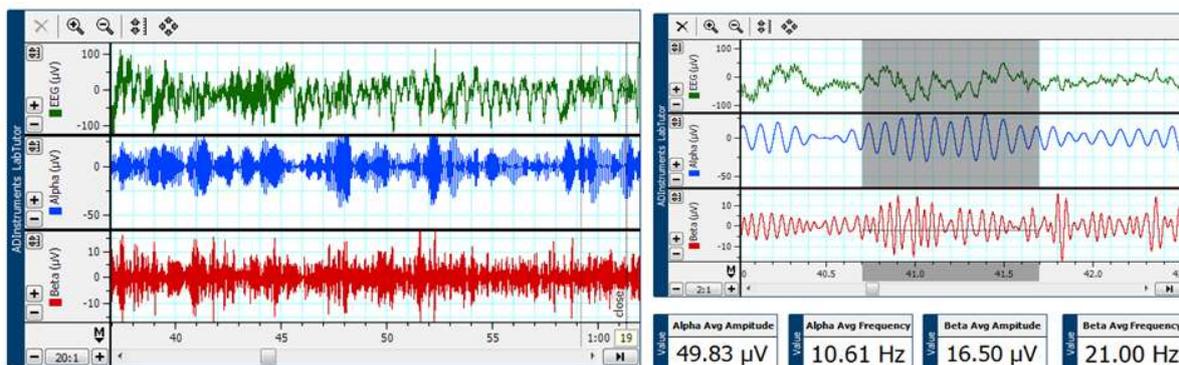


Abbildung 17: EEG bei geschlossenen Augen im Überblick (links) und Detail Alphawellen - Alpha-Grundrhythmus (rechts)

Alphawellen (Abbildung 17, Blaufärbung) werden am besten sichtbar, wenn die Augen geschlossen sind oder die Versuchsperson sich in einem entspannten Zustand befindet. Sie treten bei einer Frequenz von 8 bis 13 Hertz auf und zeigen eine mittlere Amplitude von 30 bis 50 Mikrovolt (μV). Dieser Zustand wird als Alpha- Grundrhythmus

bezeichnet, indiziert eine entspannte Wachheit und kann einer neuronalen Ruhelage in einigen kortikalen Arealen zugeordnet werden. In Abbildung 17 ist ein Messbereich mit typischem Alpha-Grundrhythmus (hier Amplitude von $49,83\mu\text{V}$) und eine durchschnittliche Frequenz von $10,61\text{Hz}$ zu sehen. Die Ergebnisse weiterer Messungen sind im Anhang (Anhang A) abgelegt.

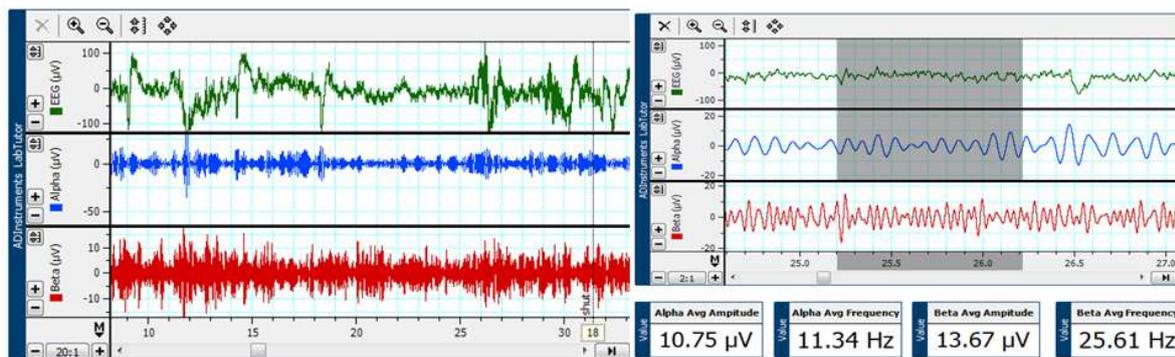


Abbildung 18: EEG bei geöffneten Augen im Überblick (links) und Detail Alphawellen – Blockade des Alpha-Grundrhythmus (rechts)

Alphawellen werden bei mentaler Arbeit, bei Konzentration oder bei geöffneten Augen blockiert (Abbildung 18). Je aktiver der Kortex, desto geringer ist die Amplitude der Alphawellen. Im abgebildeten Beispiel (Abbildung 18) liegt die Frequenz mit $11,34\text{Hz}$ im Frequenzband, die durchschnittliche Amplitude beläuft sich auf $10,75\mu\text{V}$ und markiert somit eine Alpha-Blockade.

Die gemessenen Amplituden von Alphawellen können stark variieren, was zum einen in der unterschiedlichen Leitfähigkeit von Gehirnflüssigkeit und Schädel und zum anderen in der Positionierung der Elektroden begründet sein kann. Auch das Alter der Probanden ist von Bedeutung: ältere Erwachsene weisen durchschnittlich eher geringere Amplituden der Alphawellen auf (Bear et al. 2009).

Der Entstehungsmechanismus des EEG

Das Großhirn erzeugt eine Reihe rascher elektrischer Rhythmen, die gut messbar sind und mit Verhaltensweisen in Beziehung gebracht werden können (Bear et al. 2009). Die dem EEG zugrundeliegenden Spannungsschwankungen sind allerdings nicht Aktionspotentiale, die mit $80\text{--}100\mu\text{V}$ zu den höchsten Spannungsschwankungen im ZNS gehören. Deren Messung müsste über intrazelluläre Mikroableitungen erfolgen.

Die außerhalb der Zelle messbaren Feldpotentiale sind viel geringer und vor allem mit 1-2 Millisekunden von kurzer Dauer (Zschocke 2002).

Die beim EEG registrierten Spannungen entstehen durch Potenziale bei der synaptischen Erregung der Dendriten zahlreicher Pyramidenzellen in der Großhirnrinde (Abbildung 19). Der direkt unter der Schädeldecke befindliche Kortex macht 80% der somatischen Hirnmasse aus. Den EEG-Wellen liegen postsynaptische Potenziale (PSP) der Zellschichten der äußeren Großhirnrinde zugrunde, die große Neuronenverbände bilden und parallel zur Hirnoberfläche an den Gyri angeordnet sind. Die Messbarkeit der Potentiale setzt die gleichzeitige Aktivität vieler Tausend Neuronen voraus, die in Form von synchronen exzitatorischen postsynaptischen Potentialen (EPSP) bzw. inhibitorischen postsynaptischen Potentialen (IPSP) auftreten (Zschocke 2002). Wird an exzitatorischen Synapsen das Zelläußere negativer, begünstigt dies die Bildung von EPSP (exzitatorischen postsynaptischen Potentialen). Wird an inhibitorischen Synapsen das Zelläußere positiver, werden die Ruhemembranpotentiale erhöht und IPSP (inhibitorische postsynaptische Potenziale) ausgelöst. Diese postsynaptischen Potentiale, also Potentialdifferenzen zwischen sub- und postsynaptischen Membranen, bedingen Ladungsverschiebungen, die sich als Ionenströme äußern (Zschocke 2002).

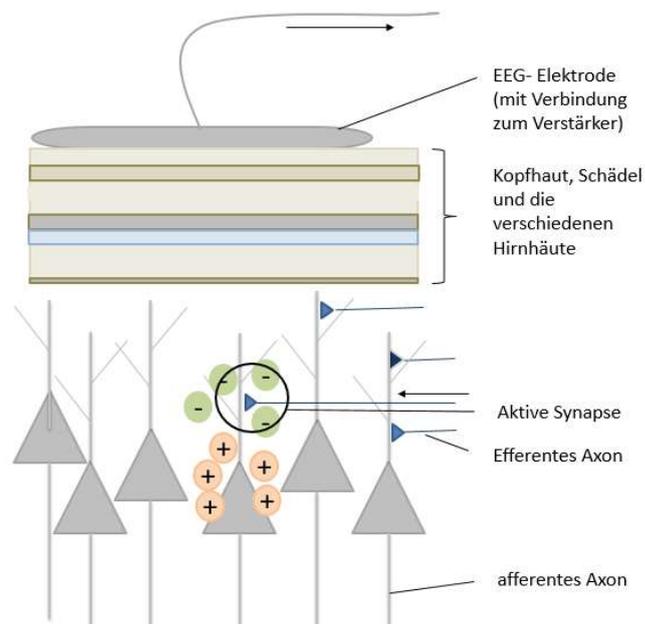


Abbildung 19: Entstehung elektrischer Felder durch synaptische Potenziale in Pyramidenzellen, verändert nach Bear et al. (2009). Eine elektrische Elektrode würde ein viel größeres Areal, als hier angedeutet, bedecken.

Auf die Kopfhaut aufgebrachte Elektroden (Abbildung 19) messen diese Potentialschwankungen zwischen zwei Elektrodenpaaren, die durch kortikale Aktivität der unter den Elektroden befindlichen Großhirnareale erzeugt werden. Direkt an der Schädeloberfläche werden Potentiale von 10–100 μ V (1 Mikrovolt = 1 Millionstel Volt) abgegriffen, die zuvor durch Gehirnrückenmarksflüssigkeit, Hirnhäute, Schädeldecke und Kopfhaut um den Faktor 10 abgeschwächt werden (Bear et al. 2009).

Die Höhe der Amplitude des EEG hängt davon ab, wie synchron die Aktivität der Neuronen ist: Wird eine Gruppe von Neuronen gleichzeitig erregt, ergibt die Signalsumme ein großes Oberflächensignal und somit ein Signal hoher Amplitude. Eine hohe Amplitude des EEG-Signals weist entsprechend auf eine starke synchrone Erregung, d.h. auf das gleichzeitige Auftreten vieler exzitatorischer oder inhibitorischer synaptischer Potenziale (EPSP, IPSP) hin. Dieser Zustand wird in traumlosen Schlafphasen bzw. abgeschwächt in entspannten bzw. Ruhephasen gemessen. Werden kortikale Zellen eines Verbandes zeitversetzt (asynchron) erregt, sind die sich ergebenden Summensignale geringer sowie unregelmäßiger und zeigen ein EEG-Signal von geringer Amplitude. Hochfrequente Rhythmen mit niedriger Amplitude lassen sich in Phasen besonderer Aufmerksamkeit, bei Wachsein oder in Traumphasen im Schlaf messen, wenn Informationen verarbeitet werden (Bear et al. 2009).

Mechanismen und Funktion von Gehirnrythmen

Die Großhirnrinde entwickelt vielfältige elektrische Rhythmen. Synchrone Rhythmen können auf zweierlei Weise zustande kommen. Einerseits können Neuronengruppen durch einen zentralen Taktgeber oder Schrittmacher angeregt werden (Abbildung 20, links) oder mehrere Neuronen übernehmen die Taktgeberfunktion gemeinsam und erregen oder hemmen sich gegenseitig (Abbildung 20, rechts). Neuronen zeigen die Tendenz, in einem bestimmten Frequenzbereich aktiv zu sein und beeinflussen dabei benachbarte Zellen (Bear et al. 2009).

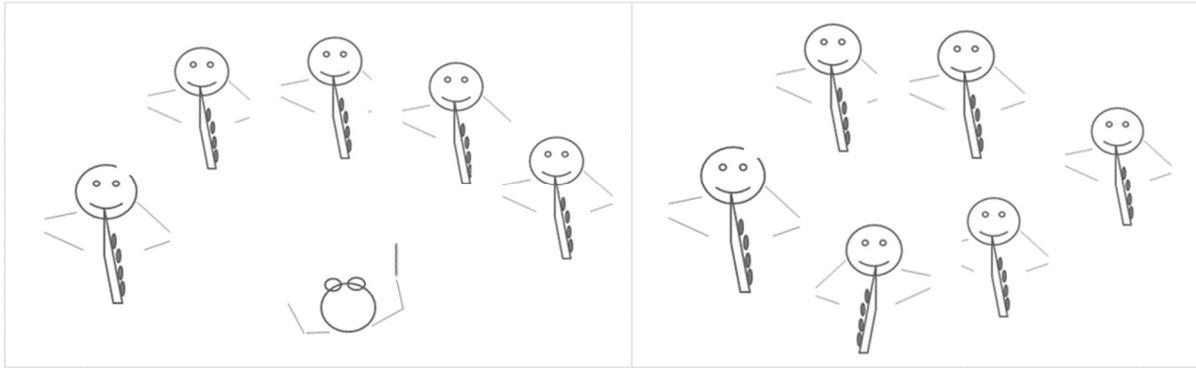


Abbildung 20: Mechanismen der Rhythmisierung: Schrittmacher (links), kollektive Rhythmisierung (rechts), verändert nach Bear et al. (2009)

Im Säugetiergehirn resultieren synchrone Aktivitäten meist aus der Kombination beider Prinzipien. Von besonderer Bedeutung für die Taktgebung der EEG-Rhythmen ist der Thalamus (Zschocke 2002; Ebe et al. 2002), in dem fast alle Afferenzen verschaltet werden, bevor sie in den Kortex gelangen. Thalamusneuronen können rhythmische Aktionspotenzialentladung erzeugen. Dabei werden viele exzitatorische und inhibitorische Thalamusneuronen, auch ohne Input, dazu angeregt, in der Gruppe gleichartige Aktivitätsmuster zu entwickeln. Diese Rhythmen der Thalamusneuronen („Bandleader“, Schrittmacher, vgl. Abbildung 20) werden dann in den Kortex geleitet und lösen dort in viel größeren kortikalen Neuronengruppen gleichartige Rhythmen („Band“) aus. Zum Teil sind synchrone Rhythmen der Hirnrindenneuronen aber auch auf eigene kollektive und kooperierende Mechanismen in dieser Region zurückzuführen (Abbildung 20).

1.1.7 Das Motorische System

Ein Leben lang werden Bewegungen und Bewegungsabläufe gelernt. Im folgenden Kapitel wird erläutert, wie die Programmierung von Bewegungsabläufen durch die beteiligten motorischen Systeme des Zentralnervensystems erfolgt. In diesem Zusammenhang wird der Beitrag der einzelnen Hirnregionen für Planung, Optimierung und automatisierte Ausführung motorischer Bewegungsabläufe dargestellt. In einem weiteren Kapitel wird anschließend auf die Veränderungen im Zusammenhang mit der neuronalen Plastizität sowie auf die zellulären und molekularen Veränderungen eingegangen.

Neuronale Steuerung von Bewegungsabläufen

Im Laufe seines Lebens erlernt der Mensch eine Vielzahl von Bewegungsabläufen willkürlich: Beispiele sind das Schreiben, Fahrrad fahren, oder Schwimmen. Anhand

des *Cup stacking*, welches am Schülerlabortag zum Einsatz kommt, wird nachfolgend die Entwicklung von motorischen Programmen näher erläutert. Beim *Cup stacking* wird eine Willkürbewegung durchgeführt, wenn die Becher gegriffen, gestapelt und wieder zurücksetzt werden (Abbildung 21). Das menschliche Gehirn koordiniert Planung, Kontrolle und Durchführung von Bewegungsabläufen. Zunächst erscheinen die Bewegungen grob, werden bei Wiederholung zunehmend feiner und genauer, bis sie schließlich gleichförmig automatisiert werden.



Abbildung 21: *Cup stacking* - Phasen des Versuches (von links nach rechts). Ausgangsposition mit 3 -6 -3 Stapeln, mittlere Position, Endposition

In Form von Lernkurven (Abbildung 22) können die verschiedenen Etappen motorischen Lernens abgebildet und deren Phasierung zu Steuerungsprozessen der verschiedenen Hirnbereiche in Beziehung gesetzt werden. Wenn eine Bewegungssequenz, wie das *Cup stacking* wiederholt durchgeführt wird, ist es wahrscheinlich, dass diese schließlich in einer kürzeren Zeitspanne gelingen kann. In der sogenannten *Lernphase* wird die Durchführung beschleunigt. Die *Kannphase* ist durch eine relativ konstante Ausführungsgeschwindigkeit gekennzeichnet. Der Verlauf der Lernkurve ist durch verschiedene Parameter beeinflussbar. Belohnung beispielsweise kann den Lernverlauf positiv beeinflussen.

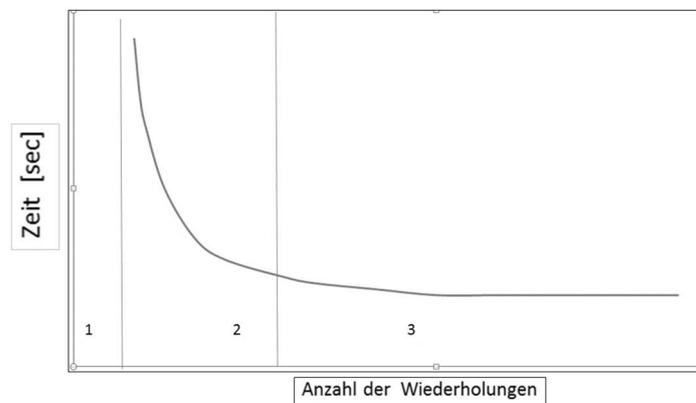


Abbildung 22: Idealisierte Lernkurve: 1 – Nullphase, 2 – Lernphase, 3 - Kannphase

Wie in Tabelle 6 ersichtlich, stellt im Zentralnervensystem das Großhirn hierarchisch organisiert die oberste und der Hirnstamm zusammen mit dem Rückenmark die unterste Kontrollebene des motorischen Systems dar (Bear et al. 2009): Als oberste Instanz der Bewegungskontrolle nimmt das Großhirn die Strategiefunktion ein, indem die Assoziationsareale des Neocortex und die Basalganglien des Großhirns zusammen das Bewegungsziel und die bestgeeignetste Bewegungsstrategie zur Zielerreichung definieren. Der Motorcortex und das Kleinhirn als mittlere Instanz entwickeln die Taktik eines präzisen räumlich-zeitlichen Ablaufs der Muskelaktivität zur Erreichung des Ziels. Hirnstamm und Rückenmark kontrollieren als untere Ebene die Ausführung, indem sie Motoneuronen und Interneuronen so aktivieren, dass die Zielgerichtetheit der Bewegungsabläufe gegebenenfalls mittels Korrektur der Körperhaltung bewirkt wird (Bear et al. 2009).

Tabelle 6: Hierarchie der zentralnervösen Bewegungskontrolle. Maßgebliche kortikale wie subkortikale Strukturen sowie deren Funktionen (nach Bear et al. 2009)

Ebene	Strukturen	Funktion
obere	Assoziationsbereiche des Neocortex, Basalganglien	Strategie (Definition des Bewegungsziels & Entwicklung der optimierten Bewegungsstrategie)
mittlere	Motorcortex, Kleinhirn	Taktik (präzise räumlich-zeitliche Koordination von Muskelaktivität)
untere	Hirnstamm, Rückenmark	Ausführung (Umsetzung in zielgerichteten Bewegungsablauf unter Korrektur der Körperhaltung)

Beispielhaft wird die zentralnervöse Steuerung bei einer raschen, die Extremitäten beider Körperhälften einbeziehenden, willkürlichen Bewegung im Zuge des *Cup stacking* erläutert. Der Neocortex empfängt Informationen über die Eingänge Sehen, Hören, somatische Empfindungen, Propriozeption und Lage des Körpers im Raum. Zur Zielverfolgung eines maximal schnellen und reibungslos durchgeführten Bewegungsablaufes, der das flüssige und fehlerfreie Stapeln und die Rückführung der Becher in die Ausgangsposition gewährleistet, werden zunächst Strategien abgewogen und dabei Vorerfahrungen eingebunden. In den Basalganglien werden Optionen gefiltert und entsprechende Informationen zurück an den Cortex geleitet.

Unter Einbezug von Vorerfahrungen werden in motorischen Arealen und dem Kleinhirn Entscheidungen getroffen. Die Aktivierung von Neuronen in Hirnstamm und Rückenmark führen schließlich zur Bewegungsausführung. Unter Zusammenwirken des motorischen und sensorischen Systems erfolgt die zeitlich korrekte Abstimmung der Schultern, Ellenbogen, Handgelenke sowie der Finger. Unter gleichzeitiger Anpassung der Körperhaltung wird ein zielführender Bewegungsablauf vollzogen (Bear et al. 2009).

Nachfolgend werden die unterschiedlichen Funktionsebenen genauer betrachtet. So wird die Mitwirkung der absteigenden Bahnen als Verbindungselement zwischen ZNS und peripherem Nervensystem erörtert und die neuronale Steuerfunktion des Motorkortexes und des Kleinhirns beleuchtet.

Absteigende Bahnen

Die lateralen Bahnen im Rückenmark, die als laterale Säulen abwärts verlaufen, kontrollieren die Willkürbewegungen unter direkter kortikaler Steuerung, während die sogenannten ventromedialen Bahnen, gesteuert durch den Hirnstamm, der Kontrolle der Körperhaltung und Körperbewegung dienen. Der Großteil der Trakte der lateralen Bahnen entstammt verschiedenen Regionen des Motorcortex. Weitere entspringen den somatosensorischen Arealen. Sie stellen die Verbindung zwischen Großhirn und Thalamus her, verlaufen über den *Pons* zur *Medulla oblongata* und bilden dort ventral eine Vorwölbung. Im Querschnitt zeigt der Corticospinaltrakt eine dreieckige pyramidale Form, weswegen dieser auch Pyramidenbahn genannt wird. An der Grenze zwischen Medulla und Rückenmark kommt es zur Überkreuzung der Pyramidenbahn, womit erklärt ist, warum der rechte Motorcortex die linke Körperhälfte steuert und umgekehrt der linke Motorcortex die rechte Körperhälfte (z.B. Bear et al. 2009).

Kortikale Bewegungsplanung

An der Kontrolle willkürlicher Bewegung sind der im Frontallappen lokalisierten Motorcortex sowie viele Areale des gesamten Neocortex beteiligt. Dem Motorcortex gehören neben dem primären motorischen Areal (M1) sekundäre Areale an: Hierzu zählen das prämotorische Areal (Area 6) und das supplementär-motorische Areal (SMA, Area 4), die in der Hemisphäre reziprok untereinander verbunden sind und auch über die Hemisphären hinweg (Illert und Kutz-Buschbeck 2006). Die zielgerichtete

Bewegung schließt das Bewusstsein für Raumgefühl, Zielperspektive und Strategieentwicklung zur Zielerreichung sowie die Planung und Speicherung desselben und schließlich das Generieren von Befehlen zur Umsetzung der Pläne ein. Verschiedene Großhirnareale sind in diese Operationen eingebunden (Bear et al. 2009). Im Weiteren werden zunächst die kortikalen Areale besprochen, die an Bewegungsplanung beteiligt sind. Anschließend wird erörtert, wie die Planumsetzung in Bewegung erfolgt.

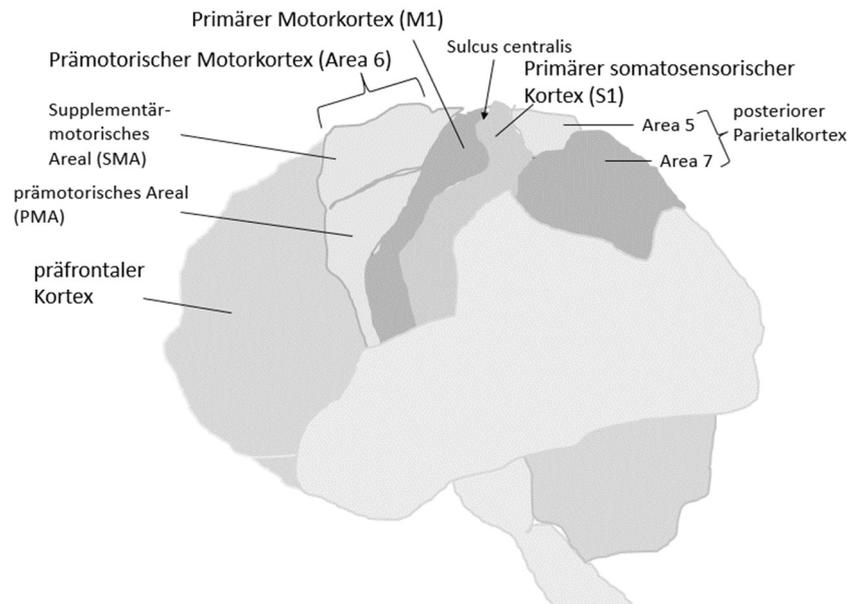


Abbildung 23: Kortexareale der Planung und Steuerung von Willkürbewegungen, verändert nach Bear et al. (2009)

Der primäre Motorcortex (M1, Area 4, vgl. Abbildung 23) ist in von zentraler Bedeutung für die Bewegungssteuerung. Er weist starke kortikospinale Projektionen zu Motoneuronen auf. Gleichzeitig finden sich im primären Motorcortex die besonders großen Betz-Riesenzellen (Pyramidenzellen). Der primäre Kortex liegt anterior vor dem *Sulcus centralis* (Zentralfurche) (Illert und Kuhtz-Buschbeck 2006).

Anterior davor angeordnet ist das prämotorische Areal (PMA, Areal 6), das die proximalen motorischen Einheiten steuert. Es dient der Planung und Initiierung sensorisch ausgelöster Bewegungsabläufe und steuert feinmotorische Bewegungen (Illert und Kuhtz-Buschbeck 2006). Weiterhin befindet sich hier das supplementär-motorische Areal (SMA), welches die distalen motorischen Einheiten innerviert (Bear et al. 2009). Es ist an der Aktivierung komplexer Bewegungen verschiedener Muskelgruppen beteiligt und koordiniert die beidhändigen Bewegungen (Illert und Kuhtz-Buschbeck 2006).

Der Parietal- und der Präfrontalcortex (vgl. Abbildung 23) sind zwar nicht Bestandteile des Motorkortex, jedoch an der sensomotorischen Integration und Programmierung von Bewegungsabläufen beteiligt (Illert und Kuhtz-Buschbeck 2006). Ihre Bedeutung besteht darin, beispielsweise gegenwärtig Positionen im Raum zu ermitteln, bevor komplexe Bewegungsabläufe geplant werden (Bear et al. 2009). Ein mentales Bild derselben wird durch somatosensorische, propriozeptive und visuelle Informationen generiert, die an den posterioren Parietalcortex weitergeleitet werden. Inputs der primären somatosensorischen Areale (1, 2, 3) sowie visuelle Rindenfelder höherer Ordnung (Area 7, vgl. Abbildung 23) sind von besonderem Interesse. Die Parietallappen sind ihrerseits mit Regionen im anterioren Frontallappen verknüpft, die beim Menschen mit abstraktem Denken, Treffen von Entscheidungen, Antizipieren von Handlungsfolgen in Beziehung stehen. Diese präfrontalen Felder und die des posterioren Parietalcortex (vgl. Abbildung 23) stellen die höchste Ebene in der Hierarchie der Bewegungskontrolle dar. Der präfrontale und der parietale Kortex sind mit Area 6 als Verbindungsstelle verknüpft. Signale, die die Art der gewünschten Handlungen festlegen, werden zu Signalen, die die Weise der Handlungsausführung festlegen. Belegt sind diese Vorgänge mittels PET (Positronen-Emissions-Tomografie) (Bear et al. 2009).

Für die neuronale Verortung der Bewegungsplanung ist die Area 6 (SMA und PMA, vgl. Abbildung 23) von besonderer Bedeutung. Es dient der Planung von besonders komplexen Bewegungsabläufen in der distalen Muskulatur. Bei Registrierung der Aktivität einzelner Neuronen in den motorischen Arealen wurde deutlich, dass etwa eine Sekunde vor einer Hand- oder Handgelenksbewegung die Entladungsrate in SMA zunimmt, was darauf zu hinweisen scheint, dass das SMA bei Bewegungsplanung einbezogen ist. Bei Bewegungen, die auf beiden Körperhälften auftreten, sind möglicherweise die Supplementären Areale beider Hemisphären über Balken miteinander verbunden (Bear et al. 2009).

Subcorticale Informationen, die an Area 6 geleitet werden, stammen aus einem Kern des Thalamus (*Nervus centralis*, *N. lateralis*, VL-Kern). Ein Teil dieses Kerns erhält Inputs von den Basalganglien in der Tiefe des Großhirns. Die Basalganglien wiederum sind als Funktionsschleifen mit den frontalen, präfrontalen und parietalen Kortex verbunden. Dies bedeutet, dass Informationen bestimmter Kortexareale mit entsprechenden Arealen der Basalganglien verschaltet sind, die zudem über den

Thalamus zurück zur Hirnrinde projizieren, besonders zum supplementär-motorischen Areal. Funktion der Schleifen ist offenbar die Selektion und Initiation willkürlicher Bewegungen. Die Basalganglien sind in mehreren Zentren organisiert und scheinen an mehreren parallelen Schaltkreisen beteiligt zu sein, von denen nur einige strikt motorisch wirken. Andere hängen mit Gedächtnis- und kognitiven Funktionen zusammen (Bear et al. 2009). Basalganglien sind neben der Steuerung der Extremitäten- und Augenmotorik, der Verarbeitung und Bewertung von sensorischer Information auch an der Anpassung von emotionalen und motivationalen Aspekten beteiligt (Illert und Kutz-Buschbeck 2006).

Die motorischen Funktionsschleifen (Bear et al. 2009) scheinen als positives Feedback die Aktivierung mehrerer kortikaler Areale auf supplementär-motorische Kortexareale zu fokussieren. Das Startzeichen für eine Bewegung wird gegeben, wenn die Aktivierung des SMA durch über die Basalganglien empfangene Inputs ein bestimmtes Maß überschreitet. Studien mit Erkrankten belegen, dass die direkte motorische Funktionsschleife Initiation einer beabsichtigten Bewegung fördert. Bewegungsarmut scheint auf Hemmung des Thalamus durch Basalganglien zurückführbar. Demgegenüber scheint Bewegungssteigerung durch einen verminderten Output der Basalganglien bewirkt zu sein. Interessanterweise zeigen Morbus Parkinson-Patienten degenerative Erkrankungen genau in diesem Bereich (Bear et al. 2009).

Die Auslösung von Bewegungen durch den primären Motorcortex (M1, vgl. Abbildung 23) wird wie folgt erklärt. Das SMA, eng mit dem M1 (=Area 4) verknüpft, wird als primärer Motorcortex bezeichnet. Diese Benennung scheint nach heutigem Wissensstand eher willkürlich, da die Area 4 nicht das einzige Cortex-Areal ist, das mit dem Corticospinaltrakt verbunden ist bzw. zur Bewegung beiträgt. Da jedoch schon eine leichte Reizung in diesem Areal Bewegungen auslöst, scheint dieses von besonderer Bedeutung. Es impliziert, dass die Area 4 dichte, starke Verbindung zu Motoneuronen und spinalen Interneuronen haben muss (Bear et al. 2009). Ein- und Ausgänge von M1 sind kortikal und subkortikal lokalisiert: Die der Kortexschicht V entstammenden Pyramidenzellen sind mit Ausmaßen bis zu 0,1mm besonders groß und werden nach ihrem Entdecker Wladimir Betz Betzsche Riesenpyramidenzellen genannt (Bear et al. 2009). Sie erhalten ihren Input aus anderen Kortexarealen bzw. vom Thalamus (Eingänge in den M1). Die Pyramidenzellen dieser Schicht projizieren ins Rückenmark und in verschiedene subkortikale Regionen, wie dem Hirnstamm, die

der sensomotorischen Verarbeitung dienen (Ausgänge des M1). Ein Prinzip der Codierung von Bewegung im M1 ist es beispielsweise, dass einzelne Pyramidenzellen offenbar verschiedene Motoneuronenpools einer Gruppe verschiedener Muskeln aktivieren, die die Bewegung einer bestimmten Extremität bewirken. Dabei werden besonders die Bewegungsstärke und die Bewegungsrichtung bestimmt. Die Bewegungsrichtung wird vermutlich durch die Neuronenpopulation bestimmt. Zur Steuerung willkürlicher Bewegungen im M1 können Aussagen, wie folgt, formuliert werden (Bear et al. 2009): Bei jeder Bewegung ist ein Großteil des Motorcortex aktiv, wobei die Aktivität jeder einzelnen Zelle eine Tendenz der Bewegungsrichtung gibt. Die Gesamtheit der beteiligten Zellen gibt das Gesamtbild einer Bewegungsrichtung. Man nimmt in diesem Zusammenhang eine Plastizität motorischer Karten an (Bear et al. 2009): Je größer die Neuronenpopulation ist, die eine Bewegung repräsentiert, desto feiner ist eine mögliche Kontrolle. Während die Feinmotorik von Händen und Gesichtsmuskulatur weitestgehend kontrolliert wird, ist die Feinmotorik anderer Muskeln erfahrungsbasiert modulierbar. Die Feinmotorik der Finger, Handgelenke, Ellenbogen, Schultern etc. können durch Übung, beispielsweise beim Musizieren, verfeinert werden. Neuronale Strukturen der M1 können offenbar auch die Bindung an eine bestimmte Bewegungsart aufgeben (kortikale Reorganisation) (Bear et al. 2009).

Das Kleinhirn

Das Kleinhirn ist an der motorischen Planung, Durchführung und Kontrolle von Bewegung beteiligt. Dabei führt ein Abgleich der afferenten Rückmeldung mit dem geplanten Bewegungsprogramm zur optimierten Bewegungsdurchführung und -planung. Moos- und Kletterfasern dienen als afferente Eingänge und Purkinje-Zellen zeigen hemmende Wirkung gegenüber Kleinhirnkernen. Die präzise räumlich-zeitliche, motorische Feinabstimmung von Muskeln und Muskelgruppen erfolgt durch das Kleinhirn. Es steuert das motorische Lernen, die stabilisierte Körperhaltung und das Gleichgewicht sowie die Kontrolle der Augenbewegung (Illert und Kutz-Buschbeck 2006).

Anatomisch betrachtet ist das Kleinhirn über kräftige Stiele, die *Pedunculi* mit dem *Pons* verbunden. Insgesamt ähnelt die Struktur des Kleinhirns dem eines Blumenkohls (Abbildung 24): Die dünne Rindenschicht ist vielfach gefaltet. Zur Oberflächenvergrößerung tragen die auf der dorsalen Oberfläche querlaufenden flachen Wülste, die *Folia*, und die Unterteilung des Kleinhirns in zehn *Lobuli* (Lappen)

bei. Eine Trennung in zwei Hemisphären durch einen Wulst, den *Vermis*, ist deutlich ausgebildet. Das Kleinhirn macht lediglich 10% des Gesamtvolumens des Gehirns aus, es enthält jedoch 50% aller Neuronen des ZNS. Es verfügt zudem über tief in der weißen Substanz liegende Kleinhirnerne, die Neuronen enthalten, über die die Weiterleitung von Informationen an den Hirnstamm erfolgt (Bear et al. 2009).

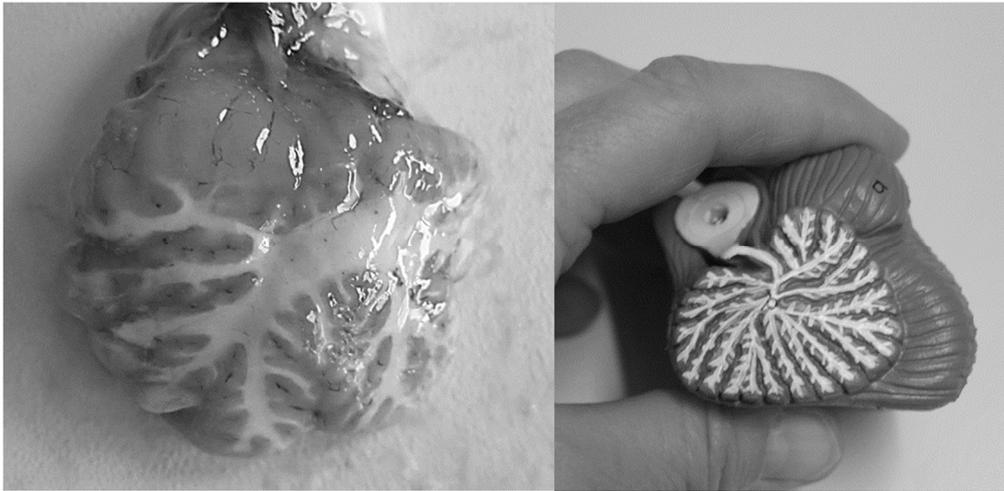


Abbildung 24: Kleinhirn quer am Hausschwein: Frischmaterial (links) und Mensch Modell (rechts) (Eigene Aufnahmen): Weiß im Innern die *Substantia alba*, umgeben von dunkel erscheinender Kleinhirnrinde (*Substantia grisea*).

Von besonderer Bedeutung für die Bewegung der Extremitäten ist das laterale Kleinhirn. Eine motorische Schleife besteht zwischen den frontalen Arealen 4 und 6 sowie posteriorparietalen Arealen, den Brückenkernen des *Ponses* (*Nuclei pontis*) sowie dem lateralen Kleinhirn und dem VL-Kern des Thalamus. Über sie erfolgt die Leitung von Informationen aus dem Großhirn zum Kleinhirn und über das laterale Kleinhirn via Thalamus zurück zum Motorcortex. Das Kleinhirn erhält ein Signal über eine Bewegungsabsicht, wird aktiviert und leitet das Signal in Form von Befehlen bezüglich Bewegungsrichtung, -timing und -stärke zum Motorcortex. Im Kleinhirn erfolgt ein Abgleich der beabsichtigten Bewegungen mit bereits Erlerntem und in Schaltkreisen des Kleinhirns werden notwendige Modifikationen vorgenommen (Bear et al. 2009).

1.1.8 Neuronale Plastizität

In einem späteren Kapitel (1.2) werden die Begriffe Lernen, Wissen und Gedächtnis differenziert betrachtet und auf biologisch fachwissenschaftlicher und bilingualer Ebene beleuchtet. Hier erfolgt eine kurze Erläuterung, um die nachfolgenden Inhalte besser nachvollziehen zu können. Lernen wird als Zuwachs an Wissen und

Fertigkeiten (Illert und Kutz-Buschbeck 2006), das erfahrungsbasiert erfolgt, aufgefasst. Gedächtnis ist demgegenüber die Fähigkeit des Nervensystems, Informationen zu wahren und wieder abrufbar zu machen (Vaas 2000). In diesem Kapitel werden die prinzipiellen physiologischen und zytologisch-anatomischen Veränderungen in Folge von Lernen und Manifestierung im Gehirn erörtert.

Sowohl neuronale Plastizität als auch Lernen basieren auf elektrochemischen Vorgängen und besonders auf Veränderungen an den *Spines* der Dendriten. Gemäß der Hebb-Regel (Hebb 1949) führt eine gleichzeitige prä- und postsynaptische Aktivierung zu einer assoziativen Verknüpfung, wobei die Ausbildung synaptischer Verbindungen unter Einfluss früherer Umwelteinflüsse erfolgt (Birbaumer und Schmidt 2006a). Veranlasst die wiederholte Erregung von zwei miteinander verschalteten Neuronen beim zweiten Neuron überschwellige Erregungen, so kann dies die Erhöhung der Effizienz des ersten Neurons für das zweite gesteigert, indem Wachstumsvorgänge oder Stoffwechseländerungen am ersten Neuron oder an beiden Neuronen erfolgen (Birbaumer und Schmidt 2006a).

Die Ausschüttung von Transmittern an am Lernprozess beteiligten Neuronen stellt einen zellulären Mechanismus dar, der die Kurzzeitgedächtnisleistung erklärt (Birbaumer und Schmidt 2010c). Das Kurzzeitgedächtnis und die Gedächtniskonsolidierung werden mit dem Phänomen der Langzeitpotenzierung und entsprechenden Veränderungen der NMDA-Komplexe (N-Methyl-D-Aspartat) verbunden. Die Langzeitgedächtnisbildung wird mit der Anregung der Proteinbiosynthese in Verbindung gebracht. Die so induzierten molekularen Prozesse führen u.a. zu einer Größen- und Formveränderung von Synapsen (Illert und Kutz-Buschbeck 2006). Gleichzeitig ist die Neurogenese bereits für den Hippocampus nachgewiesen: Es konnte belegt werden, dass im adulten Hippocampus neue Neuronen gebildet werden und zu funktionsfähigen Neuronen reifen (Bischofberger und Schmidt-Hieber 2006).

Lernen wird im ZNS sowohl durch Aufbauprozesse häufig benutzter Verbindungen als auch durch Abbauprozesse (Apoptose) nicht benutzter Verbindungen abgebildet: Der Einfluss früher Stimulation oder Deprivation in kritischen Wachstumsphasen führt zu dauerhaften Veränderungen des Gehirns (Birbaumer und Schmidt 2006a). An Tieren ist der Einfluss von stimulierenden und herausfordernden bzw. eintönigen Umgebungen belegt (z.B. Clayton und Krebs 1994; Rosenzweig und Bennett 1996).

Sowohl Lernen als Erfahrungen können mit makroskopisch-anatomischen sowie histologischen und molekularen Veränderungen korreliert werden: So zeigten stimulierte Tiere ausgeprägtere und schwerere Kortizes, eine erhöhte Anzahl an Neuronen sowie eine größere Zahl an dendritischen Fortsätzen und dendritischen *Spines* (Birbaumer und Schmidt 2006a). Ferner zeigten sie eine erhöhte Rate an Transmittersynthese, verdickte postsynaptische Zellmembranen, vergrößerte Zellkörper sowie eine Zunahme der Zahl und Aktivität der Gliazellen. In einzelnen Hirnregionen, z.B. der des Hippocampus, konnte ein Zuwachs an Neuronen nachgewiesen werden. Eine anregende und herausfordernde Umgebung sowie zielgerichtete geistig-körperliche Förderung scheinen spezifische Wachstumsprozesse in den beteiligten Neuronen zu induzieren (z.B. Birbaumer und Schmidt 2006a).

1.1.8.1 Zelluläre Strukturen und molekulare Mechanismen des motorischen Lernens

Zunächst wird im Folgenden der mit dem Kurzzeitgedächtnis verknüpfte molekulare Prozess der vermehrten Ausschüttung von Transmittern als Ergebnis von assoziativem Lernen dargestellt. Im Folgenden werden am Beispiel von Kleinhirn und Hippocampus die zellulären Grundlagen für die synaptische Plastizität erörtert. Um das motorische Lernen am Kleinhirn näher zu betrachten, werden zunächst die zellulären Verknüpfungen im Kleinhirn und im Hippocampus besprochen, bevor das Phänomen der Langzeitdepression im Kleinhirn molekularbiologisch genauer beleuchtet wird. Hernach werden zelluläre Verknüpfungen und molekulare Grundlagen der synaptischen Plastizität (Langzeitdepression und Langzeitpotenzierung) am Beispiel des Hippocampus dargestellt.

Kurzzeitgedächtnisbildung durch verstärkte Transmitter-Ausschüttung

Die molekularen Veränderungen im Zuge des Lernens sind bei sehr vielen Arten ähnlich. Grundlegende Mechanismen zum Lernen bei verschiedensten Modellorganismen wie den Meeresschnecken *Aplysia californica* und *Hermisenda crassicornis* sowie der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* scheinen mit der Kurzzeitgedächtnisbildung im Ergebnis viel gemeinsam zu haben (Birbaumer und Schmidt 2010b). Folge der Assoziation ist die Steigerung der postsynaptischen Transmitterausschüttung an Neuronen, die am Lernen beteiligt sind. Die Verstärkung führt postsynaptisch zu einer vermehrten Ausschüttung von Ca^{2+} -Ionen. Der vermehrte

Ca^{2+} -Einstrom und die verlängerten Aktionspotenziale werden dabei über eine Phosphorylierung und Schließung der K^+ -Kanäle bewirkt (Birbaumer und Schmidt 2010c).

Langzeitdepression (LDP) als Ergebnis der synaptischen Plastizität

An der Oberfläche des Kleinhirns, das hier im Ausschnitt dargestellt ist (Abbildung 25), zeigt die Kleinhirnrinde eine typische Schichtung: Einer außenliegenden, fast zellleeren Molekularschicht, in der die fächerförmig ausgebreiteten Dendriten der Purkinje-Zellen gelegen sind, schließen sich nach innen die Purkinje-Zellschicht und die Körnerschicht an (vgl. Abbildung 25). Innen befindlich ist die weiße Substanz.

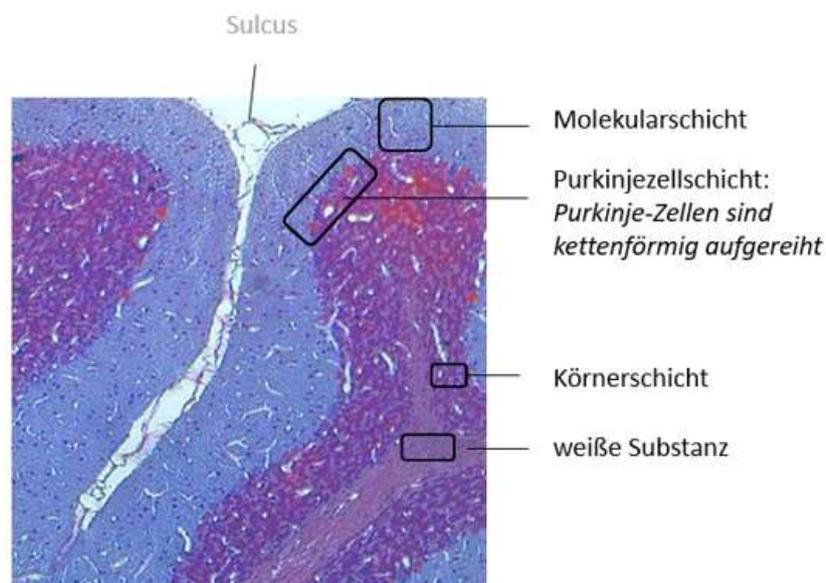


Abbildung 25: Struktur der Kleinhirnrinde (Mikroskopisches Bild)

Die Purkinje-Zellen (Abbildung 26) bilden Synapsen in tiefere Kleinhirnerne aus, die aufgrund ihres Neurotransmitters GABA (γ -Aminobuttersäure) inhibierend wirken. Über ihre Dendriten stehen die Purkinje-Zellen mit Kletterfasern, den Axonen von Zellen aus der unteren Olive (Kern in der *Medulla*), in Verbindung, die die Informationen der Propriozeptoren an Muskeln zusammenführen. Jede Purkinje-Zelle ist mit nur einem Neuron der unteren Olive verbunden, welches über hundert exzitatorische Synapsen an einer Purkinje-Zelle ausbildet, was eine starke postsynaptische Aktivierung bewirken kann. Die Moosfasern sind die Axone von Zellen, die ihren Ursprung in Zellgruppen des Hirnstamms haben sowie Informationen aus dem Neocortex weiterleiten und mit den in großer Zahl vorkommenden, kleinvolumigen Körnerzellen verbunden sind. Diese bilden Axone aus, die als

Parallelfasern in der Molekularschicht parallel zur Oberfläche verlaufen und mehrere Purkinje-Zellen kontaktieren. Bis zu 100 000 Parallelfasern können in Kontakt zu einer Purkinje-Zelle stehen (Bear et al. 2009).

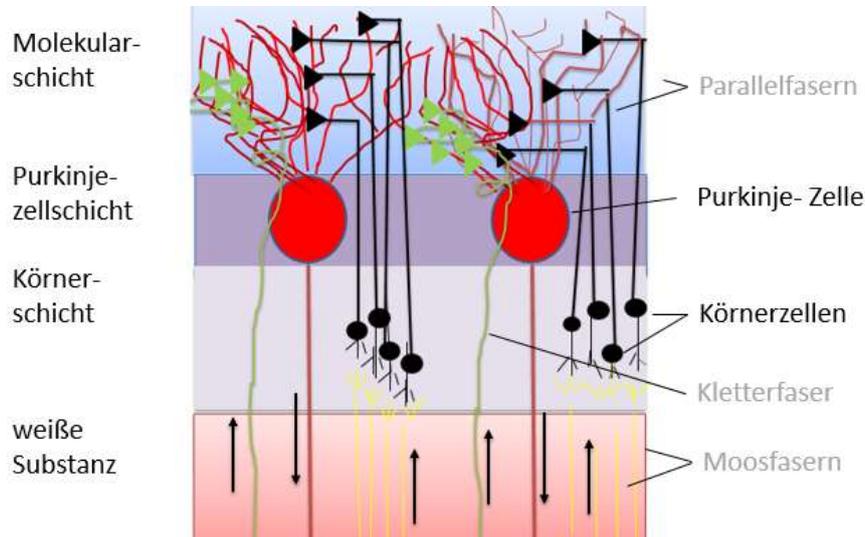


Abbildung 26: Struktur der Kleinhirnrinde (schematisch), verändert nach Bear et al. (2009). In der Legende rechts sind die Namen der Neuronentypen schwarz, die Namen der Axone verschiedener Neuronen graufarbig hervorgehoben.

Aufgrund der Konvergenz der Eingänge von Parallel- und Kletterfasern in den Dendriten der Purkinje-Zellen wurde schon früh eine Hypothese zum motorischen Lernen entwickelt (Marr-Albus-Theorie des motorischen Lernens): Es wurde postuliert, dass der Input der Kletterfasern Fehlersignale überträgt, die anzeigen, dass eine Bewegung nicht den Erwartungen entspricht und dass durch Anpassung der Effizienzen der Eingänge von Parallelfasern in die Purkinje-Zelle Korrekturen erfolgen und so die Plastizität der Synapsen zwischen Parallelfasern und Purkinje-Zellen dem motorischen Lernen dienen (Bear et al. 2009).

Diese Hypothese wurde experimentell bestätigt: Nach einer gleichzeitigen Aktivierung über Parallelfasern und Kletterfasern brachte im Anschluss die alleinige Aktivierung der Parallelfasern eine geringe postsynaptische Reaktion der Purkinje-Zellen hervor. Diese Langzeitdepression (*long-term depression*, LTD) ist mindestens von einstündiger Dauer. Die hier beobachtete Modifikation beruht auf einer Abnahme der postsynaptischen Reaktion auf den Neurotransmitter Glutamat. Bei der LTD werden offenbar die sogenannten AMPA-Rezeptoren (α -Amino-3-Hydroxy-5-Methyl-4-Isoxazolepropionsäure-Rezeptor) internalisiert, was die geringe Empfindlichkeit erklärt (Bear et al. 2009).

In Tabelle 7 sind die wesentlichen Kenngrößen der Langzeitdepression (LTD) zusammengestellt, und im Weiteren wird der Mechanismus, der zur LTD führt, genauer beleuchtet.

Tabelle 7: Kennzeichen der Langzeitdepression (LTD)

Lage des Systems	<ul style="list-style-type: none"> • Kletterfasern und Parallelfasern innervieren an Dendriten der Purkinje-Zellen
Allgemeiner Effekt	<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinsame Synapse ist weniger aktiv
Art der synaptischen Veränderung	<ul style="list-style-type: none"> • Postsynaptische Veränderung • Postsynaptische Abnahme der Reaktion auf den Transmitter Glutamat
Bedingungen in den Dendriten der Purkinje-Zellen	<ul style="list-style-type: none"> • Anstieg der internen Ca^{2+}-Konzentration • Anstieg der internen Na^{+}-Konzentration • Aktivierung der Proteinkinase C
Zugrundeliegende Mechanismus/Folge der LDP	<ul style="list-style-type: none"> • Internalisierung von AMPA-Rezeptoren

Die beiden Eingänge der Purkinje-Zellen, die Kletterfasern und die Parallelfasern, werden bezüglich ihrer Wirkung auf die Induktion der Langzeitdepression betrachtet. Der Eingang über die Kletterfasern stellt einen wirkungsvollen Eingang dar, der stets großes postsynaptisches EPSP erzeugt und die Bildung von Aktionspotenzialen in der Purkinje-Zelle hervorruft (vgl. Abbildung 27). Neben den Aktionspotenzialauslösenden spannungsabhängigen Na^{+} -Kanälen werden auch die Ca^{2+} -Kanäle in den Dendriten der Purkinje-Zellen aktiviert und die interne Ca^{2+} -Konzentration steigt erheblich. Die Aktivierung des zweiten Eingangs (der Parallelfasern) bewirkt die Ausschüttung des Transmitters Glutamat, der an die AMPA-Rezeptoren bindet und ein EPSP auslöst. Ein zweiter Glutamat-Rezeptor liegt vor, der sogenannte metabole Glutamatrezeptor, der über eine Wirkkaskade letztlich die Proteinkinase C aktiviert. Die Bildung von LTD basiert auf drei Mechanismen:

1. Internes Ansteigen der Ca^{2+} -Konzentration bedingt durch die Aktivierung der Kletterfasern,
2. Anstieg der internen Na^{+} -Konzentration aufgrund der Aktivierung der AMPA-Rezeptoren,

3. Aktivierung von Proteinkinase C aufgrund der Aktivierung der metabolen Glutamatrezeptoren.

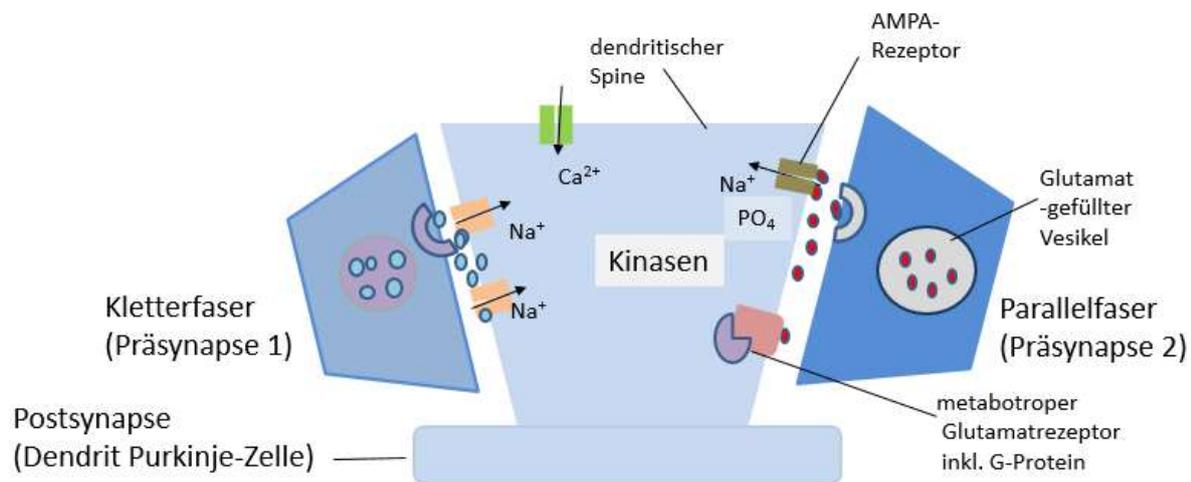


Abbildung 27: Mechanismus der Induktion eines LDP im Kleinhirn, verändert nach Bear et al. 2009

In der Folge kommt es zur Phosphorylierung von Proteinen und schließlich wird die Anzahl der AMPA-Rezeptoren reduziert. Ein Zusammentreffen der Anstiege interner Na⁺- und Ca²⁺ Konzentration und der Aktivierung von Proteinkinase C führt zur Bildung von Gedächtnisspuren, die eine Reduktion der AMPA-Rezeptoren und des exzitatorischen postsynaptischen Signals bedingt (Bear et al. 2009). Nachdem die zellulären und physiologischen Grundlagen der synaptischen Plastizität am Kleinhirn dargestellt wurden, werden die entsprechenden Forschungsstände am Hippocampus dargestellt.

Langzeitpotenzierung - Synaptische Plastizität im Hippocampus

An der Entwicklung des deklarativen Gedächtnisses ist neben Strukturen des Neokortexes und Bereichen im medialen Temporallappen u.a. der Hippocampus beteiligt. Schon in den 1970er Jahren konnte experimentell Langzeitpotenzierung nachgewiesen werden. Der vergleichsweise einfache Aufbau sowie die einfache Organisation des Hippocampus und die Möglichkeit längere Zeit *in vitro* an lebenden Hirnschnitten sehr präzise Elektroden und Ableitungen an Neuronen zu positionieren, hat seit den 1960er Jahren die Erforschung von LTP und LDP auch bei Säugetieren sehr unterstützt. Sowohl die Langzeitpotenzierung als auch die Langzeitdepression scheinen neueren Forschungsergebnissen zufolge die Bildung des deklarativen Gedächtnisses zu beeinflussen (Bear et al. 2009).

Der Hippocampus als Teil des limbischen Systems besteht anatomisch betrachtet aus zwei dünnen Schichten von Neuronen, dem *Gyrus dentatus* und dem Ammonshorn mit seinen vier Untereinheiten (*Cornu ammonis*, CA1 bis 4, vgl. Abbildung 28), wobei besonders die Unterbereiche CA3 und CA1 für das Lernen von Relevanz sind. Einen wichtigen Input zum Hippocampus bildet ein Axonbündel aus dem entorhinalen Kortex (*Tractus perforans*), der Informationen aller Assoziationsareale des Neocortex bündelt (Birbaumer und Schmidt 2006a). Neuronen des *Gyrus dentatus* bilden als Moosfasern Synapsen mit Zellen der CA3-Region (vgl. Abbildung 28). Verzweigte Axone führen zum *Fornix* bzw. bilden als Schaffer-Kollaterale Synapsen mit Neuronen der Region CA1 (vgl. Abbildung 28) (Bear et al. 2009).

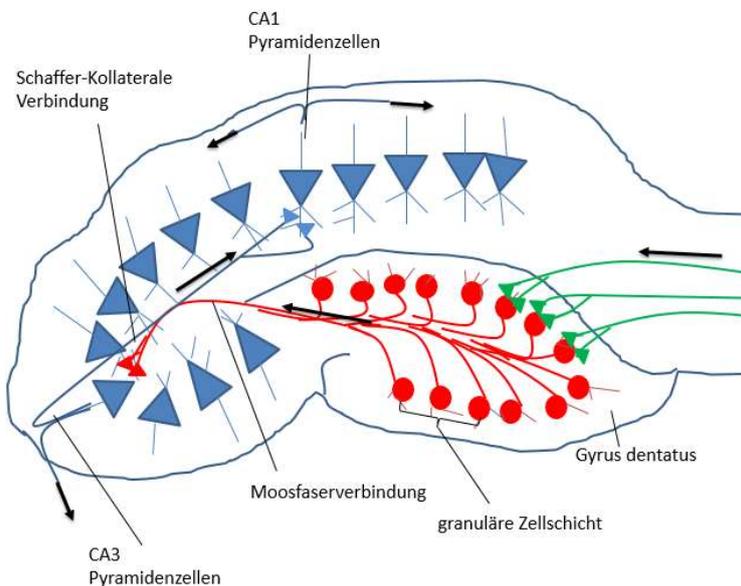


Abbildung 28: Anatomie des Hippocampus und seine Mikroschaltkreise, verändert nach Bear et al. (2009) & Birbaumer und Schmidt (2006a)

Eigenschaften der LTP in der Region CA1

In der neueren Forschung werden die meisten Versuche zum Mechanismus der LTP an Synapsen der Schaffer-Kollateralen mit Pyramidenzellen der Region CA1 in Hirnschnittpräparaten durchgeführt (Bear et al. 2009). Dabei erfolgt eine kurze elektrische Reizung und nachgeschaltet die Messung der resultierenden EPSP an den postsynaptischen CA1-Neuronen. Nach Testreizung treten erheblich größere EPSP als ohne diese auf, d.h. die Effizienz der Synapsen ist gesteigert. Wichtig für die Ausbildung von LTP ist jedoch nicht die hochfrequente Reizung, sondern eine zeitgleiche Aktivierung der Synapsen, die die starke Depolarisation der

postsynaptischen Membran der CA1-Neuronen bewirkt. LTP entstehen, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

1. Synapsen werden mit einer hinreichend hohen Frequenz gereizt, um eine zeitliche Summation der EPSP zu erzielen.
2. Es sind genügend Synapsen gleichzeitig aktiv, um zusammen räumlich summierend EPSP zu verursachen (Prinzip der Kooperativität).

Vergleichbar den Bedingungen bei der LDP, kommt ein LTP dann zustande, wenn die Reizung einer Synapse mit der postsynaptischen Depolarisation zusammenfällt und so eine simultane prä- und postsynaptische Aktivierung erfolgt (Birbaumer und Schmidt 2010c). Zur Bildung eines LTP müssen aber im Gegensatz zum LDP viele exzitatorische Synapsen aktiv sein (Bear et al. 2009).

Im Hippocampus kann eine Assoziation durch Inputs aus unterschiedlichen Regionen (Region A, B) folgendermaßen erklärt werden: Zu Beginn ist kein Input stark genug, postsynaptisch ein Aktionspotenzial auszulösen. Werden jedoch zunächst Input A und B gleichzeitig stark feuern, werden LTP ausgelöst. Zu einem späteren Zeitpunkt kann ein einzelner, stark feuernder Input die Aktivierung einer postsynaptischen Zelle bewirken. Mit Hilfe dieses Mechanismus wird z.B. erklärbar, dass Menschen schließlich beim bloßen Anblick einer Rose deren prototypischen Duft erinnern können. Dieser Befund lässt sich ebenfalls mit dem Hebb'schen Modell verknüpfen (Bear et al. 2009). Bemerkenswert ist eine lange Dauer der LTP: Eine an CA1-Neuronen ausgelöste LTP kann mehrere Wochen bis lebenslang erhalten bleiben, weshalb diese Erscheinungen mit der Entwicklung des deklarativen Gedächtnisses in Verbindung gebracht werden (Bear et al. 2009).

Molekulare und strukturelle Mechanismen der Neuroplastizität zur Bildung der LTP in der hippocampalen Region CA 1

Auch im Hippocampus fungiert Glutamat als Transmitter. Dieser kann grundsätzlich an die AMPA- oder die NMDA-Rezeptoren binden (vgl. Abbildung 29).

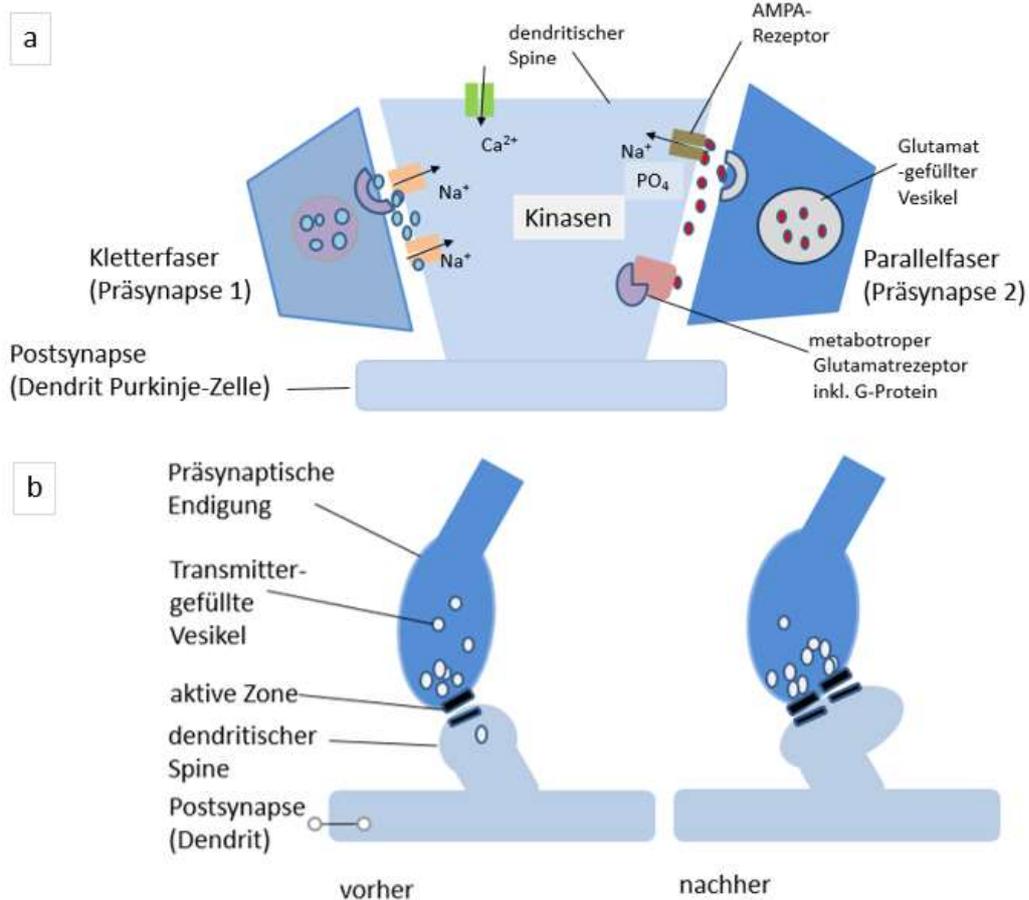


Abbildung 29: Molekulare und strukturelle Veränderungen nach LTP an hippocampaler CA1-Region: a) Expression von LTP in CA1, verändert nach Bear et al. (2009), b.) Strukturelle Veränderungen, verändert nach Birbaumer und Schmidt (2006a)

Während die AMPA- Rezeptoren die am häufigsten vorkommenden Tunnelproteine für die im ZNS verbreiteten Kationen sind, finden sich NMDA-Rezeptoren an den postsynaptischen Membranen der hippocampalen CA1- Region, nicht aber an denselben des Kleinhirns. Bei geringer Glutamatkonzentration sind NMDA-Rezeptoren durch Mg²⁺-Ionen blockiert und inaktiviert und werden durch Bindung von Ca²⁺-Ionen aktiviert. Der präsynaptische Einstrom von Na⁺-Ionen bedingt die Freisetzung von Glutamat. Bindet dieses an AMPA-Rezeptoren, werden EPSP an den hippocampalen Pyramidenzellen ausgelöst, was zur Neubildung von AMPA-Rezeptoren führen kann (Abbildung 29a). Zudem werden die auch in den hippocampalen postsynaptischen Membranen befindlichen NMDA-Rezeptoren durch Anbindung von Glutamat bei gleichzeitig vorliegender Depolarisierung der Membran aktiviert, indem die Mg²⁺-Ionen abgespalten werden. Dieses geschieht, wenn kontinuierlich Transmitter sezerniert und Neuronen zu Zellverbänden (*cell assemblies*) verknüpft sind. In diesem Zusammenhang wird die Funktion der Adenylatzyklase als Koinzidenzdetektor herausgestellt: Metabole Rezeptoren, an die ein G-Protein

gebunden ist, aktivieren die Adenylatzyklase, die daraufhin cAMP bildend, die cAMP-abhängige Proteinkinase aktiviert (Birbaumer und Schmidt 2010c). Der Einfluss von Ca^{2+} -Ionen aktiviert zwei Proteinkinasen (Proteinkinase C und die Calcium-Calmodulin-abhängige Proteinkinase II, CaMK II), die LTP auslösen. Sie erhöhen durch Phosphorylierung die Effizienz von AMPA-Rezeptoren (Abbildung 29), was die Ionenleitfähigkeit der Tunnel erhöht. Oder sie führen zu strukturellen Veränderungen, indem sie neue dendritische Dornfortsätze (*spines*) ausbilden und neue synaptische Kontaktstellen an Axonen entwickeln (Abbildung 29).

Zusammenfassend belegen Forschungsergebnisse, dass die LTP im Hippocampus mit strukturellen und molekularen Veränderungen verbunden ist. Die strukturellen Veränderungen durch Bildung von Dornfortsätzen und Synapsen führen neben der Erhöhung der reaktiven Oberfläche auch zur Erhöhung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Aktionspotenzialen. Simultane Aktivierung der prä- und postsynaptischen Membran bedingt die Effizienzsteigerung der vorhandenen AMPA-Kanäle und deren Neogenese (Bear et al. 2009).

Das Ende der Wirkkaskade bei der Langzeitpotenzierung wird durch die Freisetzung retrograder Messenger wie Stickoxid (NO), Kohlenstoffmonoxid (CO) oder Nervenwachstumsfaktoren initiiert, indem sie in die präsynaptische Zelle diffundieren, die eine erhöhte Erregung erhält. Dabei kann eine kurze einmalige Reizung mit der Kurzzeitgedächtnisbildung und eine langanhaltende Reizung mit der Langzeitgedächtnisbildung in Beziehung gesetzt werden (Birbaumer und Schmidt 2010c).

Langzeitdepression und Langzeitpotenzierung als generelle Phänomene des lernenden Gehirns

Sowohl die Abnahme von synaptischer Übertragungsstärke (LTD im Kleinhirn) als auch deren Zunahme (LTP im Hippocampus) können zum Lernen in Beziehung gesetzt werden. Gleichzeitig liegen Befunde dafür vor, dass sehr vermutlich beide Formen der synaptischen Plastizität in beiden Orten stattfinden. Bekannt ist, dass Ortszellen des Hippocampus in beide Richtungen modifizieren, wenn sie stärker auf eine neue Umgebung und schwächer auf eine bekannte Umgebung reagieren. Ähnliche Veränderungen in der Antwortselektion in vielen Großhirnregionen sind belegt, beispielsweise wenn Informationen gelernt werden. Anhand der aktuellen

Modelle neuronaler Netzwerke wird erklär- und begründbar, dass erfahrungsbasierte Veränderungen der Selektivität einzelner Neuronen auf synaptische Modifikationen zurückzuführen sind. Auch scheint sicher, dass Informationen über mehrere Neuronen verteilt gespeichert werden. Erinnerungen werden entsprechend als Muster synaptischer Modifikationen codiert, bestimmte Synapsen sind dabei verstärkt, andere abgeschwächt (Bear et al. 2009).

Molekulare Basis des Langzeitgedächtnisses

Die Konsolidierung sowie das Langzeitgedächtnis werden mit Änderungen der Genexpression und Proteinbiosynthese in Verbindung gebracht. Gleichzeitig wird betont, dass Gedächtnisinhalte ausschließlich in neuronalen Netzen oder Ensembles niedergelegt sind. Die Spezifität der Information kann dabei über die Modifikation synaptischer Effizienz kodiert werden (Birbaumer und Schmidt 2010c).

Von besonderer Bedeutung scheinen die Botenstoffe, die als *second messenger* bezeichnet und bei anhaltender Erregung oder Hemmung der postsynaptischen Zelle synthetisiert werden. Sie regen über die RNA-Synthese die Expression von Proteinen an. Langzeitige LTP führen zu dauerhaften intrazellulären Veränderungen. Der Aufbau von Proteinen geschieht innerhalb von 30 bis 60 Minuten, wohingegen Prozesse wie die Phosphorylierung oder Ionenflüsse innerhalb weniger Millisekunden bis Minuten erfolgen. Die Menge an synthetisierten Proteinen wiederum ist von der Transkriptionsrate abhängig (Birbaumer und Schmidt 2010c)

Ein denkbarer Mechanismus ist, dass eine durch Kinasen bewirkte Phosphorylierung dauerhaft angeschaltet bleibt. Die Kinasen sind normalerweise streng reguliert und bedürfen zu Aktivierung der Anwesenheit eines *second messenger*. Entsprechend der Hypothese des molekularen Schalters bleibt beispielsweise CaMKII als sog. autophosphorylierende Proteinkinase ständig aktiviert, weil seine Autophosphorylierung schneller als seine Dephosphorylierung erfolgt. Das Enzym bleibt so daueraktiviert und kann zur Potenzierung der Synapse beitragen. Damit kann deren Aktivität für einen Zeitraum bis zu Stunden erklärt werden. Des Weiteren müssen für die Ausbildung des Langzeitgedächtnisses neue Proteine gebildet werden, die wiederum zur Neubildung von Synapsen führen (Bear et al. 2009).

Eine Regulation der Proteinsynthese erfolgt durch Transkriptionsfaktoren, z.B. das Molekül CREB (*cyclic AMP response element binding protein*). Dieses bindet an ein DNA-Molekül eines bestimmten Chromosoms, woraufhin die RNA-Polymerase an die Promotorregion der DNA bindet und die Transkription einleitet. In unerregten Zellen liegt CREB inaktiv vor, durch eine langanhaltende Phosphorylierung der Zelle wird es durch die hohe Konzentration an Ca^{2+} -Ionen aktiviert (Birbaumer und Schmidt 2010c). Yin und Tully (1996) belegten experimentell bei der Taufliege *Drosophila melanogaster*, die der Gedächtniskonsolidierung zugrundeliegende Regulation der Genexpression. Mittels der beiden CREB-Formen (eines zur Reprimierung der Genexpression, eines zur Aktivierung der Transkription) kann eine unterschiedlich starke Gedächtnisleistung molekular erklärt werden (Bear et al. 2009). Der Zusammenhang von struktureller Plastizität und Gedächtnis kann bei *Aplysia* bestätigt werden, wenn die Neubildung von Synapsen und des Langzeitgedächtnisses oder deren Reduktion beobachtbar sind. Bei Säugetieren sind die Verhältnisse allerdings komplexer und darum nicht so einfach belegbar (Bear et al. 2009).

1.2 Fachdidaktischer Hintergrund

Zunächst wird der lerntheoretische Hintergrund des Lehr-Lernarrangement dieser Studie dargestellt, bevor aus biodidaktischer Sicht das praktische Experimentieren sowie die sachfachliche Wissenskonstruktion und abschließend aus fremdsprachlicher Sicht das bilinguale Lernen im Schülerlabor beleuchtet wird.

1.2.1 Lerntheoretischer Hintergrund

Da im Zentrum der vorliegenden Studie die Untersuchung des Aufbaus von Wissen in fachwissenschaftlich-biologischer und fremdsprachlicher Hinsicht sowie die Untersuchung des Einflusses des Treatments (englisch bilingual vs. monolingual deutschsprachig) auf die Lern- und Behaltensleistung steht, wird im folgenden Abschnitt zunächst ein Modell der Gedächtnisbildung vorgestellt, das die zeit- und inhaltsbezogenen sowie die aktuellen modal- und prozessorientierten Forschungsergebnisse zusammenfasst. Ferner werden in Erweiterung das prozessorientierte Konzept der Verarbeitungstiefe und die *Cognitive Load Theory* dargestellt, bevor die neurobiologischen Grundlagen für das Sprachenlernen thematisiert werden. Anschließend werden Aspekte der motivationalen und kognitiven Bedingungen des Lernens erörtert.

1.2.1.1 Gedächtnisbildung & Wissenskonstruktion

Bei der Erforschung von Gedächtnisbildung und Wissenskonstruktion werden die Begriffe Lernen, Gedächtnis, Wissen und Erinnern voneinander abgegrenzt. *Lernen* bezeichnet die Modifikation von Verhalten durch Erfahrung und beschreibt den Prozess, bei dem neues Wissen sowie neue Fertigkeiten erworben werden. Beobachtbare Verhaltensveränderungen machen das Lernen messbar. Dem gegenüber bezeichnet *Gedächtnis* die Fähigkeit des Nervensystems, Informationen aufzunehmen, zu behalten. Es beinhaltet nach Abruf auch die Ausführung des Erfahrenen und Gelernten. Zusammenfassend benennt Gedächtnis den Prozess, Wissen und Fertigkeiten für die Zukunft zu bewahren (Birbaumer und Schmidt 2010b). *Wissen* wird demgegenüber als Besitz von Konzepten und kognitiven Fähigkeiten definiert (Reinmann-Rothmeier und Mandl 2013). *Erinnern* ist der Abruf gespeicherter Information.

Physiologisch beruht Lernen auf Aktivierungsmustern von Neuronenverbänden (Hebb 1949) und auf dem Phänomen der Neuroplastizität. Kurzzeitige Effekte des

Kurzzeitgedächtnisses beruhen auf membranphysiologischen Mechanismen, die auf Ionenströme wirken. Wiederholte Übertragungen von Impulsen zwischen Neuronen führen zu dauerhafter Entfaltung der Übertragung, welche mit Lernen gleichgesetzt werden kann. Neuronen zeigen eine Eigenaktivität des Aktivierens von sich selbst und nachgeschalteten Neuronen zu Zellverbänden. Erinnern basiert einerseits auf Aktivierungsmustern in bestimmten Neuronenverbänden und andererseits auf dem bevorzugten Auftreten bereits aktivierter Verbindungsmuster. Demgegenüber beruhen langfristige Effekte der Konsolidierung auf Umbauprozessen in der Morphologie von Neuronen, wie beispielsweise der Neubildung synaptischer Verknüpfungen (Lefrançois 2006; Birbaumer und Schmidt 2010c). Zusammen mit der Amygdala dient der Hippocampus als Bestandteil des limbischen Systems der Enkodierung und dem Abruf von Informationen (Birbaumer und Schmidt 2010b). Eine bestimmte Tätigkeit wird als gespeichert angesehen, wenn nach 24 Stunden erfolgreiche Performanz erfolgt (Birbaumer und Schmidt 2006c).

1.2.1.2 Aktuelles modal- und prozessorientiertes Gedächtnismodell

Das hier vorgestellte Gedächtnismodell (Abbildung 30) beruht auf dem zeitbezogenen Dreispeichermodell von Atkinson und Shiffrin (1968), dem modularen Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch (Baddeley 2003) sowie dem prozessbezogenen *Embedded Processes Model* von Cowan (2007) und dem Modell des *Multi-Media*-Lernens (Mayer 2007b). Hier vorgestellt, kombiniert es modellhaft die inhalts- und funktionsbezogene Teilung des Gedächtnisses in die drei Speichersysteme Sensorisches, Kurzzeit-, und Langzeitgedächtnis, die den zeitlichen Verlauf der Gedächtnisbildung abbilden (vgl. Abbildung 30). Zusätzlich verdeutlichen waagrecht verlaufende Pfeile kognitive Prozesse der Informationsverarbeitung (Enkodierung). Senkrecht eingefügte Pfeile benennen exemplarisch weitere Einflussgrößen für eine erfolgreiche Encodierung bzw. Aktivierung von Information (vgl. Abbildung 30). Der Einfluss des Selbstkonzepts auf das Lernen wird hier kurz erläutert und in Kapitel 1.2.1.4 umfassender thematisiert.

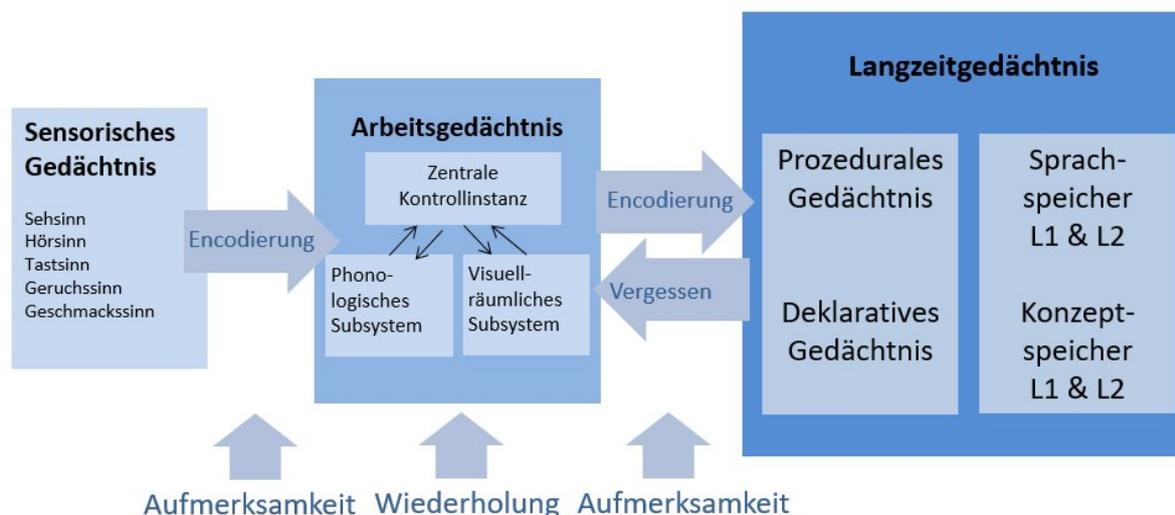


Abbildung 30: Modales Gedächtnismodell inklusive wesentlicher Informationsverarbeitungsprozesse im Überblick (nach Anderson 2007, Birbaumer & Schmidt 2010, Buchner 2012, Diehr 2016, Sousa 2012)

Das *sensorische Gedächtnis (Ultrakurzzeitgedächtnis)* stellt als Schnittstelle zwischen Wahrnehmung und Gedächtnis eine temporäre Form des Gedächtnisses dar. Für wenige hundert Millisekunden prozessiert es eine große Anzahl von sensorischen Informationen unterschiedlichster Modalitäten nach bestimmten Merkmalen und nimmt Informationsbündelungen vor. Repräsentationen werden in reizspezifischen Formaten vorgenommen und ein Großteil der Informationen geht verloren (Buchner 2012). Für visuelle Informationen erfolgt eine erste Verarbeitung entsprechend im visuellen Kanal, für Texte beispielsweise im auditiven. Bei der Sprache kann je nach Darreichungsform eine doppelte Verarbeitung erfolgen. Bildlich dargebotene Informationen können beim Lerner entsprechende mentale Bilder hervorrufen und umgekehrt können verbal dargebotene Informationen bildliche Eindrücke erzeugen (Unterbruner 2007).

Wenn Informationen Aufmerksamkeit erlangen, werden sie mittels des Arbeitsgedächtnisses weiterverarbeitet. Entsprechend geschieht die Verarbeitung aufgrund der Selektion von Aspekten der Bild- und Wortinformationen, die Aufmerksamkeit erzeugen.

Eine modellhaft angenommene zentrale Kontrolleinheit des Arbeitsgedächtnisses interagiert also mit zwei Subsystemen der phonologischen (auditiven) und der visuell-räumlichen Ausrichtung, die entsprechende Informationen codieren (vgl. Abbildung 30). Außerdem interagiert die zentrale Kontrolleinheit mit dem Langzeitgedächtnis (vgl. Abbildung 30). Die Funktion des Arbeitsgedächtnisses ist es, Informationen in einem

hoch aktivierten Zustand zu halten, damit kognitive Fähigkeiten wie die Problemlösung oder die Sprachproduktion stattfinden können (Buchner 2012). Dazu bedarf es der internen bzw. externen Wiederholung. Ohne Wiederholung, schriftliche Fixierung oder Nutzung von Informationen geht das Wissen verloren. Die Organisation der Bilder und Wörter ist bedeutsam: Worte werden zu kohärenten verbalen Modellen verknüpft und auf der Bildebene wird ebenfalls nach sinnstiftenden Verbindungen, wie Ursache-Wirkungs-Ketten gesucht (Mayer 2007b). Zudem erfolgt die Verknüpfung von wort- und bildbasierten Repräsentationen in integrierten mentalen Modellen mit dem Vorwissen und dem Langzeitgedächtnis (Mayer 2007b). Informationen, die aufgrund einer ersten Vorcodierung akustisch, visuell oder semantisch repräsentiert sind, werden also durch einen Prozess der Elaboration in Form einer Anbindung an bereits vorhandenes Wissen, durch Kategorisierung oder Neuordnung vom Kurzzeitgedächtnis in das Langzeitgedächtnis überführt (Birbaumer und Schmidt 2010b).

Das *Arbeitsgedächtnis* dient entsprechend der bewussten Bearbeitung oder dem Verwerfen von Informationen, ist jedoch von limitierter Kapazität. Bei Jugendlichen oder Erwachsenen voll ausgereift, umfasst es durchschnittlich sieben bis neun Informationseinheiten. Lerner mit umfangreichem Vorwissen können jedoch größere Mengen an Informationen bewältigen. Dieses bewerkstelligen sie durch das Bilden von übergeordneten Einheiten (*Chunking*) (Birbaumer und Schmidt 2010b, Unterbruner 2007). In Abhängigkeit von Motivation und Alter beträgt die durch das Arbeitsgedächtnis bedingte Konzentrationszeit vorpubertär ca. 10 Minuten, bei jungen Erwachsenen 10 bis 20 Minuten (Birbaumer und Schmidt 2010b; Sousa 2012).

Als *Langzeitgedächtnis* wird der *Prozess* des Speicherns und Wiederabrufens aufgefasst, wohingegen Langzeitspeicher die *Gehirnregion* bezeichnet, in der die Langzeitspeicherung erfolgt. Als sicher gilt, dass Informationen nicht komplett an einem Ort, sondern Komponenten von ihnen an verschiedenen Gehirnregionen gespeichert werden. Das Langzeitgedächtnis wird als dynamisches, interaktives System angenommen, welches die Orte der Speicherung aktiviert, Informationen abzurufen und das Gedächtnis zu rekonstruieren (Sousa 2012). Informationsverarbeitung erfolgt im Gehirn parallel über mehrere Wege, zum Teil simultan und sehr schnell. Im dargestellten Modell (vgl. Abbildung 30) wird jedoch vereinfachend eine lineare Darstellung gewählt. Werden Informationen wiederholt,

genutzt oder verstärkt, besteht die Chance, dass sie im Langzeitgedächtnis für längere Zeiträume gespeichert, erinnert und abrufbar sind. Zur Wissenskonstruktion und zur Ausbildung von Schemata im Langzeitgedächtnis (Mayer 2007b) führen diese kognitiven Prozesse, wenn aktuelle Bild- und Wortinformationen mit dem Vorwissen und dem Langzeitgedächtnis verknüpft werden. Ob Informationen als sinnstiftend angesehen werden, ist abhängig von gemachten Erfahrungen und dem Fähigkeitsselbstkonzept sowie den daraus resultierenden Selbsteinschätzungen bezüglich der Begabung (Preisfeld 2016).

Auf die schulischen Lernkontexte übertragen legen diese Befunde zum Langzeitgedächtnis nahe, dass bedeutungsvolle Lernsituationen geschaffen und Lernende emotional positiv eingestimmt werden. Demgegenüber kann angstvolle Erfahrung die Dominanz des motorischen Systems und die Unterdrückung des kognitiven Systems der Problemlösung und rationalen Betrachtung bedingen (Coggins et al. 2004). Schulisches Lernen gelingt dann optimiert, wenn in relativ stressarmer Atmosphäre kognitiv aktivierend und herausfordernd im Sinne der Zone proximaler Entwicklung (Vygotskij 2002) sinngebende, bedeutungsvolle und anschlussfähige Informationen an bereits fundiert entwickelte Vorwissenseinheiten gebunden werden können. Im praktisch ausgerichteten bilingualen Experimentalunterricht gewinnen Lernende Erfahrungen, erwerben integriertes sprachliches und fachliches Wissen beim eigenständigen Experimentieren, arbeiten aktiv an einer Problemlösung und können so eine positive Einstellung zum Lerngegenstand gewinnen (Gruart 2014).

Aus der Perspektive des *Multi-Media*-Lernens ist eine sinnvolle Verknüpfung von Bild- und Textinformationen lernförderlich, weil sie mehrere Eingangskanäle gleichzeitig nutzt (Unterbruner 2007; Weidenmann 2006). Die zeitliche und räumliche Nähe zwischen Text- und Bildanteilen führt dabei zu einer engen Verknüpfung beider Ebenen. Zusätzlich kann eine Beschränkung auf jene Informationen, die für einen intendierten Lernprozess unabdingbar sind und eine Lenkung der Aufmerksamkeit der Lernenden auf den Gegenstand und die Reihenfolge der Arbeitsschritte die Wissenskonstruktion erleichtern (Unterbruner 2007). Vertiefend können diese Ausführungen hinsichtlich der Verarbeitungstiefe und der *Cognitive Load*-Theorie weiter beleuchtet werden.

Bezogen auf das fachliche und sprachliche Lernen werden in Abhängigkeit von der Form des bilingualen Sachfachunterrichts der lexikalische Speicher der Fremdsprache (L2) und der Muttersprache (L1) sowie die Konzeptspeicher in der L2 und der L1 erweitert bzw. Verknüpfungen zwischen ihnen unterschiedlich stark entwickelt (vgl. Abbildung 30).

1.2.1.3 Cognitive Load Theory und Verarbeitungstiefe

Auf Basis der traditionellen Mehrspeichermodelle entwickelten Craik und Lockhart (1972) die Theorie der Verarbeitungstiefe (*Depths or Levels of processing*), betonten den Prozesscharakter des Wissenserwerbs und benannten inhaltliche Faktoren. Sie stellten heraus, dass nicht der reine Verbleib im Kurzzeitgedächtnis, sondern die Aneignungsprozesse an sich bedeutungsvoll sind. Verschiedenartige Bearbeitung von Sprachmaterial führt zu unterschiedlich tiefer Verarbeitung. Es wurden drei Verarbeitungstiefen identifiziert. Eine tiefe Verarbeitung wird durch eine semantische Verarbeitung bedingt, die beispielsweise durch Bildung von Assoziationen oder von Sätzen erzeugt wird. Eine mittlere Verarbeitungstiefe stellt die akustisch ausgerichtete Bearbeitung dar, die beispielsweise durch Bildung einfacher Reime erfolgt. Demgegenüber stellt die visuelle Verarbeitung in Form der grafischen Betrachtung von Buchstaben eine flache Verarbeitung dar (Craik und Lockhart 1972; Sokolowski 2013).

Craik und Lockharts Prozessmodell (1972) beruht auf der Annahme, dass eine bedeutungsvollere und tiefere Bearbeitung von Inhalten mit einer besseren Gedächtnisleistung einhergeht und erklärt diese Auswirkungen mit der Verarbeitungstiefe. Der Übergang von Information aus dem Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis hängt nicht nur von der Verweilzeit im Arbeitsgedächtnis ab, sondern vor allem von der Verarbeitungstiefe. Die Ergebnisse können auf den expliziten und den impliziten Gedächtnisgebrauch bezogen werden (Sokolowski 2013). Auf bilingualen Unterricht übertragen (Heine 2010a), werden bei Verwendung der Fremdsprache die Grenzen der Ausdrucksfähigkeit und des Verstehens erreicht. Entsprechend wird zur Suche sprachlich adäquater Formulierung kognitiver Mehraufwand aufgebracht. Fachliche Inhalte werden somit länger aktiviert, was eine Vernetzung zu verwandten Informationen intensiviert, was Heine (2010) mit einer vertieften semantischen Verarbeitung erklärt, die folglich eine Rekonstruktion der Informationen erleichtert (Heine 2010a). Lamsfuß-Schenk (2015) betont in ähnlicher Weise, dass eine vielfältige Elaboration eine Entwicklung mindestens gleichwertiger

inhaltlicher Leistungen unterstützen könne. Sie verknüpft Elaboration mit einem charakteristischen Strategieeinsatz sowie der Konstruktion fachlicher Konzepte und Begriffe.

Cognitive Load-Theory

Ausgehend von Ergebnissen der Gedächtnisforschung, die eine Kapazitätsgrenze des Arbeitsgedächtnisses ermittelte, entwickelten Chandler und Sweller (1991) die *Cognitive Load Theory*. Die Lernmaterialien und Lernarrangements sollten entsprechend so gestaltet sein, dass die Kapazitätsgrenze des Arbeitsgedächtnisses unterschritten wird. Komponenten des Modells sind *intrinsic*, *extraneous* und *germane load* (Chandler und Sweller 1991; Paas et al. 2003).

Unter *cognitive load* wird dabei die Belastung des Arbeitsgedächtnisses allgemein verstanden, welche mit der Informationsverarbeitung verbunden ist. Der *intrinsic load* ist durch das Material selbst und dessen Schwierigkeits- und Komplexitätsgrad bestimmt. Komplexeres Material erfordert eine intensivere Verarbeitung als weniger komplexes. Diese Größe ist entsprechend nicht veränderbar. Weiterhin ist *extraneous load* in der Art der Informationspräsentation begründet und eine wandelbare Größe. Überfrachtete oder parallele Darbietung von Informationen kann zur Überbeanspruchung des Arbeitsgedächtnisses führen (vgl. Abbildung 31). Wird Lernen in dieser Art behindert, führt dieses zum *cognitive overload*. Diese Überforderung ist durch die Kapazitätsgrenze des Arbeitsgedächtnisses bedingt. Mit *germane load* wird die lernbezogene Belastung beschrieben, jene Anstrengung des Lernens, die zum Aufbau mentaler Modelle und Schemata führt (Unterbruner 2007). Abbildung 31 stellt basierend auf der *Cognitive Load Theory* die Bedingungen von Lernarrangements zusammen:

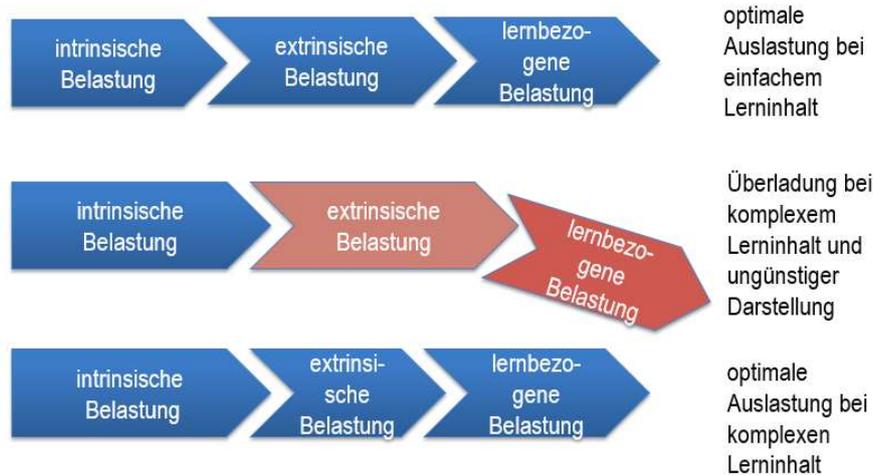


Abbildung 31: Vergleich von Lernarrangements gemäß der *Cognitive Load Theory* (Chandler und Sweller 1991)

Im ersten Fall ist eine optimale Auslastung bei einfachen Lerninhalten dargestellt. Der zweite Fall bildet die Überbeanspruchung bei komplexen Lerninhalten und ungünstigen Darstellungen ab, die zu *cognitive overload* führt. Im letzten Fall ist eine optimale Auslastung bei komplexen Lerninhalten dargestellt. Je größer die intrinsische Belastung ist, desto geringer muss der durch das Instruktionsdesign bedingte *extraneous load* sein.

1.2.1.3.1 Neurobiologische Grundlagen des Fremdspracherwerbs und des bilingualen Lernens

Im Folgenden wird erörtert, in welchen Gehirnstrukturen das Sprachverstehen und die Sprachproduktion verortet sind und welche aktuellen Erkenntnisse über das Fremdsprachenlernen und bilinguales Sprachlernen vorliegen.

Traditionell wird angenommen, dass die linke Gehirnhälfte für das logische und analytische Denken sowie die lineare Verarbeitung von Informationen und die rechte Gehirnhälfte für die Aufnahme und Erinnerung visueller, taktiler und auditiver Informationen verantwortlich ist (Roche 2013). Dem im linken Bereich des Präfrontallappens gelegenen Broca-Zentrum wird die Sprachmotorik, die Lautbildung, die Lautanalyse und die Lautartikulation sowie die Bildung abstrakter Wörter zugeordnet. Demgegenüber ist die logische Verarbeitung von Sprache sowie die auditive Sensorik im Wernicke-Sprachzentrum im linken Temporallappen verortet (Overmann 2004). Allerdings bestehen über den Balken (*Corpus callosum*) auch neuronale Verknüpfungen zur rechten Hirnhemisphäre. Die primäre auditorische Sprachverarbeitung scheint in beiden Hemisphären stattzufinden und dennoch sind

bereits früh sprachspezifische Verarbeitungsprozesse aktiv. Es wird angenommen, dass nach Eintreffen des akustischen Inputs eine Verarbeitung in spezialisierten Mini-Netzwerken erfolgt, die an verschiedenen Bereichen des Kortex lokalisiert sind (Friederici 2012). Im Anschluss an die Analyse der lautlichen Zusammensetzung geschieht eine Filterung der Wortkategorien und schließlich eine semantische, d.h. inhaltliche Bedeutungsausdifferenzierung. Neben der Analyse des Satzbaus werden Wortbedeutungen und grammatikalische Verknüpfungen sowie Interpretationen zwischen Wortbedeutung und Satzstellung vorgenommen (Friederici 2012). Interessanterweise ist die bei Erwachsenen ausgeprägte Sprachdominanz der linken Hemisphäre im frühen Kindesalter noch nicht ausgeprägt (Friederici 2012).

Das Sprachverstehen besteht dabei u.a. darin, dass Lernende eine Verbindung zwischen lautlichen Verbindungen oder Clustern und Sinneinheiten herstellen, die im mentalen Lexikon, dem Wortspeicher, vorliegen. Auch Sinneseindrücke können zur Aktivierung von Begriffen führen (Roche 2013; Unterbruner 2007). Einzelne Lautverbindungen müssen zudem in größeren Zusammenhängen analysiert werden. Das mentale Lexikon stellt man sich als strukturiertes System vor, in welchem zentrale Konzepte über mannigfaltige Beziehungen zu anderen Elementen netzartig verbunden sind. Beim Suchen von passenden Wörtern für Konzepte werden zentrale semantische Elemente stärker und weiter entfernt liegende schwächer aktiviert, d.h. es kommt zu einer parallelen Aktivierung verschiedener benachbarter Konzepte (Roche 2013).

Viele Studien betrachten bilingualen Spracherwerb bei zweisprachig aufgewachsenen Lernenden (Barac und Bialystok 2012) und belegen bei bilingualen Individuen eine gesteigerte kognitive Aktivität bis ins hohe Alter, die als *cognitive reserve* bezeichnet wird (Bialystok et al. 2007; Bialystok et al. 2012). Allerdings unterscheidet sich der Fremdspracherwerb bilingual Aufwachsender vom Zweiterwerb einer Fremdsprache. Zum einen geschieht die frühe Sprachentwicklung fast spielerisch in Auseinandersetzung mit der Umwelt. Spezifische Wörter und Strukturen werden erworben, wenn einfachere bereits gelernt wurden. Damit sich sprachliche Konzepte ausbilden können, muss die Bedeutung von Kausalitäten verstanden werden. Mit der kindlichen Entwicklung der Erstsprache geht eine kognitive Entwicklung oder Maturation einher, die meist mit Schuleintritt abgeschlossen ist, bevor eine neue Sprache erlernt wird (Roche 2013). Gleichzeitig wird jedoch davon ausgegangen, dass nach Abschluss der kindlichen Maturation in der Erstsprache der Zweitspracherwerb

erleichtert wird, weil auf Konzepte aus der Erstsprache zurückgegriffen werden kann und mit Begriffen der Zweitsprache belegt sowie differenziert wird (Roche 2013). Auch können erworbenes Wissen, erprobte Strategien und Wissensnetze sowie Modelle beim Zweitsprachenerwerb dienlich sein.

Während bei frühem Bilingualismus der Aufbau eines gemeinsamen Neuronen-Netzes belegt ist, deuten Untersuchungen zu spätem Bilingualismus auf die Bildung gesonderter Netze für jede Sprache hin (Kim et al. 1997).

Für die Ausprägung des bilingualen mentalen Lexikons liegen drei Modellvorstellungen vor (Roche 2013, S. 78f.): Die drei folgenden Modelle beleuchten, welche Beziehung zwischen einem Begriff in der Erstsprache und der Zweitsprache besteht. Gemäß dem *Modell des koordinierten Lexikons* wird angenommen, dass die Konzepte und Begriffe der Erst- und Zweitsprache unabhängig voneinander getrennt gespeichert werden und eine Verarbeitung und Speicherung parallel erfolgt (Roche 2013). Neurobiologische Befunde belegen, dass im Broca-Zentrum eine räumliche Trennung von Muttersprache und Zweitsprache nachgewiesen werden kann (Kim et al. 1997). Dem gegenüber nimmt das *Modell des verbundenen Bilingualismus* ein gemischtes Konzept aus zwei Begriffen und Elementen aus beiden Kulturen an. Der Begriff aus einer der Sprachen spricht vor allem das für diese Kultur typische semantische Feld an, schwächer jedoch auch das der zweiten Kultur. Je nach Übung können auch parallel beide semantischen Felder aktiviert sein. Diese Organisationsform des mentalen Lexikons wird von zweisprachig aufwachsenden Lernenden oder von Lernenden, die zu einem späteren Zeitpunkt echt mehrsprachig leben, erzielt. Neurobiologische Befunde belegen wiederum, dass bei früh bilingual Lernenden Erst- und Zweitsprache in derselben frontalen Kortikalregion repräsentiert sind (Kim et al. 1997). Gleichzeitig wird bei frühem wie spätem Bilingualismus eine identische beziehungsweise nahe beieinander liegende Aktivität in der Wernicke-Region registriert (Kim et al. 1997). Als dritte Form des bilingualen Lexikons wird eine *untergeordnete Form* der Organisation angenommen (Plieger 2006). Es wird hier davon ausgegangen, dass Lernende die Zweitsprache vor allem mittels Wortassoziationen gelernt haben und die Zweitsprache somit als oberflächliche Übersetzung der Erstsprache verarbeitet wurde. Diese Organisation des bilingualen Lexikons wird bei den meisten Lernenden bis zum Ende der Schulzeit zum Abitur ausgebildet (Plieger 2006).

Nachdem zuvor der sprachlich neurobiologische Kontext des bilingualen Lernens beleuchtet wurde, werden nachfolgend grundsätzliche motivationale und kognitive Faktoren des Lernens betrachtet.

1.2.1.4 Motivationale und kognitive Bedingungen des Lernens

Das Lernen wird unter anderem von der intrinsischen und extrinsischen Motivation, der Selbstbestimmung, dem Interesse und dem Flow-Erleben beeinflusst. Auch die Strategiebeherrschung, wie beispielsweise der Einsatz von metakognitiven Kompetenzen, beeinflussen das Lernen aus kognitiver Sicht (Wild et al. 2006).

1.2.1.4.1 Motivation und Selbstbestimmung

Motivation und Leistungsmotivation

Motivation beschreibt einen aktuellen Zustand, der auf das Erreichen eines als positiv bewerteten Ziels ausgerichtet ist (Rheinberg 2004). In ihrer Selbstbestimmungstheorie verknüpften Deci und Ryan (1993) diese zweckgebundene Ausrichtung des Verhaltens mit dem Konzept der Intentionalität. Eine motivierte Handlung ist von der Person gesteuert, um eine kurzfristig erfahrbare befriedigende Erfahrung oder ein längerfristiges Handlungsergebnis zu erzielen (Deci und Ryan 1993).

Dabei kann dieses motivierte Handeln durch internale oder externale Faktoren bestimmt werden, entsprechend wird zwischen intrinsischer und extrinsischer Motivation unterschieden. Eine intrinsisch motivierte Person befasst sich mit dem Sachgegenstand um seiner selbst willen: Intrinsische Motivation führt zu einer spontanen Handlung, die durch Interesse und Neugier am Gegenstand charakterisiert ist. Dabei wird angestrebt, eine Sache voll und ganz zu durchwirken (Deci und Ryan 1993). Eine Gegenstands-bezogene Form der Motivation ist dabei weitgehend identisch mit der auf Interesse beruhenden Lernmotivation (Krapp 1999). Demgegenüber wird bei extrinsischer Motivation eine Handlung in instrumentaler Absicht vollzogen. Die Konsequenz ist entsprechend von der Handlung losgelöst (Deci und Ryan 1993). Auf den Schulunterricht übertragen ist die Beschäftigung eines Lernenden mit einem Inhalt aus Freude an der Tätigkeit beziehungsweise aufgrund von Interesse an der Sache als intrinsisch motivierte Handlung anzusehen, wohingegen die entsprechende Handlung in Aussicht einer guten Note zu verrichten, als extrinsisch motiviert bezeichnet wird.

Demgegenüber kann Leistungsmotivation als ein dauerhaftes Motiv aufgefasst werden. Leistungsmotivation kann als Verhalten, das unter Abgleich mit Gütekriterien auf eine Bewertung der eigenen Tüchtigkeit abzielt, beschrieben werden. Sie überdauert, wenn wiederholt angestrebt wird, beim Lösen einer herausfordernden Aufgabe Kompetenz und Tüchtigkeit zu erleben (Engeser et al. 2005). Gemäß dem Erwartungs-mal-Wert-Modell von Atkinson (1957) wird der Grad der Motivation erwartungsbezogen durch die Erfolgswahrscheinlichkeit des erwünschten Handlungsergebnisses bestimmt. Mit einer leichten Aufgabe ist die Erfolgswahrscheinlichkeit (Erwartungskomponente) zwar groß, der Anreiz (Wertkomponente) jedoch gering. Entsprechend ermöglicht eine mittelschwere Aufgabe eine realistische erreichbare und zugleich anspruchsvolle Zielerreichung.

Heckhausen (1972) beschreibt die Bedeutung kognitiver Aspekte für die Entstehung von Leistungsmotivation wie folgt: Erfolg und Misserfolg, die Affekte wie Freude oder Enttäuschung auslösen, wirken in diesem Zusammenhang beim Lösen einer Aufgabe auf ein sich selbst stabilisierendes Selbstbewertungssystem zurück. Erfolgszuversichtliche Lerner schätzen ihre Leistungsfähigkeit realistisch ein und wählen angemessen schwere Aufgaben. Sie erkennen den Zusammenhang zwischen ihrer eigenen Anstrengung und dem Lernergebnis, kommen zu positiveren Erfolgs- und Misserfolgsbewertungen, weil sie Misserfolge als temporäre, mit zu geringer Anstrengung beachtete Ereignisse betrachten, wohingegen sie Erfolge auf ihre Bemühungen und Begabung zurückführen. Misserfolgsmeidende Lerner schätzen ihre Leistungsfähigkeit unrealistisch ein, wählen zu schwere oder zu leichte Aufgaben und schreiben Erfolg Glück oder der Leichtigkeit der Aufgabe zu, Misserfolge bewerten sie hingegen als mangelnde Fähigkeit bzw. Begabung und gelangen somit tendenziell zu einer negativen Selbstbewertungsbilanz (Wild et al. 2006).

Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan

Eng verbunden mit der intrinsischen Motivation ist die *Selbstbestimmungstheorie* von Deci und Ryan (1985, 1993, 2000). Diese benennt Bedingungen dafür, dass eine Person eine Handlung als selbstbestimmt wahrnimmt. Die Selbstbestimmungstheorie nimmt drei angeborene und grundlegende Bedürfnisse (*basic needs*) an. Folglich strebt eine Person danach, Kompetenzerleben, Autonomie und soziale Eingebundenheit zu erfahren. Diese drei Grundbedürfnisse bilden auch die Grundlage der Personen-Gegenstands-Theorie des Interesses (Wild et al. 2006). Das Bedürfnis

nach Kompetenz oder Wirksamkeit äußert sich darin, dass eine Person durch interessante und neue Herausforderungen optimal gefordert wird und die gestellten Aufgaben zielgerichtet bearbeiten kann. Autonomie oder Selbstbestimmung wird für eine Person erfahrbar, wenn sie aus sich heraus einer Tätigkeit nachgeht und diese bewältigen kann (Deci und Ryan 1985, 2000). Druck wird demgegenüber als negativer Prädiktor für intrinsische Motivation angesehen (Deci und Ryan 2012). Soziale Eingebundenheit wird schließlich erfahrbar, wenn sich eine Person ihrem sozialen Umfeld verbunden und akzeptiert fühlt und effektiv in ihm wirken kann (Deci und Ryan 1993).

1.2.1.4.2 Interesse

Wie zuvor geschildert, verbindet die Gegenstandsbezogenheit des Interesses und die Wichtigkeit der grundlegenden Bedürfnisse (*basic needs*) die Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (1985) und die Personen-Gegenstands- Theorie des Interesses (Krapp 1998; Prenzel 1988; Schiefele 1996). Gemäß dieser Theorie wird das Interesse als Beziehung einer Person zu einem Gegenstand bezeichnet (Schiefele 1996). Diesem Gegenstand wird einerseits eine subjektive Bedeutung zugemessen (*wertbezogene Bedeutung*) und die Person definiert sich andererseits über dieses Interesse. Der Sachgegenstand kann durch Inhalte oder Wissensgebiete eines Schulfaches bestimmt sein. Ausschlaggebend für das Interesse können aber auch bestimmte Tätigkeiten in Bezug auf einen Sachgegenstand wirksam sein. Zudem verfügt die Person über ein ausgeprägtes Wissen zu diesem Sachgegenstand. Interessengeleitet erarbeitet sich die Person die Sach- und Sinnzusammenhänge (Krapp 1998). Ferner ist sie bei Ausübung ihres Interesses *selbstintentional*, also ohne Zwänge, weil sie sich mit den Gegenständen und Handlungen ihres Interesses identifiziert. Dieses Interesse besitzt eine *gefühlbetonte Valenz*, weil es mit positiven Gefühlen wie Freude, Spaß und Engagement verbunden wird. Die *epistemische* Ausrichtung des Interesses äußert sich im Bestreben um Erweiterung und Vertiefung des Wissens über den Gegenstand. Grundsätzlich kann eine interessensgeleitete Auseinandersetzung temporär in einer Lernsituation als situationales oder aktuelles Interesse auftreten oder dauerhaft als individuelles oder dispositionales Interesse vorliegen und eine sich langsam ändernde motivationale Disposition darstellen (Wild et al. 2006).

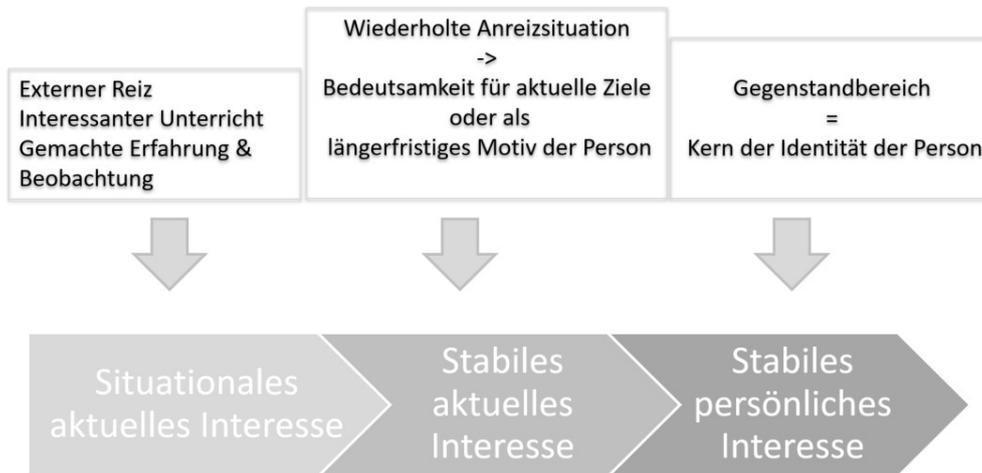


Abbildung 32: Interessensgenese (verändert nach Krapp 1998)

Die Interessensgenese beschreibt Krapp (1998) als einen mehrschrittigen Internalisierungsprozess (vgl. Abbildung 32): Das *aktuelle situationale Interesse* ist Resultat der Wechselwirkung zwischen Lerngegenstand und Person. Es wird durch externe Faktoren einer Lernumgebung initiiert, beispielsweise durch eine interessante Aufbereitung des Lernstoffes. Das situationale Interesse geht in ein *stabilisiertes aktuelles Interesse* über, welches über längere Lernphasen die weitere Auseinandersetzung mit dem Interessengegenstand bedingt. Unter bestimmten Bedingungen entwickelt sich daraus ein *dispositionales individuelles Interesse*, welches schließlich als persistentes Interesse zur dauerhaften Auseinandersetzung mit dem Interessen-Gegenstand ausgeprägt ist (Krapp 1998). Den dazu notwendigen Transformationsprozess erklärt beispielsweise Mitchells Modellvorstellung: Mitchell (1993) identifiziert in diesem Zusammenhang sogenannte *Catch-and Hold* -Faktoren: Die *Catch*-Faktoren erregen die Aufmerksamkeit, während die *Hold*-Faktoren sie erhalten. Aktuelles Interesse für einen Lerninhalt wird entwickelt, wenn verbunden mit aktuellen Zielen, Motiven, Werten die Bedeutsamkeit desselben erkannt wird. Dabei ist der erste Schritt relativ leicht zu erzielen, der Schritt zum stabilisierten bzw. dispositionalen Interesse jedoch ist schwieriger und langfristiger zu erreichen.

Der bilinguale Unterricht im experimental ausgerichteten Schülerlabor zielt darauf ab, Interesse für die Naturwissenschaften und Fremdsprachen zu generieren. Nach der aktuellen Interessentheorie der Personen-Gegenstand-Beziehung können unterschiedliche Formen von Interesse angenommen werden. Möglicherweise führt Interesse zu einer höheren kognitiven Aktivierung, die wiederum eine höhere

Lernleistung bewirkt (Krapp 2010). Studien zeigen, dass das biologische Interesse bzw. das Interesse an Sprachen durch den Schülerlaborbesuch kurzzeitig erhöht werden kann (z.B. Damerau 2012, Rodenhauser 2016).

1.2.1.4.3 Selbstkonzept und Selbstwirksamkeit

Wie im vorherigen Kapitel erörtert, wird das Interesse als Beziehung einer Person zu einem Gegenstand definiert, die als emotional positiv und selbstinitiiert erlebt wird. Das Interesse hat sowohl in der vorübergehenden wie dauerhaften Form eine hohe subjektive Bedeutung und ist somit Bestandteil des Selbstkonzeptes (Wild et al. 2006). Das Selbstkonzept kann als Gedächtnisstruktur bezeichnet werden, die auf die eigene Person bezogene Informationen enthält und umfasst Wissen über die eigenen Kompetenzen, Vorlieben und Überzeugungen (Wild et al. 2006, S. 224f.). Es wird angenommen, dass das Selbstkonzept hierarchisch organisiert ist und abstraktere Informationen, wie beispielsweise Persönlichkeitseigenschaften auf höheren Hierarchieebenen repräsentiert, verhaltensbezogene Information hingegen auf niedrigeren (vgl. Abbildung 33).

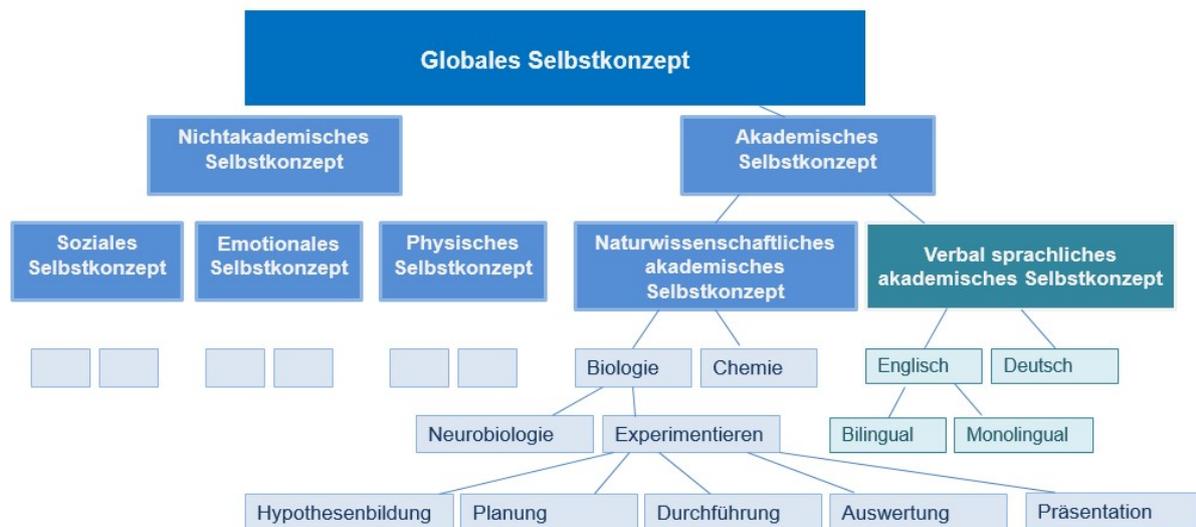


Abbildung 33: Erweitertes Modell zum Selbstkonzept nach Shavelson & Marsh (Marsh 1990; Marsh et al. 1988, Shavelson et al. 1976): Exemplarisch sind für den in dieser Studie untersuchten bilingualen Schülerlabortag das naturwissenschaftlich-akademische und das verbalsprachliche akademische Selbstkonzept differenziert dargestellt. Weiterhin sind für das Fach Biologie ein sachfachliches Selbstkonzept Neurobiologie sowie ein psychomotorisch ausgerichtetes Selbstkonzept Experimentieren in seinen experimentbezogenen Teilkompetenzen Hypothesenbildung bis Präsentation aufgeführt.

Das Selbstkonzept Lernender (Marsh 1990) kann in ein nichtakademisches und ein akademisches Selbstkonzept untergliedert werden (vgl. Abbildung 33). Das nichtakademische Selbstkonzept umfasst Wissen und Grundannahmen hinsichtlich

des sozialen Umfelds (Freunde und Beziehungen), des emotionalen Bereichs und der eigenen Physis (Fitness und Aussehen). Demgegenüber ist das akademische Selbstkonzept nach Lerngebieten wie den Schulfächern organisiert. Forschungsergebnisse legen nahe, dass das akademische Selbstkonzept weiter in ein sprachlich- akademisches und mathematisch- akademisches Selbstkonzept zu segmentiert werden kann, da zwischen ihnen kaum Korrelationen ermittelt wurden (Marsh et al. 1988). Des Weiteren kann fachlich ein kognitiv-sachfachliches Fähigkeitsselbstkonzept für Teilbereiche der Biologie (z.B. Neurobiologie, vgl. Abb.33) angenommen werden und fachmethodisch ein Fähigkeitsselbstkonzept für das Experimentieren und seine Teildimensionen (z.B. experimentbezogenes FSK Durchführung, vgl. Abb. 33) exploriert werden.

Selbstkonzepte sind nicht statisch, sondern veränderbar. Das jeweilige Fähigkeitsselbstkonzept entsteht durch Kompetenzerfahrung in dem betreffenden Sachgebiet und diese Erfahrungen werden in sozialer, individueller und dimensionaler Hinsicht external und internal bewertet (z.B. Möller und Köller 2004). Beim internale individuellen Vergleich wird die aktuelle Leistung zu früherer erbrachter in einem Fach in Bezug gesetzt. Die Lernmotivation kann gesteigert werden, weil diese Art des Vergleichs instabile Ursachen für das Lernergebnis, beispielsweise vorliegende oder geringe Anstrengung, annimmt. Demgegenüber werden bei einer dimensionalen Bezugsnorm die Leistungen in einem Fach mit Leistungen in einem anderen Fach verglichen. Dabei kann die unterschiedliche Leistungseinschätzung zweier Fächer einen sogenannten Kontrasteffekt hervorrufen: Ist ein Lernender davon überzeugt, dass er in Fach A gut, in Fach B jedoch schlecht ist, so ist sein Selbstkonzept bezüglich Fach A besser als bei einem Schüler, der sich bspw. in beiden Fächern gleich gut einschätzt. Weiterhin setzt ein Lernender seine Leistung im externalen Vergleich zu der von anderen Lernenden in Bezug. In diesem Zusammenhang ist die Bezugsgruppe von besonderer Bedeutung. Ein Lernender, der immer zu den Besseren gehört, wird zu einem positiveren Vergleichsergebnis kommen als ein immer zu den Leistungsschwächeren gehörender Schüler. Entsprechend werden Leistungsunterschiede auf stabile internale Gründe zurückgeführt. Ergänzend zeigen Untersuchungen zum sozialen Vergleich, dass das durchschnittliche Leistungsvermögen einer Lerngruppe eine Auswirkung auf das Selbstkonzept einzelner haben kann: In einer leistungsstarken Klasse empfindet sich ein guter

Schüler als weniger gut. In einer leistungsschwächeren Klasse entwickelt ein guter Schüler ein stärkeres Selbstvertrauen (*Big fish–little pond- Effekt*, Chanal et al. 2005).

Das Selbstkonzept und seine Relevanz für das Lernen und die Leistungsmotivation kann mittels des Erwartungs-Wert-Modells von Eccles et al. (1983) gedeutet werden (Wigfield und Eccles 1992), welches den Zusammenhang zwischen Leistungsmotivation und Aufgabenwahl bezüglich des Schwierigkeitsgehalts veranschaulicht. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem subjektivem Aufgabenwert und der Erwartung, eine Aufgabe erfolgreich zu bewältigen. Von Bedeutung ist also der subjektive Aufgabenwert, das heißt die Beimessung von Wichtigkeit und der mit der Aufgabenlösung verbundene Spaß (Eccles & Wigfield 1995, Pohlmann et al. 2005). Auch in Schülerlabortagen wurde bereits das Selbstkonzept untersucht. So belegten Brandt (2005), Damerau (2012) und Pawek (2009), eine kurzzeitige Steigerung des fachlichen Fähigkeitsselbstkonzeptes nach dem einmaligen Besuch eines ganztägigen Schülerlabortages.

Die Selbstwirksamkeit ist Bestandteil des globaleren Selbstkonzept-Konstruktes und beschreibt die selbsteingeschätzte kontextspezifische Kompetenz einer Person, eine bestimmte Aufgabe bewältigen zu können (Köller und Möller 2010). Selbstwirksamkeit wird als Prädiktor für das Verhalten einer Person angesehen (Bandura 1982). Je höher die Selbstwirksamkeit einer Person, desto höher sind ihre selbstgesteckten Ziele und desto höher ist ihre Leistungsbereitschaft. Selbstwirksamkeit und Selbstkonzept sind gleichermaßen wichtig für Anstrengungsbereitschaft. Auch die Selbstwirksamkeit ist veränderbar. Kompetenzerleben oder positives Feedback wirken sich positiv auf das Selbstwirksamkeitsempfinden aus (z.B. Woolfolk 2008). Der Zusammenhang zwischen Kompetenzerleben, Selbstkonzept, Interesse und Leistung ist wiederholt Gegenstand von Forschungen (Deci und Ryan 1985; Goetz et al. 2006; Helmke 1992; Köller et al. 2006).

1.2.1.4.4 Flow-Erleben

Mit dem Interesse und der Motivation sowie dem Selbstkonzept eng verbunden ist das *Flow*-Erleben. Es bezeichnet das völlige Aufgehen in einer Tätigkeit. Wissenschaftlich geprägt und erstmals untersucht wurde das *Flow*-Erleben von Csikszentmihalyi (1975). Merkmale des *Flow*-Erlebens sind die klare Zielformulierung und kontinuierliche Rückmeldung, das Aufgehen in einer Tätigkeit, die gleichzeitig als herausfordernd und kontrollierbar betrachtet wird, ein Gefühl optimaler

Beanspruchung, ein flüssiger Handlungsablauf, eine mühelose Konzentration sowie ein Vergessen von Raum und Zeit (Csikszentmihalyi 1975; Rheinberg et al. 2003). Rheinberg et al. (2003) bezeichnen *Flow*-Erleben als einen Tätigkeitsanreiz. Entsprechend tritt *Flow*-Erleben auf, wenn das Niveau der Anforderungen einer Aufgabe der eigenen Leistungsfähigkeit entspricht.

Für das Lernen wird dem *Flow*-Erleben eine mehrfache Bedeutung zugeschrieben (Csikszentmihalyi und Schiefele 1993): *Flow*-Erleben wird als Voraussetzung für die Entwicklung intrinsischer Motivation betrachtet und es beeinflusst somit den Lernprozess vermittelnd. Intrinsische Motivation beschreibt dabei die Auseinandersetzung mit einem Lerngegenstand um seiner selbst willen (Wild et al. 2006). Schiefele und Schreyer (1994) nehmen in diesem Zusammenhang die Unterscheidung in tätigkeits- und gegenstandsbezogene intrinsische Motivation vor. Tätigkeitsbezogen bedeutet: Erleben Lernende beispielsweise bei Lösung einer mathematischen Aufgabe *Flow*-Erleben, erhöht dieses die Wahrscheinlichkeit der wiederholten Auseinandersetzung mit der Sache. *Flow*-Erleben beeinflusst so die intrinsische Motivation, was den Lernprozess positiv beeinflusst (Csikszentmihalyi und Schiefele 1993). Ein direkter Einfluss des *Flow*- Erlebens kann darin bestehen, dass eine positive Wirkung auf das Enkodieren von Informationen und den Prozess des Verstehens ausgeübt wird. Gegebenenfalls ist dieser mit der auftretenden Konzentration zu erklären. Zudem wird die Tätigkeit so lange von Lernenden ausgeführt, wie sie an Anforderungen wachsen können (Csikszentmihalyi und Schiefele 1993).

Rheinberg et al. (2003) entwickelten eine 10 Items umfassende *Flow*-Kurzskala (FKS) zur quantitativen Beforschung, die alle Komponenten des *Flow*-Erlebens sowie die momentane Besorgnis ermittelt. Zuvor entwickelte Remy (2000) einen Fragebogen zum *Flow*-Erleben für die Arbeit am Computer.

In Studien mit universitären Fremdsprachenkursen konnte Bischoff (2003) zeigen, dass anhand des *Flow*-Erlebens die Leistungsniveaus vorhergesagt werden können. Engeser (2004) kam zu vergleichbaren Ergebnissen für das selbstgesteuerte Lernen bei Psychologiestudierenden. Rheinberg et al. (2003) modifizierten beispielsweise in einer Lernsituation über den Schwierigkeitsgrad von Computerspielen das *Flow*-Erleben und stellten dessen Zunahme mit einem Anstieg der Anforderung in

Zusammenhang. Rheinhardt et al. (2006) ermitteln in ihrer Studie im sportlichen Bereich zwar ein stabiles *Flow*-Erleben, dieses entsteht allerdings unabhängig von der optimalen Anforderungs-Fähigkeitspassung. Bezogen auf das Lernverhalten von Schülerinnen und Schülern zeigen Krombass et al. (2007) einen engen Zusammenhang zwischen überdurchschnittlich ausgeprägten Anforderungen und Fähigkeiten und dem Auftreten von *Flow*-Erleben.

Eng mit dem Konzept des *Flow*-Erlebens ist die Handlungs- oder Tätigkeitsorientierung verbunden. In *handlungstheoretischen Modellen* wird die Intentionsbildung in einer Situation näher beleuchtet. Dabei wird, wie bereits geschildert, ausgehend vom Risikowahlmodell der Leistungsmotivation von Atkinson (1957) davon ausgegangen, dass in einer Situation mehrere Handlungsalternativen mit spezifischen Folgen bestehen. Die Situation führt bei Personen zur Wahl einer Handlung, die kurzfristig ein bestimmtes Ergebnis bedingt und zudem zukünftig einer bestimmten Folge zugeordnet werden kann (Wild et al. 2006). Beispielsweise kann das Erledigen einer Hausaufgabe kurzfristig das Lob der Eltern bedeuten, außerdem einen Kompetenzzuwachs sowie langfristig eine gute Vorbereitung für die nächste Klausur darstellen. Je nachdem ob der Spaß an der Tätigkeit oder der Stolz auf das Produkt im Mittelpunkt steht, kann von Tätigkeits- bzw. Zweckorientierung gesprochen werden (Wild et al. 2006).

1.2.1.5 Soziodemographische Merkmale

Nachdem in den vorherigen Abschnitten bereits die kognitiven und affektiven Personenvariablen beschrieben wurden, werden an dieser Stelle die soziodemographischen Merkmale Geschlecht und Migrationshintergrund zusammengefasst. In den hier vorgestellten empirischen Untersuchungen werden die soziodemographischen sowie kognitiven und affektiven Dispositionen als Personenvariablen zusammengefasst und erhoben.

Leistungsvergleichsstudien wie PISA, TIMSS und DESI sowie Studien zur aktuellen Schülerlaborforschung untersuchen die Bedeutung des Geschlechts und Migrationshintergrunds auf die kognitiven sowie affektiven Variablen. Aktuelle spezielle Programme für Mädchen in naturwissenschaftlich-technischen Fächern und für Lernende mit Migrationshintergrund, beispielsweise der MINT Girls' Day oder die Initiativen des Landes NRW, auch Studierende mit Migrationsunterricht für den

Lehrerberuf zu interessieren, zeigen den Stellenwert der beiden genannten Schwerpunkte. Im Folgenden werden wesentliche Befunde aus anderen Studien zusammengefasst.

Das Geschlecht

Geschlechterbezogene Disparitäten sind bezüglich des naturwissenschaftlichen und sprachlichen Kompetenzerwerbs und motivationaler Merkmale in der gesamten Schullaufbahn beobachtbar. TIMSS 2007 belegt ein höheres naturwissenschaftliches Fähigkeitsselbstkonzept bei Jungen als bei weiblichen Lernenden (Bos et al. 2008). Insgesamt wird ein Interessenverfall z.B. an biologischen Themen bei allen Lernenden in der Sek I verzeichnet (Berck und Graf 2010). Geschlechterunterschiede beeinflussen zum Beispiel das Wahlverhalten bezüglich der Schulfächer in der Sekundarstufe II. Aktuelle Studien weisen folgende hier in Auswahl dargestellten Befunde aus.

Hinsichtlich der *Naturwissenschaften* werden in Deutschland in der Grundschule signifikante Geschlechterunterschiede zugunsten der Jungen ermittelt (z.B. Prenzel et al. 2004). In der Sekundarstufe werden hingegen bezüglich der Naturwissenschaften in PISA-Studien nur wenig signifikante Geschlechterdisparitäten registriert (z.B. Prenzel 2007a). Hier werden lediglich signifikante Geschlechterunterschiede bezüglich zweier Teilskalen offenbar: Beim Erkennen von naturwissenschaftlichen Fragestellungen weisen weibliche Jugendliche in allen OECD-Staaten signifikant höhere Werte als Jungen auf und beim Erklären naturwissenschaftlicher Phänomene erzielen männliche Jugendliche in fast allen Teilnehmerstaaten signifikante Vorteile (Prenzel 2007b).

Allgemein betrachtet werden Leistungsunterschiede zu Gunsten der Jungen vor allem in den Bereichen der Physik und Chemie ausgemacht, für die Biologie wurden diese Differenzen jedoch nicht identifiziert (Prenzel 2007b; Baumert et al. 2003). Hinweise bestehen, dass sich der Leistungsvorteil von Jungen in Physik in der Sekundarstufe II eher vergrößert (vgl. Köller und Klieme 2000).

Bezüglich der Geschlechterunterschiede in den *sprachlichen Kompetenzen* zeigen die Schulleistungsstudien IGLU/PIRLS, dass Mädchen spätestens am Ende der Grundschulzeit Jungen im Lesen und Rechtschreiben überlegen sind (Bos et al. 2003; Hornberg et al. 2007). Dieser Geschlechterunterschied verstärkt sich im Laufe der

Sekundarstufe (z.B. Rönnebeck et al. 2010; Schaffner et al. 2004; Stanat und Kunter 2001;), jedoch fällt der Unterschied beim Lesen diskontinuierlicher Texte (Tabellen, Diagramme etc.) deutlich kleiner aus als beim Lesen kontinuierlicher Texte (vgl. Bos et al. 2003; Stanat und Kunter 2001). Für den Biologieunterricht, schulisch oder außerschulisch realisiert, sind diese Befunde von besonderer Bedeutung, da gerade im Kontext naturwissenschaftlichen Experimentierens der rezeptive und produktive Umgang mit kontinuierlichen und diskontinuierlichen sachfachlichen Texten maßgebend für die Konstruktion biologischen Wissens ist.

Auch motivationale Merkmale, wie Interessen oder Selbstkonzepte, stehen in engem Zusammenhang zum Kompetenzerwerb. Sie beeinflussen sowohl die Auswahl von Lerngegenständen als auch die Intensität der Auseinandersetzung mit diesen. Gleichzeitig wirken sich Lernerfolge positiv auf die Motivations- und Interessensentwicklung aus (z.B. Köller et al. 2001) und sind von Bedeutung für die Kurs- und Studienwahl (z.B. Hannover 2004).

Insgesamt wird beobachtet, dass sich Geschlechterunterschiede in der Sekundarstufe aufbauen (Schöne et al. 2003; Hornberg et al. 2007; Stanat und Kunter 2001). Zum Teil unabhängig von der tatsächlichen Leistung halten sich Jungen in mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern für interessierter und talentierter, während sich Mädchen in sprachlichen Bereichen als stärker talentiert und interessiert einschätzen (vgl. Stanat und Kunter 2001). Für den Erfolg im Unterricht sind Unterschiede in der Herangehensweise an die Biologie als Naturwissenschaft von Bedeutung. Mädchen scheinen eher theoretisch interessiert, während Jungen primär am praktischen Experimentieren interessiert zu sein scheinen (z.B. Aufdermarsch und Hesse 2006).

In Studien zur Schülerlaborforschung wird ebenfalls offenbar, dass die Zusammenarbeit, der Wissenserwerb und die Selbständigkeit beim Experimentieren für Mädchen von größerer Wichtigkeit als für Jungen sind (Engeln 2006). Im Schülerlabortag wird eine Förderung der Schülerinnen und Schüler angestrebt, indem sowohl die Zusammenarbeit der Lernenden untereinander als auch das kontextualisierte und theoriebasierte, vorbereitete, praktische Experimentieren erfolgt. Studien zur Schülerlaborforschung belegen geschlechtsbezogen eine homogene Interessensförderung (Engeln 2006) sowie eine gleichartige Wirkung bezüglich der intrinsischen Motivation und des Selbstkonzeptes (Brandt 2005). Sowohl die

geschlechterbezogene Wirkung des Schülerlabortages als auch seine Wirkung im auf das Interesse und die Selbstkonzepte wird in der vorliegenden Studie exploriert.

Für die fremdsprachlichen Kompetenzen weisen die Ergebnisse von DESI (DESI-Konsortium 2008) hinsichtlich aller untersuchten Merkmale auf durchweg signifikant bessere Ergebnisse bei Mädchen im Vergleich zu Jungen hin. Allerdings sind die Unterschiede der Ergebnisse nicht so deutlich wie in Deutsch. Gleichzeitig werden bei Mädchen eine höhere Motivation und ein größeres Interesse für das Sprachlernen beobachtet (Coleman 1997; Hartig und Jude 2008). Studien zur Lesekompetenz (z.B. White 2007) verweisen darüber hinaus darauf, dass in der Adoleszenz Entwicklungsvorsprünge aufgeholt werden können. Auch wird der Zusammenhang von Strategiebeherrschung und Lernerfolg häufig exploriert (z.B. Wotschack 2009). Interessant scheint es darum, den Einfluss der fremdsprachlichen Kompetenzen und der Lesestrategien auf das Lernen im bilingualen Schülerlabortag zu untersuchen.

Migrationshintergrund

Deutliche Kompetenzunterschiede werden in PISA 2006 bei Lernenden mit und ohne Migrationshintergrund ausgewiesen (Prenzel et al. 2007). In TIMSS 2007 wird deutlich, dass diese bereits in der Grundschule zu verzeichnen sind (Bos et al. 2008). Kompetenzeinbußen werden häufig auf fehlende sprachliche Kenntnisse zurückgeführt, beispielsweise auf den geringen Einsatz der Landessprache als Umgangssprache im häuslichen Umfeld (Bos et al. 2008). Interessanterweise weisen die Ergebnisse von PISA 2006 für Deutschland keine Unterschiede für Lernende mit und ohne Migrationshintergrund bezüglich des naturwissenschaftlichen Interesses aus (Prenzel et al. 2007). Auch Studien zur Schülerlaborforschung belegen bislang keinen Einfluss des Migrationshintergrundes auf die affektive Wirkung des Labortages aus (Brandt 2005).

1.2.2 Biologiedidaktischer Hintergrund zum Lernen im Schülerlabor - Praktischer Experimentalunterricht im Schülerlabor

In der vorliegenden Studie steht das Lernen im praktischen Experimentalunterricht am außerschulischen Lernort Schülerlabor in bilingual englisch-deutscher Ausprägung im Mittelpunkt. Schülerlabore werden in der vorliegenden Studie als außerschulische Lernorte verstanden, in denen Lernende im gewachsenen Klassenverband in Begleitung ihrer Lehrkräfte experimentelle Kurse zu aktuellen naturwissenschaftlichen

Forschungsthemen besuchen. Dabei erhalten die Schülerinnen und Schüler die Gelegenheit, in authentisch ausgestatteten Laboren selbsttätig zu experimentieren. In Deutschland gibt es inzwischen mehr als 300 Schülerlabore mit sehr variablen Aktivitäten im MINT-Bereich, die an Universitäten, Forschungseinrichtungen oder Technologiezentren, Science Centern, Museen oder Industrieunternehmen angeschlossen sind (Haupt et al. 2013). Schülerlabore unterscheiden sich zwar mannigfaltig. Ihnen ist jedoch gemeinsam, dass sie Interesse und Aufgeschlossenheit für Naturwissenschaften und Technik fördern und Gelegenheiten bieten wollen, Tätigkeiten und Berufsfelder im naturwissenschaftlichen Bereich kennen zu lernen (Engeln und Euler 2004). Weiterhin ist ihnen gemeinsam, dass sie auf die Entwicklung von Lernthemen in originaler oder authentischer Umgebung sowie die Förderung forschenden Experimentierens (*inquiry-based science learning*) abzielen. Von zentraler Bedeutung ist das eigenständige Experimentieren der Schülerinnen und Schüler und das Erproben von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen. Dieses geschieht als ein geleitetes und reflektiertes Experimentieren, das durch eine Betreuung von Wissenschaftlern, studentischen Hilfskräften und Lehramtsstudierenden begleitet wird (Haupt et al. 2013). Die Lerngelegenheiten in Schülerlaboren bieten die Möglichkeit der Erfahrung und Entfaltung individueller Stärken sowie der Förderung fachlicher wie überfachlicher Kompetenzen. Gleichzeitig ermöglicht der Besuch einer authentischen Laborumgebung Schülerinnen und Schülern den persönlichen Kontakt mit Wissenschaftlern aus der Forschung (Euler 2009a).

1.2.2.1 Das Schülerlabor BeLL Bio

Das Bergische Lehr-Lernlabor Biologie (BeLL Bio) ist ein Teillabor des Bergischen Science Labs und Mitglied des Schülerlabornetzwerkes der Initiative Zukunft durch Innovation (zdi). Es ist dem Lehrstuhl Zoologie und Didaktik der Biologie der Bergischen Universität Wuppertal zugeordnet. Zu den Räumlichkeiten gehören neben einem modern eingerichteten Labor ein Seminarraum sowie zwei Vorbereitungsräume, welche die Durchführung von Schülerlaborkursen mit bis zu 32 Lernenden ermöglichen. Das Kursangebot umfasst Kurse für die Sekundarstufen I und II, die Anbindungsmöglichkeit zu obligatorischen Themen beispielsweise der Molekularbiologie/ Genetik („Genetischer Fingerabdruck“), der Enzymatik („Außer Atem – der Laktatdehydrogenase auf der Spur“), der Cytologie/ Stammbaumforschung („Kleine Einzeller ganz groß“) und der Neurobiologie bieten („The Brain – A Living

Network“ und „Reflexe“) und in deutscher und/oder englischer Sprache durchgeführt werden.

Beschreibung des untersuchten Schülerlabors „The Brain – A Living Network“

Die BeLL Bio Schülerkurse zielen auf das Wecken von Interesse an der Naturwissenschaft Biologie und auf die Entwicklung von Selbstvertrauen beim Umgang mit biologischen Sachverhalten ab. Sie werden als Angebot eines interessanten, nachhaltigen Lernerlebnisses verstanden, das die intensive Auseinandersetzung mit biologischen Sachverhalten fördert. Weiterhin bieten die Schülerlaborkurse authentische Einblicke in biologisch-technische Berufe sowie in die Forschung und dienen der Interessensentwicklung für entsprechende Berufsfelder. Sie vermitteln so ein zeitgemäßes Bild der modernen Biologie sowie deren Bedeutung für die Gesellschaft (Engeln und Euler 2004; Dähnhardt et al. 2009). Die experimentelle Tätigkeit ermöglicht Lernenden dabei erfahrungsbasierte Zugänge, die eine Verknüpfung von abstraktem Wissen mit prozeduralem Wissen ermöglicht und die Schülerinnen und Schüler mit authentischen Arbeitsweisen der Naturwissenschaften vertraut macht (Euler 2009a).

Der Schülerlabortag zur Neurobiologie, „The Brain – A Living Network“, wird im Rahmen dieser Studie in bilingual englischen und monolingual-deutschen Treatmentgruppen beforscht. Der Schülerlaborkurs ist auf die derzeit geltenden Kernlehrpläne bzw. die aktuellen Vorgaben fürs Abitur des Landes NRW abgestimmt (MSW NRW 2014, 2013b, 2015). Er ist in Vor- und Nachbereitung in den schulischen Unterricht eingebettet und erweitert diesen in thematischer und experimentierpraktischer Hinsicht. Vorbereitend lesen und bearbeiten die Lernenden ein Versuchsskript in der Schule, das die Theorie und Praxis der modernen, untereinander verknüpften Versuche zum Gegenstand hat. In Kleingruppen führen die Lernenden am Labortag in authentischer Laborumgebung diese Versuche durch und werten sie aus. Das Lernumfeld ermöglicht eine aktive, weitestgehend selbständige Auseinandersetzung mit möglichst lebensweltlichen und authentischen Problemen der Forschung, losgelöst vom schulischen 45-Minuten-Takt. Die als herausfordernd empfundene, praktische Erfahrung im Schülerlabor ermöglicht darüber hinaus die Bearbeitung eines Forschungsthemas von gesellschaftlicher Relevanz (Euler 2009a; Engeln und Euler 2004). Die instruktionelle Unterstützung wird dabei personell und medial so geplant, dass eine aktive, autonome Wissenskonstruktion seitens der

Lernenden in Entwicklung von Fragestellungen und bei der Durchführung und Auswertung sowie der Diskussion und Präsentation der Ergebnisse gelingen kann und Zielorientierung sowie Reflexion ermöglicht (Euler 2009a).

Im Rahmen ihres Masterstudiums haben angehende Lehrkräfte für das Fach Biologie die Möglichkeit, in diesen Kursen forschend tätig zu werden und qualitative und quantitative empirische Forschung beispielsweise zum Erwerb der Fachsprachlichkeit Deutsch sowie Englisch oder zur Experimentierfähigkeit zu betreiben. Weiterhin ermöglichen die Schülerlabortage Studierenden Einblicke in fachdidaktische und fachmethodische Forschung, die mit der Exploration des Verhaltens von Lernenden am außerschulischen Lernort sowie dem Erwerb von Methoden- und Sachkompetenz kombiniert werden können

Als Fortbildungsveranstaltung für bilingual unterrichtende Lehrkräfte wurde der Labortag im Rahmen des MINT-Clusters „Internationalität und Bilingualität an Schulen“ im November 2014 an der Bergischen Universität Wuppertal durchgeführt. Erneut wurde dieser im Rahmen des Tages des bilingualen Unterrichtens an der Bergischen Universität Wuppertal im Februar 2017 zum Gegenstand einer Fortbildungsveranstaltung.

Stand der Schülerlabor-Forschung

Studien zu Schülerlaboren haben vielfach die affektive Wirksamkeit zum Gegenstand ihrer Forschungen. Brandt (2005) untersuchte Motivation und Interesse, Pawek (2009) beforchte das aktuelle Interesse sowie Fähigkeitsselbstkonzepte und Zehren (2009) das Selbstvertrauen und Interesse. Damerau (2012) explorierte die kognitive und affektive Wirkung eines molekulargenetischen Schülerlabortages, ermittelte das experimentbezogene Fähigkeitsselbstkonzept mit Hilfe eines Fragebogens (FSWEx) und clusterte Experimentiertypen (Allrounder, Theoretiker, Praktiker). Ein zentrales Ergebnis seiner Studie war, dass leistungsschwächere und schulisch weniger interessierte Schülerinnen und Schüler durch einen Schülerlabortag besonders aktiviert werden können und er schloss daraus, dass experimentelle Lehr-Lernarrangements einen Beitrag zur Entwicklung der *Scientific literacy* leisten können. Rodenhauser (2016) untersuchte anhand eines bilingualen molekulargenetischen Schülerlabortags dessen kognitive und affektive Wirkung. Sie identifizierte langfristige Behaltenseffekte und eine Steigerung des biologischen Fähigkeitsselbstkonzepts bei

sprachlich interessierten Lernenden. Die vorliegende Studie untersucht ebenfalls die kognitive und affektive Aktivierung anhand des vorgestellten eintägigen Schülerlaborkurses vergleichend für die bilingualen und monolingualen Treatmentgruppen. Bevor im Weiteren die lerntheoretischen Prinzipien des Schülerlabors erörtert werden, wird zunächst die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise des Experiments näher beleuchtet.

1.2.2.2 Experimentieren und Wissenserwerb

Im Mittelpunkt des Schülerlabortages steht das selbsttätige Experimentieren der Lernenden. Da dem Experimentieren als Methode und spezifischer Arbeitsweise in den Naturwissenschaften und in der Biologiedidaktik unterschiedliche Funktionen zugeschrieben wird, sollen diese zunächst näher beleuchtet werden, bevor der Bezug zur Wissenskonstruktion hergestellt wird.

1.2.2.2.1 Experimentieren im Fachunterricht

Das Experimentieren stellt die wichtigste Arbeitsweise und gleichzeitig das wichtigste Medium zur Erkenntnisgewinnung in der naturwissenschaftlichen Forschung und im naturwissenschaftlichen Unterricht dar. In der Wissenschaft werden Experimente zur induktiven Erkenntnisgewinnung eingesetzt, wenn Hypothesen bestätigt oder widerlegt werden sollen, indem aus Einzelfällen Hypothesen abgeleitet werden und experimentell überprüft werden (Killermann et al. 2016). Demgegenüber wird bei der deduktiven Vorgehensweise vom Allgemeinen auf Einzelfälle beziehungsweise das Besondere geschlossen. Aus allgemeinen Erkenntnissen und Gesetzmäßigkeiten werden Schlussfolgerungen auf Einzelfälle gezogen beziehungsweise Voraussagen für Einzelfälle gemacht werden (Killermann et al. 2016). Engeln und Euler (2004) weisen auf den Zusammenhang von Experimentieren und Theoriebildung hin und benennen die Wichtigkeit, konkrete, theoriegeleitete Fragen an die Wirklichkeit zu stellen, die experimentell überprüft werden. Weiterhin von besonderer Bedeutung ist das Finden geeigneter Werkzeuge, die unter Einhaltung der Gütekriterien standardisiert auswertbar sind.

Biologiedidaktisch betrachtet wird dem Experimentieren eine wichtige Rolle für das forschende Lernen zugemessen (Euler 2009a; Hofstein und Lunetta 1982, 2003), wenn Schülerinnen und Schüler im naturwissenschaftlichen Unterricht alle Schritte des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges beschreiten. Hammann (2014) betont, dass ein problemorientiertes Experimentieren im Mittelpunkt des naturwissenschaftlichen

Unterrichts stehen müsse, welches die Methodik des Experimentierens und die Art und Weise des Vorgehens im Sinne von *minds on* in den Vordergrund stellt und nicht das mechanische Abarbeiten. So werde ein Einblick in den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg gewonnen und auf diesem Wege methodisches Wissen beispielsweise bezüglich der Hypothesenbildung, der Experimentierplanung und der Datenanalyse gewährleistet. Dem Beschreiten des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges wird eine zentrale Bedeutung bei der Steigerung des Lerninteresses zugeschrieben (Engeln und Euler 2004), doch muss sichergestellt werden, wie fachliches Verständnis gesichert wird (Euler 2009a). Andererseits wird das Potenzial der Verknüpfung zwischen Modellieren und Experimentieren herausgestellt (Euler 2009b). Euler sieht eine zentrale Rolle des Experimentierens in der Generierung, Modellierung und Entfaltung sowie dem Transfer von Wissen in neue Kontexte und Anwendungszusammenhänge.

Begrifflich wird im Allgemeinen zwischen Versuch und Experiment unterschieden. Während der „Versuch“ oft als das mehr oder weniger bewusste Ausprobieren (Scholz 2005) verstanden wird bzw. betont wird, dass Lernende nach Anleitung einen Versuch durchführen, diesen ggf. dokumentieren und erklären (Hartinger et al. 2013), steht im Mittelpunkt des Experiments das forschende Lernen als Beschreiten des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges (Mayer 2014). Eine gängige Definition für das Experiment ist die folgende: „Ein Experiment ist eine Erkenntnismethode, bei der in wissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweise ein gezielter manipulativer Eingriff in ein zu untersuchendes System vorgenommen wird, mit der Absicht, einen erwarteten Effekt (=Wirkung) hervorzurufen, um die einwirkenden Faktoren (=Ursachen) zu ergründen“ (Spörhase-Eichmann und Ruppert 2004; Spörhase-Eichmann und Köhler 2012). Ein Experiment ist folglich eine Frage an die Natur, die in Form einer begründeten Vermutung über die Ursache-Wirkungs-Beziehungen formuliert wird und durch systematische Variation und Kontrolle der Variablen überprüft wird (Hammann 2014). Dabei wird im Experimentalansatz lediglich die Testvariable verändert und alle anderen Variablen konstant gehalten. Über den Vergleich von Kontroll- und Experimentalansatz wird auf die Wirkung der Testvariablen geschlussfolgert und die Hypothese überprüft. Ziel von Experimenten ist die Gewinnung universeller, reproduzierbarer Aussagen über die Hypothese (Hammann 2014). Damit verweist die Definition unter anderem auf ein wichtiges Ziel von Wissenschaft, welches in der

Erklärung von Neuem und bisher Unerklärbarem liegt (Berck und Graf 2010). Sie betont ebenfalls die Wichtigkeit der Reproduzierbarkeit von Versuchsergebnissen.

Dem Experiment werden im Unterrichtsgeschehen entsprechend folgende sechs grundlegenden Bedeutungen zugeschrieben (Berck und Graf 2010):

- Die Gewinnung von Einsichten in naturwissenschaftliche Arbeitsweisen sowie die Entwicklung einer positiven Einstellung.
- Der Erwerb von Fähigkeiten zum Experimentieren (technische Fertigkeiten).
- Das Erlernen und Unterscheiden deduktiver und induktiver Beweisführungen.
- Die Entwicklung der Fähigkeiten zum Problemlösen.
- Das Überprüfen und bessere Lernen von naturwissenschaftlichen Begriffen.
- Die Interessensförderung an Biologie. (Berck und Graf 2010).

An dieser Stelle sollen die beiden Begriffe Versuch und Experiment synonym benutzt werden, wie z.B. von Berck und Graf (2010) vorgeschlagen. Zudem wird in dieser Studie unter Experiment das gezielte Fördern von selbständigem naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten unter Beschreitung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges verstanden. Geleitet wird dieses forschende Lernen in den Schritten Entwicklung einer Versuchsfrage, die Entwicklung der Versuchs-Planung und die Formulierung einer Hypothese, die Durchführung des Experiments sowie das Sammeln der Daten, die Auswertung der Ergebnisse, deren Deutung und finale Präsentation sowie Diskussion der Arbeitsergebnisse in kommunikativem Austausch.

Experimentieren im schulischen Kontext

Zentrales Ziel des Biologieunterrichts ist die Vermittlung von Kenntnissen, Fertigkeiten und Fähigkeiten zum besseren Selbstverstehen und Verständnis gegenwärtiger und zukünftiger Situationen und zum begründeten Handeln (Berck und Graf 2010). Diese umfassende Zielsetzung ist mit dem Begriff der naturwissenschaftlichen Grundbildung (*scientific literacy*) verknüpft, dem Konzept einer anschlussfähigen naturwissenschaftlichen Grundbildung aller zur Orientierung in einer naturwissenschaftlichen und technisch geprägten Welt und zur aktiven Teilhabe an dieser. Zudem betont dieses Konzept ein lebenslanges Weiterlernen in den Naturwissenschaften (Klieme et al. 2010). In den Kernlehrplänen (MSW NRW 2014) wird der Leitgedanke der naturwissenschaftlichen Grundbildung aufgegriffen und das

Verwenden naturwissenschaftlicher Methoden, wie beispielsweise des Experimentierens, betont. Die exakte, fachsprachliche Beschreibung von Phänomenen als auch das zielgerichtete, ergebnisorientierte Überprüfen von Hypothesen durch Experimente sowie das logische Schließen und Argumentieren werden als besondere Ziele des Faches Biologie herausgestellt (MSW NRW 2014). Als Ziel der vertieften naturwissenschaftlichen Bildung wird benannt, Denk- und Arbeitsweisen zur Problemlösung und Erweiterung des eigenen Wissens zu nutzen. Folglich kommt der Verknüpfung konzeptionellen Wissens und methodischer Fähigkeiten eine besondere Bedeutung zu, die einerseits der Identifikation spezifischer Fragestellungen und Probleme sowie der Problemlösung dienen, andererseits zur systematischen Untersuchung herangezogen werden, um datenbasiert und belegend zu Schlussfolgerungen zu führen, die in argumentativen und rationalen Entscheidungen vollzogen werden (MSW NRW 2014). Das Experimentieren kann den Kompetenzbereichen Erkenntnisgewinnung und Kommunikation zugeordnet werden. Die Kernlehrpläne betonen ein hypothesengeleitetes Experimentieren. Weiterhin differenzieren sie das Experimentieren in die Teilkompetenzen Hypothesenbildung, Planung, Durchführung und Auswertung (MSW NRW 2014).

Im Unterricht verwirklicht, finden sich Experimente in unterschiedlicher Ausprägung. Nach Unterscheidung des Experimentators kann zwischen Lehrer- oder Demonstrationsexperimenten und Schülerexperimenten differiert werden: Demonstrationsexperimente werden zum Teil aus Kostenersparnis, Sicherheitsgründen oder Zeitökonomie von der Lehrkraft durchgeführt. Zuweilen führen Lernende ein Demonstrationsexperiment vor der Lerngruppe durch. Hier sind Schülerinnen und Schüler bei gedanklicher Planung und Auswertung aktiviert. Demgegenüber sind bei Schülerexperimenten alle Schüler oder Schülergruppen bei deren Durchführung aktiv. Dieser Form des Experiments wird besonderes Potenzial bezüglich der Motivation zugesprochen und dies hinsichtlich der methodischen sowie kognitiven Selbsttätigkeit und bezüglich der Ausbildung von Arbeitstugenden wie Genauigkeit, Ausdauer sowie dem Ressourcen-schonenden Vorgehen (Killermann et al. 2016).

Weiterhin kann für Schülerexperimente eine Unterteilung hinsichtlich der Merkmale sowie der Funktionen in Langzeit- und Kurzzeitexperiment und das Forschungs-analoge Experiment vorgenommen werden (Berck und Graf 2010). Wesentliche Aspekte dieser Experiment-Typen sind in Tabelle 8 dargestellt:

Tabelle 8: Typen von Schülerexperimenten mit ihren jeweiligen Merkmalen und Funktionen (vgl. Berck & Graf 2010)

Typus Experiment	Merkmale	Funktion	Beispiel
Kurzzeit-experiment <i>Verifikations-Experiment, Deductive laboratory</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer: 1-2 Stunden • Ergebnis & Inhalt weitestgehend von Lehrkraft vorbereitet 	<ul style="list-style-type: none"> • Demonstration/ Festigung behandelter Sachverhalte 	Behaltenstest (Wortliste)
Langzeit-experiment <i>Inductive laboratory</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Längerer Zeitraum • Größere Eigenständigkeit in Bezug auf Methode, Datengewinnung & Datenauswertung • Zu untersuchendes Problem im Wesentlichen von Lehrkraft bestimmt 	<ul style="list-style-type: none"> • Herausfinden von Prinzipien, Gesetzmäßigkeiten & Hypothesen durch SuS 	Erbversuche bei <i>Drosophila</i>
Forschungs-analoges Experiment	<ul style="list-style-type: none"> • deutlich umrissen • von einzelnen oder Gruppen entwickelt • Wahl und Anwendung von Methoden der Durchführung & Auswertungsstrategien weitestgehend durch SuS 	<ul style="list-style-type: none"> • Erkunden eines neuen Problems 	Chemische Gewässeruntersuchung über bestimmten Zeitraum

Die hier beschriebene Typisierung von Experimenten charakterisiert ein fortschreitend differenzierteres und selbsttätigeres Experimentieren durch Schülerinnen und Schüler, das die Weiterentwicklung methodischer wie kognitiver Experimentierkompetenz bedingt.

Nach ihrer didaktischen Funktion im Unterricht kann ferner zwischen einführenden, klärenden und bestätigenden Experimenten unterschieden werden (Killermann et al. 2016): Oft am Anfang von Unterrichtseinheiten wird das Einstiegsexperiment zum Ziel der Überraschung oder Provokation beziehungsweise zum Hervorrufen von Neugierde, Erstaunen oder Widerspruch eingesetzt. Die am häufigsten genutzte Form des Experiments ist das erklärende Experiment, das in Abwandlung des Forschungsexperiments der Lösung aufgeworfener Fragen oder Probleme dient. Es folgt dem induktiven Erkenntnisweg, sucht Vermutungen zur Problemlösung zu

bestätigen oder zu widerlegen und dient somit aus Schülersicht der Entdeckung neuer gesetzmäßiger Zusammenhänge. Auch das bestätigende Experiment ist von vergleichbarer didaktischer Funktion, wenn mit ihm angestrebt wird, bereits theoretisch erworbene Kenntnisse experimentell zu untersuchen. Es fungiert entsprechend veranschaulichend der Sicherung, Übung oder Wiederholung (Killermann et al. 2016).

Neben dem Experiment im eigentlichen Sinne, kommen im Biologieunterricht verschiedene weitere fachgemäße Arbeitsweisen als Formen des Erkundens zum Einsatz.

Grundformen des Erkundens

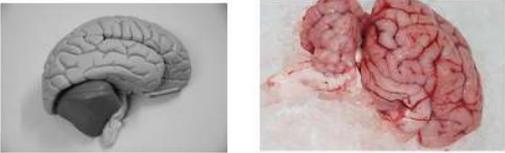
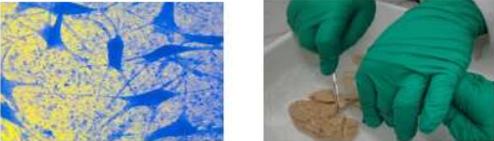
<p>Betrachten</p> 	<p>Beobachten</p> 
<p>Untersuchen</p> 	<p>Experimentieren</p> 

Abbildung 34: Grundformen des Erkundens, verändert nach Spörhase (2012)

Fachgemäße Arbeitsweisen können weit gefasst als Denk- und Arbeitsweisen aufgefasst werden, die der Erkenntnisgewinnung in einem Wissensgebiet dienen. Enger gefasst werden als fachgemäße Arbeitsweisen die vier Grundformen des „Erkundens“, „Betrachten“, „Untersuchen“, „Beobachten“ und „Experimentieren“ unterschieden (Killermann et al. 2016). Während das Betrachten und Beobachten ohne Manipulation erfolgt, implizieren das Untersuchen und Experimentieren Eingriffe in ein System. Das Betrachten hat Eigenschaften und Merkmale von unbewegten Objekten auch im Detail zum Gegenstand (Otteni 2014). Die genaue Betrachtung von Gestalt und Struktur beispielsweise eines Gehirnmodells ist von einer exakten Beschreibung mittels Fachtermini begleitet. Werden Vorgänge und Bewegungen im zeitlichen Verlauf in Augenschein genommen, wird von Beobachten gesprochen. Die besondere Bedeutung der Beobachtung liegt in der selbsttätigen Informationsgewinnung auf Grundlage der Originalbegegnung und im Ziehen eigener

Folgerungen (Otteni 2014). Das Untersuchen beinhaltet im Gegensatz zum Betrachten und Beobachten einen Eingriff in das Naturobjekt, indem es zerschnitten oder mit Chemikalien versetzt wird (Killermann et al. 2016): Auf das Beispiel der Gehirnpräparation oder der mikroskopischen Identifikation von Neuronen bezogen dient es dem genaueren Kennenlernen von Strukturen und Organen. Das Experimentieren schließlich, wie bereits zuvor ausgeführt, impliziert einen gezielten Eingriff in die Natur unter Beschreitung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges.

Das Vermitteln und Üben der vier hier dargestellten Arbeitsweisen ist für den naturwissenschaftlichen Unterricht von Wichtigkeit, da sie Voraussetzung für den Gewinn biologischer Erkenntnisse und Bestandteil der Naturwissenschaft Biologie sind. Zudem ermöglichen sie häufig den Bezug zu Naturobjekten und so zur Entwicklung wirklichkeitsgetreuer Vorstellung und tragen somit zur Anschaulichkeit bei. Darüber hinaus fördern diese Arbeitsweisen den handelnden Umgang sowie die Selbsttätigkeit von Schülerinnen und Schülern und erweitern ihre Handlungskompetenz. Schließlich wirkt die aktive Begegnung mit der Natur in emotionaler Weise, wenn der handelnde, erkenntnisfördernde Umgang mit ihr interessensfördernd und motivationsfördernd wirkt (Killermann et al. 2016).

Probleme beim Experimentieren im Unterricht

Trotz der besonderen Bedeutung des Experimentierens in der Wissenschaft Biologie und des großen Potenzials, welches unterrichtlichem Experimentieren zugeschrieben wird, wird insgesamt relativ selten experimentiert. Fischer et al. (2003) ermitteln im Unterricht insgesamt nur eine sehr geringe Schüleraktivität und identifizieren als Unterrichtstypen lehrerzentrierten Unterricht mit Demonstrationsversuchen beziehungsweise solchen mit Anteilen von Schülerexperimenten. Baumert und Köller (2000) benennen ebenfalls für die Sekundarstufe II das Klassengespräch als die dominierende Unterrichtsform neben dem lehrerzentrierten Demonstrationsunterricht. Als Gründe für das geringe unterrichtliche Experimentieren werden ungeeignete Fachräume und mangelnde Ausstattungen sowie zu hohe Kosten angeführt (Scharfenberg 2005). Auch werden mangelnde Praxiserfahrung der Lernenden (Sunal et al. 2008) oder die Experimentierfähigkeit der Lehrkraft (Scharfenberg 2005) als Gründe genannt. Auch Damerau (2012) identifizierte beispielsweise die subjektive Experimentierfähigkeit der Lehrkräfte oder Zeitmangel als wichtige Gründe für das

geringe Experimentieren. Insgesamt kann also festgestellt werden, dass im schulischen Kontext eher wenig experimentiert wird.

1.2.2.2 Experimentieren als Gegenstand didaktischer Forschung – Modelle experimenteller Kompetenz

Im vergangenen Kapitel wurde das Experimentieren im unterrichtlichen Kontext beleuchtet und dabei bereits auf Teilkompetenzen des Experimentierens, wie sie in den Kernlehrplänen (MSW NRW 2014) benannt werden, verwiesen. Nun werden die aktuellen didaktischen Modelle des Experimentierens, auf denen die schulische Realisierung fußt, näher erläutert. Basierend auf pädagogischen, psychologischen und fachdidaktischen Befunden zielen Kompetenzmodelle auf eine Ausdifferenzierung und Beschreibung von Kompetenzen ab. Sie beschreiben häufig auch deren zeitlichen Verlauf. Dabei wird der Kompetenzbegriff von Weinert (1999, 2001, 2016) zugrunde gelegt. Demnach sind Kompetenzen vom Individuum erlernte und verfügbare kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten, die der Problemlösung dienen. Von Bedeutung sind darüber hinaus motivationale und volitionale, d.h. die willentliche Steuerung von Handlungen und Handlungsabsichten betreffende, Bestandteile und soziale Bereitschaften und Fähigkeiten. Diese Merkmale zusammen führen zu Problemlösungen in variablen Situationen und deren verantwortungsvoller Nutzung (Weinert 2001, 2016).

Neben kognitiven und anderen Orientierungen stellen die Fähigkeiten und Fertigkeiten Handlungsdimensionen zur Bewältigung alltäglicher Problemlösung dar. Diese finden in den Bildungsstandards des Faches Biologie und den Kernlehrplänen der Bundesländer (MSW NRW 2014; KMK 2005) in den Kompetenzbereichen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung Umsetzung. Nachdem zunächst das Experiment aus wissenschaftlicher sowie schulischer Sicht betrachtet worden ist, sollen im Folgenden wissenschaftliche Kompetenzmodelle vorgestellt werden, die die Erfassung der Experimentierkompetenz zum Gegenstand haben.

***Scientific Discovery as Dual Search* (SDDS)-Modell (Klahr und Dunbar 1988)**

Das *Scientific Discovery as Dual Search* (SDDS)-Modell strebt an, allgemeingültige Aussagen über die Vorgänge naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozesse zu treffen (Klahr und Dunbar 1988; Klahr 2000). Dabei dienen namensgebend zwei Problemräume, der Hypothesen-Raum und der Experiment-Raum, der

Problemlösung. Problemlösen wird als Finden und Beschreiten des Weges vom Ausgangs- zum Zielzustand betrachtet, wobei, vom Vorwissen ausgehend, Hypothesen entwickelt, Experimente durchgeführt und deren Ergebnisse evaluiert werden (Klahr und Dunbar 1988). Operatoren vermitteln als Handlungen, die vom Ausgangszustand des ungelösten Problems zum Zielzustand des gelösten Problems führen (Klahr 2000). Der im SDDS-Modell abgebildete Weg kann als ein Übergang von der Suche im Hypothesen-Raum über das Testen von Hypothesen zur Analyse der Evidenzen beschrieben werden (Hammann 2007). Demzufolge nimmt die Suche im Hypothesen-Raum ihren Ausgangspunkt im eingeschränkten Wissen um ein zu erklärendes Phänomen, das durch die Suche nach der geeigneten Hypothese in den Zielzustand überführt wird. Das Testen von Hypothesen ist verknüpft mit dem Suchen nach geeigneten Experimenten und experimentellen Ergebnissen im Experimentier-Raum. Schlussendlich erfolgt anhand der Experimentalergebnisse als Resultat des Experimentier-Raums die falsifizierende oder verifizierende Überprüfung der eingangs gestellten Hypothese (Hammann 2007). Klahr und Dunbar (1988) konnten in ihrer Studie zwei Experimentiertypen ermitteln. Die sogenannten Theoretiker entwickelten basierend auf ihrem Vorwissen Hypothesen und verblieben lange Zeit im Hypothesen-Raum, während die Experimentatoren Hypothesen nach dem Experimentieren generierten (Klahr und Dunbar 1988; Klahr 2000).

Kompetenzentwicklungsmodell nach Hammann (2004)

Aufbauend auf dem Kompetenzbegriff von Weinert (2001) und den Kompetenzstufen naturwissenschaftlicher Grundbildung (Bybee 2002) einerseits sowie dem SDSS-Modell von Klahr und Dunbar (1988) andererseits entwickelte Hammann (2004) ein Modell der zeitlichen Entwicklung der Experimentierkompetenz in der Sekundarstufe I für den Hypothesen-Suchraum und den Experimentier-Raum.

Strukturmodell des wissenschaftlichen Denkens (Mayer 2007a)

Im Strukturmodell zum wissenschaftlichen Denken (Mayer 2007a, vgl. Abbildung 35) ist die Experimentierkompetenz ebenfalls von besonderer Bedeutung und bezüglich der Definition von wissenschaftlichem Denken als Problemlöseprozess übereinstimmend mit dem SDDS-Modell (Klahr und Dunbar 1988; Klahr 2000).

Wissenschaftliches Denken wird hier ebenfalls als Problemlöseprozess aufgefasst, der der Überwindung einer Diskrepanz zwischen Ausgangs- und angestrebtem Endzustand dient (Mayer 2007a). Weiterhin beschreibt dieses Modell ein zielorientiertes Denken und Handeln in Situationen, für die noch keine routinierten Vorgehensweisen vorliegen. Entsprechend zielt wissenschaftliches Problemlösen auf die Anwendung von Wissen und Fähigkeiten in neuen Situationen ab (Mayer 2007a).

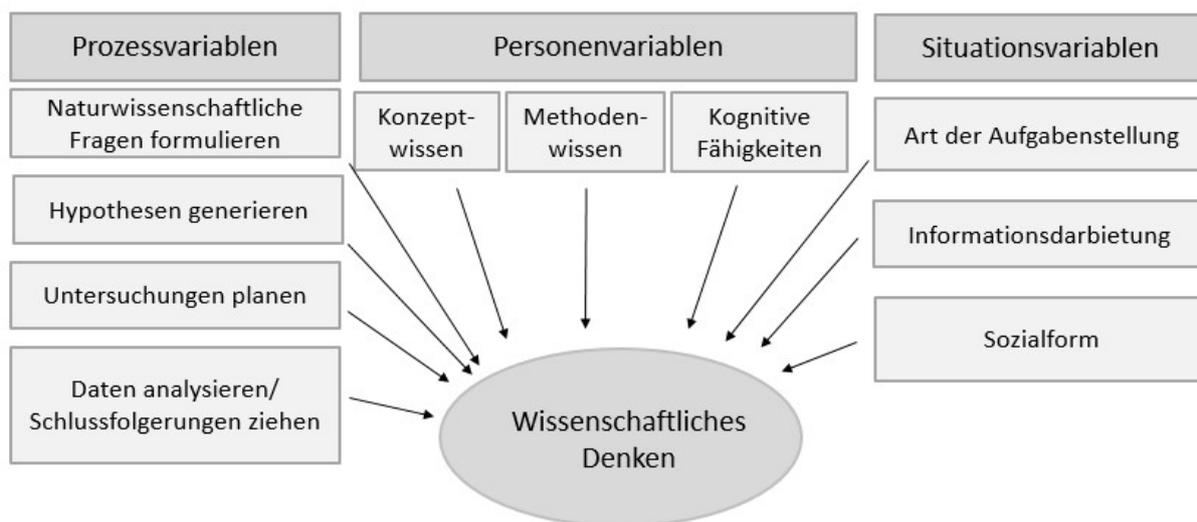


Abbildung 35: Kompetenzmodell naturwissenschaftlichen Denkens, ergänzt um Situationsvariablen (nach Mayer 2007a)

Wie in Abbildung 35 dargestellt, umfasst das Kompetenzmodell naturwissenschaftlichen Denkens (Mayer 2007a) neben prozessbezogenen Variablen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges, personenbezogene sowie situationsbezogene Variablen, die das naturwissenschaftliche Denken beeinflussen. Die prozessbezogenen Einflussgrößen umfassen als Teilkompetenzen das Formulieren von naturwissenschaftlichen Fragen, das Generieren von Hypothesen, das Planen von Untersuchungen und das Analysieren von Daten bzw. das Ziehen von Schlussfolgerungen als Elemente des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges. Gegenüber dem SDDS-Modell ist das Kompetenzmodell naturwissenschaftlichen Denkens um eine Teilkompetenz erweitert. Jedoch ist die Teilkompetenz der Durchführung von Experimenten hier nicht genannt, im SDDS-Modell hingegen als Komponente des Suchens im Experimentier-Raum aufgeführt. Eine besondere Bedeutung wird außerdem den Personenvariablen zugemessen. Deklaratives Wissen in Form von Konzept- oder Inhaltswissen und als Methodenwissen beeinflussen das wissenschaftliche Problemlösen. Mängel sowohl inhaltlicher Natur als auch methodisch-experimenteller Natur können sich negativ auf die

Experimentierkompetenz auswirken (Hammann 2004). Auch benennt Mayer (2007a) Situationsvariablen, die er in Aufgabenstellung, Informationsdarbietung sowie die Sozialform unterteilt und als weitere Einflussgrößen für das wissenschaftliche Denken ansieht. Auf die Bedeutung der Sozialform wird im Zusammenhang mit Kommunikation im Schülerlabor (vgl. Konsensusaushandlung Kap. 1.2.2.5, Zusammenarbeit Kap. 1.2.2.4) näher eingegangen werden.

Modell zur Experimentierkompetenz (nach Schreiber et al. 2009 und Grube 2010)

In ihrem Modell der Experimentierkompetenz differenzieren Schreiber et al. (2009) Teilkompetenzen der Experimentierfähigkeit und folgen bezüglich der Ausdifferenzierung der experimentellen Kompetenzen Klahr (2000) sowie Hammann (2004). In der Dreiteilung in die übergeordneten Bereiche Planung, Durchführung und Auswertung ist dieses Modell mit dem SDDS-Modell vergleichbar, stellt im Gegensatz zu diesem jedoch nicht die Hypothesenbildung und Interpretation der Ergebnisse in den Mittelpunkt, sondern fokussiert auf die Durchführung von Experimenten (Tabelle 9). Die Teilkompetenzen „Versuchsplan entwerfen“ und „Umgang mit Problemen“ werden von ihnen nicht eindeutig zugeordnet. Grube (2010) ergänzt diese Modellvorstellung um eine Ausdifferenzierung der Teilkompetenzen der Auswertungskompetenz (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: Modell der Experimentierkompetenz (Schreiber et al. 2009; Grube 2010). Mit Sternchen versehene Teilkompetenzen entstammen der Modellvorstellung von Grube (2010). Die Teilkompetenzen „Versuchsplan“ und „Umgang mit Problemen“ wurden von Schreiber et al. 2009 keiner der Teilkompetenzen zugeordnet.

Planung	Durchführung	Auswertung
Vorgegebene Fragestellung klären	Geräte zusammenstellen	Messdaten verarbeiten
Fragestellung entwickeln	Versuchsanordnung aufbauen	Messdaten interpretieren
Erwartungen formulieren	Messungen durchführen	Ergebnis auf Fragestellung/ Erwartung/ Hypothese beziehen*
Hypothese bilden	Messungen dokumentieren	Verknüpfung experimenteller Ergebnisse mit Vorwissen*
		Ziehen verallgemeinernder Schlussfolgerungen*

Versuchsplan entwerfen	Umgang mit Problemen und Fehlern
------------------------	----------------------------------

Schreiber et al. (2009) betonen, dass das Modell keine Linearität bezüglich des Auftretens der Teilkompetenzen impliziert. Demgegenüber ist davon auszugehen, dass die Teilkompetenzen im Experimentalablauf unvollständig gefordert sind.

Erfassung von experimenteller Kompetenz

Wie in den Bildungsstandards (MSW NRW 2014) festgelegt, sollen Schülerinnen und Schüler auch hinsichtlich des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung Experimentierkompetenz gewinnen. Modelle der experimentellen Kompetenzen operationalisieren experimentbezogene Teilkompetenzen und erfassen diese anhand von Realexperimenten bzw. anhand schriftlicher Wissenstests. Weiterhin kann bezüglich der Auswertung dieser Kompetenzen zwischen prozessbezogenen Handlungsanalysen und produktbezogenen schriftlichen Arbeitsergebnissen unterschieden werden (Schreiber et al. 2009). Beispielsweise untersucht Walpuski (2006) z.T. in Form von Videoanalysen ausgewählter Realexperimente und anhand schriftlicher Wissenstests (vgl. Walpuski und Sumfleth 2007). Lange (2012) untersucht die Experimentierkompetenz anhand eines webbasierten Lernprogrammes zum Experimentieren mittels Multiple-Choice-Fragen mit dem Schwerpunkt „Suche nach Hypothesen“ und „Analyse von Evidenzen“. Grube (2010) entwickelte ebenfalls einen schriftlichen Test mit einem offenen Antwortformat, das die Teildimensionen Entwicklung von Fragen, Ableiten von Hypothesen, Planung und Durchführung von Experimenten in seinen Ausprägungen untersuchte. Demgegenüber untersuchte Damerau (2012), basierend auf dem Modell experimenteller Kompetenz nach Schreiber et al. (2009), mit seinem FSWE_x die subjektiv eingeschätzte Experimentierkompetenz in den Subskalen Planung, Durchführung und Auswertung.

Neben dem methodischen Kompetenzgewinn, der die Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung und Kommunikation umfasst, ist die Entwicklung von Fachwissen, vor allem auch die Verknüpfung von Fachwissen und methodischen Kenntnissen von besonderer Bedeutung im Biologieunterricht (MSW NRW 2014).

1.2.2.2.3 Erwerb von Fachwissen

Biologisches Fachwissen umfasst entsprechend des Konzepts der naturwissenschaftlichen Grundbildung (*scientific literacy*) Sachfachwissen, prozessbezogene Kompetenzen und kommunikative Kompetenzen. Kern wissenschaftlichen Denkens ist der Problemlöseprozess (Mayer 2007a). Biologisches

Fachwissen im Sinne von *Scientific literacy* ist entsprechend strukturell, d.h. es ist verknüpftes Konzeptwissen, welches der Problemlösung dient. Die Kernlehrpläne (MSW NRW 2014) weisen folglich die Basiskonzepte System, Struktur und Funktion und Entwicklung aus, die zentrale, aufeinander bezogene Begriffe, Modellvorstellungen und Theorien umfassen, die der Beschreibung von Prozessen und damit verbundener Handlungsmöglichkeiten dienen. Die Basiskonzepte dienen entsprechend der Vernetzung des Wissens in den Inhaltsfeldern und sind Ausgangspunkt für die situationsübergreifende Behandlung von Sachverhalten. Sie sind folglich Ausgangspunkt für vielfach verknüpfte Wissensnetze (MSW NRW 2014).

Die Begriffsbildung ist in vielen Studien beforscht: Die Wichtigkeit von spezifischem Wissen für logisches Denken und Lernen jeder Art wird unterstrichen (Resnick 1987) und die Bedeutung von Vorwissen für das Lernen herausgestellt (Ausubel et al. 1981). Folglich wird das Lernen eines neuen Themas leichter, wenn grundlegende Begriffe bereits bekannt sind (Berck und Graf 2010). Die Kenntnis eines Wissensfeldes wird beispielsweise als Besitz zahlreicher klarer Begriffe und Begriffsnetze verstanden (Berck und Graf 2010). Auf die Visualisierung von Begriffen und Konzepten in Form von *Concept Maps* wird in einem späteren Kapitel eingegangen.

Für den Erwerb von Fachwissen ist die Konzeptbildung von Bedeutung. Konzepte werden als netzartig verknüpfte mentale Repräsentationen aufgefasst, deren Einbettung in vorhandene Wissensstrukturen erfolgt, die in der Problemlösung zur Anwendung kommen (Lefrançois 2006). Konzeptbildung bedingt das Kennenlernen von spezifischen unterschiedlichen Klassen. Demgegenüber wird deren Abgrenzung zu anderen Klassen als *Konzepterwerb* bezeichnet. Konzeptbildung ist bis zum 15. Lebensjahr dominant, danach tritt der Konzepterwerb vorherrschend auf (Lefrançois 2006).

Konzepte als Bedeutungsrepräsentationen sind abstrakt (Bsp. Aktiver Transport) oder konkret (z.B. „Pyramidenzellen“), übergeordnet (z.B. „Photosynthese“) oder untergeordnet („Lichtreaktion“) (Okebukola 1992). Die Information wird durch Anpassung (Adaption) in eine vorhandene kognitive Struktur integriert, woraus ein ausgedehnteres und detaillierteres Wissensfeld resultiert (vgl. Heine 2010b). Beim Lernen kommt es im Zuge von Assimilation gemäß Piaget (1994) zur Anpassung von Erfahrungen an bestehende Konzepte und Schemata oder zu kognitiven Konflikten,

die eine Anpassung von Schemata an neue Erfahrungen notwendig machen (Akkommodation) und letztlich zu einem ausdifferenzierten, umfassenderen und veränderten Wissen führen.

Lernstudien belegen das Erreichen unterschiedlicher Kompetenzstufen (Klieme et al. 2010). Desiderat von Schülerlabor-Unterricht bleibt es, Lernende unterer Kompetenzstufen genauso wie hochkompetente Schülerinnen und Schüler zu fördern und für alle Lernergruppen gleichermaßen kognitiv wirksam zu sein. Einige Studien haben bereits den Kompetenzgewinn anhand von deutschsprachigen Schülerlaborbesuchen exploriert. Scharfenberg (2005) untersucht anhand systematischer Leistungserhebung mit Pre-, Post- und Follow up-Test für seine Schülerlaborkurse einen persistenten Wissenserwerb. Vergleichbar misst Damerau (2012) für alle seine Kurse ebenfalls einen bedeutsamen Lernzuwachs. Auch Rodenhauser (2016) belegt für ihre bilingual englisch-deutsch durchgeführten Kurse einen nachhaltigen Wissenserwerb ohne negative Auswirkungen gegenüber deutsch durchgeführten Kursen.

Von besonderer Bedeutung für die Wirkung des außerschulischen Schülerlabortages ist seine Vorbereitung im schulischen Unterricht (Berck und Graf 2010) und in diesem Zusammenhang das vorherige Lesen der Arbeitsanweisungen und theoretischen Hintergründe. Wiederholt wird die zentrale Bedeutung des Vorwissens für Wissenskonstruktion am Labortag belegt (z.B. Sunal et al. 2008). Diese Erkenntnis lässt sich auch mit dem Ansatz des gemäßigten Konstruktivismus verknüpfen, demzufolge das Lernen nur möglich ist, wenn Vorkenntnisse und Fähigkeiten vorhanden sind (Reinmann und Mandl 2006). Damerau (2012) zeigt, dass unterrichtliche Vorbereitung eine Auswirkung auf positive affektive Wahrnehmung des Schülerlabortages hat, gute Vorbereitung diese also steigern kann. Auch messen gut vorbereitete Lernende dem Labortag signifikant höhere persönliche Bedeutung bei (Engeln und Euler 2004). Die unterrichtliche Einbettung von Laborkursbesuchen (Berck und Graf 2010) sowohl in Vor- als auch in Nachbereitung ist von besonderer Wichtigkeit. Sie soll helfen, die experimentellen Ergebnisse zu reflektieren (Davies et al. 2008). Oft fehlt es in Schülerlaborkursen an Zeit für die Auswertung von Versuchsergebnissen (Hofstein und Lunetta 2003). Die mangelnde Vernetzung der Labortage zum schulischen Lernen kann die nur kurzfristig zu verzeichnenden kognitiven und affektiven Wirkungen des Schülerlabortages erklären. Gewinnbringend

scheint, wenn Lehrkräfte einen Laborbesuch terminieren, wenn er sinnvoll in den Unterrichtsgang passt (Brandt 2005).

1.2.2.3 Der gemäßigte Konstruktivismus als lerntheoretisches Prinzip des Schülerlabors

Der heute allgemein für die Gestaltung von Lehr-Lernumgebungen angewandte gemäßigte Konstruktivismus (Reinmann und Mandl 2006, S. 637f.) führt die Theorien der Instruktion und Konstruktion zu einer praxisbezogenen Theorie zusammen.

Kernanliegen der Theorie des *Instructional Design* (ID), dessen typisches Anwendungsgebiet beispielsweise das E-Learning ist, ist die strikt rationale und systematische Planung und Durchgestaltung des Lehrens und Lernens, das Erstellen von Instruktionsplänen mit Instruktionsstrategien und Lehrmethoden sowie die systematischen Lernerfolgskontrollen bei kontinuierlichem Abgleich von aktuellem mit erwünschtem Lernstand (Reinmann und Mandl 2006). Das *Instructional Design* folgt der Tradition des Behaviorismus, in der das Lernen als rezeptiver Prozess aufgefasst wird und der Lernende eine passive Rolle einnimmt (Reinmann und Mandl 2006).

Dem gegenüber nimmt der Konstruktivismus eine aktiv konstruierende Selbsttätigkeit, Kontextualisierung und Situierung der Lernumgebung an (Reinmann und Mandl 2006). Diese Position radikal gedacht, ist in Realität nicht existent, sondern lediglich individuell wahrgenommen, konstruiert und somit subjektiv (Watzlawick 2016) und erübrigte die Gestaltung einer Lernumgebung, weil die Rezeptionswege aller Lernenden höchstverschieden wären.

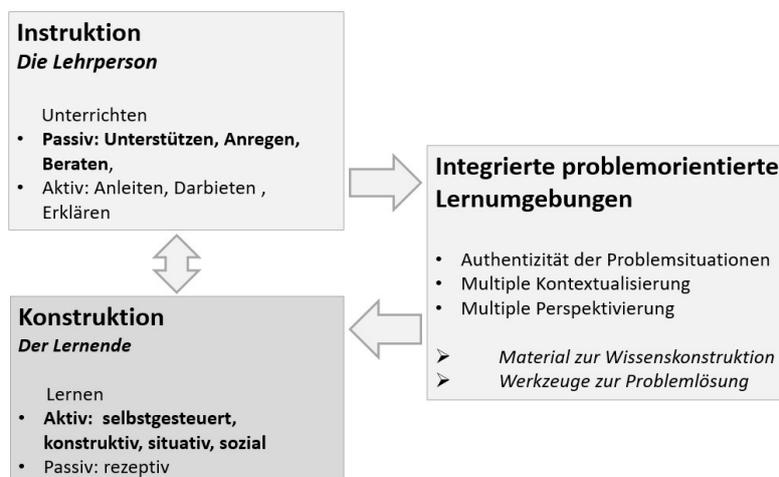


Abbildung 36: Gemäßigter Konstruktivismus: Praxisorientierte Position zum Lernen und Lehren, verändert nach Reinmann und Mandl (2006)

Wie in Abbildung 36 ersichtlich ist, nimmt der gemäßigte Konstruktivismus eine praxisorientierte Sicht des Denkens und Lernens ein und betrachtet das Lehr-Lernarrangement als Wechselwirkungen von Instruktion und Konstruktion. Es berücksichtigt zudem die Gegebenheiten und die Wirkungsweise der Lernumgebung. Der moderate Konstruktivismus nimmt eine Konstruktion des Wissens als eigenständigen, situierten und im sozialen Austausch gewonnenen, aktiv-konstruierenden Prozess an. Dieses wird in der Lernumgebung durch authentische und bedeutungsvolle Problemorientierung der Aufgaben situiert aufgebaut und ermöglicht die Verknüpfung zu bereits vorhandenem Wissen. Dieses Wissen ist auf andere Kontexte übertragbar und dient der Lösung realer Probleme. Zudem wird angestrebt, den Erwerb trägen Wissens zu vermeiden (Reinmann und Mandl 2006).

Der Lernende wird vor allem als aktives, selbstgesteuertes, selbstreflexives Subjekt aufgefasst (Gerstenmaier und Mandl 1995), welches sich im sozialen Kontakt Wissen geleitet konstruiert. Dabei nimmt der Lernende phasenhaft eine rezeptive Rolle an, wenn er von der Lehrkraft angeleitet oder informiert wird. Der Lehrende gestaltet die problemorientierte Lernumgebung, indem er authentische Lernumgebungen schafft, die Problemlösesituationen darstellen und multiple Kontexte bzw. Perspektiven vorbereiten bzw. gewährleisten. Komponente der Lernumgebung sind Materialien, die eine Problemsituation schaffen und Wissenskonstruktion ermöglichen sowie Werkzeuge, die der Problemlösung und Wissenskonstruktion dienen. Während des Konstruktionsprozesses nimmt die Lehrkraft weitestgehend eine passive und reaktive Rolle ein (Reinmann und Mandl 2006). Lehr-Lernarrangements sind so gestaltet, dass sich Instruktion und Konstruktion abwechseln, um der Gefahr der Über- und Unterforderung zu begegnen (Reinmann und Mandl 2006).

Gemäßigt konstruktivistische Ausrichtung des Lehr-Lernarrangements

Dem moderaten Konstruktivismus folgend scheint auch für einen Schülerlabortag die Verschränkung von Instruktion und Konstruktion nach bisherigen Forschungsergebnissen erfolgsversprechend. Im Schülerlabortag werden die Prinzipien des problemorientierten Unterrichts realisiert: Die Schülerinnen und Schüler befinden sich in einem authentischen Laborraum der Universität, der mit Laborgeräten zu neurobiologischen Untersuchungen ausgestattet ist und werden von Wissenschaftlern und Studierenden betreut. Eine zentrale Fragestellung für den

Schülerlabortag insgesamt (Wie erfolgt motorisches Lernen? Welche Bedingungen herrschen? Welche Hirn- und Zellkomponenten sind beteiligt? Wie kann eine Identifikation der beteiligten Strukturen gelingen?) wird in jedem Experiment mit einem anderen Fokus exploriert. Die verschiedenen Experimente führen unter Nutzung verschiedener Methoden folglich zur Klärung des Phänomens motorischen Lernens aus unterschiedlicher Perspektive (zytologisch, anatomisch, physiologisch/bildgebend, verhaltensmäßig). Die Lernenden verknüpfen die erworbenen Kenntnisse und erprobten Methoden und gleichen sie mit ihnen Bekanntem ab. Zudem arbeiten die Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen eigenverantwortlich sowie selbstgesteuert, arbeitsteilig, kooperativ, zeitökonomisch, Absprachen treffend und Ergebnisse aushandelnd. Instruktion erfolgt in Form des Skripts mit Theorieanteilen und den Experimentieranleitungen in Vorbereitung auf den Schülerlabortag. Das Skript dient während des Labortages der Vergewisserung. Weitere instruktive Elemente stellen die Hilfestellungen der Betreuenden und die Instruktion zu Beginn des Kurstages dar, die unter anderem die Sicherheitshinweise umfassen. Instruktion erfolgt zum Ende des Schülerlabortages in Form eines Feedbacks zum finalen Schüler-Vortrag sowie den zugehörigen Diskussionen.

Der Schülerlabortag fordert insgesamt einen hohen Grad an Selbsttätigkeit seitens der Lernenden in Bezug auf die Vorbereitung und die Durchführung sowie bei der Auswertung der Experimente.

Forschungsbeiträge der Laborforschung identifizierten Einflussgrößen, die die Wirkung der Lernumgebung Schülerlabor beeinflussen. Diese werden als Laborvariablen bezeichnet und im folgenden Kapitel vorgestellt.

1.2.2.4 Laborvariablen

Engeln (2004), Brandt (2005) und Pawek (2009) explorieren als Einflussgrößen der Lernumgebung „Schülerlabor“ u.a. die Authentizität, die Offenheit der Lernumgebung sowie die Zusammenarbeit der Mitschüler.

Authentizität

Schülerlaboren wird das Potential zugesprochen, authentische Erfahrungen zu gewähren (Euler 2009a). Authentizität wird dabei als eine möglichst große Annäherung an die Forschungswelt aufgefasst (Scharfenberg 2005). Pawek (2009) identifiziert

Authentizität als zentralen Faktor für Generierung von aktuellem Interesse. Für den Schulunterricht wird auch für das Fach Biologie eine Abnahme des Interesses in der Sekundarstufe I verzeichnet (Löwe 1992), die mit der Dauer des Schulbesuchs in Verbindung gebracht wird (Baumert 1998). Andererseits erklären Schülerinnen und Schüler ihr Interesse an der Biologie mit Anwendbarkeit biologischer Kenntnisse im alltäglichen Leben (Kögel et al. 2000).

Im BeLL Bio wird eine authentische Lernumgebung erzeugt, wenn Lernende in einem universitären, forschungsnahen Labor praktisch experimentieren und in den kommunikativen Austausch mit kursbetreuenden Wissenschaftlern und Studierenden treten. Weiterhin vermitteln die neurobiologischen Materialien wie die Gehirnpräparate, die eingesetzten Chemikalien sowie das Physiologie-Aufzeichnungssystem zum EEG ein authentisches Bild vom Laboralltag, zu dem auch das Tragen labortypische Schutzausstattung, wie Kittel, Schutzbrille sowie Handschuhe beiträgt.

Offenheit der Lernumgebung

Belegt ist auch, dass Offenheit der Lernumgebung den Lernerfolg beeinflusst. Spüren Lernende Druck beim Experimentieren, führt dieser zum Leistungsabfall. Angenommen wird, dass Druck von der eigentlichen Aktivität ablenkt.

Experimentalsituationen zeigen, dass SuS häufig sehr ungeübt im Experimentieren sind (Scharfenberg 2005). Zudem scheinen sehr offen gehaltene Experimentalaufgaben diese zu überfordern (Kirchner und Priemer 2007). Es gilt daher als erstrebenswert, Kurstage möglichst übersichtlich zu halten, Skripte transparent zu verfassen und die Kursbetreuung möglichst unterstützend zu gestalten, um eine druckreduzierende und schüleraktivierende Lernumgebung zu schaffen. Zudem scheint das Einräumen von hinreichend Zeit sowie das Nehmen der Angst vor Fehlern den Druck beim Experimentieren zu reduzieren (Hillebrandt und Dähnhardt 2005; Pfangert-Becker 2008).

Zusammenarbeit mit Mitschülern

Der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (2000) zufolge ist das Empfinden von sozialer Eingebundenheit ein grundlegendes Bedürfnis von Menschen. Meyer (2007) betrachtet eine Gruppe von drei bis vier Mitgliedern, die sich dem Prinzip der Freiwilligkeit folgend zusammengesetzt hat, als optimal arbeitsfähig. Schülerinnen und

Schüler experimentieren am Schülerlabortag zusammen, treffen Absprachen, nehmen unterschiedliche Rollen ein (Beobachter, Experimentator, Versuchsleiter, Protokollant), werten gemeinsam aus und tragen ihre Arbeitsergebnisse schließlich vor und diskutieren sie gemeinsam. Engeln (2006) konnte in ihrer Schülerlaborstudie zur Zusammenarbeit bei Jungen und Mädchen zeigen, dass Mädchen der Zusammenarbeit mehr Bedeutung beimessen.

1.2.2.5 Kommunikation im kooperativen Lernprozess und Concept Mapping

Da Kommunikation der Schülerinnen und Schüler untereinander im Experimentalunterricht von besonderer Bedeutung ist, wird sie im Folgenden näher beleuchtet werden. Dabei wird Kooperation als gegenseitiges Unterstützen der Gruppenmitglieder zur Erreichung eines Zieles in einem strukturierten Lehr-Lernarrangement bezeichnet, welches grundsätzlich die Zuordnung von Aufgabenelementen beziehungsweise Teilzielen auf Gruppenmitglieder erlaubt (Perrez et al. 2006).

Es ist weiterhin das Ziel kooperativen Lernens, individuelles und gemeinsames Wissen zu konstruieren, indem die Lernenden die Möglichkeit ergreifen, sowohl Klärungsfragen zu stellen als auch Fachinhalte in der Gruppe zu klären (Gillies 2003). Jedoch müssen Bedingungen für ein gutes Funktionieren beleuchtet werden. Beispielsweise muss die Gruppengröße so gewählt sein, dass Partizipation aller Gruppenmitglieder gelingen kann (Meyer 2007) und eine Unterstützung durch die Lehrkraft während der Gruppenarbeit nur in Ausnahmen erfolgen muss. Im Zusammenhang mit der Darstellung des Strukturmodells zum Wissenschaftlichen Denken benennt Mayer (2007a) wesentliche situationale Variablen, die in Experimentalsituationen von Bedeutung sind. Zusätzlich sind die Vorstellungen zu den Dialogmustern nach Konrad (2004) aufgenommen und in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Situationale Variablen der Kommunikation innerhalb von Arbeitsgruppen (nach Konrad 2004 und Mayer 2007a)

Situationaler Aspekt	Ausprägung
Kommunikations- und Führungsstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> • Rollenverteilung • Kooperation • Aufgabenverteilung
Interaktionsmuster/ Dialogmuster	<ul style="list-style-type: none"> • Fragenformulierung und Beantwortung • Geben von Erklärungen • Bearbeitung kognitiver Konflikte • Mitteilung, Vergleichen & Diskutieren von Wissen
Gruppenklima	
Merkmale von Gruppenteilnehmern	<ul style="list-style-type: none"> • Wissen • Problemlösen
Prozessverluste	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelnde Koordination • Motivationseinbuße

Die in Tabelle 10 zusammengestellten Variablen einer Kommunikationssituation sind beispielsweise die Kommunikations- und Führungsstrukturen. Die zugehörigen Aspekte Rollenverteilung, Kooperation und Aufgaben innerhalb von Arbeitsgruppen erweisen sich als bedeutsam für den konstruktiven Wissenserwerb. Konrad (2004) identifiziert vier typische Interaktions- oder Dialogmuster: Der Formulierung von Fragen und deren Beantwortung durch Gruppenmitglieder schreibt er positive Auswirkungen auf die kognitiven und metakognitiven Aspekte des Lernens zu. Jedoch sind der Umfang und die Qualität der Antworten entscheidend. Das Geben von Erklärungen hilft zur Verbalisierung des eigenen Wissenstandes und der Verdeutlichung von Zusammenhängen. Auch Wissenslücken, so Konrad (2004), können im Verbalisierungsprozess identifiziert werden. Als weitere Komponente benennt Konrad (2004) die Bearbeitung kognitiver Konflikte. Hierunter werden sowohl oppositionelle Überzeugungen als auch das Hinterfragen und Überprüfen eigener Überzeugungen verstanden. Sie bedingen die Reflektion beidseitiger Argumente und das Suchen nach intelligenten Lösungen. Allerdings, so Konrad (2004), bestehe die Gefahr des Imitierens oder unreflektierten Übernehmens.

Als weitere Einflussgrößen benennt Mayer (2007a) das Gruppenklima. Personenbezogene Merkmale, wie das Wissen und das Problemlösevermögen

werden von Mayer (2007a) als wichtige Elemente identifiziert, die die Güte der Gruppenarbeit determinieren. Auch Prozessverluste werden von ihm als Einflussgrößen benannt: Beispielsweise mangelnde Koordination und affektiv Motivationseinbußen wirken sich negativ auf das Gruppenarbeitsergebnis aus.

Zusammenfassend werden die Vorteile kooperativer Gruppenarbeit in der Externalisierung, d.h. Verbalisierung gesehen. Diese umfasst die Nennung von Konzepten und Relationen, die zur Aufgabenbewältigung herangezogen werden müssen und das Abwägen in der Gruppe, das zum gemeinsamen Elizitieren aufgabenrelevanten Wissens führt. Unter anderem wird die durch die Gruppenarbeit bewirkte Motivationsförderung seitens der Gruppenmitglieder herausgestellt (Novak und Cañas 2009). Konrad (2004) betont als Vorteil der Gruppenarbeit die Herausbildung qualitativ hochwertigeren Wissens, da Fehlkonzepte schneller erkannt werden. Allgemein werden Gruppengrößen von bis zu 4 Lernenden als optimal angesehen (Händel und Sandmann 2013; Meyer 2007). Kleine Gruppen, so Konrad (2004), bieten den Vorteil, dass es Lernenden gegebenenfalls leichter falle, Schwächen zuzugeben. Zudem bilden sich keine konkurrierenden Teilgruppen und in der Regel wird eine größere unmittelbare Verantwortung für die Arbeitsergebnisse verzeichnet, so dass eine schnellere Verständigung auf Wege dazu gelänge. In kooperativen Gruppen steht außerdem die Bedeutung der Nachricht im Vordergrund und ist somit lernförderlich, beispielsweise für den Spracherwerb (Heine 2010b).

Kooperatives Lernen mit *Concept Maps*

Eine besondere Form der Dokumentation von Zusammenarbeit stellt das *Concept Mapping* dar. Ziel dieses Verfahrens ist, den Lernzuwachs in kooperativem Lernzuwachs zu steigern. Studien zur Effizienz untersuchen die kooperative Erstellung im Vergleich zum individuellen *Concept Mapping* (Okebukola und Jegede 1988). Studien stellen die Bedeutung von spezifischen Dialogformen zur Erreichung des Zieles heraus (Bruhn et al. 2000). Auch der Diskussion des Vorwissens und der damit verbundenen intensivierten Verknüpfung zwischen Konzepten und kognitiven Vorstrukturen wird Lernwirksamkeit zugesprochen (Bruhn et al. 2000). Mandl und Fischer (2000) betonen, dass mittels Visualisierungen Missverständliches leichter aufgedeckt werden kann.

Bedeutung von *Concept Mapping*

Der Biologe und Didaktiker Joseph D. Novak entwickelte zu Beginn der 1970er Jahre das *Concept Mapping* zum Messinstrument, den Erwerb wissenschaftlicher Konzepte bei Erst- und Zweitklässlern sowie die Bedeutung der Konzepte für den späteren Schulerfolg zu explorieren. Andere Werkzeuge wie Paper & Pencil Tests und Interviews erwiesen sich als ungeeignet, die Veränderung der kognitiven Strukturen und die Einbettung neuer Konzepte nachzuvollziehen. *Concept Maps* oder Begriffsnetze stellen schematische Darstellungen von Wissensstrukturen dar, die Konzepte als Knoten mittels beschrifteter Verbindungslinien in Beziehung setzen (Relationen) (Graf 2014; Killermann et al. 2016). Gegebenenfalls sind Konzepte nicht nur netzartig verknüpft, sondern auch hierarchisch angeordnet. *Concept Maps* dienen der Abbildung fachlicher Zusammenhänge und visualisieren neben der quantitativen Zunahme von Wissen auch qualitative Verbesserungen von Verständnis, wenn nach einem erfolgten Lernvorgang Zusammenhänge besser strukturiert dargestellt werden (Händel und Sandmann 2013). Von *Concept Maps* zu unterscheiden sind eine Vielzahl von Abwandlungen wie das *Mind Mapping* und andere Formen des *Mapping*.

In der Bildungsforschung wird das *Concept Mapping* als Lehr- und Lernstrategie, zur Unterrichtsplanung und Curriculums-Entwicklung, als Lernhilfe und Diagnoseinstrument, zur Unterstützung von Kooperationsprozessen gemeinsamen Lernens und zur Wissensdiagnose und -modellierung zum Einsatz gebracht (Haugwitz 2009; Haugwitz et al. 2009; Mandl und Fischer 2000).

Der Umgang mit *Concept Maps* kann von Schülerinnen und Schülern schnell erlernt und als Lernstrategie zum selbsttätigen Erarbeiten von Fachinhalten genutzt werden. Es wird vorgeschlagen, über das ständige Üben der Erstellung und Bewertung von *Concept Mapping* hinaus ein schulfachübergreifendes Zeichensystem zu schaffen und wiederkehrende Grundrelationen, wie z.B. „ist ein“ durch Standardpfeile zu ersetzen (Bernd et al. 2000). Auch kann sie der Provokation kognitiver Konflikte dienen, wenn relevante Fehlvorstellungen von Schülerinnen und Schülern zur Basis effektiven Lernens zum Einsatz gebracht werden (Novak und Cañas 2009). Allerdings wird auch bemerkt, dass die Effizienz und Akzeptanz von *Concept Mapping* vom Vertrautheitsgrad der Lernenden mit diesem Verfahren abhängt (Mandl und Fischer 2000). Zu einer optimierten Anwendung und Auswertung wurde unter Mitarbeit von

Novak 1987 eine Computer-Software namens *Cmap Tool* entwickelt, die in vielen Institutionen zum Einsatz gebracht wird (Novak und Cañas 2009).

Als lernwirksam wurde ermittelt, sich detailliert mit *Concept Maps* auseinander zu setzen, indem Knotenpunkte und Relationen erörtert und zur Identifikation von Fehlkonzepten genutzt werden (Bernd et al. 2000). Bruhn et al. (2000) stellen heraus, dass die Wirksamkeit im kooperativen Lernprozess von der Bereitstellung von Visualisierungstechniken abhängig ist, die den „gemeinsamen Problemraum“ der Aufgabenstellung sichtbar machen und als Strukturierungskoordinierungshilfe fungieren (Mandl und Fischer 2000). Ferner sehen Bruhn et al. (2000) vor allem in den Diskursprozessen die Gründe für den gesteigerten Lernerfolg, wenn Aufgabeninhalte extern (sichtbar) dargestellt werden und im Zuge der Gestaltung der *Concept Maps* Denkanstöße gegeben, Zusammenhänge geklärt und Fehlverständnisse korrigiert werden. Eine Koordination und wirkliche Kooperation in der Diskussion werden notwendig (Bruhn et al. 2000; Mandl und Fischer 2000).

Schon früh wurde das Vorwissen als wichtige Einflussgröße für den Lernerfolg erkannt (Ausubel et al. 1981). Zugleich aber ist der Lernerfolg mittels *Concept Maps* von der Einsicht abhängig, dass Lernende die Vorteile des *Concept Mapping* für ihr eigenes Lernen erkennen. Anderenfalls kann eher von einer willkürlich konstruierten und verwirrenden Darstellung ausgegangen werden (Graf 2014, 2009). Die Wissensänderung und der Wissenszuwachs kann im Pre-Post-Design ermittelt werden, wenn vor und nach einer Lerneinheit je eine *Concept Map* erstellt wird und diese im Anschluss abgeglichen werden (Mandl und Fischer 2000, S.8). Auch kann eine *Concept Map* auf Basis eines grafentheoretischen Modells oder anhand einer Expertenmap analysiert werden (Fischer und Mandl 2000; Graf 2014).

In schulischen Kontext und den Naturwissenschaften stellen Sachtexte die am häufigsten genutzte Form der Wissensweitergabe dar. Biologische Sachtexte zeichnen sich meist durch eine hohe Dichte an Fachbegriffen aus, die definiert und erklärt werden, sowie durch das funktionale Zusammenwirken verschiedener biologischer Systemebenen (Haugwitz und Sandmann 2009; Laupenmühlen 2013). Diese Sachverhalte machen es notwendig, Techniken wie das *Concept Mapping* zum Einsatz zu bringen, die essentielle Informationen aufdecken und Beziehungen dieser untereinander verdeutlichen und einer Überlastung des Gedächtnisses entgegenwirken können (vgl. Elzen-Rump und Vorholt 2012). Im Vergleich zu anderen

Aufgabenformaten für die Wissensdiagnose werden andere Störfaktoren, wie beispielsweise mangelnde Lese- oder Schreibfähigkeit, ausgeschlossen (Lüthjohann und Parchmann 2011). Da Schülerinnen und Schüler beim *Concept Mapping* auf grundlegende Merkmale und deren explizite Rolle fokussieren, gestaltet sich die Erstellung sehr ökonomisch, überschaubar und auch für andere nutzbar (Dunker 2010).

Ein Problem des Einsatzes von *Concept Maps* stellt ihre mangelnde Vergleichbarkeit und die trotz der Möglichkeit computergestützter Auswertung langwierige und im schulischen Einsatz kaum vergleichbare und bewertbare Auswertung dar. Novak und Cañas (2009) schlagen vor, Lernende selbst Kriterien für die Güte von *Concept Maps* entwickeln zu lassen und diese an anonymisierten *Concept Maps* zu erproben. Auch der Vorwissenseffekt (Bernd et al. 2000) wird als Problem des Einsatzes von *Concept Maps* beschrieben.

In Vorbereitung einer Studie ist die angestrebte Form der *Concept Map* zu bedenken. Es ist zu überlegen, ob Knotenpunkte und Relationen vorgegeben werden, gar in einer Map angeordnet sind, oder eine bestimmte Anzahl von Begriffen oder gar eine Fokusfrage vorgegeben wird (vgl. Graf 2009). Dem Vorteil einer besseren Vergleichbarkeit der *Maps* steht der Nachteil der Einschränkung der Selbständigkeit der Lernenden gegenüber. Eine Lücken-*Concept Map* oder auch Skelett-*Concept Map* wird von einigen Wissenschaftlern als idealer Mittelweg angesehen, weil im Vorhinein eine Expertenmap von der Lehrkraft erstellt werden kann, die alle möglichen Konzepte und deren Zusammenhänge zeigt. Farblich markiert würden auf einer Schülermap wichtige Konzepte und Zusammenhänge; es gäbe vornehmlich im Außenbereich Platz für nicht-essentielle Zusatzinformation. Sie gewähre somit ein Gerüst (*scaffold*), um eine elaborierte *Map* zu erstellen und schaffe durch die inhaltliche Vorstrukturierung Lernzieltransparenz (Novak und Cañas 2009). In einer Studie nahm Odenthal (2015) die Analyse von halb-offenen *Concept Maps* vor, die hier berichtet wird. Ihre Analyse erfolgte meist auf grafentheoretischen Werten, die beispielsweise Dichte, Umfang, Zerklüftetheit und Qualität umfassen und als Indikatoren für intellektuelle Leistungen angesehen werden (Mandl und Fischer 2000).

1.2.3 Bilingual-didaktischer Hintergrund zum Lernen im Schülerlabor - bilinguales Lernen in den Sekundarstufen

Zunächst werden die Begriffe *Content and Language Integrated Learning* (CLIL) und bilingualer Unterricht (BU) beziehungsweise bilingualen Sachfachunterrichts (BSU) definiert und vom Konzept der Immersion unterschieden, bevor eine soziokulturelle und europäisch-historische Einordnung des bilingualen Unterrichts erfolgt. Eine schulorganisatorische Einordnung des bilingualen Sachfachunterrichtes schließt sich an, der eine Typisierung auf Grundlage des Spracheinsatzes der Fremdsprache (L2) und der Schulsprache (L1)² folgt. Ferner wird der bilinguale Sachfachunterricht Biologie charakterisiert. Im Anschluss erfolgt eine Erörterung von Prinzipien des bilingualen Sachfaches, wie des Verhältnisses von Sprache und Denken sowie der Bedeutung von Alltags- und Schulsprache. Weiterhin werden das sachfachliche sowie das fremdsprachliche Lernen thematisiert und in diesem Zusammenhang der Einsatz von Stützmaßnahmen am Beispiel der Biologie erörtert. Abschließend wird das entwickelte Lehr-Lernarrangement auf Grundlage der vorgestellten Theorien und Forschungsergebnisse eingeordnet.

Häufig werden die Begriffe bilingualer Unterricht und *Content and Language Integrated Learning* (CLIL) synonym benutzt. Während der international gebräuchliche Terminus CLIL die doppelte Fokussierung auf das Lernen von Inhalt und Sprache, also sachfachlichem und sprachlichem Lehren und Lernen, hervorhebt (Coyle et al. 2010), betont die Bezeichnung des bilingualen Unterrichts in Deutschland den unterrichtlichen Einsatz von zwei Sprachen und die phasenhafte Benutzung der Fremdsprache im Sachfach (MSW NRW 2012). Dabei steht der Inhalt des Faches im Vordergrund (Eurydice 2006, MSW NRW 2012). Entsprechend ist das Sprachlernen funktional (Heine 2010b) ausgerichtet und die Sprache somit vor allem Medium des Lernens. Es wird zum Inhalt des Lernens, wenn es für das sachfachliche Verständnis notwendig erscheint (Krechel 2003; Wolff 2012). Von diesem Konzept des bilingualen Unterrichts hebt sich die Vorgehensweise der Immersion ab, in der die Fremdsprache alleinig das Medium der Unterrichtsvermittlung darstellt. Dieses Sprachlern- und Sprachlehrverfahren ist in Deutschland besonders in Kindergärten und Grundschulen als partielle Immersion etabliert, in der die Beherrschung der Majoritätensprache durch

² Modellhaft vereinfachend wird hier angenommen, dass die erlernte Sprache Deutsch (L1) und die erste Fremdsprache Englisch (L2) ist.

die Lernenden vorausgesetzt und das Lernen von L2 als *Enrichment* aufgefasst wird. Mindestens ein Großteil der Aktivitäten bzw. ein Großteil der Fächer oder des Schulcurriculums wird über einen längeren Zeitraum in der Zielsprache unterrichtet, um eine langfristige und umfassende Kontaktzeit mit L2 zu gewährleisten (Burmeister 2013, Wode 1995). Im Weiteren werden die Begriffe CLIL und bilingualer (Sachfach-) Unterricht als synonym betrachtet und genutzt. Nachdem die Begrifflichkeiten bilingualer Unterricht, CLIL und Immersion zu einander in Beziehung gesetzt wurden, wird der bilinguale Unterricht nun aus soziokultureller und europäisch-historischer sowie aus schulorganisatorischer Hinsicht eingeordnet.

Ausgehend von der soziokulturellen Umgebung unterscheidet Niemeier (2010, S.28f.) drei Grundtypen sozialen Bilingualismus: Den parallelen Bilingualismus charakterisiert die Benutzung mehrerer Sprachen in einem Kulturraum, wie beispielsweise in Luxemburg verwirklicht. Der Grundtyp des territorialen Bilingualismus ist durch die relativ parallele Verteilung zweier Sprachen in einem Kulturkreis gekennzeichnet und beispielsweise in Kanada und Teilen Belgiens sichtbar, während der dritte Grundtyp des funktionalen Bilingualismus in Deutschland Verwirklichung findet. Das Land ist grundsätzlich als einsprachig anzusehen, seine Bürger verfügen zusätzlich z.B. aus wirtschaftlichen und politischen Gründen über Grundkenntnisse in einer anderen Sprache (Niemeier 2010). Der soziokulturellen Modellierung von Niemeier folgend, entspricht der in Deutschland verwirklichte bilinguale Sachfachunterricht dem dritten Grundtyp des funktionalen Bilingualismus.

Europäisch und historisch betrachtet nimmt der bilinguale Sachfachunterricht der Sekundarstufen in Deutschland seinen Ursprung in den deutsch-französischen Aussöhnungsanstrengungen nach dem Zweiten Weltkrieg, jedoch ist die Fremdsprache nicht Gegenstand des Unterrichts, sondern Arbeitssprache und Medium des Lernens (Wolff 2016). Bis in die 1990 Jahre steht die sprachliche Förderung im Mittelpunkt bilingualen Lehren und Lernens (European Commission 1995). Mehrsprachigkeit als europäisches Bildungsziel von Schule visiert das Beherrschen der Muttersprache und zweier Fremdsprachen an und zielt auf das Zusammenwachsen des europäischen Raums (European Commission 1995, 2012). Bilingualer Sachfachunterricht wird in diesem Zusammenhang als geeignetes Mittel angesehen, das Ziel der Mehrsprachigkeit zu erreichen (European Commission 2004). Ab 2002 wird ergänzend gefordert, die sprachliche Förderung auf möglichst hohem

berufstauglichem Niveau zu entwickeln (European Commission 2004). Angestrebt wird im bilingualen Sachfachunterricht immer auch die Gewährleistung der doppelten Sachfachliterateität (z.B. MSW NRW 2012). Auf deren Umsetzung wurde der Augenschein bislang noch nicht ausgedehnt gerichtet. Bilingualer Unterricht wird als innovativer Unterrichtsansatz angesehen, der den modernen Anforderungen von Fremdsprachengebrauch gerecht wird (Coyle et al. 2010).

Schulorganisatorisch ist der phasenhaft durchgeführte bilinguale Unterricht in Form eines Moduls von sogenannten bilingualen Zweigen oder Zügen zu unterscheiden (Krechel 2013a): In einem bilingualen Zug wird klassischer Weise in Jahrgang 5 und 6 zusätzlicher Unterricht in der Fremdsprache erteilt, bevor in der siebten Jahrgangsstufe das erste bilinguale Sachfach einsetzt. Zusätzlich wird im ersten Jahr bei Neueinsatz eines bilingualen Sachfaches die Studentafel um eine zusätzliche Unterrichtsstunde ergänzt. In den kommenden Schuljahren oder Halbjahren erfolgt entsprechend der Einsatz weiterer Sachfächer, die bis zum bilingualen Abitur fortgeführt werden können. Modular durchgeführter bilingualler Unterricht umfasst demgegenüber besondere phasenhaft und fakultativ durchgeführte bilinguale Unterrichtsvorhaben verschiedenster Ausprägung in einem Sachfach, in dem die Fremdsprache rezeptiv sowie produktiv als Kommunikations- und Arbeitssprache genutzt wird und fremdsprachliche sowie schulsprachliche Quelltexte zum Einsatz kommen (Krechel 2013a, 2003). Besonders in Schulen ohne bilingualen Zweig können bilinguale Module einen wichtigen studien- und berufsvorbereitenden Beitrag leisten, wenn Kontakte mit der Fremdsprache in anderen Anwendungszusammenhängen geschaffen werden (Krechel 2013a, 2003).

Diehr (2012) nimmt eine Typisierung bilingualen Lehrens und Lernens in Abhängigkeit vom Umfang des Fremdsprach- und Mutterspracheinsatzes vor: Typ A beschreibt einen ausschließlichen Gebrauch der Fremdsprache, wobei die Zielsprache als Medium des Lernens aufgefasst wird. Im Mittelpunkt des Interesses steht der fremdsprachliche Zugewinn in sachfachlicher Hinsicht sowie sachfachlicher Diskurskompetenz. Demgegenüber wird bei Typ B die Fremdsprache als Leitsprache angesehen und der geplante Einsatz von der L1 als lernförderlich angesehen, um beispielsweise Lernenden zu Beginn des bilingualen Lehrgangs Unterstützung zu gewähren, eine funktionale Mehrsprachigkeit zu entwickeln oder die doppelte Sachfachliterateität zu gewährleisten. Typ C betrachtet Fremdsprache und

Muttersprache als essentielle Bestandteile des bilingualen Unterrichts. Beiden Sprachen wird eine Rolle bei der Wissenskonstruktion zugesprochen, die durch Kontrastierung, Vertiefung und Übung der Diskursfähigkeit in beiden Sprachen begründet ist (Diehr 2012).

Der Einsatz von der L2 und der L1 im bilingualen Unterricht wird in der Literatur unterschiedlich beurteilt. Vergleichende Untersuchungen zum sachfachlichen Lernen in der L2 und der L1 liegen bislang wenig vor (Botz und Frisch 2015). Viele Autoren empfehlen einen möglichst hohen Fremdsprachenanteil und negieren die Nützlichkeit der Muttersprache bei Problemen des sachfachlichen Kompetenzerwerbs (Richter 2004; Bonnet 2007; Thürmann 2010; Hallet 2002; Bonnet 2004). Vielmehr trage gerade die durch die Fremdsprache bedingte Erschwernis zu einer vertieften Verarbeitung bei und erhöhe den Behaltenseffekt (Heine 2010a, 2010b). Einige Autoren (Richter und Zimmermann 2003; Hallet 2002) sehen zunächst wissenschaftliche Konzepte alleinig in der Fremdsprache entwickelt und die Aufgabe der Muttersprache in der vorwissenschaftlichen Versprachlichung. Begründet durch die Vorgaben der Lehrpläne erörtern diese Autoren später die Sinnhaftigkeit des phasenhaften Einsatzes der Muttersprache. Demgegenüber benennen Otten und Wildhage (2003) schon früh die Fremd- und Muttersprache als Arbeitssprachen des bilingualen Unterrichts, die auf die Entwicklung einer funktionalen Mehrsprachigkeit abzielen. Der Einsatz von Fremd- und Muttersprache sei jeweils funktional nach Lern- und Arbeitssituation aufgrund der fachrelevanten Arbeitsweise, der kognitiven bzw. kommunikativen Anforderungen zu entscheiden. Wildhage (2002) spricht sich aus Gründen der Kontrastierung und Multiperspektivität für den Einbezug der Schulsprache aus. Auch (Butzkamm 2010a, 2010b, 2010b) weist der Muttersprache lernförderliche Funktion zu und empfiehlt eine Pendelstrategie. Heimes (2013) empfiehlt besonders in der Sekundarstufe I den Einsatz der Muttersprache zur Sicherung des Verständnisses und der umfassenden bilingualen historischen Ausdrucksfähigkeit. Zur Gewährleistung einer doppelten Sachfachliteratur empfehlen Bohn und Doff (2010) das Verfassen von Zusammenfassungen und Kurzreferate in deutscher Sprache, wobei Bohrmann-Linde (2016) betont, dass der Gebrauch von der L1 u.a. aus motivationalen Gründen über die bloße Wiederholung des in der Zielsprache Erarbeiteten hinausgehen sollte. Königs (2013) fasst entsprechend zusammen, dass der Wechsel zwischen Fremd- und Muttersprache in beide Richtungen nicht nur der Aneignung der Fremdsprache, sondern vor allem der

Durchdringung sachfachlicher Themen und Inhalte diene. Das Grundprinzip von CLIL ist es, inhaltlich- sachfachliches Lernen mit dem Lernen der Sprache zu verknüpfen. Da es curriculares Bildungsziel bilingualen Unterrichts ist, eine Diskursfähigkeit und Sachfachliterate in der L2 und der L1 zu gewährleisten, sind Unterrichtsphasen und Aktivitäten in beiden Sprachen von Bedeutung. Frisch (2016) entwickelt entsprechend ein Modell des planvollen, gezielten Sprachwechsels, das kognitiv, kommunikativ, zeitökonomisch, affektiv bzw. pädagogisch motivierte Gründe differenziert. Darüber hinaus betont sie, dass nicht davon ausgegangen werden kann, dass der Aufbau der muttersprachlichen Fachsprache gelingt, wenn Konzepterwerb lediglich in der Fremdsprache erfolgt. Nachdem bilingualer Unterricht allgemein erörtert wurde, wird im Folgenden auf die Spezifika des bilingualen Biologieunterrichts und seine Prinzipien eingegangen.

1.2.3.1 Bilingualer Sachfachunterricht Biologie

Bilingualer Unterricht Biologie orientiert sich an den Vorgaben der Kernlehrpläne und Richtlinien des Sachfaches mit den vier Kompetenzbereichen Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung (MSW NRW 2012, 2014). In seiner Zielsetzung betont er die Wichtigkeit der Entwicklung von Wissenskonstruktion und Methodenkompetenz und hebt die besondere Bedeutung von sprachlicher Bildung hervor. Das Konzept des gemäßigten Konstruktivismus (Reinmann und Mandl 2006) wird mit dem Prinzip des naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs und dem Ansatz der Wissenschaftspropädeutik (Langlet 2001) verknüpft. Den Biologieunterricht kennzeichnet ein auf Problemlösung ausgerichtetes Unterrichtskonzept (Hallet 2005a). Allgemein zeichnet sich die Biologie besonders durch ihre Bezugspunkte zur Lebenswelt und ihre Möglichkeiten aus, sich mit realen Objekten auseinander zu setzen, was aus biologiedidaktischer Sicht eine hohe Lernwirksamkeit bedingt (Berck und Graf 2010). Typische im Biologieunterricht eingesetzte Elemente sind beispielsweise Experimente, Realobjekte, Präparate, Funktionsmodelle sowie diverse Formen von diskontinuierlichen Texten. Neues Wissen wird auf der Basis des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges integriert, umgewälzt und gefestigt (Berck und Graf 2010). Der Biologieunterricht gewährt viele Anlässe einer zunehmend komplexeren Verbalisierung. Kennzeichen naturwissenschaftlicher Sprache sind einerseits ihre starke Normierung, präzise Formulierungen, ihre Entlehnung aus dem Englischen, Lateinischen oder Griechischen, verbunden mit einem hohen Transferwert des Vokabulars aufgrund der in der Alltagssprache häufig genutzten

fachwissenschaftlichen Begriffe (Bohn 2013; Bohn und Doff 2010; Preisfeld 2016). Die Biologie wird als die am stärksten englischsprachig geprägte Naturwissenschaft angesehen (Bohn 2013), in der Englisch als *Lingua franca* betrachtet wird. Gleichzeitig zeichnet sich Biologie allerdings erschwerend durch eine enorme Dichte an Konzepten und Bezeichnungen, eine ausgesprochene Komplexität der Themen und eine spezifische Symbolsprache in Form von Formeln, Zeichen und Abkürzungen aus (Berck und Graf 2010; Preisfeld 2016; Schmiemann 2011). Eine Vielzahl dieser Konzepte sind zudem sehr abstrakt (Zydati 2007). Um ein vertieftes Verständnis für sachfachliche Inhalte und Methoden zu gewährleisten, bietet sich der Darstellungswechsel als geeignete Methode der Wissenskonstruktion an: Verschiedene Ebenen der biologischen Inhalte ermöglichen Verbalisierungen auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus (Bohn und Doff 2010; Leisen 2013a).

Ein besonderes Verhältnis besteht zwischen Alltagssprache und Schul- bzw. Wissenschaftssprache: Die Alltagssprache oder *BICS (Basic Interpersonal Communicative Skills)* sind wichtige Vermittler für das Verständnis (Cummins 1999). Ziel des Lehr-Lernarrangements ist die Entwicklung von Schul- und Wissenschaftssprache (*CALP, Cognitive Academic Language Proficiency*). Mit zunehmender inhaltlicher Progression nimmt der Anteil von BICS kontinuierlich ab und der von CALP zu. Die Adressaten-gerechte Entwicklung von CALP steht in diesem Zusammenhang besonders im Mittelpunkt (Preisfeld 2016). Die Wichtigkeit von akademischer Sprachfähigkeit im naturwissenschaftlichen Bereich wird besonders betont (Hemmelgarn und Ewig 2003, Richter und Zimmermann 2003).

Eine Verknüpfung der fachdidaktischen Forderungen der Biologie mit den Ansprüchen der bilingualen Forschung mündet in der Konzeption neuer bilingualer Unterrichtsmodelle und der begleitenden Forschung. Bislang untersuchten wenige Studien die Wirkung des kombinierten Fremdspracheneinsatzes und der Wissenskonstruktion im naturwissenschaftlichen bilingualen Unterricht. Die empirische Forschung zum bilingualen Lernen und Lehren fokussierte ursprünglich den fremdsprachlichen Wissenszuwachs, so dass die Frderlichkeit bilingualen Unterrichts auf die fremdsprachlichen Kompetenzen früh belegt wurde (Wode et al. 1996; Bredenbröker 2000; Bonnet 2004; Caspari et al. 2009; DESI-Konsortium 2008). Besonders für den naturwissenschaftlichen bilingualen Unterricht liegen bislang wenige Ergebnisse zum sachfachlichen Lernen vor. In der Literatur weisen einige

Studien *verminderte Lerneffekte* aus (z.B. Hartmannsgruber 2014). Andere belegen *gleichwertige* Effekte beziehungsweise partiell bessere Ergebnisse (Badertscher und Bieri 2009; Buse und Preisfeld 2016; Duske 2016, Osterhage 2009; Rodenhauser 2016; Rodenhauser und Preisfeld 2016). Bezüglich der akademischen Sprachfähigkeit im Englischen werden bessere Ergebnisse festgestellt (Baker 2002; Finn 2012). Viele Studien erheben das Potenzial von bilinguaem Unterricht und beziffern einen Lernvorsprung in verschiedenen Bereichen von bis zu 2 Schuljahren (DESI-Konsortium 2008), jedoch bleiben *Creaming* Effekte unberücksichtigt (Rumlich 2013, 2014). Affektive Aspekte bilingualen Biologieunterrichts wurden bereits untersucht und belegen positive Einflüsse bilingualer Lehr-Lernarrangements für Lernertypen (Lasagabaster 2011; Rodenhauser und Preisfeld 2015; Rumlich 2015).

1.2.3.2 Prinzipien sachfachlichen Lernens im bilingualen Sachfach Biologie

Gemäß der Vorstellung von CLIL sind im bilingualen Biologieunterricht das sachfachliche, das sachmethodische und das sprachliche Lernen eng miteinander verknüpft (Abbildung 37).

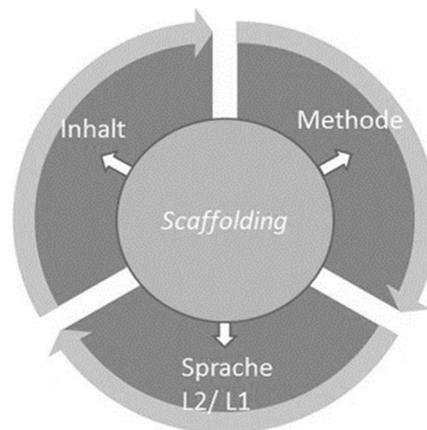


Abbildung 37: Trias sachfachlichen (Inhalt), methodischen und sprachlichen Lernens im bilingualen Unterrichts (CLIL) sowie zugehöriger Stützfunktionen (*Scaffolding*) (Buse und Preisfeld 2016)

Der funktionale Fremdsprachenerwerb, das Erlernen von Fachinhalten und Fachmethoden sind gemeinsames Ziel dieses integrierten Sprach- und Inhaltslernens (Gnutzmann und Jakisch 2013; Vollmer 2013), wie es in den Anforderungsbereichen des Sachfaches Biologie formuliert ist (MSW NRW 2012). Bonnet (2015) sieht die zentrale Zielsetzung von CLIL didaktisch in der Verzahnung kognitiven, sprachlichen und reflexiven Lernens verwirklicht und Zydati betont in diesem Zusammenhang die Wichtigkeit der fremdsprachlichen Diskursfähigkeit (Zydati 2007, 2013): Bezogen auf

den bilingualen Biologieunterricht bedeutet dies, domänenhaftes Wissen zu erlangen, Kommunikationsfähigkeit in unterschiedlichen Modi unter Nutzung verschiedener Diskursfunktionen zu realisieren und die erzeugten Diskurse reflexiv zu verstehen und so die Erkenntnisweisen des Faches zu erfassen (Bonnet 2015). Ergänzend wird im Sinne des Erwerbs der Mehrsprachigkeit die Ausbildung der doppelten Sachfachliteralität angestrebt (MSW NRW 2012). Häufig wird das interkulturelle Lernen als lernförderliches Element des bilingualen Sachfachunterrichts angeführt (z.B. MSW NRW 2012). Für Mehisto et al. (2008) wird CLIL durch eine Trias aus Sprache, Inhalt und Lerntechniken gekennzeichnet. Auch Lamsfuß-Schenk (2013) stellt die besondere Bedeutung von Lern- und Arbeitsprozessen für die strategisch gesteuerten Lernprozesse im bilingualen Unterricht heraus.

Die vorgenannten, den CLIL-Unterricht kennzeichnenden Dimensionen sind in der nachfolgenden Abbildung 38 zusammengeführt und ergänzen das zuvor in Abbildung 37 Dargestellte. Den Mittelpunkt der erweiterten Darstellung des bilingualen Lehr-Lernarrangements bildet der jeweilige sachfachliche Fokus mit den korrespondierenden Stützmaßnahmen (*Scaffolding*). Dabei werden ausgehend vom sachfachlichen Schwerpunkt des Wissensfeldes die zugehörigen fachspezifischen wie übergeordneten Arbeitsweisen und Methoden zum Gegenstand des Unterrichts sowie die Aspekte des interkulturellen Lernens bestimmt und die Rolle der Unterrichtssprache und Schulsprache daraufhin definiert. Auch gilt es, ein Augenmerk auf die zum Einsatz kommenden Lerntechniken und Lernstrategien zu richten, die dazu dienen, den Lernprozess zu entwickeln, zu steuern und zu reflektieren.

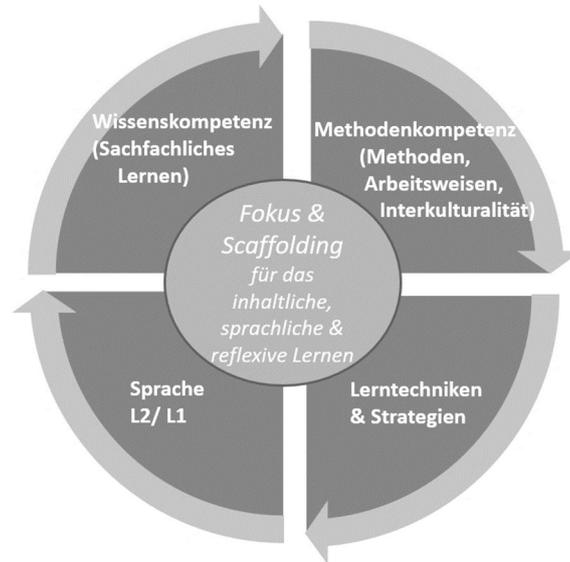


Abbildung 38: Dimensionen bilingualen Sachfachunterrichts und begleitende Gerüstmaßnahmen bei der Erlangung inhaltlicher, sprachlicher und reflexiver Kompetenzen

Wissenskonstruktion und Methodenkompetenz

Im Gegensatz zum Fremdsprachenunterricht zielt der bilinguale Sachfachunterricht Biologie auf ein wissenschaftsbasiertes naturwissenschaftliches Weltverstehen ab, der die Vermittlung wissenschaftlicher Wissens- und Begriffssysteme zum Gegenstand hat. Diese werden mittels wissenschaftlicher Fachtexte, Materialien und Arbeitsweisen theoriebasiert entwickelt. Wissenschaftsbasierte und fachspezifische Diskurse bedingen einen funktionalen Spracheinsatz und Spracherwerb und führen zur Ausbildung einer kognitiven Fremdsprachlichkeit im Sachfach (Hallet 2013).

Dabei erfolgt im Zuge des wissenschaftlichen Begriffslernens im bilingualen Unterricht ein integriertes Sprach- und Fachlernen als konzeptuales, begriffliches Lernen in der Fremdsprache (Bonnet et al. 2003, Fries 2013), auch kognitiv-konzeptuale Kompetenz genannt (Hallet 2005a). Konkrete Wahrnehmungen und Sachverhalte werden in dauerhaften Kombinationen mit (fremd-)sprachlichen Zeichen überführt. Die gelernten Begriffe und Kategorien werden zunehmend abstrakter (Fries 2013). Muttersprachliche Begriffe erfahren Erweiterung, Umstrukturierung und Systematisierung zu fremdsprachlichen wissenschaftlichen Begriffen (Hallet 2002). Für die Unterrichtspraxis wird für die Begriffsbildung sowohl Anleitung, Einsatz von Stützmaßnahmen als auch Reflexion gefordert, die durch entsprechende Lehr-Lernarrangements und Materialien begleitet wird (Fries 2013).

Über Diskursfunktionen, grundlegende kognitive Operatoren und deren verbale Repräsentationen werden konzeptuelle Zusammenhänge markiert, die den übergeordneten kognitiven Makrofunktionen zugeordnet werden können (Dalton-Puffer 2013; Zydati 2013). Als diskursive Kompetenz würde es beispielsweise aufgefasst, in der Fremdsprache Phänomene angemessen zu beschreiben, sich über Beobachtungen und Erkenntnisse auszutauschen und Problemlösungen auszuhandeln (Hallet 2005a).

Die Wissenskonstruktion beim simultanen Lernen fachinhaltlicher, fachmethodischer, allgemeinmethodischer und sprachlicher Elemente im bilingualen Sachunterricht schließt sowohl nichtsprachliche kognitive Tiefenstrukturen als auch Wissensstrukturen ein, die durch sozialen Kontakt dialogisch „kognitiv-diskursiv“ entwickelt werden (Dalton-Puffer 2013). Darüber trägt die Interaktion der Lernenden untereinander zur Wissenskonstruktion bei: Um die Entwicklung sachfachlichen, sachmethodischen und sprachlichen Lernens zu bewirken, wird Sprache und Kommunikation „diskursiv-kommunikativ“ genutzt (Markic und Ralle 2015; Vollmer 2010; 2013; Zydati 2013).

Als methodische Kompetenzen können Techniken und Strategien der Informationserschlieung aufgefasst werden. Zu ihnen zählen neben Strategien der Nutzung eigenen sprachlichen Wissens und Weltwissens, Techniken der Text- und Informationserschlieung, der fachspezifischen Textproduktion, Lern- und Arbeitstechniken und fachspezifische Methoden (Hallet 2005b).

Mittels methodischer Kompetenzen reflektieren Lernende fachspezifische Prozeduren, Problemlösungen und Erkenntniswege und wenden sie in der Fremdsprache an. Diese umfassen u.a. die Textarbeit, den Umgang mit Materialien oder das Beachten der naturwissenschaftlichen Methode bei einem naturwissenschaftlichen Experiment. Fachspezifische in der Fremdsprache umgesetzte, individuelle Aneignungs- und Sicherungswege werden ebenfalls den methodischen Kompetenzen zugerechnet (Hallet 2005a). Darstellungs- und Sprachwechsel werden im Zusammenhang mit der Wissenskonstruktion zur Verdeutlichung von Lernwegen und als Visualisierung von Textverständnis eingesetzt. Ihnen werden besonders im bilingualen Sachfachunterricht aufgrund der kognitiven Auseinandersetzung mit den Inhalten lernförderliche Wirkungen zugesprochen (Leisen 2013a, 2015).

Im bilingualen Unterricht ist die Textarbeit von zentraler Bedeutung (Krechel 2013b). Texte dienen der Erfassung und Erarbeitung von Informationen, sind Grundlage für mündliche und schriftliche Ausführungen sowie für die Strukturierung, Festigung und Einprägung von Gedanken. Die Textarbeit und das Leserverstehen sind eng verknüpft mit dem Erwerb, der Erweiterung, Vernetzung und Memorierung von Fachwissen (Krechel 2013b). Anhand einer Auswahl möglichst authentischer fremdsprachlicher Materialien erfolgt das Exzerpieren sachfachlich relevanter Informationen, die zu Informationen anderer Materialien in Bezug gesetzt werden und Gegenstand sachfachlicher Diskussion werden. Im Mittelpunkt der Textarbeit steht die aktive Auseinandersetzung mit dem Text, die Texterschließung über Verstehensinseln, der Darstellungswechsel als Ergebnissicherung der Textarbeit sowie die wiederholte oder zyklische Textbearbeitung (Krechel 2013b). Dabei können unterschiedliche Darstellungs- und Symbolisierungsformen als Leseprodukte, aktiv konstruierte Visualisierung des Vorwissens und des neu erarbeiteten Wissens einbinden und der Entwicklung von CALP dienen. Gleichzeitig können sie als Diagnosewerkzeug zur Beobachtung des Lernvorganges zum Einsatz kommen (Leisen 2013a).

Fachmethoden werden interaktiv im kommunikativ-sozialen Kontext multimodal und durch unterschiedliche Sinneskanäle aktivierende Materialien auch multimedial entwickelt (Pitsch und Heimes 2013). Schülerinnen und Schüler erlernen sowohl den inhaltlich angemessenen Umgang mit relevanten Medien und Arbeitsmitteln als auch die Kompetenz zur sprachlichen Vermittlung. Bilingualer Unterricht zielt auf die Ausbildung von fachrelevanten Arbeitsweisen ab: Auf die Naturwissenschaften bezogen wird eine korrekte Dokumentation, mediale Darstellung und Interpretation von Ergebnissen eines Experimentes durch sprachlichen Verweis auf relevante *Scaffolding*-Verfahren wie beispielsweise Notizen, visuelle Hilfen oder Musterstrukturen (Thürmann 2013a) und Kommunikationsstrategien wie beispielsweise das Paraphrasieren (Pitsch und Heimes 2013) angestrebt.

Eine besondere Stellung nehmen reflexive Kompetenzen ein: Sie ermöglichen Lernenden eine problemstellende Wahrnehmung, interkulturelle Differenzen und Fremdheitserfahrungen mit ihren Sinnentwürfen abzugleichen. Im Lernprozess wird Fremdheit und Differenz besonders wahrgenommen, wenn die Wege und Weisen der wissenschaftlichen oder schulischen Erklärung von Alltagsvorstellungen abweichen. Sowohl über die Identifizierung als auch in der Distanzierung entwickelte sich

persönlichkeitsbildend die Verknüpfung von sachfachlicher Weltsicht und persönlichen Deutungen bzw. Alltagshandeln (Hallet 2005a).

Fremdsprachliches Lernen

In diesem Abschnitt werden aktuelle Theorien zum Fremdsprachenerwerb sowie zu Bedingungen für den erfolgreichen Spracherwerb vorgestellt. Eine frühe Theorie des fremdsprachlichen Lernens fußt auf der *Input-Hypothesis* von (Krashen 1980; Krashen 1982; Krashen 1986) mit ihren Subthesen von besonderer Bedeutung, der zufolge der Fremdsprachenerwerb dann optimal gelingt, wenn der Input für die Lernenden anregend und verständlich ist und über den Erwerbsständen der Lernenden liegt. Lernende sind dank der verständlichen Inputs beispielsweise in der Lage, Unbekanntes aus einem Kontext zu erschließen. Dieses inhaltsbezogene Verstehen wird auch im bilingualen Sachfachunterricht gefördert. Der Lernprozess erfolgt in gradueller Progression. Folglich ist das Anforderungsniveau von zunehmender Komplexität gekennzeichnet. Zudem ist für das fremdsprachliche Lernen die Aktivität des Lernenden bedeutsam: Lernende beobachten ihren Lernprozess (vgl. Monitorhypothese, Krashen 1980, 1986) und streben nach Korrektheit und gleichen ihre Performanz mit den ihnen zur Verfügung stehenden Regelwerken ab.

Neben dem Anregungsreichtum der Lernsituation wirkt sich auch die Angstfreiheit der Spracherwerbsumgebung positiv auf die Fremdsprachenaufnahme aus (Decke-Cornill und Küster 2015). Auch der Aufmerksamkeitssteuerung wird eine besondere Bedeutung beigemessen. Es ist belegt, dass beim expliziten Lernen sprachliche Strukturen bewusst wahrgenommen sowie gespeichert werden und mit deklarativem Wissen, z.B. Regeln, in Verbindung gebracht werden. Regelkenntnis wiederum unterstützt gemäß der *Noticing Hypothesis* (Schmidt 1993) das Wahrnehmen der sprachlichen Besonderheiten und beispielsweise das nachhaltige Wiedererkennen grammatischer Strukturen sowie die Sprachproduktion selbst (Decke-Cornill und Küster 2015; Schmidt 1993). Gleichzeitig sind mit der Rezeption von Input *Silent Periods* verbunden, die mit der Konzentration auf das Verstehen und auf die Sprachverarbeitung und –konstruktion erklärt werden können (Decke-Cornill und Küster 2015). Dabei ist der *Output*, die Sprachproduktion, wie bereits deutlich wurde, eng mit der Interaktion verbunden (z.B. Krashen 2005; Vygotskij 2002). Der Sprecher

der Zielsprache und der Lernende stehen auch im bilingualen Unterricht interaktiv in einem wechselnden Austausch der Bedeutungsaushandlung (Roche 2013). Während der Sprachproduktion wird der Spracherwerb weiterentwickelt, wenn Klärungs- und Formulierungsanstrengungen vorgenommen werden. Dabei kann durch Nachfragen, durch das Bitten um Wiederholung oder das Stellen von Verstehensfragen seitens des Lernenden einerseits der Input variiert werden und nachfolgend anspruchsvolles Arbeitsmaterial und schwierige Aufgaben gelöst werden, wenn eine Verständnisschaffung durch Interaktion erzielt wird. Auch in dieser Sicht ist der Lernende aktiv an seinem Spracherwerb beteiligt (Decke-Cornill und Küster 2015).

Wird Fremdsprachenerwerb in seiner Entwicklung im Verhältnis zu der L1 betrachtet, so wird festgestellt, dass im frühen Spracherwerb Wörter einer neuen Sprache den Konzepten des bereits vorhandenen Wortschatzes zu- und untergeordnet werden (Roche 2013). Es werden eigene Konzeptknoten für die neue Sprache entwickelt, die im mentalen Lexikon mit den bereits vorhandenen Konzeptknoten zunehmend koordiniert und in sie integriert werden (Plieger 2006). Gemäß der Schwellenhypothese (*Threshold Hypothesis*) (Cummins 1979) bestehen eine obere und eine untere Schwelle hinsichtlich der muttersprachlichen und fremdsprachlichen Kompetenzen, die die Entwicklung des Spracherwerbs bestimmen. Ist die untere Schwelle in der L1 nicht erreicht, wirkt der Erwerb von L2 negativ auf beide. Wird hingegen die obere Schwelle erreicht, wirkt dieses positiv auf die Entwicklung beider Sprachen. Gemäß der *Interdependence Hypothesis* (Cummins 1979, 1980) bedingt eine hohe Kompetenzerreichung in L2 positive Auswirkungen sowohl auf beide Sprachen als auch auf die kognitive Leistungen an sich.

Im Fremdsprachenunterricht wird die Wichtigkeit des aufgabenbasierten Lernens (*task-based learning*, z.B. Nunan 2011) herausgestellt. Dieser Ansatz verbindet eine Inhaltsorientierung mit einem kommunikativen Austausch in der Zielsprache und eine Orientierung der Lernaufgaben an realen Aufgaben der Lebenswelt. Gleichzeitig verknüpft er seitens des Lernenden die intensive Auseinandersetzung in der Zielsprache mit der Reflexion des Lernprozesses. Dabei wird der Aufgabenstellung eine besondere Bedeutung für die Entwicklung der kreativen und selbsttätigen Lernaktivität der Lernenden zugeschrieben.

Die Bedeutung von Sprache in Hinblick auf bilinguales Lernen

Verschiedene Theorien betonen den engen Zusammenhang zwischen Sprache(n), Aufbau von Wissensstruktur und Denken, nehmen jedoch unterschiedliche Codierungssysteme an. Kontrastiert werden können beispielweise die *Language of Thought Hypothesis* (Fodor 1975) und die *Dual Coding Theory* (Paivio 1986). Die erste Theorie betrachtet Sprachen unabhängig von natürlichen Sprachsystemen als abstrakte Denkformate, denen eine gemeinsame Tiefenstruktur unterliegt. Sinnzusammenhänge und konzeptuelle Einheiten werden in abstrakter Form codiert. Die *Dual Coding Theory* nimmt demgegenüber eine verbale und visuelle Codierung an. Zusätzlich zu diesen beiden vorgestellten Theorien kann Sprache als soziokulturelles Werkzeug betrachtet werden, womit das Primat der Interaktion betont wird (Vygotskij 2002).

Studien belegen beide grundsätzlichen Theorien. Von Bedeutung scheint zu sein, wann, wo und wie eine Person Sprachen erworben hat. Untersuchungen zu mehrsprachigen Individuen zeigen zum Teil Wissensrepräsentationen in der L2 und der L1, z.T. nur in L2, z.T. in einem gemeinsamen Wissensspeicher, der Merkmale beider Sprachen umfasst (Heine 2010a).

Funktionell betrachtet ist die Fremdsprache Medium und somit „Lern- und Arbeitssprache“ (MSW NRW 2012). Dabei zielt bilingualer Unterricht neben der Entwicklung der allgemeinsprachlichen Fertigkeiten (*BICS*) vor allem auf die Entwicklung der intellektuell-akademischen Ausdrucksfähigkeit ab (*CALP*, nach Cummins 1980, 1999). Cummins belegt, dass sich die Entwicklung von *CALP* in einer Sprache positiv auf die Entwicklung derselben in der anderen Sprache auswirkt. Dieser Sachverhalt wird mit einem den Sprachen unterliegenden System von Fertigkeiten und Fähigkeiten, der sogenannten *Common Underlying Proficiency (CUP)* erklärt, welche für beide Sprachen verfügbar ist (Cummins 1980). In Vermittlung zwischen *Alltags- und Bildungssprache* wird darauf abgezielt, im bilingualen wie im monolingualen Sachfachunterricht die Schriftlichkeit und Mündlichkeit zu stärken (Leisen 2015). Von Parchmann und Bernholt (2012) wird betont, dass alltagssprachliche Formulierungen sowie unpräzise Formulierungen auf unzureichend Verstandenes hinweisen bzw. zur Entwicklung von Fehlvorstellungen führen können.

Ein zuweilen beobachtetes Phänomen ist, dass SuS in der L1 besser als in der L2 in der Lage sind, akkurat und präzise zu formulieren (Gibbons 2002). Erklärt wird dieses mit der Tatsache, dass sie in der Muttersprache viel mehr Gelegenheit haben, mit unterschiedlichen Sprachvariationen in Kontakt zu gelangen und diese einzuüben. Andere Studien belegen eine ausgeprägtere Fachsprachlichkeit in der L2 als in der L1, besonders, wenn ein neues Sachgebiet im bilingualen Unterricht ausschließlich in der L2 behandelt wurde (Hallet 2002).

Einerseits wird *regelmäßiger Erfahrung von Sprachbarrieren* lernförderliche Wirkung zugeschrieben, wenn sie nicht lernlähmend wirken (Heine 2010b, 2010a): Die Sprachrezeption betrachtend sind bilingual unterrichtete Schülerinnen und Schüler eher in der Lage, sich Inhalte aus Kontexten zu erschließen. Der regelmäßige Gebrauch von Fremdsprache als Arbeitssprache führe zu weniger Schwierigkeiten beim Ausdruck in der Fremdsprache (Heine 2010b). Ferner nehme die Konzentration auf *bedeutungsvolle Kommunikationen* Angst vor grammatischen oder anderen Fehlern und ermögliche Schülerinnen und Schülern freie Äußerungen (Heine 2010b). Long (1991) bezeichnet dieses Konzept, das auf eine für Adressaten verständlich ausgedrückte Nachricht abzielt, als *focus on form* und stellt ihm einen *focus on forms* gegenüber, welcher die formale Korrektheit betont. Van Patten (1990) bezeichnet dieses Konzept der Betonung der verständlichen Nachricht als *focus on meaning*. Sprachaneignung findet dann verlässlicher statt, wenn sich seitens der Lerner *auf die Produktion verständlichen und bedeutungsvollen Outputs* konzentriert wird. Die interaktive Bedeutungsaushandlung bedingt eine Modifikation des Outputs und bewirkt ein stärker ausgeprägtes Bewusstsein für eine adressatengerechte Bedeutungsvermittlung (Heine 2010b). Das regelmäßige Erfahren von Grenzen der Ausdrucksfähigkeit führe sprachbasiert zu einer tieferen Verarbeitung. Je mehr Bedeutung mit einer Information verknüpft werde, desto stärker werde ein Konzept potentiell verankert und desto wahrscheinlicher sei eine spätere Rekonstruktion (Heine 2010a). Nachdem einige Grundprinzipien fremdsprachlichen Lernens beleuchtet wurden, findet im Folgenden die Beziehung von Mutter- und Schulsprache genauere Betrachtung.

Das Integrierte Dynamische Modell des bilingualen mentalen Lexikons (IDM) nach Diehr

Das hier vorgestellte *Integrated Dynamic Model (IDM)* des bilingualen mentalen Lexikons (Diehr 2016) basiert zum einen auf verschiedenen theoretischen Modellen, die die Beziehung der konzeptuellen Repräsentationen bei der Veränderung von Wissen und den Sprachspeichern in zwei Sprachen darstellen (*Revised Hierarchical Model* von Kroll und Sundermann 2003, *Modified Hierarchical Model* von Pavlenko 2009) und dient zum anderen der Veranschaulichung des integrierten sprachlichen und fachlichen Lernens und dessen Dynamik im bilingualen Unterricht (vgl. Abbildung 39).

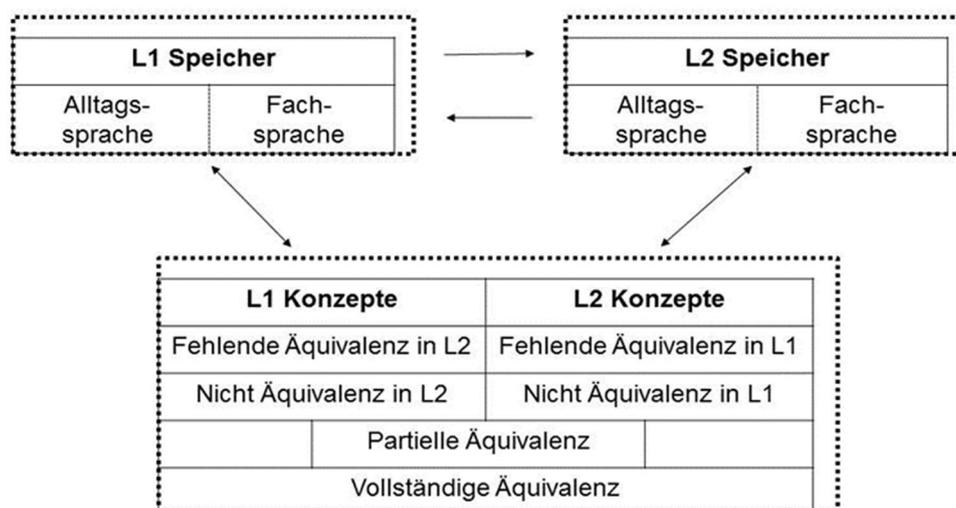


Abbildung 39: Integrated Dynamic Model des mentalen Lexikons bilingual Unterrichteter (Diehr 2016, mit freundlicher Genehmigung der Autorin hier abgebildet)

Grundlage des Modells bildet der Konzeptbegriff nach Pavlenko (2009, *lexical concept*), demzufolge ein Konzept eine mentale Repräsentation eines umfassenden und vielschichtigen, in sich geschlossenen und strukturierten Wissensbestandes ist (Diehr 2016). Das vorliegende Modell (vgl. Abbildung 39) unterscheidet, ebenso wie die zugrundeliegenden Modelle, lexikalische Speicher für Mutter- und Fremdsprache (L1 und L2 Speicher) sowie einen übergeordneten konzeptuellen Speicher (L1 und L2 Konzepte). Eine aufgrund des Lernprozesses angenommene Dynamik aller Speicher wird durch die gestrichelten Linien visualisiert. Weiterhin wird in den Sprachspeichern zwischen Alltags- und Fachsprache differenziert. Hallet (2002) zufolge ist es alleinig dem bilingualen Sachfachunterricht vorbehalten, wissenschaftsbasierte Konzepte in der Fremdsprache zu entwickeln und er schließt, dass die Begriffsbildung in der

Fremdsprache erfolge. Laupenmühlen (2013) betont demgegenüber, dass die Konzeptbildung in der Biologie vor Einsatz des bilingualen Biologieunterrichts beginnt. Bonnet (2015) hebt hervor, dass zur Sicherung fachlicher Kompetenzbildung der Rückgriff auf lebensweltliche Kontexte eingebunden ist und im bilingualen naturwissenschaftlichen Unterricht darum auch hohe Anteile an alltagssprachlichem Fremdsprachenlernen vollzogen werden. Bilingualer Sachfachunterricht kann infolgedessen phasenhaft das Erlernen und Erweitern fremdsprachlicher Fachsprachlichkeit als auch das funktional begründete Lernen in beiden Sprachen (Bohrmann-Linde 2016) sowie in Transfer- und Reflexionsphasen das Lernen in der Mutter- oder Fremdsprache zum Gegenstand haben. Die von Cummins (1999) angenommene Interdependenz erklärt das Zusammenwirken von L1 und L2 sowohl bei der Aktivierung von Vorwissen als auch bei der Anwendung von Wissen. Das integrierte dynamische Modell von Diehr (2016) differenziert den konzeptuellen Speicher weiter aus, indem es vier Äquivalenzgrade unterscheidet. Eine vollständige Äquivalenz sei bei Wörtern wie „*precipitation*“ und „Niederschlag“ gegeben (Diehr 2016), vergleichbar biologischen Begriffen wie „Zellkern“ und „*nucleus*“. Eine nur partielle Äquivalenz weisen die Konzepte „*science*“ und „Wissenschaft“ auf. Des Weiteren tritt bei *false friends* eine fehlende Äquivalenz auf. Für den englischen Begriff „*tube*“ kann fälschlicherweise eine Bedeutungsäquivalenz mit dem deutschen Begriff „Tube“ angenommen werden. Demgegenüber tritt eine Äquivalenzlücke bei Begriffen auf, für die es in einer Sprache kein Konzept gibt. Als Beispiel führt Diehr (2016) den Begriff „*half-term*“ auf, der Ferienwoche in der Mitte des englischen Schultrimesters, für den im deutschen jedoch keine Begrifflichkeit vorhanden ist.

Lerntechniken und Strategien

Vielfach wird angeführt, dass die Überwindung der fremdsprachlichen Hürde im bilingualen Unterricht eine besondere Lernchance darstellt (z.B. Ministerium für Kultus, Jugend und Sport 2006). Gleichzeitig wird der positive Einfluss des Einsatzes von Lernstrategien und Diskurs- und Kommunikationsstrategien auf die Elaborationstiefe herausgestellt (z.B. Mandl und Friedrich 2006). D.h. ihnen wird die Wirksamkeit einer vertiefteren Verknüpfung neuer mit bereits vorhandenen Wissensinhalten, mit denen ein größerer Behaltenseffekt erzielt würde, zugesprochen. Auch trage die gezielte Nutzung metakognitiver Strategien zur Überwindung möglicher Diskrepanzen zwischen kognitiven Fähigkeiten der Lernenden und ihren fremdsprachlichen

Kompetenzen bei (Gnutzmann und Jakisch 2013). Lern- und Arbeitstechniken werden bewusst ausgewählt und dienen der Erweiterung und Bewusstmachung deklarativen und prozeduralen Wissens. In diesem Zusammenhang wird Lernen als komplexes Geschehen durch unterschiedlichste Strategien beeinflusst, die häufig als kognitive und metakognitive Strategien zusammengefasst werden (Friedrich und Mandl 2006). Während die kognitiven Strategien der Elaboration, der Strukturierung und der Wissensnutzung dienen, unterstützen die metakognitiven Strategien die Selbstkontrolle und Selbstregulation (Friedrich und Mandl 2006). Während Lernstrategien die Lernprozesse steuern, zielen Diskursstrategien auf Unterrichtsdiskurse ab (Lamsfuß-Schenk 2013). Bilingualer Unterricht führt zur bewussten Förderung des Einsatzes von Lern- und Arbeitsmethoden, die strategisch gesteuerten Lernprozesse von Schülerinnen und Schülern zu verbessern (Krechel 2010; Lamsfuß-Schenk 2013; Thürmann 2010).

Zu den Lernstrategien werden u.a. Erarbeitungs-, Kontroll- und Stützstrategien gezählt: Beispielsweise wird im Vergleich zu monolingual unterrichteten Lernenden bei bilingual Unterrichteten gehäuft die Strategie des detaillierten Lesens unter Einbezug fachlicher Begriffe beobachtet. Auch wird eine stärkere Orientierung an der Aufgabenstellung festgestellt (Lamsfuß-Schenk 2008). Häufig im bilingualen Unterricht auftretend ist weiterhin die Diskursstrategie des *Code Switching*, welche beispielsweise zum Einsatz kommen kann, wenn Fachbegriffe in der L2 erarbeitet, in der L1 jedoch noch unbekannt sind (Lamsfuß-Schenk 2008). Auch die von Bohrmann-Linde (2016) vorgeschlagene Pendelmethode dient der sprachlichen und kognitiven Aktivierung und kann als weitere Lernstrategie entwickelt werden.

Entwicklung von Stützmaßnahmen (*Scaffolding*)

Unter anderem die häufig benannte Differenz zwischen kognitiver und sprachlicher Leistungsfähigkeit legt den Einsatz von Stützmaßnahmen nahe. Stützmaßnahmen (= *Scaffolding*, vgl. Abbildung 38) zielen im Sinne Vygotskijs (2002) unter Nutzung des Lernpotenzials von Schülerinnen und Schülern auf die Erweiterung des aktuellen Lernstandes ab und dienen der Förderung sprachlichen, methodischen sowie fachlichen Lernens im sozialen Austausch zur Stärkung des eigenverantwortlichen Lernens (Thürmann 2013a). Zentrales Ziel von Stützmaßnahmen ist, Lerner im Lernprozess zu unterstützen, damit sie die kritischen Aspekte der

Aufgabenbewältigung überwinden (Vygotskij 2002). Sie zielen darauf ab, die Rezeption, die Verarbeitung von Informationen, die Produktion sowie die Sprachmittlung seitens der Lernenden zu entfalten und dem Erreichen des nächst höheren Wissensstandes zu dienen und somit die Zone der proximalen Entwicklung gestalten (Vygotskij 2002). Dabei sind sie, vergleichbar einem Gerüst beim Hausbau, unterschiedlich stark ausgeprägt und von temporärer Natur. Unterstützungen bei Schwierigkeiten in diesem Zusammenhang können sprachlich-diskursive, grafisch-visuelle, inhaltliche sowie methodisch-konzeptuelle Maßnahmen umfassen (Böwing 2013).

Beispiele für ein *Scaffolding* auf der Stufe der Unterrichtsinteraktion sind das langsame und deutliche Sprechen seitens der Lehrkraft, das Gewähren ausreichend langer Wartezeiten für das Ordnen von Gedanken und die fachsprachlich korrekte Formulierung oder die Rückmeldungen zu sprachlichen Äußerungen (Thürmann 2013a). Auch der Einsatz von Sozialformen, die Aushandlungsprozesse ermöglichen, können als didaktische Stützmaßnahme gegenüber sprachlichen Schwierigkeiten angesehen werden (Hallet 2005b). In interaktiven Kontexten kann weiterhin stützend der sinnvolle Einsatz der Muttersprache als Hilfsmittel erlaubt sein (Krechel 2013a) bzw. gezielt zur Wissenskonstruktion erfolgen (Diehr 2016; Bohrmann-Linde 2016). Zur Unterstützung der Informationsaufnahme kann die Lernumgebung so gestaltet werden, dass multimodale Zugänge gewährt werden, und zum Beispiel in der Auswahl der Materialien eine Verknüpfung von kontinuierlichen und diskontinuierlichen Texten erfolgt. Eine Reaktivierung von Vorwissen und ein auf die Kenntnisse der Lernenden angepasstes Material unterstützen den Lernprozess (Krechel 2013b). In diesem Zusammenhang können beispielsweise auch vorstrukturierte Verstehenshilfen, wie *Concept Maps* oder Tabellen, lernwirksame Gerüste darstellen. Von Nutzen sind weitere Methoden zur besseren Strukturierung von Texten in Form von Texterschließungstechniken. Das Bereitstellen wichtiger Termini und Formulierungen sowie der Verweis auf Ressourcen sind in fachsprachlicher Hinsicht von unterstützender Wirkung. Bei der Produktion von Arbeitsergebnissen helfen sowohl zur Verfügung gestellte sprachliche Hilfsmittel, fachspezifische Ausdrücke oder Satzteile (z.B. Thürmann 2013b), als auch im Aufgabenapparat vorgenommene Vorstrukturierungen bzw. vorgeschlagene Formen von Darstellungswechseln. Diese Bereitstellung textueller beziehungsweise diskursiver Muster kann der Erarbeitung von Erklärungen und Gesetzmäßigkeiten dienen (Hallet 2005b). Flankiert werden können

diese Maßnahmen durch eine explizite Bewusstmachung von Arbeitsschritten, Methoden und Lernprozessen. Ein bewusster Umgang mit Alltags- bzw. wissenschaftlichen Konzepten kann beispielsweise über *Mind Maps*, *Semantic* oder *Concept Maps* oder *Brainstorming* erfolgen (Hallet 2005b).

Zahlreiche Publikationen thematisieren Stützmaßnahmen: Es wird eine Schärfung der Begrifflichkeit gefordert (Thürmann 2013b, 2013a). Stützmaßnahmen werden im weiteren Sinne als Hilfestellungen jeder Art beschrieben und im engeren Sinne als im Einklang mit den sozial-konstruktivistischen Lerntheorien, temporär eingesetzt, zur Stärkung des eigenverantwortlichen Lernens definiert (Thürmann 2013a, 2013b). Schon früh verwiesen Otten und Wildhage (2003) auf eine Checkliste für Unterstützungssysteme, die die Einheit von fachlichem und sprachlichem Lernen (Hallet 2005) ermöglicht. Die Verknüpfung kognitiver Prozesse und deren Markierung durch verbale Operatoren (Zydati 2010) sowie der doppelte Fokus beziehungsweise das Einhergehen von kognitivem und sprachlichem Lernen (Thürmann 2013b; Vollmer 2010, 2013) werden wiederholt betont. In diesem Zusammenhang wird herausgestellt, dass mittels *Scaffolding* und dem engen Bezug zur *task-based methodology* Fähigkeiten und Fertigkeiten unterschiedlicher Bereiche zusammengeführt werden und durch Aufgaben evozierte „Lücken“ in den Diskursgemeinschaften gemeinsam geschlossen werden (Thürmann 2013b; Otten und Wildhage 2003).

Je nachdem, wie vertraut die Lernenden mit Prinzipien des bilingualen Unterrichts sind und über welchen Kenntnisstand sie grundsätzlich in den beiden beteiligten Fächern Biologie und Englisch verfügen, sind *Scaffolds* zu entwickeln. Sie unterstützen je nach Bedarf als fachsprachliche und inhaltliche Gerüste in Form von Vokabelhilfen oder durch die altersgemäße Aufbereitung der Texte, durch die Veranschaulichung mittels Visualisierung sowie durch Hilfestellung und sprachliche Mittel, in Form von Diskursfunktionen, die sachfachliche und fachsprachliche Wissenskonstruktion seitens der Schülerinnen und Schüler (Thürmann 2013a, 2013b).

1.2.3.3 Muttersprachliche und fremdsprachliche Lese- und Sprachkompetenz

In diesem Kapitel wird die Lesekompetenz besonders beleuchtet, weil sie von besonderer Bedeutung für die Sprachrezeption und –produktion ist. Sie ist in der vorliegenden Studie jedoch nicht explizit untersucht worden.

Die Lesekompetenz als komplexes Konstrukt bezeichnet die Fähigkeit, Texte unterschiedlicher Art in ihrer Aussage, Absicht und formalen Struktur zu verstehen, sie in einen größeren Sinnzusammenhang einzuordnen, und sie für verschiedene Zwecke sachgerecht zu nutzen und ist Voraussetzung für die aktive Teilhabe am gesellschaftlichen Leben (Naumann et al. 2010). Weitere verwandte Begriffe zur Lesekompetenz sind das Leseverstehen oder die Literalität (engl. *reading literacy*) (z.B. Baumert et al. 2003; Deutsches PISA-Konsortium 2001). Die Lesekompetenz ist durch eine Vielzahl von Einflussgrößen beeinflusst (vgl. Abbildung 40).



Abbildung 40: Einflussgrößen der Lesekompetenz (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2007; Leisen 2013b; Hermes 2005; Naumann et al. 2010)

Wie in Abbildung 40 ersichtlich, wird die Lesekompetenz durch Personen- und Text-bezogene Einflussgrößen bestimmt. Als Einflussgrößen der Lesekompetenz werden das Vorwissen und der Wortschatz einer Person sowie ihr Repertoire an Lernstrategien angesehen (z.B. Leisen 2013b). Auch die intrinsische Motivation, die Konzentrationsfähigkeit und das verbale Fähigkeits-selbstkonzept werden als entscheidende Faktoren, die die Unterschiede in der Lesekompetenz erklären, aufgeführt (z.B. Hermes 2005, Naumann et al. 2010). Weitere Einflussgrößen sind die Leseanforderungen und Beschaffenheit des Textes, wie der Grad der Abstraktheit oder Konkretheit des Textes sowie die Vertrautheit mit dem Thema und der Textsorte (Leisen 2013b).

Die beim Lernen zum Einsatz kommenden Strategien können als Handlungsplan aufgefasst werden, einen Text richtig und zeitökonomisch zu analysieren und werden sukzessive für verschiedene Textsorten entwickelt. Sie zielen auf die eigenständige Bearbeitung von Texten ab (Leisen 2010, S. 141). Die Kenntnisse von Lernstrategien

sind fächerübergreifend bedeutsam, weil sie notwendige Hilfen für die Texterschließung (Leisen 2010) bieten, die in allen Bereichen genutzt werden.

Wie bereits geschildert werden verschiedene lernförderliche Strategien unterschieden. Dabei dienen metakognitive der Regulation des Lese- und Textverstehens, seiner Überwachung und Regulation bzw. Kontrolle. Entsprechend kann vorbereitend die Leseaufgabe definiert und eine gezielte Lesehaltung eingenommen werden, wenn Vorwissen aktiviert, Fragen an den Text gestellt und der Text daraufhin überflogen wird (z.B. Badel 2009).

Im Leseprozess können die drei Aspekte 1. Informationen suchen und extrahieren, 2. textbezogenes Kombinieren und Interpretieren und 3. das Reflektieren und Bewerten unterschieden werden. Das Lesen wird als vielschichtiger mentaler und doppelt zyklischer Prozess aufgefasst (Hermes 2005; Leisen 2013b): Als *Bottom-up*-Prozess, datengeleitet, entnimmt der Lesende Informationen und konstruiert seine Vorstellung von der Textinformation, die mit seinem Vorwissen abgeglichen wird. Im *Top-down*-Prozess überprüft der Lesende seine Vorstellungen auf Stimmigkeit mit dem Text und passt seine Vorstellungen gegebenenfalls an. Während der Lese phase wird der Informationsgehalt des Textes so mit dem Vorwissen abgeglichen, dass in diesem Zusammenhang beispielsweise Unklarheiten im Text identifiziert oder Unbekanntes aus dem Kontext erschlossen wird. Die Textverarbeitung erfolgt u.a. in Form von Zusammenfassungen des Texts in schriftlicher oder mündlicher Form oder in dessen visueller Aufbereitung (Badel 2009).

Der Entschlüsselungsprozess eines Textes erfolgt dabei auf unterschiedlichen Ebenen. Auf der ersten Ebene erfolgt die Dekodierung von Wörtern und Sätzen in der Muttersprache zum Zeitpunkt der Sekundarstufe automatisiert und meist unbewusst. Somit wird die Bedeutung einzelner Sätze verstanden. Um den Zusammenhang mehrerer Sätze analysieren zu können, ist strategisch-zielgerichtetes Lesen bedeutsam, dass den Umgang mit Verständnisschwierigkeiten sowie das Ziehen zentraler Schlußfolgerungen, ein durch Text angeleitetes Denken impliziert (Artelt und Dörfler 2010) und z.T. automatisiert erfolgt. Der persönliche Wortschatz sowie das Arbeitsgedächtnis sind für den Entschlüsselungsprozess bedeutsam. Je höher die Leseflüssigkeit ausgebildet ist, desto mehr kognitive Kapazitäten stehen für die Textentschlüsselung zur Verfügung. Lesegeschwindigkeit ist sehr unterschiedlich

ausgebildet. Die durchschnittliche Lesegeschwindigkeit eines englischen Textes liegt laut (Perfetti 1985) bei ca. 250 Wörtern pro Minute (Artelt und Dörfler 2010).

Die Lernstudien im Rahmen von PISA (Naumann et al. 2010) belegen bei 15jährigen Lernenden im internationalen Vergleich ein niedriges Lesekompetenzniveau, Schwächen bei anspruchsvollen Aufgaben und große Leistungsstreuungen. Es wurden zudem besonders ausgeprägte Schwächen bei Jugendlichen mit Migrationshintergrund ermittelt. Außerdem wurde ein deutlicher Geschlechterunterschied ermittelt, der zudem mit entsprechenden Unterschieden in der Lesemotivation einhergeht (Baumert et al. 2003; Naumann et al. 2010).

Im Vergleich zum muttersprachlichen Lesen erschweren mangelndes begriffliches und lexikalisches Wissen den fremdsprachlichen Leseprozess. Auch ungenügende Kenntnisse syntaktischer und diskursiver bzw. kultureller Besonderheiten können das Lesen fremdsprachlicher Texte erschweren (z.B. *false friends* und fehlende Äquivalenz, z.B. Diehr 2016). Das Einüben von Lesestrategien und die Nutzung dieser erlernten Lesestrategien sowie möglichst lange Kontaktzeiten – in Form der Beschäftigung mit englischsprachigen Textformaten – und die Anwendung von Kompensationsstrategien können das Problem verringern (Hermes 2005; Leisen 2013b; MSW NRW 2013a).

Die Lesekompetenz ist im bilingualen Unterricht und im bilingualen Schülerlabortag dieser Studie von besonderer Bedeutung, da das Lesen und Verstehen von theoretischen und praktischen Hintergründen zu den Experimenten Voraussetzung ist, sie experimentell umzusetzen und schlussendlich auszuwerten. Wie in anderen Studien (Bredenbröker 2000; Rodenhauser 2016) erfolgt die Erhebung der fremdsprachlichen Lese- und Sprachfähigkeit über *Cloze Tests*. Zusätzlich wird der Strategieeinsatz anhand einer Skala zu metakognitiven Strategien exploriert.

1.3 Forschungsschwerpunkte der Studie

Die Forschung zu bilinguaem Unterricht offenbart divergierende Ergebnisse. Zum Teil wird mit bilinguaem Sachfachunterricht gleichwertiger bzw. partiell gleichwertiger sachfachlicher Wissenszuwachs belegt (z.B. Badertscher und Bieri 2009, Buse und Preisfeld 2016, Osterhage 2009, Rodenhauser und Preisfeld 2016), z.T. wird geringerer Wissenszuwachs (z.B. Bohn und Doff 2010; Hartmannsgruber 2014) ermittelt. Während Studien bilingualer Lehr-Lernarrangements in der Vergangenheit oft einen sprachlichem Fokus aufweisen (z.B. Baker 2002; Bonnet 2004; Bredenbröcker 2000; Piske 2006), stehen in den letzten Jahren vermehrt Aspekte des sachfachlichen Lernens im Vordergrund (z.B. Duske 2017; Hartmannsgruber 2014; Koch und Bündler 2006; Rodenhauser und Preisfeld 2016). Auch die affektive Wirksamkeit bilingualer Unterrichtsinterventionen wird Gegenstand von Studien (z.B. Duske 2017; Lasagabaster 2011; Rodenhauser und Preisfeld 2015; Rumlich 2015). Abgeleitet aus dieser Forschungslage und den zuvor geschilderten Theorien werden nachfolgend die in dieser Studie entwickelten Forschungsfragen zur sachfachlich-kognitiven und affektiven Wirksamkeit biologischer wie fremdsprachlicher Sicht dargelegt.

Kognitiver Schwerpunkt: Tests sachfachlicher und fremdsprachlicher Kompetenzen

Einige der Untersuchungsaspekte dieser Studie wurden in ähnlicher Weise bereits in anderen Studien exploriert und lassen Rückschlüsse auf zu erwartende Ergebnisse zu. Die kognitive Wirksamkeit von naturwissenschaftlichen Schülerlabortagen in deutscher Sprache ist in Studien belegt (z.B. Damerau 2012; Scharfenberg 2005) und wird in der vorliegenden Studie untersucht. Zu bilingual-englischen Schülerlabortagen liegen bislang wenige Studien vor (Rodenhauser 2016).

Auf Basis der aktuellen Gedächtnisforschung wird untersucht, welche Auswirkungen das Zusammenspiel von experimentellem Lehr-Lernangebot und sachfachlicher Wissenskonstruktion bei Einsatz der Arbeitssprache Englisch zeigt. Weiterhin wird exploriert, ob durch Wissenskonstruktion in bilingualen Experimentalinterventionen eine vertiefte semantische Verarbeitung (Craik und Lockhart 1972) oder eine durch den Einsatz der Fremdsprache bedingte Überbelastung der Lernenden beim sachfachlichen Lernen anzunehmen ist. Studien belegen die Wirkung einer höheren semantischen Verarbeitungstiefe (Badertscher und Bieri 2009; Heine 2010b) und

begründen damit zum Teil einen Mehrwert des bilingualen Lehr-Lernarrangements (Heine 2010b, Rodenhauser 2016).

Forschungsfrage 1: Führen englisch-bilingual und deutsch-monolingual durchgeführte biologische Experimentalkurse gleichermaßen zu einem kurz- wie langfristigen kognitiven Kompetenzgewinn?

Fremdsprachlicher Wissenszuwachs ist für längerfristige bilinguale Lehr-Lernarrangements bereits belegt (Baker 2002; Bonnet 2004; Bredenbröcker 2000). Es ist allerdings fraglich, ob ein messbarer fremdsprachlicher Kompetenzgewinn nach einer verhältnismäßig kurzen Unterrichtsintervention vom Umfang eines ganztägigen Schülerlabortages erzielt werden kann. Rodenhauser (2016) beispielsweise belegt keinen fremdsprachlichen Wissenszuwachs.

Forschungsfrage 2: Führt eine eintägig durchgeführte bilingual-englische im Gegensatz zu einer deutsch durchgeführten Experimental-Intervention zu einer Steigerung der fremdsprachlichen Kompetenz?

Die vorhergehenden Forschungsfragen betrachteten Wissenskonstruktion losgelöst von affektiven Variablen. Interessant erscheint es, den Einfluss ausgewählter Personenvariablen zu untersuchen, die eine besondere Wirksamkeit des Schülerlabortages für verschiedene Lernertypen oder Vergleichsgruppen belegen können. Ferner wird exploriert, ob ein Potenzial der homogenen Wirksamkeit bestätigt werden kann. Auch erscheint es vielversprechend zu untersuchen, welchen Einfluss der Gebrauch der Fremdsprache ausübt, wenn Lernende mit naturwissenschaftlicher bzw. fremdsprachlicher Disposition in den jeweiligen Lehr-Lernarrangements Wissen konstruieren. Für in deutscher Sprache durchgeführte Schülerlabortage biologischen Schwerpunkts (Damerau 2012; Scharfenberg 2005) wurden wenige Einflüsse der Personenvariablen auf die Wissenskonstruktion ermittelt. Für bilingual-englisch durchgeführte Schülerlaborkurse konnte Rodenhauser (2016) jedoch Einflüsse einiger Personenvariablen auf die Wissenskonstruktion belegen. Daraus leiten sich die folgenden Ansätze ab:

Forschungsfrage 3: Können anhand von Personenvariablen Lernertypen identifiziert werden?

Forschungsfrage 4: Beeinflusst die Personenvariable Lernertyp den sachfachlichen und fremdsprachlichen Kompetenzzuwachs?

Forschungsfrage 5: Beeinflussen weitere Personenvariablen den kognitiven oder fremdsprachlichen Kompetenzgewinn?

Neben der kognitiven Wirksamkeit des bilingualen Schülerlabortages wird auch seine affektive Wirksamkeit untersucht.

Affektiver Schwerpunkt: Wirksamkeit des bilingualen Schülerlabortages

Von Interesse ist, wie der Labortag selbst wahrgenommen wird, wie sich die Einschätzungen vor dem Labortagbesuch von der aktuellen Einschätzung am Tag unterscheiden und wie sich diese unter Einfluss des Schülerlabortages langfristig entwickeln. Die Selbsteinschätzung anhand der den Labortag kennzeichnenden Variablen wahrgenommener Druck, wahrgenommene Zusammenarbeit und Authentizität wurde in mehreren Studien im Posttest (Damerau 2012; Engeln 2004; Pawek 2009; Wilde et al. 2009) ermittelt und deren Zusammenhang untereinander zum Teil belegt. Die untersuchten Variablen stehen in Bezug zur Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (1985, 1993, 2000) und zu den dort formulierten *basic needs*, wobei das Druckempfinden als negativer Prädiktor für die intrinsische Motivation betrachtet wird (vgl. Kap. 1.2.1.4). Entsprechend ist fraglich:

Forschungsfrage 6.1: Wie wird der Labortag bezüglich der untersuchten Laborvariablen in den verschiedenen Treatments (englisch vs. deutsch) wahrgenommen?

6.2: Welche Unterschiede ergeben sich bezüglich der Lernertypen?

Von Wichtigkeit für die Beurteilung der Wirksamkeit des bilingualen Labortages sind neben der Untersuchung des biologischen, sachfachlichen Wissens die Exploration methodischer Kenntnisse, wie z.B. der experimentbezogenen Kompetenzen. Die in aktuellen Modellen der Experimentierkompetenz (Schreiber et al. 2009) differenzierten Teilkompetenzen Durchführung und Auswertung sowie in den Kernlehrplänen Biologie Sekundarstufe II formulierte Kompetenzerwartungen (MSW NRW 2014) werden je in Form des selbst eingeschätzten Sachinteresses und des sachfachlichen Fähigkeitsselbstkonzeptes untersucht. Die Förderung von Interesse in den Naturwissenschaften ist von zentraler Bedeutung (z.B. Engeln 2004) und wird in

Studien (Damerau 2012; Damerau und Preisfeld 2016) z.T. in seiner Entwicklung vom aktuellen zum langfristigen Interesse betrachtet. Darüber hinaus wird den fachspezifischen Fähigkeitsselbstkonzepten ein Einfluss auf Leistung und Lernerfolg zugeschrieben (Wild et al. 2006; Krapp 1998; Marsh 1990; Köller et al. 2006; Zumbach et al. 2014). Die Selbstwirksamkeit wird zudem als Prädiktor für das Verhalten angesehen (Bandura 1982). So belegen viele Studien den Einfluss von Labortagen auf die Selbstwirksamkeit (Brandt 2005; Damerau 2012; Pawek 2009). Die zugehörigen Forschungsdesiderate dieser Studie sind, wie folgt, formuliert:

Forschungsfrage 7.1: Führt ein eintägiger bilingualer Schülerlabortag zur Veränderung des experimentbezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts der Durchführung beziehungsweise des Sachinteresses Experimentieren?

7.2: Welche Unterschiede sind hinsichtlich der Treatments bzw. der Lernertypen feststellbar?

Forschungsfrage 8.1: Führt der Besuch des bilingualen und monolingualen Lernlabors zu einer Veränderung des experimentbezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts und der erhobenen Interessens-Konstrukte der Teilkompetenz Auswertung?

8.2: Welche Unterschiede zeigen die Vergleiche der Treatments bzw. der Lernertypen?

Zur Untersuchung der aktuellen Vertiefung wird das *Flow*-Erleben betrachtet. Wie bereits in Kapitel 1.2.1.4.4 dargelegt, wird das *Flow*-Erleben, als völliges Aufgehen in einer Tätigkeit, als Voraussetzung für die tätigkeits- und gegenstandbezogene intrinsische Motivation angesehen (Schiefele und Schreyer 1994). Es wird zudem als Indikator der Begabungsentwicklung (Csikszentmihalyi und Schiefele 1993) angesehen. Rheinberg et al. (2003) konnten den Zusammenhang von Aufgabenschwierigkeit und *Flow*-Erleben belegen. Untersucht werden soll entsprechend in dieser Studie, ob der Gebrauch der Fremdsprache bzw. die Einnahme experimentbezogener Rollen das *Flow*-Erleben beeinflussen.

Forschungsfrage 9.1: Wird Treatment-abhängig ein unterschiedlich ausgeprägtes experimentbezogenes *Flow*-Erlebnis registriert?

9.2: Führen unterschiedliche Experimente bzw. experimentbezogen eingenommene Rollen zu unterschiedlichem *Flow*-Erleben?

In vielen Lernstudien wird das übergeordnete Fachinteresse erhoben (Damerau 2012; Engeln 2004; Pawek 2009; Deutsches PISA-Konsortium 2001) und dessen Zusammenhang zu anderen Variablen untersucht. Entsprechend werden für dieses sachfachliche bilinguale Lehr-Lernarrangement die Fachinteressen Biologie und Englisch erhoben, deren Entwicklung sowie der Zusammenhang zu anderen Personenvariablen exploriert und auf mögliche Subgruppen-Unterschiede hin beforscht. Auch wird die Einschätzung des Fremdsprachengebrauchs in einigen Studien untersucht (Abendroth-Timmer 2004, 2007). Fremdsprachliche Veränderungen sind dabei eher langfristiger Natur (z.B. Dörnyei 2009), da sie mit Identifikationsprozessen bezüglich des Sachinhalts verknüpft sind. Auch scheint eine Untersuchung des durch den Fremdspracheneinsatz bedingten Druckempfindens bedeutsam (Rodenhauser 2016). Die Erhebung der Selbsteinschätzung der Lernenden zur Bedeutung der Rolle der Fremdsprache in der Forschung im Sinne einer weiteren Kenngröße naturwissenschaftlichen Unterrichts scheint in diesem Zusammenhang interessant. Fraglich ist allerdings, ob bezüglich der untersuchten Variablen Veränderungen nach einer einmaligen Unterrichtsintervention nachweisbar sind.

Forschungsfrage 10.1: Bewirkt ein eintägiger bilingual-englisch durchgeführter Schülerlabortag gegenüber einem monolingual durchgeführten Treatment eine Steigerung des fremdsprachlichen Fähigkeitsselbstkonzepts und eine Reduzierung des Druckempfindens? Welche Unterschiede ergeben sich bezüglich der identifizierten Lernertypen?

10.2: Wird der Fremdsprachengebrauch als authentisches Merkmal naturwissenschaftlicher Forschung angesehen? Wird die Einschätzung der Bedeutung der Fremdsprache in der naturwissenschaftlichen Forschung durch das Treatment oder die identifizierten Personenvariablen zum Lernertyp beeinflusst?

Der Einsatz metakognitiver Strategien verknüpft fremdsprachliches Lernen mit der Wissenskonstruktion. Metakognitive Strategien sind als Bestandteil der Lesekompetenz für das Verstehen und Bearbeiten der englischsprachigen Materialien bedeutsam. Viele Studien explorieren den Zusammenhang von erfolgreichem Strategieeinsatz und Lese- und Lernkompetenz (Artelt et al. 2001; DESI-Konsortium 2008; Klieme et al. 2010;) jedoch wird häufig ein geringer oder unklarer

Zusammenhang zwischen ermittelten (Lese)-Strategien und Lernerfolg berichtet (Artelt et al. 2009; Baumert 1993). Dabei werden die metakognitiven Strategien einerseits als stabil angesehen, weil sie auf einer mehr oder weniger breiten Wissensbasis adäquater Strategien basieren, die in früheren Lese- und Verstehenserfahrungen ausgebildet und gefestigt wurden (Artelt et al. 2009). Andererseits werden sie insofern als situiert und variabel angesehen, als sie von der Erfahrung, der konkreten Lernanforderung, der Motivation und den Emotionen abhängig sind (Artelt et al. 2009). Entsprechend sind die Forschungsfragen zu den metakognitiven Strategien wie folgt formuliert:

Forschungsfrage 11.1: Lassen sich Zusammenhänge der metakognitiven Strategien zum kognitiven Wissenstest bzw. zum fremdsprachlichen Sprachtest bestätigen?

11.2: Welchen Einfluss haben Treatment und Dispositionen auf die Ausprägung und Entwicklung der metakognitiven Strategien?

Um die affektive Wirksamkeit des bilingual-englisch durchgeführten Schülerlabortages im Überblick zu betrachten (vgl. Abbildung 41), werden die Zusammenhänge zwischen biologisch und fremdsprachlich ausgerichteten Variablen untersucht, die Theoriebasiert abgeleitet werden können und in anderen Studien belegt wurden. Sie werden auf ihre Gültigkeit hin überprüft.

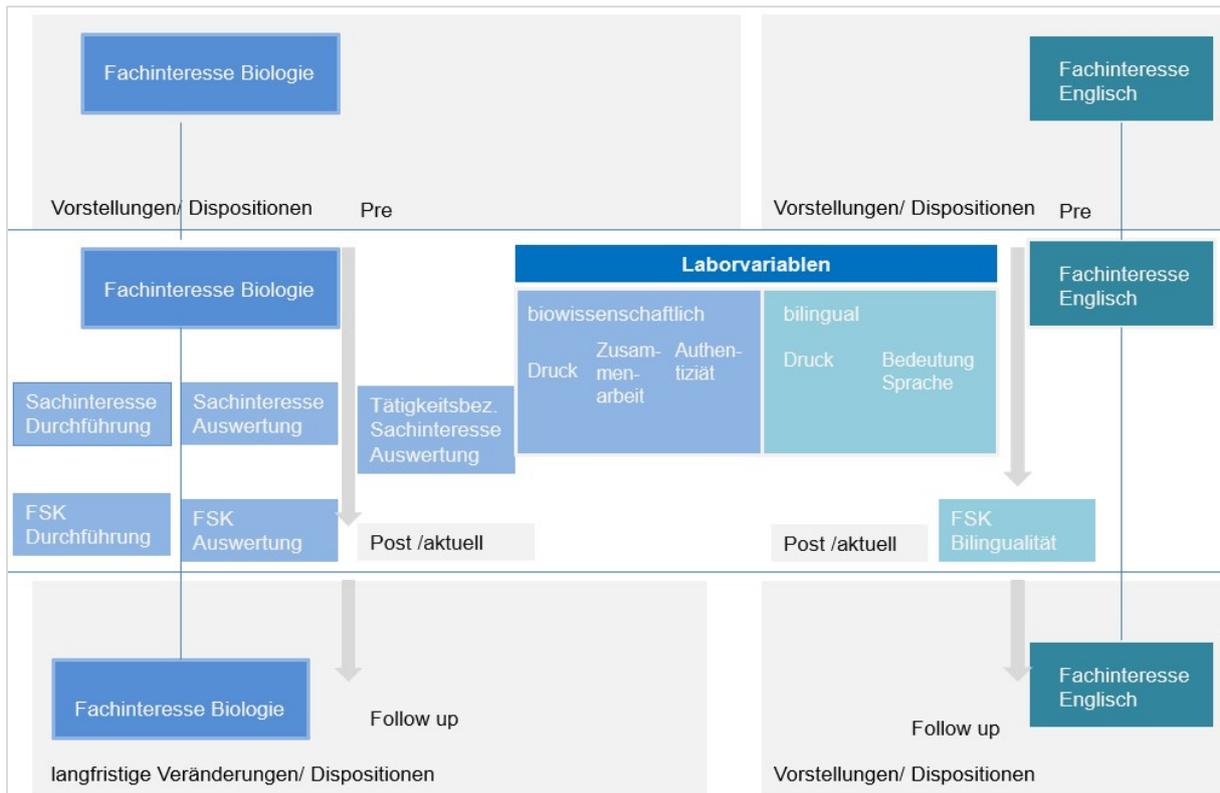


Abbildung 41: Beziehungsgeflecht affektiver Wirksamkeit des bilingual-englisch durchgeführten experimentellen Lehr-Lernarrangements

Im Mittelpunkt des in Abbildung 41 dargestellten Beziehungsgeflechts zum bilingualen Schülerlabortag stehen die am Labortag selbst erhobenen affektiven Konstrukte des Posttests. Alle am Posttest erhobenen und hier dargestellten affektiven Variablen wurden ebenfalls im Pretest vor dem Laborbesuch erhoben und werden in Abbildung 41 als Vorstellungen bzw. Dispositionen zusammengefasst abgebildet. Entsprechend werden sie im Follow-up-Test als langfristig beobachtbare Ausprägungen bzw. Dispositionen wiederum zusammenfassend dargestellt. Für die biologische und fremdsprachliche Wirksamkeit wird gemäß dem Referenzrahmenmodell und dem erweiterten Selbstkonzeptmodell nach Marsh et al. (1988; Marsh 1986) angenommen, dass es sich hinsichtlich der fremdsprachlichen und biowissenschaftlichen Wirksamkeit um zwei unterschiedlichen Domänen zugehörige Konzepte handelt, die nicht miteinander korrelieren.

Ein wichtiges Element des Beziehungsgeflechts bildet die Wahrnehmung des Schülerlabortages selbst, repräsentiert durch die naturwissenschaftlich ausgerichteten Laborvariablen Druckempfinden, eingeschätzte Zusammenarbeit und Authentizität und die fremdsprachlich ausgerichteten Laborvariablen Druckempfinden Bilingualität und die eingeschätzte Bedeutung der Fremdsprache in der Forschung. Dabei belegen

andere Studien (z.B. Damerau 2012; Pawek 2009), dass ein Zusammenhang zwischen den Dispositionen einer Person, z.B. deren Fachinteresse Biologie und deren experimentbezogenen Sachinteressen und der Wahrnehmung des Schülerlabors bestehen. In Analogie kann ein vergleichbarer Zusammenhang für die fremdsprachlichen Variablen angenommen werden. Auch wird aufgrund der Personen-Gegenstands-Theorie (z.B. Krapp 1998) angenommen, dass die vertiefte Auseinandersetzung mit dem Sachgegenstand und ein gestiegenes Fähigkeitsselbstkonzept auf ein hohes Sachinteresse zurückzuführen sind. Aus der Theorie abgeleitet wird entsprechend formuliert:

Forschungsfrage 12: Welcher Zusammenhang besteht innerhalb der biologischen und bilingualen Variablen am Schülerlabortag?

In dieser Studie kommt weiterhin das *Concept Mapping* zur Prognose der qualitativen und quantitativen Wissenskonstruktion zum Einsatz. Wie bereits geschildert (Kap. 1.2.2.5), ist in den Naturwissenschaften die Lernförderlichkeit von *Concept Maps* belegt (z.B. Haugwitz und Sandmann 2009). Unabhängig vom Thema der Lerninhalte wurden vergleichbare Ergebnisse für alle Altersstufen ermittelt (Graf 2009). Im bilingualen Kontext liegen bislang keine Studien zur Wissenskonstruktion und zum Sprachlernen mittels *Concept Maps* vor.

Mehrfach ist auch belegt, dass *Concept Maps*, kooperativ erstellt, zu erfolgversprechenderen Ergebnissen führt als die Erstellung in Einzelarbeit (z.B. Okebukola und Jegede 1988). Eine hohe Korrelation zwischen der Anzahl der vorgenommenen Fachaussagen und der Qualität der erstellten *Concept Maps* belegt die Bedeutung der Gruppendiskussion (z.B. Händel und Sandmann 2013). Damit Fachinhalte sinnvoll und umfassend dargestellt werden können, wird zudem ein inhaltliches Grundverständnis angenommen. Die Qualität und Quantität von *Concept Maps* werden häufig anhand grafentheoretischer Maße der *Concept Maps* erhoben (vgl. Graf 2009, 2014). Für die Ermittlung der Qualität der Zusammenarbeit bedarf es zusätzlich der Auswertung von Video- oder Audioaufnahmen, die beispielsweise anhand des Vorkommens von für die Konsensausaushandlung typischen Dialogmustern (vgl. Kap 1.2.2.5) ermittelt wird. Auch wird wiederholt die Fachsprachlichkeit anhand von Diskursfunktionen untersucht.

Forschungsfrage 13: Wird die fachsprachliche Kommunikation intensiviert? (Nebenstudien)

13.1: Bewirkt ein eintägiger bilingual-englisch durchgeführter Schülerlabortag eine Erhöhung des sachfachlichen Wissens, die qualitativ in Form der erstellten Concept Maps beobachtet wird?

13.2: In welcher Art und Weise wird in den dazugehörigen mündlich geäußerten Aushandlungsgesprächen diskutiert? Welche Veränderungen ergeben sich im Vergleich vom Pre- zum Posttest?

13.3: Lassen sich in den Aushandlungsgesprächen und der Abschlusspräsentation in englischer Sprache Diskursfunktionen und andere sprachliche Merkmale nachweisen?

13.4: Welchen Einfluss hat ein bilingual-englisch durchgeführter Labortag auf die sachfachliche Kommunikation in deutscher Sprache?

Abschließend wird die Einordnung des Schülerlabortages in den schulischen Unterricht untersucht. Die Neurobiologie stellt ein obligatorisches Inhaltsfeld der Qualifikationsphase im Fach Biologie dar. Es gilt als für Lernende schwierig eingeschätztes Teilgebiet der Biologie, welches zudem wenig Möglichkeit zum Experimentieren bietet. Sein Stellenwert in den Vorgaben zum Abitur in NRW war verglichen mit den anderen Inhaltsfeldern der Qualifikation gering (MSW NRW 2013b). Entsprechend soll die Einordnung des außerschulischen experimentalen Lehr-Lernarrangements zur Thematik der Neurobiologie folgendermaßen untersucht werden.

Forschungsfrage 14 (Lehrkräftebefragung): 14.1: Welchen Grund für die Teilnahme am Schülerlabortag führen die Lehrpersonen an?

14.2: Wie ist der Schülerlabortag „The Brain – A Living Network“ in den Unterricht eingebettet?

2 MATERIAL UND METHODEN

Im Rahmen dieses Kapitels werden die Stichprobenzusammensetzung, das Versuchsdesign, die eingesetzten Messinstrumente, die evaluierten Laborkurse sowie die Vorgehensweise bei Dateneingabe und Auswertung beschrieben.

2.1 Beschreibung der Stichprobenzusammensetzung

Die vorliegende Untersuchung gliedert sich klassisch in eine Machbarkeits-, Pilot- und Hauptstudie (vgl. Kapitel 2.2). Neben den in der Hauptstudie untersuchten Aspekten werden Untersuchungsgegenstände aus drei Nebenstudien berichtet. Auch werden Lehrkräftebefragungen Gegenstand der Erörterung sein. Das hier verwirklichte Forschungsvorhaben als quasiexperimentelle Untersuchung folgt der Vorgehensweise in vergleichbaren Studien (Brandt 2005; Damerau 2012; Rodenhauer 2016; Scharfenberg 2005). Die untersuchten Stichproben stellen als natürlich gewachsene Schulklassen vorgruppierte Teilmengen der Grundgesamtheit, also *Klumpenstichproben* oder *Cluster* dar (Raab-Steiner und Benesch 2012). Zusätzlich zur Schülerbefragung erfolgt eine Lehrkräftebefragung zum Schülerlaborbesuch.

2.1.1 Stichprobe der Hauptstudie

Die Ermittlung der Gesamtzahl an der Hauptstudie teilnehmender Schülerinnen und Schüler geschieht über die Erfassung der teilnehmenden Lernenden minus der Stichprobenmortalität aufgrund der Datenerhebung an drei Messzeitpunkten. Die Stichprobenmortalität betrug in dieser Studie 29%. Die resultierende Stichprobe der Hauptstudie setzte sich aus insgesamt 218 Lernenden der Oberstufe mit einem Durchschnittsalter von 17,5 Jahren zusammen, die an insgesamt 15 Schülerlabortagen teilnahmen. Davon gehörten 154 Lernende (70,6%) der Oberstufe des Gymnasiums, 16 Schülerinnen und Schüler (7,3%) der Gesamtschule und 48 Lernende (22%) dem gymnasialen Zweig des Berufskollegs an (vgl. Tabelle 11). Der Qualifikationsphase gehörten mit 94% die große Mehrheit der Lernenden an (207 von 218 SuS, vgl. Tabelle 11). Zudem nahm eine Lerngruppe der Einführungsphase eines Gymnasiums mit bilingualem Zweig teil (6% der Gesamtstichprobe). Die Gesamtstichprobe bestand aus 135 Schülerinnen und 83 Schülern (Tabelle 11), was ein Geschlechterverhältnis von 61,9% zu 38,1% ausmachte. Eine recht vergleichbare Geschlechterverteilung ist in der englischen Treatmentgruppe zu beobachten (88 weibliche und 72 männliche Lernende, 57,6% zu 42,4%). In der Gesamtstichprobe

gehörten 163 Lernende (74,8%) einem Biologie LK und 52 Schülerinnen und Schüler (23,9%) dem GK an, wobei 3 Lernende keine Angaben machten. Die Zuordnung der Englischkurse ergab 31 Lernende für den LK und 117 Lernende für den GK, was einem prozentualen Verhältnis von 31% zu 53,7 % entsprach. Hier machten 70 Schülerinnen und Schüler oder 32,1% keine Angaben über ihre Kurszugehörigkeit (Tabelle 13).

Tabelle 11: Verteilung der Schulformen bezogen auf die Gesamtstichprobe (N= 218)

Schulform	Anzahl SuS (N)
Berufsbildende Schule	48
Gesamtschule	16
Gymnasium	154

Tabelle 12: Verteilung der Jahrgänge und des Geschlechts in den verschiedenen Gruppen (EF= Einführungsphase, Q1 + Q2= Jahrgänge der Qualifikationsphase)

Jahrgangsstufe	Treatment englisch	Treatment deutsch	gesamt
EF	11		11
Q1 oder Klasse 12	77		77
Q2 oder Klasse 13	82	48	130
Geschlecht			
weiblich	98	37	135
männlich	72	11	83

Tabelle 13: Verteilung der Leistungskurse und Grundkurse bezüglich der Fächer Biologie und Englisch der Gesamtstichprobe (Leistungskurs= LK, oder Grundkurs = GK)

Form des Biologieunterrichts	N	Form des Englischunterrichts	N
LK	163	LK	31
GK	52	GK	117
keine Angaben	3	keine Angaben	70

In Tabelle 14 ist die Verteilung hinsichtlich der letzten Biologie- und Englischnote zusammengestellt. Bezüglich der Englischnote ist die Verteilung der Noten in beiden Treatments ungefähr gleich. Während im deutschen Treatment 10% der Lernenden die Note 1 haben, sind es im englischen Treatment 12,5 %. Die Verteilung für die Noten 2 und 3 ist recht gleichartig (englisches Treatment Note 2=35,3%, 3=37,6%; deutsches

Treatment Note 2=31,3%, 3= 31,3%). Bezüglich der Noten 4 und 5 zeigen sich wiederum leichte Unterschiede: Während in der englischen Treatmentgruppe die Note 4 von 14.2% und die Note 5 von 3,4 % der Lernenden angegeben wird, sind es in der deutschen Gruppe 21,7 % der Lernenden, die eine 4 als Englischnote angaben.

Bezüglich der Biologienote zeigten sich größere Unterschiede: Insgesamt waren die Lernenden im englischen Treatment tendenziell besser; es hatten beispielsweise 15.3% die Note 1 und 40% die Note 2 gegenüber 6,3% mit der Note 1 und 22,9% mit der Note 2 in der deutschen Treatmentgruppe. Bezüglich der Noten 3 und 4 zeigte sich eine vergleichbar verschobene Notentendenz (englisches Treatment 3=34,1%, 4=10,6%, deutsches Treatment Note 3=52,1%, 4=18,8%).

Tabelle 14: Verteilung der Biologie- und Englischnote in der Gesamtstichprobe (Stichprobengröße N=218)

Biologie - note	Treatment englisch	Treatment deutsch	gesamt	Englisch-note	Treatment englisch	Treatment deutsch	N
1	26	3	29	1	17	6	23
2	68	11	79	2	60	15	75
3	58	25	83	3	64	15	79
4	18	9	27	4	24	10	34
5	0	0	0	5	4	0	4
6	0	0	0	ohne Angabe	1	2	3

In der Stichprobe der Hauptstudie hatte der überwiegende Teil der Lernenden bislang keine schulischen bilingualen Erfahrungen gemacht: 143 von 218 Schülerinnen und Schüler bezogen auf die Gesamtstichprobe bzw. 108 von 170 Lernenden des englischen Treatments waren ohne bilinguale Vorbildung (vgl. Tabelle 15). In Tabelle 16 ist spezifiziert, in welcher Organisationsform und in welchem Umfang die schulische bilinguale Vorbildung erfolgte. Die große Mehrheit von 65,6% oder 143 Lernenden erlebte bislang kein bilinguales Lernangebot. Demgegenüber waren 20,6% der Gesamtstichprobe bzw. 45 Lernende eines bilingualen Zweiges. Weitere 19 Lernende oder 8,7% hatten bilingualen Unterricht in Form von Modulen erfahren. Weitere 0,9% gaben eine andere als die genannte Organisationsform bilingualen Unterrichts an und

neun Lernende (4,1%) machten keine Angaben. Die relative Verteilung der bilingualen Vorerfahrungen war in der englischen Teilgruppe sehr vergleichbar.

Tabelle 15: Bilinguale Vorerfahrungen in verschiedenen Gruppen und in der Gesamtstichprobe (N=218)

	Treatment englisch	Treatment deutsch	gesamt
keine bilinguale Vorerfahrung	108	35	143
bilinguale Vorerfahrung	61	13	74
fehlende Angaben	1	2	2

Tabelle 16: Organisationsform und Dauer des schulischen bilingualen Angebots im Vergleich der Gruppen und in der Gesamtstichprobe (N=218)

Organisationsform des schulischen bilingualen Angebots	Treatment englisch	Treatment deutsch	gesamt
kein Angebot	108	35	143
Bilingualer Zweig	35	10	45
Modul	19	0	19
anders	2	0	2
fehlende Einträge	6	3	9
Dauer des schulischen bilingualen Angebots	Treatment englisch	Treatment deutsch	gesamt
kein Angebot	111	35	146
wenige Stunden	9	1	10
1 Halbjahr	18	8	26
1 Jahr	6	0	6
länger als 1 Jahr	24	4	28
kein Eintrag	2	0	2

Tabelle 17 schlüsselt die bilingualen Sachfächer beziehungsweise die Fächerkombinationen auf. Für das englische Treatment betrachtet hatten 34 Schülerinnen und Schüler bilinguale Lernerfahrungen in den Fächern Geografie, Geschichte oder Biologie gemacht, wohingegen insgesamt 27 Lernende bilinguale Vorerfahrungen in drei Sachfächern unterschiedlicher Kombination machten.

Tabelle 17: Verteilung der bilingualen Sachfächer in den Gruppen und in der Gesamtstichprobe

bilinguales Sachfach/ Kombination bilinguale Sachfächer	Treatment englisch	Treatment deutsch	N
kein bilinguales Sachfach	108	35	143
Geografie	16	0	16
Geschichte	11	0	11
Biologie	7	11	16
Biologie, Geschichte, Politik	16	0	16
Biologie, Geschichte, Geografie	3	0	3
Geschichte, Politik, Geografie	6	4	10
keine Angaben	3	0	3

Die Verteilung der Muttersprache ist in Tabelle 18 dargestellt. Die Gesamtstichprobe wies mit 181 Lernenden 83% aus, für die Deutsch die Muttersprache war. 13 Schülerinnen und Schüler oder 6% gaben Türkisch und 2,8% Russisch als ihre Muttersprache an. Weitere 7,8% Lernende gaben andere Sprachen als die oben genannten als ihre Muttersprache an. Auch hier war die relative Verteilung der Muttersprachen in der englischen Treatmentgruppe sehr ähnlich zu der der Gesamtstichprobe.

Tabelle 18: Verteilung der Muttersprache in den verschiedenen Gruppen und der Gesamtstichprobe

	Treatment englisch	Treatment deutsch	gesamt
Deutsch	136	45	181
Englisch	1	0	1
Türkisch	11	2	13
Russisch	6	0	6
andere	16	1	17

Teilstichprobe für die Erhebung des Flow-Erlebens

Für die Erhebung des Flow-Erlebens ist eine Teilstichprobe von 97 Schülerinnen und Schülern gebildet worden, von denen die vier Kurzfragebogen zu allen Versuchen des Labortages vorlagen. Die Zusammensetzung dieser Teilstichprobe ist in Tabelle 19

dargestellt. Die Verteilung bezüglich der Treatments und des Geschlechts repräsentiert sehr gut die Verteilung der Gesamtstichprobe.

Tabelle 19: Stichprobenzusammensetzung der im Rahmen des *Flow*-Erlebens aufgezeichneten und den Fragebögen zugeordneten Daten (N= 97)

Treatment		Geschlecht		Schulform		
deutsch	englisch	männlich	weiblich	BBS	GES	GYM
21	76	32	65	21	5	71

2.1.2 Stichproben der Nebenstudien

In die Datenauswertung werden Daten einbezogen, die in den englischsprachigen Laborkursen in drei Nebenstudien parallel zur Fragebogenerhebung ermittelt wurden. Studien I und II umfassten dabei sowohl Laborkurse aus der Vor- und der Hauptstudie. Studie III wird in einem Laborkurs vorgenommen, der auch im Rahmen der Hauptstudie beforscht wurde. Die Nebenstudien wurden ebenfalls quasiexperimentell durchgeführt, jedoch im Pre- und Post-Design.

Studie I: Fachsprachliche Kommunikation in englischer Sprache (Odenthal 2015)

Odenthal (2015) erhob im Rahmen ihrer Studie zur fachsprachlichen Kommunikation in englischer Sprache Daten zum *Concept Mapping*. Zeitlich in der Phase der Neben- und Hauptstudie gelegen wurden anhand von sieben bilingual englisch durchgeführten Schülerlabortagen mit insgesamt 130 Schülerinnen und Schülern Begriffsnetze als Pre- und Post-Ergebnis untersucht, von denen fünf Laborkurse zum Zeitpunkt der Vor- und zwei Laborkurse zum Zeitpunkt der Hauptstudie stattfanden. Die Erhebung der Begriffsnetze geschah parallel zur Fragebogenerhebung. Die Stichprobe verringerte sich, weil eine komplette Datenlage bezüglich Pre- und Post-Maps zuzüglich zugehöriger Audioaufnahme nur in wenigen Gruppen gegeben war. Aus einer Gesamtstichprobe von 130 SuS konnten entsprechend von 18 Arbeitsgruppen und N=50 beteiligten Lernenden vollständige Datensätze als schriftlich vorliegende Begriffsnetze im Pre- und Post-Design sowie die zugehörigen Audiodateien analysiert und die Analysen der schriftlichen *Concept Maps* vorgestellt werden.

Tabelle 20: Stichprobenzusammensetzung der im Rahmen des Concept Mapping aufgezeichneten Daten (Pre- und Post-Design) in englischen Treatmentgruppen (N= 50 SuS)

Geschlecht		Schulform			Bilinguale Vorerfahrung		Biologie	
männlich	weiblich	BBS	GES	GYM	ja	nein	LK	GK
25	25	8	3	39	22	28	27	23

Außerdem wurden in der Studie von Odenthal (2015) Tonaufnahmen der Aushandlungsgespräche zur Entwicklung der *Concept Maps* untersucht. Exemplarisch werden in dieser Studie die Ergebnisse einer Analyse der Tonaufnahme dargestellt, die einer Arbeitsgruppe von drei Personen entstammten. Diese Lernenden eines Schülerlabortages der Hauptstudie entstammten einem Grundkurs Biologie eines Gymnasiums mit bilingualen Vorkenntnissen.

Studie II: Verwendung von Diskursfunktionen (Heidemann 2015)

Heidemann (2015) erhob in ihrer Studie zu Diskursfunktionen ebenfalls Daten, die parallel zur Fragebogenerhebung erfolgten. Aus einer Teilstichprobe von 169 SuS, die an insgesamt 10 englischsprachigen Laborkursen teilnahmen, entstammen sechs Labortage der Phase der Vorstudie und vier Kurse der Phase der Hauptstudie (Tabelle 21). Fünf der beobachteten Kurse sind darüber hinaus identisch mit denen in Studie I (Odenthal 2015) beobachteten Kursen. Da nur eine geringe Zahl an vollständigen Datensätzen zu allen drei Komponenten vorlag, wurden 45 Präsentationen, 19 Pre- und Post-*Maps* sowie 31 Tonaufnahmen ausgewertet. Es werden exemplarisch Analysen zweier Schülerlabortage der Hauptstudie dargestellt, die einem gymnasialen Grundkurs und einem gymnasialen Leistungskurs Biologie entstammen. Die beiden Lerngruppen wiesen mindestens halbjährliche bilinguale Vorerfahrungen auf.

Tabelle 21: Gesamtstichprobe Nebenstudie II (Heidemann 2015) aus der Phase der Vor- und Hauptstudie

Schulform		Jahrgang			Biologie		Bilinguale Vorerfahrung	
GES	GYM	EF	Q1	Q2	LK	GK	ja	nein
25	144	13	19	137	116	53	53	116

Studie III: Fachsprachliche Kommunikation in deutscher Sprache (Thum 2015)

Thums Studie zur Fachsprachlichkeit in deutscher Sprache (2015) bezieht sich auf einen englischen Schülerlabortag, der in der Phase der Hauptstudie stattgefunden hat. Aus einer Schülergruppe (N=18) wurden die Ergebnisse einer Arbeitsgruppe von 4 Personen analysiert. Es handelte sich um Lernende eines Bio LK eines Gymnasiums der Q1, die über bilinguale Vorerfahrung in Form eines einmalig durchgeführten bilingualen Moduls im Fach Erdkunde verfügten.

2.1.3 Stichprobe der Lehrkräftebefragung (begleitende Lehrkräfte)

Die Stichprobe der Lehrkräfte setzt sich aus den BeLL Bio Laborkurs begleitenden Lehrkräften zusammen (N=15, Durchschnittsalter =43,8), die alle weiblichen Geschlechts waren.

2.2 Versuchsdesign der Evaluierung

Nach erfolgter Beschreibung der Stichproben der Teilstudien werden in diesem Abschnitt die Struktur der Forschungsstudie sowie das Versuchsdesign der Hauptstudie, Nebenstudien und der Lehrkräftebefragung dargestellt.

2.2.1 Struktur der Studie

Das vorliegende Forschungsvorhaben ist klassisch in eine Phase der Machbarkeitsprüfung, der Pilotstudie und der Hauptstudie untergliedert (Kap. 2.2). In der Phase der Machbarkeitsstudie wurden der Schülerlabortag entwickelt und die Experimente zusammengestellt. Für zwei vorausgegangene Studien (Baron 2012; Gossmann 2012) war ein Neurobiologiekurs in anderer Realisierung durchgeführt worden. Für die vorliegende Studie wurde jedoch ein Kursus gänzlich neu konzipiert. Weiterhin wurde das Skript in englischer und deutscher Sprache entwickelt. Auch wurden am Schülerlabortag ausliegende Materialien erstellt. In der Phase der Machbarkeitsstudie wurde der Schülerlabortag mit vier Lerngruppen erprobt und Feedback der Schülerinnen und Schüler sowie der begleitenden Lehrkräfte eingeholt. Parallel wurden sukzessive die Messinstrumente theoriegeleitet entwickelt, dabei mit Experten diskutiert und schließlich erprobt.

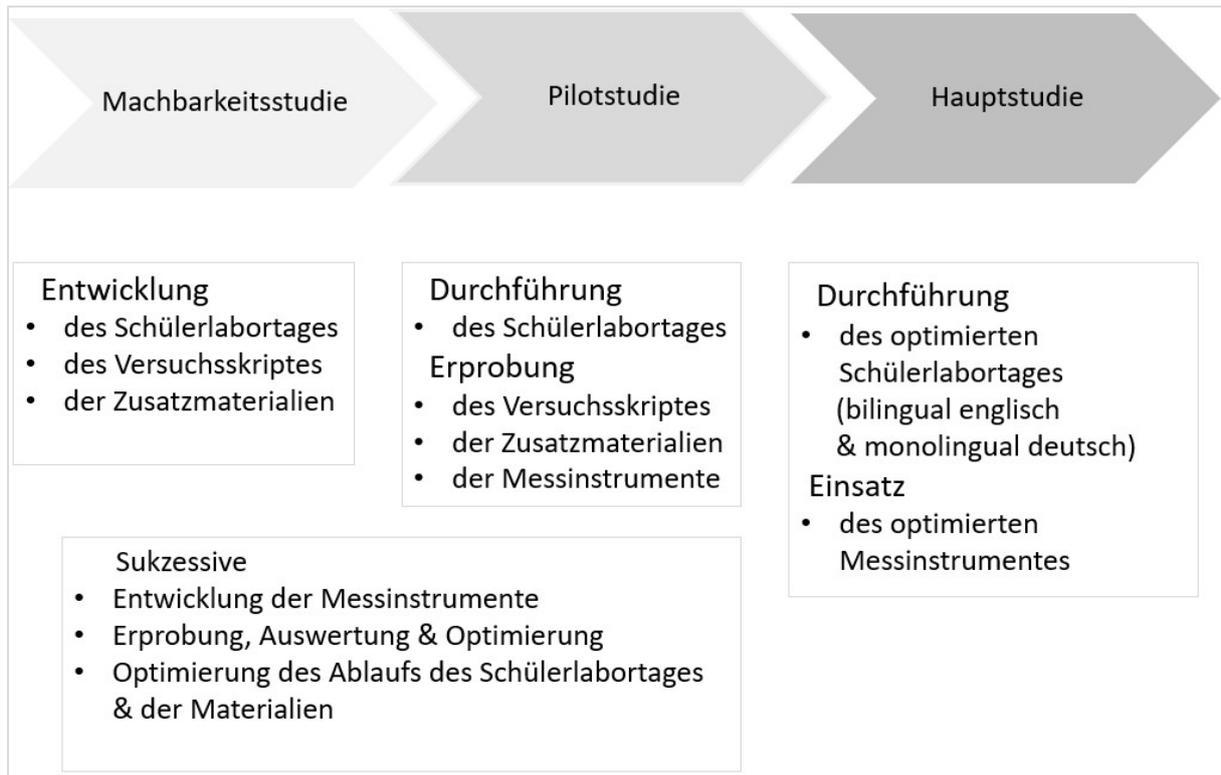


Abbildung 42: Aufbau der Studie

In der Phase der Pilotstudie wurde der Schülerlabortag in englisch- und deutschsprachigen Laborkursen im überarbeiteten Modus mit 11 Lerngruppen und ca. 260 Lernenden durchgeführt und die Messinstrumente zum Einsatz gebracht. Es schloss sich die Auswertung der in der Pilotphase erhobenen Daten an, dem sich eine Optimierung der Messinstrumente nach Austausch mit Experten anschloss. Auch wurden erneut Optimierungen am englischsprachigen Material vorgenommen.

In der folgenden Hauptphase wurde der Schülerlabortag zunächst prioritär als englischsprachiger Kurs durchgeführt. Schließlich wurde das optimierte deutschsprachige Kursmaterial erstellt und erprobt. Dieser Phase der Hauptstudie schloss sich die Eingabe der Daten mit einer Stichprobengröße von 218 Lernenden an.

2.2.2 Versuchsdesign der Hauptstudie

Die quasiexperimentell quantitativ durchgeführte Hauptstudie fand im Pre-, Post-, Follow-up-Design statt (vgl. Abbildung 43). Der dreimalig zum Einsatz kommende Test enthält neben Wissensfragen affektive Messinstrumente sowie einen englischsprachigen Cloze Test (vgl. Kapitel 2.3.1.2).

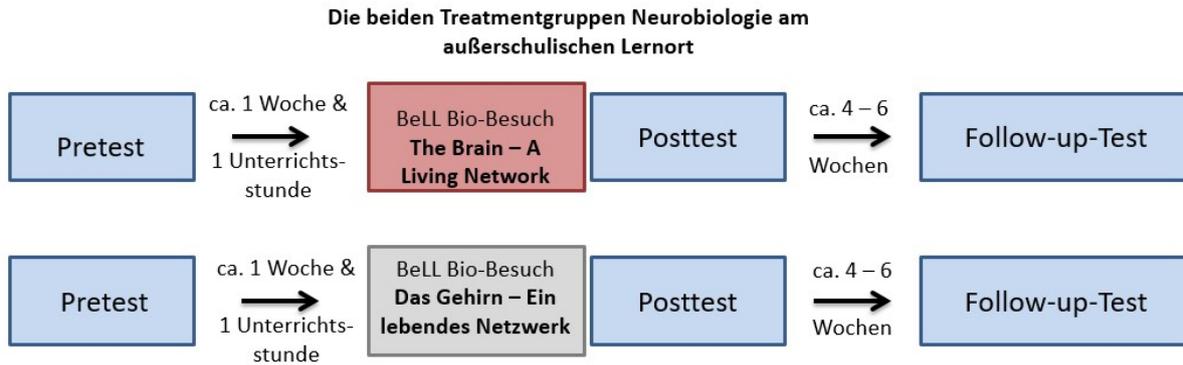


Abbildung 43: Versuchsdesign der Hauptstudie zum Labortag „The Brain – A Living Network“ (englisch bilingualer Labortag N= 170, deutschsprachiger Labortag N= 48)

Zwischen Pre- und Posttest erfolgte der Schülerlabortag (vgl. Abbildung 43). Für den Pre- und Follow-up-Test wurde die Lerngruppe in der Schule aufgesucht. Es wurde versucht, eine Woche zwischen Pretest und Schülerlabortag einzuhalten. Nach erfolgtem Pretest und Aushändigung des englisch- bzw. deutschsprachigen Versuchsskripts war eine mindestens einstündige schulische Vorbereitung des Labortages seitens der Lehrkraft eingeplant. Das Versuchsskript thematisiert neben den Versuchsanleitungen ebenfalls die zum Verständnis notwendigen theoretischen Hintergründe der Versuche. Im Anschluss an den Besuch des Schülerlabors BeLL Bio der Bergischen Universität Wuppertal wurde im Seminarraum der Posttest durchgeführt. Ca. vier bis sechs Wochen nach Laborbesuch erfolgte der Follow-up-Test, der identisch zum Pre- und Posttests ist, in der Schule.

2.2.3 Versuchsdesign der Nebenstudien

In dieser Studie wird auf Daten zurückgegriffen, die gemeinsam mit Odenthal (2015), Heidemann (2015) und Thum (2015) im BeLL Bio Kurs erhoben wurden. Qualitativ erhobene Daten sachfachlichen und sprachlichen Lernens ergänzen die in der Hauptstudie erhobenen Befunde.

Dabei fand in der Nebenstudie I (Odenthal 2015) eine Datenerhebung von Begriffsnetzen (*Concept Maps*) in englischer Sprache vor und nach einem bilingualen Schülerlabortag statt (Abbildung 44). Die *Pre-Map* stellte die Basis für die in Arbeitsgruppen von durchschnittlich drei Lernenden generierte *Post-Map* dar. Gleichzeitig wurde das Gespräch über die Erstellung von *Pre-Map* und *Post-Map* von den Lernenden aufgenommen und auf Konversationsformen hin untersucht.

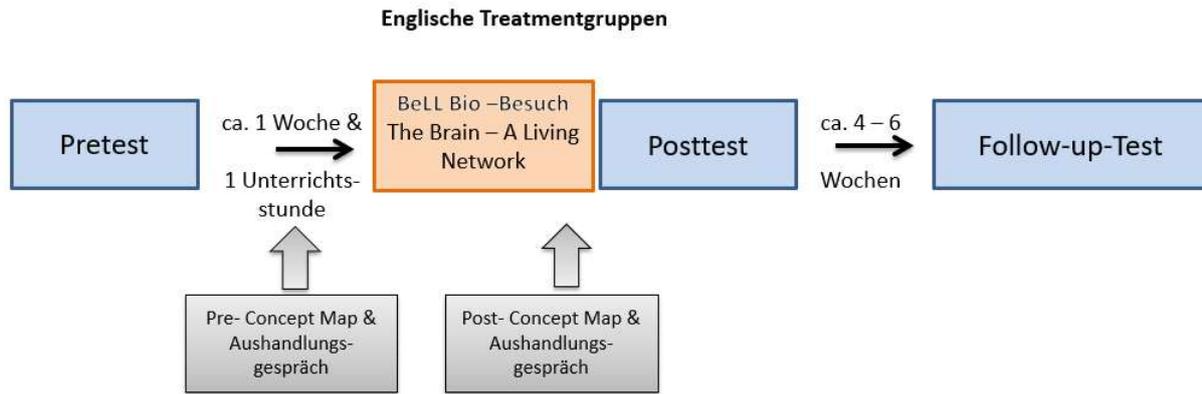


Abbildung 44: Versuchsdesign der Nebenstudien von Odenthal (2015) in der Phase der Vor- und Hauptstudie und Thum (2015) in der Phase der Hauptstudie

Nebenstudie II (Heidemann 2015) erhob die Sprachlichkeit anhand benutzter Diskursfunktionen in englischer Sprache. Dazu wurden die am Ende des Labortages von je einer Arbeitsgruppe vorgetragenen finalen Präsentationen sowie die Aushandlungsgespräche der Pre- und Post-Maps sprachlich hinsichtlich des Auftretens von Diskursfunktionen analysiert (vgl. Abbildung 45).

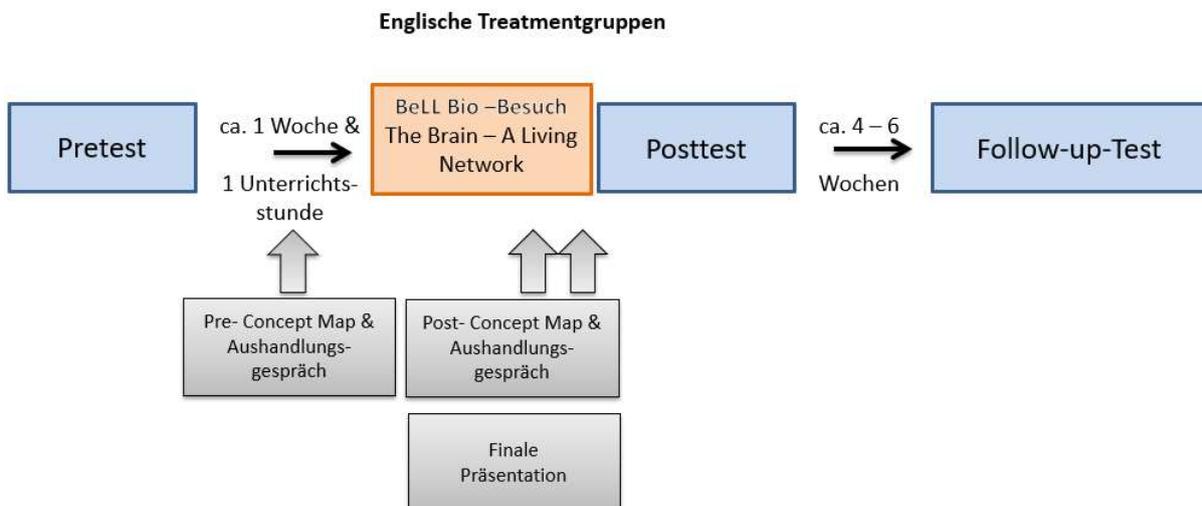


Abbildung 45: Versuchsdesign der Nebenstudie von Heidemann (2015) in der Phase der Vor- und Hauptstudie

In Nebenstudie III (Thum 2015) erfolgte in einem englischsprachigen Labortag die Exploration der Fachsprachlichkeit in den Aushandlungsgesprächen zur *Concept Map*-Entwicklung in deutscher Sprache vor und nach besuchtem Schülerlabortag. Das Versuchsdesign entspricht dem von Odenthal (2015), jedoch ist die in deutscher Sprache realisierte Fachsprachlichkeit Untersuchungsgegenstand (vgl. Abbildung 44). Zudem liegt der Erhebungszeitpunkt in der Phase der Hauptstudie.

2.2.4 Versuchsdesign der Lehrkräftebefragung

Im Gegensatz zu den anderen Versuchsdesigns findet die Lehrkräftebefragung einmalig nach durchgeführten Schülerlabortagen statt.

2.3 Messinstrumente der Evaluierung

In diesem Abschnitt werden die Qualitätsmerkmale und Inhalte der in der Hauptstudie und den Nebenstudien sowie den Lehrkräftebefragungen eingesetzten Messinstrumente vorgestellt.

Qualitätsmerkmale der Messinstrumente

Die Güte der in der Unterrichtsforschung als Messinstrumente eingesetzten Wissenstests, Einstellungsskalen oder andersartigen Tests wird durch die Hauptgütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität belegt (Sedlmeier und Renkewitz 2013).

Objektivität in Durchführung, Auswertung und Interpretation bedeutet, dass verschiedene Testleiter beim Einsatz eines Tests für eine Stichprobe zu denselben Ergebnissen gelangen. Die Messinstrumente sind aufgrund der vorgegebenen Antwortoptionen im Wissenstest bzw. der eindeutig ablesbaren Zustimmung in den Likert-Skalen objektiv konstruiert (Sedlmeier und Renkewitz 2013). Die Auswertungsobjektivität wird durch ein standardisiertes Auswertungsverfahren erzielt und in einem späteren Abschnitt dargelegt (Kapitel 2.5).

Reliabilität, bzw. Zuverlässigkeit oder Genauigkeit der Messung, bezeichnet den Grad der Sicherheit, mit dem ein bestimmtes Persönlichkeits- oder Verhaltensmerkmal gemessen werden kann (Sedlmeier und Renkewitz 2013). Der Grad der Reliabilität wird durch einen Reliabilitätskoeffizienten ermittelt und in dieser Arbeit als Cronbachs α errechnet. Items, die die Reliabilität deutlich verschlechtern, werden eliminiert. Die Ergebnisse der Reliabilitätsermittlung bzw. der Reliabilitätsoptimierung werden im folgenden Abschnitt für die kognitiven und affektiven Messinstrumente ausgewiesen (Kapitel 2.3.1). Zuweilen gelten Werte ab Cronbachs α 0,7 als akzeptabel, solche ab 0,8 bis 0,9 als gut (Pospeschill 2010). In anderen Quellen werden Reliabilitäten von 0,7 oder 0,8 als gut bezeichnet (Field 2009). Auch werden Reliabilitätsquotienten von Cronbachs α 0,5 bei Messdimensionen mit kleinen Itemzahlen als reliabel angesehen (Schön 2007). Schecker (2014) betont demgegenüber, dass niedrige Alpha-Werte

weder zu schnell abschrecken, noch hohe α -Werte für sich als Beleg für fachdidaktisch gut konstruierte Tests, homogene Skalen oder für hohe Korrelation auf Itemebene angenommen werden sollten. Schnell et al. (2005) argumentieren ähnlich, wenn sie ausführen, dass in der Praxis meist noch weit niedrigere Koeffizienten akzeptiert werden.

Die Validität schließlich belegt, ob ein Messinstrument erhebt, was es messen soll und ob es bezüglich der drei Kriterien Inhalts-, Kriteriums- und Konstruktvalidität fundiert ist (Sedlmeier und Renkewitz 2013). Inhaltsvalidität impliziert die Sammlung aller oder möglichst vieler, das untersuchte Merkmal ausdrückender Items. Bei komplexeren Konstrukten ist dies nicht erreichbar. Zuweilen wird Inhaltsvalidität subjektiv durch das Urteil von Experten ausgesprochen (Sedlmeier und Renkewitz 2013). Kriteriumsvalidität wird erzielt, wenn Zusammenhänge zwischen Testwerten und sogenannten Kriterien hergestellt werden können, beispielsweise wenn ein Zusammenhang zwischen Wissenstestergebnissen und der Schulnote in Biologie und Englisch als Außenkriterium ermittelt werden. Curriculare Validität kann hergestellt werden, wenn die Aufgaben oder Inhalte bzw. Anforderungen mit KLP bzw. Richtlinien übereinstimmen. Demgegenüber kommt Konstruktvalidität zur Anwendung, wenn bei komplexeren Konstrukten wiederholt vielfältige Hypothesen bzw. Hypothesennetze durch Testwerte bestätigt werden (Bortz und Döring 2006; Sedlmeier und Renkewitz 2013)

Zum Teil kommen in dieser Studie bewährte Messinstrumente vergleichbarer Studien zum Einsatz, die daher als valide betrachtet werden (z.B. Damerau 2012; Rodenhauser 2016). Zum Teil werden neu entwickelte Messinstrumente genutzt, die aus der Theorie bzw. curricularen Forderungen abgeleitet wurden (vgl. Kap. 2.3.1.3). Der kognitive Wissenstest stellt ein neues Messinstrument dar, das den sachfachlichen Inhalt und Methoden des neurobiologischen Schülerlabortages umfasst sowie Anknüpfungspunkte zum geltenden Curriculum ermöglicht. Darüber hinaus weist der Wissenstest eine geringe, jedoch sehr signifikante Korrelation zur Biologienote auf ($r(217) = -0,195, p \leq 0,01$). Eine eher schwache Kriteriumsvalidität wird für andere Schülerlaborkurse ebenfalls berichtet, wenn Kursinhalte und Methoden über das in der Schule Unterrichtete hinausgehen (Damerau 2012). Angenommen wird jedoch, dass die Resultate zum Wissenstest Auskunft über die aktuelle und themenbezogene kognitive Leistungsfähigkeit der Probanden gibt.

2.3.1 Messinstrumente der Hauptstudie

Im Tabelle 22 sind die in der Hauptstudie eingesetzten Messinstrumente dargestellt.

Tabelle 22: Übersicht über die in der Hauptstudie eingesetzten Messinstrumente

Messzeitpunkt	Messinstrument
Pre,- Post- und Follow-up-Test Identische Komponenten zu allen Messzeitpunkten	<ul style="list-style-type: none"> • Personenbezogene Daten (Geschlecht, Geburtsdatum, Namenskürzel des Vornamens der Mutter) • Wissenstest • Cloze Test • Laborvariablen (Authentizität, Anspannung, Zusammenarbeit) • Experimentierkompetenz Subskala Durchführung (Sachinteresse Experimentieren, FSK Experimentieren) • Auswertungskompetenz (Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung, FSK Auswertung) • Bilinguales Handeln (Fachinteresse Biologie, Fachinteresse Englisch, FSK Bilingualität, Druckempfinden Bilingualität, Bedeutung Sprache) • Metakognitive Strategien des Leseverstehens
Während des Labortages	<ul style="list-style-type: none"> • Flow-Erleben
Weitere erhobene Komponenten	Personenbezogene Daten
Pretest	<ul style="list-style-type: none"> • Bilinguale Vorerfahrung (Länge, Organisationsform, bilinguale Sachfächer) • Biologie- und Englischnote • Muttersprache

2.3.1.1 Personenbezogene Daten

Zur Gewährleistung der Anonymität der Schülerinnen und Schüler wurden Geschlecht und Geburtsdatum erhoben und zusätzlich die ersten beiden Buchstaben des Muttervornamens, um eine eindeutige Zuordnung der Tests der drei Messzeitpunkte sicherzustellen.

2.3.1.2 Kognitive Daten

Als kognitive Tests kam in dieser Studie ein Wissenstest zum sachfachlichen Wissen in Biologie und ein Cloze Test zur Erfassung der fremdsprachlichen Lese- und Sprachkenntnisse zum Einsatz.

Wissenstest

Für die Ermittlung des Vorwissens, des Lernzuwachses und des langfristigen Behaltens wurde ein Wissenstest im Multiple-Choice-Format verwendet. Gegenstand des Wissenstests waren die im Laborkursus thematisierten neurobiologischen Inhalte und Methoden der durchgeführten Versuche (Herstellung mikroskopischer Präparate, Präparieren von Gehirn, Elektroenzephalografie, motorischer Lernversuch *Cup stacking*). Der aus 21 Aufgaben und 112 geschlossenen Items bestehende Wissenstest kam zu allen drei Messzeitpunkten in allen Treatmentgruppen in deutscher Sprache zum Einsatz, wobei die Reihenfolge der Items variiert wurde. In Abbildung 46 ist eine Aufgabe des Wissenstests exemplarisch abgebildet. Der Wissenstest wurde im sogenannten *Power Test* (Rost 2004) ohne Zeitdruck durchgeführt, da untersucht werden sollte, in welchem Maße die Schülerinnen und Schüler den Wissenstest korrekt beantworten konnten.

Bei selbst hergestellten Färbepreparaten von Pyramidenzellen

- sind Soma, Zellkern, Dendriten und Axone gut sichtbar und unterscheidbar.
- sind Soma und Zellkern sichtbar, Dendriten und Axone im Ansatz sichtbar, jedoch nicht unterscheidbar.
- sind Soma, Zellkern und Axon sichtbar.
- sind besonders die Dendriten und Axone sichtbar.

Abbildung 46: Eine Aufgabe mit zugehörigen Items aus dem Wissenstest

Lückentexttest (*Cloze Test*) zur Untersuchung der Schreib- und Lesefähigkeit im Englischen

Der Lückentext zur Thematik der Neurobiologie ist bezüglich des Schwierigkeitsgrades dem Niveau eines Oberstufentextes entsprechend aus einem gängigen Lehrwerk entnommen (Pickering 2006), umfasst 98 Wörter und ist gemäß eines C-Tests mit Lücken versehen. Nach dem ersten vollständigen Satz wurde im folgenden Text in jedem zweiten Wort die Hälfte der Buchstaben entfernt. Bei Wörtern mit ungerader Buchstabenzahl wurde ein Buchstabe mehr entfernt. Es entstanden 32 auszufüllende Lücken unterschiedlicher Größe, mit entsprechender Anzahl an Platzhaltern repräsentiert (32 Items).

The brain develops as a swelling at the front end of the spinal cord. In humans it
 weighs about 1.4 kg and is the most common organ known.
 The brain is largely composed of neurons, typically containing
 about 25 000 000 000 cells, each connected to as many as thousands

Abbildung 47: Cloze Test (Ausschnitt)

Um einen angemessenen Schwierigkeitsgrad zu bedingen, der auch Ungeübten das Ausfüllen des Cloze Tests ermöglicht, wurde eine angemessen große Anzahl von Items erzeugt. Die durch den ersten Wortteil vorgegebene Lösung und zu füllende Lücken umfasste unterschiedlich anspruchsvolle Begriffe, von basalen, hochfrequenten Worten der Alltagssprache und gebräuchlichen grammatischen Strukturen bis zu fachspezifischeren Begriffen und komplexeren Strukturen sowie idiomatischeren Wendungen und selteneren grammatischen Phänomenen, die mittels verschiedener Lese- und Sinnerschließungstechniken erschlossen und rekonstruiert wurden (vgl. DESI-Konsortium 2008).

2.3.1.3 Affektive Messinstrumente

In der Hauptstudie kamen verschiedene bereits in anderen Studien bewährte sowie neu entwickelte bzw. abgewandelte Messinstrumente zum Einsatz (z.B. Abendroth-Timmer 2004; Damerau 2012; DESI-Konsortium 2008; Rodenhauser 2016). Einige Konstrukte erfuhren eine Kürzung der Itemzahl, um eine Reduktion der Länge des aus verschiedenen Komponenten bestehenden Fragebogens inklusive des Wissenstests zu bewirken. Andere Items wurden umformuliert. Der Grad der Zustimmung aller Items des affektiven Messinstruments ist gemäß einer fünfstufigen Likert-Skala von „stimmt gar nicht“ (Codierung 0) bis „stimmt völlig“ (Codierung 4) normiert (vgl. Tabelle 23). Im Folgenden werden alle Konstrukte mit zugehörigen Items des affektiven Messinstruments vorgestellt und ihre Messzeitpunkte und Reliabilitäten angegeben. Als gestrichen dargestellt sind die nach der Reliabilitätsoptimierung gelöschten Items und die entsprechenden Werte für Cronbachs α unter Ausschluss der getilgten Items angegeben. Wie in Tabelle 23 dargestellt, wurden negativ codierte Items umcodiert, um sie gemeinsam mit den anderen Items auswerten zu können (Bühl 2014).

Tabelle 23: Codierungsschema der Likert-Skala vor und nach Umcodierung der gegenläufigen Items

Codierung der Likert-Skala		Codierung nach Umcodierung	
Stimmt gar nicht	= 0	Stimmt gar nicht	= 4
Stimmt wenig	= 1	Stimmt wenig	= 3
Stimmt teils teils	= 2	Stimmt teils teils	= 2
Stimmt ziemlich	= 3	Stimmt ziemlich	= 1
Stimmt völlig	= 4	Stimmt völlig	= 0

Die Skalen des affektiven Fragebogens werden im Weiteren überblicksmäßig vorgestellt. Alle Skalen wurden zu allen drei Messzeitpunkten erhoben. Dabei wurden die biowissenschaftlichen Variablen in 4 Skalen zusammengefasst. Es sind dies die Laborvariablen (Skala 1), die Experimentierkompetenz repräsentiert durch die Subskalen der Durchführungskompetenz (Skala 2), der Auswertungskompetenz (Skala 3) und des Flow-Erlebens (Skala 4). Als fremdsprachlich ausgerichtete affektive Daten wurden das bilinguale Handeln (Skala 5) und metakognitive Strategien (Skala 6) erhoben. Im Überblick sind die eingesetzten affektiven Skalen im Folgenden dargestellt:

I. Biowissenschaftliche Aspekte

1. **Laborvariablen - Einflussgrößen des Schülerlabors** (Authentizität, Druck, Zusammenarbeit)
2. **Experimentierkompetenz Subskala Durchführung- Selbstwirksamkeit** (Sachinteresse Experimentieren und FSK Durchführung.)
3. **Auswertungskompetenz – als kommunikativer Prozess** (SI Auswertung, FSK Auswertung, Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung)
4. **Flow-Erleben** (Flow-Erleben Kennwerte)

II. Fremdsprachliche Aspekte

5. **Bilinguales Handeln im Sachfachlichen Kontext** (Fachinteresse Englisch, Fachinteresse Biologie, FSK Bilingualität, Druck Bilingualität, Bedeutung Sprache)

6. **Metakognitive Strategien beim Lese- und Textverstehen**

2.3.1.3.1 Messinstrumente zur Erfassung biowissenschaftlicher Aspekte

Bei den nachfolgenden Darstellungen sind die Indices der Variablen mit „na“, „va“ und „ba“ bezeichnet, womit deren Einsatz im Vortest (Pre-), Nachtest (Post-) und Behaltenstest (Follow-up-Test) bezeichnet wird.

Skala 1 Laborvariablen

Als Einflussgrößen des Schülerlabors wurden verschiedene Laborvariablen identifiziert (z.B. Engeln 2004; Pawek 2009; Wilde et al. 2009). In dieser Studie wurden exemplarisch die Laborvariablen Authentizität, Druckempfinden und Zusammenarbeit erhoben.

Das Empfinden von Authentizität beim Schülerlaborbesuch wurde in zwei Items erhoben, die in Anlehnung an Damerau (2012) in reduzierter Itemanzahl eingesetzt wurden und ihren Ursprung in Brandt (2005) haben. Dieses Konstrukt wies eine gute Reliabilität zu allen Messzeitpunkten auf, die im Posttest z.B. ein Cronbachs α 0,867 zeigte.

Tabelle 24: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Laborvariable Authentizität der Hauptstudie. Die Indices „va“, „na“ und „ba“ weisen auf den Messzeitpunkt im Vor-, Nach- und Behaltenstest hin.

Variablenname	Item	Pre α	Post α	Follow up α
va12, na14, ba3	Ich möchte etwas darüber lernen, wie Wissenschaftler arbeiten.	0,740	0,867	0,794
va8, na8, ba19	Ich möchte ein Gefühl dafür bekommen, wie Forschung funktioniert.			
Item in Anlehnung an Damerau (2012) eingesetzt, Itemzahl auf 2 reduziert				

Exemplarisch wurde in dieser Studie ein Item zum Druckempfinden als Indikator der Laboratmosphäre eingesetzt, die wie in Damerau (2012) verwendet, hier jedoch in reduzierter Anzahl beforscht wurden. Für Einzelitems kann keine Reliabilität ausgewiesen werden.

Tabelle 25: Einzelitem Messdimension Druckempfinden

Variablenname	Item Druck/ Anspannung
va21, na18, ba14	Ich fühle mich bei der Laborarbeit angespannt.
Items nach Damerou (2012), Itemzahl auf 1 reduziert	

Für die Ermittlung der Zusammenarbeit im Labor wurden die in Tabelle 26 dargestellten Items in Anlehnung an Damerou (2012) eingesetzt, für die im Posttest eine akzeptable Reliabilität von Cronbachs α 0,521, im Pre- und Follow-up-Test jedoch mit einem Cronbachs α 0,381 bzw. 0,447 schwache Reliabilitätswerte erzielt wurden.

Tabelle 26: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Laborvariable Zusammenarbeit

Variablenname	Item	Pre α	Post α	Follow up α
va10, na10, ba30	Ich erkläre während der Experimente meinen Mitschülerinnen/ Mitschülern etwas oder mir wird etwas erklärt.	0,381	0,521	0,447
va27, na25, ba15	Ich arbeite während des Experimentierens gut mit meinen Mitschülerinnen und Mitschülern im Team zusammen.			
Items in Anlehnung an Damerou (2012), Itemzahl auf 2 Items reduziert				

Nachfolgend werden die experimentbezogenen Teilkompetenzen Durchführung und Auswertung vorgestellt, die im Schülerlabortag inhaltlich wie zeitlich bedeutsam sind.

Skala 2 Selbsteingeschätzte Experimentierkompetenz Subskala Durchführung

Die Skala Experimentierkompetenz hat entsprechend des Modells der Experimentierkompetenz von Schreiber et al. (2009, vgl. Kapitel 1.2.2.2.2) die Teilkompetenz Durchführung zum Gegenstand. Diese Skala wurde in der vorliegenden Studie mit je 2 Items zum Sachinteresse am Experimentieren (vgl. Tabelle 27) und zum Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung (vgl. Tabelle 28) erhoben, die in Anlehnung an bzw. genauso wie bei Damerou (2012) zum Einsatz kamen, für die zu allen Messzeitpunkten gute Reliabilitäten erzielt wurden, im Pretest beispielsweise ein Cronbachs α 0,769.

Tabelle 27: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Sachinteresse Experimentieren

Variablenname	Item	Pre α	Post α	Follow up α
va32, na31, ba19	Experimente selbst durchzuführen, finde ich wichtig.	0,769	0,680	0,689
va4, na4, ba20	Experimente durchzuführen, macht mir einfach Spaß.			
Items in Anlehnung Damerau (2012) eingesetzt				

Das Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung bezeichnet die subjektiv wahrgenommene Kompetenz der Durchführung von Experimenten. Die ermittelte Reliabilität für dieses Konstrukt lag zu allen Messzeitpunkten im akzeptablen Bereich und zum Pretest mit Cronbachs α 0,613 am höchsten.

Tabelle 28: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension des experimentbezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts Durchführung

Variablenname	Item	Pre α	Post α	Follow up α
va17, na28, ba21	Für die Durchführung von Experimenten habe ich kein Händchen.	0,613	0,568	0,545
va25, na23, ba33	Im Umgang mit Laborgeräten bin ich gut.			
Items wie bei Damerau (2012)				

Skala 3 Selbsteingeschätzte Auswertungskompetenz

Mit dieser Skala wird die Auswertungskompetenz als Subskala der Experimentierkompetenz exploriert. Sie ist ebenfalls durch das Modell der Experimentierkompetenz von Schreiber et al. (2009) abgebildet. Die Auswertungskompetenz wurde in dieser Studie als kommunikativer Prozess untersucht und in drei Messdimensionen aufgegliedert: Das Sachinteresse Auswertung wurde mittels eines Einzelitems abgebildet (vgl. Tabelle 29), das Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung in acht Items repräsentiert (vgl. Tabelle 30) und ein tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung mittels vier Items (Tabelle 31) untersucht. Das Einzelitem zum Sachinteresse Auswertung wurde dabei in Anlehnung an andere Sachinteresse- Items entwickelt und hat die entsprechende Subskala der Experimentierkompetenz zum Gegenstand.

Tabelle 29: Item der Messdimension Sachinteresse Auswertung

Variablenname	Items
va1, na26, ba2	Die Auswertung von Versuchen erscheint mir wichtig.
In Analogie zu anderen Sachinteresse-Items formuliert	

Die Dimension des Fähigkeitsselbstkonzepts Auswertung von Experimenten untersucht die subjektiv wahrgenommene Auswertungskompetenz in kommunikativer Ausrichtung, wie sie im kompetenzorientierten Kernlehrplan der Sekundarstufe II (MSW NRW 2008) gefordert wird. Es betont die Bedeutung des Experimentierens (in allen Subskalen) auch als die adressatengerechte Kommunikation über den Erkenntnisweg. Items va3 und va34 stellen den kritisch-konstruktiven, argumentativen Austausch sowie das Verteidigen durch argumentative Belege heraus (vgl. Kompetenzerwartung K4 Argumentation, MSW NRW 2008, S. 29). Die Items va31, va14 und va24 stellen vergleichbar der Kompetenzerwartung K2 Recherche (MSW NRW 2008), die argumentative Verweisstruktur in den Mittelpunkt, indem Bezüge zwischen Theorie und Praxis, zum Vorwissen beziehungsweise Grundlagentexten hergestellt und relevante Aspekte herausgefiltert werden. Kommunikation als fachlich korrekte und klare Äußerung verknüpft die Kompetenzerwartung zur Dokumentation (K1 Dokumentation), zielt somit sowohl auf Entwicklung von CALP ab als auch auf die sachfachlich übliche Darstellungsweise und wird über die Items va11 und va28 abgebildet. Die Items fokussieren entsprechend einmal auf die mündliche und einmal auf die schriftliche Form der Darstellung. Item va9 stellt eine allgemeine Selbsteinschätzung zur Skala dar und ist aus vergleichbaren Skalen abgeleitet (z.B. Damerau 2012). Für das Fähigkeitsselbstkonzept wurde insgesamt eine gute Reliabilität ermittelt, wobei im Pretest mit Cronbachs α 0,778 der höchste Wert erzielt wurde.

Tabelle 30: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension des experimentbezogenen Fähigkeitsselbstkonzeptes Auswertung

Variablenname	Item	Pre α	Post α	Follow up α
va3, na16, ba34	Mich kritisch-konstruktiv über vorgestellte Versuchsergebnisse und Deutungen in der eingesetzten Arbeitssprache auszutauschen, fällt mir leicht.	0,778	0,730	0,724
va34, na33, ba7	Kritisch-konstruktiv vorgestellte Versuchsergebnisse zu verteidigen und			

	Deutungen mit Argumenten in der eingesetzten Unterrichtssprache zu belegen oder zu widerlegen, fällt mir nicht leicht.			
va31, na30, b8	Bezüge zwischen Versuchen oder Theorien und Versuchsergebnissen herzustellen, fällt mir leicht.			
va14, na34, ba36	Versuchsergebnisse ausführlich zu deuten und Bezüge zu relevanten Aspekten herzustellen, fällt mir schwer.			
va24, na21, ba35	Versuchsergebnisse auf mein Vorwissen, mir vorliegende Informationstexte und formulierte Erwartungen zu beziehen, fällt mir leicht.			
va11, na22, ba6	Versuchsergebnisse fachsprachlich korrekt und klar in der Kurssprache zu formulieren, fällt mir schwer.			
va28, na3, ba11	Versuchsergebnisse fachsprachlich korrekt und klar in der Arbeitssprache darzustellen, fällt mir leicht.			
va9, na 24, ba26	Die Auswertung von Versuchen fällt mir leicht.			
Item va3 bis va28 in Anlehnung an geforderte Kompetenzen in Kernlehrplänen Biologie Sek II (MSW NRW 2014) neu konstruiert Item va9 - in Anlehnung an Damerau (2012)				

Die Dimension des tätigkeitsbezogenen Interesses Auswertung basiert zum einen auf den handlungstheoretischen Modellen (vgl. Kapitel 1.2.1.5.4), andererseits knüpft es an die in den Kernlehrplänen formulierten Kompetenzerwartungen an. Auf die Interessensgenese wurden in Kapitel 1.2.1.4.2 eingegangen. Die in den Kernlehrplänen formulierten Kompetenzerwartungen zur Kommunikation (K1 Dokumentation) betonen die Darstellung von Arbeitsergebnissen, die hier ausdifferenziert im Zusammenhang mit der Auswertung von Experimenten untersucht werden: Die schriftliche wie mündliche Darstellung sowie das aktive Zuhören und Beteiligen werden repräsentiert. Für das tätigkeitsbezogene Interesse Auswertung wurden im Pre- und Posttest gute Reliabilitätswerte erzielt, ein Cronbachs α 0,792 im Posttest, im Follow-up-Test jedoch ein schwacher Reliabilitätswert ermittelt.

Tabelle 31: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung in der jeweiligen Arbeitssprache

Variablenname	Item	Pre α	Post α	Follow up α
va2, na2, ba12	Einen mündlichen Vortrag zur Auswertung in der Arbeitssprache zu verstehen und ihm zuzuhören, finde ich wichtig.	0,682	0,792	0,414
va26, na32, ba17	Der Auswertung von Arbeitsergebnissen in der Kursprache zu folgen und mich aktiv zu beteiligen, erscheint mir wichtig.			
va7, na20, ba4	Versuchsergebnisse in der Kursprache in schriftlicher oder mündlicher Form darzustellen, finde ich wichtig.			
va5, na29, ba25	Zusammenfassungen und Auswertung für Versuche in der Arbeitssprache selbst vorzunehmen, erscheint mir wichtig.			
Items in Anlehnung an die in den Kernlehrplänen Biologie Sek II (MSW NRW 2014) geforderten Kompetenzen konstruiert				

Da eine Neukonzeption dieser Fragebogenkomponente vorgenommen wurde, wurde zunächst mittels konfirmatorischer Faktorenanalyse deren Dimensionalität untersucht (vgl. Kapitel 2.5.11), also überprüft, ob neu formulierte Items zu den verschiedenen angenommenen (latenten) Konstrukten in Beziehung stehen. In der Faktorenanalyse zeigt sich dieses an Faktorenladung. Ist die Faktorenladung eines Items besonders hoch für einen Faktor (va2 beispielsweise für Faktor 2) und niedrig für den anderen Faktor, so ist der Zusammenhang abgebildet. Das betreffende Item hat folglich eine hohe Faktorenladung für die eine Subskala, nicht aber für die andere.

Die Ergebnisse belegen, dass sich die angenommene Subskalenstruktur in der Faktorenladung der Items gut wiedergespiegelt (vgl. Tabelle 332).

Tabelle 32: Faktorenanalyse mit ermittelten Faktorenladungen der Items der Variablen Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertungskompetenz und des FSK Auswertung (N=218)

Item	Komponente	
	Faktor 1	Faktor 2
va2	0,054	0,769
va3	0,524	0,422
va5	0,326	0,552
va7	-0,031	0,738
va11	0,595	0,208
va14	0,788	0,034
va24	0,687	0,235
va26	0,269	0,662
va28	0,752	0,186
va31	0,712	0,122
va34	0,42	-0,27

Skala 4 zum *Flow*-Erleben

Während des Labortages werden direkt nach jedem absolvierten Experiment die Kurzfragebögen zum *Flow*-Erleben zum Einsatz gebracht. Das *Flow*-Erleben wurde in dieser Studie exemplarisch mit insgesamt drei Items erhoben. Die ersten zwei in Tabelle 33 dargestellten Items beschreiben 2 Kennwerte zum *Flow*-Erleben nach Remy (2000), die mittels siebenstufiger Likert-Skala von „trifft zu“ über „teils-teils“ bis „trifft nicht zu“ eingesetzt wurden. Das dritte Item in Tabelle 34 erfasst die subjektiv wahrgenommene Anforderungs-Fähigkeitspassung und entstammt Rheinberg et al. (2003) Erfassung des *Flow*-Erlebens und wurde in einer neunstufiger Likert-Skala von zu „gering“ über „gerade richtig“ bis „zu hoch“ eingesetzt.

Tabelle 33: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Kenngröße *Flow*-Erleben (Siebenstufige Likert- Skala von „trifft nicht“ zu über „teils-teils“ bis „trifft zu“)

Variablenname	Item	Post α
FKS1	Ich habe die Zeit ganz vergessen.	0,520
FKS2	Ich bin voll und ganz bei der Sache gewesen.	
Items, wie in Remy (2000)		

Tabelle 34: Item der Messdimension Subjektiv wahrgenommene Anforderungsfähigkeitspassung. Item gestrichen.

Variablenname	Item	Post α
FKS3	Für mich persönlich waren die Anforderungen	
Item, wie in Rheinberg (2004) eingesetzt		

Item FKS3 wurde aufgrund der Reliabilitätsoptimierung ausgeschlossen. Für die zwei verbleibenden Items wurde eine Reliabilität von Cronbachs α 0,520 ermittelt (Tabelle 33).

2.3.1.3.2 Messinstrumente zur Erfassung fremdsprachlicher /bilingualer Aspekte

Skala 5 zum bilingualen Handeln im sachfachlichen Kontext

In der Skala des bilingualen Handelns sind das Fachinteresse Biologie (Tabelle 35), das Fachinteresse Englisch (Tabelle 36), das Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität (Tabelle 37), das Druckempfinden Bilingualität/ Fremdsprache (Tabelle 38) sowie das Konstrukt Bedeutung Sprache (Authentizität Fremdspracheneinsatz, vgl. Tabelle 39) zusammengefasst. Das Fachinteresse Biologie, durch zwei Items repräsentiert, ist bezüglich eines Items in Anlehnung und für eines wie bei Damerau (2012) formuliert (vgl. Tabelle 35). Zu allen Messzeitpunkten wurde eine sehr gute Reliabilität ermittelt, die im Posttest mit einem Cronbachs α 0,926 am höchsten ausfällt. Das Fachinteresse Englisch (Tabelle 36) wird durch ein in PISA (z.B. Pisa-Konsortium 2004) verwendetes sowie ein analog gebildetes Item repräsentiert. Für dieses Konstrukt wurde ebenfalls eine sehr gute Reliabilität berechnet, die im Pretest mit einem Cronbachs α 0,889 am höchsten ist.

Tabelle 35: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Fachinteresse Biologie

Variablenname	Item	Pre α	Post α	Follow up α
va18, na15, ba8	Biologieunterricht finde ich gut.	0,885	0,926	0,884
va6, na6, ba1	Biologieunterricht macht mir Spaß.			
Item va18 in Anlehnung, va6 wie bei Damerau (2012) eingesetzt				

Tabelle 36: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Fachinteresse Englisch

Variablenname	Item	Pre α	Post α	Follow up α
va36, na1, ba10	Englisch macht mir Spaß.	0,889	0,887	0,869
va13, na11, ba32	Englischunterricht finde ich interessant.			
Item va36 wie in PISA 2003 eingesetzt, Item va13 in Anlehnung konstruiert				

Das Konstrukt Fähigkeitsselbstkonzept bilinguales Handeln (Tabelle 37) untersucht die von Lernenden eingeordnete Selbstwirksamkeit des Fremdsprachengebrauchs. Ein Item ist dabei von Abendroth-Timmer (2004) abgeleitet, die anderen Items sind in Anlehnung an Rodenhauser (2016) entwickelt worden. Für den Pre- und Posttest werden mit Reliabilitätswerten von Cronbachs α 0,707 (Pre) bzw. 0,678 (Post) gute Reliabilitäten ermittelt, während die Reliabilität des Follow-up-Tests mit Cronbachs α 0,445 gerade akzeptabel war.

Tabelle 37: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Fähigkeitsselbstkonzept bilinguales Lernen

Variablenname	Item	Pre α	Post α	Follow up α
va22, na19, ba25	Ich finde es wichtig zu erproben, einen Sachverhalt, wie beispielsweise einen biologischen, in einer Fremdsprache zu formulieren und darzustellen.	0,707	0,687	0,445
va23, na35, ba23	Ich versuche dann gerne eine Fremdsprache zu sprechen, wenn ich mich mittels dieser über einen interessanten und wichtigen Inhalt austauschen kann.			
va30, na7, ba28	Mich in einer Fremdsprache möglichst flexibel ausdrücken zu können, ist für mich wichtig.			
Items va22 und va30 in Anlehnung an Rodenhauser (2016) konstruiert, Item va23 in Anlehnung an Abendroth-Timmer (2004)				

Durch das Konstrukt Druckempfinden in Bezug auf bilinguales Lernen (vgl. Tabelle 38) soll diese Einflussgröße des Lehr-Lernarrangements näher exploriert werden. Druck und Spannung werden allgemein als negative Prädikatoren der intrinsischen Motivation angesehen. Das von Rodenhauser (2016) entwickelte Konstrukt wurde

angepasst zum Einsatz gebracht. Für diese Dimension wurden zu allen Messzeitpunkten gute Reliabilitäten ermittelt, die mit Cronbachs α 0,884 im Posttest am höchsten ausfielen.

Tabelle 38: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Druckempfinden bilinguales Lernen

Variablenname	Item	Pre α	Post α	Follow up α
va33, na9, ba13	Ich habe Bedenken, ob ich einen bilingualen Kurs sprachlich hinbekomme.	0,833	0,884	0,879
va20, na17, ba24	Durch bilinguale Elemente in einem Kurs fühle ich mich angespannt.			
va29, na27, ba5	Durch die sprachlichen Elemente eines bilingualen Kurses fühle ich mich unter Leistungsdruck gesetzt.			
Items va33 und va20 in Anlehnung an Rodenhauser (2016), Item va29 wie in Rodenhauser (2016)				

Die Messdimension Bedeutung der Sprache (vgl. Tabelle 39) kann als weiteres Authentizitätsmerkmal von Schülerlabortagen angesehen werden und untersucht entsprechend den Fremdsprachgebrauch im naturwissenschaftlichen Kontext. Es ist in Anlehnung an typische Aktivitäten simultanen sachfachlichen und sprachlichen Austausches in mündlicher wie schriftlicher Form entwickelt worden. Die Reliabilität des Konstruktes fiel zu allen Messzeitpunkten gut aus. Herausgestellt wird die höchste Reliabilität von Cronbachs α 0,832 im Posttest.

Tabelle 39: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Authentizität Fremdspracheneinsatz

Variablenname	Item	Pre α	Post α	Follow up α
va35, na5, ba16	Dass Wissenschaftler Englisch als gemeinsame Kommunikationssprache benutzen, ist mir deutlich.	0,769	0,812	0,832
va16, na13, ba29	Mir ist deutlich, dass in Forschung und Technik das Lesen englischer Fachtexte wichtig ist.			
va19, na36, ba27	Mir ist deutlich, dass im Labor der mündliche Austausch über Inhalte in englischer Sprache verbreitet ist.			
Items neu entwickelt				

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Reliabilitätsprüfung für die Skala des bilingualen Handelns zusammengestellt (vgl. Tabelle 40) und die Ergebnisse der Faktorenanalyse angeschlossen (vgl. Tabelle 41).

Tabelle 40: Zusammenfassung der Items und Reliabilitäten der Konstrukte der Skala Bilinguales Handeln

Items			Dimensionen	Cronbachs α		
Pre	Post	Follow up		Pre	Post	Follow up
6, 18	15, 6	1,18	Fachinteresse Biologie	0,885	0,926	0,884
13, 36	1,11	10, 32	Fachinteresse Englisch	0,889	0,887	0,869
22, 23, 30	7, 19, 35	23,25, 28	Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität	0,707	0,687	0,445
33, 20, 29	9, 17, 27	5, 13, 24	Druckempfinden Bilingualität	0,833	0,884	0,879
35, 16,19	5,13, 36	16, 27, 29	Bedeutung Sprache	0,769	0,812	0,832

Tabelle 41: Faktorenanalyse mit ermittelter Faktorenladung der Items der Skala Bilinguales Handeln (N=219): Die beiden Items va13 bzw. va36 zum Fachinteresse Englisch werden als eigene Subskala aufgefasst.

Item	Komponenten			
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
va6	-0,056	0,081	0,045	0,937
va13	0,839	0,069	-0,257	-0,110
va16	0,269	0,736	-0,079	0,133
va18	0,042	0,073	0,052	0,941
va19	0,091	0,840	-0,120	-0,062
va20	-0,283	-0,192	0,787	-0,016
va22	0,492	0,469	-0,166	0,177
va23	0,563	0,538	-0,145	0,055
va29	-0,166	-0,186	0,885	0,058
va30	0,753	0,158	-0,165	0,038
va33	-0,321	-0,074	0,769	0,074
va35	0,004	0,795	-0,153	0,080
va36	0,823	0,980	-0,365	-0,038

Die Faktorenanalyse bestätigte die vorgenommene Gruppierung in die Konstrukte des bilingualen Handelns. Lediglich wurden die beiden Items zum Fachinteresse Englisch (va13 und 36) inhaltlich begründet als eigene Subskala aufgefasst.

Skala 6: Metakognitive Strategien beim Lese- und Textverstehen

In dieser Studie wurde das fremdsprachliche Lese- und Sprachverstehen mittels *Cloze* Test sowie der Einsatz von Strategien mittels einer Skala zu metakognitiven Strategien untersucht (vgl. Tabelle 42). Es ist hier kontextualisiert in die Vorbereitung der Abschlusspräsentationen und das Verfassen eines naturwissenschaftlichen Textes in englischer Sprache. Lese- und Textverstehen ist dabei eng mit der Beherrschung von Lesestrategien verknüpft und wird häufig in die Lesestrategien Oberflächen- und Tiefenstruktur, Lerntechniken und metakognitive Strategien unterschieden (z.B. Naumann et al. 2010; Prenzel 2013). Die in der vorliegenden Studie explorierte Subskala der metakognitiven Strategien, die den Leseprozess sowie den Leseerfolg kontrollieren, das Textverständnis sichern und die anschließende Textproduktion vorbereiten und leiten, wurde durch Items repräsentiert, die Strategien nach ihrem zeitlichen Einsatz vor, während und nach dem Leseprozess abbilden (z.B. Badel 2009). Die zum Einsatz kommenden Items sind in Anlehnung an andere Studien (DESI-Konsortium 2008; Lompscher 1993, 1995; Rodenhauser 2016) formuliert. Im Posttest wurde für die Skala der Metakognitiven Strategien eine Reliabilität von Cronbachs α 0,721 erzielt, die als gut bewertet werden kann. Für den Pretest und den Follow-up-Test wurden Reliabilitäten von Cronbachs α 0,677 bzw. 0,652, die ebenfalls als hinreichend gute Reliabilitäten eingestuft werden.

Tabelle 42: Items und Reliabilität der Konstrukte der Skala Metakognitive Strategien

Variablen	Metakognitive Strategien	Pre α	Post α	Follow up α
vap4, nap2, bap7	Ich erschließe mir unbekannte Worte aus dem Kontext.	0,677	0,721	0,652
vap6, nap1, bap13	Ich mache mir Notizen.			
vap7, nap4, bap4	Ich überlege mir eine Gliederung und sammle die wichtigsten Gesichtspunkte dazu.			
vap10, nap13, bap1	Ich überprüfe, ob ich die Arbeitsaufträge als Gliederungsprinzipien nutzen kann.			
vap12, nap9, bap11	Ich nutze die angebotenen Vokabelhilfen			

vap13, nap11, bap12	Ich überlege mir, welche Aspekte sich für die Visualisierung eignen.			
vap 4, vap12 – in Anlehnung an DESI 2008 –Umgang mit fehlenden Informationen (metakognitive Strategien), vap 6- Rodenhauser 2016, vap 7, vap10 – Anlehnung an Lompscher 1995,1993, vap13- neu				

2.3.2 Messinstrumente der Nebenstudien

Als ergänzende Messinstrumente wurden für das bilinguale experimentelle Lehr-Lernarrangement im Rahmen von drei Nebenstudien schriftlich verfasste Gruppenergebnisse von Concept Maps im Pre-Post-Design vor und nach erfolgtem Laborbesuch untersucht. Weiterhin wurden von den dazu stattfindenden Aushandlungsgesprächen und Abschlusspräsentationen Tonaufnahmen erstellt, die untersucht wurden.

2.3.2.1 Concept Mapping

Im Rahmen von Odenthals Studie zur fachsprachlichen Kommunikation (Odenhal 2015) wurden schriftliche *Concept Maps* der Lernenden analysiert und Transkriptionen von Audio-Dateien vorgenommen. Die *Concept Maps* wurden von selbstgebildeten Arbeitsgruppen einer maximalen Größe von vier Lernenden erstellt. Das *Concept Mapping* wird als Messinstrument zur qualitativen Analyse der Wissensstruktur und des Konzeptverständnisses eingesetzt. In der Studie von Odenhal (2015) wurden Begriffsnetze im halboffenen Design des *Concept Mapping* eingesetzt und dazu ca. 20 Begriffe, die 4 Konzepten zuzuordnen waren, und einige Relationen vorgegeben. Neben intra-individuellen Vergleichen der prä- und post- Maps wurden inter-individuelle Vergleiche in Form eines Abgleichs zu einer Expertenmap vorgenommen.

An dieser Stelle wird ein Ausschnitt der untersuchten grafentheoretischen Indices, die einer Neuberechnung unterzogen wurden, dargestellt. Im intraindividuellen Vergleich werden vor und nach Laborbesuch Pre- und Post-*Concept Maps* erstellt. Dazu wurden von den Lernenden die Pre-Maps in anderer Farbe ergänzt oder verändert, so dass sowohl der Ursprungs- als auch der Endzustand sichtbar blieben. Es wird ein reduziertes Indikatoren-Instrument der Gütekriterien von *Concept Maps* dargestellt (Tabelle 43): Es sind dies die Indikatoren Umfang, Knotengrad, Durchmesser und Qualität. Der Indikator Umfang zeigt die Vernetztheit des Wissens, der Knotengrad verweist auf das Zusammenhangswissen, der Indikator Durchmesser belegt die Komplexität des Konzeptverstehens und über den Indikator Qualität wird der Grad der Richtigkeit dokumentiert. Der Indikator Verknüpfungsdichte wird an dieser Stelle nicht

aufgegriffen, weil er als informationsgleich zum Indikator Umfang angesehen wird (Graf 2014).

Tabelle 43: Untersuchte Gütekriterien der *Concept Map*

Indikatoren	Gegenstand	Bedeutung
Umfang	Summe aller Verknüpfungen bzw. Relationen	Vernetztheit des Wissens
Knotengrad	Durchschnittliche Verbundenheit von Begriffen zu Knoten	Zusammenhangswissen
Durchmesser	Längste, zwei Konzepte verbindende Relation	Komplexität des Konzeptverstehens
Qualität	Anteil von richtigen und falschen Relationen	Richtigkeit

Im Pretest wurde für die vier Items Umfang, Knotengrad, Durchmesser und Qualität eine Reliabilität von Cronbachs α 0,74 ermittelt.

2.3.2.2 Transkription von Audio-Dateien

Audioaufzeichnungen und Videografien werden in der Fremdsprachendidaktik seit mehreren Jahrzehnten eingesetzt (Aguado und Schramm 2009), werden aber auch für naturwissenschaftliche Fragestellungen genutzt (Aufschnaiter 2014, Damerau 2012; Schecker et al. 2014). Beispielsweise kann die Aufzeichnung von Gedankengängen der Testpersonen zur Analyse von Problemlöseprozessen eingesetzt werden (Sandmann 2014).

Audioaufzeichnungen und Videografien werden mittels Analysekategorien untersucht. Beispielsweise werden das selbst- oder fremdinitiierte Korrekturverhalten oder die Handlungen bei einer Bearbeitung exploriert und intra-individuell verglichen. Sie sind gegebenenfalls begrenzt durch das Blickfeld oder bezüglich der Anzahl der beobachteten Testpersonen (Aguado und Schramm 2009; Damerau 2012; Göbel 2009).

Eine besondere Methode stellt das „Laute Denken“ dar, welches nach Einübung der Methode, ein vorzugsweise in Einzelarbeitsphasen genutztes, unreflektiertes Selbstgespräch, ohne adressatengerechte Ausrichtung bezeichnet (Heine 2010b). Es eignet sich u.a. zur Aufdeckung sprachlicher Prozesse des Schreibens oder des Vorgehens bei Experimentieren, die leicht verbalisiert werden können. Durch das

Hervorrufen einer mentalen Repräsentation werde automatisch deren linguistische Repräsentation hervorgerufen und so der aktuelle Zustand des Arbeitsspeichers abgebildet (Heine 2010b).

Während Odenthal (2015) eine Untersuchung auf das Vorhandensein einer klassischen Konsensusaushandlung und auf die Verteilung der Aktivität in den Gruppen erstellten *Concept Maps* vornimmt, stand im Mittelpunkt der Studie von Heinemann (2015) die Analyse der Diskursfunktionen *hypothesize*, *describe* und *explain* in den Audioaufzeichnungen zur Prä- und Post-*Concept Maps*-Erstellung als auch in der Abschlusspräsentation. In der Studie von Thum (2015) stand die Untersuchung der Fachsprachlichkeit in deutscher Sprache im Mittelpunkt.

Apparative Durchführung der Tonaufzeichnungen

Die akustische Aufzeichnung der Verhandlungsgespräche zu den *Concept Maps* erfolgte für die drei Studien (Heidemann 2015; Odenthal 2015; Thum 2015) mit Hilfe der Smartphone-App „Smart Voice Recorder“, die zum Untersuchungszeitpunkt kostenfrei für Android-Betriebssysteme verfügbar war. Heidemann (2015) nutzte für die Aufzeichnung der Abschlusspräsentation ein mit einem Computer verbundenes Mikrofon. Alle erstellten Audiodateien wurden mittels USB-Kabel auf einem Rechner der Universität gespeichert. Zur Anonymisierung der Aufzeichnungen wurden wiederum die anonymisierten ID- Kennzeichen (die ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter und das eigene Geburtsdatum) genutzt, die eine Zuordnung von Prä- und Post- Beiträgen ermöglichten.

Messinstrument bei Odenthal (2015)

Um sicher zu stellen, dass die Erstellung der *Concept Maps* auf einem wirklichen Konzeptverständnis beruht und um die Erstellung der *Concept Maps* besser nachvollziehen zu können, wurde in einer Studie (Odenthal 2015) die Kommunikation der Lernenden untereinander während der Erstellung und Überarbeitung der *Concept Maps* akustisch aufgezeichnet. Auch sollte untersucht werden, wie aktiv die Gruppenmitglieder an der Arbeit beteiligt waren und welche Schritte der Konsensusaushandlung vollzogen wurden (vgl. Tabelle 44).

Tabelle 44: Untersuchungsschwerpunkte der Aushandlungsgespräche, verändert nach Odenthal (2015)

Konversationsformen	Funktionalität
Fragen	Informationsentnahme und Konsensusaushandlung
Statements	Äußerung des eigenen Wissens oder der eigenen Meinung
Vorschläge	Aufforderung an andere Gruppenmitglieder, ihren Standpunkt zu überdenken
Zustimmung	Integration neuen Wissens

Messinstrument bei Heidemann (2015)

Fachsprachliche Kommunikation (CALP) ist präzise und kognitiv anspruchsvoll und bedient sich fachsprachlicher Redemittel, sogenannter Diskursfunktionen, die von wiederkehrenden Kommunikationsbedürfnissen, beispielsweise durch ihre Funktionalität und Intentionalität bestimmt sind. Sie werden als Schnittmenge zwischen Sprache, Denken und Inhalt aufgefasst (Dalton-Puffer 2009; Lose 2009; Zydati 2005). Auch werden sie als „kognitive Werkzeuge inhaltsbezogenen Lernens“ beschrieben, deren Repräsentanten im mentalen Lexikon der Darstellung von Sinnzusammenhängen und Verknüpfungen von Konzepten dienen (Zydati 2005). Es werden Mikro- und Makrofunktionen voneinander unterschieden. Als Mikrofunktionen werden relativ klar umrissene lexikalische und syntaktische Muster bezeichnet, wie zum Beispiel das „Vergleichen“ (Dalton-Puffer 2009), während Makrofunktionen vagere, gröbere Strukturmuster zeigen, beispielsweise das „Stellung nehmen“. Diskursmarker wiederum sind signifikante Satzmuster, die typischerweise im Zusammenhang mit Mikrofunktionen gebraucht werden. Bei der Mikrofunktion „Vergleichen“ finden sich häufig Diskursmarker wie „*whereas, while, similar to*“. Makrofunktionen können demgegenüber als Strukturen des Denkens aufgefasst werden (Thürmann und Vollmer 2011), die sich in den Curricula wiederfinden (das Erklären, Beschreiben, Argumentieren, Bewerten, Aushandeln).

Bei der Erarbeitung und Darstellung biologischer Zusammenhänge werden Versuchsergebnisse und theoretische Grundlagen in Beziehung gesetzt. In diesem Zusammenhang sind die Diskursfunktionen *explain, describe* und *hypothesize* von besonderer Bedeutung, die sowohl im naturwissenschaftlichen Kontext als auch

fächerübergreifend zum Einsatz kommen (vgl. Tabelle 45). Vermutungen und Spekulationen sollen hier im weiteren Sinne auch als Formulierungen von Hypothesen (*hypothesize*) angesehen werden. Diskursfunktionen werden jedoch nur als vorhanden verzeichnet, wenn entsprechende Marker benutzt wurden, nicht aber, wenn nur aus dem Kontext ersichtlich wird, dass eine bestimmte Diskursfunktion gemeint ist.

Tabelle 45: Übersicht untersuchter Diskursfunktionen, verändert nach Heinemann (2015)

Diskursfunktionen	Kognitives Konzept	Mögliche sprachliche Struktur/ Diskursmarker	
<i>explain</i>	Angabe mindestens einer Ursache für einen Prozess oder ein Ereignis Ausdruck von Ursächlichkeit oder Konsequenz (Lose 2007)	Causality	Consequences
		<i>As</i> <i>Because</i> <i>Since</i>	<i>Hence, so, therefore, if-clauses, As a result, that is why</i>
<i>hypothesize</i>	Mikrofunktion, die in <i>explain</i> eingeschlossen sein kann Äußerung einer Vermutung einer Ursache- Wirkrelation (Vollmer 2011)	<i>I think</i> <i>Probably</i> <i>I can imagine</i> <i>I guess</i> <i>Maybe</i> <i>If-clause (type 1)</i> (Lose 2007)	
<i>define</i>	Nennung eines übergeordneten Ausdrucks & spezifizierender Deskriptoren (Dalton-Puffer 2009)	D is S that is /has/does X is/ has/ does (wenn übergeordneter Begriff im Diskurs präsent) (Dalton-Puffer 2009)	

Zur Untersuchung der Diskursfunktionen wurden die Schülerbeiträge auf entsprechende Marker untersucht, diese gesammelt und in ihrer Häufigkeit erfasst.

Messinstrument bei Thum (2015)

Die Aushandlungsgespräche zur Erstellung von *Concept Maps* dokumentieren Kommunikation über biologische Phänomene und Sachverhalte sowie naturwissenschaftliche Ergebnisse und Erkenntnisse. Lernende visualisieren und strukturieren ihren gemeinsamen Problemraum. Dabei wird ein enger Zusammenhang zwischen Verbalisierung und Wissenserwerb angenommen (Knoblauch et al. 2013, S.348). Entsprechend wird der Kommunikation der Lernenden untereinander, die zu einer vertieften Auseinandersetzung mit dem Inhalt und somit einem vertieften Verständnis des Inhaltes führt, eine besondere Bedeutung zugemessen und der Redeanteil der Lernenden mit deren Wissenserwerb in Zusammenhang gebracht

(Knoblauch et al. 2013). Fachbezogene Kommunikation wird als Voraussetzung für die inhaltliche Durchdringung von Sachverhalten angesehen (Busch und Ralle 2012).

In der Studie von Thum (2015) wird bei Durchführung eines bilingual-englischen Schülerlabortages die Entwicklung der deutschsprachigen Fachsprachlichkeit untersucht. Zu deren Ermittlung werden die Aushandlungsgespräche zum Zeitpunkt der Erstellung der *Pre-Map* und der *Post-Map* mittels ausgewählter Kriterien exploriert. Zum einen erfolgt dieser Vergleich qualitativ anhand der in Tabelle 46 dargestellten Kriterien und anhand der in Tabelle 47 zusammengefassten Analyse-Kriterien quantitativ unter Ermittlung der relativen Häufigkeit:

Tabelle 46: Kriterien der qualitativen Analyse, verändert nach Thum (2015)

Kriterien
• Dauer
• Partizipation der TN
• Verknüpfung von Theorie und Praxis
• Benutzung von Fachbegriffen
• Verknüpfungsintensität
• Objektivierte Darstellung
• Form der Darstellung
• Soziale Aspekte

Tabelle 47: Kriterien der Analyse als relative Häufigkeiten, verändert nach Thum (2015)

	Kriterien
1	Integration der Theorie aus dem Skript in die Ausführungen
2	Integration von Theorie und Praxis
3	Angemessenes Nutzen bereit gestellten Fachvokabulars
4	Korrekte Verwendung weiterer nicht vorgegebener Fachbegriffe
5	Nutzen komplexer syntaktischer Strukturen anstatt von Redundanzen
	Sprachniveau
6	Vermeiden von BICS (alltagsbezogenes Sprechen)
7	Bemühung um kognitive - akademische Sprechweise

8	Kommunikation der Erkenntnisgänge (Unterschied zwischen Prä- und Post erkennbar)
	Zusammenhangswissen
9	Erstellen eines Zusammenhangs zu einem Fakt
10	Erstellen zweier Zusammenhänge zu einem Fakt
11	Erstellen eines Zusammenhangs zu zwei Fakten
12	Erstellen zweier Zusammenhänge zu zwei Fakten
13	Erkennen und Kommunizieren eines übergeordneten Konzepts
14	Treffen verallgemeinernder Aussagen auf objektiver Ebene & Vermeiden subjektive Einstellungen

2.3.2.3 Messinstrument der Lehrkräftebefragung

Bei den begleitenden Lehrkräften kamen zwei Fragen zum Einsatz, die offen formuliert das Wahlkriterium des Schülerlabortages (vgl. Abbildung 48) und das vermutete Interesse der Lernenden an den durchgeführten Experimenten (vgl. Abbildung 49) zum Gegenstand hatten.

Uns interessieren Ihre Beweggründe, den Kurs zu buchen. Den Schülerlabortag „The Brain – A Living Network“ habe ich gebucht und mit meinen SuS besucht, weil _____

Abbildung 48: Item zum Wahlkriterium des Schülerlabortages

Uns interessiert, welcher Aspekt, welche Methode, welcher Inhalt des Labortages für die SuS aus Ihrer Sicht der wichtigste war.

Abbildung 49: Item zum vermuteten Interesse an durchgeführten Experimenten

Außerdem wurden die Verortung des Laborbesuches in den schulischen Unterricht als geschlossenes Item mit Ankreuzmöglichkeit ja/nein sowie die Lage der zugehörigen Klausur erhoben:

Uns interessiert, wie der Besuch des Schülerlabortages in das Thema Neurobiologie eingebettet war. Der Schülerlabortag befand sich in der Unterrichtssequenz am

am Anfang in der Mitte am Ende anders

Wurde im Anschluss an den Besuch des Schülerlabortages eine Klausur zum Thema Neurobiologie geschrieben? ja nein

Abbildung 50: Items zur Positionierung des Schülerlaborbesuches und der zugehörigen Klausur im Thema Neurobiologie

2.4 Überblick über die evaluierten Laborkurse

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die in dieser Studie eingesetzten Messinstrumente vorgestellt wurden, werden in diesem Abschnitt die im Zusammenhang mit der Hauptstudie und den Nebenstudien evaluierten und im Schülerlabor durchgeführten Schülerlaborkurse „The Brain – A Living Network“ und „Das Gehirn - ein lebendes Netzwerk“ dargestellt.

2.4.1 Lernvoraussetzung der Schülerinnen und Schüler

Der Schülerlabortag „The Brain – A Living Network“ der Bergischen Universität Wuppertal ermöglicht Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe einen Einblick in wissenschaftliche Arbeitsweisen der Neurobiologie und knüpft mit seinen Schwerpunkten zur Behandlung des Aufbaus und der Funktion des Gehirns, der Thematisierung der Verschaltung von Neuronen und der Plastizität des Gehirns sowie dem Einsatz der bildgebenden Methode Elektroenzephalogramm an Inhalte und Methoden des aktuellen Lehrplans und Kernlehrplans an (MSW NRW 2008, 2013b). Wie auch in den Kernlehrplänen vorgesehen (MSW NRW 2008) sind die experimentbezogenen Teilkompetenzen aus kommunikativer, erkenntnistheoretischer und methodischer Sicht am Schülerlabortag von besonderer Bedeutung. Häufig beobachtet wird allerdings eine unterschiedliche bis geringe Experimentierfähigkeit von Lernenden im Unterricht (vgl. Engeln 2004, Scharfenberg 2005).

Auch aus fremdsprachlicher Sicht knüpft der Schülerlabortag an Erfordernisse der gymnasialen Oberstufe an: Schülerinnen und Schüler nutzen flexibel ihre Fremdsprachenkenntnisse im Englischen, um biologische Sachzusammenhänge zu erforschen und zu formulieren (MSW NRW 2008). So präsentieren und besprechen die Lernenden essentielle Ergebnisse kurz und präzise unter Nutzung zur Verfügung gestellter Hilfestellungen. Es wird einerseits angenommen, dass die Schülerinnen und Schüler unerfahren mit ausgedehnten sachfachlichen Lernarrangements im Sinne einer Verknüpfung von Fremdsprache und sachfachlicher Bearbeitung sind. Es wird jedoch andererseits angenommen, dass die Lernenden mit Eintritt in die

Qualifikationsphase einen fremdsprachlichen Kompetenzaufbau vollzogen haben, der sie befähigt, aufgebaute Sprachkompetenzen zu vertiefen und zum Einsatz zu bringen, die dem fachlichen und anwendungsorientierten Lernen in diesem bilingualen Modul dienen (MSW NRW 2013a). Sie nutzen aus fremdsprachlicher Sicht vor allem funktionale kommunikative und interkulturelle Kompetenzen sowie Text- und Medienkompetenzen (vgl. MSW NRW 2013a), indem sie aktiv an fachlichen Gesprächen in der Fremdsprache teilnehmen, Sachverhalte und Arbeitsergebnisse darstellen und sich auch über weniger vertraute Themen in der Fremdsprache verständlich äußern (MSW NRW 2013a). Bei sprachlichen Schwierigkeiten nutzen sie Kompensationsstrategien, so dass es ihnen gelingt, Standpunkte klar und differenziert und begründet darzulegen und verschiedene Standpunkte abzuwägen (MSW NRW 2013a, Kompetenzerwartungen Grundkurs Englisch, Qualifikationsphase). Elemente interkultureller kommunikativer Kommunikation setzen Schülerinnen und Schüler ein, wenn sie Verstehen und Handeln im neuen Sach-Kontext Neurobiologie bewältigen und hierbei unter anderem kritische Distanz wahren. Bei der Bearbeitung des Skriptes nutzen die Lernenden ihnen bekannte Methoden der Textentschlüsselung und Texterstellung. Allgemein wird davon ausgegangen, dass Lernende am Ende der Einführungsphase (Klasse 10) das Kompetenzniveau B1 mit Anteilen von B2 (vgl. GER, Gemeinsamer Europäischer Rahmen für Fremdsprachen), am Ende der Qualifikationsphase mit dem Abitur die Niveaustufe B2 mit Anteilen von C1 im rezeptiven Bereich erreicht haben (MSW NRW 2013a).

2.4.2 Struktur, Lernziele und Ablauf des Schülerlaborkurses „The Brain – A Living Network“ (in deutscher und englischer Sprache)

Die folgenden Leitfragen weisen auf die Vierteilung des experimentellen Lehr-Lernarrangements und benennen deren Schwerpunkte:

- *Das Gehirn - ein lebendes Netzwerk und dynamisches Organ?*
- *Wie ist Gehirnaktivität experimentell nachweisbar?*
- *Wie erklärt man sich die Zusammenarbeit der verschiedenen Gehirnbereiche?*
- *Wie sehen die Neuronen aus, die daran beteiligt sind?*

Auf der Ebene eines Lernexperiments wird mittels *Cup Stacking* motorisches Lernen als beobachtbare Verhaltensänderung messbar. Auf Ebene der bildgebenden Verfahren wird mittels einer EEG-Software von den Schülerinnen und Schülern ein EEG geschrieben. Die anatomische Ebene erarbeiten sich die Lernenden bei der

Präparation von konserviertem Schweinehirn und der Untersuchung des Gehirnmodells. Auf zytologischer Ebene eignen sich Schülerinnen und Schüler Wissen zum zellulären Aufbau von Pyramidenzellen, den *global players*, und der Großhirnrinde anhand von Fertigpräparaten und selbst hergestellten Färbepreparaten an und untersuchen die Funktionen der identifizierten Strukturen.

Erwartete Lernziele des BeLL Bio Kurses „The Brain – A Living Network“

Die geplanten Lernziele zum Schülerlabortag sind entsprechend in der folgenden Darstellung zusammengefasst (Tabelle 48):

Tabelle 48: Lernziele des BeLL Bio Kurses „The Brain – A Living Network“

Grobziele	<ul style="list-style-type: none"> Die Lernenden erproben zentrale laborpraktische Arbeitsweisen im Umgang mit den vier Experimentalkomplexen.
Feinziele kognitiv	<ul style="list-style-type: none"> Sie erläutern wesentliche Methoden des erprobten Lernversuchs, des bildgebenden Verfahrens, der Präparation sowie der zellulären Identifikation. Sie wenden die dazu gehörigen Fachbegriffe richtig an. Sie führen theoretische Hintergründe als Erklärung für die Versuchsergebnisse an. Sie stellen Querbezüge zwischen den Experimentalkomplexen her.
Feinziele fremdsprachlich	<ul style="list-style-type: none"> Die SuS entnehmen längeren fremdsprachlichen Materialien wesentliche Informationen und können diese mündlich wiedergeben. Sie stellen gelesene Informationen reorganisierend in Form anderer Darstellungsweisen dar. Die SuS erläutern mit Hilfe ihrer Aufzeichnungen des <i>Lab Reports</i> wesentliche Ergebnisse in der Arbeitssprache. Die Lernenden erkennen die Bedeutung der Arbeitssprache (Englisch/ Deutsch) im naturwissenschaftlichen Kontext.
Feinziele psychomotorisch	<ul style="list-style-type: none"> Die SuS üben die korrekte Durchführung der Experimente anhand der Anleitungen. Sie korrigieren ihre Arbeitsschritte bei erkannten Fehlern.
Feinziele affektiv	<ul style="list-style-type: none"> Durch die intensive Auseinandersetzung in praktischer, theoretischer und sprachlicher Hinsicht nehmen sich die SuS als kompetent wahr. Aus dem resultierenden Kompetenzerleben heraus entwickeln die SuS ein gestärktes Selbstkonzept in experimenteller, sprachlicher und biologischer Sicht.

Ablauf des Kurses

Wie zu Beginn dieses Kapitels belegt, bindet der Schülerlabortag sowohl in methodischer wie in inhaltlicher Sicht an das Unterrichtsgeschehen und an geltende Kernlehrpläne an. Viele Studien belegen sowohl die Wichtigkeit der Vorbereitung des Schülerlabortages als auch dessen Einbindung in den Unterrichtsgang (z.B. Brandt

2005; Scharfenberg 2005; Sunal et al. 2008). Um eine angemessene Vorbereitung zu gewährleisten, wurde nach Durchführung des Pre-Tests das Versuchsskript an die Lehrkräfte ausgehändigt, welches theoretische Hintergrundinformationen, die Versuchsbeschreibungen zu den am Labortag durchgeführten Experimenten sowie Leitfragen und -aufgaben zur Wissenskonstruktion enthielten. Intendiert war, dass die Inhalte des Skripts und Labortages in einer Unterrichtsstunde vor Laborbesuch Gegenstand der schulischen Erörterung wurden und auch im Nachhinein Bedeutsamkeit für den weiteren Unterrichtsverlauf hatten. In Tabelle 49 sind der Ablauf des Kurstages, die eingesetzten Materialien dargestellt sowie seine Einbindung in das schulische Unterrichtsgeschehen dargestellt:

Tabelle 49: Verlaufsplan der Schülerlaborkurse Neurobiologie

Zeit	Phase/ Ort	Unterrichtsaktivität	Kommentar	Medien
ca. 1 Woche vor Besuch des BeLL Bio	Pre-Test, Schule	<ul style="list-style-type: none"> • Ausfüllen des Pretests • Danach: Erste Informationen zum Labortag • Ausgabe des Versuchsskripts • Informationen zum <i>Concept Mapping</i> 	<p>Die englische Treatmentgruppe erhält zusätzlich Tipps zum Bearbeiten eines fremdsprachlichen Sachtexts.</p> <p>Englischsprachiges Skript enthält <i>Word Banks</i> und eine alphabetische Vokabelliste.</p>	Fragebögen Skript
In einer Unterrichtsstunde vor Besuch des BeLL Bio	Vorbereitung, Erstellung Pre-CM Schule	<ul style="list-style-type: none"> • Besprechung & Bearbeitung des Skripts • Erstellung der Pre-<i>Concept Map</i> und Aufnahme des Aushandlungsgesprächs 	Erstellung von Pre- <i>Concept Maps</i> in den zukünftigen Arbeitsgruppen des Labortages	Skript <i>Concept Maps</i>
Schülerlabortag zur Neurobiologie „The Brain – A Living Network“ / „Das Gehirn – Ein lebendes Netzwerk!				
08.50 Uhr	Begrüßung, Haupteingang der BUW	<ul style="list-style-type: none"> • Empfang durch die Kursleitung • Gemeinsamer Gang zum Seminarraum des BeLL Bio 		
09.00 Uhr	Einstieg & Sicherheits- belehrung Seminarraum des BeLL Bio	<ul style="list-style-type: none"> • Einstimmung auf die Zielsetzung und Methoden des Schülerlabortages • Gruppeneinteilung 	Ggf. Erstellung der <i>Concept Map</i> und Aufnahme des Gespräches, wenn	PPP, Beamer <i>Lab Report</i> USB-Stick

		<ul style="list-style-type: none"> • Klärung von Verständnisfragen • Sicherheitsbelehrung 	nicht in der Schule erfolgt.	
09.30 Uhr	Erarbeitung I, Erhebung Flow-Erleben, Laborraum des BeLL Bio	<ul style="list-style-type: none"> • Zwei Experimental-komponenten: • 1. EEG + 3. Präparation Gehirn incl. Betrachtung Fertigpräparat GHR Oder • 2. Mikroskopie und Präparation Pyramidenzellen incl. Betrachtung Fertigpräparat GHR • + 3. Präparation Gehirn incl. Betrachtung Fertigpräparat GHR 	<p>Schutzbrille und Handschuhe bei Bedarf</p> <p>Ausfüllen Fragebögen zum Flow-Erleben im Anschluss an jedes Experiment.</p>	<p>Versuchsskript, <i>Lab Report</i></p> <p>Kittel, Materialien des jeweiligen Experiments</p>
11.00.-11.10 Uhr	ggf. Pause, Seminarraum		Puffer für Pause bzw. Abschluss der Experimente	
11.10 Uhr	Erarbeitung II, Erhebung Flow-Erleben Laborraum des BeLL Bio	<ul style="list-style-type: none"> • Bearbeitung der noch fehlenden Komponente: • 1. Mikroskopie und Präparation Pyramidenzellen incl. Betrachtung Fertigpräparat GHR bzw. • 2. EEG 	<p>Schutzbrille und Handschuhe bei Bedarf</p> <p>Ausfüllen des Kurzfragebogens im Anschluss an jedes Experiment.</p>	<p>Versuchsskript, <i>Lab Report</i></p> <p>Kittel, Materialien des jeweiligen Experiments</p>
12.20-13.20 Uhr	Mittagspause Mensa	<ul style="list-style-type: none"> • SuS besuchen eigenständig Mensa oder Cafeteria 		
13.20 – 14.30 Uhr	Erarbeitung III, Erhebung Flow-Erleben + Ergebnis-sicherung I, Erstellung Post- CM Laborraum	<ul style="list-style-type: none"> • 4. Motorischer Lernversuch • Fertigstellen Präsentationen • Erstellen der Post-<i>Concept Map</i> und Aufnahme des Gesprächs 	<p>Ausfüllen des Kurzfragebogens im Anschluss an jedes Experiment.</p> <p>Die englischen Treatmentgruppen erhalten zusätzlich sprachlich-methodisches <i>Scaffolding</i>.</p> <p><i>Lab Report</i> in der jeweiligen Arbeitssprache vorliegend</p>	<p>Versuchsskript, <i>Lab Report</i></p> <p>Kittel, Materialien des jeweiligen Experiments, <i>Scaffolding</i>, <i>Lab Report</i></p>
14.30 - 15.15 Uhr	Ergebnis-sicherung II Seminar-raum	<ul style="list-style-type: none"> • Klärung von Fragen • Vortrag der Ergebnisse durch eine Arbeitsgruppe • Diskussion der Ergebnisse 		PPP, Beamer

15.15 - 15.45 Uhr	Posttest Seminarraum	<ul style="list-style-type: none"> SuS füllen den Posttest aus 		Fragebögen
4-6 Wochen nach Labortag	Follow-up- Test Schule	<ul style="list-style-type: none"> SuS füllen den Follow-up-Test aus 		Fragebögen

Der deutsch monolingual und der englisch bilingual durchgeführte Schülerlabortag folgen grundsätzlich derselben Struktur und weisen identische Methoden und Materialien auf. Besonderheiten des bilingualen Kurses werden explizit herausgestellt. Der zentralen Fragestellung des Lernens nachgehend, experimentieren Schülerinnen und Schüler während des ganztägigen Labortages in Kleingruppen von drei bis vier Personen. Sie führen einen motorischen Lernversuch durch, setzen das Physiologie-Aufzeichnungssystem von ADInstruments inklusive seiner Software für das Schreiben von Elektroenzephalogrammen ein, präparieren konserviertes Gehirnmateriale, betrachten Gehirnmodelle, betrachten Fertigpräparate zur Großhirnrinde und setzen frisches Gehirngewebe für die Erstellung von Färbepreparaten ein. Bei den verschiedenen Experimenten sind sie außerdem aufgefordert, die unterschiedlichen Rollen des Experimentators, Beobachters, Versuchsleiters inklusive Protokollant mindestens einmal einzunehmen und sich in diesen unterschiedlichen Rollen wahrzunehmen. Im Anschluss an die Absolvierung eines Experimentes füllen die SuS einen Kurzfragebogen zum *Flow*-Erleben beim Experimentieren aus.

Die gewonnenen Ergebnisse werten die Kursteilnehmerinnen und -teilnehmer u.a. Excel-basiert statistisch aus. Neben dem Skript stehen ihnen zusätzlich eingestellte Medien für die Darstellung und Deutung der Versuche zur Verfügung. Abschließend werden die reflektierten Arbeitsergebnisse gestützt durch eine in den Arbeitsgruppen erstellte digitale Präsentation mündlich vorgestellt und besprochen. Neben dieser primär fachwissenschaftlichen Ausrichtung ist eine berufsorientierend ausgerichtete Erkundung und Diskussion mit den anwesenden Betreuenden seitens der Lernenden an diesem universitär durchgeführten Schülerlabortag erwünscht.

Begrüßung und Vorbesprechung

Die besondere Rolle des Gehirns wird eingangs anhand eines Zitats der Romanfigur Sherlock Holmes herausgestellt (vgl. Abbildung 51). Die bildgebenden, zellulären und anatomischen Dimensionen sowie die des Lernversuches als Annäherung an die

Thematik „Lernen und dynamisches Gedächtnis“ werden verdeutlicht und ein erster Abgleich des aktuellen Wissens der SuS vorgenommen.

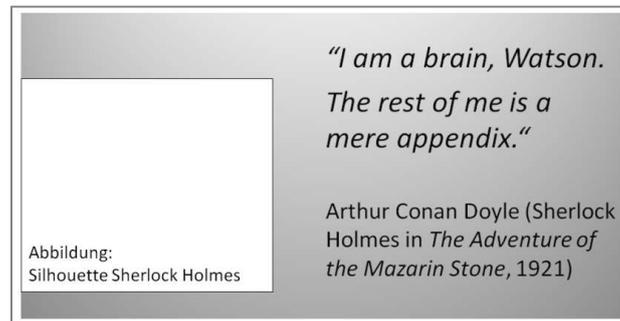


Abbildung 51: Folie aus der Einstiegspräsentation zum Schülerlabortag „The Brain – A Living Network“

Auf die Besonderheiten der eingesetzten wissenschaftlichen Methoden (EEG, Präparation Gehirn, mikroskopische Präparation) wird eingegangen, da diese in der Schule i.d.R. nicht praktiziert werden. Auch wird angeregt, die Ergebnisse der Experimente miteinander zu vernetzen. Eine Sicherheitsunterweisung erfolgt, in der unter anderem der Umgang mit den Färbelösungen sowie dem konservierten Gehirn besprochen und auf die Wichtigkeit des Tragens eines Kittels, der Schutzbrille und von Handschuhen bei diesen Experimenten hingewiesen wird.

Bei Fragen standen den Lernenden neben der Laborkursleitung weitere Betreuende zur Verfügung, so dass an beiden parallel erfolgenden Experimentalstationen mindestens je eine Betreuung zur Verfügung stand. In Abhängigkeit von der Kursgröße und den Gegebenheiten wirkten insgesamt zwei bis vier Betreuungskräfte (studentische Hilfskräfte, Masterstudierende des Lehramtes, z.T. auch Studierende des M.Ed. Bilinguales Lernen und Lehren) mit. Diese unterstützen, so nötig, instruierend. Sie verweisen zunächst auf das Skript als zentrale Informationsquelle für das Eigenstudium zur selbsttätigen Konstruktion des Wissens. Besonders beim softwaregesteuerten EEG-Experiment ist allerdings eine Einführung vor Ort und somit eine verstärkte Instruktion notwendig. Auch bei der Präparation des Gehirns und beim Anfertigen der mikroskopischen Färbepreparate erfolgt bei Bedarf instruktiver Input. Neben der Beantwortung der inhaltlichen und experimentellen Fragen, beantworten die Betreuenden Fragen zu Studium und Beruf. Im Folgenden werden die Experimente des Schülerlabortages in der Reihenfolge vorgestellt, in der sie am Labortag durchgeführt wurden. Die Nummerierung der Experimente folgt dabei der bei der Konzeption des Schülerlabortages ursprünglich eingeführten.

EEG – Experiment 2



Abbildung 52: Lernende arbeiten mit der EEG- Software und werden von einer Masterstudierenden zur Benutzung der EEG-Software instruiert

Für das EEG kommt ein Physiologie-Aufzeichnungssystem der Firma AD Instrument zum Einsatz (vgl. Abbildung 52). Mittels eines vereinfachten Elektroenzephalogramms mit 3 Elektroden wird die Potentialdifferenz zwischen dem Frontal- und Okzipitallappen gemessen. Hierzu wird auf die zuvor gereinigten Kopfareale je eine Elektrode okzipital, eine frontal und eine zusätzliche Referenzelektrode frontal appliziert, die mit Elektrolyte-haltiger Paste versehen wird, und mit einem Band fixiert. In einem Vorversuch werden zunächst die Bedingungen für das Schreiben eines Artefakte-freien EEG ermittelt. Dazu wird durch die Testperson die Wirkung der Störgrößen, wie das Bewegen des Kopfes, das starke Bewegen der Augen oder das Bewegen der Kabel provoziert und deren Auswirkungen auf das EEG untersucht.

Nachdem Bereiche eines Artefakte-freien EEG und Artefakte eindeutig zugeordnet sind, wird im eigentlichen Experiment der Alpha-Grundrhythmus untersucht. Dazu wird, mehrmalig wiederholt, je für 30 Sekunden bei geschlossenen bzw. geöffneten Augen ein EEG geschrieben. Dieses wird auf Artefakte-freie Bereiche untersucht und in diesen Bereichen werden für die beiden Vigilanzzustände beispielhaft je drei Messbereiche von einer Sekunde Dauer ausgemessen (vgl. Abbildung 54), die Werte für die Amplitude und Frequenz der Alpha- und Betawellen erhoben, in die Tabelle der Benutzeroberfläche der EEG-Software übertragen und die resultierenden Mittelwerte und Standardabweichungen ermittelt (vgl. Abbildung 53). Gleichzeitig erstellen die Lernenden je einen Screenshot des EEG-Plots, um die Verhältnisse des Alpha-Grundrhythmus und der Alpha-Blockade in der Detailansicht zu visualisieren (Abbildung 54). Abschließend stellen die SuS in Vorbereitung der finalen Präsentation

Bezüge zwischen den praktischen Ergebnissen und dem theoretischen Hintergrund sowie Querbezüge zu den anderen Experimentalkomponenten her.

Alpha Waves			Beta Waves		
Condition	Amplitude (µV)	Frequency (Hz)	Condition	Amplitude (µV)	Frequency (Hz)
Eyes open	13.02	10.49	Eyes open	8.25	20.70
Eyes open	14.39	10.35	Eyes open	7.52	22.59
Eyes open	10.38	11.57	Eyes open	6.63	22.44
Mean	12.60	10.80	Mean	7.47	21.91
SD	2.04	0.67	SD	0.81	1.05
Eyes shut	29.66	10.07	Eyes shut	9.37	21.87
Eyes shut	41.77	10.21	Eyes shut	10.35	22.15
Eyes shut	36.68	10.64	Eyes shut	8.12	22.74
Mean	36.04	10.31	Mean	9.28	22.25
SD	6.08	0.30	SD	1.12	0.44

Abbildung 53: Versuchsergebnisse einer Arbeitsgruppe zum EEG: Gezeigt sind jeweils die Amplitude und Frequenz der Alpha- und Betawellen bei geöffneten und geschlossenen Augen für drei Messzeitpunkte. Auch angegeben sind die Mittelwerte (*mean*) und die Standardabweichung (SD).

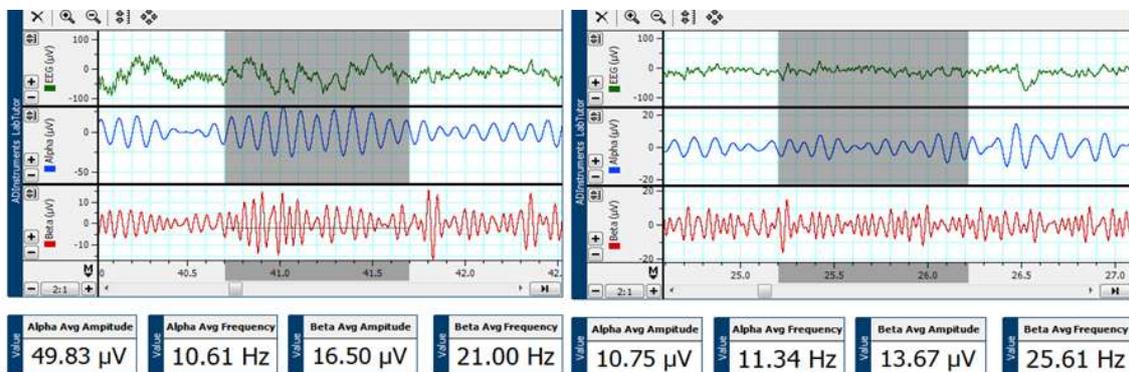


Abbildung 54: Screenshots einer Arbeitsgruppe zum Alpha-Grundrhythmus (links) und zur Alpha-Blockade (rechts): Hier sind exemplarisch die Frequenz und die Amplitude für einen Zeitraum einer Sekunde registriert (grauer Bereich im Plot) und die daraus resultierenden Werte für die Frequenz und Amplitude in den darunterliegenden Tabellen aufgeführt.

Präparation des Schweinehirns – Experiment 3

Bevor die Lernenden die Präparation von konservierten Schweinehirnhälften vornehmen, wird eine Betrachtung der ausgelegten Gehirnmodelle (Abbildung 55) empfohlen und frisches Schweinehirn auf die sichtbaren Strukturen hin betrachtet.

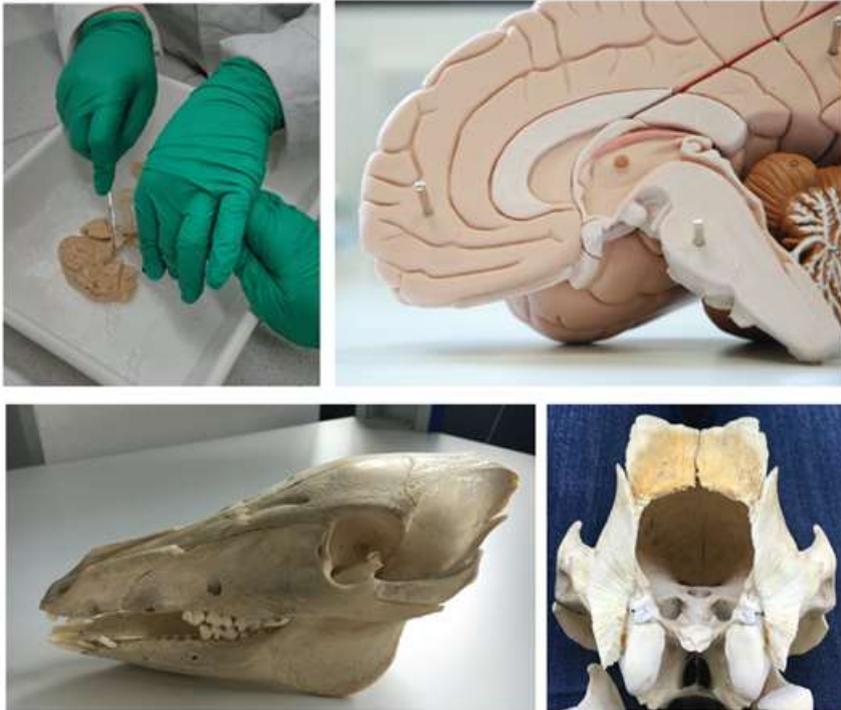


Abbildung 55: Lernende bei der Präparation des Schweinehirns (oben links) und ausliegendes Gehirnmodell (oben rechts) sowie ein ausliegender Schädel des Hausschweins und ein Blick in den Hohlraum (untere rechte Darstellungen)

Des Weiteren begutachten die Lernenden anhand des Schädels eines Hausschweins die Lage des Schweinehirns. Dem Versuchsskript folgend explorieren die Lernenden die in Außen- und Innenansicht sichtbaren Strukturen und identifizieren Kriterien-gesteuert die ihnen vorliegende Schweinehirnhälfte. Leitfragen aktivieren die Fragehaltung der Lernenden in Bezug auf die Beschaffenheit und die Funktionalität des *Corpus callosum* (Balken), von *Substantia alba* und *grisea* (weiße und graue Substanz), des Großhirns sowie des Kleinhirns. Sie nehmen einen Schnitt im Großhirnbereich vor, der ihnen die querschnittliche Beschaffenheit des Großhirns vor Augen führt. Weitere Präparationsschritte führen idealerweise final zur Freilegung der Hippocampusregion (vgl. Abbildung 56, rechts)



Abbildung 56: Dokumentation der Präparationsschritte durch verschiedene Arbeitsgruppen: Kleinhirn median geschnitten (links), konserviertes Gehirn vor der Präparation (Mitte) und Region des Hippocampus nach finalem Präparationsschritt (rechts)

Mikroskopische Präparate – (Experiment 4)

Der Erstellung von Färbepreparaten der Pyramidenzellen in Zellfilmen aus frischem Schweinehirn geht die mikroskopische Betrachtung der Pyramidenzellen anhand von Fertigpräparaten der menschlichen Großhirnrinde voran. Diese vorgeschaltete Observation von Pyramidenzellen in ihrer natürlichen Umgebung dient kognitiv der Vergegenwärtigung der strukturellen Vernetztheit der Pyramidenzellen im Gewebe, der Identifikation der Pyramidenzellen anhand ihrer charakterisierenden Kennzeichen und psychomotorisch dem Einüben der Arbeitsschritte beim Mikroskopieren (vgl. Abbildung 57). Ausliegende Materialien leiten die Schülerinnen und Schüler durch diesen Prozess. Bei Bedarf steht die Kursbetreuung für zusätzlich notwendig werdende Instruktionen bereit. In anschließenden Präparationsschritten entnehmen die Lernenden der Großhirnrinde eine kleine Gewebeprobe, stellen mit ihr mehrere Zellfilme her, die nach erfolgter Färbung mikroskopisch beurteilt werden (vgl. Abbildung 57). Die Lernenden dokumentieren ihre Mikroskopiertätigkeit z.T., indem sie Fotos der mikroskopischen Präparate erstellen und diese in ihre Präsentationen einfügen (vgl. Abbildung 58).



Abbildung 57 Färbepreparation des Zellfilms: Makroskopische Betrachtung der Arbeitserfolge und mikroskopische Analyse

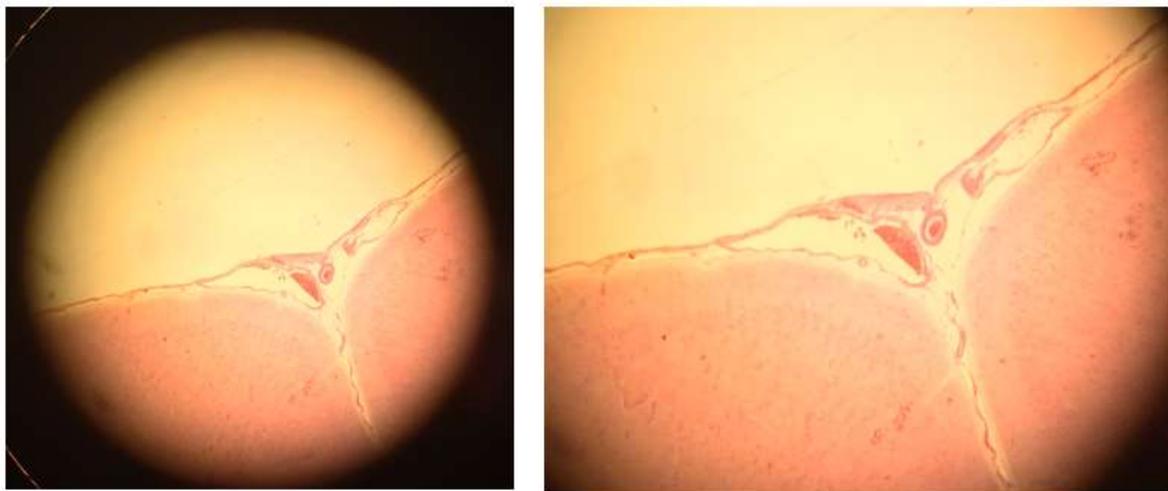


Abbildung 58: Von Lernenden erstellte Visualisierungen zum Aufbau der Großhirnrinde

***Cup Stacking* - Experiment 1**

Nach der Mittagspause hat die letzte Experimentalphase mit dem *Cup Stacking* das Erlernen motorischer Fähigkeiten zum Gegenstand. 18 Becher werden aus einer Startposition von 3-6-3 Stapeln in eine definierte Pyramidenform überführt und in die Ausgangsposition zurückgebracht (vgl. Abbildung 59). Die benötigte Zeit wird jeweils registriert und diese Tätigkeit wird wiederholt, bis annähernd konstante Werte erzielt werden. Die Versuchsergebnisse werden tabellarisch und graphisch mittels Excel am Computer aufbereitet, so dass der Lernfortschritt in einer individuellen Lernkurve

visualisiert (Abbildung 60) und mit einer idealisierten Lernkurve verglichen wird. Die dieser Lernkurve typischerweise zugrundeliegenden Phasen werden identifiziert und den Etappen bei der Generierung eines motorischen Programms durch verschiedene Gehirnstrukturen zugeordnet.



Abbildung 59: Positionierung der Becher beim *Cup stacking*

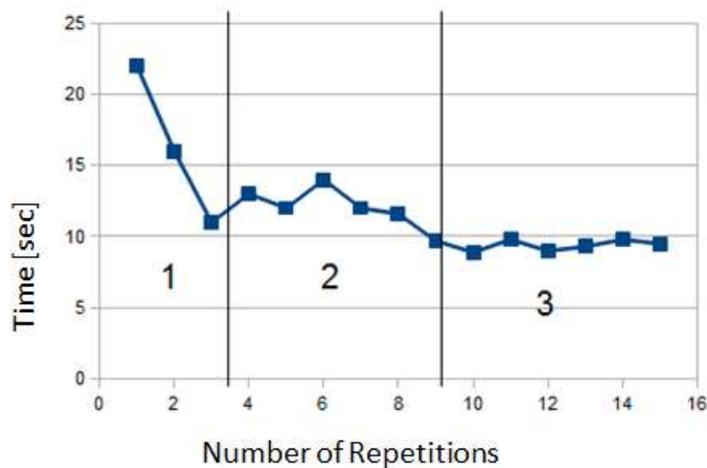


Abbildung 60 Beispiel für eine von Lernenden erstellte Lernkurve zum *Cup stacking*: Die Nummerierung verweist auf die Phasierung einer typischen Lernkurve; 1 Nullphase, 2 Lernphase, 3 Kannphase.

Ergebnissicherung

Der Experimentalphase folgt jeweils eine Phase der Ergebnissicherung. Am Ende des Labortages ist noch einmal Zeit für die Fertigstellung der Ergebnissicherung eingeplant, in der die Gruppenmitglieder gemeinsam Ergebnisse der praktischen Arbeit und theoretische Hintergründe zusammenführen und Verknüpfungen zwischen den Versuchen herstellen. Für die Visualisierung dient den Lernenden eine digital eingestellte Vorlage der Präsentation (vgl. Abbildung 62)

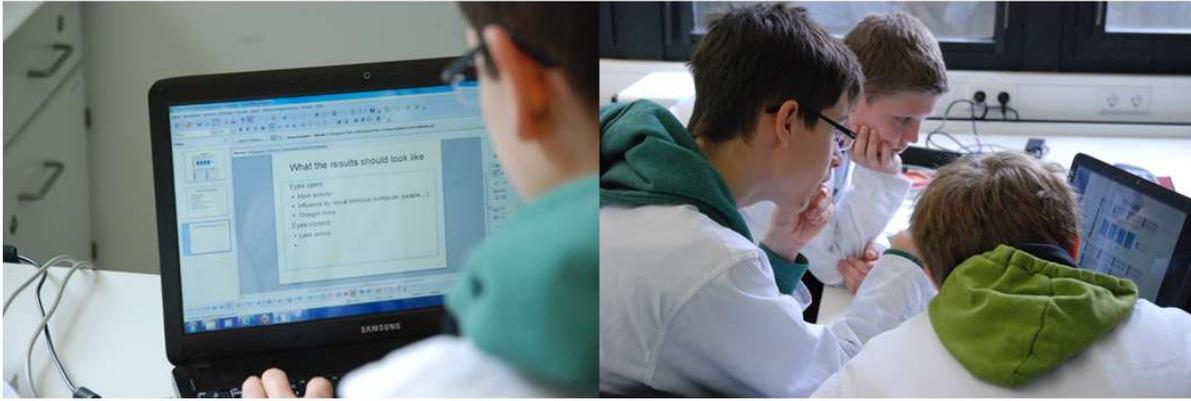


Abbildung 61: Erstellung der Ergebnispräsentation mittels des digital eingestellten *Lab Reports* (links) und Betrachtung der Ergebnisse dazu (rechts)

Abschießende Besprechung

Den Abschluss der inhaltlichen, praktischen und sprachlichen Arbeit am Schülerlabortag bildet die Präsentation als zusammenfassende Darstellung wesentlicher Ergebnisse und Deutungen zu den Experimenten. Dabei stellt eine Arbeitsgruppe stellvertretend ihre Ergebnisse vor und tritt mit dem Plenum in Diskussion über die erzielten Ergebnisse und Deutungsansätze (vgl. Abbildung 62). Die digitalen Präsentationen aller Arbeitsgruppen werden gesammelt und den begleitenden Lehrkräften für die weitere Bearbeitung in der Schule zur Verfügung gestellt.



Abbildung 62: Abschlussbesprechung durch Schülerinnen und Schüler aus der Pilotphase

2.4.3 Besonderheiten des bilingual durchgeführten Schülerlabortages

Hinsichtlich des zeitlichen Ablaufs sowie von der methodischen und sachfachlichen Ausrichtung wurde der bilingual englisch stattfindende Labortag identisch zum monolingual-deutsch stattfindenden Schülerlabortag durchgeführt. Der eintägige bilinguale Schülerlabortag kann aufgrund seines Zeitumfangs und seiner bilingualen

Ausrichtung organisatorisch als bilinguales Modul beschrieben werden (Krechel 2003): Schülerinnen und Schüler nehmen an einem fakultativen, phasenhaft durchgeführten Angebot in einem Sachfach teil. Der Gebrauch der englischen Sprache als Arbeitssprache gewährleistet sowohl einen rezeptiven als auch einen produktiven Fremdsprachengebrauch (vgl. Krechel 2003). Gemäß der Typisierung von Diehr (2012) kann der Fremdsprachgebrauch als Mischform zwischen Typ A und B aufgefasst werden. Einerseits kam in der sachfachlichen Kommunikation ausschließlich die englische Sprache zum Einsatz, ohne dass sie selbst zum Gegenstand des Unterrichts wurde (z.B. Diehr 2012; Krechel 2003). Andererseits wurde in Momenten der kognitiven oder emotionalen Überforderung auf die Muttersprache zurückgegriffen. Gleichzeitig war der Fremdsprachengebrauch im Sinne von CLIL eine simultane experimentelle, inhaltsbezogene sowie fachsprachliche Auseinandersetzung. Einen fundamentalen Sprachwechsel stellt dabei die Benutzung der Fremdsprache Englisch für Lernende im monolingual- deutschen Unterrichtsgang dar. Der von den Richtlinien geforderten doppelten Sachfachlitalität (MSW NRW 2012; Vollmer 2013) wird in diesem Lehr-Lernarrangement durch verschiedene Methoden Rechnung getragen, die im nächsten Kapitel aufgegriffen werden. Zur Fragestellung, ob das in der Fremdsprache erworbene Wissen automatisch in der Muttersprache vorliegt, ohne dass ein expliziter Transfer erfolgt, ist die Forschungslage noch uneinheitlich. Während Badertscher und Bieri (2009) und Krashen (1982) einen quasi automatisierten Transfer annehmen, nimmt beispielsweise Bonnet (2015) für fremdsprachlich erlernte Inhalte eine nichtsprachliche Repräsentation an, die in einer muttersprachlichen Verbalisierung münden kann. Andere Forscher wiederum favorisieren den expliziten Einsatz der Muttersprache und der Fremdsprache zur Ausbildung der doppelten Sachfachlitalität (Diehr 2016; Gablasova 2015).

Grundsätzlich fließen in die Gestaltung der Materialien folgende Leitideen ein: Oft wird die Diskrepanz zwischen fremdsprachlichen und kognitiven Möglichkeiten als hinderliches Moment des bilingualen Unterrichts benannt (z.B. Thürmann 2010). Dem Leitgedanken Vygotskijs (2002) folgend wird das experimentelle bilinguale Lehr-Lernarrangement als Zone der proximalen Entwicklung aufgefasst, die Lernenden eine maximale Entwicklung ermöglicht, indem sie im sozialen Kontakt untereinander und mit den Betreuenden von kompetenten Lernpartnern lernen. Außerdem kann der Einsatz von Gerüstmaßnahmen die selbständige Entwicklung von Lernende zu

kompetenteren Personen unterstützen. Die zum Einsatz kommenden Lernhilfen wurden als *Scaffolds* entwickelt, die das Lernpotenzial von Schülerinnen und Schülern optimal unterstützen (z.B. Thürmann 2013a), dabei Lernende optimal fordern und fördern, ihr Wissen zu konstruieren. Die in den Materialien zum Schülerlabortag genutzten methodischen und fachsprachlichen *Scaffolds* werden im Folgenden dargestellt werden.

2.4.4 Materialien der mono- und bilingualen Schülerlabortage

Exemplarisch werden an dieser Stelle einige Elemente der Materialien vorgestellt und diese besonders in Hinsicht auf die Wissenskonstruktion und das bilinguale Treatment betrachtet. In diesem Zusammenhang werden der Aufbau sowie die Besonderheiten des Skripts vorgestellt, die auf die Wissenskonstruktion abzielen. Exemplarisch werden verwirklichte Prinzipien anhand von am Labortag ausliegenden Materialien wie dem *Concept Mapping* zur Wissenskonstruktion, dem *Lab Report* zur Beschreibung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges und als Raster für die Ergebnissicherung erläutert. Abschließend werden exemplarisch eingesetzte Methoden zur Gewährleistung der doppelten Sachfachliteralität betrachtet.

Das Versuchsskript

Das im bilingualen Treatment zum Einsatz gekommene Skript ist struktur- und inhaltsgleich zum deutschen Skript. In der Einleitung des englischsprachigen Skripts (vgl. Abbildung 63) werden die Lernenden auf die Thematik des Schülerlabortages und auf das Skript eingestimmt: Der Sinn eines englischsprachigen Labortages und Versuchsskriptes wird kurz erläutert und die Strukturierung in vier Kapiteln mit je einem theoretischen Hintergrund und der Versuchsanleitung zu den jeweiligen Experimentalkomplexen wird dargestellt. Das fokussierende Leseprinzip der Leitfragen zu den theoretischen Hintergründen sowie die Bedeutung des *Lab Reports* für die Ergebnissicherung wird eingeführt. Auch werden die Schülerinnen und Schüler mit dem Arbeitsauftrag zu den Leselernkarten (*flashcards*) vertraut gemacht. Abschließend werden die Lernenden auf die Vokabelbox auf jeder Seite und die alphabetische Wortliste am Ende des Skriptes hingewiesen. Auf das *Concept Mapping* wird mit einem separaten Arbeitsblatt eingegangen.

The Brain – A Living Network
A Lab Day on Neuroscience for Students

BeLL Bio

Table of Contents:

1. Experiment 1 = Cup Stacking	pages 2 - 5
2. Experiment 2 = EEG	pages 6 - 11
3. Experiment 3 = Dissecting a Pig's Brain	pages 12 - 16
4. Experiment 4 = Identifying Pyramid Cells	pages 17-20
5. Words	page 21
5.1 Visualization (Flash Cards)	page 21
6. Alphabetic Wordlist	pages 22-23

Dear students,

Why a biology lab day in English? Whatever your plans for your future career might be, both in your studies or in a job, you will most probably be asked to communicate a topic in English as the *lingua franca*.

As shown above, the lab day consists of four experiments. Each chapter is subdivided into 2 sections:

1. Background to Experiment
2. Experiment instruction

At the end of each chapter, guiding questions help you sum up main aspects. In the lab report you will collect your ideas to the experiment. Your notes will support your talk at the end of the lab day. On the lab day, you will be handed a copy of the lab report to note your results to the experiments. You will also create a digital presentation which contains the essence of your findings and analysis.

The last section of the script contains visualization and an alphabetic word list. The visualization contains main aspects of the lab day you should try to verbalize both in German and English. Try to sum up the experiments in a sentence of 20 words using as many relevant technical terms as possible.

Last but not least: We want to encourage you to use English in a flexible way. If ever there is something we can help you with, let us know. Enjoy the script and, most of all, enjoy the lab day on neuroscience!

word bank:
flashcard - Lernkarte
lab report - Versuchsprotokoll

Inhaltsverzeichnis

Englisch als *lingua franca*

Leitfragen

lab report

flashcards

word bank

Abbildung 63: Einleitung des englischsprachigen Skripts

Concept Mapping - Wissenskonstruktion visualisieren

Vor dem Lesen des Skriptes wurden die Schülerinnen und Schüler mit der Methode der Erstellung eines Begriffsnetzes vertraut gemacht (vgl. Abbildung 64). Sie entwarfen eine *Pre-Map* auf Basis des Arbeitsauftrages und unter Benutzung der vorgeschlagenen sowie weiterer passend erscheinender Fachbegriffe und Operatoren (vgl. Abbildung 65), nachdem das Skript gelesen war. Eine *Post-Map* erstellten sie nach Besuch des Schülerlabortages. Zusätzlich nahmen die Lernenden ihre Gespräche zur Entwicklung der *Concept Map* mittels einer kostenfreien Applikation (*Smart Voice Recorder*) auf.

TASK
Creating a Concept Map as a Group

Dear students,
 after having read the script we want you to create a concept-map as a group.
 What is a concept- map?
 In a concept-map you show the relationship of terms by arrows which you label with discourse functions. Furthermore you arrange the words hierarchically to set most important terms on top and less important ones underneath.

The heading term should be “The Brain”. Good luck!

Abbildung 64: Arbeitsauftrag zur *Concept Map*

technical terms	Fachbegriffe
alpha waves	Alphawellen
amplitude of the EEG waves	Amplitude von EEG-Wellen
automatized programme	automatisierte Programme
axon, dendrites, synapses	Axon, Dendriten, Synapsen
beta waves	Betawellen
brain stem	Hirnstamm
cell assemblies	Neuronenverbände
cerebellum	Kleinhirn

discourse functions	Operatoren
can be explained by	kann erklärt werden mit
causes	verursacht
changes	verändert
decreases	nimmt ab
differs from	unterscheidet sich von

Abbildung 65: Auswahl der Fachbegriffe und Operatoren zum *Concept mapping* des Schülerlabortages „The Brain – A Living Network“

Leitaufgaben zur Wissenskonstruktion mit Hilfe des Versuchsskripts

Exemplarisch für die ins Skript eingefügten Leitaufgaben ist hier eine Leitaufgabe zum Aufbau und zur Funktion der Gehirnbereiche (Abbildung 66) abgebildet, die auf eine Fokussierung der Leserichtung seitens der Lernenden abzielt.

3

In Short: What functions do motor cortex, cerebellum, basal ganglia, thalamus and pyramidal tracts have in motor learning?

structure	function
<i>motor cortex</i>	
<i>cerebellum</i>	
<i>basal ganglia</i>	
<i>thalamus</i>	
<i>pyramidal tracts</i>	

Abbildung 66: Beispiel für eine Leitfrage zum motorischen Lernen

Ausliegende Materialien zu jedem Versuch

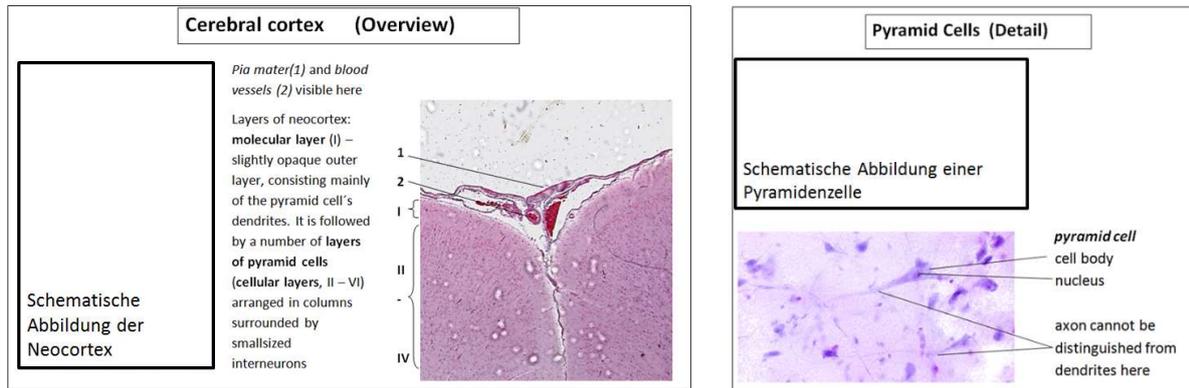


Abbildung 67: Ausliegende Materialien zur Analyse der Fertigpräparate und der erstellten Zellfilme

An jeder Experimentalstation und an den Mikroskopen lagen in Ergänzung zum Skript Materialien aus: Wie im deutschen Kurs umfassen diese je eine Checkliste der wesentlichen Arbeitsschritte, vergrößerte Abbildungen der Präparationsschritte des Schweinehirns bzw. erläuterte Abbildungen, die die Analyse der Fertigpräparate und der erstellten Zellfilme unterstützen. Zusätzlich liegen für den Fall des Nicht-Gelingens des EEG Abbildungen von Versuchsergebnissen für die beiden untersuchten Vigilanzzustände vor.

Der Lab Report

Der *Lab Report* dient dem Nachvollzug des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges und als methodisches Gerüst für das Sammeln von Ergebnissen und bereitet somit die zielgerichtete, prägnante Auswertung vor (Abbildung 68). Die Lernenden werden explizit aufgefordert, sich über das Ziel des jeweiligen Versuches bewusst zu werden und zu ermitteln, in welcher Gehirnregion die jeweiligen Experimente verortet sind (vgl. Abbildung 68, *Aims*). Zudem formulieren die Lernenden eine Hypothese zum Experiment, fassen die Ergebnisse zusammen und diskutieren ihre Ergebnisse durch Fragen geleitet (vgl. Abbildung 68).

LAB REPORT to experiment 1 - Cup stacking (motor learning)

I. AIM OF EXPERIMENT

- What does this experiment aim at?
- What parts of the brain are included in this activity? Mark them.

Abbildung
Gehirn Median-
schnitt

II. Hypothesis
TASK: Form a hypothesis to the experiment!
 Start like this:
 If you learn a new sequence of motions, the resulting learning curve...

III. Your results
 Please produce an excel table and graph.

Results:

	Number of Repetitions	1	2	3	4				
Test person 1	Time (sec)								

IV. Discussion/ Analysis:

- Compare your resulting learning curves to an idealized learning curve. What phases can be identified?
- What brain parts are included in what way when motor learning occurs?
- Relate the results of this experiment to those of the other experiments!

Lab Report

1. Aims

2. Hypothesis

3. Results

4. Discussion
 - Practise & Theory
 - Connection to other Findings

Abbildung 68: Ausschnitt aus dem Lab report (Laufzettel) zum Experiment Cup stacking

Sachfachliches Vokabular

Die Vokabellisten auf jeder Seite bzw. am Ende des Skriptes dienen sowohl der Entwicklung der deutschen Sachfachliteratur als auch dem Abgleich englischsprachiger mit deutschen Fachbegriffen. Hierbei unterstützt die Auflistung der englischen Fachbegriffe in alphabetischer Form ein schnelles Auffinden von Fachbegriffen im Leseprozess (vgl. Abbildung 69, Abbildung 70).

word bank:
flashcard – Lernkarte
lab report - Versuchsprotokoll

Abbildung 69: Vokabelhilfe der Einleitungsseite des Skriptes

<i>alertness</i>	Wachheit
<i>aroused</i>	geweckt, erregt (psychischer Zustand)
<i>aroused/alert</i>	wach (Vigilanzzustand)
<i>basal ganglia</i>	Basalganglien
<i>brain stem</i>	Hirnstamm, Stammhirn (Mittelhirn + Nachhirn)
<i>cell assembly</i>	Neuronenverband
<i>cerebellar cortex</i>	Kleinhirnrinde
<i>cerebellum</i>	Kleinhirn
<i>cerebro-spinal fluid</i>	Gehirnflüssigkeit

Abbildung 70: Ausschnitt aus der alphabetischen Vokabelliste des Skriptes

Methodische und sachfachliche Unterstützung für den abschließenden Vortrag

Zusätzlich stand den Lernenden eine thematisch strukturierte Vokabelhilfe zur Verfügung, die zur Vorbereitung der Präsentation genutzt werden konnte (vgl. Abbildung 71). Thematisch-methodisch war diese am naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg ausgerichtet, enthielt Transportvokabular zur Einleitung sowie zum Abschluss der Präsentation sowie zu den einzelnen Schritten der Versuchsdurchführung. Es orientierte sich dabei an den Schritten des *Lab Report*. So wurde beispielsweise Vokabular zur Beschreibung der eingesetzten Methode und der Ergebnisse bzw. der Kausalzusammenhänge angeboten.

<p>...methods:</p> <p>We tested...</p> <p>We stained...</p> <p>We measured...</p>	<p>Explaining why things happen</p> <p>Because of...</p> <p>...caused by...</p> <p>The reason why... is that...</p> <p>... can be explained by...</p> <p>This led to.../ resulted in...</p> <p>As a result...</p>	<p>... cause and effect?</p> <p>... is caused by...</p> <p>... results from...</p> <p>... is responsible for...</p> <p>Therefore...</p> <p>It is because of... that...</p>
<p>... the result of the investigation?</p> <p>The main finding is that...</p> <p>We found...</p> <p>We observed...</p> <p>... led to the same outcome.</p>		

Abbildung 71: Ausschnitt aus dem *Scaffolding* zur finalen Präsentation

Insgesamt wurde davon ausgegangen, dass die Mehrheit der aufgeführten Begriffe aus dem Fremdsprachenunterricht bekannt ist und ein Verweis deren Einsatz unterstützt.

Leselernkarten

Leselernkarten (*flashcards*) sind dem Skript beigelegt und sollten nach Lesen des Skriptes die Rekapitulation wesentlicher Aspekte der vier Experimentalkomponenten erleichtern. In den Leselernkarten sind dem Skript entnommene Abbildungen mit der Absicht zusammengestellt, durch eine Visualisierung das Wiedererkennen sowie die Vernetzung der Fachinhalte zu erleichtern. Die Verteilung unterstützt in diesem Zusammenhang die Zuordnung der Konzepte und die Strukturierung der Gedanken.



Abbildung 72 Visualisierung der Flashcards. Indikation der Versuche zur Verdeutlichung ergänzt

Die Aufgabenstellung zu den Lernkarten fordert zur Formulierung wesentlicher Aspekte der vier Versuche in englischer wie deutscher Sprache auf. Zielsetzung ist es, eine pragmatische und einfach zu realisierende Form der Ergebnissicherung auch in der deutschen Sprache zu gewährleisten. Dabei kann eine Strukturierung weiterhin anhand des naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs erfolgen. Ein Vergleich verschiedener Beiträge kann die Unterschiedlichkeit und Gemeinsamkeiten der selbsttätigen Strukturierung des Themas und der Vernetzung der Komponenten aufzeigen und als Vorbereitung für eine Zusammenfassung der Auswertungen dienen.

2.4.5 Kurzcharakterisierung des bilingualen Schülerlabortages aus bilingualer Sicht

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird bei der Entwicklung der Schülerlaborkurse auf die in dieser Arbeit vorgestellten Konzepte zurückgegriffen. Das modulhaft durchgeführte, eintägige bilinguale & experimentelle Lehr-Lernarrangement wird so konstruiert, dass es in sachfachlicher wie fremdsprachlicher Hinsicht für

Schülerinnen und Schüler mit und ohne bilinguale Vorerfahrung gewinnbringend ist. Die Wissenskonstruktion erfolgt mittels kognitiver und psychomotorischer Fertigkeiten mit dem Ansatz von *Content and Language Integrated Learning* (CLIL). Die Fremdsprache wird als Medium rezeptiv und produktiv genutzt (Krechel 2013), um vor allem sachfachliche Inhalte und Methoden zu lernen, anzuwenden und zu vertiefen. Der Einsatz der Fremdsprache als Medium des inhaltlichen Austausches wird praktisch experimentierend angewandt, und durch einen zielgerichteten (planvollen) Einsatz der Muttersprache beispielsweise bei Verständnisproblemen unterstützt (Diehr 2012, Typ A - B).

Die kognitive und sprachliche Leistungsfähigkeit einbeziehend und den Schwierigkeitsgrad der Aufgaben berücksichtigend, wird im Sinne Vygotskijs (2002) mittels Stützmaßnahmen eine Lernumgebung geschaffen, die eine gerade leistbare Zone der proximalen Entwicklung darstellt. Dabei kommt es zum Einsatz sprachlicher und fachlicher Stützmaßnahmen für die Rezeption, die Verarbeitung von Informationen und für die Produktion (Böwing 2013; Thürmann 2013a, 2013b), um auch eine doppelte Sachfachliterate zu entwickeln. Inhaltlich und methodisch gewährleistet der entwickelte Schülerlabortag eine Anbindung an die geltenden Vorgaben für das Zentrale Abitur in NRW (MSW NRW 2015, 2013b). Die in den geltenden Kernlehrplänen (MSW NRW 2014) curricular verankerten vier Kompetenzbereiche ermöglichen die Behandlung eines Themas auf den Ebenen des Fachwissens, des Erkenntnisgewinns sowie der Kommunikation und der Bewertung. Erkenntnisgewinn und Kommunikation sind im dargestellten Lehr-Lernarrangement besonders bedeutsam bei der sach- und fachbezogenen Erarbeitung sowie beim Austausch von Informationen seitens der Teilnehmenden.

2.5 Vorgehensweise bei der Dateneingabe und Auswertung

Die Daten der Fragebögen der Hauptstudie wurden manuell eingelesen und der visuellen Kontrolle unterzogen. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe der Software *IBM SPSS Statistics 22* bis 24. Um eine weitestgehend einheitliche Stichprobengröße zu gewährleisten, wurden die Fehlwerte identifiziert und nach Ermittlung des Signifikanzwertes mit Hilfe eines EM-Algorithmus (*Expectation Maximization-Algorithmus*) ersetzt (Bortz und Döring 2006). Hieran schloss sich ein zweischrittiges Analyseverfahren an, in dem zunächst zwecks Optimierung der Messqualität eine Itemanalyse für die Wissensitems und die affektiven Items vorgenommen wurde (z.B.

Bortz und Döring 2006), worauf der Schritt der deskriptiven und schließenden Statistik folgte.

Die Auswertung der *Concept Maps* von Odenthal (2015) wurde ebenfalls manuell vorgenommen. Die Tonaufnahme der Aushandlungsgespräche erfolgte durch eine Applikation (*smart voice recorder*, Odenthal 2015; Thum 2015) bzw. durch mit einem an den Computer angeschlossenen Aufnahmegerät (Heidemann 2015). Die Tonaufnahmen wurden in den zuvor genannten Studien zur Erstellung von Transkripten genutzt (Odenthal 2015; Heidemann 2015; Thum 2015).

2.5.1 Fehlwerte ersetzen

In den Daten mit einer Stichprobengröße von $N=218$ wurden in den Items des Wissenstests, des affektiven Fragebogens und des Lückentexts Fehlwerte zwischen 0,5% und maximal 9,7% ermittelt. Hier kam das Verfahren nach MCAR (*Missing completely at random*) zum Einsatz: Der Mechanismus, der dem Fehlen von Daten zugrunde liegt, ist weder von den fehlenden Daten noch von den kompletten Daten abhängig. Der Signifikanzwert des MCAR-Verfahrens nach Little, mit SPSS ermittelt, betrug $p=1.000$, was deren zufällige Entstehung belegt (IBM 2014). Für alle Signifikanzen $p \geq 0,05$ wird die Nullhypothese nicht verworfen und es kann angenommen werden, dass das Fehlen der Daten absolut zufällig ist (IBM 2014). Diese Fehlwerte wurden mittels EM Algorithmus ersetzt. Nicht einbezogen in diese Ersetzung wurden die Items zu persönlichen Dispositionen, die als Personenkenndaten aufgenommen wurden. Hier finden sich entsprechend variierende Stichprobengrößen. Für das Messinstrument des Flow-Erlebens, in dem ein Fehlerwert von bis zu 23,9% ermittelt wurde, wurde eine Subgruppe von $N=97$ gebildet, die eine komplette Datenlage aufweist.

2.5.2 Itemanalyse des Wissenstests

Die Items des Wissenstests im Fragebogen dienen der Abbildung der kognitiven Leistungsfähigkeit in einem umgrenzten Wissensgebiet. Für ein richtig beantwortetes Item werden ein Punkt und für ein falsch beantwortetes Item kein Punkt vergeben. Entsprechend bildet eine hohe erreichte Punktzahl eine hohe kognitive Leistungsfähigkeit und eine niedrige Punktzahl eine geringere kognitive Leistungsfähigkeit ab. Items sind dann informativ, wenn sie Personenunterschiede sichtbar machen (Bortz und Döring 2006). Der Schwierigkeitsindex kennzeichnet den Anteil der Probanden, die ein Item richtig lösen bzw. bejahen (Bortz und Döring 2006).

Anders ausgedrückt stellt er die prozentuelle Lösungshäufigkeit eines Items bezogen auf alle Probanden dar (Zöfel 2002). Ohne Aussagekraft für die Leistungsfähigkeit sind zu leichte oder zu schwere Wissenstests, da sie die Leistungsfähigkeit oder Kompetenz entweder nicht abbilden, weil sie unabhängig von der Kompetenz von jedem Lernenden beantwortet oder von keinem Lernenden beantwortet werden können. Ein zu schwerer Test vermittelt entsprechend auch bei sehr kompetenten Schülerinnen und Schülern den Eindruck einer geringeren Leistungsfähigkeit. Ein zu leichter Test vermittelt demgegenüber bei wenig kompetenten Lernenden unzutreffend den Eindruck einer höheren Leistungsfähigkeit (z.B. Beller 2016). Anschließend wird auf Trennschärfe untersucht. Der Trennschärfekoeffizient besagt, wie gut ein einzelnes Item die Gesamtheit des Tests repräsentiert, oder wie gut aufgrund eines einzelnen Items das gesamte Testergebnis vorausgesagt wird. Entsprechend erzielen Probanden, die insgesamt ein hohes Testergebnis erreichen, in trennscharfen Einzelitems ebenfalls eine hohe Punktzahl. Der Trennschärfekoeffizient drückt die Korrelation der Beantwortung des Einzelitems mit dem Gesamtttestwert aus (Bortz und Döring 2006). Als eine mittlere Korrelation werden Werte von 0,3 bis 0,5, als hohe Korrelation solche oberhalb von 0,5 angesehen. Jedoch zeigen extrem schwierige beziehungsweise leichte Items grundsätzlich eine geringere Trennschärfe als mittelschwere Items (Beller 2016, S. 59). Entsprechend erfolgt die Testung auf Schwierigkeit und Trennschärfe. Vergleichbaren Studien folgend (Damerau 2012; Rodenhauser 2016; Wilde 2007) wird eine Itemprüfung im Intervall Schwierigkeitsindex von 10% bis 90% im Nachtest zur Anwendung gebracht. Weiterhin werden Items mit einer Trennschärfe $<0,1$ identifiziert und eliminiert (z.B. Damerau 2012). Alle verbleibenden Items werden für die weiteren Berechnungen herangezogen. In Tabelle 51 sind die ursprüngliche Itemzahl, die Itemreduktion nach Ermittlung des Schwierigkeitsindex und der Trennschärfe sowie die Reliabilität für den kognitiven Test zusammengefasst.

Tabelle 50: Verbleibende Itemzahl des Wissenstests nach Bestimmung des Schwierigkeitsindex und Bestimmung der Trennschärfe einschließlich der Reliabilität (Cronbachs α) im Posttest

Wissenstest	Ursprüngliche Itemzahl	Itemzahl nach Bestimmung des Schwierigkeitsindex	Itemzahl nach Bestimmung der Trennschärfe	Cronbachs α
Gesamtstichprobe	112	108	61	0,656

Auch wurde überprüft, dass durch die verbleibenden Items die ursprüngliche Verteilungs-Repräsentation hinsichtlich der vier Konstrukte eingehalten blieb.

2.5.3 Itemanalyse der Lese- und Schreibfähigkeit in englischer Sprache

Beim *Cloze* Test wurde wie beim Wissenstest eine Testung nach Schwierigkeit und Trennschärfe vorgenommen. Die Ergebnisse der Itemanalyse sowie der Reliabilitätsberechnung für den Pretest wurden vorgenommen und sind in Tabelle 51 zusammengefasst.

Tabelle 51: Verbleibende Itemzahl des *Cloze*-Tests nach Bestimmung des Schwierigkeitsindex und der Trennschärfe einschließlich der Reliabilität (Cronbachs α)

Ursprüngliche Itemzahl	Itemzahl nach Bestimmung des Schwierigkeitsindex	Itemzahl nach Bestimmung der Trennschärfe	Cronbachs α
32	24	24	(Pre) 0,848

Der *Cloze* Test wurde so ausgewertet, dass jede korrekt gefüllte Lücke einen Punkt ergab und jeder orthografische oder andersartige Fehler mit null Punkten bewertet wurde (vgl. Arras et al. 2002)

2.5.4 Itemanalyse der affektiven Messinstrumente

Auch die Items der affektiven Messinstrumente werden auf Trennschärfe überprüft. Die Trennschärfe bei affektiven Items belegt die Trennschärfe zwischen Probanden mit hoher bzw. niedriger Merkmalsausprägung. Nach Testung werden Items geringer Trennschärfe ausgeschlossen und sind in den Darstellungen zur ihrer Beschreibung in Abschnitt 2.3.1.3.1 als gestrichen kenntlich gemacht. Weitere Berechnungen werden mit den verbleibenden Items vorgenommen.

2.5.5 Prüfung der Daten auf Normalverteilung

Viele Verfahren der deskriptiven und interferierenden Statistik erfordern für die berechneten Mittelwerte ein intervallskaliertes Skalenniveau und die Überprüfung der Datenlage, z.B. auf Normalverteilung (Rohdatenverteilung). Die Intervallskalierung kann für die Punktwerte des Wissenstests bzw. *Cloze* Tests angenommen werden. Die Items der affektiven Messinstrumente, die mittels Likert-Skala erhoben werden, werden wie in vergleichbaren Studien (Damerau 2012) als intervallskaliert betrachtet. In der Regel werden normalverteilte Daten angestrebt (Bortz und Döring 2006).

Die Normalverteilung

Die Normalverteilung von Werten impliziert einen am häufigsten vorkommenden Mittelwert (M) und um diesen Mittelwert glockenförmig oder symmetrisch streuende Werte (Beller 2016). Dabei ist dieses arithmetische Mittel die Summe aller Einzelwerte dividiert durch die Anzahl der Werte. Somit streuen größere Werte besonders gehäuft um den Mittelwert und extrem kleine wie extrem große Werte treten gleichermaßen selten auf (Beller 2016).

Die Prüfung auf Normalverteilung wird für alle Daten mittels Kolmogorov-Smirnov Test auf Normalverteilung in SPSS vorgenommen. Alternativ erfolgt die optische Begutachtung anhand von Histogrammen. Weiterhin können die Schiefe (*skewness*) und die Wölbung (Kurtosis) für die Beurteilung der Normalverteilung herangezogen werden (Bühl 2014). Rasch und Guiard (2004) weisen darüber hinaus darauf hin, dass viele statistische Verfahren robust gegenüber Abweichungen von der Normalverteilung sind und auch bei Abweichung eingesetzt werden können.

Das Maß Schiefe (*skewness*) beschreibt die Abweichung der Häufigkeiten von der symmetrischen Verteilung. Bei einer rechtsschiefen Häufigkeitsverteilung befindet sich das Maximum auf der linken Seite und bedingt einen positiven Wert (Beller 2016, linkssteil). Eine linksschiefe Verteilung zeigt demgegenüber ein nach rechts verschobenes Maximum und bedingt einen negativen Wert. Liegen die Werte für die Schiefe im Intervall von +3 bis -3, kann eine Normalverteilung angenommen werden (vgl. Kline 2016). Die *Kurtosis* (Wölbung) beschreibt die Ausdehnung des Gipfels und kann breitgipflig oder schmalgipflig ausgeprägt sein (Bühl 2014). Mittels SPSS kann die sogenannte Fisher-Kurtosis ermittelt werden. Für Werte der Fisher-Kurtosis < 7 kann Normalverteilung angenommen werden (Kline 2016).

Erst an die Prüfung der Normalverteilung schließt sich die Berechnung von Mittelwerten an. Für alle im Weiteren dargestellten Daten ist die Normalverteilung mit dem KS-Test ermittelt oder liegt die Schiefe und Kurtosis in den beschriebenen Intervallen.

2.5.6 Prüfung der Daten auf Korrelation

Die Korrelationsanalyse dient der Untersuchung der bivariaten Zusammenhangshypothese (Bortz und Döring 2006) und drückt entsprechend den Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen aus. Dieser Zusammenhang wird auch als Kovarianz oder Kovariation bezeichnet, wenn zwei Variablen „miteinander variieren“ (Beller 2016). Der in dieser Studie eingesetzte Korrelationskoeffizient r nach Pearson, der auch als Produkt-Moment-Koeffizient bezeichnet wird (Beller 2016), wird für intervallskalierte und normalskalierte Variablen genutzt. Der Korrelationskoeffizient beschreibt die Stärke des linearen Zusammenhangs zweier Variablen und variiert zwischen +1 und -1. Ein positiver Wert wird ermittelt, wenn ein gleichsinniger Zusammenhang besteht und ein negativer Wert weist auf einen gegenläufigen Zusammenhang hin. Je größer der Wert der Korrelation ist, desto stärker ist der lineare Zusammenhang.

Bezüglich der Interpretation der Korrelationskoeffizienten gibt es verschiedene Einstufungen (Bühl 2014; Quatember 2014). Hier wird sich an der Einstufung nach Bühner und Ziegler (2012) und Cohen et al. (2008) orientiert:

$r = 0,10$: geringe Korrelation

$r = 0,30$: mittlere Korrelation

$r = 0,50$: starke Korrelation.

2.5.7 Statistische Tests – t -Test, ANOVA, ANCOVA und Post-Hoc-Test

Die hier zusammengefassten Verfahren dienen der Untersuchung der Unterschiedshypothese. In dieser Studie werden sowohl Intergruppenvergleiche zwischen Gruppen zu einem Messzeitpunkt als sogenannten Querschnittstudien als auch Inter- und Intragruppenvergleiche zu verschiedenen Messzeitpunkten als Längsschnittstudien vorgenommen.

Bei Querschnittsvergleichen zweier Mittelwerte kommt der t -Test für unabhängige Stichproben zur Anwendung (vgl. Abbildung 73). Hierbei erfolgt beispielsweise ein Vergleich der Mittelwerte der Stichproben von Jungen und Mädchen oder unterschiedlicher Treatmentgruppen. Bei Querschnittsvergleichen mit mehr als zwei

Mittelwerten werden diese mittels einfaktorieller ANOVA mit dem Allgemeinen Linearen Modell (ALM) in SPSS durchgeführt (vgl. Abbildung 73).

Viele kognitive und affektive Variablen, wie das Fachwissen, die fremdsprachliche Sprachkompetenz im Englischen, das Fachinteresse oder die Fähigkeits-selbstkonzepte wurden zu mehreren bzw. allen drei Messzeitpunkten erhoben und werden in Längsschnittanalysen zwischen zwei oder mehreren Vergleichsgruppen (z.B. Treatments) untersucht.

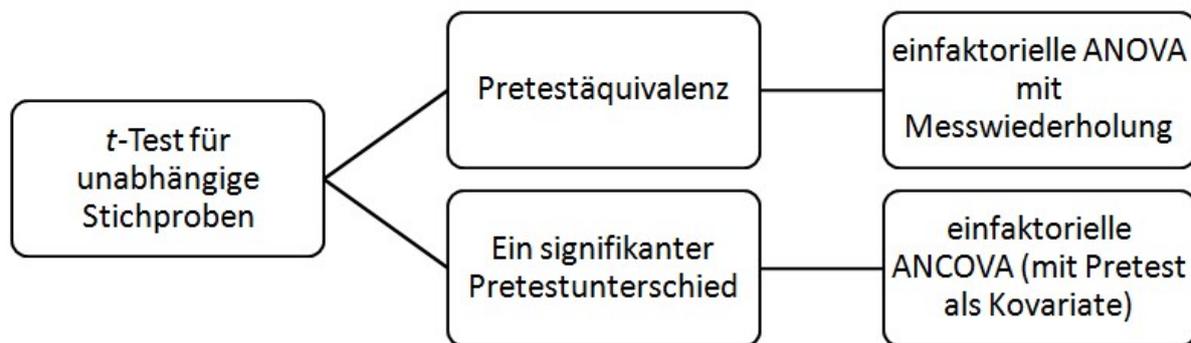


Abbildung 73: Statistisches Vorgehen bei Längsschnittuntersuchungen von zwei Vergleichsgruppen (ANOVA = Varianzanalyse, ANCOVA= Kovarianzanalyse)

Bei der längsschnittlichen Untersuchung von zwei Vergleichsgruppen, wie z.B. den Treatmentgruppen, werden zunächst die Vortestergebnisse auf Pretestäquivalenz in Querschnittsanalysen mittels t -Tests für unabhängige Stichproben vorgenommen, um bereits vor dem Labortag vorhandene Unterschiede aufzuspüren (vgl. Abbildung 73). Im Falle der Pretestäquivalenz werden zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung (Varianzanalysen mit Messwiederholung) angeschlossen, in denen die zeitliche Veränderung den einen und die Vergleichsgruppe (z.B. Treatment) den anderen Faktor darstellt. Die ANOVAs werden paarweise durchgeführt (für Pre- und Posttest, Pre- und Follow-up-Test, oder Post- und Follow-up-Test), um zu ermitteln, in welchem Messzeitraum die beobachteten Unterschiede auftreten. Es wird zwischen dem Haupteffekt und dem Interaktionseffekt unterschieden. Der Haupteffekt Treatment (z.B. englische und deutsche Treatmentgruppe) ist dabei der Einfluss des Faktors Zeit auf eine abhängige Variable, beispielsweise auf das Wissen. Der Interaktionseffekt beschreibt die Wechselwirkung der beiden Faktoren Zeit und Treatment auf eine abhängige Variable und ermöglicht eine Aussage darüber, ob sich bei den beobachteten Gruppen eine signifikant unterschiedliche Entwicklung vollzogen hat,

der Schülerlabortag also einen unterschiedlichen Einfluss auf die kognitiven oder affektiven Variablen der beiden Vergleichsgruppen hatte. In dieser Studie wird i.d.R. der Interaktionseffekt ausgewiesen.

Werden zum Pretestzeitpunkt bereits Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt (vgl. Abbildung 74), so schließen sich Kovarianzanalysen (ANCOVAs) an. Bei ihnen wird die unabhängige Variable (z.B. Treatment, Geschlecht) als Faktor, das Pretestergebnis (z.B. des Wissenstests) als Kovariate und das Ergebnis des Posttests oder Follow-up-Tests als abhängige Variable eingesetzt. Bei diesem Kovarianzverfahren wird entsprechend der Einfluss der Kovariate auf die abhängige Variable eliminiert, indem sie identifiziert und als Kovariate in die Berechnungen einbezogen wird (Field 2009).

Ein signifikantes Ergebnis in der Varianzanalyse besagt, dass sich die Mittelwerte signifikant unterscheiden, gibt jedoch keinen Aufschluss darüber, welche Gruppen sich unterscheiden. Aufschluss darüber gibt in den Berechnungen der Post-Hoc-Test nach Scheffé.

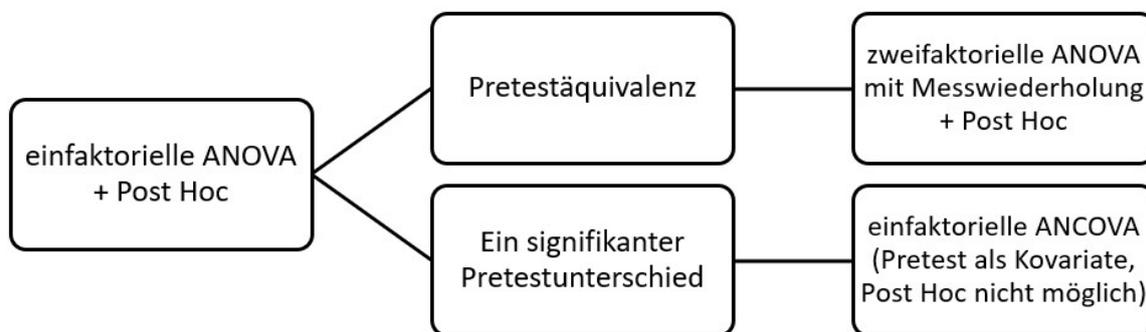


Abbildung 74: Statistisches Vorgehen bei Längsschnittuntersuchungen von mehr als zwei Vergleichsgruppen (ANOVA = Varianzanalyse, ANCOVA= Kovarianzanalyse)

Bei der Untersuchung von mehr als zwei Vergleichsgruppen (z.B. Clustervergleiche der Lernertypen) wird auf vorhandene Unterschiede vor Laborbesuch mittels einer einfaktoriellen univariaten Varianzanalyse inklusive Post-Hoc-Test nach Scheffé getestet (vgl. Abbildung 74). Für den Fall der Pretestgleichheit werden, analog zum zuvor beschriebenen Verfahren, zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung angeschlossen, die bei mehr als zwei Variablen mit Post-Hoc-Tests kombiniert werden (vgl. Abbildung 74). Wiederum wird zwischen Haupteffekt und Interaktionseffekt unterschieden und der Interaktionseffekt berichtet. Auf Basis der Post-Hoc-Tests wird

für die betrachteten abhängigen Variablen der Einfluss des Schülerlabortages auf die Vergleichsgruppen identifiziert.

Für den Fall der Pretestungleichheit werden bei Berechnungen mit mehr als zwei Variablen univariate ALM-Tests angeschlossen. Wiederum wird die unabhängige Variable (z.B. Treatment, Geschlecht) als Faktor, das Pretestergebnis (z.B. des Wissenstests) als Kovariate und das Ergebnis des Posttests oder Follow-up-Tests als abhängige Variable eingesetzt. Hier kann nicht mittels Post-Hoc-Tests identifiziert werden, zwischen welchen Vergleichsgruppen der Unterschied besteht. Eine Kennzeichnung der Signifikanzniveaus von ANOVAs in Abbildungen erfolgt aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht.

2.5.8 Festlegung der Signifikanzniveaus

In statistischen Tests wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit p ausgewiesen. Sie beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein bedeutsamer Unterschied für Daten angenommen wird, obwohl sie in der Grundgesamtheit nicht repräsentiert werden, also die Nullhypothese gelten müsse (z.B. Eid et al. 2010). Die Signifikanz verweist folglich mit einer bestimmten Irrtumswahrscheinlichkeit auf Vorhanden- oder Nichtvorhandensein eines Unterschieds. Üblicherweise wird bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$ von einem signifikanten Ergebnis ausgegangen (z.B. Beller 2016). Die weiteren Signifikanzniveaus sind in Tabelle 52 zusammengefasst. Zuweilen wird in vergleichbaren Studien ein Signifikanzniveau von $0,05 < p \leq 0,1$ als „tendenziell“ bezeichnet (z.B. Hampel et al. 2007; Mittag und Jerusalem 1999). In Grafiken des Ergebnisteils werden die Signifikanzniveaus ausgewiesen, * bedeutet entsprechend „signifikant“ (vgl. Tabelle 52):

Tabelle 52: Signifikanzniveaus und deren Kennzeichnung in den Abbildungen (vgl. Bühl 2014)

Signifikanzniveau	Bezeichnung	Kennzeichnung in Abbildungen
$p > 0,05$	nicht signifikant	
$p \leq 0,05$	signifikant	*
$p \leq 0,01$	sehr signifikant	**
$p \leq 0,001$	höchst signifikant	***

2.5.9 Untersuchung der Effektstärke

Um die Bedeutsamkeit von Ergebnissen zu ermitteln, wird die Stärke des Einflusses der unabhängigen auf die abhängige Variable oder mehrere abhängige Variablen angegeben. Die Effektstärke ist unabhängig von der Stichprobengröße. In der vorliegenden Studie werden die Effektstärken für unabhängige *t*-Tests als Omega-Quadrat (ω^2 , Albert und Koster 2002) und für abhängige *t*-Tests als partielles Eta-Quadrat (η^2) ausgewiesen. In diesem Zusammenhang geschieht die Berechnung von ω^2 aus dem von SPSS ausgegebenen *t*-Wert und den jeweils verglichenen Stichprobengrößen N_1 und N_2 :

$$\omega^2 = (t^2 - 1) / (t^2 + N_1 + N_2 - 1) \quad (\text{Albert und Koster 2002})$$

Die Beurteilung der ω^2 -Werte orientiert sich an den in Tabelle 53 dargestellten Richtwerten:

Tabelle 53: Richtwerte zur Beurteilung von ω^2 (nach Albert und Koster 2002)

Wert	Interpretation
$\omega^2 \leq 0$	kein Effekt
$0,01 \leq \omega^2 < 0,06$	geringer Effekt
$0,06 \leq \omega^2 < 0,15$	mittlerer Effekt
$\omega^2 \geq 0,15$	erheblicher Effekt

Das partielle Eta-Quadrat (η^2) wird für abhängige *t*-Tests nach der folgenden Formel berechnet (Rasch et al. 2014)

$$\eta^2 = \frac{(t^2 \text{ abhängig } / df)}{1 + (t^2 \text{ abhängig } / df)}$$

Für die Varianzanalysen wird das partielle Eta-Quadrat (η^2) aus den SPSS-Ausgaben übernommen. Die Beurteilung der Effektstärke orientiert sich hier an den Angaben von Cohen (1988, vgl. Tabelle 54):

Tabelle 54: Richtwerte für die Beurteilung von η^2 (Cohen 1988)

Wert	Interpretation
$\eta^2 = 0,01$	kleiner Effekt
$\eta^2 = 0,06$	mittlerer Effekt
$\eta^2 = 0,14$	großer Effekt

2.5.10 Bildung von Subgruppen durch hierarchische Clusteranalyse

In der Hauptstudie wird eine hierarchische Clusteranalyse mit der Gesamtstichprobe vorgenommen, indem Lernende mit ähnlichen Ausprägungen für ausgewählte affektive Personenvariablen in Lernertypen eingeteilt werden. Für diese Analyse werden die Variablen des Pretests Fachinteresse Biologie und Englisch, die Fähigkeitsselbstkonzepte Bilingualität und Durchführung sowie das Sachinteresse Durchführung und das tätigkeitsbezogene Sachinteresse Auswertung herangezogen.

In der hierarchischen Clusteranalyse bildet zunächst jeder Fall (jeder Lernende) ein eigenes Cluster und wird sukzessive mit dem nächstgelegenen Cluster vereinigt, so dass Fälle mit ähnlichen Personenausprägungen ein gemeinsames Cluster bilden. Das Distanzmaß ist hier der Quadrierte Euklidische Abstand und die Clustermethode die des entferntesten Nachbarn (*complete linkage*, Bühl 2014). Die Clusteranalyse wird abgeschlossen, wenn übergeordnete Cluster mit großer Distanz zueinander gebildet wurden. Fallpaare mit der größten Distanz sind in jeweils unterschiedlichen Clustern positioniert. In dieser Studie werden die Lernenden mittels hierarchischer Clusteranalyse in drei Cluster globaler Dispositionen differenziert, die im Ergebnisteil als die Lernertypen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder bezeichnet werden und als Subgruppen differenziert weiteren Analysen unterzogen werden.

2.5.11 Faktorenanalytische Berechnungen

Werden neue Messinstrumente zur Erprobung gebracht, kommt eine Faktorenanalyse zum Einsatz. Sie führt eine größere Anzahl von Variablen anhand gegebener Fälle auf eine kleinere Zahl von Faktoren, unabhängigen Einflussgrößen, zurück, indem sie jene Variablen zusammenfasst, die untereinander stark korrelieren (Bortz und Döring 2006; Bühl 2014).

Es wird zwischen der explorativen Faktorenanalyse (EFA) und der konfirmatorischen Faktorenanalyse (CFA) unterschieden. Explorative Faktorenanalysen kommen zum Einsatz, wenn unbekannt ist, ob und in welcher Weise die zu untersuchenden Variablen in Zusammenhang stehen. Diese führt folglich zur Aufdeckung von Strukturen und Dimensionen (Bühl 2014). Die konfirmatorische Faktorenanalyse wird zur Überprüfung von Modellen hypothetischer Faktoren genutzt. Annahmen über die Beziehung zwischen Variablen bzw. deren Zuordnung zu nicht direkt beobachtbaren Fällen werden getestet. Entsprechend dient die konfirmatorische Faktorenanalyse der Überprüfung von Hypothesen oder vorab aufgestellten Modellen. Die konfirmatorische Faktorenanalyse belegt folglich, ob und inwiefern die empirisch erhobenen Daten dem hypothetischen Modell entsprechen (Bühl 2014)

In dieser Studie wurde eine explorative Faktorenanalyse für neu formulierte Items vorgenommen, da diese zwar theoretisch begründet, aber nicht aufgrund von bestehenden fein ausdifferenzierten Modellen entwickelt werden konnten. Dazu wurde als Extraktionsmethode die Kategorie entferntester Nachbarn gewählt und die orthogonale Rotation nach Varimax-Methode durchgeführt (Bühl 2014). Nachfolgend wurde der Zusammenhang zwischen den Variablen aufgespürt und mit einer Bezeichnung belegt. Bei Variablen mit annähernd gleich hoher Ladung für zwei Faktoren kann eine Zuordnung aufgrund der inhaltlichen Aussage erfolgen.

2.5.12 Vorgehensweise bei der Berichtung der Einflüsse der Personenvariablen Migrationshintergrund und Geschlecht

Im Ergebnisteil werden für die kognitiven und sprachlichen Wissenstests ermittelte signifikante Pretestunterschiede sowie Testunterschiede und Testäquivalenzen bezüglich der Personenvariablen Migrationshintergrund und Geschlecht explizit benannt. Im Ergebnisteil der affektiven Wirksamkeit erfolgt eine Benennung der Ergebnisse nur bei Signifikanz und bedeutsamer Effektstärke.

2.5.13 Vorgehensweise bei der Auswertung in den Nebenstudien

Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei der Dateneingabe und Auswertung in den verschiedenen Nebenstudien dargestellt.

Pre- und Post-*Concept Maps* in Studie I (Odenthal 2015)

Die in dieser Studie zur Auswertung von *Concept Maps* untersuchten Gütekriterien werden vorgestellt und die Vorgehensweise bei der Auswertung erläutert: Der Indikator

Umfang entspricht Summe aller Verknüpfungen bzw. Relationen und wird als Maß für die Vernetztheit des Wissens angesehen (Eckert 2000). Außerdem wird die Zuordnung der benutzten Begriffe zu den vier Konzepten „Motor Learning“, „EEG“, „Brain Anatomy“ und „Pyramid Cells“ ermittelt. Des Weiteren gibt der durchschnittliche Knotengrad an, mit wie vielen anderen Begriffen ein Knoten im Durchschnitt verbunden ist, wird zunächst für jeden einzelnen Knoten der *Concept Map* betrachtet und schließlich als arithmetisches Mittel ausgedrückt. Er ist ein Kennwert für das Zusammenhangswissen. Der Durchmesser einer *Concept Map* bezeichnet die längste Relation, mit der zwei Konzept-Kategorien direkt verbunden sind. Es wird ebenfalls ein arithmetisches Mittel errechnet. Eine hohe Dichte weist auf ein komplexes Konzeptverständnis hin. Die Qualität wird auf Basis der Fehlerquote ermittelt und bezeichnet die Richtigkeit der CM. Dazu werden richtig beschriebene Relationen mit +1, unbeschriebene richtige Relationen mit +0,5, fachlich inkorrekte Aussagen mit -1 und ungenaue Aussagen mit -0,5 berechnet. Alle Indikatoren werden für die weiteren Berechnungen ohne die Verwendung weiterer Faktoren belassen.

Audioaufnahmen

Die Audio-Dateien der Aushandlungsgespräche wurden transkribiert (Odenthal 2015) und das für von Hitzler (1991, zitiert in Hugl 1995) vorgeschlagene Zeichensystem verwendet. Inkorrekte Aussprache wurde kursiv markiert und die Sequenzierung des Transkripts wurde anhand des Sprecherwechsels vorgenommen, dabei die verschiedenen Sprecher mit fortlaufenden Buchstaben gekennzeichnet. Einige Transkripte wurden von zwei Testern (Heidemann 2015; Odenthal 2015) kodiert und bei einem Vergleich wurden keine großen Unterschiede deutlich, was die Interkoderreliabilität erhöht. Auch wurde in Anregung an die Vorgehensweise bei DESI-Studien ein zweiseitiger Transkriptionsdurchgang eingehalten, indem der Transkripterstellung ein Kontrollschritt folgte. Die Aufbereitung der Audio-Dateien erfolgte ohne computergestützte Verfahren (Odenthal 2015).

Die Auswertung der Audiotonaufnahme zur Konsensusaushandlung in der Studie von Odenthal (2015) geschah am Beispiel eines Gruppenergebnisse. Das erstellte Transkript des Aushandlungsgesprächs einer Arbeitsgruppe wurde auf die Konsensusaushandlung hin untersucht, die Kriterien identifiziert, benannt und quantifiziert.

In ihrer Studie untersuchte Heidemann (2015) die erstellten Transkripte zu den Audioaufnahmen auf Diskursfunktionen in englischer Sprache hin. Dazu identifizierte sie die Marker für diese, ordnete sie den Diskursfunktionen zu und quantifizierte sie in den Transkripten zu den Pre- und Post-Maps und in den Abschlusspräsentationen. Dabei wurden Diskursfunktionen nur als vorhanden verzeichnet, wenn entsprechende Marker benutzt wurden, nicht aber, wenn aus dem Kontext ersichtlich wird, dass eine bestimmte Diskursfunktion gemeint ist.

Thum (2015) ging in ihrer Studie genauso vor. Die erstellten Transkripte untersuchte sie zum einen qualitativ bezüglich des Auftretens der als Kriterien ermittelten Merkmale und quantifizierte hernach die Merkmale, wie in Kapitel 2.3.2.2 dargestellt (vgl. Tabelle 46 und Tabelle 47).

2.5.14 Vorgehensweise bei der Auswertung der Lehrkräftebefragung

Zur offen formulierten Fragestellung wurden Kategorien gebildet und die geschlossenen Fragen quantitativ ausgewertet.

3 ERGEBNISSE

Nachfolgend werden die Ergebnisse der kognitiven, sachfachlichen und fremdsprachlichen sowie affektiven Evaluation zu dem in bilingual-englischer und monolingual-deutscher Sprache durchgeführten Neurobiologiekursen „The Brain – A Living Network“ vorgestellt. Dabei orientiert sich die Darstellung der Ergebnisse an den in Kapitel 1.3 formulierten Fragestellungen, deren Schwerpunktlegung und deren Reihenfolge.

Grundlage für die Untersuchungen sind in diesem Zusammenhang die Paper & Pencil-Tests des Pre-, Post- und Follow-up-Designs. In Kapitel 3.1 werden bei der Darstellung der Ergebnisse kognitiver Tests die sachfachlichen Ergebnisse der Experimentallaborurse zunächst zusammenfassend dargestellt, bevor die Ergebnisse der englischen und deutschen Treatments kurz- wie langfristiger Natur und etwaige Unterschiede aufgezeigt werden. Personenvariablen, von denen angenommen werden kann, dass sie einen Einfluss auf die Wissenskonstruktion haben, werden gesondert für das englische Treatment betrachtet. Die Ergebnisse fremdsprachlichen Lernens in Form der *Cloze* Tests werden in gleicher Weise dargelegt. Im Anschluss an eine erfolgte Identifikation von Lernertypen (Kapitel 3.2) werden die Ergebnisse der kognitiven Wissenstests auf mögliche Unterschiede hin untersucht. Es folgt in Kapitel 3.3 die Darlegung möglicher Einflüsse von erhobenen Personenvariablen auf den sachfachlichen wie fremdsprachlichen Wissenszuwachs sowie die Zusammenfassung wesentlicher Ergebnisse des Wissenstests und *Cloze* Tests.

Nachfolgend werden in Kapitel 3.4 die Ergebnisse der affektiven Evaluation bezüglich der biowissenschaftlich-experimentellen und fremdsprachlich-bilingualen Schwerpunktlegung hinsichtlich der formulierten Forschungsfragen untersucht. Eine Beleuchtung geschieht wiederum in dreifacher Ausrichtung: Unterschiede affektiver Variablen der deutschen und englischen Treatmentgruppen werden betrachtet, ihre Gruppierung bezüglich der identifizierten Lernertypen wird dargestellt und der Einfluss der Labortage auf affektive Parameter im zeitlichen, d.h. längsschnittlichen Verlauf wird untersucht.

Die Ergebnisse der affektiven Daten biowissenschaftlich-experimenteller Ausrichtung werden in vier Skalen zusammengefasst dargestellt: Es sind dies die Untersuchung

ausgewählter Laborvariablen (1), der Skalen zur selbsteingeschätzten Experimentier-
teilkompetenzen Durchführung (2) und zur selbsteingeschätzten Teilkompetenz
Auswertung (3) sowie zum *Flow*-Erleben (4). Aus fremdsprachlich-bilingualer Sicht
werden Ergebnisse zur Erhebung der Skala des bilingualen Handelns (5) und der
Skala der metakognitiven Strategien (6) betrachtet. Der Zusammenhang ausgewählter
Variablen unterschiedlicher Skalen wird ferner in Kapitel 3.5 dargestellt.

Anschließend werden in Kapitel 3.6 die Ergebnisse sachfachlichen Lernens in
englischer und deutscher Sprache aus den Nebenstudien dargelegt. Die Ergebnisse
qualitativ ermittelter Verschriftlichungen von Begriffsnetzen im Pre- und Post-Design
sowie der Audioaufnahmen der zugehörigen Gespräche in englischer Sprache werden
beschrieben. Weiterhin werden Ergebnisse der Transkript-Analysen der Schüler-
Abschlusspräsentationen in englischer Sprache zusammengefasst. Ergänzend
werden Ergebnisse zu deutschsprachigen Audioaufnahmen geschildert.

Abschließend werden in Kapitel 3.7 Ergebnisse einer Lehrkräftebefragung betrachtet,
die die Motivation der Laborwahl und die schulische Einbettung des Labortages zum
Gegenstand haben.

3.1 Kognitive Wirksamkeit

Nachfolgend werden die Ergebnisse der sachfachlich-biologischen und
fremdsprachlichen Wissenstests dargestellt. Für alle Vergleiche wurde auch getestet,
ob zum Messzeitpunkt des Pretests Wissensunterschiede vorlagen. Bestanden diese,
wurde das Vorwissen als Kovariate in den Varianzanalysen berücksichtigt. Zunächst
wird der Wissenszuwachs global und folgend nach Treatments differenziert betrachtet.

**Forschungsfrage 1: Führen englisch-bilingual und deutsch-monolingual
durchgeführte biologische Experimentalkurse gleichermaßen zu einem kurz-
wie langfristigen kognitiven Kompetenzgewinn?**

Betrachtung der Globalergebnisse zum sachfachlichen Wissenstest

Wie in Abbildung 75 ersichtlich, konnten bei den Schülerinnen und Schüler, die am
Laborkurs „The Brain – A Living Network“ in deutscher oder bilinguale-englischer
Sprache teilgenommen haben, ein Wissenszuwachs vom Pre- zum Posttest sowie
vom Pre- zum Follow-up-Test festgestellt werden. Auch ist ein Wissensabfall vom

Messzeitpunkt des Post- zum Follow-up-Test sichtbar. Diese Ergebnisse wurden auf Bedeutsamkeit überprüft.

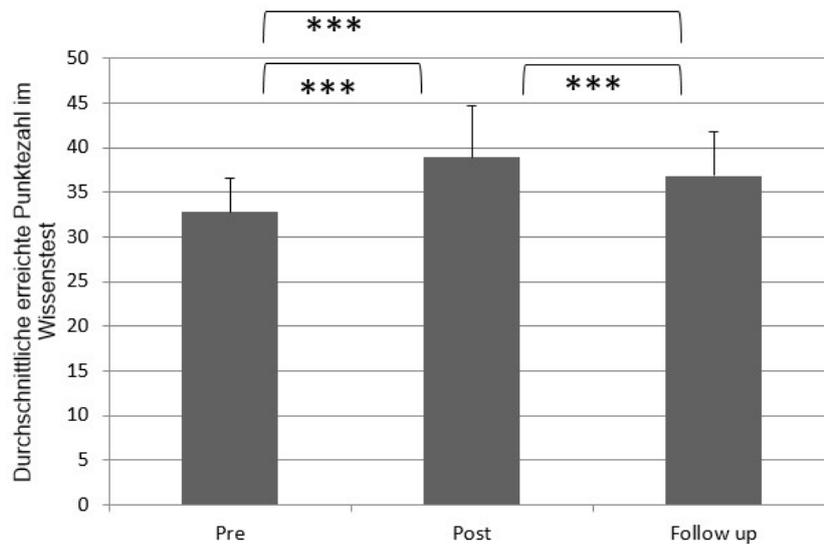


Abbildung 75: Ergebnisse des Wissenstests der Gesamtstichprobe $N=218$ (Skalenmaximum=61 Punkte, Signifikanz sind folgendermaßen gekennzeichnet * $p \leq 0,001$)**

Mit einem t -Test für verbundene Stichproben wurde kurzfristig vom Zeitpunkt des Pre- zum Posttest ein höchst signifikanter Wissenszuwachs bestätigt ($t(217)=14,55$; $p \leq 0,001$; $\eta^2= 0,49$). Auch langfristig wurde ein höchst signifikanter Wissenszuwachs registriert ($t(217)=11,46$; $p \leq 0,001$; $\eta^2= 0,38$). Gleichzeitig wurde vom Post- zum Follow-up-Test höchst signifikant vergessen ($t(217)=5,137$; $p \leq 0,001$; $\eta^2= 0,11$). Schülerinnen und Schüler lernen kurz- wie langfristig höchst signifikant, verlernen allerdings auch höchst signifikant einen Teil des am Schülerlabortag Erlernenen.

Tabelle 55: Ergebnisse Wissenstests als Mittelwert (M) mit Standardabweichung (SD) zu allen drei Messzeitpunkten bei einer Stichprobengröße von $N 218$

Testzeitpunkt	M	SD
Pre	32,77	3,86
Post	38,90	5,76
Follow up	36,87	4,93

Wie in Tabelle 56 ersichtlich, wird auch ein Zusammenhang zwischen den Wissenstestergebnissen zu unterschiedlichen Testzeitpunkten deutlich. Der bedeutsamste Zusammenhang besteht zwischen dem Post- und dem Follow-up-Test ($r(218)=0,415$, $p \leq 0,001$). Lernende, die im Posttest hohe Testwerte erzielten, erreichten diese auch im Follow-up-Test.

Tabelle 56: Pearson-Korrelation (r), Signifikanzen (zweiseitig) und Stichprobengröße (N) der Wissenstestergebnisse. Korrelationen $\geq 0,3$ sind farblich hervorgehoben

		Pretest	Posttest	Follow-up Test
Pretest	r		0,299	0,215
	Signifikanz		$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$
	N		218	218
Posttest	r	0,299		0,415
	Signifikanz	$p \leq 0,001$		$p \leq 0,001$
	N	218		218
Follow-up Test	r	0,215	0,415	
	Signifikanz	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	
	N	218	218	

Betrachtung der Ergebnisse zum sachfachlichen Wissenstest differenziert nach Treatments

Ein Vergleich des Wissenszuwachses unter den beiden Treatments wie in Abbildung 76 visualisiert, offenbart augenscheinlich eine ähnliche Entwicklung für beide Treatments mit einem kurz- und langfristigen Anstieg zum Post- sowie zum Follow-up-Test sowie einem Abfall des Wissens vom Post- zum Follow-up-Test:

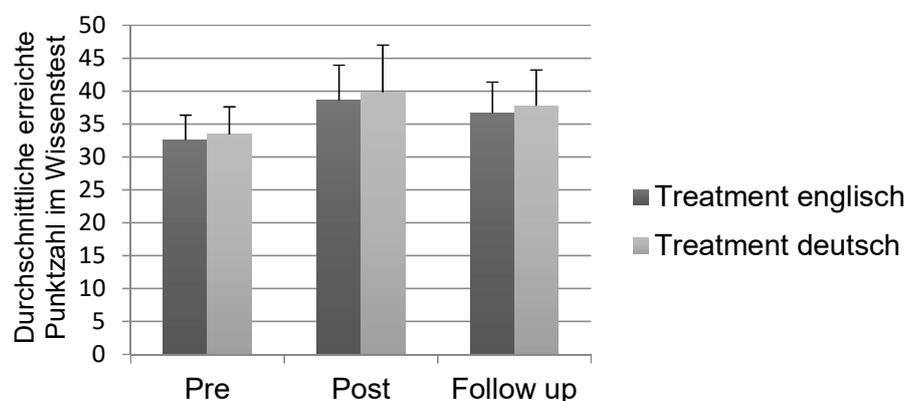


Abbildung 76: Ergebnisse des Wissenstests der englischen und deutschen Treatmentgruppen zu den drei Messzeitpunkten (Skalenmaximum=61 Punkte)

Ein Vergleich der beiden Treatments zum Zeitpunkt des Pretests deckt keinen signifikanten Wissensunterschied auf ($t(216)=1,372$; $p=0,186$, vgl. Tabelle 57). Mehrfach durchgeführte zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholungen zwischen Pre- und Posttest sowie Pre- und Follow-up-Test wiesen keine signifikante Interaktion von Zeit und Vergleichsgruppen aus. Im Vergleich der Pre- und Posttests bedeutet dies $F(1,216)=0,143$; $p=0,706$. Für den Vergleich der Messzeitpunkte Pre- und Follow-up

wurde $F(1,216)=0,149$; $p=0,700$ ermittelt. Auch bezüglich ihres Vergessens unterschieden sich die beiden Treatmentgruppen nicht signifikant ($F(1,216)=0,003$; $p=0,958$).

Tabelle 57: Vergleich der Wissenstestergebnisse des englischen und deutschen Treatments zu den drei Messzeitpunkten (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N) (Skalenmaximum=61 Punkte)

Testzeitpunkt	Treatment	M	SD	N
Pre	englisch	32,59	3,76	170
	deutsch	33,43	4,18	48
Post	englisch	38,63	5,30	170
	deutsch	39,84	7,16	48
Follow up	englisch	36,61	4,77	170
	deutsch	37,78	5,42	48

Zentrales Ergebnis des Treatment-Vergleichs ist, dass die Teilnehmenden der deutschen und englischen Subgruppen unabhängig von der genutzten Arbeitssprache kurz- wie langfristig gleichermaßen hinzulernten und auch gleichartig vergaßen. Nachfolgend werden die Ergebnisse des fremdsprachlichen Lernprozesses dargelegt.

Forschungsfrage 2: Führt eine eintägig durchgeführte bilingual-englische im Gegensatz zu einer deutsch durchgeführten Experimental-Intervention zu einer Steigerung der fremdsprachlichen Kompetenz?

Betrachtung der Globalergebnisse im Cloze Test

Wie in Tabelle 58 ersichtlich, ist vom Pre- zum Post-Test für die Gesamtstichprobe betrachtet ein deutlicher, vom Post- zum Follow-up-Test ein geringer Sprachkompetenzzuwachs augenscheinlich.

Tabelle 58: Von der Gesamtstichprobe durchschnittlich erreichte Punktzahl (M) und Standardabweichung (SD) im Cloze-Test mit Skalenmaximum=24 Punkte (Gesamtstichprobe N=218)

Testzeitpunkt	M	SD
Pre	12,95	4,94
Post	14,34	4,74
Follow up	14,71	4,79

Ein t -Test für verbundene Stichproben ermittelte sowohl vom Pre- zum Posttest ($t(217)=5,488$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,12$) als auch vom Pre- zum Follow-up-Test ($t(217)=7,012$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,18$) einen höchst signifikanten Wissenszuwachs.

Unterschiede im Wissen vom Post- zum Follow-up-Test waren nicht signifikant ($t(217)=1,537$; $p=0,126$, vgl. Tabelle 58).

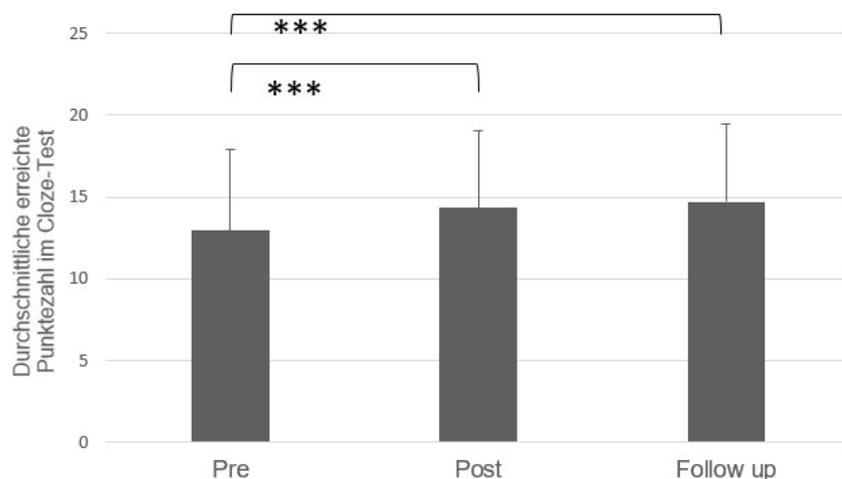


Abbildung 77: Ergebnisse des Cloze Tests als Mittelwert zu allen drei Messzeitpunkten bei einer Stichprobengröße von N=218 (Skalenmaximum=24 Punkte, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet * $p \leq 0,001$)**

Es wird ein sehr deutlicher Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Sprachkompetenztests zu unterschiedlichen Testzeitpunkten ersichtlich (vgl. Tabelle 59). Beispielsweise wurde zwischen Pre- und Posttest ($r(218)=0,704$, $p \leq 0,001$) ein enger Zusammenhang offenbar. Entsprechend waren Lernende, die im Pretest erfolgreich waren, auch im Posttest erfolgreich.

Tabelle 59: Pearson-Korrelation (r), Signifikanzen (zweiseitig) und Stichprobengröße (N) der Ergebnisse des Cloze Tests. Korrelationen $\geq 0,4$ sind farblich hervorgehoben

		Pretest	Posttest	Follow-up Test
Pretest	r		0,704	0,711
	Signifikanz		$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$
	N		218	218
Posttest	r	0,704		0,718
	Signifikanz	$p \leq 0,001$		$p \leq 0,001$
	N	218		218
Follow-up Test	r	0,711	0,718	
	Signifikanz	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	
	N	218	218	

Betrachtung der Ergebnisse des Cloze Tests nach Treatments differenziert

Für das englische und deutsche Treatment wurden mögliche Unterschiede in der Wissensentwicklung der Lernenden untersucht. Abbildung 78 und Tabelle 60 belegen eine unterschiedliche Entwicklung des fremdsprachlichen Kompetenzzuwachses in der englischen und deutschen Treatmentgruppe. Auffällig ist, dass die englische Treatmentgruppe vor dem Laborbesuch eine leicht höhere Fremdsprachkompetenz als die deutsche Treatmentgruppe hatte. Zudem waren die Verläufe unterschiedlich. Während in der englischen Treatmentgruppe ein Kompetenzzuwachs vom Pre- zum Posttest und ein ungefähr gleich hoher Wissenstand zum Follow-up-Test sichtbar wurden, war der Wissensstand in der deutschen Treatmentgruppe in Pre- und Posttest annähernd gleich und nahm zum Follow-up-Test zu.

Mittel t -Test für unabhängige Stichproben wurde im Pretest zwischen den beiden Treatmentgruppen ein signifikant höheres Vorwissen der englischen Treatmentgruppe gegenüber der deutschen Treatmentgruppe bestätigt ($t(216)=2,531$; $p=0,012$; $\omega^2=0,02$). Folgend wurden ANCOVAs mit den im Pretest erreichten Wissenspunkten als Kovariate und den Post- bzw. Follow-up-Test-Ergebnissen als abhängige Variable durchgeführt.

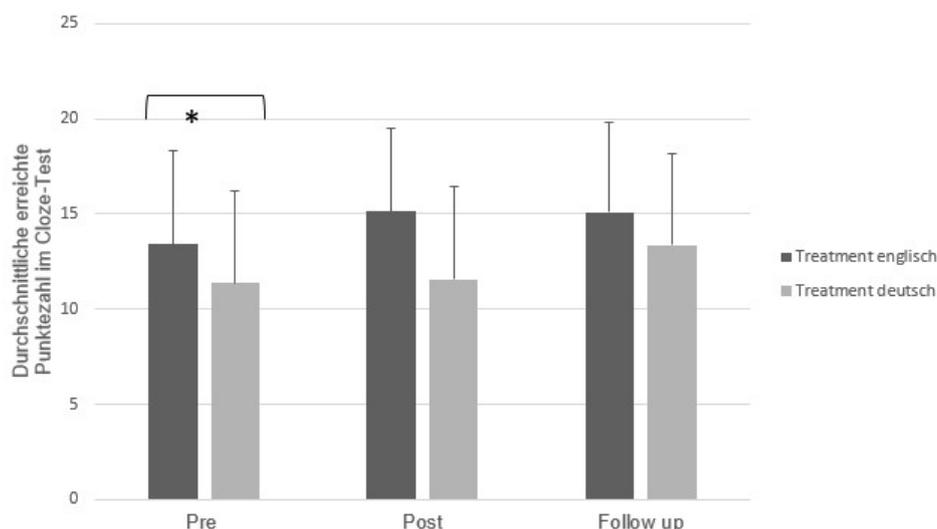


Abbildung 78: Ergebnisse des Cloze Tests zu den Messzeitpunkten für die beiden Treatments (Skalenmaximum=24 Punkte, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet * $p \leq 0,05$)

Tabelle 60: Von den englischen und deutschen Treatments durchschnittlich im Cloze-Test erreichte Punkte (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Treatment	M	SD	N
Pre	englisch	13,39	4,89	170
	deutsch	11,38	4,85	48
Post	englisch	15,12	4,40	170
	deutsch	11,57	4,90	48
Follow up	englisch	15,08	4,74	170
	deutsch	13,38	4,76	48

Für den Messzeitpunkt des Posttests wurde eine sehr bedeutsame Abhängigkeit der Testergebnisse von der Treatmentzugehörigkeit ermittelt (Interaktion Zeit X Vergleichsgruppe, $F(1,215)=17,426$; $p \leq 0,001$; $\eta^2 = 0,08$). Die englische Treatmentgruppe zeigte gegenüber der deutschen Treatmentgruppe ein höchst signifikant höheres durchschnittliches Testergebnis. Für die Ergebnisse des Follow-up-Tests wurde jedoch keine bedeutsame Abhängigkeit belegt ($F(1,215)=0,318$; $p=0,573$).

Hinsichtlich der fremdsprachlichen Kompetenz bestätigte der Vergleich der beiden Treatments im Posttest ein höchst signifikant höheres Testergebnis der englischen Treatments, das durch den Laborbesuch bedingt war. Über den gesamten Messzeitraum betrachtet, wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Treatments ermittelt. Während, wie in Tabelle 60 und in Abbildung 78 ersichtlich, in der englischen Treatmentgruppe ein Lernzuwachs zum Posttest verzeichnet wurde, war dieser in der deutschen Treatmentgruppe zum Follow-up-Test messbar. Nachdem die Ergebnisse des biowissenschaftlichen Wissenstests und des fremdsprachlichen Cloze Tests für die Gesamtstichprobe und für die Treatments betrachtet wurden, wird nachfolgend die Identifikation von Lernertypen anhand von affektiven Variablen dargelegt.

3.2 Clusteranalyse zur Identifikation von Lernertypen

Forschungsfrage 3: Können anhand von Personenvariablen Lernertypen identifiziert werden?

Forschungsfrage 4: Beeinflusst die Personenvariable Lernertyp den sachfachlichen und fremdsprachlichen Kompetenzzuwachs?

In der vorliegenden Studie wurden affektive Variablen zur Identifikation von Lernertypen genutzt und nachfolgend die Wissenstests und Cloze Tests auf mögliche

Wissensunterschiede analysiert. Auch wurde der Einfluss der Lerndispositionen auf die biowissenschaftlich und fremdsprachlich ausgerichteten affektiven Variablen exploriert. Zunächst wurde eine hierarchische Clusteranalyse unter Einsatz der Clustermethode *Complete linkage* (Entferntester Nachbar) mittels im Pretest eingesetzter affektiver Variablen vorgenommen, die aufgrund gemeinsamer Variablenausprägungen zu einer Identifikation von Lernertypen dienten. Für die Clusteranalyse wurden die in Kapitel 2.3.1.3.2 vorgestellten Personenvariablen Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung, Sachinteresse Experimentieren, Fachinteresse Biologie, Fachinteresse Englisch, fremdsprachliches Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität sowie das tätigkeitsbezogene Sachinteresse Auswertung genutzt. Die Clusteranalyse resultierte, wie in Tabelle 61 und Abbildung 79 dargestellt, in der Bildung von drei Lernertypen, welche im Folgenden Biologen, Fremdsprachler und Allrounder genannt werden. Für diese Personenvariablen ergaben sich sehr bis höchst signifikante Unterschiede, die nach Vorstellung der Cluster aufgeführt werden.

Tabelle 61: Mittelwerte (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N) der Personenvariablen für die Ermittlung der Cluster Biologen, Fremdsprachler, Allrounder im Pretest

Personenvariable	Cluster	M	SD	N
Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung	Biologen	3,00	0,57	90
	Fremdsprachler	2,00	0,76	22
	Allrounder	2,67	0,72	106
Sachinteresse Experimentieren	Biologen	3,48	0,51	90
	Fremdsprachler	2,05	0,97	22
	Allrounder	3,12	0,78	106
Fachinteresse Biologie	Biologen	3,02	0,81	90
	Fremdsprachler	1,75	1,12	22
	Allrounder	3,30	0,64	106
Fachinteresse Englisch	Biologen	1,64	0,69	90
	Fremdsprachler	2,27	0,67	22
	Allrounder	3,16	0,62	106
Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität	Biologen	1,77	0,71	90
	Fremdsprachler	1,86	0,70	22
	Allrounder	2,95	0,59	106
Tätigkeitsbezogenes Selbstkonzept Auswertung	Biologen	2,73	0,60	90
	Fremdsprachler	2,21	0,63	22
	Allrounder	2,97	0,55	106

Die Gruppe der *Allrounder* setzte sich aus Lernenden zusammen, die sich durch sehr hohe Ausprägungen hinsichtlich aller Personenvariablen auszeichneten, und ist in der Gesamtstichprobe mit 106 Schülerinnen und Schülern das umfangreichste Cluster. Verglichen mit den anderen beiden Clustern, zeigten Lerner dieses Lerntyps bezüglich des Fachinteresses Biologie und Englisch sowie bezüglich des fremdsprachlichen Fähigkeitsselbstkonzepts und des tätigkeitsbezogenen Sachinteresses Auswertung die höchste Ausprägung. Dieses Cluster wies zudem bezüglich der Biologienote ($\bar{x}=2,4$) und der Englischnote ($\bar{x}=2,3$) die besten Notendurchschnitte auf.

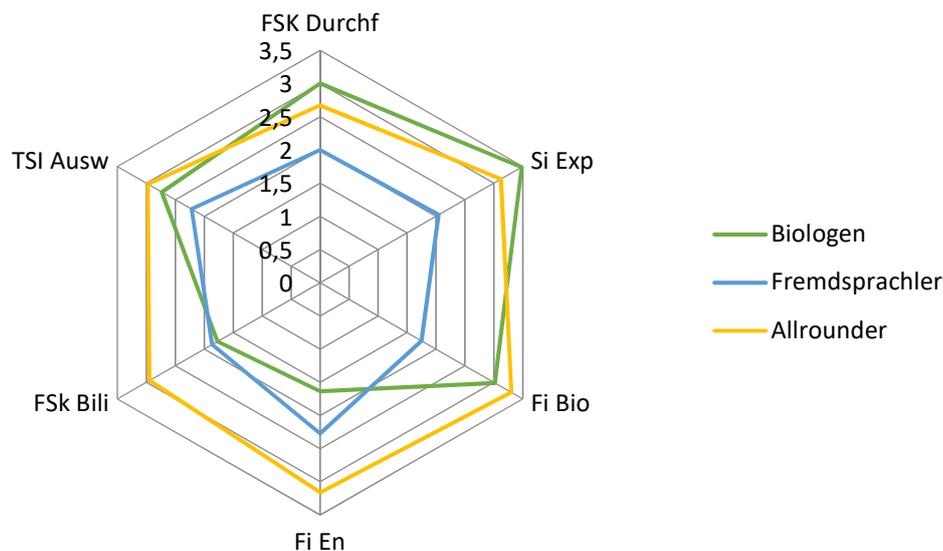


Abbildung 79: Darstellung der Mittelwerte der affektiven Personenvariablen für die aus der Clusteranalyse hervorgegangenen Gruppen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder (Skalenmaximum=4)

Die Gruppe der *Biologen* zeichnete sich gegenüber den Allroundern durch ein noch höheres experimentbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung und Sachinteresse Experimentieren aus. Geringer ausgeprägt als bei den anderen beiden Clustern waren bei ihnen das Fachinteresse Englisch und das bilinguale Fähigkeitsselbstkonzept. 90 Schülerinnen und Schüler gehörten diesem Cluster an und lagen bezüglich ihrer Biologienote ($\bar{x}=2,6$) mittig zwischen den beiden anderen Clustern, bezüglich ihrer Englischnote am niedrigsten ($\bar{x}=3,1$).

Die Gruppe der *Fremdsprachler* zeichnete sich im Vergleich zu den Biologen durch hohe Ausprägungen hinsichtlich des Fachinteresses Englisch und des fremdsprachlichen Fähigkeitsselbstkonzeptes aus. Für die biologisch ausgerichteten Personenvariablen zeigte dieses Cluster durchweg geringere Ausprägungen als die Gruppe der Biologen. Die Gruppe der Fremdsprachler umfasste 22 Lernende der

Gesamtstichprobe und hatte eine leicht geringere Durchschnittsnote in Englisch ($\bar{X}=2,4$) als die Allrounder und die niedrigste durchschnittliche Biologienote ($\bar{X}=2,8$) verglichen mit den anderen beiden Lernertypen.

Mittels einfaktorieller ANOVAs wurden die hier genutzten Personenvariablen auf statistisch bedeutsame Unterschiede zwischen den drei beschriebenen Clustern untersucht. Für alle untersuchten Personenvariablen konnten höchst signifikante Unterschiede zwischen den drei Clustern ermittelt werden. Für das biologische Fähigkeitsselbstkonzept ($F(1,215)=21,78$; $p\leq 0,001$; $\eta^2= 0,17$), das biologische Sachinteresse ($F(1,215)=36,91$; $p\leq 0,001$; $\eta^2= 0,26$) sowie das Fachinteresse Biologie ($F(1,215)=37,24$; $p\leq 0,001$; $\eta^2= 0,26$) wurden diese bestätigt. Auch für das Fachinteresse Englisch ($F(1,215)=132,8$; $p\leq 0,001$; $\eta^2= 0,55$), das fremdsprachliche Fähigkeitsselbstkonzept ($F(1,215)=85,90$; $p\leq 0,001$; $\eta^2= 0,44$) und das tätigkeitsbezogene Sachinteresse Auswertung ($F(1,215)=16,29$; $p\leq 0,001$; $\eta^2= 0,13$) wurden höchst signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt.

Um zu prüfen, welche Cluster sich hinsichtlich der Ausprägung der untersuchten Personenvariablen unterschieden, wurden Post-Hoc-Tests (Scheffé) angeschlossen. Wie bereits anhand von Tabelle 61 und Abbildung 79 anzunehmen, unterschieden sich die Allrounder von den Fremdsprachlern in jeder Variable höchst signifikant ($p\leq 0,001$). Zu den Biologen differierten die Allrounder jedoch hinsichtlich des biologischen Fähigkeitsselbstkonzeptes und des biologischen Sachinteresses jeweils sehr signifikant ($p=0,002$) und bezüglich des Fachinteresses Biologie ($p=0,038$) und des tätigkeitsbezogenen Sachinteresses Auswertung ($p=0,017$) signifikant.

Das Cluster der Biologen unterschied sich vom Cluster der Fremdsprachler bezüglich der Variablen biologisches Fähigkeitsselbstkonzept, Biologisches Sachinteresse, Fachinteresse Biologie und Englisch sowie bezüglich des tätigkeitsbezogenen Sachinteresses Auswertung jeweils höchst signifikant ($p\leq 0,001$) und bezüglich des fremdsprachlichen Fähigkeitsselbstkonzepts nicht signifikant ($p=0,840$),

Insgesamt ist festzustellen, dass sich das Cluster der Fremdsprachler am stärksten zu den anderen Clustern unterschied. Zu den Allroundern unterschied es sich in allen Personenvariablen höchst signifikant ($p\leq 0,01$). Auch zu den Biologen wies es, außer im fremdsprachlichen Fähigkeitsselbstkonzept, mindestens sehr signifikante, meist jedoch höchst signifikante Unterschiede ($p\leq 0,001$) auf.

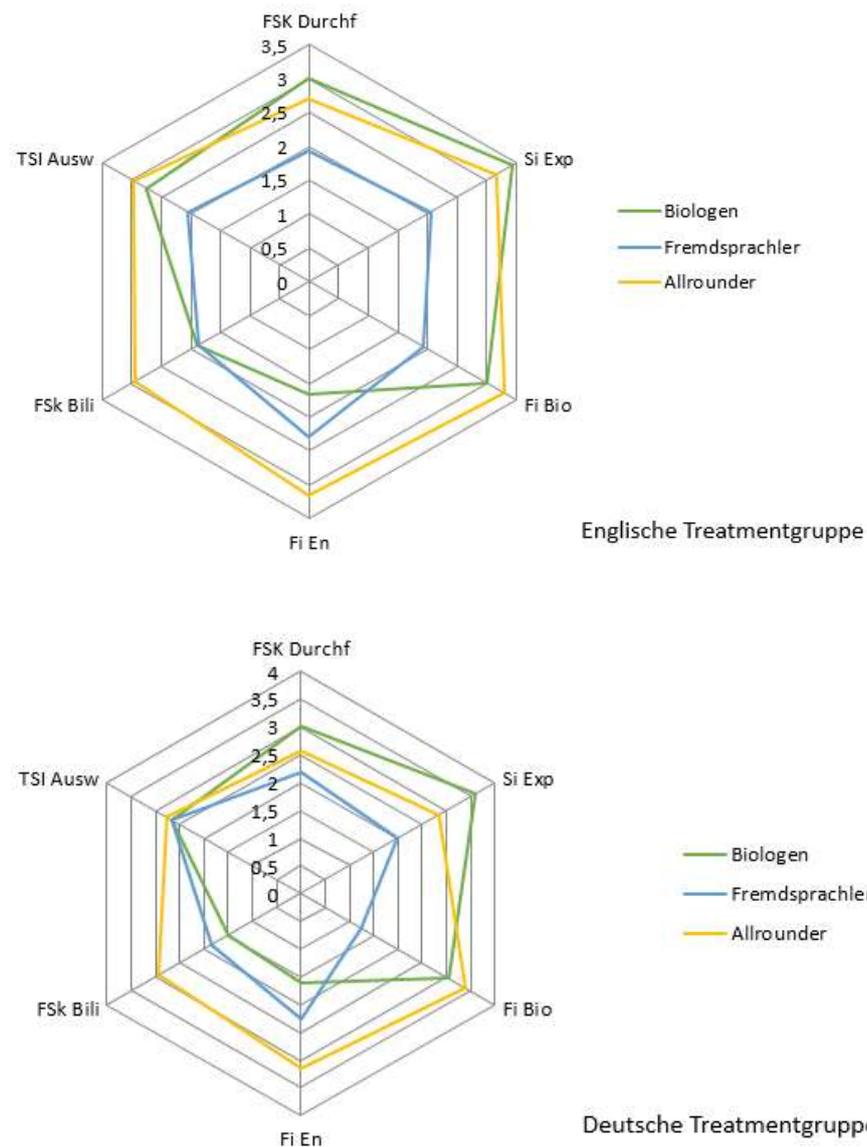


Abbildung 80: Darstellung der Mittelwerte der affektiven Personenvariablen für die aus der Clusteranalyse hervorgegangenen Gruppen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder in der englischen Treatmentgruppe (oben) und in der deutschen Treatmentgruppe (unten) (Skalenmaximum=4)

Die in Abbildung 80 für die verschiedenen Treatmentgruppen getrennt betrachteten Ausprägungen bestätigten die zuvor dargestellten Verhältnisse weitestgehend. Wie auch Tabelle 62 zeigt, sind die drei Cluster in den beiden Treatments gut repräsentiert.

Tabelle 62: Anzahl und prozentualer Anteil der Biologen, Fremdsprachler und Allrounder in der Gesamtstichprobe sowie in den englischen und deutschen Treatments

		Biologen	Fremdsprachler	Allrounder	Gesamt
Gesamtstich- probe	Anzahl	90	22	106	218
	%	41,3%	10,1%	48,6%	100%
Treatment englisch	Anzahl	61	16	93	170
	%	35,9%	9,4%	54,7%	100%
Treatment deutsch	Anzahl	29	6	13	48
	%	60,4%	12,5%	27,1%	100%

Forschungsfrage 5: Beeinflussen weitere Personenvariablen den kognitiven oder fremdsprachlichen Kompetenzgewinn?

Nachfolgend wird betrachtet, ob die identifizierten Lernertypen unterschiedliche Ergebnisse in den kognitiven und fremdsprachlichen Tests aufweisen, bevor im folgenden Kapitel der Einfluss weiterer Personenvariablen auf die Ergebnisse der Wissenstests und fremdsprachlichen Lese- und Sprachkompetenztests dargelegt werden. Aufgrund der geringen Stichprobengröße des Clusters der Fremdsprachler wurde eine differenzierende Clusteranalyse nach Treatments nicht vorgenommen.

Einfluss der geclusterten Lernertypen auf den Wissenszuwachs

Neben dem Einfluss des Treatments auf den Wissenszuwachs wurde der Einfluss der Lernertypen auf den sachfachlichen und fremdsprachlichen Test untersucht. Wie in Abbildung 81 und Tabelle 63 ersichtlich, waren die Wissenstestergebnisse zum Pretest zwischen den Clustern gleich. Zum Post- und Follow-up-Test offenbarten sich Unterschiede: Augenscheinlich zeigten zu beiden Messzeitpunkten die Allrounder den höchsten Wissenszuwachs, gefolgt von den Biologen und den Fremdsprachlern. Zudem wurde grundsätzlich ein Wissensabfall zum Follow-up-Test sichtbar.

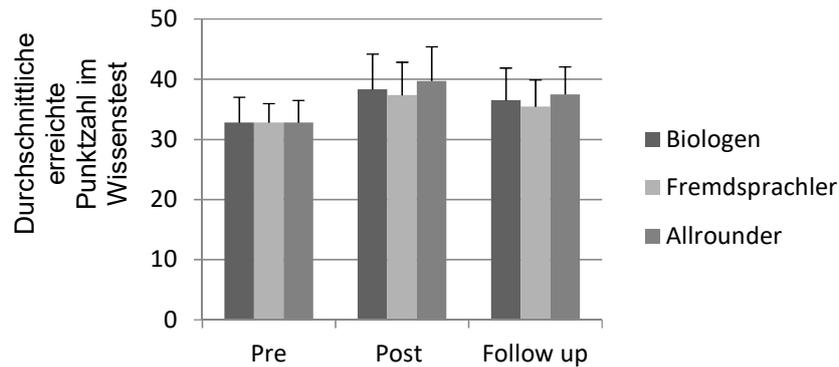


Abbildung 81: Ergebnisse der Wissenstests für die Schülertypen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder (Skalenmaximum=61 Punkte)

Die Untersuchung auf signifikante Wissensunterschiede zwischen den Clustern zum Zeitpunkt des Pretests belegte keine Signifikanz ($F(2,215)=0,000$; $p=1,000$). Anschließend belegten zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung weder für den Messzeitraum vom Pre- zu Posttest ($F(2,215)=2,058$; $p=0,103$) noch für jenen vom Pre- zum Follow-up-Test ($F(2,215)=1,852$; $p=0,146$) signifikante Unterschiede. Die Schülerinnen und Schüler erwarben ihr sachfachliches Wissen demnach unabhängig vom identifizierten globalen Schülertyp.

Tabelle 63: Von den Lernertypen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder durchschnittlich erreichte Punktzahl im Wissenstest (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Cluster	M	SD	N
Pre	Biologen	32,78	4,25	90
	Fremdsprachler	32,79	3,14	20
	Allrounder	32,77	3,69	106
Post	Biologen	38,31	5,85	90
	Fremdsprachler	37,35	5,48	20
	Allrounder	39,72	5,67	106
Follow up	Biologen	36,50	5,37	90
	Fremdsprachler	35,43	4,44	20
	Allrounder	37,49	4,57	106

Einfluss der geclusterten Lernertypen auf den fremdsprachlichen Lese- und Sprachtest

Wie in Abbildung 82 und Tabelle 64 augenscheinlich, lagen im Pretest für die Cloze Tests Unterschiede zwischen den Lernern der verschiedenen Cluster vor. Diese erhielten sich scheinbar über den Messzeitraum.

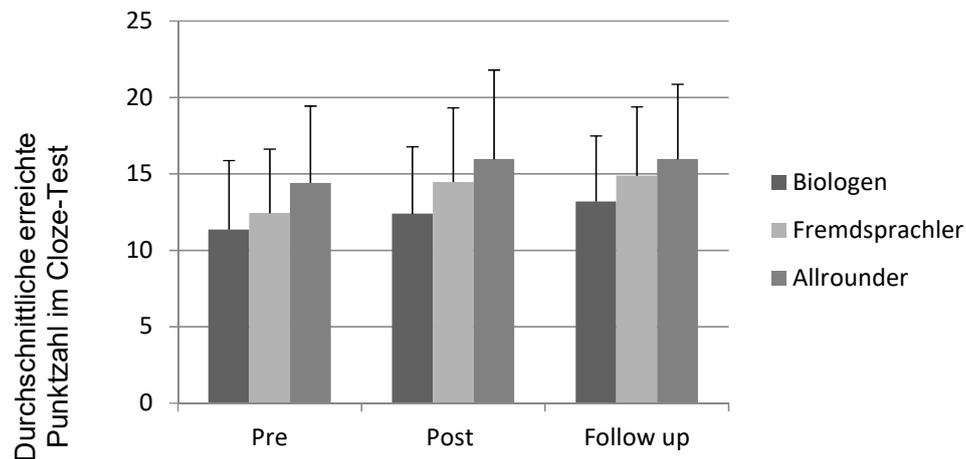


Abbildung 82: Ergebnisse des Cloze Tests für die Lernertypen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder für die Gesamtstichprobe betrachtet (Skalenmaximum=24 Punkte)

Eine einfaktorielle univariate ANOVA belegte signifikante Wissensunterschiede zwischen den Clustern im Pretest ($F(2,215)=10,240$; $p \leq 0,001$; $\eta^2 = 0,09$). Post-Hoc-Tests (Scheffé) wiesen höchst signifikante Unterschiede zwischen Biologen und Allroundern aus ($p \leq 0,001$), jedoch weder einen signifikanten Unterschied zwischen Fremdsprachlern und Biologen ($p=0,635$) noch zwischen Fremdsprachlern und Allroundern ($p=0,207$). Nachfolgend wurden ANCOVAs mit den im Pretest erreichten Testergebnissen als Kovariate und den Post- bzw. Follow-up-Test-Ergebnissen als der abhängigen Variable durchgeführt. Für den Posttest wurden sehr signifikante Unterschiede belegt ($F(2,214)=5,756$; $p \leq 0,01$; $\eta^2 = 0,05$). Es konnten allerdings keine Post-Hoc-Tests vorgenommen werden, um die Unterschiede zwischen den Clustern weiter aufzuspüren. Zwischen Pre- und Follow-up-Test wurden keine signifikanten Unterschiede belegt ($F(2,214)=1,343$; $p=0,263$).

Tabelle 64: Von den Lernertypen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder durchschnittlich erreichte Punktzahl im Cloze Test (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Cluster	M	SD	N
Pre	Biologen	11,36	4,51	90
	Fremdsprachler	12,43	4,20	20
	Allrounder	14,41	5,03	106
Post	Biologen	12,39	4,39	90
	Fremdsprachler	14,47	4,86	20
	Allrounder	15,96	5,84	106
Follow up	Biologen	13,19	4,3	90
	Fremdsprachler	14,88	4,51	20
	Allrounder	15,96	4,91	106

3.3 Einfluss der Personenvariablen auf den Wissenstest bzw. auf den Cloze Test

Nachfolgend wird zunächst der Einfluss ausgewählter Personenvariablen auf die Ergebnisse des Wissenstests und anschließend deren Einfluss auf Ergebnisse des Cloze Tests untersucht.

3.3.1 Einfluss ausgewählter Personenvariablen auf den biowissenschaftlichen Wissenstest

Einfluss der Kurszugehörigkeit Biologie (Leistungskurs oder Grundkurs) auf die Ergebnisse des Wissenstests

Da angenommen werden kann, dass Lernende eines Biologie LK aufgrund der höheren Unterrichtszeit über ein fundierteres Wissen als die eines Grundkurses verfügen, wurde der Einfluss der Kurszugehörigkeit im Fach Biologie untersucht. In der Gesamtstichprobe entstammten 163 Lernende einem Leistungskurs und 52 Schülerinnen und Schüler einem Grundkurs. Für drei Lernende lagen keine Zuordnungen vor. Wie ein t -Test für unabhängige Stichproben belegt, bestand vor Besuch des Schülerlabors kein signifikanter Wissensunterschied ($t(213)=0,128$; $p=0,898$, vgl. Abbildung 83 & Tabelle 65). Folgende zweifaktorielle ANOVA für die beiden Messzeiträume Pre- und Posttest sowie Pre- und Follow-up-Test belegten für das erste Messintervall einen signifikanten Unterschied Interaktion Zeit x Vergleichsgruppe ($F(2,214)=6,551$; $p\leq 0,01$; $\eta^2= 0,06$), für das zweite Intervall jedoch keinen signifikanten Unterschied ($F(1,216)=2,804$; $p=0,063$). Entsprechend belegten die Ergebnisse einen kurzfristig höheren Wissenszuwachs der Lernenden des Biologie Leistungskurses, der langfristig jedoch nicht bestätigt wurde.

Tabelle 65: Vergleich der Wissenstestergebnisse bei SuS der Bio LK und GK zu den drei Messzeitpunkten in der Gesamtstichprobe. (Drei SuS machen keine Angaben zur Form ihres Unterrichts und sind aus der Darstellung ausgeschlossen)

Testzeitpunkt	Form des Biologieunterrichts	M	SD	N
Pre	LK	32,78	4,05	163
	GK	32,70	3,20	52
	gesamt	32,78	3,87	218
Post	LK	39,52	5,64	163
	GK	36,57	5,35	52
	gesamt	38,91	5,77	218
Follow up	LK	37,81	5,05	163
	GK	35,48	4,23	52
	gesamt	36,87	4,94	218

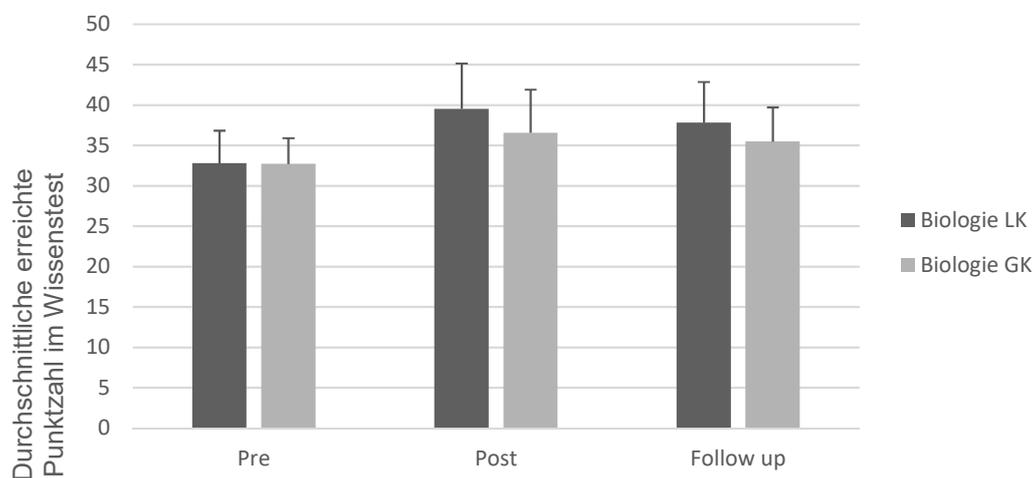


Abbildung 83: Ergebnisse des Wissenstests bei Lernenden der Biologie LK und GK der Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=61 Punkte)

Einfluss der Zugehörigkeit zu einem Englisch Leistungskurs oder Grundkurs auf den Wissenserwerb im englischen Treatment

Für den Erfolg des bilingualen Treatments wurde der Einfluss der Kurszugehörigkeit bezüglich des Faches Englisch betrachtet. Es kann angenommen werden, dass Lernende des Englisch LK ob der höheren Anzahl an Unterrichtsstunden in der Regel bessere Englischkenntnisse haben und so aufgrund ihres besseren sprachlichen Verständnisses bessere Wissenstestergebnissen erzielen können. In der englischen Treatmentgruppe waren 30 Lernende einem Englisch LK und 93 Schülerinnen und Schüler einem Grundkurs Englisch zuzuordnen. Insgesamt 47 Lernende machen keine Angaben zur Kurszugehörigkeit bezüglich des Faches Englisch.

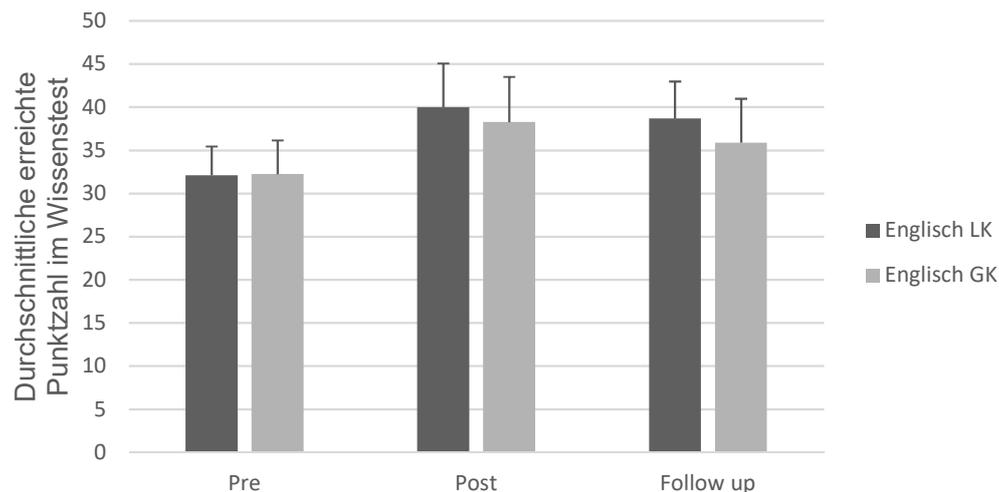


Abbildung 84: Ergebnisse des Wissenstests bei Lernenden der Englisch LK und GK in der englischen Treatmentgruppe (Skalenmaximum=61 Punkte)

Die Aufzeichnungen in Abbildung 84 und Tabelle 66 legen nahe, dass zum Vortestzeitpunkt kein signifikanter Unterschied bezüglich der untersuchten Gruppen belegt wurde ($t(121)=0,169$; $p=0,866$). Eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung ergab zwischen Pre- und Post-Test keine signifikante Interaktion des Aspekts Zeit und Kurszugehörigkeit ($F(2,167)=2,005$; $p=0,138$). Für das langfristige Lernen wurde hingegen eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Kurszugehörigkeit ermittelt ($F(2,167)=4,562$; $p\leq 0,05$; $\eta^2=0,05$). Lernende des Leistungskurses Englisch behielten das im Labor erworbene Wissen langfristig besser.

Tabelle 66: Vergleich der Wissenstestergebnisse bei Lernenden der Englisch LK und GK zu den drei Messzeitpunkten (englisches Treatment, 47 SuS machen keine Angaben zur Form ihres Unterrichts und aus der Darstellung sind ausgeschlossen)

Testzeitpunkt	Form des Englischunterrichts	M	SD	N
Pre	LK	32,11	3,33	30
	GK	32,24	3,92	93
	gesamt	32,59	3,76	170
Post	LK	39,99	5,07	30
	GK	38,27	5,23	93
	gesamt	38,63	5,30	170
Follow up	LK	38,67	4,30	30
	GK	35,89	5,09	93
	gesamt	36,61	4,77	170

Einfluss der bilingualen Vorerfahrung auf den Wissenserwerb der englischen Treatmentgruppe

Da angenommen werden kann, dass bilinguale Vorerfahrung den Wissenserwerb erleichtert (vgl. Rodenhauser 2016), wurde in der englischen Treatmentgruppe der Einfluss der bilingualen Vorerfahrung auf den Wissenserwerb untersucht. In dieser Subgruppe verfügten 108 Lernende über keine bilingualen Vorerfahrungen, während 61 Schülerinnen und Schüler bereits schulische bilinguale Unterrichtserfahrung gemacht hatten. Die Betrachtung der Ergebnisse in Abbildung 85 und Tabelle 67 lässt erahnen, dass keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den beiden Gruppen vorlagen. Die Ergebnisse des *t*-Tests für unverbundene Stichproben und nachfolgende zweifaktorielle ANOVAs belegten weder signifikante Pretestunterschiede ($t(167)=1,121$; $p=0,264$) noch signifikante Unterschiede beim Vergleich Pre-Posttest (Interaktion Zeit x Vergleichsgruppe, $F(1,167)=0,193$; $p=0,661$) und beim Vergleich des Pre- zum Follow-up-Tests ($F(1,167)=0,041$; $p=0,839$).

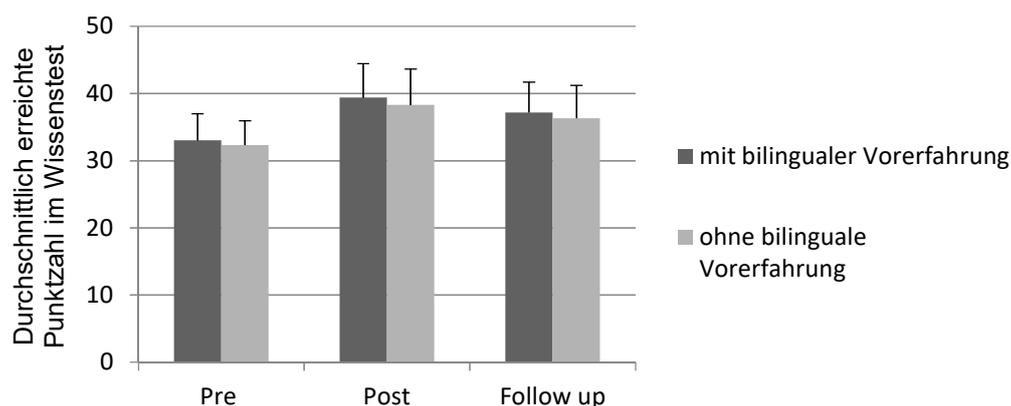


Abbildung 85: Ergebnisse des Wissenstests bei Lernenden mit und ohne bilinguale Vorerfahrung im englischen Treatment (Skalenmaximum=61Punkte)

Tabelle 67: Von Lernenden mit und ohne bilinguale Vorerfahrung in den Wissenstests durchschnittlich erreichte Punktzahl (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N) im englischen Treatment

Testzeitpunkt	Bilinguale Vorerfahrung	M	SD	N
Pre	mit Erfahrung	33,00	3,99	61
	ohne Erfahrung	32,33	3,62	108
Post	mit Erfahrung	39,38	5,07	61
	ohne Erfahrung	38,29	5,35	108
Follow up	mit Erfahrung	37,17	4,52	61
	ohne Erfahrung	36,32	4,91	108

Einfluss des Geschlechts auf den Wissenserwerb

Der in Abbildung 86 dargestellte Einfluss des Geschlechts auf den Wissenserwerb wird für die Gesamtstichprobe betrachtet, die sich aus 135 Mädchen und 83 Jungen zusammensetzt. Der t -Test für unabhängige Stichproben belegte für den Geschlechtervergleich keinen signifikanten Unterschied des Wissensstandes zum Zeitpunkt des Pretests ($t(216)=0,937$; $p=0,350$, vgl. Tabelle 68). Ebenfalls keine Signifikanz ergab eine zweifaktorielle ANOVA beim Vergleich der Messzeiträume vom Pre- zu Posttest ($F(1,216)=0,022$; $p=0,882$). Jedoch belegte ein Vergleich der langfristigen Wissensergebnisse vom Pre- zum Follow up-Test einen signifikanten Unterschied moderater Effektstärke ($F(1,216)=6,374$; $p=0,012$; $\eta^2= 0,03$), der auf einen höheren Wissensstand der Mädchen zurückzuführen war. Begleitet wurde diese Tendenz von einem signifikanten Unterschied vom Post- zum Follow-up-Test ($F(1,216)=5,986$; $p=0,015$; $\eta^2= 0,03$). Mädchen behalten langfristig mehr. Da die Effektstärke jedoch gering war, kann die Abhängigkeit als moderat eingestuft werden.

Einfluss der Muttersprache

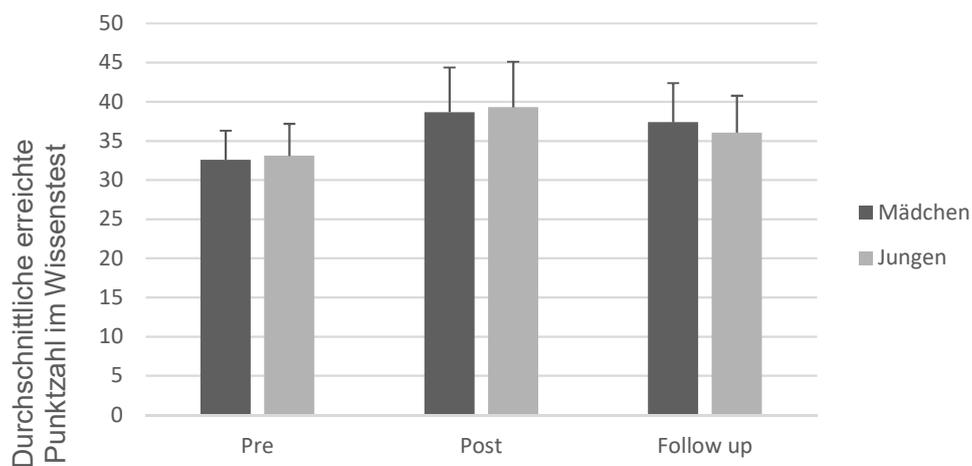


Abbildung 86: Vergleich der Wissenstestergebnisse zu den drei Messzeitpunkten nach Geschlechtern unterschieden

Tabelle 68: Von den Geschlechtern im Wissenstest durchschnittlich erreichte Punkte (M), Standardabweichung (SD) sowie Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Geschlecht	M	SD	N
Pre	Jungen	33,09	4,09	135
	Mädchen	32,58	3,72	83
Post	Jungen	39,29	5,83	135
	Mädchen	38,66	5,73	83
Follow up	Jungen	36,05	4,72	135
	Mädchen	37,38	5,01	83

Hinsichtlich der Muttersprache wurde im Posttest von Lernenden mit Deutsch als Muttersprache ein signifikant höherer Mittelwert für den Wissenstest erzielt ($t(216)=2,415$; $p \leq 0,05$; $\omega^2=0,022$). Aufgrund der geringen Effektstärke konnte von einer moderaten Abhängigkeit ausgegangen werden. Ein Unterschied trat zum Pre- und Follow-up-Test nicht auf (Pre $t(216)=0,446$; $p=0,656$, Follow up $t(216)=1,948$; $p=0,053$).

Einfluss der Biologie- und Englischnote auf den Wissenstest

In Tabelle 69 ist der Zusammenhang zwischen der letzten Biologienote und den Wissenscores offenbar. Für die Korrelationsberechnungen der ordinalskalierten Schulnote mit den Wissenstestergebnissen wurde der Korrelationskoeffizient Kendall Tau zum Einsatz gebracht. Während im Pretest kein Zusammenhang zwischen der letzten Biologienote und den Wissenstestergebnissen ermittelt wurde ($r(218)=0,0007$, $p=0,900$), bestand im Posttest ein höchst signifikanter Zusammenhang zwischen Biologienote und Wissenstestergebnis ($r(218)=-0,179$, $p \leq 0,001$) und im Follow-up-Test ein signifikanter Zusammenhang ($r(218)=-0,126$, $p \leq 0,05$).

Tabelle 69: Biologienote und in den Wissenstests erzielte Punkte (M) und Standardabweichung (SD) für die Gesamtstichprobe. (Die Note 5 und 6 waren in der Stichprobe nicht vergeben.)

Note Biologie	Pre		Post		Follow up		N
	M	SD	M	SD	M	SD	
1	32,72	3,86	41,31	6,66	38,16	5,29	29
2	32,91	3,92	39,94	5,34	37,36	5,00	79
3	32,73	3,95	37,39	5,30	36,32	4,90	83
4	32,57	3,66	37,90	6,10	35,74	4,11	27

Nachdem zuvor der Einfluss von Personenvariablen auf den kognitiven Wissenstest untersucht wurde, erfolgt anschließend die Darstellung deren Einflüsse auf den fremdsprachlichen Kompetenztest.

3.3.2 Einfluss der Personenvariablen auf die Testergebnisse des Cloze Tests

Für den Cloze Test wurde der Einfluss der Personenvariablen in der Gesamtstichprobe untersucht. Wenn davon abgewichen wurde, wird dieses angezeigt. Zunächst wurde untersucht, welchen Einfluss das biologische Wissen in Form der Kurszugehörigkeit Biologie (Leistungskurs oder Grundkurs) auf die Ergebnisse des Cloze Tests hatte.

Einfluss der Kurszugehörigkeit Biologie (Leistungskurs oder Grundkurs) auf die Ergebnisse des Cloze Tests

Wie in Abbildung 87 und Tabelle 70 sichtbar, unterschieden sich die Testergebnisse je nach Kurszugehörigkeit. Mittels t -Test für unverbundene Stichproben wurden jedoch für den Pretest keine signifikanten Interaktionen Zeit \times Kurszugehörigkeit ermittelt ($t(213)=1,838$; $p=0,067$). Angeschlossene zweifaktorielle ANOVAs für die Messzeiträume vom Pre- zum Posttest ($F(2,214)=0,365$; $p=0,649$) bzw. vom Pre- zum Follow-up-Test ($F(1,214)=2,331$; $p=0,100$) belegten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede. Schülerinnen und Schüler lernten unabhängig von der Kurszugehörigkeit im Fach Biologie gleich gut.

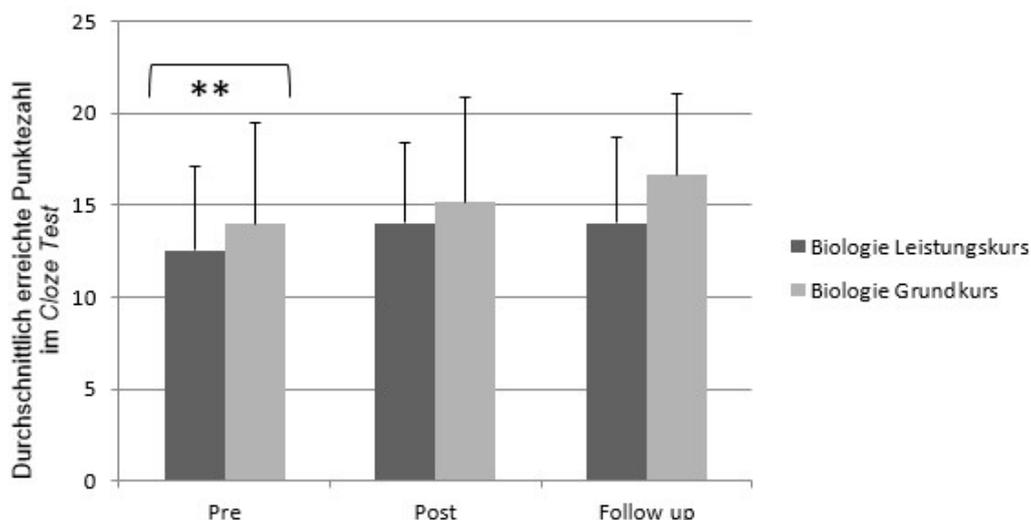


Abbildung 87: Ergebnisse des Cloze Tests bei unterschiedlicher Kurszugehörigkeit Biologie (Leistungskurs und Grundkurs) der Gesamtstichprobe, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet ** $p \leq 0,01$

Tabelle 70: Von den Lernenden des Biologie LK bzw. GK durchschnittlich im Cloze Test erreichte Punkte (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Form des Biologieunterrichts	M	SD	N
Pre	LK	12,53	4,57	163
	GK	13,96	5,57	52
Post	LK	14,02	4,37	163
	GK	15,17	5,68	52
Follow up	LK	16,66	4,71	163
	GK	14,71	4,43	52

Einfluss der Kurszugehörigkeit Englisch (Leistungskurs oder Grundkurs) auf die Ergebnisse des Cloze Tests

Die Ergebnisse des Cloze Tests wurden ebenfalls bezüglich der Kurszugehörigkeit im Fach Englisch für die Gesamtstichprobe untersucht. Wie in Abbildung 88 ersichtlich, belegte ein *t*-Test für unabhängige Stichproben im Pretest sehr signifikante Unterschiede ($t(146)=3,107$; $p\leq 0,01$; $\omega^2= 0,06$, vgl. Tabelle 71): Lernende des Englisch LK zeigten sehr signifikant höhere Wissensstände im Cloze Test als Schülerinnen und Schüler der Grundkurse. Für den Vergleich von Pre- und Posttests durchgeführte ANCOVAs mit dem Pretestergebnis als Kovariate wiesen kurzfristig keine Signifikanz aus ($F(2,214)=1,687$; $p=0,187$). Demgegenüber wurde für den Vergleich der Testergebnisse vom Pre- zum Follow-up-Test ein signifikanter Unterschied ermittelt ($F(2,214)=3,039$; $p\leq 0,050$; $\eta^2= 0,03$). Lernende des Englisch LK zeigten einen langfristig höheren Lernerfolg im Cloze Test. Da die Effektstärke jedoch eher schwach ausgeprägt war, muss eine moderate Abhängigkeit angenommen werden.

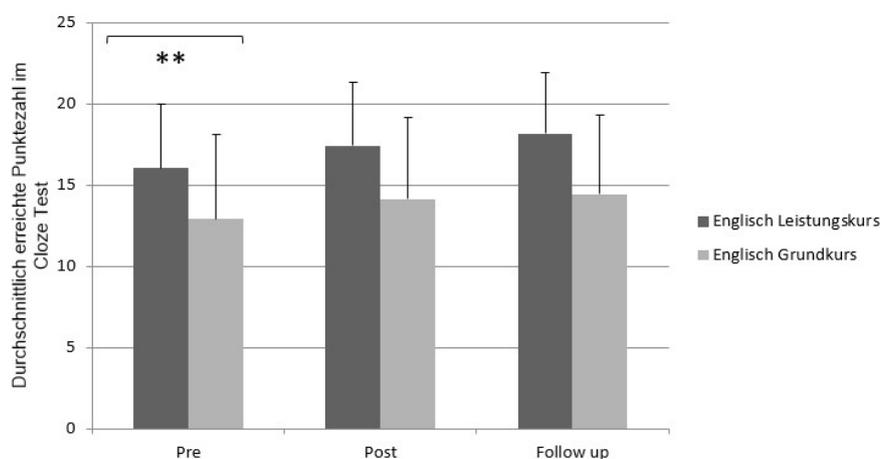


Abbildung 88: Verteilung der Cloze Test-Ergebnisse bezüglich der Kurszugehörigkeit im Fach Englisch in der Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=24 Punkte, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet ** $p\leq 0,01$)

Tabelle 71: Von den Lernenden des Englisch LK bzw. GK durchschnittlich im Cloze Test erreichte Punkte (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Form des Englischunterrichts	M	SD	N
Pre	LK	16,01	3,96	31
	GK	12,89	5,20	117
Post	LK	17,40	3,88	31
	GK	14,11	5,01	117
Follow up	LK	18,14	3,77	31
	GK	14,11	4,88	117

Einfluss der bilingualen Vorerfahrung auf die Ergebnisse des Cloze Tests

Wie in Abbildung 89 verdeutlicht, belegte ein *t*-Test für unabhängige Stichproben zum Pretest einen höchst signifikanten Einfluss der bilingualen Vorerfahrung auf das Testergebnis ($t(214)=3,377$; $p\leq 0,001$; $\omega^2= 0,05$). Dieses Pretestergebnis wurde bei den folgenden ANCOVAs als Kovariate berücksichtigt. Weder für den Vergleich zum Pre- und Posttest ($F(1,213)=1,577$; $p=0,211$) noch für den Vergleich von Pre- und Follow-up-Test ($F(1,213)=1,964$; $p=0,163$, vgl. Tabelle 72) konnten signifikante, durch den Laborbesuch bedingte, Unterschiede nachgewiesen werden. Lernende mit und ohne bilingualer Vorerfahrung lernten aus fremdsprachlicher Sicht am Schülerlabortag gleich gut.

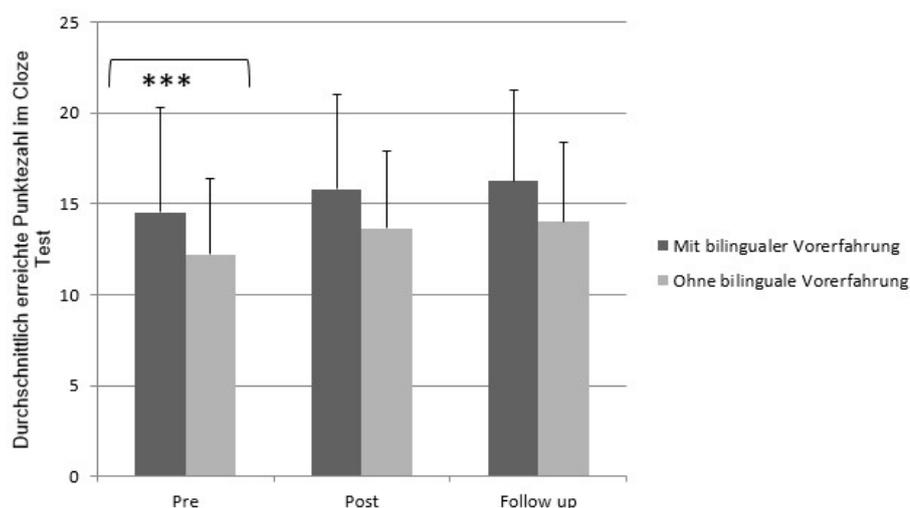


Abbildung 89: Verteilung der Cloze Test-Ergebnisse bezüglich der bilingualen Vorerfahrung der Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=24 Punkte, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet * $p\leq 0,001$)**

Tabelle 72: Von den Lernenden mit und ohne bilingualer Vorerfahrung durchschnittlich im Cloze Test erreichte Punkte (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Bilinguale Vorerfahrung	M	SD	N
Pre	ja	16,01	3,96	31
	nein	12,89	5,20	117
Post	ja	17,40	3,88	31
	nein	14,11	5,01	117
Follow up	ja	18,14	3,77	31
	nein	14,11	4,88	117

Einfluss der Muttersprache auf das Testergebnis des Cloze Tests

Demgegenüber hatten Lernende mit der Muttersprache Deutsch einen signifikant höheren Mittelwert im Cloze Test ($t(216)=2,442$; $p \leq 0,05$; $\omega^2=0,02$). Diese Signifikanz wurde jedoch von geringer Effektstärke. Weiterhin wurden für die anderen Messzeitpunkte keine Signifikanz ermittelt (Post $F(1,215)=1,952$; $p=0,164$, Follow-up $F(1,215)=0,207$; $p=0,602$).

Einfluss des Geschlechts auf die Ergebnisse des Cloze Tests

Die in Abbildung 90 dargestellte Abhängigkeit der Cloze Test-Ergebnisse offenbarte keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Geschlechtes: Mittels t -Tests für unverbundene Stichproben wurde für den Pretestzeitpunkt kein signifikanter Unterschied bezüglich der Geschlechterverteilung ausgewiesen ($t(216)=0,908$; $p=0,365$). Auch im Weiteren durchgeführte zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung belegten kurz- ($F(1,216)=1,710$; $p=0,192$) wie langfristig ($F(2,216)=0,301$; $p=0,584$) keine signifikanten Unterschiede (vgl. Abbildung 90 & Tabelle 73). Lernende beider Geschlechter lernten fremdsprachlich betrachtet gleich gut.

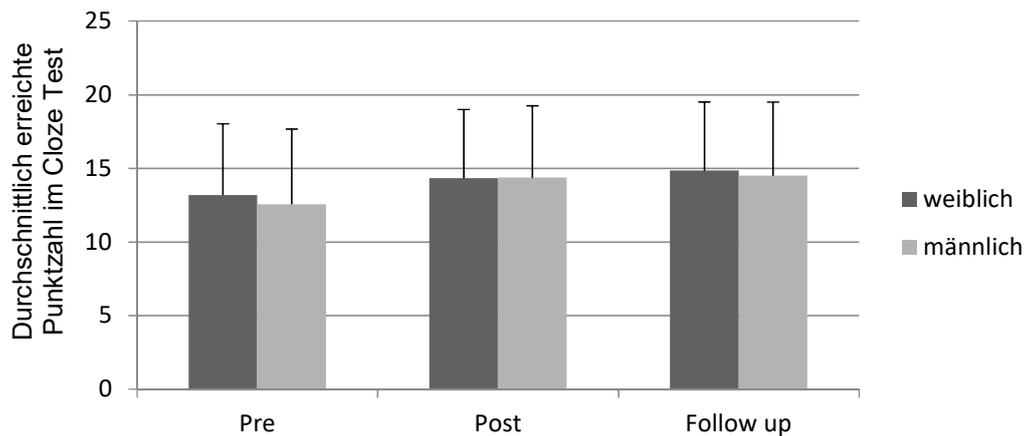


Abbildung 90: Verteilung der Cloze Test-Ergebnisse hinsichtlich der Geschlechterunterschiede (Gesamtstichprobe)

Die Personenvariable Geschlecht bedingte zu keinem Messzeitpunkt einen signifikanten Unterschied bezüglich der Ergebnisse des Cloze Tests (Pre $t(216)=0,908$; $p=0,365$, Post $t(216)=0,080$; $p=0,937$, Follow up $t(216)=0,513$; $p=0,608$).

Tabelle 73: Von den Lernenden weiblichen und männlichen Geschlechts durchschnittlich im Cloze Test durchschnittlich erreichte Punkte (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Geschlecht	M	SD	N
Pre	weiblich	13,19	4,84	135
	männlich	12,56	5,11	83
Post	weiblich	14,32	4,68	135
	männlich	14,34	4,88	83
Follow up	weiblich	14,84	4,67	135
	männlich	14,50	5,00	83

Einfluss der Englischnote auf die Ergebnisse des Cloze Tests in der Gesamtstichprobe

Für die Korrelationsberechnungen der ordinalskalierten Schulnote mit den Wissenstestergebnissen wurde wiederum der Korrelationskoeffizient Kendall Tau zum Einsatz gebracht. Die letzte Englischnote und die Cloze Test- Ergebnisse korrelieren am stärksten zum Pretestzeitpunkt (Pre ($r(218)=-0,666$, $p\leq 0,01$), Post ($r(218)=-0,142$, $p\leq 0,01$), Follow up ($r(218)=-0,147$, $p\leq 0,01$)).

Tabelle 74: Englischnote und in den Cloze-Tests durchschnittlich erzielte Punkte (M) und Standardabweichung (SD) für die Gesamtstichprobe (Die Note 6 war in der Stichprobe nicht vergeben.)

Englisch	Pre		Post		Follow		N
	M	SD	M	SD	M	SD	
1,0	17,41	5,02	18,36	3,95	19,04	3,97	23
2,0	14,70	4,05	15,80	3,98	15,94	4,47	75
3,0	11,83	4,28	13,22	4,09	13,50	4,05	79
4,0	10,05	4,39	11,77	5,17	13,16	4,56	34
5,0	6,25	4,50	11,88	4,88	7,75	5,56	4

3.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse zum Kompetenzerwerb

Sachfachlicher Wissenstest

1. Treatment- und Cluster- unabhängig wird hinsichtlich des biowissenschaftlichen Wissenstests kurz- sowie langfristig ein höchst signifikanter Anstieg mit jeweils großer Effektstärke ermittelt.
2. Es bestehen keine signifikanten Wissensunterschiede zwischen der englischen und deutschen Treatmentgruppe. Der Wissenszuwachs erfolgt infolgedessen unabhängig von der genutzten Arbeitssprache.
3. Die Zugehörigkeit zu den geclusterten Lernertypen (Biologen, Fremdsprachler und Allrounder) beeinflusst den Wissenszuwachs nicht signifikant.
4. Weiterer Personenvariablen beeinflussen den Wissenszuwachs wie folgt:
 - a. Lernende eines Biologie LK lernen kurzfristig sehr signifikant mehr (mittlere Effektstärke), langfristig jedoch nicht.
 - b. Schülerinnen und Schüler des Englisch LK lernen langfristig signifikant mehr hinzu (geringe Effektstärke).
 - c. Es wird kein signifikanter Einfluss der bilingualen Vorerfahrung auf die Wissenskonstruktion ermittelt.
 - d. Beim Geschlechtervergleich wird beobachtet, dass Mädchen langfristig signifikant mehr lernen (geringe Effektstärke).
5. Für die Validierung der Tests wird die letzte Biologie- bzw. Englischnote herangezogen.
 - a. Der Zusammenhang der letzten Biologienote zum Posttest ist höchst signifikant, zum Follow-up-Test signifikant. (siehe unten)

- b. In der englischen Treatmentgruppe werden eine sehr signifikante Korrelation der Biologienote zum Posttestergebnis und eine signifikante Korrelation zum Follow-up-Test ermittelt. Für den Post und Follow-up-Test werden sehr signifikante Korrelationen zur Englischnote ermittelt.
- c. In der deutschen Subgruppe wird eine signifikante Korrelation der Posttest-Ergebnisse zur Biologienote verzeichnet.

Fremdsprachliche Sprachkompetenz (Cloze Test)

6. Der fremdsprachliche Sprachtest offenbart kurz- wie langfristig für die Gesamtstichprobe betrachtet einen Wissenszuwachs von großer Effektstärke.
7. Ein Treatment-Vergleich belegt einen höchst signifikanten Unterschied im Posttest zugunsten der englischen Treatmentgruppe, der langfristig nicht erhalten bleibt. Langfristig wird auch in der deutschen Treatmentgruppe ein vergleichbarer Wissenszuwachs offenbar.
8. Für die Clusterzugehörigkeit werden im Pretest höchst signifikante Unterschiede belegt: Allrounder sind erfolgreicher als die beiden anderen Gruppen. Im Posttest wird ein sehr signifikanter Unterschied registriert. Dieser ist jedoch nicht identifizierbar.
9. Der Einfluss weiterer Personenvariablen auf den *Cloze* Test ist wie folgt:
 - a. Schülerinnen und Schüler des Englisch LK lernen langfristig signifikant mehr hinzu, jedoch ist der Einfluss moderat.
 - b. Die bilinguale Vorerfahrung bedingt keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Ergebnisse des *Cloze* Tests.
 - c. Muttersprachler (Deutsch als L1) zeigen zwar im Pretest signifikant höhere Testergebnisse, für die weiteren Testzeitpunkte wird jedoch kein signifikanter Unterschied ermittelt.
 - d. Die Geschlechtszugehörigkeit bedingt keine Signifikanzen hinsichtlich des *Cloze* Tests.

3.4 Ergebnisse affektiv

Nachfolgend werden die Ergebnisse der affektiven Daten biowissenschaftlich-experimenteller Ausrichtung und fremdsprachlich-bilingualer Ausrichtung in sechs Skalen zusammengefasst vorgestellt:

I. Biowissenschaftliche Aspekte

1. **Laborvariablen - Einflussgrößen des Schülerlabors** (Authentizität, Druck, Zusammenarbeit)
2. **Experimentierkompetenz** **Subskala** **Durchführung-Selbstwirksamkeit** (Sachinteresse Experimentieren und FSK Durchführung.)
3. **Auswertungskompetenz – als kommunikativer Prozess** (SI Auswertung, FSK Auswertung, Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung)
4. **Flow-Erleben** (Flow-Erleben Kennwerte)

II. Fremdsprachliche Aspekte

5. **Bilinguales Handeln im Sachfachlichen Kontext** (Fachinteresse Englisch, Fachinteresse Biologie, FSK Bilingualität, Druck Bilingualität, Bedeutung Sprache)
6. **Metakognitive Strategien beim Lese- und Textverstehen**

3.4.1 Ergebnisse der biowissenschaftlich ausgerichteten affektiven Skalen

Forschungsfrage 6.1: Wie wird der Labortag bezüglich der untersuchten Laborvariablen in den verschiedenen Treatments (englisch vs. deutsch) wahrgenommen?

6.2: Welche Unterschiede ergeben sich bezüglich der Lernertypen?

Einige der hier aufgeführten Personenvariablen kamen bereits bei der Clusterbildung zur Identifikation der Lernertypen zum Einsatz. Die affektiven Daten wurden zunächst längsschnittlich für die Gesamtstichprobe betrachtet und nachfolgend längsschnittlich nach Treatments und den geclusterten Lerngruppen differenziert untersucht, um das Potenzial des Schülerlabortages für diese zu betrachten. Im Querschnittsvergleich wurden zunächst Pretestunterschiede aufgespürt. Ferner wurden Einflüsse anderer

Personenvariablen untersucht und abschließend Korrelationen zwischen den Variablen aufgezeigt.

3.4.1.1 Skala 1 der Laborvariablen

Bevor die Entwicklung der Laborvariablen im Einzelnen betrachtet wird, wurden zunächst, wie in Tabelle 75 verdeutlicht, die Zusammenhänge unter den Laborvariablen zum Messzeitpunkt des Posttests untersucht. Die drei in dieser Studie untersuchten Laborvariablen korrelierten durchgängig höchst bis sehr signifikant. Zwischen der Variable Druck und den beiden anderen Laborvariablen bestand ein jeweils negativer Zusammenhang. So zeigte sich ein mittlerer negativer Zusammenhang höchster Signifikanz zwischen den Laborvariablen Authentizität und Druck ($r(218)=-0,247$, $p\leq 0,001$). Je stärker ausgeprägt der Wunsch nach authentischem Erleben am Labortag von einem Probanden war, desto weniger Druck empfand er. Zwischen der Laborvariable Zusammenarbeit und Authentizität bestand ein positiver mittlerer, sehr signifikanter Zusammenhang ($r(218)=0,206$, $p\leq 0,01$).

Tabelle 75: Pearson-Korrelation (r) Signifikanzen (zweiseitig) und Stichprobengröße (N) der Laborvariablen zum Posttest

		Authentizität	Druck	Zusammenarbeit
Authentizität	r		-0,247	0,206
	Signifikanz		$p\leq 0,001$	$p\leq 0,01$
	N		218	218
Druck	r	-0,247		-0,240
	Signifikanz	$p\leq 0,001$		$p\leq 0,001$
	N	218		218
Zusammenarbeit	r	0,206	-0,240	
	Signifikanz	$p\leq 0,01$	$p\leq 0,001$	
	N	218	218	

Die Laborvariablen global betrachtet

Tabelle 76 zeigt die Wahrnehmung der drei Laborvariablen für die Gesamtstichprobe längsschnittlich betrachtet: Bezüglich der Laborvariable *Authentizität* wurde kurz- wie langfristig ein höchst signifikanter Anstieg im Vergleich des Pre- zum Posttests ($t(217)=8,860$; $p\leq 0,000$; $\eta^2=0,265$) und des Pre- zum Follow-up-Tests ($t(217)=5,460$; $p\leq 0,000$; $\eta^2=0,121$) ermittelt. Die Mittelwerte für die selbsteingeschätzte Authentizität lagen am Labortag am höchsten. Demgegenüber war für die Laborvariable *Druck* kein

signifikanter Unterschied zwischen Pre- und Posttest ($t(217)=1,039$; $p=0,300$) oder zwischen Pre- und Follow-up-Test ($t(217)=0,779$; $p=0,437$) messbar. Auch für die Laborvariable *Zusammenarbeit* wurde über den gesamten Messzeitraum kein signifikanter Unterschied ermittelt. Für den Vergleich vom Pre- zum Posttest ($t(217)=0,908$; $p=0,365$) und vom Pre- zum Follow-up-Test ($t(217)=0,460$; $p=0,646$) wurden keine signifikanten Ergebnisse belegt.

Am Labortag selbst wurden die Authentizität und die Wichtigkeit der Zusammenarbeit, wie in Abbildung 92 ersichtlich, relativ hoch und der Druck, in Abbildung 93 dargestellt, verhältnismäßig gering eingeschätzt. Während die Mittelwerte für Authentizität über den Messzeitraum anstiegen, blieben jene für das Druckempfinden und die eingeschätzte Bedeutung der Zusammenarbeit konstant.

Tabelle 76: Höhe der von den Kursteilnehmern für die Laborvariablen Authentizität, Druck und Zusammenarbeit durchschnittlich gemachten Einschätzungen (M) und Standardabweichung (SD) für die Gesamtstichprobe N=218

Variable	Testzeitpunkt	M	SD
Authentizität	Pre	1,97	0,66
	Post	2,43	0,98
	Follow up	2,31	0,95
Druck	Pre	1,28	0,90
	Post	1,21	0,92
	Follow up	1,22	0,96
Zusammenarbeit	Pre	2,98	0,64
	Post	3,02	0,65
	Follow up	3,00	0,63

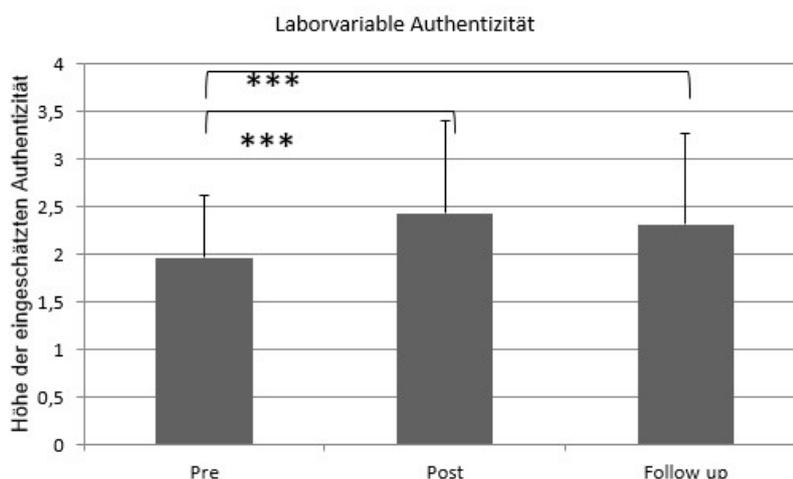


Abbildung 91: Entwicklung der Höhe der Einschätzung der Authentizität aller Kursteilnehmenden (Skalenmaximum=4, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet * $p \leq 0,001$)**

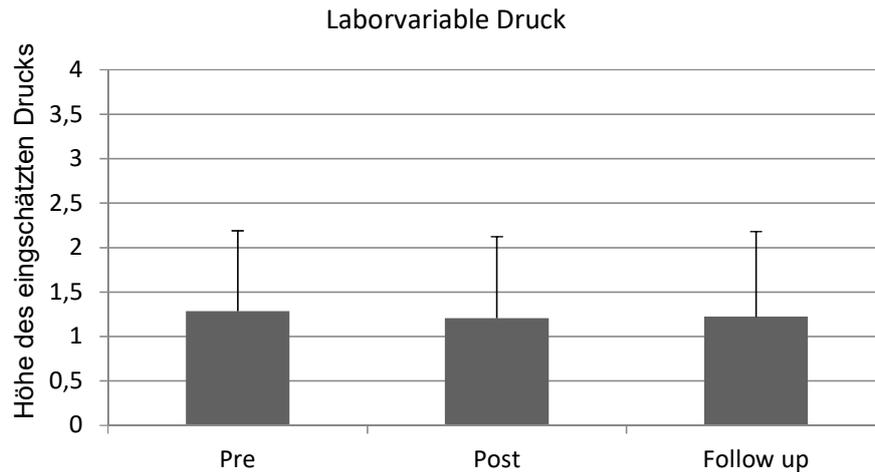


Abbildung 92: Entwicklung der Höhe des eingeschätzten Druckempfindens aller Kursteilnehmenden (Skalenmaximum=4)

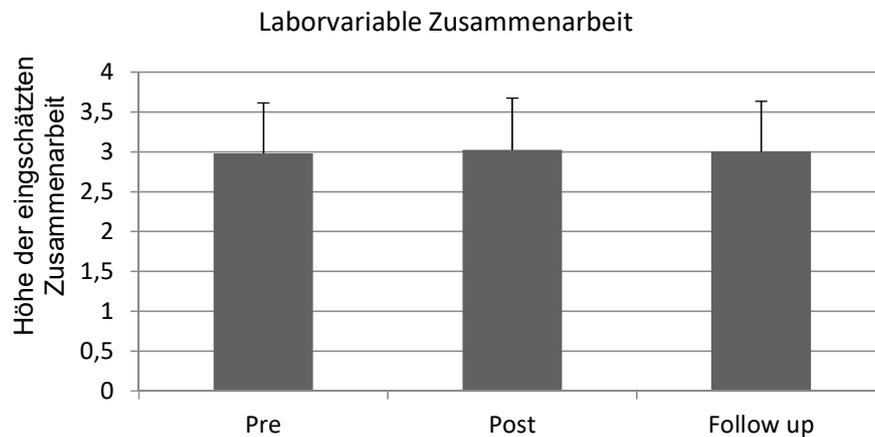


Abbildung 93: Entwicklung der Höhe der eingeschätzten Zusammenarbeit aller Kursteilnehmenden (Skalenmaximum=4)

Laborvariablen nach Treatments verglichen

Treatment-differenzierend wurden für keine der drei Variablen Pretestunterschiede ermittelt (Authentizität $t(216)=0,657$; $p=0,512$, Druck $t(216)=0,783$; $p=0,434$, Zusammenarbeit $t(216)=0,290$; $p=0,772$). Auch wurden längsschnittlich keine signifikanten Unterschiede im Vergleich der Treatments ermittelt. Die Ergebnisse der entsprechenden Berechnungen mittels zweifaktorieller ANOVAs mit Messwiederholung sind aufgeführt: Keine Signifikanzen zeigten die ANOVAs bei der Variable Authentizität zwischen Pre- und Post-Vergleich ($F(1,216)=3,589$; $p=0,059$) und zwischen Pre- und Follow-up-Test ($F(1,216)=0,184$; $p=0,668$). Auch wurde bezüglich der Laborvariable Druck im Vergleich von Pre- und Posttest ($F(1,216)=0,401$; $p=0,527$) und im Vergleich Pre- und Follow-up-Test ($F(1,216)=1,276$;

$p=0,260$) keine Signifikanz belegt. Ebenfalls hinsichtlich der Zusammenarbeit im Vergleich von Pre- und Posttest ($F(1,216)=1,334$; $p=0,249$) und im Vergleich Pre- und Follow-up-Test ($F(1,216)=0,067$; $p=0,796$) traten keine signifikanten Unterschiede auf. Die Einschätzung und Entwicklung der untersuchten Laborvariablen erfolgte folglich unabhängig vom Treatment.

Laborvariablen nach geclusterten Lerntypen verglichen

Vergleiche der geclusterten Lernertypen führten hinsichtlich der in Tabelle 77 dargestellten Variable Authentizität und der in Tabelle 78 abgebildeten Variable Druck zu keinen Pretestunterschieden (Authentizität $F(2,215)=0,695$; $p=0,500$, Druck $F(2,215)=2,399$; $p=0,093$).

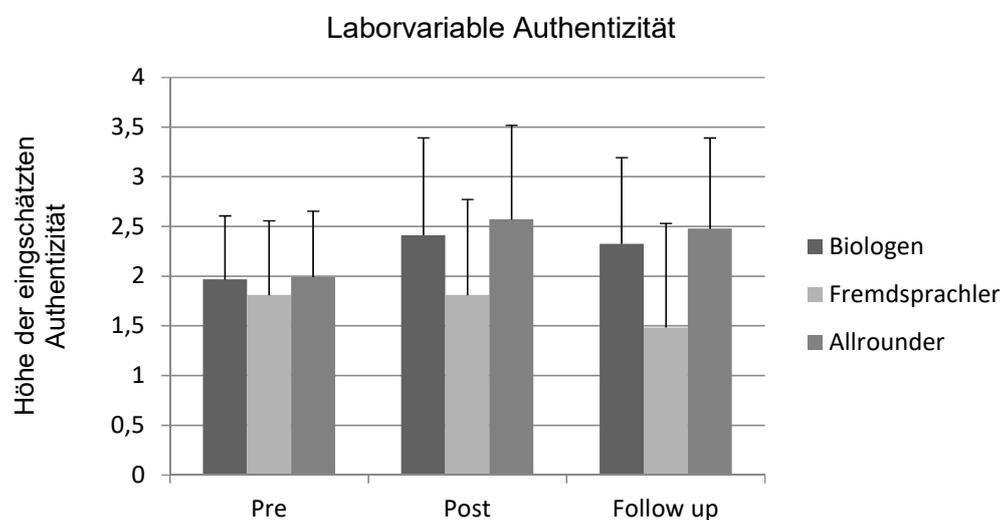


Abbildung 94: Entwicklung der Höhe der eingeschätzten Authentizität für die verschiedenen Cluster der Gesamtstichprobe

Tabelle 77: Höhe der von den Gruppen durchschnittlich selbsteingeschätzten Authentizität (M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Cluster	M	SD	N
Pre	Biologen	1,97	0,64	90
	Fremdsprachler	1,81	0,75	20
	Allrounder	1,99	0,66	106
Post	Biologen	2,41	0,98	90
	Fremdsprachler	1,81	0,96	20
	Allrounder	2,57	0,95	106
Follow up	Biologen	2,32	0,87	90
	Fremdsprachler	1,48	1,05	20
	Allrounder	2,48	0,91	106

Für die in Tabelle 79 dargestellte Laborvariable Zusammenarbeit wurden jedoch signifikante Unterschiede von geringer Effektstärke ermittelt ($F(2,215)=3,323$; $p=0,038$; $\eta^2=0,030$), die auf einen signifikant höheren Mittelwert der Allrounder gegenüber den Fremdsprachlern ($p=0,049$) zurückzuführen waren. Der Wert der Biologen lag ähnlich hoch wie jener der Allrounder.

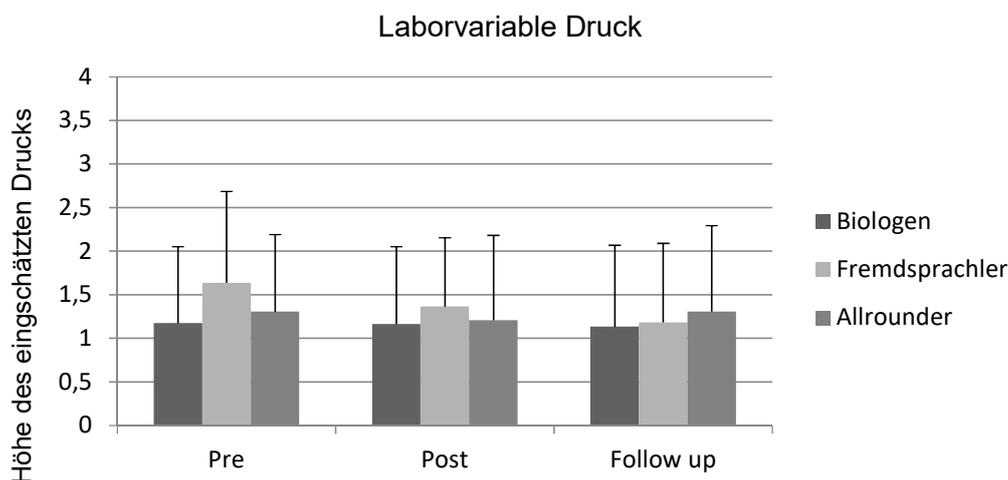


Abbildung 95: Entwicklung des durchschnittlich eingeschätzten Druckempfindens für die verschiedenen Cluster der Gesamtstichprobe

Tabelle 78: Höhe des von den Gruppen durchschnittlich selbsteingeschätzten Druckempfindens(M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Cluster	M	SD	N
Pre	Biologen	1,17	0,88	90
	Fremdsprachler	1,64	1,05	20
	Allrounder	1,30	0,89	106
Post	Biologen	1,17	0,89	90
	Fremdsprachler	1,36	0,79	20
	Allrounder	1,21	0,97	106
Follow up	Biologen	1,13	0,93	90
	Fremdsprachler	1,18	0,91	20
	Allrounder	1,31	0,98	106

Mittels zweifaktorieller ANOVA mit Messwiederholung wurden die Cluster längsschnittlich hinsichtlich der drei Laborvariablen verglichen. Aufgrund identifizierter Pretestunterschiede bei der Variable Zusammenarbeit wurden ANCOVAs angeschlossen.

Bezogen auf die in Abbildung 94 dargestellte *Laborvariable Authentizität* wurde im Vergleich zwischen Pre- und Posttest eine sehr signifikante Interaktion Zeit x Vergleichsgruppe mittlerem Effekt registriert ($F(2,215)=5,331$; $p=0,006$, $\eta^2=0,047$), die auf einen signifikant höheren Mittelwert der Cluster Allrounder gegenüber den Fremdsprachlern zurückzuführen war ($p=0,024$). Jedoch lagen keine signifikanten Unterschiede zwischen Biologen und Fremdsprachlern ($p=0,095$) bzw. Biologen und Allroundern vor. Weiterhin wurde im Vergleich vom Pre- zum Follow-up-Test ein höchst signifikanter Unterschied von mittlerem Effekt bestätigt ($F(2,215)=6,992$; $p=0,001$, $\eta^2=0,061$), der mit den höheren Mittelwerten der Biologen gegenüber den Fremdsprachlern einerseits ($p=0,006$) und einem höchst signifikanten höheren Mittelwert der Allrounder gegenüber den Fremdsprachlern ($p=0,001$) erklärbar ist (Tabelle 77). Während bei den Lernertypen Biologen und Allrounder das Authentizitätsempfinden kurz- wie langfristig anstieg, blieb es bei den Fremdsprachlern konstant und fiel langfristig ab.

Für die beiden anderen Laborvariablen *Druck* (Abbildung 95) und *Zusammenarbeit* (Abbildung 96) wurden keine signifikanten Cluster-Unterschiede im Längsschnittvergleich ermittelt. Entsprechende Ergebnisse zur Variable Druck sind $F(2,215)=0,512$; $p=0,594$) bzw. $F(2,215)=1,413$; $p=0,246$, vgl. Tabelle 78) und zur Variable Zusammenarbeit $F(2,215)=0,834$; $p=0,436$ beziehungsweise $F(2,215)=1,165$; $p=0,314$, vgl. Tabelle 79).

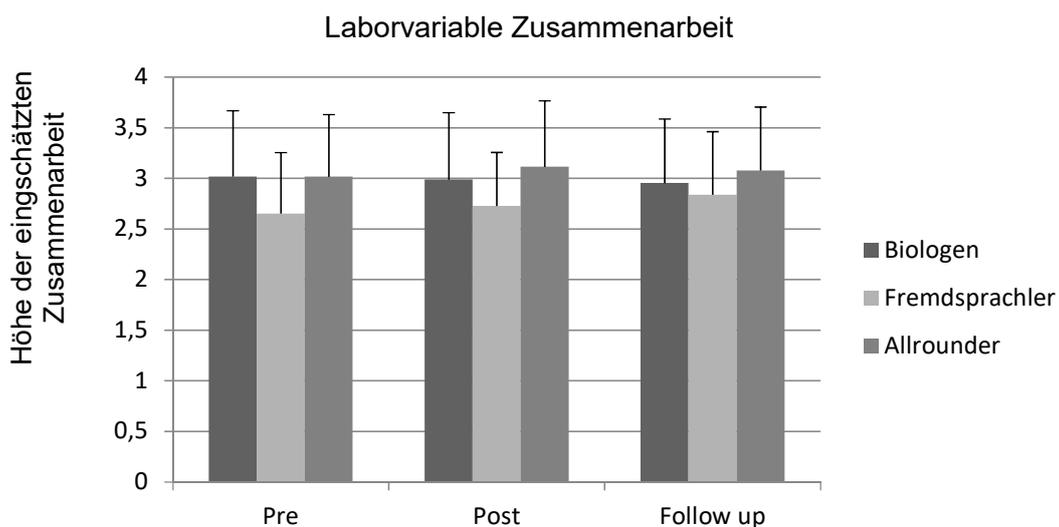


Abbildung 96: Entwicklung der Höhe der eingeschätzten Zusammenarbeit für die verschiedenen Cluster der Gesamtstichprobe

Tabelle 79: Höhe der von den Gruppen durchschnittlich selbsteingeschätzten Zusammenarbeit (M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Cluster	M	SD	N
Pre	Biologen	3,02	0,65	90
	Fremdsprachler	2,65	0,60	20
	Allrounder	3,02	0,62	106
Post	Biologen	3,00	0,66	90
	Fremdsprachler	2,73	0,53	20
	Allrounder	3,11	0,65	106
Follow up	Biologen	2,95	0,63	90
	Fremdsprachler	2,84	0,62	20
	Allrounder	3,08	0,63	106

Einfluss weiterer Personenvariablen

Zum Messzeitpunkt des Pretests wurde ebenfalls untersucht, welche Personenvariablen zu Unterschieden bezüglich der untersuchten Laborvariablen führten. Dabei wurden für das Geschlecht keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der drei Laborvariablen Authentizität ($t(216)=1,239$; $p=0,217$), Druck ($t(216)=1,905$; $p=0,058$) und Zusammenarbeit ($t(216)=1,084$; $p=0,280$) ermittelt.

Für die Personenvariable Kurszugehörigkeit zum Biologie Leistungskurs oder Grundkurs ergab sich bezüglich der Laborvariable Authentizität ein signifikanter Unterschied geringer Effektstärke ($t(213)=2,619$; $p=0,009$; $\omega^2=0,03$). Lernende des Biologie LK zeigten höhere Mittelwerte bezüglich der Authentizität als Lernende der Biologie Grundkurse. Hinsichtlich des Drucks ($t(213)=1,613$; $p=0,108$) oder der Zusammenarbeit wurden keine Signifikanzen ermittelt ($t(213)=1,312$; $p=0,191$).

Die Kurszugehörigkeit im Schulfach Englisch beeinflusste weder die Variablen Authentizität ($t(146)=1,400$; $p=0,164$) noch das Druckempfinden ($t(146)=0,537$; $p=0,592$) oder die Zusammenarbeit ($t(146)=0,537$; $p=0,592$). Auch die bilinguale Vorerfahrung als Personenvariable führte nicht zur Aufdeckung von Signifikanzen bei Authentizität ($t(214)=1,919$; $p=0,056$), Druck ($t(214)=0,732$; $p=0,465$) oder Zusammenarbeit ($t(146)=1,779$; $p=0,078$).

Zusammenfassung der Ergebnisse zur Skala der Laborvariablen:

1. Treatment-unabhängig werden bezüglich der Laborvariable Authentizität kurz- wie langfristig höchst signifikante Anstiege verzeichnet.
2. Ebenfalls Treatment-unabhängig bleiben die durchschnittlich erreichten Punktzahlen für die Laborvariablen Druck und Zusammenarbeit konstant.
3. Subgruppenvergleiche bezüglich der Treatments offenbaren weder signifikante Pretestunterschiede noch Unterschiede bei den Längsschnittvergleichen. Lernende beider Treatments nehmen die Laborvariablen gleichartig wahr.
4. Clustervergleiche der Lernertypen bezüglich der Laborvariablen offenbaren im Pretest signifikante Unterschiede bezüglich der Einschätzung der *Zusammenarbeit*. Allrounder zeigen einen signifikant höheren Mittelwert als Fremdsprachler. In diesem Zusammenhang zeigen Biologen einen vergleichbar hohen Mittelwert wie die Allrounder.
5. Die Längsschnittvergleiche bezüglich der Cluster offenbaren bezüglich der eingeschätzten *Authentizität* kurzfristig einen sehr signifikanten und langfristig einen höchst signifikanten Unterschied. Während der Wert bei den Allroundern und Biologen kontinuierlich ansteigt, fällt er bei den Fremdsprachlern langfristig ab.
6. Hinsichtlich der Laborvariablen Druck und Zusammenarbeit werden keine Cluster-Unterschiede ermittelt.

3.4.1.2 Zusammenhänge der Variablen der Skala zur experimentbezogenen Durchführung und Auswertung

Bevor die Skalen der experimentbezogenen Durchführung und Auswertung näher untersucht werden, werden nachfolgend die Zusammenhänge der Variablen untereinander betrachtet. In der folgenden Tabelle sind diese zusammengestellt:

Tabelle 80: Korrelation (r), Signifikanzen (zweiseitig) und Stichprobengröße (N) der Variablen der Skala Durchführung und Auswertung zum Posttest. Korrelationen $\geq 0,3$ sind farblich hervorgehoben

		FSK Durchführung	SI Experimentieren	SI Auswertung	FSK Auswertung	TSI Auswertung
FSK Durchführung	<i>r</i>		0,505	0,109	0,289	0,188
	Signifikanz		$p \leq 0,001$	$p = 0,108$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,01$
	<i>N</i>		218	218	218	218
SI Experimentieren	<i>r</i>	0,505		0,254	0,084	0,231
	Signifikanz	$p \leq 0,001$		$p \leq 0,001$	0,216	$p \leq 0,001$
	<i>N</i>	218		218	218	218
SI Auswertung	<i>r</i>	0,109	0,254		0,222	0,472
	Signifikanz	0,108	$p \leq 0,001$		$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$
	<i>N</i>	218	218		218	218
FSK Auswertung	<i>r</i>	0,289	0,084	0,222		0,374
	Signifikanz	$p \leq 0,001$	0,216	$p \leq 0,001$		$p \leq 0,001$
	<i>N</i>	218	218	218		218
TSI Auswertung	<i>r</i>	0,188	0,231	0,472	0,374	
	Signifikanz	$p \leq 0,01$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	
	<i>N</i>	218	218	218	218	

Wie in Tabelle 80 ersichtlich, korrelierten die Variablen Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung und Sachinteresse Experimentieren der Skala experimentbezogene Durchführung zum Messzeitpunkt des Posttests höchst signifikant miteinander ($r(218)=0,505$, $p \leq 0,001$). Auch korrelierten die Variablen der Skala Auswertung höchst signifikant miteinander, wobei die höchste Korrelation zwischen dem tätigkeitsbezogenen Sachinteresse Auswertung und dem Sachinteresse Auswertung ($r(218)=0,472$, $p \leq 0,001$) bzw. dem tätigkeitsbezogenen Sachinteresse Auswertung und dem Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung bestand ($r(218)=0,374$, $p \leq 0,001$). Ein geringer ausgeprägter höchst signifikanter Zusammenhang wurde zwischen dem Sachinteresse Auswertung und dem Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung ($r(218)=0,222$, $p \leq 0,001$) beobachtet. Auch die beiden Fähigkeitsselbstkonzepte Durchführung bzw. Auswertung korrelierten höchst signifikant ($r(218)=0,289$, $p \leq 0,001$).

3.4.1.3 Skala 2 zur experimentbezogenen Durchführung

Forschungsfrage 7.1: Führt ein eintägiger bilingualer Schülerlabortag zur Veränderung des experimentbezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts der Durchführung beziehungsweise des Sachinteresses Experimentieren?

7.2: Welche Unterschiede sind hinsichtlich der Treatments bzw. der Lernertypen feststellbar?

Experimentbezogene Durchführung global betrachtet

Die Variable *Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung* (vgl. Abbildung 97 und Tabelle 81) zeigt augenscheinlich einen leichten Anstieg zum Posttest und Follow-up-Test. Mittels *t*-Tests für verbundene Stichproben wurden im Vergleich vom Pre- zum Posttest signifikante Unterschiede ermittelt ($t(217)=2,417$; $p=0,016$, $\eta^2=0,026$) Im Vergleich vom Pre- zum Follow-up-Test wurde kein signifikanter Unterschied gemessen ($t(217)=1,069$; $p=0,286$). Die Mittelwerte des Fähigkeitsselbstkonzepts Durchführung am Labortag lagen signifikant höher, fielen zum Follow-up-Test wieder ungefähr auf das Niveau des Posttests.

Tabelle 81: Mittelwerte des Fähigkeitsselbstkonzepts Durchführung und des Sachinteresses Experimentieren (M) zu allen Messzeitpunkten und Standardabweichung (SD) für die Gesamtstichprobe (Maximum 4)

Parameter	Testzeitpunkt	M	SD
FSK Durchführung	Pre	2,74	0,72
	Post	2,85	0,73
	Follow up	2,79	0,73
Sachinteresse Experimentieren	Pre	3,16	0,81
	Post	3,14	0,74
	Follow up	3,02	0,82

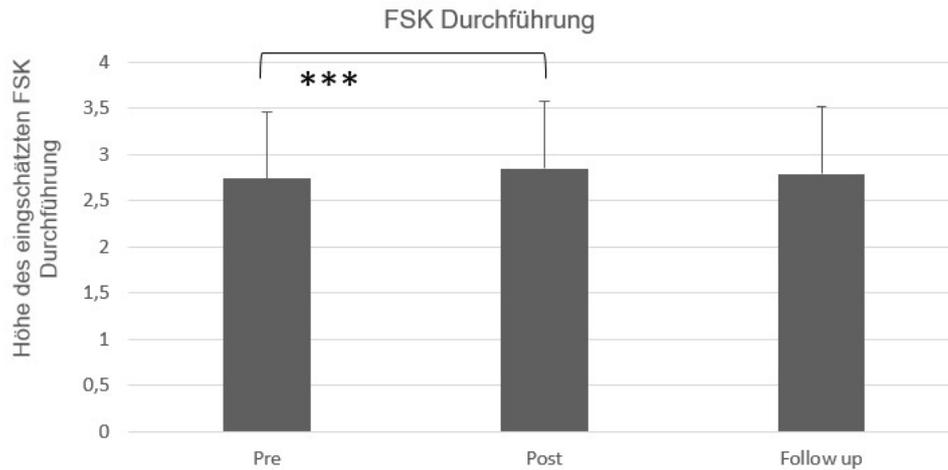


Abbildung 97: Entwicklung des Fähigkeitsselbstkonzepts Durchführung in der Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=4, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet * $p \leq 0,001$)**

Wie anhand von Abbildung 98 ersichtlich, scheinen die Mittelwerte für das *Sachinteresse Experimentieren* kurzfristig unverändert verblieben zu sein und langfristig abgefallen zu sein. Mittels t -Tests für verbundene Stichproben wurde bezüglich dieser Variable entsprechend im Vergleich vom Pre- zum Posttest kein signifikanter Unterschied, ($t(217)=0,345$; $p=0,731$), jedoch vom Pre- zum Follow-up-Test ein sehr signifikanter Abfall ($t(217)=3,014$; $p \leq 0,01$, $\eta^2=0,040$) von geringem Effekt bestätigt. Vom Post- zum Follow-up-Test war diese Entwicklung von einer sehr signifikanten Abnahme von geringem Effekt begleitet ($t(217)=3,014$; $p \leq 0,01$, $\eta^2=0,040$).

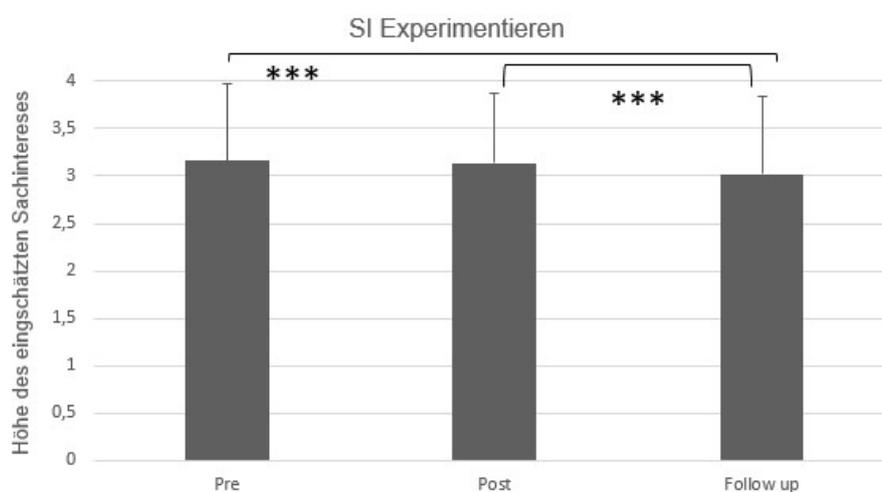


Abbildung 98: Entwicklung des Sachinteresses Experimentieren in der Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=4, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet * $p \leq 0,001$)**

Zusammenfassend können sowohl die Mittelwerte des Fähigkeitsselbstkonzepts Durchführung als auch jener des Sachinteresses Durchführung zum Messzeitpunkt des Posttests als relativ hoch angesehen werden.

Der Vergleich der experimentbezogenen Durchführung nach Treatments

Vergleiche der Treatments zum Pretest mittels einfaktorieller univariater ANOVA wiesen weder für das in Abbildung 99 dargestellte *Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung* ($F(1,216)=0,205$; $p=0,617$) noch für das in Abbildung 100 dargestellte *Sachinteresse Experimentieren* ($F(1,216)=0,079$; $p=0,779$) signifikante Unterschiede zwischen den Treatments auf.

Tabelle 82: Von den englischen und deutschen Treatments durchschnittlich eingeschätztes Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung (M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Treatment	M	SD	N
Pre	englisch	2,73	0,73	170
	deutsch	2,79	0,67	48
Post	englisch	2,83	0,72	170
	deutsch	2,90	0,76	48
Follow up	englisch	2,74	0,73	170
	deutsch	2,93	0,73	48

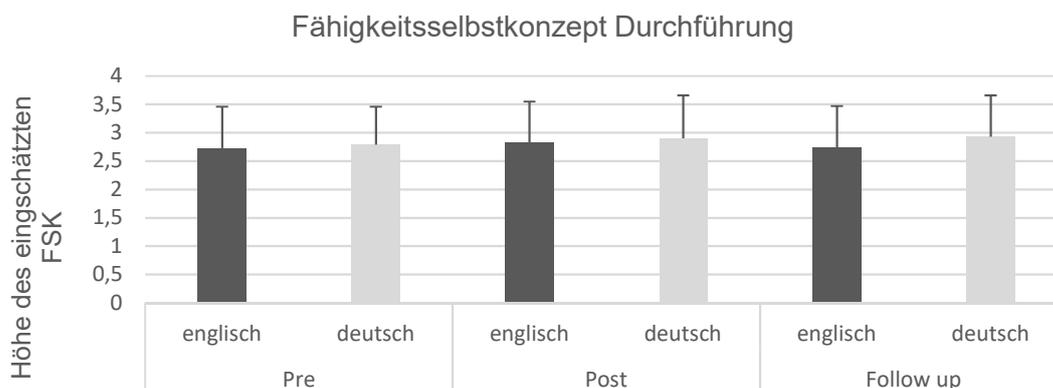


Abbildung 99: Entwicklung des Fähigkeitsselbstkonzepts Durchführung in der englischen und deutschen Treatmentgruppe (Skalenmaximum=4)

Für die in Abbildung 99 dargestellte Variable *Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung* wurde weder im Vergleich Pre- und Posttest ($F(1,216)=0,002$; $p=0,963$) noch im Vergleich von Pre- und Follow-up-Test ($F(1,216)=1,227$; $p=0,269$) ein signifikanter Unterschied ermittelt. Das Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung wurde folglich

losgelöst von der genutzten Arbeitssprache von beiden Treatmentgruppen gleichartig wahrgenommen.

Tabelle 83: Von den englischen und deutschen Treatments durchschnittlich eingeschätztes Sachinteresse Experimentieren (M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Treatment	M	SD	N
Pre	englisch	3,15	0,78	170
	deutsch	3,19	0,92	48
Post	englisch	3,11	0,73	170
	deutsch	3,28	0,76	48
Follow up	englisch	2,98	0,83	170
	deutsch	3,10	0,78	48

Auch ein Vergleich der Treatments bezüglich des *Sachinteresses Experimentieren*, wie in Tabelle 83 und Abbildung 100 ersichtlich, ergab weder im Vergleich von Pre- und Posttest ($F(1,216)=1,338$; $p=0,240$) noch im Vergleich von Pre- und Follow-up-Test ($F(1,216)=0,999$; $p=0,319$) signifikante Unterschiede. Die Wahrnehmung der beiden Konstrukte der Skala war somit ebenfalls unabhängig vom Treatment.

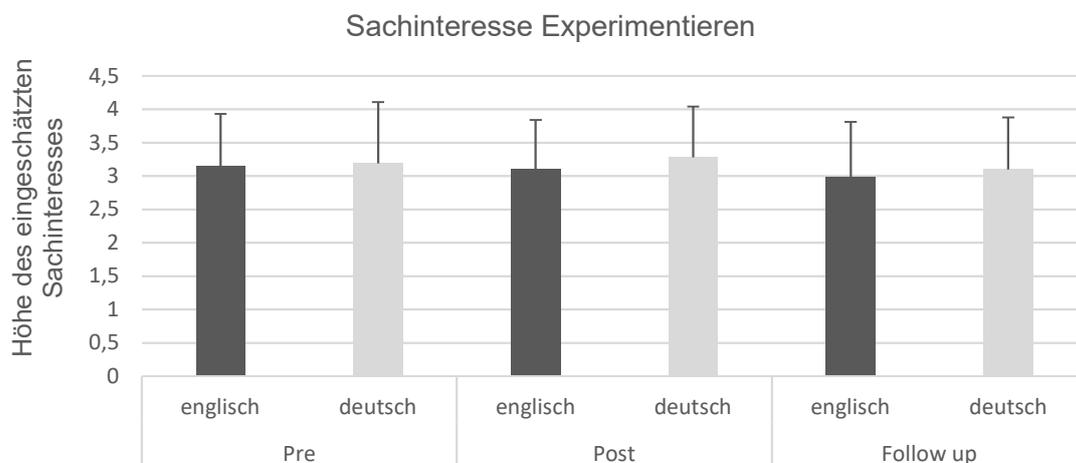


Abbildung 100: Entwicklung des Sachinteresses Experimentieren in der englischen und deutschen Treatmentgruppe (Skalenmaximum=4)

Der Vergleich der experimentbezogenen Durchführung nach geclusterten Lernertypen

Wie in Abbildung 101 und Tabelle 84 sichtbar und im Zusammenhang mit der Clusteranalyse bereits beobachtet, wurde für das *Selbstkonzept Durchführung* ein höchst signifikanter Pretestunterschied ermittelt ($F(2,212)=21,783$; $p\leq 0,001$, $\eta^2=0,168$), der auf sehr signifikante Unterschiede zwischen den Fremdsprachlern verglichen mit Biologen und Allroundern ($p=0,002$) sowie sehr signifikante

Unterschiede zwischen Biologen und Allroundern zurückzuführen ist. Die höchsten Mittelwerte bezüglich dieses Fähigkeitsselbstkonzepts zeigten die Biologen, gefolgt von den Allroundern und Fremdsprachlern.

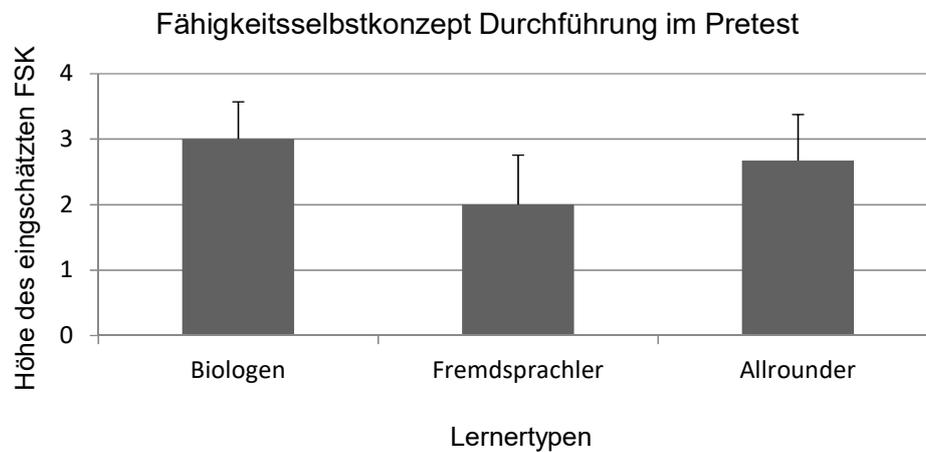


Abbildung 101: Durchschnittlich von den geclusterten Lernertypen erreichte Punkte beim FSK Durchführung im Pretest (Skalenmaximum=4)

Tabelle 84: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes FSK Durchführung (M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkte	Cluster	M	SD	N
Pre	Biologen	3,00	0,57	90
	Fremdsprachler	2,00	0,76	20
	Allrounder	2,67	0,70	106
Post	Biologen	3,02	0,59	90
	Fremdsprachler	2,38	0,74	20
	Allrounder	2,79	0,79	106
Follow up	Biologen	3,00	0,64	90
	Fremdsprachler	2,18	0,84	20
	Allrounder	2,74	0,72	106

Für das in Abbildung 102 dargestellte *Sachinteresse Experimentieren* wurden ebenfalls höchst signifikante Unterschiede im Pretest identifiziert ($F(2,212)=36,912$; $p \leq 0,001$, $\eta^2=256$, vgl. Tabelle 85), die sich auf höchst signifikante Unterschiede zwischen den Fremdsprachlern und den Biologen und zu den Allroundern (je $p=0,000$) und sehr signifikante Unterschiede zwischen den Biologen und den Allroundern ($p=0,002$) zurückführen ließen, wobei diese auch die höchsten Mittelwerte zeigten.

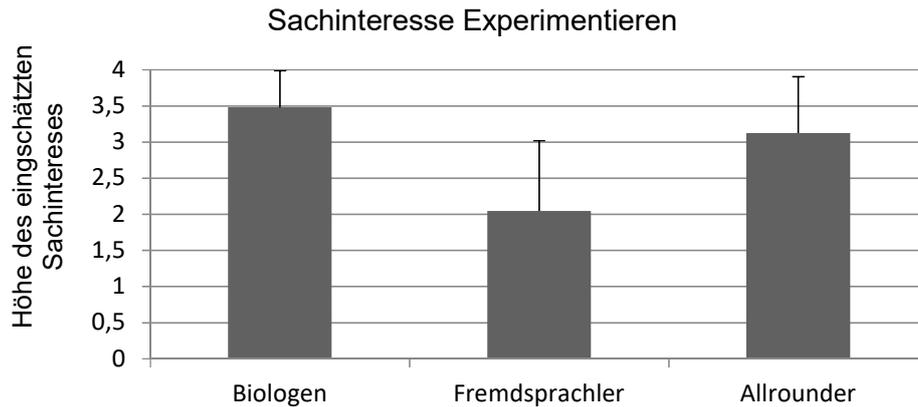


Abbildung 102: Durchschnittlich von den geclusterten Lernertypen erreichte Punkte beim Sachinteresse Experimentieren im Pretest (Skalenmaximum=4)

Tabelle 85: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes Sachinteresse Experimentieren (M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkte	Cluster	M	SD	N
Pre	Biologen	3,48	0,51	90
	Fremdsprachler	2,05	0,97	20
	Allrounder	3,12	0,78	106
Post	Biologen	3,31	0,59	90
	Fremdsprachler	2,50	0,77	20
	Allrounder	3,14	0,78	106
Follow up	Biologen	3,14	0,69	90
	Fremdsprachler	2,25	1,10	20
	Allrounder	3,07	0,78	106

In den längsschnittlichen Untersuchungen im Vergleich der Cluster wurden, die beschriebenen Pretestunterschiede einbeziehend, keine signifikanten unterschiedlichen Entwicklungen bezüglich der Cluster bestätigt. Für das in Abbildung 103 dargestellte *Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung* wurden für den gesamten Messzeitraum mit ANCOVAs keine signifikanten Unterschiede ermittelt (Posttest: ($F(2,214)=0,06$; $p=0,941$), Follow-up-Test ($F(2,214)=1,609$; $p=0,203$)).

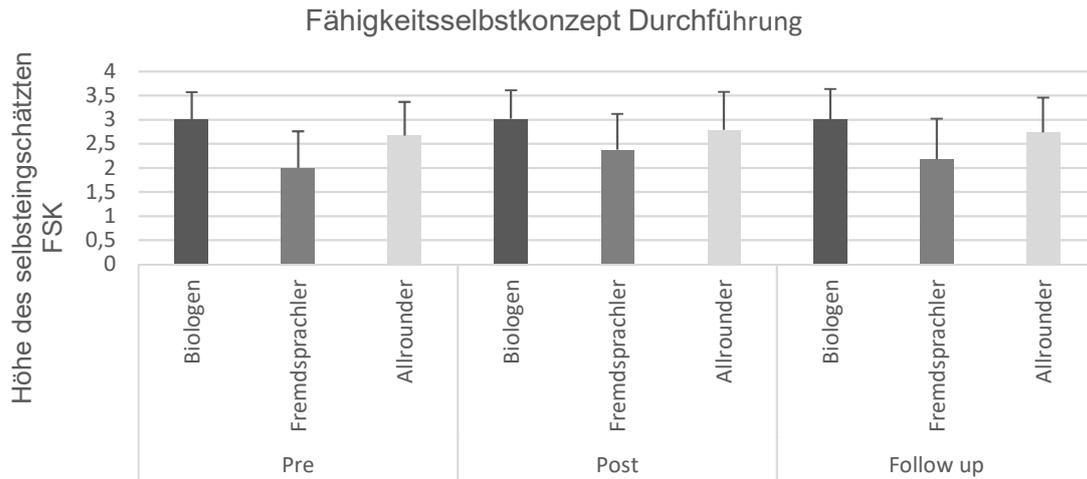


Abbildung 103: Von den Biologen, Fremdsprachlerne und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte im Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung (Skalenmaximum=4)

Den Pretestunterschied einbeziehend waren die längsschnittlichen Entwicklungen des *Sachinteresses Experimentieren*, wie in Abbildung 104 dargestellt, Cluster-bezogen nicht signifikant unterschiedlich (Posttest: $F(2,214)=0,172$; $p=0,842$, Follow-up-Test: $F(2,214)=1,525$; $p=0,220$, vgl. Tabelle 85).

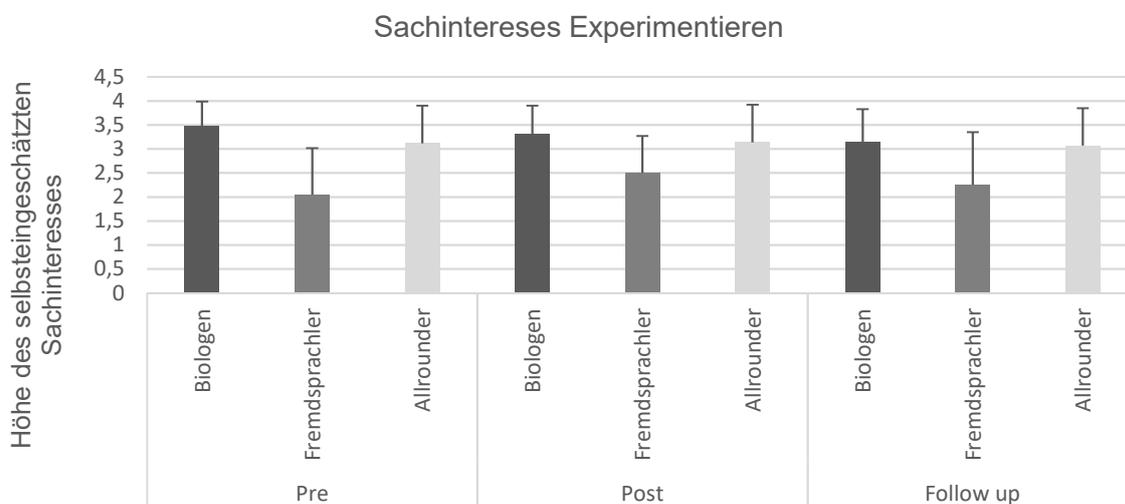


Abbildung 104: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte im Sachinteresse Durchführung (=Sachinteresse Biologie) (Skalenmaximum=4)

Einfluss weiterer Personenvariablen auf die Skala der experimentbezogenen Durchführung

Bezüglich des Geschlechts wurde ein signifikanter höherer Mittelwert für das Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung bei den Jungen gemessen ($t(216)=2,016$;

$p=0,045$, $\omega^2= 0,014$). Jungen schätzten sich kompetenter ein. Dieser Einschätzungsvorsprung blieb über den Messzeitraum erhalten. Es ergaben sich keine Labor-bedingten Unterschiede zum Posttest ($F(1,215)=1,0299$, $p=0,311$) bzw. zum Follow-up-Test ($F(1,215)=0,823$, $p=0,365$).

Für das *Sachinteresse Experimentieren* wurde bezüglich des Geschlechts jedoch keine Signifikanz ermittelt (Pre $t(216)=1,329$, $p=0,185$), Post $t(216)=1,173$, $p=0,242$), Follow up $t(216)=1,921$, $p=0,056$).

Zusammenfassung der Ergebnisse zur Skala der experimentbezogenen Durchführung

Die Wirkung des Laborbesuches auf die Experimentierfähigkeit bezüglich der Teilkompetenz Durchführung wurde in den zwei Konstrukten (FSK Durchführung und Sachinteresse Experimentieren) untersucht.

1. Treatment- und Cluster-unabhängig wurde für das Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung global betrachtet ein signifikanter Anstieg zum Posttest beobachtet. Ein eintägiger Labortag besitzt das Potenzial, dieses kurzfristig zu steigern.
2. Ebenfalls Treatment- und Cluster-unabhängig ist das Sachinteresse Experimentieren zum Posttest konstant, fällt langfristig jedoch sehr signifikant ab.
3. Für beide Konstrukte liegen zum Posttestzeitpunkt relativ hohe Mittelwerte vor.
4. Treatment-differenziert wird kein signifikanter Unterschied ermittelt. Die Wahrnehmung und Entwicklung der Mittelwerte ist unabhängig von der genutzten Arbeitssprache.
5. Bezüglich der Clusterdifferenzierung werden ebenfalls keine signifikanten, durch den Labortag bedingten Unterschiede offenbar. Vor Durchführung des Labortages bestehen bereits signifikante Unterschiede bezüglich der Mittelwerte unter den Lernertypen.
6. Zum Pretestzeitpunkt zeigen Biologen sowohl für das Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung als auch für das Sachinteresse Experimentieren deutlich höhere Mittelwerte als die Allrounder. Die Fremdsprachler zeigen für beide Variablen die geringsten Mittelwerte.

3.4.1.4 Skala 3 zur experimentbezogenen Auswertung

Forschungsfrage 8.1: Führt der Besuch des bilingualen und monolingualen Lernlabors zu einer Veränderung des experimentbezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts und der erhobenen Interessens-Konstrukte der Teilkompetenz Auswertung?

8.2: Welche Unterschiede zeigen die Vergleiche der Treatments bzw. der Lernertypen?

Items zur Skala der Auswertungskompetenz global betrachtet

Für das in Abbildung 105 gezeigte Einzelitem *Sachinteresse Auswertung* betrachtet wurde sowohl im Vergleich Pre- zu Posttest als auch im Vergleich vom Pre- zu Follow-up-Test ein höchst signifikanter Abfall (Pre/Post $t(217)=5,530$; $p\leq 0,001$, $\eta^2=0,124$ bzw. Pre/Follow-up $t(217)=7,524$; $p\leq 0,001$, $\eta^2=0,207$, vgl. Tabelle 86) beobachtet, der mit einem sehr signifikanten Unterschied zwischen dem Post- und dem Follow-up-Test ($t(217)=2,634$; $p\leq 0,01$, $\eta^2=0,031$) verbunden war. Der Vergleich des *tätigkeitsbezogenen Sachinteresses Auswertung* wies über den Messzeitraum einen höchst signifikanten Abfall aus (Pre/Post ($t(217)=6,741$; $p\leq 0,001$, $\eta^2=0,173$), Pre/Follow-up ($t(217)=2,634$; $p\leq 0,001$, $\eta^2=0,031$). Demgegenüber wurde für das *Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung* in den Vergleichen vom Pre- zum Posttest ($t(217)=1,689$; $p=0,093$) bzw. vom Pre- zu Follow-up-Test kein signifikanter Unterschied registriert ($t(217)=0,629$; $p=0,530$), jedoch eine signifikante Zunahme vom Post- zum Follow-up-Test ($t(217)=2,239$; $p\leq 0,05$, $\eta^2=0,023$). Über den gesamten Messzeitraum bleiben die Mittelwerte für diese Variable betrachtet konstant.

Am Labortag wurde ein relativ hoher Mittelwert für das Sachinteresse Auswertung und das tätigkeitsbezogene Sachinteresse Auswertung und ein mittlerer Betrag für das Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung ermittelt.

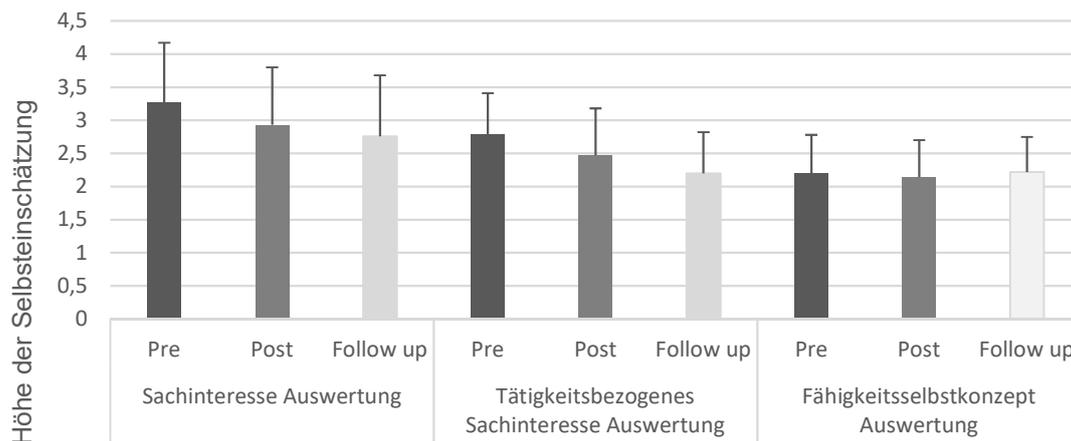


Abbildung 105: Entwicklung der Höhe des Sachinteresses Auswertung, des Tätigkeitsbezogenen Sachinteresses und des Fähigkeitsselbstkonzepts Auswertung für die Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=4)

Tabelle 86: Durchschnittlich erreichte Mittelwerte bezüglich der Variablen der Skala Auswertung (Sachinteresse Auswertung, Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung und Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung) (M) und Standardabweichung (SD) (Skalenmaximum=4)

Parameter	Testzeitpunkt	M	SD
Sachinteresse Auswertung	Pre	3,27	0,90
	Post	2,93	0,87
	Follow up	2,76	0,92
Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung	Pre	2,79	0,62
	Post	2,47	0,71
	Follow up	2,20	0,62
Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung	Pre	2,20	0,58
	Post	2,14	0,56
	Follow up	2,22	0,53

Skala zur Auswertung nach Treatments verglichen

Durch Subgruppenvergleiche im Pretest wurden für die in Tabelle 87 zusammengefassten Dimensionen der Skala Auswertung folgende Pretestunterschiede nachgewiesen: Für das *Sachinteresse Auswertung* wurde mittels *t*-Test mit unabhängiger Stichprobe kein signifikanter Unterschied ermittelt ($t(216)=0,050$; $p=0,823$, vgl. Abbildung 106). Bezüglich des *Tätigkeitsbezogenen Sachinteresses Auswertung* wurde im Treatmentvergleich ebenfalls kein signifikanter Unterschied registriert ($t(216)=0,228$; $p=0,773$, vgl. Tabelle 87). Allerdings wurde für das *FSK Auswertung* ein signifikant höherer Mittelwert in der englischen Treatmentgruppe ermittelt ($t(216)=2,494$; $p=0,013$, $\omega^2=0,023$), allerdings von geringer Effektstärke.

Tabelle 87: Durchschnittlich erreichte Punktzahl (M) der englischen und deutschen Treatments mit Standardabweichung (SD) zur Skala der Auswertung

Variable	Testzeitpunkt	Treatment	M	SD	N	
Sachinteresse	Pre	englisch	3,26	0,90	170	
		deutsch	3,30	0,85	48	
	Post	englisch	2,92	0,85	170	
		deutsch	2,96	0,97	48	
	Follow up	englisch	2,76	0,89	170	
		deutsch	2,77	1,02	48	
TSI Auswertung	Pre	englisch	2,80	0,62	170	
		deutsch	2,78	0,64	48	
	Post	englisch	2,42	0,69	170	
		deutsch	2,70	0,74	48	
	Follow up	englisch	2,20	0,60	170	
		deutsch	2,19	0,69	48	
	FSK Auswertung	Pre	englisch	2,25	0,54	170
			deutsch	2,02	0,69	48
Post		englisch	2,13	0,53	170	
		deutsch	2,16	0,66	48	
Follow up		englisch	2,27	0,5	170	
		deutsch	2,01	0,53	48	

Nachfolgende zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung zum *Sachinteresse Auswertung* (vgl. Abbildung 106) offenbarten weder für den Vergleich vom Pre- zum Posttest ($F(1,216)=0,000$; $p=0,982$) noch vom Pre- zum Follow-up-Test Signifikanzen ($F(1,216)=0,016$; $p=0,900$).

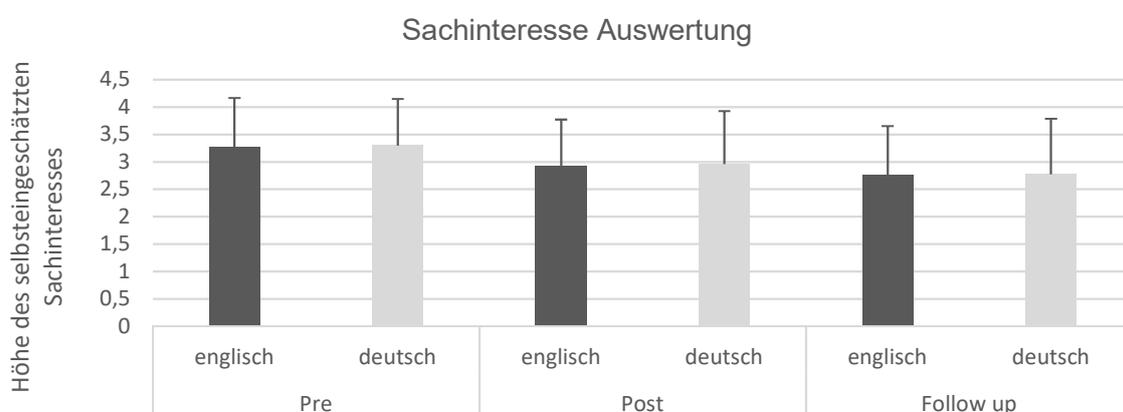


Abbildung 106: Vom englischen und deutschen Treatment durchschnittlich erreichte Punktzahl für das Sachinteresse Auswertung (Skalenmaximum=4)

Für das in Abbildung 107 ersichtliche *tätigkeitsbezogene Sachinteresse Auswertung* wurde mittels zweifaktorieller ANOVA mit Messwiederholung im Vergleich vom Pre- zu Posttest eine sehr signifikante Interaktion zwischen dem Aspekt Zeit und Treatment ermittelt ($F(1,216)=6,959$; $p=0,009$, $\eta^2=0,031$). Die belegte Abhängigkeit ist ob der geringen Effektstärke als moderat einzustufen. Während in der deutschen Subgruppe der Mittelwert zum Posttest konstant blieb, fiel er in der englischen Subgruppe zum Posttest bereits ab. Zum Follow-up-Test wurde jedoch keine Signifikanz ermittelt ($F(1,216)=0,061$; $p=0,805$), es fand sich in beiden Subgruppen ein gleichartiger Abfall.

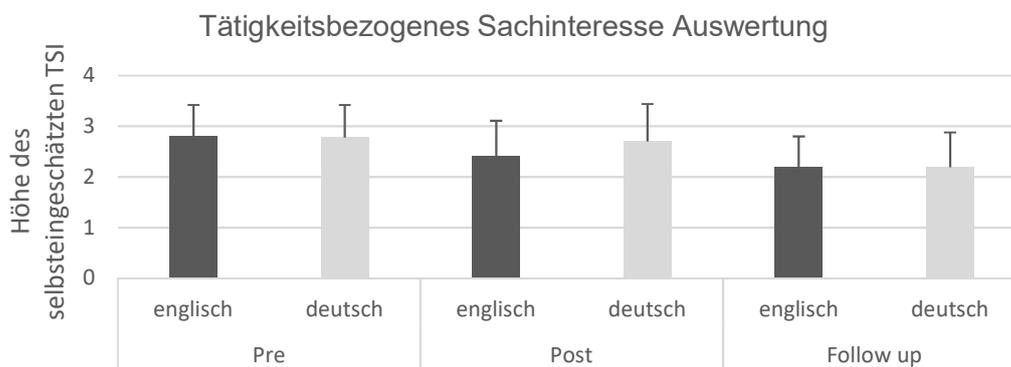


Abbildung 107: Vom englischen und deutschen Treatment durchschnittlich eingeschätztes Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung (Skalenmaximum=4)

Bezüglich des in Abbildung 108 dargestellte *Fähigkeitsselbstkonzepts Auswertung* wurde mittels ANCOVA und Einbezug der Pretestergebnisse als Kovariate eine signifikante Interaktion von Zeit und Treatment von geringem Effekt ermittelt ($F(1,215)=4,777$; $p=0,030$, $\eta^2=0,022$). Kurzfristig wurde eine gegenläufige Entwicklung mit einem Anstieg in der deutschen und einem Abfall in der englischen Treatmentgruppe verzeichnet. Ein Vergleich vom Pre- zum Follow-up-Test ergab knapp keine Signifikanz ($F(1,215)=3,807$; $p=0,052$).

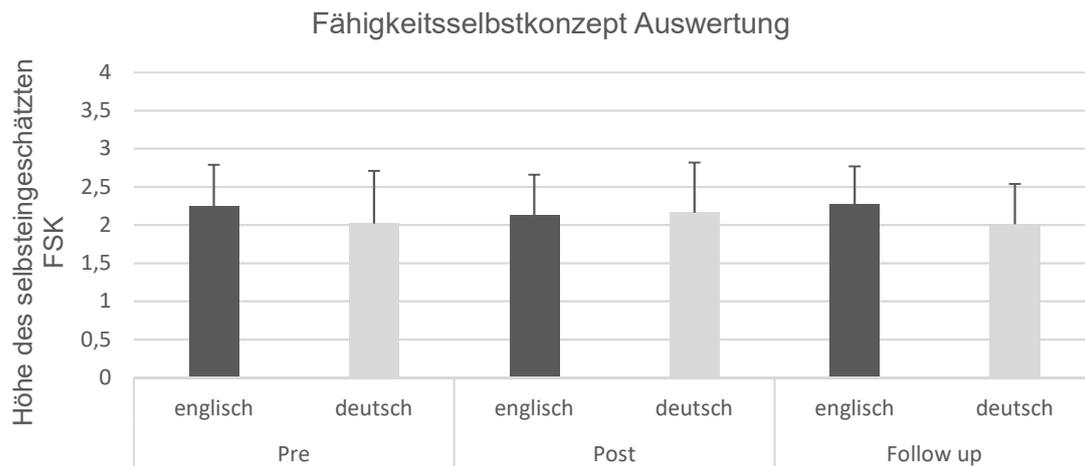


Abbildung 108: Vom englischen und deutschen Treatment durchschnittlich eingeschätztes Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung (Skalenmaximum=4)

Vergleich der Skala Auswertung nach geclusterten Lernertypen

Zunächst wurden die drei Konstrukte der Auswertung auf Pretestunterschied bezüglich der Clusterzugehörigkeit untersucht. Für das *Sachinteresse Auswertung* belegten einfaktorielle ANOVAs höchst signifikante Unterschiede ($F(2,215)=10,234$; $p=0,000$, $\eta^2=0,087$, vgl. Tabelle 88 und Abbildung 109), die auf höchst signifikant niedrigere Mittelwerte der Fremdsprachler im Vergleich zu den Allroundern ($p=0,000$) und signifikant niedrigere Mittelwerte als bei den Biologen ($p=0,011$) zurückzuführen sind. Der Post-Hoc-Test wies keinen signifikanten Unterschied zwischen Biologen und Allroundern ($p=0,091$) aus. Die höchsten Mittelwerte im Pretest zeigten die Allrounder gemeinsam mit den Biologen; den niedrigsten Wert zeigten die Fremdsprachler.

Tabelle 88: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes *Sachinteresse Auswertung* (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Cluster	M	SD	N
Pre	Biologen	3,20	0,85	90
	Fremdsprachler	2,59	1,18	22
	Allrounder	3,47	0,77	106
Post	Biologen	2,88	0,86	90
	Fremdsprachler	2,63	0,79	22
	Allrounder	3,04	0,89	106
Follow up	Biologen	2,81	0,87	90
	Fremdsprachler	1,95	1,13	22
	Allrounder	2,89	0,83	106

Hinsichtlich des in Abbildung 110 dargestellten *tätigkeitsbezogenen Sachinteresses Auswertung* wurden beim Vergleich der Cluster mit der einfaktoriellen univariaten

ANOVA ebenfalls Pretestunterschiede registriert ($F(2,215)=16,291$; $p \leq 0,001$, $\eta^2=0,132$, vgl. Tabelle 89 und). Der Post-Hoc-Test identifizierte bei Fremdsprachlern höchst signifikant niedrigere Mittelwerte für das Sachinteresse Auswertung gegenüber den Clustern der Biologen und der Allrounder (jeweils $p \leq 0,001$), während die Mittelwerte der Allrounder im Vergleich zu den Biologen signifikant höher waren ($p=0,017$).

Tabelle 89: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes *Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung* (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Cluster	M	SD	N
Pre	Biologen	2,73	0,60	90
	Fremdsprachler	2,22	0,63	22
	Allrounder	2,97	0,55	106
Post	Biologen	2,34	0,69	90
	Fremdsprachler	2,11	0,66	22
	Allrounder	2,67	0,69	106
Follow up	Biologen	2,26	0,59	90
	Fremdsprachler	1,95	0,69	22
	Allrounder	2,21	0,62	106

Auch für die Variable *Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung* wurde im Vergleich der Lernertypen ein signifikanter Pretestunterschied ermittelt ($F(2,215)=4,597$; $p \leq 0,05$, $\eta^2=0,41$, vgl. Tabelle 90). Verbunden war dieser mit einem signifikant höheren Mittelwert der Allrounder gegenüber den Fremdsprachlern ($p=0,017$) und keinen weiteren signifikanten Unterschieden. Die Allrounder zeigten höchste Mittelwerte für das Fähigkeitsselbstkonzept, gefolgt von den Biologen und Fremdsprachlern.

Tabelle 90: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes *Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung* (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Testzeitpunkt	Cluster	M	SD	N
Pre	Biologen	2,15	0,56	90
	Fremdsprachler	1,91	0,74	22
	Allrounder	2,29	0,53	106
Post	Biologen	2,08	0,55	90
	Fremdsprachler	1,97	0,58	22
	Allrounder	2,22	0,55	106
Follow up	Biologen	2,15	0,54	90
	Fremdsprachler	1,99	0,55	22
	Allrounder	2,32	0,49	106

Bezogen auf das in Abbildung 109 dargestellten *Sachinteresse Auswertung* ermittelten die anschließenden ANCOVAs für den Posttest keinen signifikanten Unterschied ($F(2,214)=0,063$; $p=0,939$), im Follow-up-Test jedoch einen sehr signifikanten Unterschied ($F(2,214)=5,396$; $p\leq 0,01$ $\eta^2= 0,048$, vgl. Tabelle 88). Dieser Unterschied war auf einen nicht signifikanten Abfall des Sachinteresses bei den Fremdsprachlern zurückzuführen.

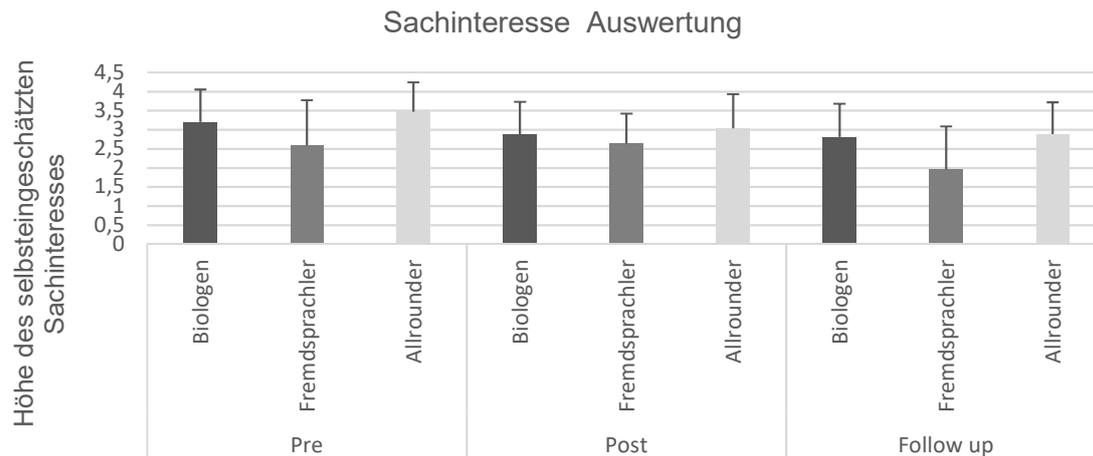


Abbildung 109: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes Sachinteresses Auswertung (Skalenmaximum=4)

Für das *tätigkeitsbezogene Sachinteresse Auswertung*, in Abbildung 110 dargestellt, wurde in den nachfolgenden ANCOVAs für den Posttest ein signifikanter Unterschied bestätigt ($F(2,214)=3,086$; $p\leq 0,05$ $\eta^2= 0,028$). Diese Signifikanz war, anders als bei den Allroundern und Biologen, mit konstanten Werten bei den Fremdsprachlern zu erklären. Für den Follow-up-Test ($F(2,214)=2,471$; $p=0,087$) wurden jedoch keine signifikanten Unterschiede ermittelt.

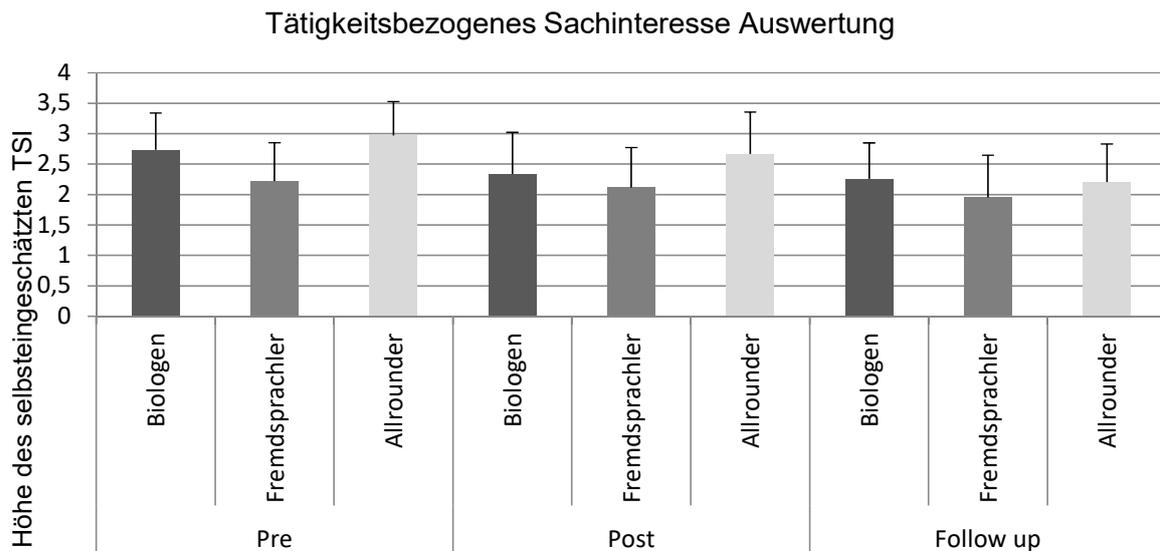


Abbildung 110: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung (Skalenmaximum=4)

Anhand von Abbildung 111 lässt sich belegen, dass Längsschnittstudien mittels ANCOVAs zum *Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung* weder im Posttest ($F(2,214)=0,506$; $p=0,604$) noch im Follow-up-Test ($F(2,214)=1,392$; $p=0,251$) signifikante Unterschiede zeigten.

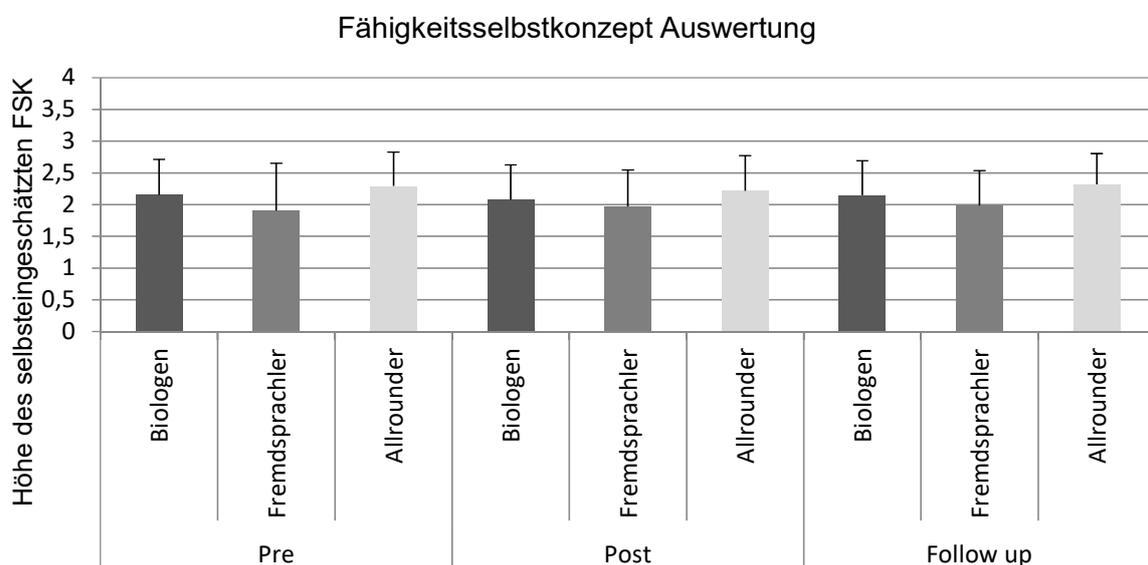


Abbildung 111: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte bezüglich des Fähigkeitsselbstkonzepts Auswertung (Skalenmaximum=4)

Der Einfluss weitere Personenvariablen auf die Variablen der Skala Auswertung

Für die Personenvariable Geschlecht wurde ein sehr signifikanter Unterschied bezüglich des *Fähigkeitsselbstkonzepts Auswertung* ermittelt ($t(216)=2,621$; $p=0,009$, $\omega^2= 0,026$). Jungen zeigten eine höhere Einschätzung des Fähigkeitsselbstkonzepts, jedoch war aufgrund der geringen Effektstärke von einer moderaten Abhängigkeit auszugehen. Zu den anderen Messzeitpunkten kam es zu keinen Laborbesuchsbedingten Unterschieden (Post $F(1,215)=1,431$; $p=0,233$), Follow up $F(1,215)=0,145$, $p=0,703$).

Für das *tätigkeitsbezogene Sachinteresse Auswertung* ($t(216)=0,207$, $p=0,837$) sowie für das Sachinteresse Auswertung ($t(216)=0,896$, $p=0,371$) wurden keine signifikanten Unterschiede zum Pretestzeitpunkt und über den gesamten Messzeitpunkt ermittelt.

Zusammenfassung der Ergebnisse zur Experimentierkompetenz Auswertung

Die Ergebnisse zur Skala Auswertung werden wie folgt zusammengefasst:

1. Treatment-unabhängig wird bezüglich des *Sachinteresses Auswertung* über den Messzeitraum ein höchst signifikanter Abfall ermittelt.
2. Global betrachtet wird auch für das *tätigkeitsbezogene Sachinteresse Auswertung* über den Messzeitraum ein höchst signifikanter Abfall verzeichnet. Die Mittelwerte zum *Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung* bleiben konstant.
3. Vergleiche bezüglich des Treatments offenbaren keine Unterschiede hinsichtlich des *Sachinteresses Auswertung*. Bezüglich des *tätigkeitsbezogenen Sachinteresses Auswertung* wird nur bei der englischen Gruppe ein Abfall registriert. Beim *Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung* wird eine gegenläufige Entwicklung im Posttest offenbar: Während die Mittelwerte der deutschen Treatmentgruppe konstant bleiben, fallen die der englischen Treatmentgruppe. Es kann folglich ein Einfluss des Treatments identifiziert werden.
4. Bezogen auf den Einfluss der geclusterten Lernertypen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder zeigen sich hinsichtlich des *Fähigkeitsselbstkonzepts Auswertung* keine Unterschiede. Demgegenüber werden für das *Sachinteresse Auswertung* Signifikanzen zum Follow-up-Test ermittelt, die, anders als bei den Biologen und Allroundern, durch langfristig unveränderte Werte bei den Fremdsprachlern bedingt sind. Für das

tätigkeitsbezogene Sachinteresse wird eine Signifikanz zum Posttest ermittelt, die, anders als bei den Biologen und Allroundern, auf konstante Werte bei den Fremdsprachlern zurückzuführen ist.

3.4.1.5 Skala 4 zum *Flow*-Erleben

Forschungsfrage 9: Wird Treatment-abhängig ein unterschiedlich ausgeprägtes experimentbezogenes *Flow*-Erlebnis registriert?

Führen unterschiedliche Experimente bzw. experimentbezogen eingenommene Rollen zu unterschiedlichem *Flow*-Erleben?

Die Ergebnisse des experimentbezogenen *Flow*-Erlebens werden in ihrer globalen Wirksamkeit, differenziert nach den vier Experimentalkomponenten sowie bezogen auf die eingenommenen Experimental-Rollen dargestellt.

***Flow*-Erleben: Globale Betrachtungen & Betrachtung Treatment**

Für die untersuchte Teilstichprobe (N=96) wurde für die beiden in Tabelle 91 und Abbildung 112 dargestellten Kenngrößen des *Flow*-Erlebens Zeitvergessenheit und Vertieftsein ein höchst signifikanter Unterschied ermittelt ($t(96)=7,616$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,377$), mit einem höheren Mittelwert für die Vertieftsein. Nachfolgend werden die beiden Items, wie in Tabelle 91 und Abbildung 112 ersichtlich, als *Flow*-Erleben-Kurzskala zusammengefasst weiter betrachtet.

Tabelle 91: Mittelwerte der zwei Kennwerte des *Flow*-Erlebens sowie für die zusammengefasste Form des Konstrukts *Flow*-Erleben (M) mit Standardabweichung (SD) in der Teilstichprobe (N=96, Skalenmaximum=6)

Items / Konstrukt	MW	SD
<i>Flow</i> -Kennwert Zeitvergessenheit (FKS1)	3,55	1,36
<i>Flow</i> -Kennwert Vertieftsein (FKS2)	4,61	1,03
<i>Flow</i> Erleben Kurzskala (FKS)	4,08	0,99

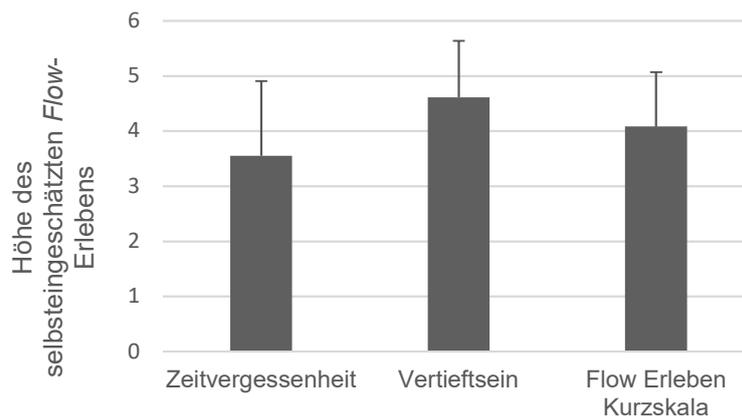


Abbildung 112: Durchschnittlich erreichte Punkte bei zwei *Flow*-Erlebens-Kennwerten und der daraus gebildeten *Flow*-Erleben-Kurzskala sowie die Standardabweichung

Vergleich des *Flow*-Erlebens für die vier Experimente betrachtet

Es sollte die Frage beantwortet werden, ob verschiedene Experimente ein unterschiedliches *Flow*-Erleben bedingen. Ein Vergleich des *Flow*-Erlebens für die vier durchgeführten Experimente anhand von Abbildung 113 und Tabelle 92 zeigte höhere Mittelwerte für das erste Experiment (*Cup stacking*) und relativ ähnliche Mittelwerte für die anderen drei Experimente. *t*-Tests für abhängige Stichproben offenbarten entsprechend zwischen Experiment 1 und allen anderen Experimenten signifikant bis sehr signifikant höhere Mittelwerte. Im Vergleich zu Experiment 2 (EEG, $t(96)=2,845$; $p \leq 0,01$; $\eta^2=0,077$), im Vergleich zu Experiment 3 (Hirnpräparation, $t(96)=2,566$; $p \leq 0,05$; $\eta^2=0,064$) und im Vergleich zu Experiment 4 (Mikroskopie, $t(96)=2,891$; $p \leq 0,01$; $\eta^2=0,08$) wurden diese signifikanten Unterschiede deutlich.

Tabelle 92: Bei den vier Experimentalkomponenten (1 *Cup stacking*, 2 EEG, 3 Hirnpräparation, 4 Mikroskopische Betrachtung der Pyramidenzellen) durchschnittlich erreichte Punktzahl zur *Flow*-Erleben Kurzskala (M) sowie Standardabweichung (SD)

Experiment	MW	SD
1	4,44	1,34
2	3,98	1,45
3	3,98	1,55
4	3,91	1,41

Demgegenüber wurden im Vergleich der Experimente 2, 3 und 4 untereinander keine Signifikanzen ermittelt (Vergleich Experimente 2/3 $t(96)=0,000$; $p=1,000$, Vergleich 2/4 $t(96)=0,392$; $p=0,696$, bzw. Vergleich 3,4 $t(96)=0,452$; $p=0,652$).

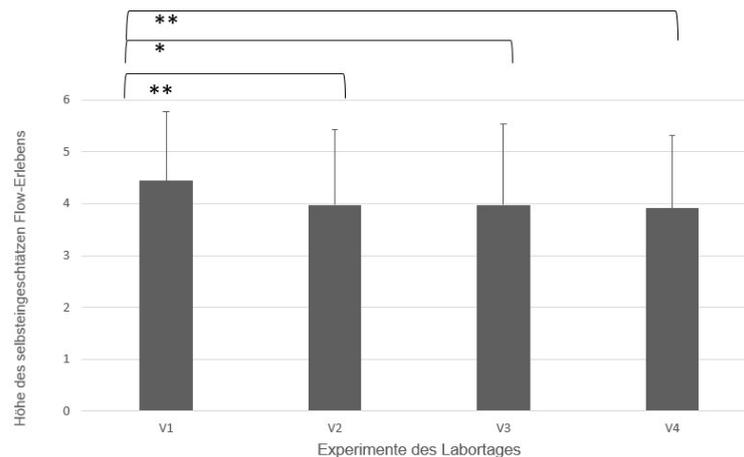


Abbildung 113: Durchschnittlich bei den verschiedenen Experimenten des Labortages erreichte Punktzahl beim *Flow*-Erleben (Skalenmaximum=6, V1 Cup Stacking, V2 EEG, V3 Hirnpräparation, V4 Mikroskopieren Pyramidenzellen. Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet ** $p \leq 0,01$, * $p \leq 0,05$)

***Flow*-Erleben nach Treatments unterschieden**

Auch war fraglich, ob das Treatment das experimentbezogene *Flow*-Erleben beeinflusste. Wie in Abbildung 114 und Tabelle 93 sichtbar, erschienen die Mittelwerte für das *Flow*-Erleben bei Experiment 1 ähnlich. Bei den weiteren drei Versuchen waren jeweils im englischen Treatment niedrigere Mittelwerte augenscheinlich. Die Untersuchung auf Bedeutsamkeit mittels *t*-Tests bestätigte diese Vermutungen. Für Experiment 1 wurde kein signifikanter Unterschied ermittelt (V1: $F(1,95) = 0,025$; $p = 0,874$). Für die Experimente 2 bis 4 wurden hingegen signifikante bis sehr signifikante Unterschiede ermittelt, die jeweils mit höheren Mittelwerten in der deutschen Treatmentgruppe verbunden waren (V2: $F(2,214) = 0,843$; $p \leq 0,01$; $\eta^2 = 0,081$; V3: $F(1,95) = 7,284$; $p \leq 0,01$; $\eta^2 = 0,071$; V4: $F(1,95) = 16,999$; $p \leq 0,001$; $\eta^2 = 0,152$, vgl. Tabelle 93).

Tabelle 93: Vom englischen und deutschen Treatment durchschnittlich erreichte Punktzahl beim *Flow*-Erleben (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Experiment	Treatment	M	SD	N
V1	englisch	4,44	1,32	76
	deutsch	4,50	1,41	21
V2	englisch	3,76	1,39	76
	deutsch	4,76	1,41	21
V3	englisch	3,76	1,50	76
	deutsch	4,76	1,51	21
V4	englisch	3,63	1,27	76
	deutsch	4,95	1,42	21

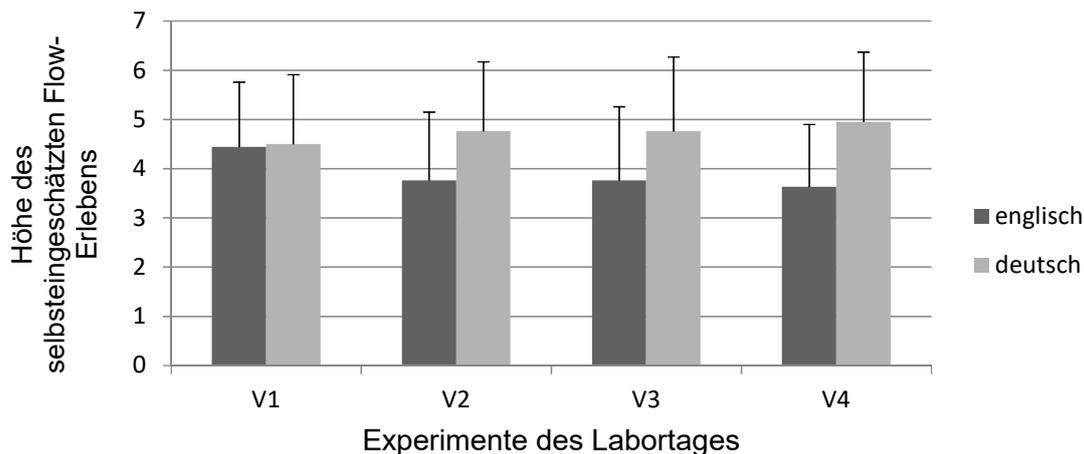


Abbildung 114: Durchschnittlich bei den verschiedenen Experimenten von den englischen und deutschen Treatments erreichte Punkte beim *Flow*-Erleben (Skalenmaximum=6, V1 Cup Stacking, V2 EEG, V3 Hirnpräparation, V4 Mikroskopieren Pyramidenzellen)

Das *Flow*-Erleben nach eingenommenen experimentbezogenen Rollen differenziert

Auch schien es interessant, das *Flow*-Erleben nach eingenommenen Rollen zu differenzieren. Eine Erhebung der Rollen für die Teilstichprobe konnte nicht vorgenommen werden, da jeder Proband über den Labortag hinweg verschiedene Rollen einnahm. Zunächst wurde das *Flow*-Erleben bezogen auf die Rollenverteilung für die verschiedenen Experimente betrachtet. Ein Vergleich bezüglich der Treatments schloss sich an.

Tabelle 94: Verteilung der durchschnittlich erreichten Punkte des *Flow*-Erlebens in den experimentbezogenen Rollen sowie den verschiedenen Experimenten des Labortages zugeordnet (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Experiment	Rolle	M	SD	N
Experiment 1	Experimentator	4,47	1,30	39
	Versuchsleiter	4,84	1,19	25
	Beobachter	4,00	1,48	29
Experiment 2	Experimentator	4,21	1,32	31
	Versuchsleiter	4,12	1,46	29
	Beobachter	3,68	1,54	37
Experiment 3	Experimentator	4,65	1,49	24
	Versuchsleiter	4,54	1,29	23
	Beobachter	3,32	1,50	47
Experiment 4	Experimentator	3,92	1,54	24
	Versuchsleiter	4,15	1,56	29
	Beobachter	3,65	1,28	36

Ein Vergleich des Flow-Erlebens bei den verschiedenen Experimenten nach eingenommenen Rollen differenziert (vgl. Tabelle 94 und Abbildung 115) belegte für die Experimente 1, 2 und 4 keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Flow-Erlebens, jedoch signifikante Unterschiede bezüglich der Rollen in Experiment 3. Die Ergebnisse der univariaten einfaktoriellen Varianzanalyse lauteten entsprechend für Experiment 1 betrachtet $F(3,92)=2,047$; $p=0,113$, für Experiment 2: $F(2,94)=1,349$; $p=0,264$ und für Experiment 4 betrachtet $F(3,93)=0,789$; $p=0,503$. Für Experiment 3 ergab sich ein höchst signifikanter Unterschied ($F(2,94)=6,488$; $p=0,000$, $\eta^2=0,173$), der mit einem höchsten Mittelwert des Experimentators, gefolgt vom Versuchsleiter sowie dem niedrigsten Wert für den Beobachter verbunden war. Ein sehr signifikanter Unterschied bestand zwischen Beobachtern und Experimentatoren ($p=0,005$) und ein signifikanter Unterschied zu den Versuchsleitern ($p=0,013$). Zwischen den anderen Gruppen lagen keine signifikanten Unterschiede vor.

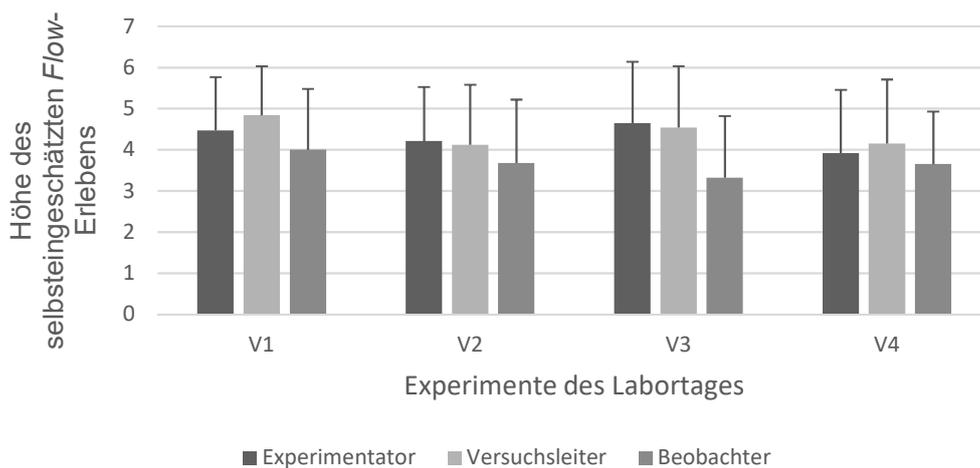


Abbildung 115: In den verschiedenen Experimenten erzielte durchschnittliche Punktzahl zum *Flow*-Erleben bei experimentbezogenen Rollen (Skalenmaximum=6, V1 Cup Stacking, V2 EEG, V3 Hirnpräparation, V4 Mikroskopieren Pyramidenzellen)

Grundsätzlich konnte festgestellt werden, dass die Beobachterrolle in allen Experimenten durchschnittlich in geringstem *Flow*-Erleben resultierte. Die für Experiment 3 beschriebene Verteilung des *Flow*-Erlebens wurde tendenziell auch bei Experiment 2 abgebildet (Tabelle 94 und Abbildung 115). Demgegenüber zeigte bei den Experimenten 2 und 4 tendenziell der Versuchsleiter höchstes *Flow*-Erleben, gefolgt vom Experimentator.

Flow-Erleben nach Treatments differenziert

Wie in Tabelle 95 und Tabelle 96 ersichtlich, wurden im englischen sowie im deutschen Treatment bezüglich des Rollenvergleiches dieselben Verteilungen wie für die Gesamtstichprobe abgebildet.

Tabelle 95: In der englischen Treatmentgruppe durchschnittlich erreichte Punktzahl beim Flow-Erleben nach Rollen differenziert (Skalenmaximum=6), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Experiment	Rolle	M	SD	N
Experiment 1	Experimentator	4,57	1,25	30
	Versuchsleiter	4,71	1,17	19
	Beobachter	3,93	1,51	23
Experiment 2	Experimentator	4,02	1,35	24
	Versuchsleiter	3,82	1,43	22
	Beobachter	3,51	1,4	30
Experiment 3	Experimentator	4,61	1,53	18
	Versuchsleiter	4,13	1,26	16
	Beobachter	3,15	1,38	39
Experiment 4	Experimentator	3,53	1,44	18
	Versuchsleiter	4,02	1,43	21
	Beobachter	3,24	1,01	29

Tabelle 96: In der deutschen Treatmentgruppe durchschnittlich erreichte Punktzahl beim Flow-Erleben nach Rollen differenziert (Skalenmaximum=6), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)

Experiment	Rolle	M	SD	N
Experiment 1	Experimentator	4,17	1,46	9
	Versuchsleiter	5,25	1,25	6
	Beobachter	4,25	1,44	6
Experiment 2	Experimentator	4,86	1,03	7
	Versuchsleiter	5,07	1,13	7
	Beobachter	4,36	1,99	2
Experiment 3	Experimentator	4,75	1,47	6
	Versuchsleiter	5,50	0,76	7
	Beobachter	4,12	1,87	8
Experiment 4	Experimentator	5,08	1,28	6
	Versuchsleiter	4,50	1,93	8
	Beobachter	5,36	0,75	7

Ebenso wie für die Gesamtstichprobe wurde bei Experiment 3 ein sehr signifikanter Unterschied ermittelt. Ein Treatmentvergleich offenbarte für die in Abbildung 116 dargestellte englische Treatmentgruppe ($F(3,72)=5,630$; $p=0,002$, $\eta^2=0,190$, vgl.) wie für die in Abbildung 117 dargestellte deutsche Treatmentgruppe ($F(2,18)=1,640$;

$p=0,002$, $\eta^2=0,190$, vgl.) in univariaten einfaktoriellen ANOVAs sehr signifikante Unterschiede. In beiden Treatments war dieses mittels Post-Hoc-Tests weiter untersuchte Ergebnis mit einem höchsten Mittelwert des Experimentators, gefolgt vom Versuchsleiter sowie einem niedrigsten Wert für den Beobachter verbunden. Ein sehr signifikanter Unterschied bestand zwischen den Beobachtern und den Experimentatoren ($p=0,005$). Weitere signifikante Unterschiede bezüglich der anderen Experimente wurden nicht ermittelt ($p>0,05$).

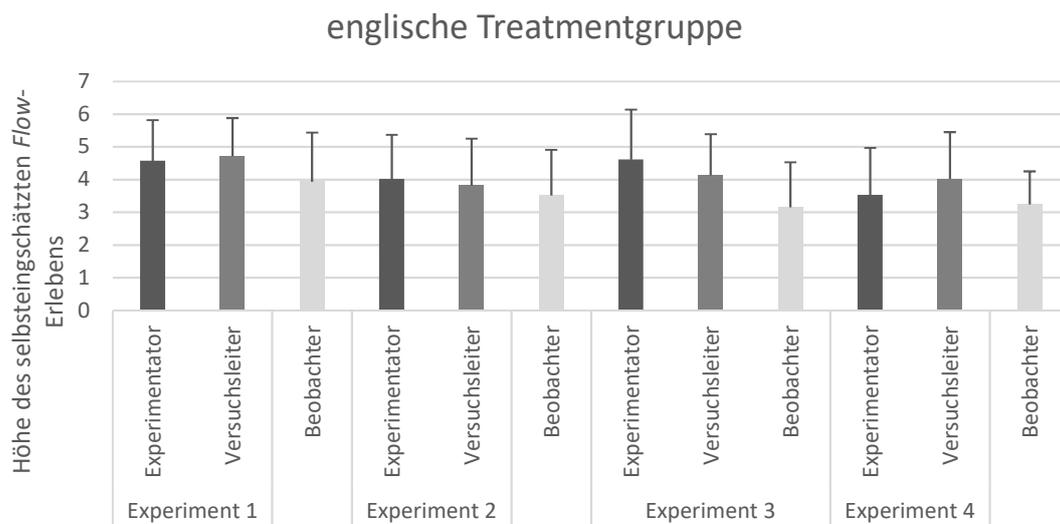


Abbildung 116: In der englischen Treatmentgruppe durchschnittlich erreichte Punktzahl des *Flow*-Erlebens nach eingenommenen experimentbezogenen Rollen unterschieden (Skalenmaximum=6, V1 Cup Stacking, V2 EEG, V3 Hirnpräparation, V4 Mikroskopieren Pyramidenzellen)

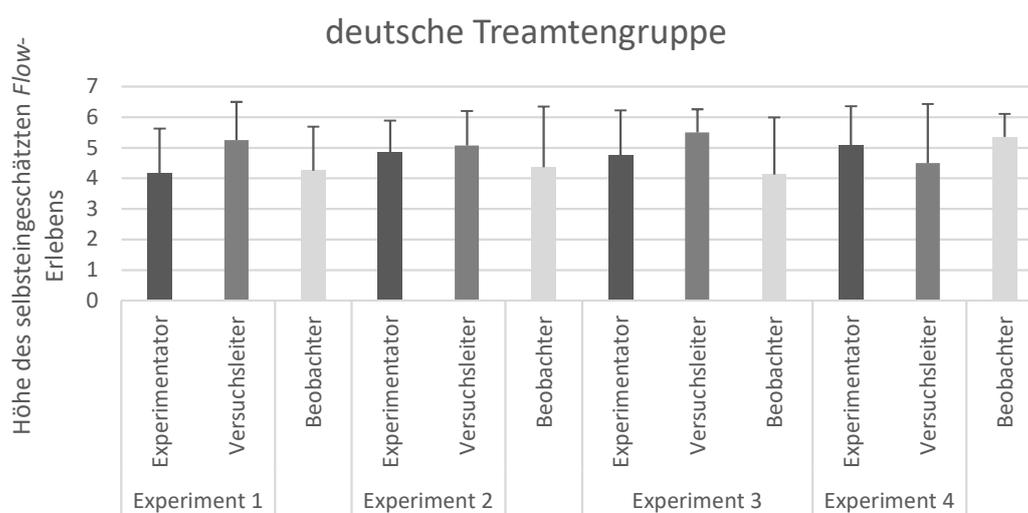


Abbildung 117: In der deutschen Treatmentgruppe durchschnittlich erreichte Punktzahl des *Flow*-Erlebens nach eingenommenen experimentbezogenen Rollen unterschieden (Skalenmaximum=6, V1 Cup Stacking, V2 EEG, V3 Hirnpräparation, V4 Mikroskopieren Pyramidenzellen)

Zusammenfassung der Ergebnisse zum *Flow*-Erleben

1. Ein Vergleich der in dieser Studie eingesetzten Kurzskala zum *Flow*-Erleben offenbart für die vier am Schülerlabortag durchgeführten Experimente den höchsten Mittelwert beim Experiment *Cup stacking* und einen signifikanten bis sehr signifikanten Unterschied zu den anderen drei Experimenten. Die Mittelwerte der Experimente EEG, Hirnpräparation und Mikroskopische Betrachtung der Pyramidenzellen sind ungefähr gleich hoch.
2. Treatment-abhängig werden für die Experimente EEG, Hirnpräparation und Mikroskopische Betrachtung der Pyramidenzellen jeweils signifikant bis sehr signifikant niedrigere Mittelwerte im englischen Treatment ermittelt. Demgegenüber Treatment-unabhängig ist das *Flow*-Erleben hinsichtlich des Experiments *Cup stacking*.
3. Treatment-unabhängig führt ein Vergleich der experimentbezogenen eingenommenen Rollen für die Treatments zu gleichen Ergebnissen: Für die Experimente *Cup stacking*, EEG und Mikroskopische Betrachtung der Pyramidenzellen werden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des *Flow*-Erlebens in den eingenommenen Rollen festgestellt. Lediglich für Experiment 3 werden Treatment-unabhängig bedeutsame Unterschiede ermittelt. Das *Flow*-Erleben der Beobachter ist hier sehr signifikant niedriger als der der Experimentatoren. Gefolgt von den Versuchsleitern, zeigen die Experimentatoren höchste Mittelwerte.
4. Tendenziell kann bezüglich der experimentbezogenen Rollen vermerkt werden, dass Beobachter durchschnittlich für alle Versuche betrachtet, das geringste *Flow*-Erleben erzielen.

Nachdem zunächst die Ergebnisse der biowissenschaftlich ausgerichteten Skalen vorgestellt wurden, werden nachfolgend die Ergebnisse der fremdsprachlichen Skalen zum bilingualen Handeln (Fachinteresse Englisch, Fachinteresse Biologie, Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität, Druck Bilingualität, Bedeutung Sprache Forschung) und zu den metakognitiven Strategien vorgestellt. Abschließend werden theoriegeleitet Korrelationen zwischen relevanten Konstrukten dargestellt.

3.4.2 Affektive Wirksamkeit fremdsprachlicher Ausrichtung

In dieser Skala sind mehrere Subskalen zusammengefasst, was die Formulierung zweier repräsentativ formulierter Forschungsfragen bedingt.

Forschungsfrage 10.1: Bewirkt ein eintägiger bilingual-englisch durchgeführter Schülerlabortag gegenüber einem monolingual durchgeführten Treatment eine Steigerung des fremdsprachlichen Fähigkeitsselbstkonzepts und eine Reduzierung des Druckempfindens? Welche Unterschiede ergeben sich bezüglich der identifizierten Lernertypen?

10.2: Wird der Fremdsprachengebrauch als authentisches Merkmal naturwissenschaftlicher Forschung angesehen? Wird die Einschätzung der Bedeutung der Fremdsprache in der naturwissenschaftlichen Forschung durch das Treatment oder die identifizierten Personenvariablen zum Lernertyp beeinflusst?

3.4.2.1 Skala 5 des bilingualen Handelns

Wie in Kapitel 2.3.1.3.2 dargelegt, sind in der Skala des bilingualen Handelns das Fachinteresse Biologie, das Fachinteresse Englisch, das Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität, das Druckempfinden Bilingualität sowie die selbsteingeschätzte Bedeutung der Sprache zusammengefasst und wurden zum Teil bereits für die Clusterung von Lernertypen herangezogen. Die Konstrukte wurden zunächst bezüglich ihrer dispositionalen Zusammenhänge im Pretest analysiert, anschließend global längsschnittlich betrachtet, bevor der Einfluss des Treatments und der Lernerdispositionen auf sie untersucht wurden.

Tabelle 97: Korrelation (r), Signifikanzen (zweiseitig) und Stichprobengröße (N) der Variablen der Skala Bilinguales Handeln zum Pretest. Korrelationen $\geq 0,3$ sind farblich hervorgehoben

		FI Biologie	FI Englisch	FSK Bilingualität	Druck Bilingualität	Authentizität Sprache
FI Biologie	r		0,028	0,119	0,083	0,138
	Signifikanz		$p=0,681$	$p=0,080$	$p=0,223$	$p\leq 0,05$
	N		218	218	218	218
FI Englisch	r	0,028		0,712	-0,504	0,631
	Signifikanz	$p=0,681$		$p\leq 0,001$	$p\leq 0,001$	$p\leq 0,001$
	N	218		218	218	218
FSK Bilingualität	r	0,119	0,712		-0,498	0,561
	Signifikanz	0,080	$p\leq 0,001$		$p\leq 0,001$	$p\leq 0,001$
	N	218	218		218	218
Druck Bilingualität	r	0,083	-0,504	-0,498		-0,334
	Signifikanz	$p=0,223$	$p\leq 0,001$	$p\leq 0,001$		$p\leq 0,001$
	N	218	218	218		218
Authentizität Sprache	r	0,138	0,631	0,561	-0,334	
	Signifikanz	$p\leq 0,05$	$p\leq 0,001$	$p\leq 0,001$	$p\leq 0,001$	
	N	218	218	218	218	

Wie Tabelle 97 zu entnehmen ist, bestand zum einen kein Zusammenhang zwischen dem Fachinteresse Biologie und Englisch ($r(218)=0,028$, $p=0,681$) und kein Zusammenhang zwischen dem Fachinteresse Biologie und den untersuchten Variablen Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität und Druck Bilingualität, allerdings ein geringer signifikanter Zusammenhang zur Variable Bedeutung Sprache ($r(218)=0,138$, $p\leq 0,05$). Demgegenüber zeigten Lernende mit einem hohen Fachinteresse Englisch ein hohes Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität ($r(218)=0,712$, $p\leq 0,0019$) und maßen außerdem der Sprache Englisch eine hohe Bedeutung bei ($r(218)=0,631$, $p\leq 0,001$). Lernende mit hohem Fachinteresse Englisch zeigten zudem interessanterweise ein niedriges Druckempfinden Bilingualität ($r(218)=-0,504$, $p\leq 0,001$).

Skala des bilingualen Handelns global betrachtet

Wie in Abbildung 118 und Tabelle 98 augenscheinlich ist, fiel das Fachinteresse Biologie insgesamt gesehen recht hoch aus und sank zum Follow-up-Test leicht ab. Das Fachinteresse war insgesamt geringer ausgeprägt und sank zum Post- und Follow-up-Test. Das Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität war ungefähr auf der Höhe des Fachinteresses entwickelt und stieg langfristig. Demgegenüber war das Druckempfinden Bilingualität über den gesamten Messzeitraum relativ konstant. Das Konstrukt Bedeutung Sprache wiederum war relativ hoch ausgeprägt, fiel zum Kurstag ab und stieg langfristig auf ein höheres Niveau.

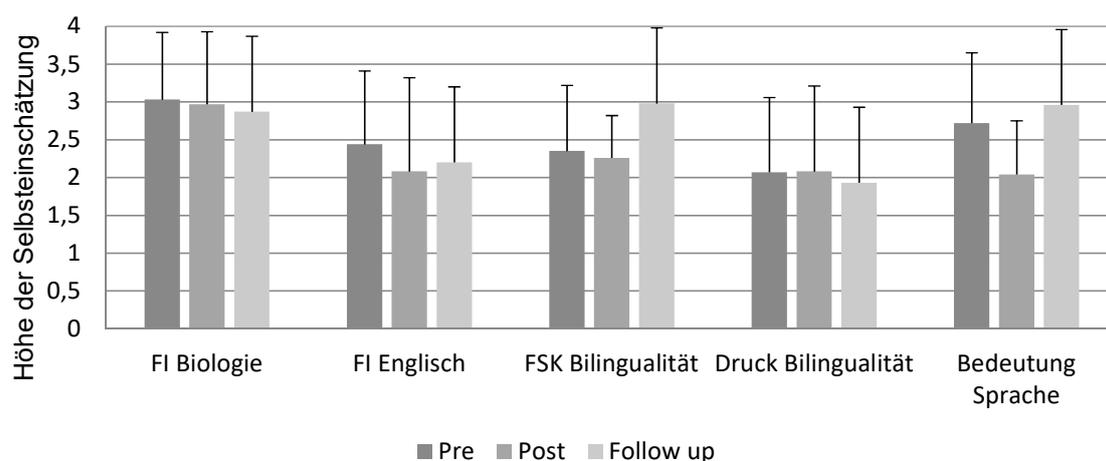


Abbildung 118: Verteilung der durchschnittlich erfolgten Einschätzungen zu den Dimensionen des Bilingualen Handelns über den gesamten Messzeitraum für die Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=4, FI = Fachinteresse, FSK= Fähigkeitsselbstkonzept)

Diese globalen längsschnittlichen Betrachtungen der Dimensionen der Skala des bilingualen Handelns (vgl. Tabelle 98 und Abbildung 118) wurden auf signifikante Unterschiede untersucht. Mittels t -Tests für verbundene Stichproben wurde für das *Fachinteresse Biologie* im Vergleich vom Pre- zum Posttest kein signifikanter Unterschied ermittelt ($t(217)=1,228$; $p=0,221$), im Vergleich vom Pre- zum Follow-up-Test jedoch eine höchst signifikante Abnahme verzeichnet ($t(217)=3,348$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,049$). Sie wurde von einem signifikanten Abfall vom Post- zum Follow-up-Test von geringer Effektstärke begleitet ($t(217)=2,169$; $p\leq 0,05$; $\eta^2=0,021$).

Wie für das *Fachinteresse Englisch* in Abbildung 118 ersichtlich, wurde für den gesamten Messzeitpunkt eine höchst signifikante Abnahme von großem bzw. mittlerem Effekt verzeichnet (Pre/Post $t(217)=5,601$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,126$; Pre/Follow up $t(217)=3,785$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,061$, vgl. Tabelle 98). Beim *Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität*, in Abbildung 118 dargestellt, wurde zum Posttest kein signifikanter Zuwachs ($t(217)=1,416$; $p=0,158$), jedoch über den gesamten Messzeitpunkt ein höchst signifikanter Zuwachs mit großer Effektstärke ermittelt ($t(217)=8,890$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,267$). Für das *Druckempfinden Bilingualität* (vgl. Abbildung 118 und Tabelle 98) vom Pre- zum Posttest wurde kein signifikanter Unterschied erzielt ($t(217)=0,179$; $p=0,858$), vom Pre- zum Follow-up-Test jedoch ein sehr signifikanter Abfall von geringer Effektstärke verzeichnet ($t(217)=2,660$; $p\leq 0,01$; $\eta^2=0,032$). Bezüglich der Variable *Authentizität Sprache* wurde zum Posttest eine höchst signifikante Abnahme von großer Effektstärke beobachtet ($t(217)=7,707$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,215$) sowie über den Gesamtzeitraum eine höchst signifikante Zunahme mittlerer Effektstärke ermittelt ($t(217)=3,954$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,067$), die auf eine höchst signifikante Zunahme vom Post- zum Follow-up-Test großer Effektstärke zurückzuführen war ($t(217)=3,954$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,364$).

Tabelle 98: Durchschnittlich erreichte Punkte in den Konstrukten der Skala Bilinguales Handeln (M) sowie die Standardabweichung (SD) für die Gesamtstichprobe (N=218) (Skalenmaximum=4)

Parameter	Testzeitpunkt	M	SD
Fachinteresse Biologie	Pre	3,03	0,89
	Post	2,97	0,96
	Follow up	2,87	0,95
Fachinteresse Englisch	Pre	2,44	0,97
	Post	2,08	1,24
	Follow up	2,20	1,22
FSK Bilingualität	Pre	2,35	0,87
	Post	2,26	0,56
	Follow up	2,98	0,59
Druckempfinden Bilingualität	Pre	2,07	0,99
	Post	2,08	1,13
	Follow up	1,93	1,08
Authentizität Sprache	Pre	2,72	0,93
	Post	2,04	0,71
	Follow up	2,96	0,87

Skala Bilinguales Handeln nach Treatments verglichen

Aus Gründen der Übersichtlichkeit erfolgt die Darstellung der Ergebnisse dieser Skala tabellarisch zusammengefasst in Tabelle 99 und visualisiert als Darstellung des Pretests in Abbildung 119, für den gesamten Messzeitraum betrachtet in einer Darstellung des englischen Treatments in Abbildung 120 und des deutschen Treatments in Abbildung 121.

Wie in Abbildung 119 und Tabelle 98 sichtbar, fielen die durchschnittlich erreichten Einschätzungen zu den mit der Skala Bilinguales Handeln beforschten Konstrukten zum Teil unterschiedlich im englischen und deutschen Treatment aus.

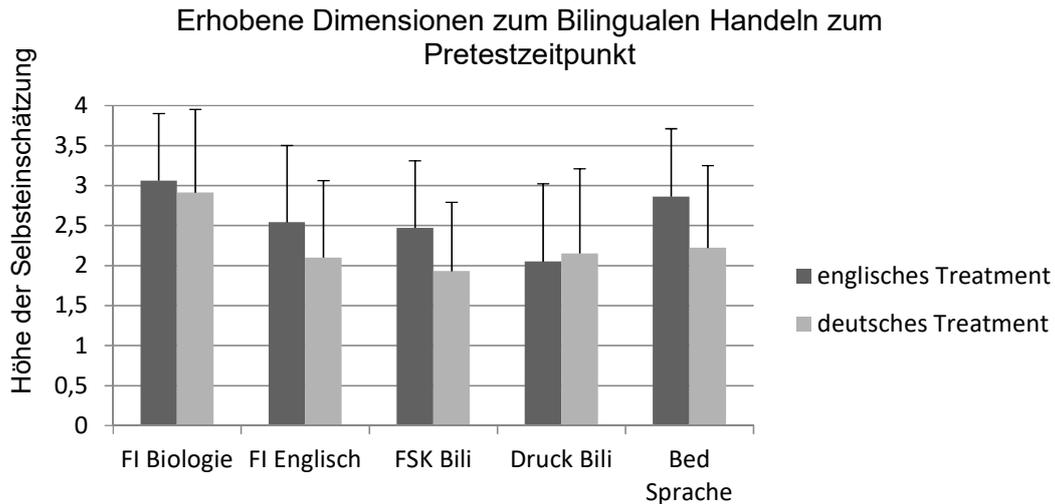


Abbildung 119: Durchschnittlich vom englischen und deutschen Treatment vorgenommenen Einschätzungen zur Skala Bilinguales Handeln im Pretest (Skalenmaximum=4)

Mittels einfaktorieller univariater ANOVAs wurden für das *Fachinteresse Biologie* keine Pretestunterschiede ermittelt ($F(1,216)=1,117$; $p=0,292$). Sowohl bezüglich des *Fachinteresses Englisch* ($F(1,216)=7,680$; $p\leq 0,01$; $\eta^2=0,034$) als auch für das *Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität* ($F(1,216)=15,330$ $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,066$) wurden höhere Mittelwerte für die englische Treatmentgruppe errechnet. Demgegenüber wurde für das *Druckempfinden Bilingualität* kein signifikanter Unterschied ermittelt ($F(1,216)=0,370$; $p=0,544$). Für das Konstrukt Bedeutung Sprache wurde ebenfalls in der englischen Treatmentgruppe ein höherer Mittelwert festgestellt ($F(1,216)=19,019$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,081$).

Tabelle 99: Vergleiche der vom englischen und deutschen Treatment erreichten Punkte bei den Parametern zum Bilingualen Handeln (M) und Standardabweichung (SD) über alle Messzeitpunkte hinweg

Parameter	Treatment/ Testzeitpunkt	englisch		deutsch	
		M	SD	M	SD
Fachinteresse Biologie	Pre	3,06	0,84	2,91	1,04
	Post	2,98	0,91	2,94	1,15
	Follow up	2,94	0,89	2,61	1,13
Fachinteresse Englisch	Pre	2,54	0,96	2,10	0,96
	Post	2,10	1,22	1,99	1,33
	Follow up	2,24	1,20	2,04	1,27
FSK Bilingualität	Pre	2,47	0,84	1,93	0,86
	Post	2,29	0,55	2,16	0,59
	Follow up	2,97	0,58	3,04	0,63
Druckempfinden Bilingualität	Pre	2,05	0,97	2,15	1,06
	Post	2,07	1,08	2,15	1,30
	Follow up	1,91	1,06	1,98	1,16
Bedeutung Sprache	Pre	2,86	0,85	2,22	1,03
	Post	2,03	0,70	2,06	0,76
	Follow up	3,03	0,85	2,72	0,92

Die Pretestergebnisse berücksichtigend, wurden nachfolgend zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung oder im Fall von Pretestunterschieden einfaktorielle ANCOVAs angeschlossen. Der Treatmentvergleich ergab für das *Fachinteresse Biologie* weder im Vergleich von Pre- zum Posttest ($F(1,216)=0,934$; $p=0,335$) noch im Vergleich von Pre- zu Follow-up-Test signifikante Unterschiede ($F(1,216)=2,083$; $p=0,150$).

Bezüglich des *Fachinteresses Englisch* ergaben sich ebenfalls mittels ANCOVA keine durch den Schülerlabortag bedingten Unterschiede zwischen den Treatments (Pre-/Posttest $F(1,215)=2,678$; $p=0,103$, Pre-/Follow-up $F(1,215)=0,797$; $p=0,373$). Ebenso ließen sich für das *Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität* mittels ANCOVA keine signifikanten Unterschiede für die verschiedenen Messzeitpunkte registrieren (Pre-/Posttest $F(1,215)=1,045$; $p=0,308$, Pre-/Follow-up $F(1,215)=1,077$; $p=0,300$). Die zweifaktoriellen ANOVAs belegten für das *Druckempfinden Bilingualität* ebenfalls zu keinem Messzeitpunkt eine Signifikanz bezüglich der Zeit und der Gruppenvergleiche (Pre-/Posttest $F(1,216)=0,015$; $p=0,901$, Pre-/Follow-up $F(1,216)=0,034$; $p=0,854$). Auch wurde für das Konstrukt *Bedeutung Sprache* mittels ANCOVA keine Signifikanz bezüglich Zeit und Treatment bestätigt (Pre-/Posttest $F(1,215)=0,873$; $p=0,351$, Pre-/Follow-up $F(1,215)=0,010$; $p=0,919$). Die Einschätzung und Entwicklung dieses

Konstruktes war also ebenfalls unabhängig vom Treatment. Folgernd konnte eine gleichartige Wirkung der beiden Treatments auf die untersuchten Variablen dieser Skala angenommen werden.

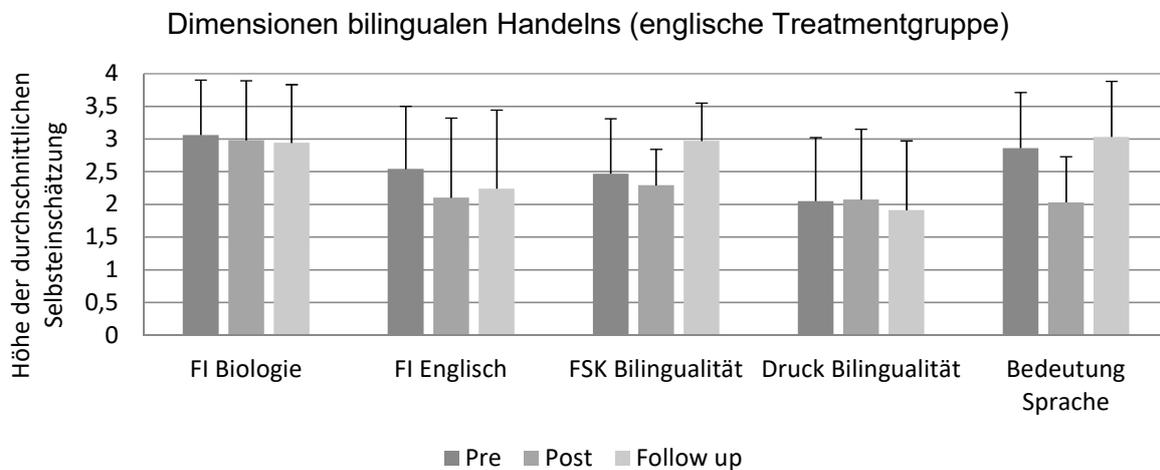


Abbildung 120: Im englischen Treatment durchschnittlich erreichte Punkte zu den Dimensionen Bilingualen Handelns zu allen Messzeitpunkten (Skalenmaximum=4)

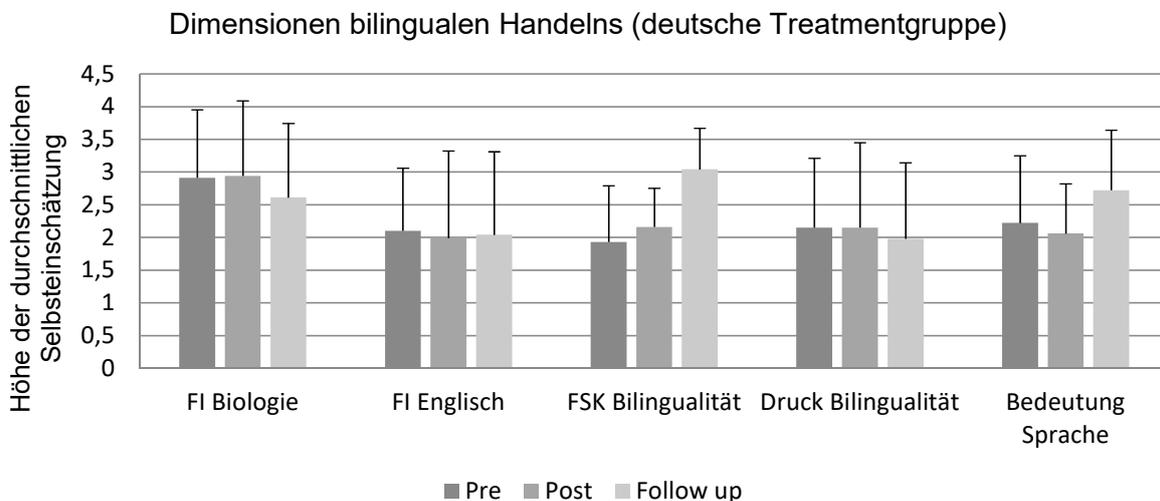


Abbildung 121: Im deutschen Treatment durchschnittlich erreichte Punkte zu den Dimensionen Bilingualen Handelns zu allen Messzeitpunkten (Skalenmaximum=4)

Die Skala Bilinguales Handeln hinsichtlich der geclusterten Lernertypen verglichen

In Abbildung 122 und Tabelle 100 ist ersichtlich, dass schon zum Pretestzeitpunkt Unterschiede bezüglich der hier untersuchten Variablen bestehen.

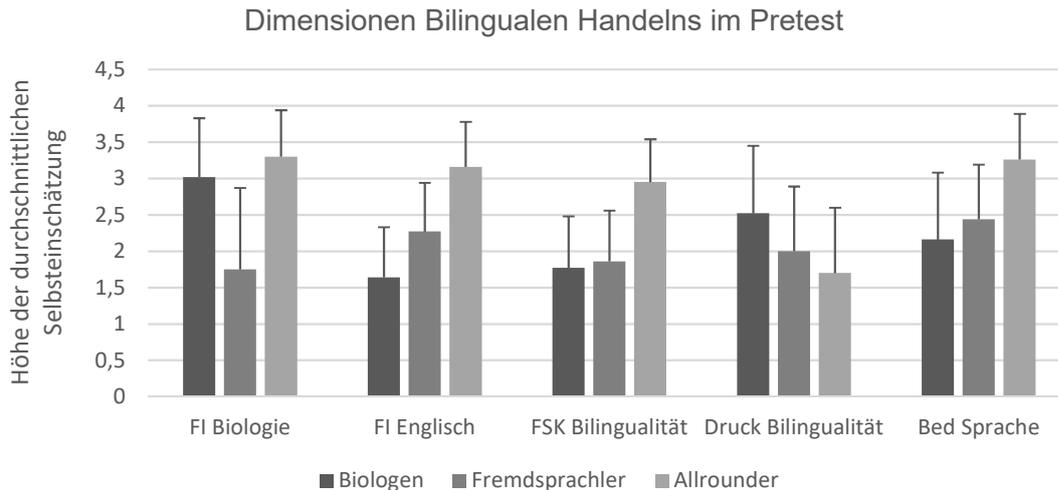


Abbildung 122: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte in den Dimensionen bilingualen Handelns zum Pretestzeitpunkt

Wie bereits im Zuge der Clusteranalyse belegt, wurden zum Zeitpunkt des Pretests bezüglich des *Fachinteresses Biologie* höchst signifikante Unterschiede ermittelt ($F(2,215)=37,224$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,257$), die auf je höchst signifikant niedrigere Mittelwerte der Fremdsprachler gegenüber den Biologen und Allroundern ($p=0,000$) sowie signifikant höhere Mittelwerte der Allrounder gegenüber den Biologen ($p=0,038$) zurückzuführen waren.

Auch bezüglich des *Fachinteresses Englisch* wurde ein höchst signifikante Unterschied bereits belegt ($F(2,215)=132,755$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,553$). Der Post-Hoc-Test identifizierte zwischen allen Clustern höchst signifikante Unterschiede (je $p=0,000$), wobei die Allrounder, gefolgt von den Fremdsprachlern, durchschnittlich die höchsten Werte und die Biologen den niedrigsten Wert aufwiesen.

Für das *Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität* wurden im Pretest höchst signifikante Unterschiede bezüglich der betrachteten Lernertypen ermittelt ($F(1,216)=85,904$ $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,444$), die auf höchst signifikant höhere Mittelwerte der Allrounder sowohl gegenüber den Fremdsprachlern wie den Biologen fußten ($p=0,000$) sowie auf nicht signifikanten Unterschieden zwischen den Fremdsprachlern und Biologen ($p=0,840$).

Für die Variable *Druck Bilingualität* wurde mittels einfaktorieller ANOVA ein höchst signifikanter Pretestunterschied gemessen ($F(2,215)= 19,799$, $p=0,000$; $\eta^2= 0,156$), wobei das Cluster der Biologen einen höchst signifikant höheren Mittelwert als die Allrounder zeigten ($p=0,000$), jedoch keine weiteren signifikanten Unterschiede bestanden (CI2 und 3 $p=0,382$, CI1 und 2 $p=0,056$). Die Biologen zeigten den höchsten

Mittelwert bezüglich des Druckempfindens Bilingualität, gefolgt vom Cluster der Fremdsprachler und dem der Allrounder.

Clusterspezifisch betrachtet konnte für die Variable Bedeutung Sprache (Arbeitssprache) im Vortest ein höchst signifikanter Pretestunterschied ($F(2/215)=50,356$; $p=0,000$, $\eta^2=0,319$) ermittelt werden, der auf höchst signifikant höhere Mittelwerte des Clusters Allrounder gegenüber den beiden anderen Clustern gründete ($p=0,000$), wohingegen sich die Mittelwerte der Biologen und Fremdsprachler nicht signifikant unterschieden ($p=0,320$).

Tabelle 100: Von den geclusterten Lernertypen für die Variablen der Skala Bilinguales Handeln zu allen Messzeitpunkten in der Gesamtstichprobe durchschnittlich erreichte Punkte (M) und Standardabweichung (SD), (Skalenmaximum=4)

Variable	Messzeitpunkt	Biologen		Fremdsprachler		Allrounder	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD
Fachinteresse Biologie	Pre	3,02	0,81	1,75	1,12	3,30	0,64
	Post	2,95	1,01	2,06	1,28	3,18	0,72
	Follow up	2,85	0,92	1,77	1,07	3,10	0,79
Fachinteresse Englisch	Pre	1,64	0,69	2,27	0,67	3,16	0,62
	Post	1,36	1,03	2,32	1,12	2,64	1,12
	Follow up	1,50	1,03	2,37	1,25	2,76	1,05
Fähigkeitsselbstkonzept	Pre	1,77	0,71	1,86	0,70	2,95	0,59
	Post	2,28	0,52	1,80	0,72	2,33	0,52
Bilingualität	Follow up	3,10	0,53	2,59	0,59	2,96	0,60
Druck Bilingualität	Pre	2,52	0,93	2,00	0,89	1,70	0,90
	Post	2,51	0,97	2,15	1,22	1,70	1,12
	Follow up	2,30	1,01	1,98	1,17	1,52	0,86
Bedeutung Sprache	Pre	2,16	0,92	2,44	0,75	3,26	0,63
	Post	2,34	0,66	1,93	0,79	1,80	0,64
	Follow up	2,59	0,87	2,74	0,84	3,33	0,72

Die Pretestunterschiede berücksichtigend, ergab sich für das *Fachinteresse Biologie* (vgl. Abbildung 123) zu den zwei weiteren Messzeitpunkten kein durch den Schülerlabortag bedingter signifikanter Unterschied. Zum Posttest wurde $F(2,214)=0,401$ und zum Follow-up-Test wurde $F(2,214)=0,787$; $p=0,456$) ermittelt.

Auch für das in Abbildung 123 dargestellte *Fachinteresse Englisch* wurden bei Berücksichtigung der Pretestunterschiede mittels der angeschlossenen ANCOVAs zu den weiteren Messzeitpunkten keine signifikanten Unterschiede zwischen den

Clustern identifiziert. Zum Posttest wurde $F(2,214)=2,002$; $p=0,138$, und zum Follow-up-Test wurde $F(2,214)=1,365$; $p=0,258$) berechnet.

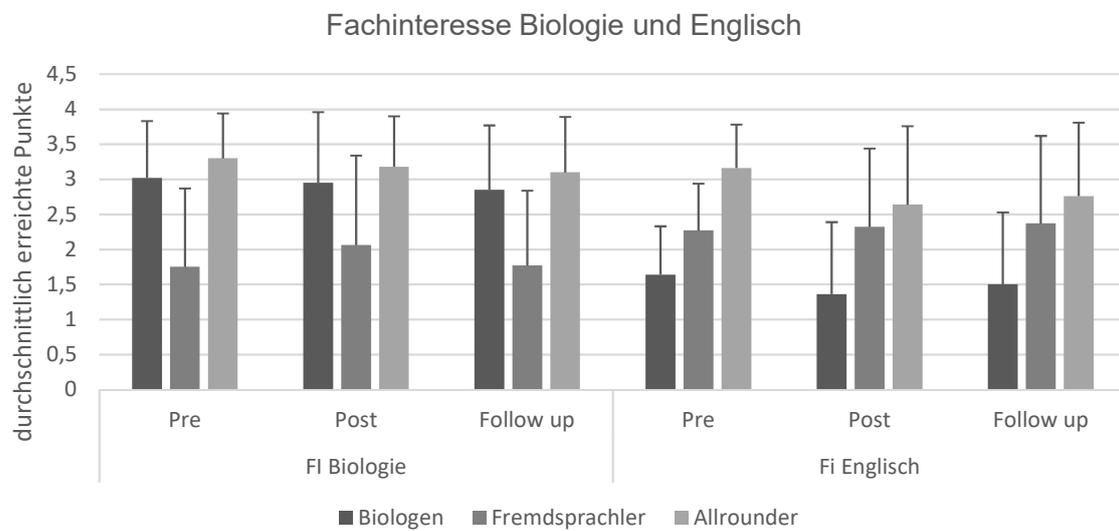


Abbildung 123: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte im Fachinteresse Biologie und Englisch (Skalenmaximum=4)

Den Pretestunterschied berücksichtigend wurden für das *Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität* (vgl. Abbildung 124) längsschnittlich sowohl zum Posttest ($F(2,214)=7,606$; $p\leq 0,001$, $\eta^2=0,066$) als auch zum Follow-up-Test ($F(2,214)=7,687$; $p\leq 0,001$, $\eta^2=0,067$) höchst signifikante Unterschiede ermittelt. Die Identifikation der Gründe erfolgte über t -Tests in gesonderten Clusterbetrachtungen.

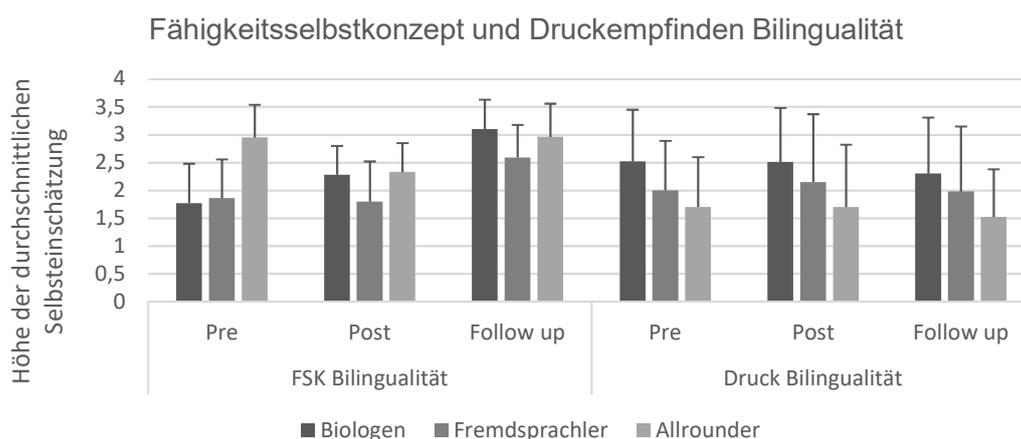


Abbildung 124: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte im Fähigkeitsselbstkonzept und im Druckempfinden Bilingualität (Skalenmaximum=4)

Bei der separaten Betrachtung des *Fähigkeitsselbstkonzepts Bilingualität* für jedes Cluster ergab sich für das Cluster der Biologen sowohl zum Posttest ein höchst

signifikanter Anstieg zum Posttest ($t(89)=5.368$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,245$) als auch zum Follow-up-Test ein höchst signifikanter Zuwachs ($t(89)=14,807$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,711$). Beim Cluster der Fremdsprachler wurde kurzfristig kein ($t(21)=0,262$; $p=0,796$), langfristig ein höchst signifikanter Zuwachs gemessen ($t(21)=4,193$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,456$). Demgegenüber blieben die Mittelwerte für die Allrounder langfristig konstant.

Für das in Abbildung 124 dargestellte *Druckempfinden Bilingualität* wurden in den ANCOVAs längsschnittlich zum Follow-up-Test keine signifikanten Unterschiede ermittelt ($F(2,214)=1,447$; $p=0,238$). Zum Follow-up-Test hingegen wurden signifikante Unterschiede zwischen den Lernertypen registriert ($F(2,215)=p=0,039$; $\eta^2=0,030$), die von geringer Effektstärke waren. Durch gesonderte, für die Cluster durchgeführte t -Tests wurde für das Cluster Biologie keine signifikante Abnahme des Drucks ermittelt (Pre/Post $t(89)=0,146$; $p=0,884$; Pre- /Follow-up $t(89)=1,409$; $p=0,162$). Auch die Mittelwerte der Fremdsprachler blieben über den gesamten Messzeitraum konstant. Demgegenüber konnte für die Allrounder kurzfristig kein ($t(105)=4,193$; $p\leq 0,988$), langfristig jedoch eine signifikante Abnahme des Drucks Bilingualität registriert werden ($t(105)=2,511$; $p\leq 0,05$; $\eta^2=0,056$).

Die Pretestergebnisse zum in Abbildung 125 dargestellten Konstrukt *Bedeutung Sprache* berücksichtigend, wurde in der Längsschnittbetrachtung dieser Variable für die Lernertypen im Posttest ein höchst signifikanter Unterschied ($F(2,214)=8,587$; $p=0,000$, $\eta^2=0,074$) und im Follow-up-Test ein signifikanter Unterschied ($F(2,214)=8,587$; $p=0,029$, $\eta^2=0,032$) verzeichnet.

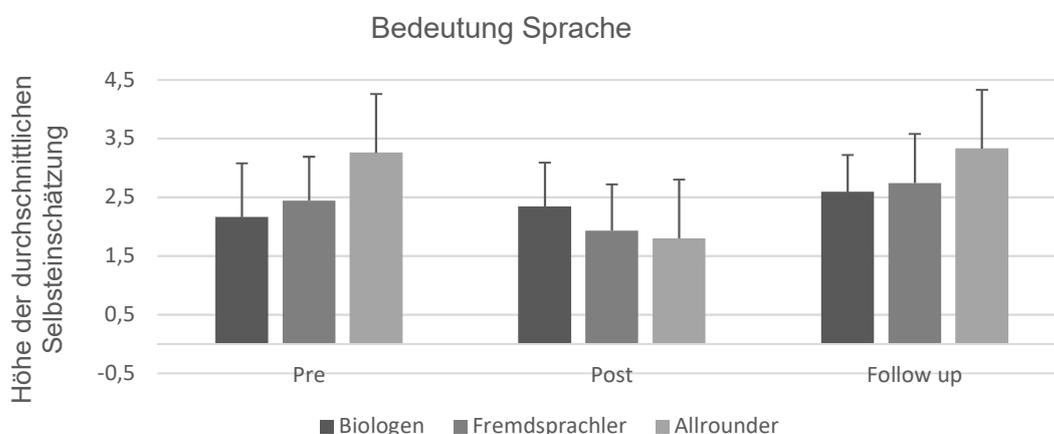


Abbildung 125: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte bezüglich der Bedeutung Sprache (Skalenmaximum=4)

Angeschlossene *t*-Tests mit abhängiger Stichprobe belegten beim Cluster der Biologen für das Konstrukt *Bedeutung Sprache* kurzfristig einen tendenziellen, nicht signifikanten Unterschied ($t(89)=1,415$; $p=0,161$), langfristig jedoch einen höchst signifikanten Anstieg von großer Effektstärke ($t(89)=4,091$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,213$). Für das Cluster der Fremdsprachler wurde kurzfristig ein signifikanter Abfall ermittelt ($t(21)=2,282$ $p\leq 0,05$; $\eta^2=0,199$), der zum Posttest mit einem höchst signifikanten Anstieg verbunden war ($t(21)=3,592$; $p\leq 0,01$; $\eta^2=0,381$). Ein Vergleich zwischen Pre- und Follow-up-Test wies keinen signifikanten Unterschied aus ($t(21)=1,495$; $p\leq 0,150$). Für das Cluster der Allrounder wurde ebenfalls vom Pre- zum Posttest ein höchst signifikanter Abfall ($t(105)=15,851$ $p\leq 0,0501$; $\eta^2=0,703$) und vom Post- zum Follow-up-Test ein höchst signifikanter Anstieg ($t(105)=15,852$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,703$) gemessen. Im Vergleich vom Pre- zum Follow-up-Test wurde ein tendenzieller, jedoch nicht signifikanter Anstieg beobachtet ($t(105)=0,940$; $p=0,350$).

Zusammenfassung der Ergebnisse zu Skala des bilingualen Handelns

1. Treatment- unabhängige Entwicklungen:

- a. Treatment-unabhängig in der Entwicklung sind die Mittelwerte für das Fachinteresse Biologie besonders hoch, was sich durch die Ausrichtung des Lehrarrangements für Biologiekurse erklären lässt.
- b. Demgegenüber sind die Mittelwerte für das Fachinteresse Englisch niedrig und nehmen über den beobachteten Zeitraum kontinuierlich ab.
- c. Für das Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität werden langfristig sehr signifikante Anstiege ermittelt.
- d. Das Druckempfinden Bilingualität bleibt dagegen längsschnittlich betrachtet konstant.
- e. Bezüglich der Einschätzung der Bedeutung von Sprache wird kurzfristig ein höchst signifikanter Abfall und langfristig ein höchst signifikanter Anstieg registriert.

2. Treatment-Vergleiche zum Pretestzeitpunkt:

- a. Dabei führen Treatment-Vergleiche zum Pretestzeitpunkt nicht zur Ermittlung von Pretestunterschieden für die Variablen Fachinteresse Biologie und das Druckempfinden Bilingualität. Jedoch weisen die Teilnehmer der englischen Treatmentgruppe zum Pretest bezüglich des Fachinteresses Englisch, des Fähigkeitsselbstkonzepts Bilingualität und

bezüglich der eingeschätzten Bedeutung der Sprache Englisch sehr bis höchst signifikant höhere Mittelwerte auf.

- b. Längsschnittlich Treatment-unabhängig ist die Entwicklung der untersuchten Parameter. Die Pretestunterschiede einbeziehend, ist deren Ausprägung entsprechend unabhängig von der eingesetzten Arbeitssprache.
3. Clusterbezogene Unterschiede:
- a. Clusterbezogen ergeben sich schon vor Laborbesuch im Vergleich der Lernertypen höchst signifikante Unterschiede für die untersuchten Dimensionen.
 - b. Die längsschnittlichen Entwicklungen sind Cluster-unabhängig für die Variablen Fachinteresse Biologie und Fachinteresse Englisch.
 - c. Identifizierte höchst signifikante Unterschiede bei den Variablen Fähigkeitsselbstkonzept, Druckempfinden und Bedeutung Sprache werden mit *t*-Tests gesondert nach Clustern identifiziert:
 - d. Für das Cluster der Biologen kann kurz- sowie langfristig ein höchst signifikanter Zuwachs bezüglich des Fähigkeitsselbstkonzepts Bilingualität ermittelt werden.
 - e. Auch für die Fremdsprachler können langfristig höchst signifikante Steigerungen des Fähigkeitsselbstkonzepts registriert werden.
 - f. Bezüglich des Druckempfindens Bilingualität wird beim Cluster der Allrounder langfristig ein signifikanter Abfall offenbar.
 - g. Für die Variable Bedeutung Sprache wird für die Biologen ein langfristig höchst signifikanter Anstieg ermittelt.

3.4.2.2 Skala 6 zu den metakognitiven Strategien

Forschungsfrage 11.1: Lassen sich Zusammenhänge der metakognitiven Strategien zum kognitiven Wissenstest bzw. zum fremdsprachlichen Sprachtest bestätigen?

11.2: Welchen Einfluss haben Treatment und Dispositionen auf die Ausprägung und Entwicklung der metakognitiven Strategien?

Metakognitive Strategien global betrachtet

Wie in Tabelle 101 und Abbildung 126 augenscheinlich, wurde für den gesamten Messzeitraum für die Gesamtstichprobe ein relativ konstanter Wert für die metakognitiven Strategien ermittelt. Zum Posttest fiel der Mittelwert leicht ab.

Tabelle 101: Mittelwerte der Skala Metakognitive Strategien (M) zu allen Messzeitpunkten und Standardabweichung (SD) (Gesamtstichprobe)

Testzeitpunkt	M	SD
Pre	2,80	0,60
Post	2,71	0,60
Follow up	2,85	0,56

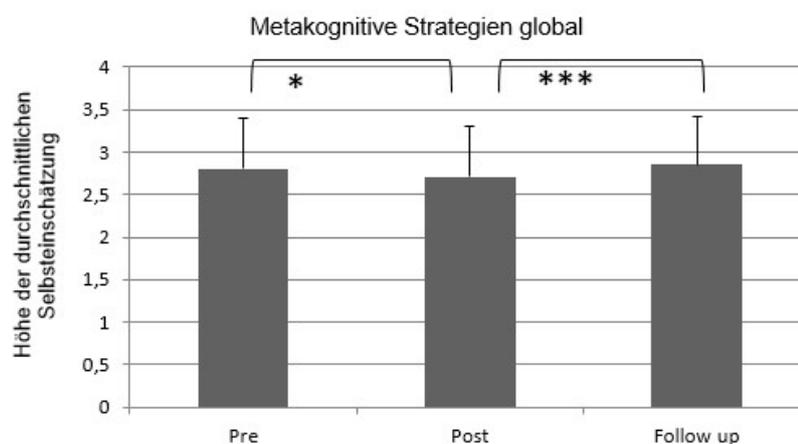


Abbildung 126: Durchschnittlich erzielte Punkte für die metakognitiven Strategien der Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=4; Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet * $p \leq 0,05$, * $p \leq 0,001$)**

Mittels t -Tests für abhängige Stichproben wurden diese Beobachtungen bestätigt: Ein Vergleich zwischen Pre- und Posttest ergab eine signifikante Abnahme von geringer Effektstärke ($t(217)=2,105$; $p \leq 0,05$; $\eta^2=0,019$) und einen höchst signifikanten Anstieg vom Post- zum Follow-up-Test ($t(217)=0,447$; $p \leq 0,001$; $\eta^2=0,051$) sowie nicht signifikante Unterschiede für den gesamten Zeitraum betrachtet ($t(217)=1,3198$; $p=0,188$).

Gleichzeitig konnte festgestellt werden, dass metakognitive Strategien und das Posttestergebnis des Wissenstests höchst signifikant moderat korrelierten ($r(218)=0,221$, $p \leq 0,001$).

Metakognitive Strategien nach Treatments verglichen

Im Pretest wurde mittels t -Tests für unabhängige Stichproben für die metakognitiven Strategien zwischen den Vergleichsgruppen kein signifikanter Unterschied ermittelt ($t(216)=1,532$; $p=0,127$).

Anschließende zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung belegten einen signifikanten Unterschied geringer Effektstärke im Vergleich des Zeitaspektes Pre- und Post und Treatment ($F(2,216) = 4,202$; $p \leq 0,05$; $\eta^2 = 0,012$). Im Vergleich vom Pre- zum Follow-up-Test wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der untersuchten Treatments ermittelt ($F(2,216) = 2,644$; $p = 0,105$).

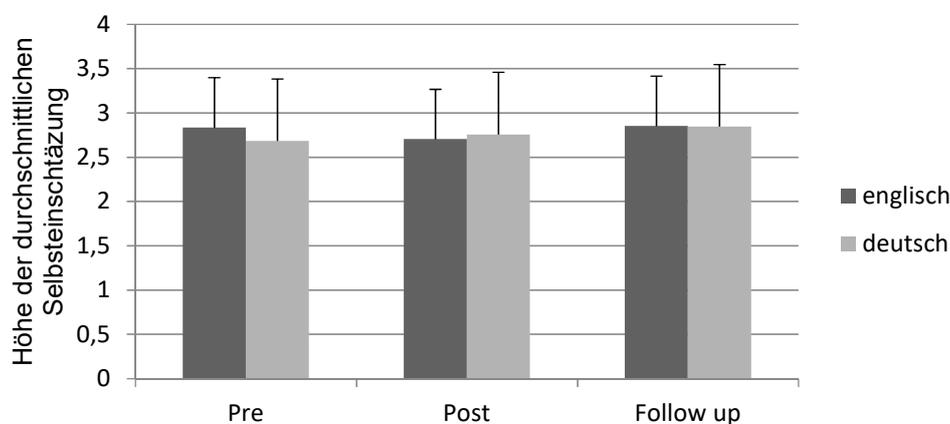


Abbildung 127: Von den beiden Treatments durchschnittlich erreichte Punktzahl bezüglich der metakognitiven Strategien (Skalenmaximum=4)

Bei den gesonderten Betrachtungen der *englischen* Treatmentgruppe wurde für die metakognitiven Strategien ein sehr signifikanter Abfall vom Pre- zum Post-Test berechnet ($t(169)=2,926$; $p \leq 0,01$; $\eta^2 = 0,048$), vom Post- zum Follow-up-Test ein höchst signifikanter Anstieg registriert ($t(169)=3,454$; $p \leq 0,001$; $\eta^2 = 0,065$) und somit langfristig betrachtet kein signifikanter Unterschied belegt ($t(169)=0,415$; $p = 0,679$).

Tabelle 102: Von den beiden Treatments durchschnittlich erreichte Punktzahl bezüglich der Metakognitiven Strategien (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N) (Skalenmaximum=4)

Messzeitpunkt	Treatment	M	SD	N
Pre	englisch	2,83	0,57	170
	deutsch	2,68	0,70	48
Post	englisch	2,70	0,56	170
	deutsch	2,76	0,71	48
Follow up	englisch	2,83	0,57	170
	deutsch	2,68	0,70	48

In der *deutschen* Treatmentgruppe wurde zu allen Messzeitpunkt kein signifikanter Unterschied gemessen. Der augenscheinliche Anstieg zum Posttest erwies sich als nicht signifikant ($t(147)=0,737$; $p=0,465$).

Metakognitive Strategien nach geclusterten Lernertypen verglichen

Hinsichtlich eines in Abbildung 128 dargestellten Clustervergleichs der metakognitiven Strategien wurden im Pretest höchst signifikante Unterschiede unter den Lernertypen ermittelt ($F(2,215)=8,661$; $p=0,000$, $\eta^2= 0,075$, vgl. Tabelle 103). Diese Pretestergebnisse waren in sehr signifikant höheren Mittelwerten der Allrounder gegenüber den Biologen ($p=0,008$) und gegenüber den Fremdsprachlern begründet ($p=0,003$). Allrounder zeigten die höchsten Mittelwerte, gefolgt von Biologen. Fremdsprachler wiesen die niedrigsten Mittelwerte auf.

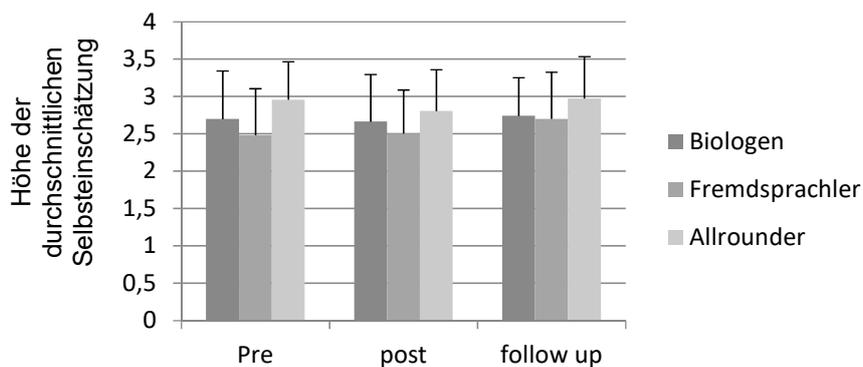


Abbildung 128: Durchschnittlich von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern erreichte Punktzahl zu den metakognitiven Strategien (Skalenmaximum=4)

Wurde der Pretesteffekt einbezogen, ergaben sich für die folgenden Messzeitpunkte (Posttest $F(2,214)=0,174$; $p=0,841$, und Follow-up $F(2,215)=1,150$; $p=0,319$) keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Lernertypen. Tendenzielle blieben die Mittelwerte für die Allrounder und Biologen konstant, während beim Cluster der Fremdsprachler ein nicht signifikanter langfristiger Anstieg des Mittelwerts zu beobachten war ($p=0,115$).

Tabelle 103: Verteilung der durchschnittlich erreichten Punktzahl bei den metakognitiven Strategien (M), die Standardabweichung (SD) sowie die Stichprobengröße (N)

Messzeitpunkt	Treatment	M	SD	N
Pre	Biologen	2,70	0,64	90
	Fremdsprachler	2,48	0,62	22
	Allrounder	2,96	0,51	106
Post	Biologen	2,66	0,63	90
	Fremdsprachler	2,50	0,58	22
	Allrounder	2,80	0,55	106
Follow up	Biologen	2,74	0,51	90
	Fremdsprachler	2,70	0,63	22
	Allrounder	2,97	0,56	106

Zusammenhang zwischen Metakognitiven Strategien und Ergebnisse der kognitiven und fremdsprachlichen Tests

Zwischen den Posttestergebnis im Wissenstest und den metakognitiven Strategien am Posttest wurde ein moderater, höchst signifikanter Zusammenhang offenbar ($r(218)=0,221$, $p\leq 0,001$). Weder zu den anderen Messzeitpunkten noch zum *Cloze* Test konnte ein signifikanter Zusammenhang ermittelt werden.

Zusammenfassend kann bezüglich der metakognitiven Strategien festgestellt werden, dass

1. global betrachtet die Mittelwerte über den gesamten Zeitraum konstant bleiben, jedoch zum Posttest signifikant abfallen.
2. diese Entwicklung auf einen signifikanten Abfall zum Posttest bei der englischen, nicht aber in der deutschen Treatmentgruppe zurückzuführen ist.
3. die Entwicklung unabhängig von der persönlichen Lernerdisposition ist.

3.5 Korrelationen ausgewählter Konstrukte verschiedener Skalen

Forschungsfrage 12: Welcher Zusammenhang besteht innerhalb der biologischen und bilingualen Variablen am Schülerlabortag?

Die längsschnittliche Entwicklung der Variablen wurde in den vorherigen Kapiteln dargelegt. Nachfolgend wird der in Abbildung 129 dargestellte Zusammenhang der Variablen am Labortag beschrieben. Die Beziehung des dispositionalen Fachinteresses Biologie zu den Laborvariablen Authentizität ($r(218)=0,478$, $p\leq 0,001$) und Zusammenarbeit ($r(218)=0,321$, $p\leq 0,001$) war dabei sehr bedeutsam und höchst signifikant. Zur Variable Druck wurde ein negativer Zusammenhang ($r(218)=-0,218$,

$p \leq 0,001$) ermittelt. Ein hohes Fachinteresse ging entsprechend mit einem hohen Mittelwert für die Variablen Authentizität und Zusammenarbeit und einem niedrigen Druckempfinden einher. Auch korrelierten die Laborvariablen Zusammenarbeit und Authentizität moderat und sehr signifikant ($r(218)=0,206$, $p \leq 0,01$). Lernende, die die Wichtigkeit der Zusammenarbeit bei der Laborarbeit hoch einschätzten, strebten auch nach Authentizitätserfahrung im Labor.

Zwischen dem Fachinteresse Biologie und den experimentbezogenen Sachinteresse Durchführung ($r(218)=0,378$, $p \leq 0,001$) und jenem der Auswertung ($r(218)=0,264$, $p \leq 0,001$) bestand ein jeweils bedeutsamer, höchst signifikanter Zusammenhang. Auch bestand ein enger Zusammenhang zwischen dem experimentbezogenen Sachinteresse und den zugehörigen Fähigkeitsselbstkonzepten (Durchführung: $r(218)=0,505$, $p \leq 0,001$, Auswertung: $r(218)=0,222$, $p \leq 0,001$, TSI Auswertung: $r(218)=0,374$, $p \leq 0,001$).

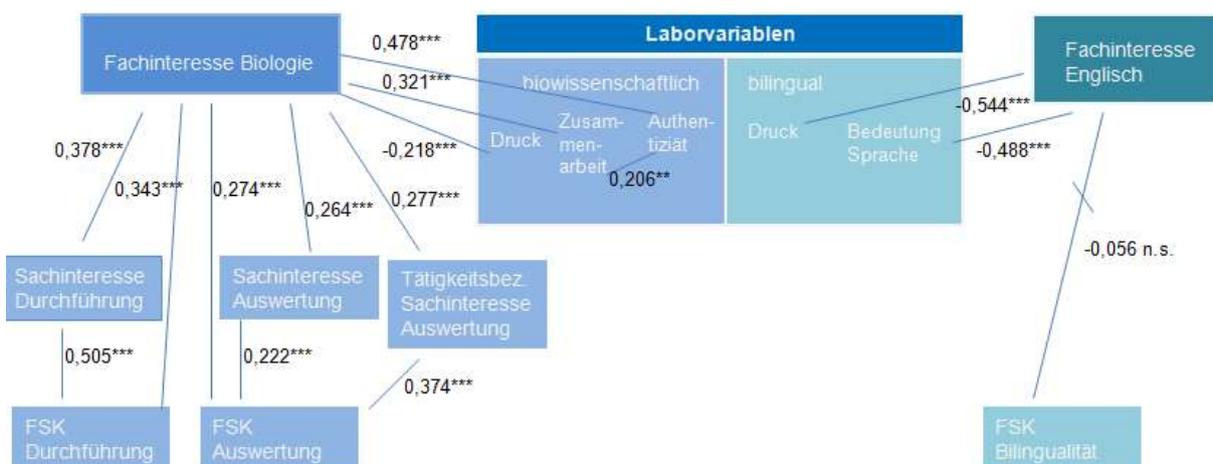


Abbildung 129: Darstellung der Korrelationen (Pearson-Korrelation) zwischen Variablen biologischer und bilingual-fremdsprachlicher Ausrichtung. Höchst signifikante Korrelationen sind mit * , sehr signifikante mit ** , nicht signifikante als n.s. gekennzeichnet.**

Interessanterweise korrelierten die bilingualen Laborvariablen negativ sehr bedeutsam bis bedeutsam und höchst signifikant mit dem Fachinteresse (FI Englisch/ Druck: $r(218)=-0,544$, $p \leq 0,001$, Fachinteresse Englisch/ Bedeutung Sprache $r(218)=-0,488$, $p \leq 0,001$). Lernende mit einem hohen Fachinteresse spürten folglich einen geringen Druck Bilingualität. Sie schätzten außerdem die Bedeutung der Fremdsprache in der naturwissenschaftlichen Forschung eher niedrig ein. Weiterhin bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Fachinteresse Englisch und dem Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität ($r(218)=0,056$, $p=0,414$). Ebenfalls bestand interessanterweise ein enger Zusammenhang zwischen dem Fachinteresse Biologie

und dem Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität ($r(218)=0,355$, $p\leq 0,001$), der in Abbildung 129 der Übersichtlichkeit nicht eingetragen wurde. Auch schätzten Lernende mit hohem Fachinteresse Biologie die Bedeutung der Fremdsprache in der Forschung sehr signifikant hoch ein ($r(218)=0,212$, $p\leq 0,01$, nicht in Abbildung 129 dargestellt).

3.6 Ergebnisse der Nebenstudien

Forschungsfrage 13: Wird die fachsprachliche Kommunikation intensiviert? (Nebenstudien)

13.1: Bewirkt ein eintägiger bilingual-englisch durchgeführter Schülerlabortag eine Erhöhung des sachfachlichen Wissens, die qualitativ in Form der erstellten Concept Maps beobachtet wird?

13.2: In welcher Art und Weise wird in den dazugehörigen mündlich geäußerten Aushandlungsgesprächen diskutiert? Welche Veränderungen ergeben sich im Vergleich vom Pre- zum Posttest?

13.3: Lassen sich in den Aushandlungsgesprächen und der Abschlusspräsentation in englischer Sprache Diskursfunktionen und andere sprachliche Merkmale nachweisen?

13.4: Welchen Einfluss hat ein bilingual-englisch durchgeführter Labortag auf die sachfachliche Kommunikation in deutscher Sprache?

3.6.1 Nebenstudie I (Odenthal 2015)

Wie bereits in Kapitel 2.3.2 erläutert, hatte Odenthals Studie (2015) die Untersuchung sachfachlichen Lernens in englischer Sprache anhand von schriftlich fixierten *Concept Maps* und zugehörigen mündlich geäußerten Konsensaushandlungen zum Gegenstand.

Ergebnisse der Auswertung der *Concept Maps*

In dieser Studie werden die Ergebnisse zu den vier in Tabelle 104 und Abbildung 130 dargestellten Gütekriterien zusammengefasst. Ausdifferenziert ist der Umfang zudem hinsichtlich der vier Experimentalbestandteile (V1 bis V4) dargestellt. Grundlage für die Berechnungen sind Daten, die in der Nebenstudie von Odenthal (2015) erhoben und einer Neuberechnung unterzogen wurden. Zusätzlich wurden die Knotengrade separat für die einzelnen Versuche ausgewiesen, um mögliche Unterschiede zu identifizieren.

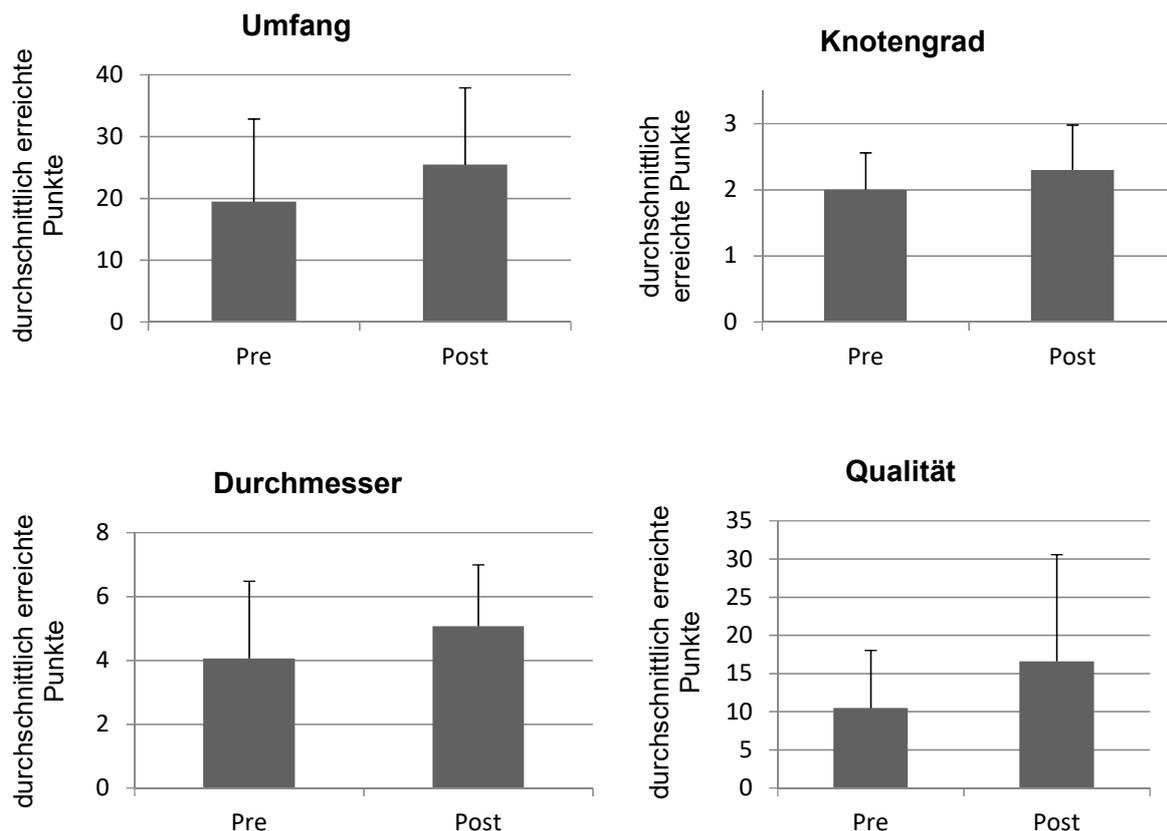


Abbildung 130: Durchschnittlich bezüglich der Parameter Umfang, Knotengrad, Durchmesser und Qualität erzielte Punkte in der Teilstichprobe von 50 Lernenden in 18 Arbeitsgruppen

Es werden hier zum einen Signifikanzen der Gesamtgruppe als auch Signifikanzen im Vergleich der Lernenden mit und ohne bilinguale Vorerfahrungen dargestellt.

Tabelle 104: Durchschnittlich erreichte Punktzahl (M) in den Kenngrößen *Concept Map* im Pre- und Posttest und Standardabweichung (SD) bei einer Stichprobengröße von 50 Lernenden in N= 18 Arbeitsgruppen)

Testzeitpunkt	Variable	M	SD
Pre	Umfang	19,44	13,40
	Knotengrad	2,00	0,56
	Durchmesser	4,06	2,42
	Qualität	10,47	7,56
Post	Umfang	25,44	12,44
	Knotengrad	2,30	0,68
	Durchmesser	5,07	1,92
	Qualität	16,59	13,98

Für die Gesamtgruppe wurde mittels *t*-Tests für verbundene Stichproben im Vergleich vom Pre- zum Posttest für den Umfang ein höchst signifikanter Zuwachs ermittelt ($t(17)=7,823$; $p \leq 0,001$; $\eta^2=0,783$). Gleiches galt für den Knotengrad ($t(17)=4,652$ $p \leq 0,001$; $\eta^2=0,546$). Für den Durchmesser wurde ein sehr signifikanter Zuwachs

verzeichnet ($t(17)=4,652$; $p\leq 0,001$; $\eta^2=0,546$), während bezüglich der Qualität ein signifikanter Zuwachs errechnet wurde ($t(17)=4,600$; $p\leq 0,05$; $\eta^2=0,252$). Dieses bedeutet, dass die SuS nach einem bilingualen Schülerlabortag Fachbegriffe höchst signifikant vernetzter (Umfang) und umfänglicher (Knotengrad) benutzten. Sehr signifikant besser vermochten sie Zusammenhänge zwischen Konzeptkategorien herzustellen. Auch war die Qualität ihrer *Concept Maps* nach Laborbesuch signifikant besser.

Nachfolgend wurden im Subgruppenvergleich Lernende mit und ohne bilingualen Vorerfahrungen (Tabelle 105) mittels t -Tests mit unabhängiger Stichprobe verglichen.

Tabelle 105: Von Lernenden mit und ohne bilinguale Vorerfahrung durchschnittliche erzielte Punkte (M) bei den Kenngrößen zum Pre- und Posttest, Standardabweichung (SD) (Anzahl der Arbeitsgruppen N=18 und insgesamt 50 Lernenden)

Testzeitpunkt	Parameter	Bilinguale Vorerfahrung	M	SD	N
Pre	Umfang	ja	26,13	13,72	8
		nein	14,10	11,01	10
	Knotengrad	ja	2,47	0,92	8
		nein	1,81	0,24	10
	Durchmesser	ja	5,48	2,16	8
		nein	3,23	2,28	10
	Qualität	ja	12,5	7,97	8
		nein	9,30	7,02	10
Post	Umfang	ja	31,63	12,74	8
		nein	20,50	10,26	10
	Knotengrad	ja	2,89	1,18	8
		nein	2,07	0,17	10
	Durchmesser	ja	6,27	2,41	8
		nein	4,41	1,11	10
	Qualität	ja	27,13	23,13	8
		nein	12,75	7,11	10

Ein Vergleich der Gruppen zum Pretestzeitpunkt in Abbildung 131 und Abbildung 132 dargestellt, ergab keine signifikanten Unterschiede für den Parameter Umfang ($F(1,16) = 4,372$; $p=0,055$) beziehungsweise für die Qualität ($F(1,16) = 0,820$; $p=0,379$). Demgegenüber wurden für die Parameter Knotengrad ($F(1,16) = 4,719$; $p \leq 0,05$; $\omega^2=0,556$) und Durchmesser ($F(1,16) = 4,553$; $p \leq 0,05$; $\omega^2=0,537$) je signifikante Unterschiede mit jeweils höheren Werten für die Lernenden mit bilingualer Vorerfahrung errechnet.

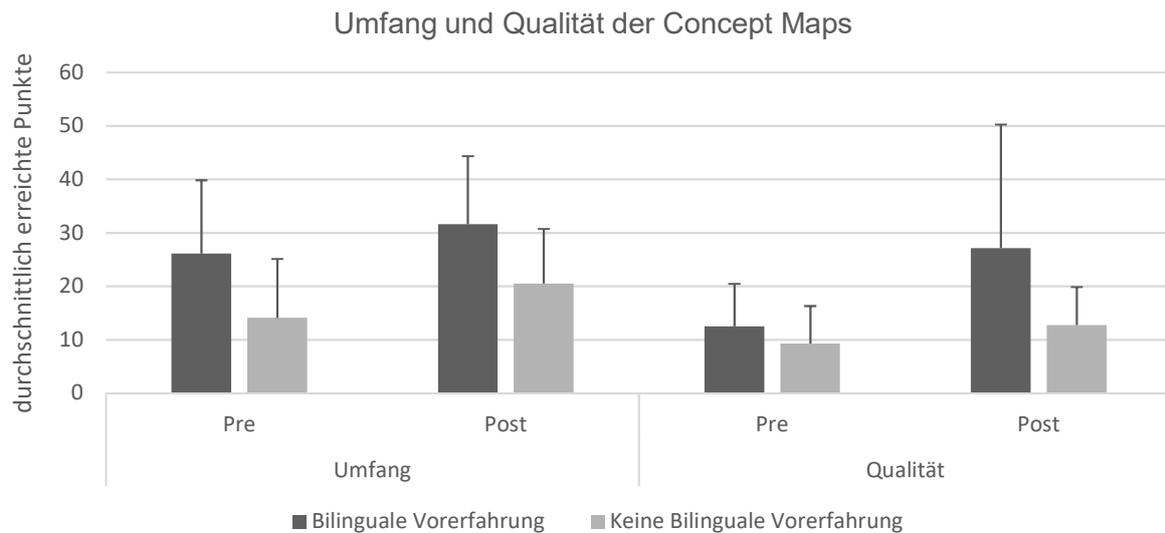


Abbildung 131: Von Lernenden mit und ohne bilinguale Vorerfahrung durchschnittlich erreichte Punktzahl bezüglich des Umfangs und der Qualität (N= 50 SuS in 18 Arbeitsgruppen)

Diese Pretestunterschied einbeziehend wurden für keinen der Parameter signifikante Unterschiede bezüglich des Aspekts Zeit und der Gruppen ermittelt (Umfang $F(1,16) = 0,327$; $p=0,576$, Knotengrad $F(1,16) = 0,163$; $p=0,692$, Durchmesser $F(1,16) = 0,567$; $p=0,463$, Qualität $F(1,16) = 0,008$; $p=0,102$).

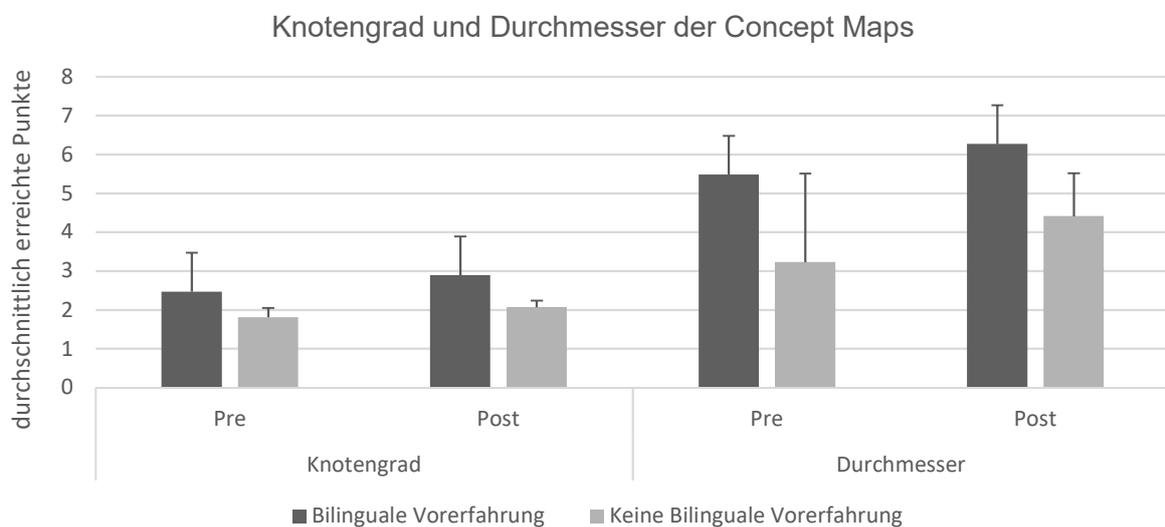


Abbildung 132. Von Lernenden mit und ohne bilinguale Vorerfahrung durchschnittlich erreichte Punktzahl bezüglich des Knotengrades und des Durchmessers (N= 50 SuS in 18 Arbeitsgruppen)

Lernende entwickelten unabhängig von bilingualem Vorerfahrung nach einem Labortag gleichzeitig umfangreichere und qualitativ bessere *Concept Maps*.

Ergebnisse Konsensusaushandlung - Auswertung der Audiodateien

Odenthal (2015) stellte heraus, dass die von ihr untersuchten, als Audiodateien aufgezeichneten Gespräche zu den Pre- und Post-Maps in der Mehrzahl das Nennen der eingesetzten Begriffe umfassten. Lediglich eine Arbeitsgruppe vollzog den Prozess der kooperativen Wissensaushandlung und zeigte Konversationsfunktionen, wie Fragen, Statements, Vorschläge und Zustimmung.

Exemplarisch werden hier die Ergebnisse zur Auswertung der Tonaufnahmen dieser Post-Maps dargestellt. Alle Teilnehmenden waren gleich stark an Konversation beteiligt und benutzten die verschiedenen Konversationsfunktionen ähnlich häufig. Das Dialogmuster „Zustimmung – Vorschlag – Statement“ wurde beobachtet. Aussagen zur strukturellen Gestaltung wurden vorgenommen. Eine der Teilnehmenden erschien bemüht, die Strukturierung des Gesprächs entlang der Teilnetze vorzunehmen. Eine andere Person gab richtungsweisende Statements. Insgesamt wurde die Atmosphäre als positiv eingeschätzt. Folge dieser positiven Atmosphäre war es, dass indirekt gestellte Fragen beantwortet wurden und sich nicht übereinander lustig gemacht wurde. Allerdings wurden einige inkorrekte Äußerungen nicht aufgedeckt. Die Teilnehmenden erkannten jedoch für sich Lücken im Konzeptverständnis, beispielsweise die unangemessene Verwendung von Fachbegriffen (vgl. Odenthal 2015).

3.6.2 Ergebnisse Studie II (Heidemann 2015)

Nachfolgend werden zentrale Ergebnisse aus der Studie von Heidemann (2015) dargestellt und exemplarisch anhand zusammengestellter Daten aus zwei englischen Schülerlabortagen der Hauptstudie erläutert.

Wie in Tabelle 106/Tabelle 107 ersichtlich, wurde für die in Heidemanns Studie (2015) auf Diskursfunktionen untersuchten Aushandlungsgespräche und Abschlusspräsentationen ein insgesamt geringer Einsatz von Markern ermittelt. Allerdings ermittelte Heidemann (2015) im Vergleich der Pre- und Post-Aufnahmen einen Anstieg des Marker-Einsatzes (Tabelle 108). Darüber hinaus wurde in den Abschlussgesprächen insgesamt ein umfänglicherer Gebrauch an Markern verzeichnet. Das Auffinden von Markern, so Heidemann (2015), gestaltete sich insgesamt schwierig. Recht gehäuft kam es zum Einsatz gleichartiger Marker. Auch wurde die häufige Benutzung vereinfachter grammatischer Strukturen beobachtet.

Anhand von Tabelle 106 und Tabelle 107 wird deutlich, welche Marker für die Diskursfunktionen *explain* bzw. *hypothesize* von Lernenden benutzt wurden.

Tabelle 106: Verwendete Marker zur Diskursfunktion *explain* und ihre absolute Häufigkeit (Heidemann 2015). Die in den letzten zwei Spalten aufgeführten Marker wurden je zwei- bzw. einmal registriert

Marker	<i>because</i>	<i>so</i>	<i>when</i>	<i>if</i>	<i>And then</i>	<i>That's why; results in</i>	<i>Caused by, the (more) ... the (faster), by, through, due to, in order to</i>
Häufigkeit	20	10	7	5	3	2	1

Tabelle 107: Verwendete Diskursmarker zur Diskursfunktion *hypothesize* und ihre absolute Häufigkeit (Heidemann 2015). Die in den letzten Spalten aufgeführten Marker wurden je zwei- bzw. einmal registriert

Marker	<i>think</i>	<i>maybe</i>	<i>suppose, if</i>	<i>assume, Our thesis was</i>
Häufigkeit	9	4	2	1

Heidemann (2015) stellte fest, dass die Schülerinnen und Schülern in ihren Auswertungsgesprächen und Abschlusspräsentationen insgesamt ausschließlich die englische Sprache verwendeten. Ein *Code-Switching* wurde in den Tonaufnahmen nicht beobachtet, es kam allenfalls bei der Erfragung von Vokabular vor. Die deutsche Sprache wurde dann genutzt, wenn ausdrücklich durch die Betreuenden darauf hingewiesen wurde.

Bezüglich der Benutzung der Diskursfunktion *explain* stellte Heidemann (2015) fest, dass meist ohne entsprechende Marker formuliert wurde. Es wurden häufig vereinfachte grammatische Strukturen benutzt, die durch eine Aneinanderreihung von Fakten und Argumenten durch die Konjunktion *and* oder über die Verknüpfung kurzer Sätze durch *and* verwirklicht wurden. Der am häufigsten genutzte Marker war *because* (vgl. Tabelle 106).

Zur Diskursfunktion *hypothesize* kamen die erwartete *If*-Konstruktion nicht zum Einsatz. Wie in Tabelle 106 und Tabelle 107 deutlich wird, wurden zur Äußerung der Vermutung oder zur Formulierung von Hypothesen die Marker *I think* und *maybe* am häufigsten benutzt. Im Zusammenhang mit der Untersuchung der Diskursfunktion *define* wurde die Identifizierung insgesamt als schwierig eingeschätzt. Oft wurden die übergeordneten Begriffe nicht genannt.

Nachfolgend werden die Ergebnisse zweier bilingualer Schülerlabortage aus der Hauptstudie dargestellt. Die Werte entstammen den Aufzeichnungen von Heidemann (2015) und basieren auf den Pre- und Posttest von je drei Arbeitsgruppen sowie den Daten zur Abschlusspräsentation von zwei Arbeitsgruppen (vgl. Tabelle 108).

Tabelle 108: Durchschnittlich benutzte Diskursmarker (M) für N=2 bzw. N=3 betrachtete Arbeitsgruppen an zwei englischen Schülerlabortagen (verändert nach Heidemann 2015)

Messzeitpunkt	Marker	M	N
Pre	<i>define</i>	3,00	3
	<i>explain</i>	2,70	3
Post	<i>define</i>	3,30	3
	<i>hypothesize</i>	3,00	3
	<i>explain</i>	3,00	2
Abschluss- präsentation	<i>define</i>	3,00	2
	<i>hypothesize</i>	6,00	2
	<i>explain</i>	12,00	2

Ein Vergleich der Aushandlungsgespräche vom Pre- zum Posttest offenbarte einen ungefähr gleichwertigen Gebrauch von Markern für die untersuchten Diskursfunktionen. Zum Posttest wurden auch Marker für die Diskursfunktion *hypothesize* aufgefunden. Wie in Tabelle 108 ersichtlich, wurden in den Abschlusspräsentationen insgesamt mehr Diskursmarker registriert. Am deutlichsten wurde dies für den Diskursmarker *explain*.

3.6.3 Ergebnisse Studie III (Thum 2015)

Im Mittelpunkt der Studie von Thum (2015) stand die Analyse des sachfachlichen Lernens in deutscher Sprache in den Aushandlungsgesprächen in englischsprachig durchgeführten Laborkursen. Die Analyse der Tonaufnahmen zu den Pre- und Post-Maps ergab, dass die Besprechung der *Concept Map*-Komponenten kooperativ untereinander aufgeteilt wird.

Wie an Tabelle 109 sichtbar, fasste Thum (2015) wesentliche Merkmale der fachlichen Aushandlungsgespräche zusammen und stellte heraus, dass das Gespräch zur Pre-Map ein hohes Maß an benutzten Fachbegriffen offenbarte. Von 23 vorgegebenen wurden 20 richtig benutzt. Weitere 17 von 22 möglichen Begriffen wurden richtig eingeführt. Allerdings verknüpften zwei von vier Lernenden im Gespräch nicht Theorie und Praxis (vgl. Tabelle 109). Demgegenüber war im Gespräch zur Post-Map der Redeanteil aller Lernenden erhöht. Weiterhin war ein verstärkter Gebrauch der Fachbegriffe sowie ein aktiver Gebrauch weiterer Fachbegriffe kennzeichnend für das

zweite Gespräch (vgl. Tabelle 109). Vor allem kam es zu einer ausgeprägten Verknüpfung von Theorie und Praxis und zu einer stärkeren Vernetzung. Allgemein herausgestellt wurde der häufige Gebrauch von „und“ als Konnektor (vgl. Thum 2015).

Tabelle 109: Ergebnisse der Analyse der mündlichen Beiträge einer Arbeitsgruppe im Pre- und Post-Design (N=4)

Kriterien	Pre-Map	Post-Map
Dauer (min ´ sec)	<ul style="list-style-type: none"> • 6´21 	<ul style="list-style-type: none"> • 9´14
Partizipation der TN	<ul style="list-style-type: none"> • Alle sprechen • unterschiedlicher Dauer • ca. 1 min bis zu 2´38 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle SuS erhöhen ihren Redeanteil
Verknüpfung von Theorie und Praxis	<ul style="list-style-type: none"> • 50% der Schüleräußerungen sind ohne Bezug zwischen Theorie und Praxis • die Versuche unerwähnt 	<ul style="list-style-type: none"> • Ein übergeordnetes Konzept wird v.a. in der Verknüpfung der Experimente mit der Theorie angesehen
Fachbegriffe	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Reihe von weiterführenden Fachbegriffen werden genutzt 	<ul style="list-style-type: none"> • Weiteres Fachvokabular wird benutzt
Verknüpfungs-intensität	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenhänge zu einem Fakt werden häufiger hergestellt als Verknüpfungen zu zwei Fakten 	<ul style="list-style-type: none"> • SuS können deutlich mehr Verknüpfungen zwischen Theorie und Praxis herstellen
Objektivierte Darstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Bemühen um eine objektive Aussageebene ist gegeben 	<ul style="list-style-type: none"> •
Form der Darstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesen der CM 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlesen der CM
Soziale Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> • Gegenseitig Helfend – bei Schwierigkeiten

Des Weiteren stellte Thum (2015) ein Kategoriensystem zusammen, das in Tabelle 110 dargestellt ist. Sie ermittelte eine relative Häufigkeit bezogen auf die untersuchten Kategorien und stellte für diese Arbeitsgruppe fest, dass ihre Gespräche bereits zum Pretest in sechs von vierzehn Kategorien hohe Ausprägungen zeigten (vgl. Tabelle 110). Hervorgehoben wurde die gute Integration von Theorie, sowie der korrekte Gebrauch auch von im Skript nicht besprochenen Fachbegriffen in deutscher Sprache (Aspekt 1). Weiterhin wurde die gut ausgeprägte akademische Fachkonversation (Aspekte 6, 7) sowie das gut ausgebildete Denken in Zusammenhängen (Aspekte 8, 9) hervorgehoben (vgl. Thum 2015).

Tabelle 110: Vergleich der Verhandlungsgespräche zu den Pre- und Post-Maps (Auswertungsbogen und Ergebnisse) (N= 1 Arbeitsgruppe, Häufigkeiten relativ: 0= gar nicht, 1= selten/ kaum, 2= mittel, 3= häufig)

	Kriterien	Pre	Post
1	Integration Theorie aus dem Skript in die Ausführungen	3	3
2	Integration von Theorie und Praxis	2	3
3	Angemessenes Nutzen bereit gestellten Fachvokabulars	2	3
4	Korrekte Verwendung weiterer nicht vorgegebener Fachbegriffe	3	3
5	Nutzen komplexer syntaktischer Strukturen anstatt von Redundanzen	1	2
6	Vermeiden von BICS (alltagsbezogenes Sprechen)	3	3
7	Bemühung um kognitive - akademische Sprechweise	3	3
8	Kommunikation der Erkenntnisgänge (Unterschied zwischen Prä- und Post erkennbar)	3	3
9	Erstellen eines Zusammenhangs zu einem Fakt	3	3
10	Erstellen zweier Zusammenhänge zu einem Fakt	2	2
11	Erstellen eines Zusammenhangs zu zwei Fakten	2	2
12	Erstellen zweier Zusammenhänge zu zwei Fakten	1	1
13	Erkennen und Kommunizieren ein übergeordnetes Konzept	1	2
14	Treffen verallgemeinern Aussagen auf objektiver Ebene & Vermeiden subjektive Einstellungen	2	1

Auch wurde im Pre-Posttest-Vergleich deutlich, dass die Lernenden mehr Fachvokabular in ihre Aushandlungsgespräche (Aspekt 3) integrierten sowie die praktischen Erfahrungen aus der Experimentalphase stärker mit der Theorie verknüpften (Aspekt 2).

Zusammenfassung der Ergebnisse der Nebenstudien

Die Ergebnisse der Nebenstudien können folgendermaßen zusammengefasst werden.

1. Hinsichtlich der *Concept Maps* kann ein signifikanter bis höchst signifikanter qualitativer wie quantitativer Wissenszuwachs im Pre- Post-Vergleich ermittelt werden.
2. Unabhängig von der bilingualen Vorerfahrung wird dieser Effekt bei allen Lernenden gemessen.
3. In den Aushandlungsgesprächen wird nur vereinzelt eine wirkliche Konsensausaushandlung vorgenommen.
4. In den Aushandlungsgesprächen wird in englischer Sprache nur ein geringer Einsatz von Diskursmarkern zu den Diskursfunktionen *define*, *explain*, *hypothesize* registriert. Gleichzeitig wird eine Steigerung zum Posttest beobachtet. Auch wird in den Abschlusspräsentationen ein vermehrter Gebrauch von Diskursfunktionen ermittelt.
5. Die auf eine Arbeitsgruppe fußenden Ergebnisse in deutscher Sprache lassen ein hohes Maß an sachfachlich fundierter Diskussion erkennen, die im Zuge des Labortages gesteigert wird.

3.7 Lehrkräftebefragung

Forschungsfrage 14 (Lehrkräftebefragung): 14.1: Welchen Grund für die Teilnahme am Schülerlabortag führen die Lehrpersonen an?

14.2: Wie ist der Schülerlabortag „The Brain – A Living Network“ in den Unterricht eingebettet?

Für die abschließende Evaluation des Schülerlabortages waren die Einschätzungen der die Lerngruppen begleitenden Lehrpersonen von Bedeutung. So sollte die Motivation der Laborwahl und die schulische Einbettung des Labortages und zur eingeschätzten Interesse der Lernenden bezüglich der am Schülerlabortag erprobten Experimente ermittelt werden.

Die von den Lehrkräften benannten Gründe für die Wahl des Schülerlabortages wurden, wie in Tabelle 111 zusammengefasst, kategorisiert. Demnach war für die überwiegende Mehrheit der Lehrkräfte von hervorragender Bedeutung, dass ihre Schülerinnen und Schüler Experimentalerfahrung zum Thema Neurobiologie

erlangten. Auch war für Lehrkräfte von Bedeutung, dass Lernende an einem (ganztägigen) Schülerlabortag teilnahmen. Nur einmalig wurde explizit die Wahl eines bilingualen Lehr-Lernarrangement angegeben.

Tabelle 111: Genannte Gründe für die Teilnahme am Schülerlabortag (Mehrfachnennung möglich)

Gründe für die Wahl des Schülerlabortages	Häufigkeit der Nennung
Teilnahme an einem Schülerlabortag an sich	4
Experimentieren zur Thematik Neurobiologie	14
Interesse der Schülerinnen und Schüler	1
Universitäre Veranstaltung	2
Verknüpfung von Theorie und Praxis	2
Bilinguales Angebot	1

Die von den Lehrkräften vermutete Bedeutung der am Schülerlabortag durchgeführten Experimente ist in Tabelle 112 dargestellt. Der Präparation des Schweinehirns wurde mit Abstand die größte Bedeutung beigemessen, den weiteren Experimenten eine ungefähr gleichwertige, sehr viel geringere Bedeutung.

Tabelle 112: Lehrkräfte-Einschätzung zur Wichtigkeit der Versuche des Schülerlabortages

Wichtigkeit des Versuches für SuS	Häufigkeit
Mikroskopieren von Pyramidenzellen (V4)	3
Sezieren des Gehirns (V3)	10
Durchführen eines EEG (V2)	3
Cup stacking (V1)	2
Alle Versuche	1

Wie in Tabelle 112 und Tabelle 113 ersichtlich, wurde erhoben, wie der Schülerlaborbesuch in den Unterricht eingebettet war. Dabei lag dieser für 40 % der Lerngruppen mittig, für 27% am Ende der Unterrichtsreihe. Dieser Eindruck wird auch durch die Aussage zur Klausur Neurobiologie gestützt. Für 53% der Laborkurs lag diese nach Schülerlaborbesuch.

Tabelle 113: Positionierung des Schülerlaborbesuches im Thema Neurobiologie

Laborbesuch	Anzahl der Nennungen
Am Anfang der Reihe	3
In der Mitte	6
Am Ende	4
Vorher	1
Losgelöst davon	1

Tabelle 114: Lage der Klausur zum Thema Neurobiologie

Klausur zum Thema	Anzahl der Nennungen
Nach Schülerlaborbesuch	8
Vor Schülerlaborbesuch	7

Zusammenfassung zentraler Ergebnisse der Lehrkräfte-Befragung

1. Das Experimentieren zur Neurobiologie wird als häufigster Beweggrund des Schülerlaborbesuches genannt.
2. Von den vier Experimenten wird die Präparation des Schweinehirns als die für die Lernenden bedeutsamste Experimentkomponente angeführt.
3. Hinsichtlich der Einbettung des Schülerlabortages wird ungefähr hälftig ein mittlere bzw. Endposition angegeben, die mit der Angabe einer nachfolgenden Klausur in ungefähr 50% der Kurse für diese Stichprobe korrespondiert.

4 DISKUSSION

Im Zentrum der vorliegenden Studie stand die Untersuchung des sachfachlichen, sachmethodischen sowie fremdsprachlichen Kompetenzgewinns anhand eines bilingual-englisch durchgeführten experimentellen Lehr-Lernarrangements. In diesem Zusammenhang wurde neben der kognitiven Wirksamkeit auch die affektive Wirksamkeit im quasiexperimentellen Pre-Post-Follow-up-Design beforscht. In diesem Kapitel wird die Diskussion der methodischen Realisierung der Evaluierung dargestellt, bevor, geleitet durch die Forschungsfragen, die Ergebnisse dieser Studie diskutiert werden.

4.1 Methodendiskussion

In der Methodendiskussion wird zunächst die Qualität der eingesetzten Messinstrumente, die der Umsetzung der Forschungsfragestellungen dienen sowie die Entwicklung eines geeigneten Studiendesigns erörtert.

4.1.1 Qualität der Messinstrumente

Um die in Kapitel 1.3 formulierten Forschungsfragen zu beantworten, wurden geeignete kognitive und affektive Messinstrumente eingesetzt und dabei zum Teil auf bewährte Items oder Skalen zurückgegriffen sowie andere Theorie-geleitet entwickelt. Die Testgüte der eingesetzten kognitiven Tests und affektiven Skalen wird diskutiert. So wurden zur Erzielung einer einheitlichen Stichprobe, wie in Kapitel 2.5.1 beschrieben, für die Items des Wissenstests, des affektiven Fragebogens und des *Cloze* Tests die Fehlwerte mittels EM-Algorithmus ersetzt. Anschließend wurde für alle in dieser Studie eingesetzten kognitiven und affektiven Variablen (vgl. Kap.2.3) die Reliabilität überprüft und eine Reliabilitätsoptimierung (Beller 2016) vorgenommen. Auch wurde für den Wissenstest und den *Cloze* Test die Testgüte optimiert, indem der Schwierigkeitsindex berechnet und mittels berechneter Trennschärfekoeffizienten zu leichte und zu schwere Items eliminiert wurden, um mit den Tests die kognitive Leistungsfähigkeit der Lernenden abzubilden. Für den Wissenstest wurde schließlich eine zufriedenstellende Reliabilität von Cronbachs $\alpha = 0,656$ und für den *Cloze* Test eine gute Reliabilität von Cronbachs $\alpha = 0,848$ erzielt. Gleichzeitig wurde die Validität der beiden Tests durch Korrelation (Kendall Tau) zum Außenkriterium Schulnote Biologie im Fall des Wissenstests (Post: $r(218) = -0,179$, $p \leq 0,001$) bzw. zur Englischnote im Fall des *Cloze* Tests (Pre: $r(218) = -0,666$, $p \leq 0,01$, Post: $r(218) = -0,142$,

$p \leq 0,01$) deutlich bis moderat belegt. Der in dieser Studie eingesetzte Wissenstest wurde, wie in vergleichbaren Studien (Damerau 2012; Rodenhauser 2016) realisiert, als Multiple-Choice-Test mit geschlossenen Items eingesetzt und repräsentierte nach Anwendung des Schwierigkeitsindexes die verschiedenen Teilbereiche immer noch gut (vgl. Kapitel 2.3.1.2).

In der Literatur wird häufig die Validität von C-Test diskutiert (z.B. Grotjahn 2002). Zur Erhebung der Sprachkompetenz in englischer Sprache kam ein *Cloze* Test, für den als C-Tests ein bedeutsamer Zusammenhang zu anderen sprachbezogenen Teilfertigkeiten, beispielsweise zum Leseverstehen, belegt ist (Arras et al. 2002). Die ebenfalls in groß angelegten Studien (z.B. DESI-Konsortium 2008) verwendeten Verfahren der Textrekonstruktion sind in der Spracherwerbsforschung und zur Messung sprachlicher Kompetenzen etabliert. Wie bereits in Kapitel 2.3.1.2 geschildert, wird durch den ersten Wortteil eine Lösung vorgegeben. Die unterschiedlich anspruchsvollen, gesuchten Worte, von basalen hochfrequenten bis zu selteneren grammatischen und lexikalischen Phänomen, wurden von den Lernenden mittels verschiedener Lese- und Sinnerschließungstechniken identifiziert und der Text rekonstruiert (z.B. DESI-Konsortium 2008). Der Lese- und Verstehensprozess als Form der Informationsverarbeitung umfasste entsprechend neben der Analyse grafischer Formen die Analyse auf Basis semantischen und syntaktischen Wissens (Hermes 2005). Die Lesekompetenz wird als Zusammenwirken von Text- und Leserfaktoren aufgefasst, die durch Vorwissen, Wortschatz, Motivation, Kenntnisse von Textmerkmalen und Lernstrategiewissen beeinflusst wird (z.B. Hermes 2005; Naumann et al. 2010). Dabei wird davon ausgegangen, dass ein fremdsprachlich kompetenterer Lernender mehr Lücken füllen kann (DESI-Konsortium 2008). Der *Cloze* Tests zeichnet sich durch eine Durchführungs- und Auswertungsobjektivität sowie eine Ökonomie der Bearbeitung und Auswertung. Durch die Auswahl eines angemessen schwierigen Texts und der gebildeten Lücken wurden variable Schwierigkeitsgrade erzeugt, die eine grundsätzlich Lösbarkeit vieler Items ermöglichte. Es konnte eine Kriteriumsvalidität aufgrund der Korrelation zwischen erreichter Punktzahl besonders im Pretest und der letzten Englischnote ermittelt werden (Pre $r(218) = -0,666$, $p \leq 0,01$).

Für die in Kapitel 2.5.4 vorgestellten affektiven Konstrukte wurde z.T. auf in anderen Studien entwickelte und erprobte Items zurückgegriffen (z.B. Abendroth-Timmer 2004;

Damerau 2012; DESI-Konsortium 2008; Rodenhauser 2016). Diese wurden wie dort mit fünfstufiger Likert-Skala eingesetzt und können somit als objektiv auswertbar betrachtet werden. Die Reliabilitäten aller hier untersuchten affektiven Dimensionen konnten mit $0,6 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,9$ als gut bis reliabel (Schön 2007; Wilde et al. 2009) angesehen werden. Ausnahme bildeten die auf zwei Items verkürzte Laborvariable Zusammenarbeit ($0,381 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,521$), das tätigkeitsbezogene Sachinteresse Auswertung ($0,414 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,792$) und das Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität ($0,445 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,707$). Für das Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung wurde mit $0,545 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,613$ eine sehr vergleichbare Reliabilität wie bei Damerau (2012) registriert.

Die Ermittlung der Wahrnehmung der Schülerlabortages erfolgte anhand von drei Dimensionen der Skala 1 der Laborvariablen. Das Druckempfinden wurde mittels eines Einzelitems (Wilde et al. 2009), die Authentizität (Damerau 2012, Engeln 2004) und die Zusammenarbeit (Damerau 2012; Engeln 2004; Pawek 2009) mit je zwei Items erhoben und die fünfstufige Likert-Skala beibehalten.

Die Erhebung von experimentbezogenen Teilkompetenzen Durchführung (Skala 2) und Auswertung (Skala 3) basierte zum einen auf dem Modell der Experimentierkompetenz von Schreiber et al. (2009). Wie bereits in Kapitel 2.3.1.3.1 dargelegt, wurden die selbsteingeschätzten Sachinteressen und das Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung (Experimentieren) in Anlehnung an Damerau (2012) eingesetzt. Das Sachinteresse Auswertung, als Einzelitem eingesetzt, wurde vergleichbar anderen Formulierungen von Sachinteressen entwickelt (*Die Auswertung von Versuchen erscheint mir wichtig.*). Die Formulierung der Items zum Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung sowie des tätigkeitsbezogenen Sachinteresses Auswertung (vgl. Kapitel 2.3.1.3.1, Skala 3) erfolgte, neben dem Bezug zum Modell der Experimentierkompetenz von Schreiber et al. (2009) in Anlehnung an die in den Kernlehrplänen geforderten Kompetenzerwartungen zur Kommunikation von Arbeitsergebnissen (MSW NRW 2014) und für ein Item in Anlehnung an Damerau (2012). Die ermittelten Reliabilitäten lagen für das Fähigkeitsselbstkonzept zwischen $0,724 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,778$, für das tätigkeitsbezogene Sachinteresse Auswertung allerdings zwischen $0,414 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,792$. Mittels konfirmatorischer Faktorenanalyse konnte aufgrund der Faktorenladung der Items die Subskalenzugehörigkeit zu den beiden Konstrukten Tätigkeitsbezogenes

Sachinteresse bzw. Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung belegt werden (vgl. Kapitel 2.3.1.3.1).

Das *Flow*-Erleben beim Experimentieren (Skala 4) wurde in dieser Studie nach Reliabilitätsprüfung und Eliminierung eines Items (vgl. Kapitel 2.3.1.3.1) mittels zweier Items von Remy (2000) erhoben, die eine Reliabilität von Cronbachs $\alpha = 0,520$ aufwiesen, was für Skalen mit geringerer Itemzahl als akzeptabel betrachtet werden kann (z.B. Schön 2007).

Für die fünf Dimensionen erhebende Skala 5 des bilingualen Handelns erfolgte die Item-Konstruktion des Fachinteresses Biologie wie bzw. in Anlehnung an Damerau (2012) und für das Fachinteresse Englisch wie in PISA 2000 (Baumert et al. 2003) bzw. in Anlehnung daran. Es wurde je eine gute Reliabilität von $0,884 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,926$ (Fachinteresse Biologie) und von $0,869 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,889$ (Fachinteresse Englisch) erzielt. Die Itemformulierung der Subskala des Fähigkeitsselbstkonzepts Bilingualität wurde in Anlehnung an Rodenhauser (2016) und an Abendroth-Timmer (2004) vorgenommen und eine Reliabilität von $0,445 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,707$ erzielt. Die Itemformulierung des Druckempfinden Bilingualität erfolgte z.T. wie bei und in Anlehnung an Rodenhauser (2016) und führte zu einer guten Reliabilität von $0,879 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,884$. Die bilinguale Laborvariable, die die Bedeutung des Fremdspracheneinsatzes in der Forschung erhob, wurde aufgrund der typischen Einsatzmerkmale des Fremdspracheneinsatzes (Kommunizieren grundsätzlich, Fachtexte lesen, mündlicher Austausch) abgeleitet und zeigte ebenfalls eine gute Reliabilität von $0,769 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,832$.

Die Skalenzugehörigkeit der Skala des bilingualen Handelns wurde mittels konfirmatorischer Faktorenanalyse anhand der Faktorenladung der Einzelitems für die angenommenen Konstrukte überprüft (vgl. Kapitel 2.3.1.3.1, Skala 5). Lediglich die Items der Subskala Fachinteresse Englisch (va13, va36), die eine hohe Faktorenladung zum Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität zeigten, wurden aufgrund der inhaltlichen Bedeutung als separates Konstrukt Fachinteresse Englisch beibehalten.

Die Skala 6 umfasste das Konstrukt der metakognitiven Strategien, das in Anlehnung an DESI (DESI-Konsortium 2008), Lompscher (1995, 1993), Rodenhauser (2016) sowie ein weiteres, neu entwickeltes Item (*Ich überlege mir, welche Aspekte sich für*

die Visualisierung eignen.) formuliert wurde. Für diese aus sechs Items bestehende Skala wurde eine noch gute Reliabilität von $0,652 < \text{Cronbachs } \alpha < 0,721$ ermittelt. Für das Lesen fremdsprachlicher Texte und das Verstehen sachfachlicher Zusammenhänge werden den Lesekompetenzen und dem Strategieeinsatz besondere Bedeutung zugeschrieben (z.B. (Baumert 2003; Artelt et al. 2009; Baumert et al. 2003; Hermes 2005). Auch ist gemäß der Interdependenztheorie (Cummins 1979) die Kompetenzentwicklung in der Zweitsprache zum einen von jener in der Erstsprache abhängig, beeinflusst diese andererseits jedoch auch. Entsprechend werden Korrelationen beispielsweise der Lese- und Textproduktions-Kompetenz in deutscher und englischer Sprache erklärbar (vgl. DESI-Konsortium 2008).

4.1.2 Versuchsdesign

Die beobachteten, quasi-experimentell untersuchten, Lerngruppen entstammen, wie in Kapitel 2.1.1 ausgeführt, mit 94% zum überwiegenden Anteil der Qualifikationsphase. Das außerschulische experimentelle Lehr-Lernarrangement ist aufgrund des zeitlichen Umfangs der Experimentalsituation vergleichbar mit typischem modularen Formen des Schulunterricht und sehr gut vergleichbar zu anderen in Schülerlaboren durchgeführten Experimentalinterventionen (z.B. Damerau 2012). Es kann angenommen werden, dass die Ergebnisse dieser Studie mit jenen, in anderen bilingualen Modulinterventionen gewonnenen Ergebnissen verglichen werden können (z.B. Duske 2017; Hartmannsgruber 2014; Piesche et al. 2016). Ein Abgleich der bilingual-englischen Schülerlaborkurse mit identisch durchgeführten monolingual-deutschen Kursen ermöglichte die Identifikation der durch den Einsatz der Fremdsprache bedingten Wirkungen. Die Fragebögen wurden in deutscher Sprache formuliert, um zusätzliche, durch die Fragestellungen bedingte Schwierigkeiten zu vermeiden. Das Spezifikum des in dieser Studie kombinierten Experimentalunterrichts mit dem Einsatz der Fremdsprache als Arbeitssprache und Medium des Lernens wurde bislang wenig beforscht (Rodenhauser 2016).

4.1.3 Berücksichtigung von Störvariablen

Entsprechend des Forschungsschwerpunktes wurde in dieser Studie ein Treatmentvergleich vorgenommen: die deutsche Treatmentgruppe dienten als Vergleichsgruppe zur bilingual-englischen Treatmentgruppe, so dass die Wirksamkeit der Arbeitssprache Englisch untersucht werden konnte (vgl. Hartmannsgruber 2014; Piesche et al. 2016; Rodenhauser 2016).

Zudem wurden bei den Längsschnittstudien die unterschiedlichen Vergleichsgruppen auf bereits vor dem Laborbesuch vorhandene Pretestunterschiede untersucht. Wie in vergleichbaren Studien durchgeführt (z.B. Damerau 2012), wurden ermittelte Pretestunterschiede als Kovariaten in die weiteren Längsschnittvergleiche einbezogen, so dass angenommen werden kann, dass beobachtete Unterschiede zwischen den Vergleichsgruppen durch die Wirkung des Laborbesuches erklärt werden können. Analog wurde mit allen in der Studie untersuchten Vergleichsgruppen verfahren. Dabei konnte beispielsweise aus kognitiver Sicht eine Pretestäquivalenz herausgestellt werden, die die Eignung der beiden Treatmentgruppen als Vergleichsgruppen belegte.

4.2 Ergebnisdiskussion

Nachdem im vorangegangenen Kapitel 4.1.1 die Objektivität, Reliabilität und Validität der eingesetzten Messinstrumente belegt und das Studiendesign reflektiert wurde, orientiert sich nachfolgend die Ergebnisdiskussion an den in Kapitel 1.3 formulierten Forschungsfragen. Bedeutsame globale bzw. versuchsgruppenspezifische Ergebnisse werden besonders hervorgehoben.

4.2.1 Wissenserwerb

Das bilinguale experimentelle Lehr-Lernarrangement zielte auf einen kurz- und vor allem auf einen langfristigen Wissenszugewinn ab. Die Forschungsfrage zum sachfachlichen Wissenszuwachs ist nachfolgend aufgeführt.

4.2.1.1 Sachfachlicher Wissenserwerb

Forschungsfrage 1: Führen englisch-bilingual und deutsch-monolingual durchgeführte biologische Experimentalkurse gleichermaßen zu einem kurz- wie langfristigen kognitiven Kompetenzgewinn?

Über alle Messzeitpunkte betrachtet wurde nach Durchführung des Schülerlabortages insgesamt für die Entwicklung der Fachkompetenz sowohl kurz- wie langfristig ein bedeutsamer höchst signifikanter Wissenszuwachs für alle Lernenden beobachtet. Zudem wurden keine Treatment-Unterschiede festgestellt. Folglich lernten Schülerinnen und Schüler beider Treatments gleich gut hinzu. Diese Studie führte entsprechend zu vergleichbaren Ergebnissen wie sie in anderen Studien (z.B. Rodenhauser 2016) ausgewiesen werden und bestätigt nicht den in anderen Studien (Hartmannsgruber 2014; Piesche et al. 2016) belegten geringeren Wissenszuwachs von bilingual Unterrichteten.

Der gleichwertige Wissenserwerb kann multikausal gedeutet werden. Beispielsweise kann er mit Bezug auf Diehrs *Integrated Dynamic Model* des mentalen Lexikons bilingual Unterrichteter (Diehr 2016) interpretiert werden: Eine Einbettung des bilingual-englischen Schülerlabortages in einen ansonsten monolingual-deutsch durchgeführten schulischen Biologieunterricht für die in dieser Studie betrachtete Stichprobe kann dann sachfachlich erfolgreich sein, wenn viele in der Schulsprache bereits erworbenen und im Schülerlabortag neu gelernten englischsprachige Fachbegriffen verknüpft werden können. Im bilingualen Biologieunterricht kann hinsichtlich der Fachbegriffe ein hoher Grad der konzeptionellen Äquivalenz zwischen der L1 und L2 angenommen werden, der auf ein hohes Maß an Fachbegriffen lateinischen oder griechischen Ursprungs zurückzuführen ist.

Oft angenommen für den bilingualen Sachfachunterricht ist die Diskrepanz zwischen kognitiver und fremdsprachlicher Kompetenz seitens der Lernenden (Thürmann 2010), die im Sinne der *Cognitive Load*-Theorie (Chandler und Sweller 1991) zu einer Überbeanspruchung führen kann. Andererseits kann diese „Lücke“ als Chance der doppelten Fokussierung und Aufmerksamkeit der Lernenden über die Verknüpfung kognitiver und sprachlicher Anforderungen aktivierend und motivationsfördernd wirken (Thürmann 2013b). Er kann auf der Ebene des „intrinsic load“ mit dem Materialbedingten Schwierigkeits- und Komplexitätsgrad in sachfachlicher wie fremdsprachlicher Sicht und damit einhergehend auf der Ebene des „germane load“ mit der lernbezogenen Belastung des Lernenden, mentale Schemata und Modell in sachfachlicher und fremdsprachlicher Ausrichtung aufzubauen, erläutert werden (vgl. Craik und Lockhart 1972).

Der zusätzliche Einsatz der Fremdsprache als Kommunikationssprache und Medium des Lernens scheint in dem experimentellen Lehr-Lernarrangement dieser Studie keinen negativen Einfluss auf die Wissenskonstruktion zu haben. Folglich kann die erste Forschungsfrage bejaht werden. Diese gleichwertige kognitive Leistung von bilingual-englisch und monolingual-deutsch Unterrichteten kann einerseits mit einer aktivierenden Verknüpfung kognitiver und sprachlicher Anforderungen (Thürmann 2013b) und zudem mit einer gesteigerten semantischen Verarbeitungstiefe (Craik und Lockhart 1972) aufgrund einer gleichzeitig sachfachlichen und fremdsprachlichen Verarbeitung erklärt werden. Lernende, die einen komplexen sachfachlichen Text in der Fremdsprache lesen, werden häufiger an die Grenzen des Verstehens gelangen

und daraufhin Textpassagen häufiger erneut lesen sowie Vokabular nachschlagen. Sie werden gehäufte Sachverhalte grafisch oder verbal, in schriftlicher oder mündlicher Form fixieren und sich auf diese Weise Zusammenhänge vertiefter verdeutlichen als Lernende der deutschen Treatmentgruppe. Heine (2010b) stellt ebenfalls heraus, dass die verknüpfte Bearbeitung sowohl sachfachlicher wie fremdsprachlicher Aspekte eine bessere Behaltensleistung bewirken kann. Allerdings ist die vertiefte Verarbeitung in der vorliegenden Studie nicht explizit untersucht worden

Oft wird für den Wechsel von Darstellungs- und Symbolisierungsformen im bilingualen Unterricht eine lernwirksame Bedeutung angenommen (Leisen 2013a): Lernende entwickeln in Auseinandersetzung mit Arbeitsmaterialien und Experimenten unterschiedliche Darstellungs- und Symbolisierungsformen als Lernprodukt und Ergebnis ihrer aktiv konstruierenden Tätigkeit. Die am Schülerlabortag bearbeiteten Aufgaben und Experimente sowie die erstellten Präsentationen und erfolgten Diskussionsprozesse unterstützen die komplexe Wissenskonstruktion.

Ferner kann der zuvor geschilderte gleichwertige Wissenserwerb seitens bilingualer Unterrichteter mittels der von Deci und Ryan (1985) formulierten Selbstbestimmungstheorie beziehungsweise dem auch von Vygotskij (2002) beschriebenen Bedürfnis nach Kompetenz- und Tüchtigkeitserleben erklärt werden. Auch dem Erwartungs-Wert-Modell von Eccles et al. (1983) zufolge wird von Lernenden die Bewältigung einer herausfordernden Aufgabe angestrebt. Wie bereits ausgeführt, verknüpft Vygotskij (2002) diese mit der Nutzung angemessener Gerüstmaßnahmen bzw. mit dem Diskurs des Lernenden mit einem Mentor (Wissenschaftler). Demnach streben Lernende nach Bearbeitung von herausfordernden Aufgaben, die mit Hilfe von bereitgestellten sprachlichen, methodischen oder fachsprachlichen *Scaffolding* bzw. durch den Austausch mit kompetenten Gesprächspartnern eine erfolgreiche Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand ermöglichen. So werden die Schülerinnen und Schüler gefordert, ohne überfordert zu werden. Die anregende Wirkung auf die Handlung ist folglich auch durch die positive Erwartung hinsichtlich der Erreichung eines Ziels erklärbar. Für Lernende wird gleichzeitig ein Kompetenz- und Tüchtigkeitserleben verwirklicht (z.B. Eccles et al. 1983).

Um die Gefahr der kognitiven Überlastung (Chandler und Sweller 1991) entgegenzuwirken, wurde der Wissensfragebogen in deutscher Sprache formuliert.

Gleichzeitig forderte dieses Vorgehen von den Lernenden der englischen Treatmentgruppe eine Übertragung des in der englischen Sprache erarbeiteten und konstruierten Sachfach- und Methodenwissens in die deutsche Sprache. Diese zusätzliche Transferleistung führte im Vergleich zum deutschen Treatment zu keinen Wissensseinbußen. Entsprechend positiv kann das gleichwertige Ergebnis der vorliegenden Studie hinsichtlich des Wissenszuwachses eingeordnet werden.

Zudem bestand zwischen den beiden Treatmentgruppen im Pretest kein bedeutsamer Unterschied der Wissenstestergebnisse, woraus die Eignung der beiden Gruppen als Vergleichsgruppen abgeleitet werden kann. Es kann folgernd eine ähnliche kognitive Leistungsfähigkeit angenommen werden. Allerdings weisen die beiden Treatments bezüglich der Verteilung der Biologienoten größere Unterschiede auf (vgl. Kapitel 2.1.1, Tabelle 14). Während die englischen Treatmentgruppe eine starke Tendenz zu durchschnittlich besseren Biologie-Noten zeigte, 55% der SuS zeigen sehr gute bis gute Biologienoten gegenüber ca. 30% in der deutschen Subgruppe, bestand bezüglich der Englischnote eine sehr vergleichbare Notenverteilung.

Die hier ermittelten gleichwertigen Ergebnisse hinsichtlich des durchschnittlich ermittelten Wissenszuwachses der deutschen und englischsprachigen Treatments weisen darauf hin, dass bilinguale Lehr-Lernarrangements nicht notwendigerweise zu einem eingeschränkten sachfachlichen Lernen führen müssen. Sie legen ein gleichwertiges Lernen unabhängig von der genutzten Arbeits- und Lernsprache nahe, das für bilingual durchgeführte experimentelle Schülerlabore bereits belegt wurde (z.B. Rodenhauser 2016, Rodenhauser und Preisfeld 2016). Weitere Forschungsergebnisse in den Naturwissenschaften in anderen Lehr-Lernarrangements weisen vergleichbare Ergebnisse aus (z.B. Badertscher und Bieri 2009; Buse und Preisfeld 2016; Haagen-Schützenhöfer et al. 2011; Koch und Bündler 2006; Osterhage 2009; Rodenhauser und Preisfeld 2016). Neben dem diskutierten sachfachlichen Kompetenzgewinn des bilingualen experimentellen Lehr-Lernarrangements wird nachfolgend der fremdsprachliche Wissenserwerb erörtert. Die dazu formulierte Forschungsfrage lautete, wie folgt:

4.2.1.2 Fremdsprachlicher Wissenserwerb

Forschungsfrage 2: Führt eine eintägig durchgeführte bilingual-englische im Gegensatz zu einer deutsch durchgeführten Experimental-Intervention zu einer Steigerung der fremdsprachlichen Kompetenz?

Der kurzfristig bedeutsam höhere Zuwachs des englischen gegenüber dem deutschen Treatment legt einen durch den Labortag bedingten Zuwachs nahe. Langfristig ist dieser Unterschied jedoch nicht bedeutsam, da die deutsche Treatmentgruppe zum Follow-up-Test ein ähnlich hohes Ergebnis erzielte. Bereits zum Posttest setzte dieser Lernzuwachs bei der englischen Treatmentgruppe ein, die bereits vor Laborbeginn bedeutsam höhere *Cloze* Test-Ergebnisse zeigte und folglich als durchschnittlich kenntnisreicher angesehen werden kann. Bei der deutschen Treatmentgruppe, deren Testwerte zum Pretest signifikant niedriger und zum Posttest unverändert blieben, wird der fremdsprachliche Wissenszuwachs zeitversetzt zum Follow-up-Test beobachtet. Diese Befunde betrachtend kann angenommen werden, dass Lernende, die kenntnisreicher sind, bei der Durchführung dieser Tätigkeit erfolgreicher sind. Auch die hohe Korrelation zwischen Pre- und Posttestergebnissen legt diese Vermutung nahe: Lernende, die schon vor Kursbesuch eine hohe Punktzahl erzielten, erreichen auch nachfolgend eine hohe Punktzahl. Ein lernförderlicher Trainings-Effekt von *Cloze* Tests beispielsweise hinsichtlich des Erkennens von Textbezügen wird ebenfalls beschrieben (z.B. Baur et al. 2006). Entsprechend ist denkbar, dass ein Lernzuwachs auf das wiederholte Ausfüllen des Lückentests zurückzuführen ist.

Als grundsätzlich mögliche Störvariablen für das Ausfüllen des Lückentests kann zudem die Anstrengungsbereitschaft angeführt werden. Einerseits kann im Sinne des Strebens nach Kompetenzerleben (z.B. Deci und Ryan 1985, Vygotskij 2002) das möglichst vollständige Füllen der Lücken angestrebt werden. Andererseits kann das Ausfüllen des Lückentexts als zu anstrengend und somit zu verhindernde Tätigkeit empfunden werden (Willenberg 2001).

Grundsätzlich wird von *Cloze* Tests angenommen, dass sie die globale Sprachkompetenz messen und typischerweise wird ein Set mehrerer *Cloze* Tests unterschiedlicher Ausrichtung in Lernstudien eingesetzt (z.B. DESI-Konsortium 2008). In dieser Studie scheint jedoch für das hier gewählte Verfahren die Aussagekraft der Ergebnisse eingeschränkt. In einer weiteren Studie wäre im Sinne einer Beobachtung der Störvariablen zu überprüfen, ob bereits das reine Ausfüllen des *Cloze* Tests einen Wissenszuwachs begründet. Dazu kann der Einsatz einer Kontrollgruppe ohne Laborbesuch empfehlenswert sein, in der der Effekt des dreimaligen Ausfüllens und der alleinige Effekt des Laborbesuches ermittelt werden könnten. Desiderat kann für weitere Studien die Untersuchung des fremdsprachlichen Wissens mittels

unterschiedlicher sachfachlicher Texte als *Cloze* Tests sein, für die ein gleiches Schwierigkeitsniveau gesichert ist. Die gestellte Forschungsfrage zum fremdsprachlichen Zuwachs kann mit den Befunden des *Cloze* Tests dieser Studie abschließend nicht zweifelsfrei beantwortet werden.

4.2.1.3 Die Identifikation unterschiedlicher Lernertypen

Wie bereits in den Kapiteln 1.2.1.5 und 1.2.3.3 ausgeführt, ist eine Heterogenität der Lernleistungen für die sprachlichen sowie die naturwissenschaftlichen Kompetenzen innerhalb von Lerngruppen häufig belegt. Entsprechend gilt es in Hinblick auf ein individualisiertes Lernen zu untersuchen, ob sich Schülerinnen und Schüler systematisch in ihrem Lernverhalten unterscheiden und Unterricht darauf Bezug nehmen muss (Kolb 1984; Looß 2007). Kolb und Kolb (2005) untersuchen den Zusammenhang zwischen Lernerstilen und Lernumgebungen sowie den Einfluss verschiedener Lernumgebungen auf erfahrungsbasiertes Lernen von Lernenden unterschiedlicher Lernerstile. Die Ergebnislage von Studien zu Lernstilen, Lernertypen und Lernerfolg ist insgesamt sehr divergent (z.B. Creß 2006; Looß 2007). Creß (2006) hält beispielsweise jene Modellvorstellungen für erfolgsversprechend, die Lernertypen als veränderbare Merkmale ansehen. Sie nimmt an, dass Präferenzen einer Person und Bedingungen der Lernumgebung miteinander interagieren. Gleichzeitig verweist Creß (2006) darauf, dass u.a. lernprozessnah erhobene Verhaltensweisen und Motivationszustände charakteristische Kombinationen z.B. von Lernstrategien, Motivation und Selbstkonzepten offenbaren, die die systematischen Unterschiede im Lernverhalten seitens Lernender nahelegen. Vergleichbare Studien explorieren anhand identifizierter Lernertypen kognitive und affektive Variablen (z.B. Creß und Friedrich 2000; Damerau 2012). Der Ansatz war wie folgt formuliert:

Forschungsfrage 3: Können anhand von Personenvariablen Lernertypen identifiziert werden?

Wie in Kapitel 2.3 dargelegt, wurden anhand von Personenvariablen drei Lernertypen identifiziert, die als Biologen, Fremdsprachler und Allrounder bezeichnet wurden und sich durch deutliche Pretestunterschiede bezüglich der untersuchten affektiven Variablen auszeichneten. Bei den Allroundern wurden schon vor Laborbesuch sehr hohe Ausprägungen in allen untersuchten Personenvariablen ermittelt. Demgegenüber zeigten die Biologen im Vergleich zu den Allroundern ein höheres experimentbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung und Sachinteresse

Experimentieren und ein geringer ausgeprägtes Fachinteresse Englisch sowie ein geringeres Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität. Für die Fremdsprachler wiederum wurden in allen biologisch ausgerichteten Personenvariablen geringere Ausprägungen als bei den Biologen registriert. Vergleichbare Studien belegen ähnliche Gruppierungen: Damerau (2012) identifiziert drei Lernertypen, die er als Theoretiker, Allrounder und Praktiker bezeichnet. Ebenfalls drei Lernertypen weist Rodenhauser (2016) aus, die von ihr als Fremdsprachler, Naturwissenschaftler und Allrounder bezeichnet werden. Demgegenüber gruppiert Verriere (2014) in Englisch- sowie Mathematikzugewandte beziehungsweise Englisch- sowie Mathematikabgewandte und findet kaum Überschneidungen zwischen den identifizierten Lernertypen. Von Interesse ist es, die Bedeutsamkeit der heterogenen Typisierung für die Wissenskonstruktion näher zu beleuchten.

4.2.1.4 Einfluss der Personenvariablen Lernertyp auf den kognitiven und fremdsprachlichen Kompetenzerwerb

Forschungsfrage 4: Beeinflusst die PersonenvARIABLE Lernertyp den sachfachlichen und fremdsprachlichen Kompetenzzuwachs?

Schon im Regelunterricht sind die Lernleistungen bezüglich naturwissenschaftlicher und fremdsprachlicher Kompetenzen sehr heterogen (z.B. DESI-Konsortium 2008; Schiepe-Tiska et al. 2013). Die Untersuchung eines bilingualen naturwissenschaftlichen Laborunterrichts auf Heterogenität erschien aus diesem Grunde vielversprechend. Bei der Untersuchung der drei unterschiedlichen Lernertypen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder wurden jedoch in dieser Studie keine bedeutsamen Unterschiede hinsichtlich des Wissenszuwachses ermittelt. Es kann entsprechend angenommen werden, dass Schülerinnen und Schüler durch den bilingual-englisch durchgeführten Schülerlabortag unabhängig von ihrem Lernertyp kognitiv gleichermaßen angesprochen wurden. Gleiche Befunde finden sich bei Rodenhauser (2016) in der bilingual durchgeführten Experimental-Intervention für die Oberstufenkurse. Damerau (2012) stellt demgegenüber in seinem monolingual-deutsch durchgeführten Schülerlabortag einen bedeutsamen Pretestunterschied zugunsten der Allrounder gegenüber den Praktikern sowie eine langfristig bedeutsam höhere Behaltensleistung moderater Effektstärke der Allrounder gegenüber den Theoretikern fest.

In fremdsprachlicher Sicht wird bezüglich der Clusterzuordnung für den *Cloze* Test im Pretest ein höchst bedeutsamer, höherer durchschnittlicher Testwert für Allrounder gegenüber den Biologen ermittelt, der als signifikanter kurzfristiger jedoch nicht langfristiger Unterschied erhalten blieb. Folglich lernten Schülerinnen und Schüler langfristig betrachtet in dieser Studie fremdsprachlich losgelöst von ihrem Lernertyp.

Als unterrichtsorganisatorische Maßnahmen, die einen homogenen Lernzuwachs aller Schülerinnen und Schüler gewährleisten, können die eingeräumten Lernzeiten (Thürmann 2013b) auch während des Experimentierens, die ein rekapitulierendes und sich versicherndes Lesen im Skript sowie der soziale Austausch mit anderen Lernenden angeführt werden. Ferner kann der Austausch mit den als Mentoren wirksamen Wissenschaftler (Vygotskij 2002) sowie die oft als lernwirksam angeführte unterstützende Rückmeldung seitens der betreuenden Wissenschaftler (Hattie und Timperley 2007; Walpuski und Sumfleth 2007; Thürmann 2013b, 2013a) als lernwirksam angesehen werden. Auch der verwirklichten *tasked-based methodology* wird eine symbiontische Beziehung im bilingualen Sachfachunterricht zugesprochen (Meyer 2010), die zudem Fähigkeiten und Fertigkeiten aus unterschiedlichen Bereichen (Hörverstehen, Experimentieren, Texte verstehen, Gespräche führen) zusammenführt. Die durch das Arbeitsmaterial und die Aufgaben konstruierten „Lücken“ werden in den Arbeitsgruppen als Diskursgemeinschaften gefüllt (Thürmann 2013b). Es ist folglich anzunehmen, dass der Labortag eine homogene sachfachliche und fremdsprachliche Entwicklung bewirkte. Hinsichtlich der formulierten Forschungsfrage kann somit geschlossen werden, dass sowohl die kognitive als auch die fremdsprachliche Lernleistung weitestgehend unabhängig vom Lernertyp erfolgte. Mit der folgenden Forschungsfrage wurde dem Einfluss weiterer Personenvariablen auf den Wissenszuwachs nachgegangen:

4.2.1.5 Einfluss weiterer ausgewählter Personenvariablen auf den kognitiven und fremdsprachlichen Kompetenzerwerb

Forschungsfrage 5: Beeinflussen weitere Personenvariablen den kognitiven oder fremdsprachlichen Kompetenzgewinn?

Zunächst wird die Fragestellung aus sachfachlich biologischer Perspektive beleuchtet. In der Gesamtstichprobe lernten Schülerinnen und Schüler des Biologie Leistungskurses sachfachlich kurzfristig signifikant besser als Lernende des Grundkurses. Langfristig war dieser Effekt jedoch nicht bedeutsam. Anzunehmen ist,

dass Lernende des Leistungskurses einerseits aufgrund des höheren Stundenumfanges ein vertieftes Wissen besaßen und die Lernenden darin begründet kurzfristig besser Kurstag-relevantes Wissen konstruieren konnten. Andererseits ist auch bedeutsam, in wie fern das Gelernte für den fortschreitenden Unterricht relevant ist (z.B. Itzek-Greulich 2014). Weiterhin kann es für die englische Treatmentgruppe hinsichtlich der Textrezeption und der Wissenskonstruktion bedeutsam sein, wie gut die Englischkenntnisse ausgeprägt waren. Gefolgert werden kann, dass Schülerinnen und Schüler des Leistungskurses Englisch über umfangreichere Sprachkenntnisse verfügten und für sie möglicherweise darin begründet ein sachfachliches Lernen intensiver war. Für die langfristige Behaltensleistung wurde diese Vermutung signifikant mit mittlerer Effektstärke bestätigt. Hinsichtlich der bilingualen Vorerfahrung, durch die eine Erleichterung des Wissenserwerbs ebenfalls angenommen werden konnte, wurde kein signifikanter Behaltensvorsprung der Lernenden mit bilingualer Vorerfahrung ermittelt. Auch im Pretest wurde beim Vergleich der Lernenden mit Deutsch als Muttersprache zu jenen mit einer anderen Muttersprache zwar ein signifikant besseres Testergebnis der Muttersprachler (Deutsch), jedoch weder kurz- noch langfristig ein signifikanter Unterschied des Wissenszuwachses mit bedeutsamer Effektstärke belegt. Die Heterogenität bezüglich der fremdsprachlichen Voraussetzungen der in dieser Studie untersuchten Variablen scheint somit für die hier dargestellten Ergebnisse für die kognitive Behaltensleistung von geringem Einfluss zu sein. Ein Geschlechtervergleich offenbarte lediglich langfristig eine signifikant jedoch moderat ausgeprägt bessere Behaltensleistung der Mädchen gegenüber den Jungen.

Diese Befunde bezüglich des kognitiven, sachfachlichen Lernens sind mit denen in Rodenhausers Studie (2016) vergleichbar. Sie weisen darauf hin, dass bilinguale Unterrichtsangebote auch in einer heterogenen Schülerschaft ohne bilinguale Vorerfahrungen oder besondere sprachliche Präferenzen erfolgreiches sachfachliches Lernen bewirken können, ohne als wesentlichen Grund für den Erfolg des bilingualen Unterrichts den *Creaming Effect* anzunehmen (z.B. Rumlich 2014). Zumindest die langfristig verbesserte Behaltensleistung von Lernenden des Englisch LK in dieser Studie scheint einen Zusammenhang zwischen Sprachkompetenz und kognitiver Lernleistung zu belegen. Die auch in deutschsprachigen Laborkursen (Damerau 2012, Scharfenberg 2005) ermittelte, vom Einfluss der Personenvariablen weitestgehend unabhängige Entwicklung der kognitiven Wissenskonstruktion, scheint auf bilingual-englisch durchgeführte Kurse übertragbar zu sein.

Nachfolgend wird der fremdsprachliche Aspekt der Forschungsfrage beleuchtet. Hinsichtlich des Einflusses der weiteren Personenvariablen auf die Ergebnisse des fremdsprachlichen Tests (*Cloze* Tests) konnte lediglich für die Zugehörigkeit zum Englisch LK langfristig ein bedeutsam höheres Testergebnis moderater Effektstärke ermittelt werden. Für die weiterhin untersuchten Personenvariablen (bilinguale Vorerfahrung, Muttersprache, Geschlecht) wurde keine durch den Schülerlabortag bedingte Signifikanz belegt. Die in dieser Studie langfristig Treatment-unabhängigen Ergebnisse zum *Cloze* Tests legen die Annahme nahe, dass die Lösewahrscheinlichkeit des *Cloze* Tests vor allem durch vorhandene Fremdsprachenkenntnisse und allgemeine Lesestrategien zur Textentschlüsselung auf lexikalischer, semantischer und syntaktischer Ebene (Hermes 2005) erklärbar sind und ggf. durch einen häufigeren Einsatz der Methode verbessert werden können (z.B. Baur et al. 2006).

Abschließend kann festgestellt werden, dass in bilingual-englisch durchgeführten Kursen die kognitive wie fremdsprachliche Wissenskonstruktion weitestgehend unabhängig von den untersuchten Personenvariablen erfolgte. Lediglich die bedeutsame langfristig bessere kognitive Behaltensleistung von Lernenden im Englisch LK wurde belegt. Die eingangs formulierte Forschungsfrage kann entsprechend insgesamt, mit kleiner Einschränkung, verneint werden. Nachdem zuvor die kognitive und fremdsprachliche Wirksamkeit des englisch-bilingualen Schülerlabortages beleuchtet wurde, werden im Weiteren seine affektive Wirksamkeit biologischer und fremdsprachlicher Ausrichtung diskutiert. Begonnen wird nachfolgend mit der Wahrnehmung der Lernumgebung Labor:

4.2.2 Affektive Wirksamkeit

4.2.2.1 Wahrnehmung der Lernumgebung Labor

Forschungsfrage 6.1: Wie wird der Labortag bezüglich der untersuchten Laborvariablen in den verschiedenen Treatments (englisch vs. deutsch) wahrgenommen?

6.2: Welche Unterschiede ergeben sich bezüglich der Lernertypen?

Treatment-unabhängig wurden am Labortag hohe Mittelwerte hinsichtlich der Wahrnehmung von Authentizität und Zusammenarbeit sowie niedrige Mittelwerte bezüglich des Druckempfindens belegt, die mit Ergebnissen in vergleichbaren Studien (Damerau 2012, Rodenhauser 2016) übereinstimmen. Zudem wurde am Labortag ein

bedeutsamer negativer Zusammenhang zwischen Authentizitätsempfinden und Druck und ein bedeutsamer Zusammenhang zur Einschätzung der Zusammenarbeit bestätigt. Ebenfalls Treatment-unabhängig wurde für die Laborvariable Authentizität kurz- wie langfristig ein höchst signifikanter Anstieg und hinsichtlich der Variablen Druckempfinden und Zusammenarbeit konstante Einschätzungswerte, bei allenfalls befriedigenden Reliabilitäten für das Konstrukt Zusammenarbeit ermittelt. Durch den Labortag wird entsprechend unabhängig von der eingesetzten Arbeitssprache der Wunsch nach authentischer Forschungserfahrung gesteigert, das Druckempfinden und der Wunsch nach Zusammenarbeit allerdings nicht verändert.

Die Ergebnisse lassen sich mit den Vorstellungen zur Konzeption des Schülerlaborkurses in Zusammenhang bringen. Zum einen gewährleistet die Lernumgebung eines komplett ausgerüsteten Übungsraumes des BeLL Bio ein authentisch-forschungsnahes Erleben im Umgang mit Laborgeräten und zum anderen ermöglicht es den Austausch mit Wissenschaftler/innen, Hilfskräften und Studierenden der Bergischen Universität Wuppertal. In der Lernumgebung alternieren einerseits dem gemäßigten Konstruktivismus folgend (Reinmann und Mandl 2006) Phasen der Instruktion und Konstruktion. Andererseits ist sie den Prinzipien des problemorientierten Experimentierens (Hammann 2004) und des Experimentierens als forschenden Lernens (Mayer 2014) konstruiert. Entsprechend werden wissenschaftliche Fragestellungen unter Beschreiten des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges seitens der Lernenden beforscht und bearbeitet. In diesem Zusammenhang werden der soziale Kontakt und die Zusammenarbeit der Lernenden untereinander als positive Determinanten für Lernleistung und das Druckempfinden als negativer Prädiktor für Lernleistung (Deci und Ryan 2000) als bedeutsam angesehen.

Für die identifizierten Lernertypen werden hinsichtlich des Authentizitätsempfindens bedeutsame Unterschiede offenbar. Während bei den Allroundern und Biologen ein kurz- wie langfristig bedeutsamer Anstieg beobachtet wird, fällt das Authentizitätsempfinden bei den Fremdsprachlern langfristig bedeutsam ab. Lernertypen-spezifisch führt der Labortag somit zu einer Erhöhung der angestrebten Authentizitätserfahrung bei Biologen und Allroundern. Erklärungsansätze für die Befunde liefern die Personen-Gegenstandstheorie des Interesses (z.B. Krapp 1998) und das Referenzrahmenmodell (Marsh 1986, 1990): Entsprechend kann erklärt werden, dass bei den Lernertypen der Allrounder und Biologen ein hohes biologisches

Fachinteresse und experimentbezogenes Sachinteresse angenommen werden kann, das mit dem Kompetenzerleben in der konkreten authentischen Laborsituation verknüpft wird und folglich kurz- wie langfristig in einem gesteigerten Authentizitätsbedürfnis resultieren kann. Im Einklang mit dem Referenz-Rahmenmodell (Marsh 1986, 1990) ist, dass diese Wirksamkeit besonders für die Allrounder und Biologen aufgrund der biologisch-naturwissenschaftlichen Schwerpunktlegung des Schülerlabortages realisiert wird, nicht aber domänenübergreifend auch eine Wirksamkeit bei den primär fremdsprachlich Interessierten auslöst.

Mit Bezug auf die Forschungsfrage konnte ein homogener, Treatment-unabhängiger bedeutsamer kurz- wie langfristigen Anstieg des Authentizitätsempfindens belegt werden, der mit einem experimentbezogenen Kompetenzerleben erklärt werden kann. Hinsichtlich des Authentizitätsempfindens konnte Cluster-differenzierend für die Biologen und Allrounder ein bedeutsamer kurz- wie langfristiger Anstieg und für die Fremdsprachler ein langfristiger Abfall belegt werden. Diese Befunde können wiederum mit dem Domänen-spezifisch auftretenden Kompetenzerlebens anhand des Referenz-Rahmenmodells von Marsh (1986, 1990) gedeutet werden.

4.2.2.2 Experimentbezogenes Sachinteresse und Fähigkeitsselbstkonzept hinsichtlich der Durchführungs- und Auswertungskompetenzen

Die in dieser Studie untersuchten experimentbezogenen Teilkompetenzen Durchführung und Auswertung werden nachfolgend gemeinsam diskutiert. Die Forschungsfragen zu diesen Ansätzen lauteten, wie folgt:

Forschungsfrage 7.1: Führt ein eintägiger bilingualer Schülerlabortag zur Veränderung des experimentbezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts der Durchführung beziehungsweise des Sachinteresses Experimentieren?

7.2: Welche Unterschiede sind hinsichtlich der Treatments bzw. der Lernertypen feststellbar?

Forschungsfrage 8.1: Führt der Besuch des bilingualen und monolingualen Lernlabors zu einer Veränderung des experimentbezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts und der erhobenen Interessens-Konstrukte der Teilkompetenz Auswertung?

8.2: Welche Unterschiede zeigen die Vergleiche der Treatments bzw. der Lernertypen?

Die Treatment- sowie Cluster-unabhängigen Entwicklungen der beiden Subskalen der experimentbezogenen Durchführung (Sachinteresse und Fähigkeitsselbst-konzept) weisen auf eine fehlende Abhängigkeit der selbsteingeschätzten psychomotorischen Fertigkeiten zur eingesetzten Arbeitssprache hin. Zugleich kann der kurzfristige Anstieg des Fähigkeitsselbstkonzeptes mit dem Kompetenzerleben am Schülerlabortag erklärt werden (z.B. Atkinson 1957, Deci and Ryan 1985, Woolfolk 2008). Folglich wird belegt, dass das Fähigkeitsselbstkonzept eine veränderbare Größe darstellt, die beispielsweise durch aktuelles Kompetenzerleben sowie den individuellen Abgleich zu früheren Leistungen entsteht. Am Labortag war in Hinblick auf die experimentbezogene Durchführungskompetenz allen Lernenden die Möglichkeit zum Kompetenzerleben gegeben, was den kurzzeitigen Anstieg des Fähigkeitsselbstkonzeptes erklären kann. Ein nicht erhaltener langfristiger Effekt kann auf ein fehlendes Kompetenzerleben, bedingt durch mangelnde Experimentiergelegenheit im regulären Schulunterricht, zurückgeführt werden.

Aufgrund der für die Subskalen der experimentbezogenen Auswertungskompetenz ermittelten Treatment-abhängigen Entwicklung des tätigkeitsbezogenen Sachinteresses und des Fähigkeitsselbstkonzeptes Auswertung, jedoch der Treatment-unabhängigen Entwicklungen des Sachinteresses, wird ein Einfluss der Arbeitssprache z.T. angenommen. Die in der deutschen Subgruppe verzeichnete Konstanz des *tätigkeitsbezogenen Sachinteresses* deutet ein Kompetenzerleben der Lernenden am Schülerlabortag an, die den bisher gewonnenen Erfahrungen entsprach. Der Abfall in der englischen Subgruppe kann als ein fehlendes Kompetenzerleben oder auch als eine realistischere Einschätzung der Kompetenzen (vgl. Engeln 2004) eingeordnet werden. Erklärungsansatz kann das Erwartungs-Wert-Modell (Eccles et al. 1983) bieten. Während für die Lernenden des deutschen Treatments die Relevanz der Auswertung und des damit verbundenen Zuhörens, der aktiven Beteiligung, der richtigen Darstellung in deutscher Sprache und die Vorstellung mit dem übereinstimmte, was sie bislang für wichtig hielten, scheint dies für die Lernenden der englischen Gruppe bei Beantwortung der Frage bezogen auf die Fremdsprache anders ausgeprägt gewesen zu sein.

Weiterhin kann für den langfristigen Anstieg des *Sachinteresses Auswertung* seitens der Lernertypen Fremdsprachler ein Domänen-übergreifendes Kompetenzerleben bei der Auswertung naturwissenschaftlicher Experimente in englischer Sprache

angenommen werden, welches dem Referenz-Rahmenmodell von Marsh (1986, 1990) widerspricht.

Das *Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung* wurde in seiner Ausprägung und Entwicklung nicht durch die Clusterzugehörigkeit der Lernertypen beeinflusst. Der Treatment-abhängige Einfluss, der mit einem für die deutsche Treatmentgruppe kurzfristigen Anstieg, für die englische Treatmentgruppe mit einem Abfall verbundenen war, kann für die deutsche Treatmentgruppe, wie zuvor fürs Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung beschrieben, mit einem aktuellen Kompetenzerleben am Labortag in der Arbeitssprache erklärt werden. Die abfallenden Werte des englischen Treatments können einerseits als Ergebnis einer realistischen Einschätzung der Fähigkeiten in Passung an das aktuell am Labortag Geforderte angesehen werden (vgl. Engeln 2004). Ferner können sie Ergebnis eines individuellen sowie externalen Vergleichs sein: Im Vergleich zu vorausgegangenen Leistungen empfanden sich die Biologie-Interessierten aufgrund der sprachlichen Hürde am Labortag als nicht gewohnt kompetent, während fremdsprachlich Interessierte sich ob der Hürde des Biologischen als weniger kompetent empfanden (*Big fish – little pond*, Chanal et al. 2005).

Sowohl das Gegenstands- und Tätigkeits-bezogene Interesse als auch das Fähigkeitsselbstkonzept sind eng mit der Leistungsmotivation, dem Grundbedürfnis nach Kompetenzerleben und der Anstrengungsbereitschaft der Lernenden verbunden (z.B. Atkinson 1957, Deci and Ryan 1985, Krapp 1998, Woolfolk 2008). Studien belegen allerdings auch, dass Lernende, die ein hohes Fachinteresse zeigen, nicht notwendigerweise ein hohes fachbezogenes Sachinteresse besitzen (z.B. Häußler und Hoffmann 1995).

In vergleichbaren Studien wird ebenfalls ein kurzfristiger Einfluss eines eintägigen Schülerlabortages auf das fachspezifische Fähigkeitsselbstkonzept belegt (Brandt 2005, Damerau, 2012, Pawek 2009). Hingegen identifiziert Rodenhauser (2016) Clusterunterschiede und belegt in ihrer Studie interessanterweise ebenfalls Domänen-übergreifend alleinig für die Fremdsprachler ein gesteigertes biologisches Fähigkeitsselbstkonzept. Für das Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung belegt auch Damerau (2012) ein kurzfristiges Ansteigen, jedoch gleichbleibende Werte für das Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung.

Aufgrund des inhaltlich-methodischen Schwerpunktes im BeLL Bio-Kurs dieser Studie auf die Durchführung und Auswertung von Experimenten besteht für die Lernenden grundsätzlich die Möglichkeit des Kompetenzerlebens in diesen Bereichen. Auch kann häufig ein hohes Interesse an anwendungsbezogenen Aspekten der Naturwissenschaften (Häussler et al. 1998) hinsichtlich der experimentbezogenen Subskalen zum Sachinteresse Durchführung und Auswertung durch hohe Mittelwerte belegt werden.

Bemerkenswert sind die langfristige Abnahme des *Sachinteresses Durchführung* sowie die kontinuierliche Abnahme des *Sachinteresses Auswertung*. Diese könnten damit erklärt werden, dass die eingeschätzte Wichtigkeit von Versuchsdurchführung und Auswertung seitens der Lernenden im Laufe des Messzeitpunkts abnahm, weil sie beispielsweise für den Erwerb von Erkenntnissen im fortlaufenden Unterrichtsgeschehen von untergeordneter Bedeutung war (vgl. Erwartungs-Wert-Modell, Wigfield und Eccles 1992). Bedeutsam erscheint, dass einerseits die Experimentierhäufigkeit in der Qualifikationsphase eher als gering eingeschätzt wird (Damerau 2012) und zudem für viele Lernende zum Zeitpunkt des Follow-up-Tests das schriftliche Abitur unmittelbar bevorstand. Wichtig erscheint zudem, in welchem Ausmaß Kompetenzerleben bei der Durchführung und Auswertung realisiert wurden. Bemerkenswert erscheint weiterhin der Treatment-unabhängige kontinuierliche Abfall des Sachinteresses Auswertung. Gleichzeitig offenbart ein Cluster-Vergleich für den Lernertyp der Fremdsprachler, im Gegensatz zu den Allroundern und Biologen, auch langfristig ein konstantes Sachinteresse Auswertung. Dieser Befund gibt Anlass zu der Annahme, dass die Arbeitssprache für dieses Konstrukt von besonderer Bedeutung ist. Lernende, die der Fremdsprache einen hohen Wert beimaßen, maßen möglicherweise fremdsprachlichen und sprachlichen Äußerungen eine hohe Bedeutung bei, weil sie ihrem dispositionalen Interesse nahestand. Andererseits belegen auch andere Studien zu Schülerlaboren langfristig abfallendes Interesse (Guderian 2007).

Zusammenfassend kann für die experimentbezogenen Konstrukte zum Sachinteresses Durchführung und Auswertung angenommen werden, dass sie im Sinne der Personen-Gegenstands-Theorie (Krapp 1998) Aussagen über die interessensgeleitete Auseinandersetzung mit dem Sachgegenstand liefern. Sie bilden teils dispositionale und teils situationale Komponenten des Interesses ab, die durch

externale Einflüsse, wie die Interessantheit einer Lernumgebung oder die aktuelle Sinnhaftigkeit für den Erkenntnisgewinn beeinflusst werden. Entsprechend kann bezüglich der experimentbezogenen Teilkompetenzen eine uneinheitliche Beantwortung der Forschungsfragen belegt werden.

4.2.2.3 Flow- Erleben

Theorien legen einerseits eine durch die Arbeitssprache bedingte kognitive Erschwernis nahe. Andererseits ist der grundsätzliche Zusammenhang zwischen kognitiver Belastung und *Flow*-Erleben bereits belegt (Krombass et al. 2007; Rheinberg et al. 2003). Der zugehörige Forschungsansatz lautete, wie folgt:

Forschungsfrage 9.1: Wird Treatment-abhängig ein unterschiedlich ausgeprägtes experimentbezogenes *Flow*-Erlebnis registriert?

9.2: Führen unterschiedliche Experimente bzw. experimentbezogen eingenommene Rollen zu unterschiedlichem *Flow*-Erleben?

Eine große Nähe des *Flow*-Erlebens zum zuvor betrachteten Interesse verdeutlichen Definitionen des *Flow*-Erlebens als Voraussetzung für die intrinsische Motivation und als Aufgehen in der herausfordernden Tätigkeits- und Gegenstands-bezogenen Auseinandersetzung wie von Csikszentmihalyi (1975) vorgenommen, sowie als Tätigkeitsanreiz, wie von Rheinberg et al. (2003) beschrieben. Entsprechend wird der in dieser Studie ermittelte insgesamt hohe Wert des *Flow*-Erlebens für die durchgeführten Experimente grundsätzlich als angemessene Passung der Anforderungen sowie als Ausdruck eines hohen Tätigkeitsanreizes aufgefasst. Zugleich kann das im Treatmentvergleich für die englischen Subgruppen offenbarte niedrigere *Flow*-Erleben bei den sprachlich herausfordernderen Experimenten zum EEG, der Hirnpräparation und der mikroskopischen Untersuchung der Pyramidenzellen mit einem erhöhten Schwierigkeitsgrad der Tätigkeit in Zusammenhang gebracht werden (vgl. Rheinberg et al. 2003). Demgegenüber führte Treatment-unabhängig die eingenommene experimentbezogene Rolle zu keinen signifikanten Unterschieden des *Flow*-Erlebens. Lediglich bei dem Experiment der Hirnpräparation resultierte die Beobachterrolle im geringsten *Flow*-Erleben, welche gegebenenfalls mit einer aufgrund von Ekel (vgl. Gebhard 2009) begründeten bewussten Entscheidung gegen eine aktive anspruchsvolle Experimentierrolle der Hirnpräparation bzw. gegen eine ebenso anspruchsvolle, die Verfolgung der

Präparationsschritte beinhaltende und den Präparationsfortschritt begutachtende, Rolle als Versuchsleiter erklärt werden könnte.

Das insgesamt Treatment-abhängige, für die englische Subgruppe verringerte *Flow*-Erleben scheint in einer kognitiv-sprachlich anspruchsvolleren Betätigung begründet zu sein und bestätigt die formulierte erste Forschungsfrage zum Treatment-abhängigen *Flow*-Erleben. Dem gegenüber weisen weitestgehend Rollen-unabhängige Ergebnisse des *Flow*-Erlebens darauf hin, dass für die experimentbezogenen Rollen insgesamt ein hohes Aufgehen in der Tätigkeits- und Gegenstands-bezogenen Auseinandersetzung und eine optimale Passung angenommen werden kann (Csikszentmihalyi 1975). Eine rollenspezifische Abhängigkeit des *Flow*-Erlebens, wie in der zweiten Hypothese formuliert, kann somit nicht bestätigt werden.

Zur zukünftigen Erhebung des *Flow*-Erlebens, das hier durch lediglich zwei Items repräsentiert war und eine Reliabilität von α 0,520 zeigte, kann in weiteren Studien beispielsweise auf die mehrere Items umfassenden Kurzsкала zum *Flow*-Erleben von Rheinberg et al. (2003) zurückgegriffen werden.

4.2.2.4 Skala des bilingualen Handelns

Einige Studien belegen die affektive Wirksamkeit bilingualer Lehr-Lernarrangements (z.B. Rodenhauser und Preisfeld 2015, 2016, Rumlich 2015). Fraglich war, ob eine affektive Wirksamkeit bereits nach einer eintägigen Intervention messbar ist. Aus der Überlegung heraus, dass für diese Studie zum bilingualen Sachfachlernen die Ausprägungen der Variablen zum selbsteingeschätzten Fähigkeitsselbstkonzept und zum Druckempfinden Bilingualität sowie die eingeschätzte Bedeutung des Fremdsprachengebrauchs als Authentizitätsmerkmal naturwissenschaftlicher Experimental-Interventionen von besonderer Bedeutung waren, wurden die folgenden Forschungsfragen formuliert:

Forschungsfrage 10.1: Bewirkt ein eintägiger bilingual-englisch durchgeführter Schülerlabortag gegenüber einem monolingual durchgeführten Treatment eine Steigerung des fremdsprachlichen Fähigkeitsselbstkonzepts und eine Reduzierung des Druckempfindens? Welche Unterschiede ergeben sich bezüglich der identifizierten Lernertypen?

10.2 Wird der Fremdsprachengebrauch als authentisches Merkmal naturwissenschaftlicher Forschung angesehen? Wird die Einschätzung der

Bedeutung der Fremdsprache in der naturwissenschaftlichen Forschung durch das Treatment oder die identifizierten Personenvariablen zum Lernertyp beeinflusst?

Für monolingual-deutsch durchgeführte eintägige Schülerlaborkurse belegten einige Studien einen Einfluss auf das fachspezifische Fähigkeitsselbstkonzept (z.B. Brandt 2005, Pawek 2009). Damerau (2012) wies eine Steigerung für einige der durchgeführten Kurse nach. Anhand bilingual-englischer Schülerlabortage konnte Rodenhauser (2016) eine geringe bis keine Steigerung des biologischen Fähigkeitsselbstkonzepts ermitteln. Bisher untersuchen wenige Studien die Entwicklung des fremdsprachlichen Fähigkeitsselbstkonzepts (Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität).

Es wird grundsätzlich angenommen, dass das Fähigkeitsselbstkonzept eine veränderbare Größe darstellt (z.B. Woolfolk 2008), die u.a. aus der aktuellen Kompetenzerfahrung im entsprechenden Sachgebiet erwächst. Interessanterweise wurde in dieser Studie Treatment-unabhängig ein homogener, sehr bedeutsamer langfristiger Anstieg des *Fähigkeitsselbstkonzeptes Bilingualität* belegt. Erklärbar wurden die Befunde durch eine Betrachtung der Lernertypen. Cluster-spezifisch erhöhte sich das auch fremdsprachlich ausgerichtete Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität für den Lernertyp der Biologen sowohl kurz- wie langfristig bedeutsam. Auch zeigten die Fremdsprachler langfristig ein bedeutsam höheres Fähigkeitsselbstkonzept. Ansätze für eine Erklärung liefert die Überlegung, dass das Fähigkeitsselbstkonzept als Resultat externaler und internaler Vergleiche zu betrachten ist (Woolfolk 2008). Das fremdsprachliche Kompetenzerleben kann für die biologisch Begabten im sozialen Vergleich zu einer Steigerung ihres Kompetenzerlebens und aus dieser Kompetenzerfahrung heraus langfristig zu einer noch optimistischeren Einschätzung führen. Erklärungsansatz bietet folglich die Identifizierung mit dem Lerngegenstand in der praktischen Lernsituation des Labors. Diese kann zu einer höheren Bereitschaft führen, sich mit dem Lerngegenstand auseinander zu setzen, was nachhaltig günstige Bedingungen für das Kompetenzerleben bietet. Diese positiven Erfahrungen bedingen im Sinne des Erwartungs-Wert-Modells von Eccles et al. (1983) ein höheres Fähigkeitsselbstkonzept. Von Bedeutung für die positive Einschätzung des bilingualen Fähigkeitsselbstkonzeptes kann auch die andere Wahrnehmung des fremdsprachlichen Einsatzes am Labortag sein, die auf eine funktionale Nutzung der

Fremdsprache als Kommunikationsmittel abzielt (z.B. Scheerso 2009). Der langfristige Anstieg der Kompetenzwahrnehmung seitens der Fremdsprachler kann mit deren Kompetenzerleben im nicht so geschätzten Fach Biologie aufgrund ihrer fremdsprachlichen Kenntnisse im dimensional Vergleich der beiden Fächer zurückzuführen sein und äquivalent zur zuvor geschilderten Deutung für die Biologen die nachhaltige Wirkung erklären. Die zuvor diskutierten vielversprechenden Lernertypen-spezifischen Befunde können entsprechend sowohl hinsichtlich der doppelten Wirksamkeit bilingualer naturwissenschaftlicher Sachfachbildung als auch hinsichtlich einer MINT-Förderung interpretiert werden. Es kann angenommen werden, dass bilinguale experimentelle Lehr-Lerninterventionen sowohl das Potenzial besitzen, sprachlich orientierte Lernende als auch biologisch oder MINT-interessierte Schülerinnen besonders anzusprechen.

Hinsichtlich der eingangs formulierten Forschungsfrage kann keine ausschließlich für das englische Treatment realisierte Steigerung des Fähigkeitsselbstkonzepts belegt werden. Jedoch wird für das Fähigkeitsselbstkonzept eine Lernertypen-differente Entwicklung identifiziert, die diese Forschungsfrage entsprechend bestätigt. Hinsichtlich des Fähigkeitsselbstkonzepts Bilingualität wird für die Lernertypen der Biologen eine kurz- wie langfristige und von den Fremdsprachlern langfristige Zunahme registriert.

Da das Konstrukt *Fähigkeitsselbstkonzepts Bilingualität* nicht für alle Messzeitpunkte eine befriedigende Reliabilität zeigte, erscheint es angemessen, das Konstrukt in folgenden Studien einer weiteren Überprüfung zu unterziehen.

Wie für das laborbezogene Druckempfinden wurden hinsichtlich des *Druckempfindens Bilingualität* Treatment-unabhängig über den gesamten Messzeitpunkt konstante Werte ermittelt, wobei dieses höher als das laborbezogene Druckempfinden ausfielen. Gleichzeitig wurde Lernertypen-spezifisch für die Allrounder ein langfristiger Abfall belegt. Es kann somit festgestellt werden, dass ein in der Forschungsfrage angenommener Abfall des Druckempfindens durch eine eintägige bilinguale Experimental-Intervention nicht bewirkt wurde. Jedoch wurde eine Cluster-spezifische Abnahme des Druckempfindens Bilingualität seitens der Allrounder registriert und somit dieser Aspekt der zweiten Forschungsfrage verifiziert. Erklärbar ist die Konstanz des Druckempfindens damit, dass ein durch einen Sachgegenstand bedingtes Druckempfinden durch eine länger währende bzw. mehrfach wahrgenommene

Kompetenzerfahrung verringert werden kann. Andererseits führte die konkrete Situation eines bilingualen Schülerlabortages weder zu einer Verstärkung noch zu einer Verringerung des Druckempfindens. Auch andere Studien eintägiger Interventionen belegen ein gleichbleibendes Druckempfinden (Rodenhauser 2016). Für eine längerfristige modulare bilinguale Intervention wird ebenfalls ein gleichbleibendes Druckempfinden belegt, mit jedoch leicht höherem Druckempfinden für die bilinguale Treatmentgruppe (Hartmannsgruber 2014). Das grundsätzlich unterschiedliche Druckempfinden für die verschiedenen, von ihm durchgeführten Laborkurse belegt beispielsweise auch Damerau (2012). Der in der vorliegenden Studie beobachtete Cluster-spezifische Abfall des Druckempfindens Bilingualität bei den Allroundern kann mit deren Kompetenzerleben hinsichtlich beider Domänen Biologie und Englisch erklärt werden. Ein bilinguales Kompetenzerleben kann für doppelt interessierte Allrounder in einer Abnahme des Druckempfindens münden, wenn das Erinnern des Kompetenzerlebens in Retrospektive so eindrücklich ist, dass sie langfristig zu einer anderen Einschätzung des Druckempfindens gelangen.

Für das Konstrukt *Bedeutung der Sprache* fallen die Mittelwerte Treatment-unabhängig kurzfristig bedeutsam ab, steigen jedoch langfristig bedeutsam an. Dass dieser kurzfristige Abfall mit einer anderen Wahrnehmung des funktional ausgerichteten fremdsprachlichen Einsatzes im Labortag (vgl. Scheerso 2009) zu erklären ist, ist denkbar. Langfristig wurde nach Besuch des Schülerlabortages die Bedeutsamkeit des Fremdsprachengebrauches seitens der Naturwissenschaftler höher eingeschätzt. Das Erleben eines universitär durchgeführten, ganztägigen Schülerlabortages scheint sowohl bilingual-englisch als auch monolingual-deutsch durchgeführt eine erhöhte Einschätzung der Bedeutsamkeit zu bewirken. Cluster-differenzierend wurde für die Biologen langfristig ein signifikanter Anstieg in der Einschätzung der Bedeutsamkeit ermittelt. Das Bewusstsein für die Notwendigkeit des fremdsprachlichen Gebrauchs in den Naturwissenschaften wurde in Folge des Schülerlabortages entsprechend am deutlichsten von den Biologen verstärkt eingeschätzt. Dieser Lernertypen-spezifische Befund kann im Zusammenhang mit dem ebenfalls gestiegenen Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität seitens der Biologen erklärt werden. Vergleichbar der Erörterung des gesteigerten Fähigkeitsselbstkonzepts Bilingualität der Biologen kann hier ein dem Rahmenreferenzmodell (Marsh 1986, 1990) entsprechendes, Domänen-überschreitendes Ansteigen der Bedeutungszuweisung angenommen werden. Biologen schienen demgemäß eher

den im naturwissenschaftlichen Forschungsumfeld angenommenen Gebrauch der Fremdsprache im Sinne eines authentischen Merkmals von Schülerlaboren anzuerkennen als andere Lernertypen. In weiteren Studien könnte diese Annahme differenzierter exploriert werden.

Zusammenfassend kann wie folgt geschlossen werden: Interessanterweise ist die Wirkung seitens des Labortages für alle Dimensionen der Skala des bilingualen Handelns in Höhe und Entwicklung insgesamt Treatment-unabhängig. Clusterdifferenzierend wurde für der Lernertyp der Biologen und eine affektive Wirksamkeit hinsichtlich des Fähigkeitsselbstkonzeptes Bilingualität und der eingeschätzten Bedeutsamkeit des Fremdspracheneinsatzes belegt. Für die Fremdsprachler wurde langfristig ein erhöhtes Fähigkeitsselbstkonzept ermittelt und für die Allrounder langfristig ein Abfall des Druckempfindens.

4.2.2.5 Metakognitive Strategien

Vielfach angenommen ist ein enger Zusammenhang zwischen dem Strategiegebrauch und dem Wissenserwerb bzw. der Lesekompetenz. Entsprechend sind die Forschungsfragen zu den metakognitiven Strategien, wie folgt, formuliert:

Forschungsfrage 11.1: Lassen sich Zusammenhänge der metakognitiven Strategien zum kognitiven Wissenstest bzw. zum fremdsprachlichen Sprachtest bestätigen?

11.2: Welchen Einfluss haben Treatment und Dispositionen auf die Ausprägung und Entwicklung der metakognitiven Strategien?

Während zwischen dem Wissenstest zum Posttestzeitpunkt und den metakognitiven Strategien ein bedeutsamer Zusammenhang bestand, wurde zum Ergebnis des *Cloze* Test kein signifikanter Zusammenhang ermittelt. D.h. Lernende, die ihre Nutzung metakognitiver Strategien hoch einschätzten, waren auch im kognitiven Wissenstest erfolgreich. Somit wird die erste Forschungsfrage für die kognitive Wissenskomponente bestätigt. Dieses Ergebnis bestätigt den engen Zusammenhang von Lesekompetenz und Strategiewissen (Artelt et al. 2009). Gleichzeitig kann zur Interpretation der Zusammenhänge zwischen den Wissenstestergebnissen und metakognitiven Strategien die Interdependenztheorie von Cummins (1979) angeführt werden, die besagt, dass der Kompetenzgewinn in der Zweitsprache abhängig von jenem in der Erstsprache ist. So wird beispielsweise auch in DESI (DESI-Konsortium 2008) eine Interdependenz zwischen Kompetenzbereichen verschiedener Sprachen

und ein positiver Zusammenhang zwischen der Lesekompetenz bzw. der Textproduktion in deutscher und englischer Sprache belegt (Hartig und Jude 2008). Übertragen auf das Beispiel der metakognitiven Strategien kann hinsichtlich der Interdependenztheorie und des engen Zusammenhangs zwischen verschiedenen Teilkompetenzen in korrespondierenden Sprachen angenommen werden, dass das in der Muttersprache erworbene Strategieinventar auf die in der Fremdsprache durchgeführte Lese- und Textproduktions-Aufgabe Anwendung findet.

Der nicht bedeutsame Zusammenhang der metakognitiven Strategien und des *Cloze* Tests konnte damit erklärt werden, dass die in den Items formulierten Strategieausprägungen für die Lösung des *Cloze* Tests nicht sachdienlich sind.

Cluster-unabhängig wurde für die metakognitiven Strategien eine langfristige Konstanz der Werte ermittelt, begleitet von einem kurzfristigen signifikanten Abfall moderater Effektstärke. Dieser war begleitet von einem Treatment-abhängigen Abfall in der englischen Subgruppe und einer Konstanz in der deutschen Subgruppe. Dabei wird die Unveränderlichkeit der metakognitiven Strategien durch die Aussage gestützt, dass diese insofern als stabil anzusehen sind, als sie in früheren Lese- und Verstehenserfahrungen gründen (z.B. Artelt et al. 2009). Andererseits wird eine Situiertheit und Variabilität für sie angenommen, wenn Berücksichtigung findet, dass sie von Erfahrungen, der konkreten Lernanforderung, der Motivation und Emotionen abhängig sind (Artelt et al. 2009). Mindestens die Unvertrautheit der konkreten Lernanforderung könnte als möglicher Grund für die zum Posttest abfallende Einschätzung in der bilingualen Treatmentgruppe angeführt werden. Auch können die formulierten Items des Konstruktes als in der konkreten bilingualen Laborsituation und der damit verbundenen Lesetätigkeit, der nachfolgenden Ergebnissicherung sowie der Abschlussdiskussion als nicht unterstützende oder hilfreiche Optionen angesehen worden sein.

4.2.2.6 Abschließende Betrachtung der Zusammenhänge der biologischen und fremdsprachlich-bilingualen Aspekte des Schülerlabortages

Nachdem zuvor schwerpunktmäßig die Höhe und Entwicklung von affektiven Variablen beleuchtet wurde, werden nachfolgend die Zusammenhänge der biologisch und bilingual ausgerichteten Konstrukte betrachtet, deren Forschungsansatz folgendermaßen formuliert ist:

Forschungsfrage 12: Welcher Zusammenhang besteht innerhalb der biologischen und bilingualen Variablen am Schülerlabortag?

Wie bereits zuvor in Kapitel 3.5 geschildert, belegen Studien einen bedeutsamen Zusammenhang zwischen den biowissenschaftlichen Laborvariablen (z.B. Damerau 2012). Auch bestätigt sich der in anderen Studien ermittelte Zusammenhang zwischen dem Fachinteresse Biologie und dem experimentbezogenen Sachinteresse der Teilkompetenzen Durchführung und Auswertung (z.B. Damerau 2012). Weiterhin wird ein enger Zusammenhang zwischen dem Fachinteresse Biologie und dem Streben nach authentischer Laborerfahrung (Authentizität) belegt. Interessanterweise korrelierten das Fachinteresse Englisch und die als Laborvariablen aufgefassten Variablen Druck Bilingualität und Bedeutung Sprache am Labortag höchst bedeutsam negativ. Darüber hinaus wurde am Labortag kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Fachinteresse Englisch und dem Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität belegt. Erklärungsansatz für diesen letzten Befund bietet die zuvor geschilderte Cluster-abhängige Entwicklung des Fähigkeitsselbstkonzepts, die für die Lernertypen der Biologen einen kontinuierlichen, für die Fremdsprachler einen langfristigen Anstieg des Fähigkeitsselbstkonzepts auswies. Entsprechend unabhängig vom Fachinteresse Englisch entwickelten die Biologen aufgrund des am Labortag realisierten Kompetenzerlebens ein gesteigertes Fähigkeitsselbstkonzept. Die Fremdsprachler wiederum entwickelten begründet im Fachinteresse Englisch aufgrund des mittels der Fremdsprache am Labortag wahrgenommenen Kompetenzerlebens anhand eines biologischen Sachverhaltes langfristig ein erhöhtes Fähigkeitsselbstkonzept. Einen Erklärungsansatz für den sehr bedeutsamen negativen Zusammenhang von Fachinteresse Englisch und Druck Bilingualität und Bedeutung Sprache kann der Cluster-abhängige langfristige Abfall des Drucks Bilingualität der Allrounder bieten. Allrounder zeigten sowohl ein hohes Fachinteresse Biologie als auch ein hohes Fachinteresse Englisch. Dieses doppelte Fachinteresse weist der Personen-Gegenstand-Theorie (Krapp 1998) folgend auf ein vertieftes Interesse am Gegenstand beider Fächer und ein hohes Interesse der Betätigung mit diesem kombinierten Sachgegenstand hin. Gleichzeitig strebt eine Person nach wiederholtem Kompetenzerleben. Eine Reduktion des durch den Sachgegenstand bedingten Druckempfindens kann folglich erst nach mehrmaligen, von der Person als erfolgreich betrachteten Sachauseinandersetzungen gelingen. Der sehr bedeutsame negative Zusammenhang des Fachinteresses Englisch und der Bedeutung Sprache kann

entsprechend damit erklärt werden, dass Lernende, die ein hohes Interesse im Fach Englisch hatten, nicht notwendigerweise den sachfachlichen Anwendungsbezug der Fremdsprache Englisch, beispielsweise im naturwissenschaftlichen Forschungsbereich hoch einschätzten. Diese Überlegung wird ebenfalls durch die Beobachtung gestützt, dass die Lernertypen der Biologen langfristig höchst signifikant zu einer erhöhten Einschätzung der Sinnhaftigkeit des Fremdsprachengebrauchs in naturwissenschaftlichen Kontexten gelangten, für sie möglicherweise diese Einschätzung aufgrund ihres biologischen Interesses einsichtig erschien. Hier kann, anders als im Referenz-Rahmenmodell von Marsh et al. (Marsh 1986, 1990; Marsh et al. 1988) angenommen, eine Fächer-verschränkte Kompetenzerfahrung bedeutsam sein.

4.2.2.7 Diskussion der Nebenstudien

Nachfolgend werden die im Rahmen von Nebenstudien ermittelten Ergebnisse zur sprachlichen Kommunikation erörtert, die wie folgt in Forschungsfragen zusammengefasst wurden:

Forschungsfrage 13: Wird die fachsprachliche Kommunikation intensiviert? (Nebenstudien)

13.1: Bewirkt ein eintägiger bilingual- englisch durchgeführter Schülerlabortag eine Erhöhung der sachfachlichen Kompetenz, die qualitativ in Form der erstellten Concept Maps beobachtet wird?

13.2: In welcher Art und Weise wird in den dazugehörigen mündlich geäußerten Aushandlungsgesprächen diskutiert? Welche Veränderungen ergeben sich im Vergleich vom Pre- zum Posttest?

13.3: Lassen sich in den Aushandlungsgesprächen und der Abschlusspräsentation in englischer Sprache Diskursfunktionen und andere sprachliche Merkmale nachweisen?

13.4: Welchen Einfluss hat ein bilingual-englisch durchgeführter Labortag auf die sachfachliche Kommunikation in deutscher Sprache?

Nebenstudie I (Odenthal) *Concept Mapping* und Konsensusaushandlung – fachsprachliche Kommunikation in englischer Sprache

Studie I – Fachsprachliche Kommunikation in englischer Sprache

Der mittels *Concept Mapping* für die englische Treatmentgruppe dokumentierte Wissenszuwachs hinsichtlich der Elaboriertheit des Wissens, des Zusammenhangswissens, des komplexen Konzeptverstehens sowie des besseren

Umgangs mit *Concept Maps* belegt die von Killermann et al. (2016) ebenfalls nachgewiesene Förderlichkeit kumulativen Lernens durch das *Concept Mapping*. Nach Einbezug der Pretestunterschiede bedingte ein Vergleich der *Concept Maps* von Lernenden mit und ohne bilinguale Vorerfahrung keine signifikant besseren Ergebnisse der Schülerinnen und Schüler mit bilingualen Vorkenntnissen. Folglich legen die Ergebnisse der vorliegenden Studie nahe, dass Lernende mit und ohne bilinguale Erfahrung gleichermaßen in der Lage sind, *Concept Maps* in englischer Sprache zu einem Sachthema anzulegen und ihr Wissen nach erfolgtem Schülerlaborbesuch erweitert darzustellen. Somit wird bestätigt, dass das *Concept Mapping* als geeignetes Format der Sicherung von Fachwissen dienen kann (Richter und Reischauer 2004). Studien stellen allerdings auch heraus, dass die Effizienz des *Concept Mapping* stark von der Vertrautheit der Lernenden mit dieser Methode abhängt (Graf 2014; Mandl und Fischer 2000; Sumfleth et al. 2010). Befragungen in der in dieser Studie untersuchten Stichprobe zeigten, dass die Mehrzahl der Lerngruppen vertraut mit *Mind Maps*, jedoch unvertraut mit dem *Concept Mapping* war, die Schülerinnen und Schüler dieser Studie entsprechend als Novizen zu betrachten sind. Folglich ist anzunehmen, dass die zwei Effekte der Gewöhnung an die Methode und des sachfachlichen Lernens miteinander einhergehen und die Ergebnisse erklären. Sumfleth et al. (2010) empfehlen daher zur Erhöhung der Lernwirksamkeit von *Concept Maps*, die Methode des *Concept Mapping* zunächst einzuüben. Entsprechend kann in einer neuen Studie eine kleine Einheit zum *Concept Mapping* vorausgeschickt werden, um nachfolgend das sachfachliche Lernen in der Hauptstudie zu ermitteln.

Der Konzepterwerb mittels *Concept Mapping* wurde hier zudem als kooperative Lernform eingesetzt. Mehrfach ist belegt, dass *Concept Mapping* im kooperativen Lehr-Lernarrangement zu erfolgversprechenderen Ergebnissen führt als die Erstellung in Einzelarbeit, da Konzepte aufgrund der erfolgten Diskussion in der Gruppe besser verstanden werden. *Concept Mapping* gilt als effektiveres Mittel für den Konzepterwerb als beispielsweise das Gruppenpuzzle (z.B. Händel und Sandmann 2013, Haugwitz und Sandmann 2009; Okebukola und Jegede 1988). Eine hohe Korrelation zwischen der Anzahl der vorgenommenen Fachaussagen und der Qualität der erstellten *Concept Maps* belegt in diesem Zusammenhang die Bedeutung der Gruppendiskussion (Händel und Sandmann 2013). Als weiterer Indikator

fachsprachlichen Lernens wird der Einsatz von Diskursfunktionen seitens der Lernenden angesehen.

Studie II: Verwendung von Diskursfunktionen

Der hier beobachtete, insgesamt seltene Einsatz von Markern seitens der Lernenden wird auch in anderen Studien belegt (Dalton-Puffer 2013). Der leichte Anstieg der Marker-Benutzung im Bereich *define* und *explain* sowie das Hinzukommen von Markern des Bereiches *hypothesize* sowie ein erhöhter Gebrauch von Markern in den Abschlusspräsentationen werden auf den expliziten Aufforderungscharakter des *Lab Reports* und der darin fixierten Aufgabenstellung sowie die explizite Übungssituation zurückgeführt.

Studie III - Fachsprachliche Kommunikation in deutscher Sprache

Da die deutsche Sachfachliteratur explizites Bildungsziel bilingualen Sachfachunterrichts ist, wurde sie in dieser Studie näher untersucht: Exemplarisch anhand einer Arbeitsgruppe wurde der geleistete Transfer in die deutsche Sprache belegt. Die Kommunikationsstruktur analysierend wurden für diese Arbeitsgruppe ein arbeitsteiliges Agieren und ein Zuwachs an Sprechzeit, ein gesteigerter Gebrauch von Fachbegriffen sowie eine verstärkte Verknüpfung von Theorie und Praxis unter Einbezug der praktischen Übungen beobachtet. Somit wurden Merkmale der Konsensus-Aushandlung (Konrad 2004) sowie Elemente des Experimentierens als hypothesengeleitetes Forschen (Mayer 2014, 2007a) auf Basis eines englisch-bilingual erlebten Schülerlabortages in der deutschen Sprache beobachtet. Allerdings basieren diese Beobachtungen auf einer sehr geringen Stichprobe. Es erscheint interessant, in weiteren Untersuchungen qualitative Befunde des sachfachlichen Wissenszuwachses in der Schulsprache anhand einer größeren Stichprobe zu explorieren. Insgesamt kann jedoch angenommen werden, dass die Ergebnisse der qualitativen Untersuchungen dieser Nebenstudien die quantitativ ermittelten Ergebnisse unterstützen.

4.2.2.8 Lehrkräftebefragung

Abschließend erschien es interessant, die Art die Einbettung der Besuch des Schülerlabortages zu ergründen.

Forschungsfrage 14 (Lehrkräftebefragung): 14.1: Welchen Grund für die Teilnahme am Schülerlabortag führen die Lehrpersonen an?

14.2: Wie ist der Schülerlabortag „The Brain – A Living Network“ in den Unterricht eingebettet?

Entsprechend den Erwartungen wurde von der überwiegenden Mehrheit der Lehrkräfte die Teilnahme am Laborkurs mit der Möglichkeit eines experimental ausgerichteten Labortages zum Thema Neurobiologie begründet. Biologiekurse behandelten die Neurobiologie häufig in letztem Quartal der Qualifikationsphase 2 (Q2), also kurz vor dem schriftlichen Abitur. Die Tatsache, dass es sich um ein bilinguales Angebot handelte, war für die Lehrpersonen von untergeordneter Bedeutung, war andererseits jedoch für die den Labortag buchenden Lehrkräfte nicht ausschlaggebendes Argument gegen eine Teilnahme am Labortag. Der Schülerlabortag war für die Hälfte der Fälle mittig im Kursthema Neurobiologie und hälftig am Ende des Unterrichtsgangs positioniert, was auch durch die bereits teils erfolgte bzw. noch nicht erfolgte Klausur zur Neurobiologie in diesen Kursen belegt wird. Geklärt ist damit noch nicht hinreichend, wie intensiv die Einbindung des Schülerlabortages in das Unterrichtsgeschehen gelingt. Dies könnte in folgenden Studien untersucht werden. Von Interesse ist beispielsweise, welcher Art die schulische Vor- und Nachbereitung des Labortages ist und in welcher Form die Gegenstände und Methoden des Schülerlabortages beispielsweise in eine Klausur zur Neurobiologie einfließen. Die Rückmeldung von Lehrkräften und Lernenden, dass beispielsweise die Hirnpräparation am Schweinehirn ein einzigartiges Erlebnis für die Schülerinnen und Schüler darstellt und dass die Motivation der Lernenden, sich mit der Biologie zu beschäftigen, nach dem Labortag gestiegen sei, lässt annehmen, dass das hier vorgestellte Lehr-Lernangebot insgesamt als bedeutsam für die Schülerinnen und Schüler eingeschätzt werden kann.

4.3 Zusammenfassung und Ausblick

Die übergeordnete Fragestellung hinsichtlich der homogenen kognitiven und affektiven Wirksamkeit von in der deutschen Sprache durchgeführten naturwissenschaftlichen Schülerlabortagen wurde vielfach belegt. Die Ergebnisse der hier vorgestellten Studie bestätigten eine homogene kognitive und fremdsprachliche Wirksamkeit auch für bilinguale Schülerlaborkurse weitestgehend. Der gleichwertige Wissenszuwachs des bilingualen Treatments weist darauf hin, dass die oft angenommene Diskrepanz zwischen kognitiven und sprachlichen Möglichkeiten (z.B. Thürmann 2010) und der oft für den Erfolg angeführte *Creaming Effect* (z.B. Rumlich

2015) bilingualer Züge in dieser Studie nicht als Faktoren für den Erfolg oder Misserfolg des bilingualen experimentalen Lehr-Lernarrangements herangezogen werden können. Denkbar ist, dass sowohl die ausgebauten Englischkenntnisse der Lernenden der Sekundarstufe II als auch die unterstützend wirkenden *Scaffolds* sowie die sozialen Aushandlungsmöglichkeiten die homogen erfolgreiche Wissenskonstruktion erklärbar machen. Ferner kann als Erklärungsansatz eine mittlere kognitive Beanspruchung (Cummins 1979) angenommen werden. Dieser, gegenüber der deutschen monolingualen Intervention, gleichwertige kognitive Wissenserwerb im bilingualen Lehr-Lernarrangement ist umso eindrücklicher, als dass die Mehrzahl der Schülerinnen und Schüler mit bilingualen Unterrichtsformaten unvertraut war. Der mittels des *Cloze* Tests registrierte sprachliche Zuwachs ist, wie bereits ausgeführt, uneindeutig und bedarf der weiteren Prüfung.

Auch wenn in dieser Studie gleichwertige kognitive Wissenskonstruktion belegt wurde, lohnt eine Exploration mit weiteren Experimental-Interventionen. In diesem Zusammenhang erscheint eine vertiefte Untersuchung des fachsprachlichen Lernens unter Einbezug des *Integrated Dynamic Model* (Diehr 2016) besonders hinsichtlich des Aspekts der partiellen Äquivalenz auch für den bilingualen Biologieunterricht, der für die kombinierte sprachbewusste und sachfachliche Auseinandersetzung bei interkultureller Fokussierung bedeutsam werden kann.

Die Experiment-bezogene affektive Wirksamkeit des bilingualen Schülerlabortages erwies sich interessanterweise weitestgehend als Treatment-unabhängig. Beispielsweise stieg das Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität Treatment-unabhängig langfristig an, was durch die Entwicklung der Lernertypen erklärbar wird: Zum einen stiegen kurz- wie langfristig die Werte des Fähigkeitsselbstkonzepts bei den Biologen und zum anderen stiegen langfristig die Werte bei den Fremdsprachlern. Bezeichnenderweise zeigten diese beiden Lernertypen vor der Intervention besonders niedrige Werte für das Fähigkeitsselbstkonzept im Vergleich zu den Allroundern. Die Steigerung des Fähigkeitsselbstkonzepts bei den beiden Lernertypen ist mit dem am Labortag erfahrenen Kompetenzerleben erklärbar. Bedeutsam ist der Anstieg des Fähigkeitsselbstkonzepts, da es in Zusammenhang zum Interessenskonstrukt steht. Ein stärkeres gegenstandsbezogenes Interesse kann angenommen (z.B. Krapp 1998) und davon ausgegangen werden, dass sich eine Person zukünftig mehr mit dem

Sachgegenstand befassen wird. Weiterhin wurde in dieser Studie belegt, dass das bilinguale Treatment kein signifikant höheres Druckempfinden Bilingualität bedingte. Gleichzeitig konnte ein gleichbleibendes Druckempfinden registriert werden, dass mit einem langfristigen Abfall des Druckempfindens seitens der Allrounder verbunden war. Diese beiden Befunde belegten, dass das Druckempfinden eine veränderbare Größe ist, die durch Lehr-Lernarrangements beeinflusst werden kann. Das Sinken des Druckempfindens kann damit erklärt werden, dass die Lernertypen der Allrounder einerseits ein hohes Fachinteresse für Biologie und Englisch sowie ein hohes Fähigkeitsselbstkonzept besaßen. Diese wiederum könnten mit einem Kompetenzerleben bilingualer Lehr-Lernsituationen in Verbindung gebracht werden. Die Wirksamkeit des bilingualen experimentellen Schülerlabortages weiter beleuchtend, fällt auf, dass die Lernertypen der Biologen am eindrücklichsten zu einer langfristigen positiven Einschätzung des Fremdsprachengebrauchs für die naturwissenschaftliche Forschung gelangten. Für sie ist der Fremdsprachengebrauch im Labor am ehesten als authentisch zu bezeichnen.

Mit Blick auf die Experimentalsituation selbst wird deutlich, dass das Bedürfnis nach authentischer Forschungserfahrung (Authentizität) im Anschluss an den Labortag Treatment-unabhängig kurz- wie langfristig bedeutsam zunahm. Die den in deutsch-monolingual durchgeführten Schülerlabortagen zugesprochene Wirksamkeit (z.B. Damerau 2012) kann auf bilingual-englische Schülerlaborkurse übertragen werden. Zugleich wurde dieser Anstieg des Authentizitätsbedürfnisses bei den Allroundern und Biologen abgebildet, nicht aber bei den Fremdsprachlern. Weiterhin wurde, wie auch in vergleichbaren deutschen Schülerlaboren (z.B. Damerau 2012), ein kurzfristiger Anstieg des experimentbezogenen Fähigkeitsselbstkonzeptes ermittelt, welcher die Wirksamkeit für die bilinguale Experimental-Intervention in Hinblick auf die Möglichkeit des experimentbezogenen Kompetenzerlebens belegt. Für das stärker Sprach-intensive Fähigkeitsselbstkonzept der Auswertung wurde entsprechend ein Treatment-differenter kurzfristiger Anstieg der deutschen und ein kurzfristiger Abfall in der englischen Treatmentgruppe identifiziert. Erklärungsansatz für den in der englischen Treatmentgruppe registrierten Abfall bietet der individuelle Vergleich eigenen Kompetenzerlebens aktuell mit früherem Kompetenzerleben im Fach Biologie oder Englisch, bzw. auch der soziale Vergleich mit anderen Gruppenmitgliedern, zu denen man vergleichsweise weniger gut abschnitt. Für das abschließend betrachtete

experimentbezogene *Flow*-Erleben kann einerseits eine Treatment-Abhängigkeit dokumentiert werden, welche auf eine kognitive Erschwernis durch den Einsatz der Fremdsprache als Arbeitssprache und als Medium des Lernens hinweist. Andererseits wurde kein Gruppenunterschied bezüglich der eingenommenen experimentbezogenen Rollen ermittelt. Folglich konnte eine vergleichbare Absorbiertheit durch alle eingenommenen Rollen für die betrachteten Experimente angenommen werden.

Allerdings scheint es aufgrund der wenig differenzierten Erhebung des *Flow*-Erlebens mittels zwei Items angemessen, bei perspektivisch zu verfolgenden Studien auf einen umfangreicheren *Flow*-Kurzfragebogen (z.B. Rheinberg et al. 2003) zurückzugreifen. Interessant erscheint, an weiteren Experimental-Interventionen das *Flow*-Erleben der experimentbezogenen Rollen zu untersuchen, um die in dieser Studie ermittelten Ergebnisse zu fundieren oder zu relativieren.

Die in den Nebenstudien eingesetzten Messinstrumente könnten für nachfolgende Studien zum bilingualen Unterricht modifiziert eingesetzt werden. Die Ergebnisse des *Concept Mapping* belegten einen sachfachlichen Wissenszuwachs qualitativer wie quantitativer Hinsicht (Odenthal 2015) und bestätigten somit die Ergebnisse der Hauptstudie sowie die grundsätzliche Eignung als Sicherungs- und Visualisierungsmethode kumulativen Lernens (vgl. Killermann et al. 2016; Richter und Reischauer 2004). Wie bereits diskutiert, erscheint es empfehlenswert, dem Einsatz des *Concept Mapping* als Sicherungsmethode eine einführende Phase in die Methode voranzuschicken.

Durch die Lehrerbefragung wurde in dieser Studie ein sehr globaler, unvollständiger Einblick in die unterrichtliche Einbindung gewonnen. Da deren Wichtigkeit für den Erfolg des Schülerlaborbesuchen wiederholt betont wird (z.B. Itzek-Greulich 2014), könnte in folgenden Studien ein Augenmerk auf die Entwicklung von spezifischeren Messinstrument und/ oder auf die Entfaltung didaktisch-methodischen Konzepte zur expliziten Integration des Schülerlabortages in den schulischen Unterricht gerichtet werden.

Wenn auch die Frage des Erreichens der doppelten Sachfachlitalität in dieser Studie für die Schul- und Fremdsprache positiv beantwortet werden kann, ist damit ein

Erlangen der doppelten Sachfachlitalität für andere Altersstufen nicht belegt. Weitere Studien können beispielsweise die doppelten Sachfachlitalität in verschiedenen Altersstufen und somit auf unterschiedlichen fremdsprachlichen wie sachfachlichen Niveaus explorieren. Denkbar ist beispielsweise ein mit zunehmendem Bildungsstand gestuftes Vorgehen bei der Entfaltung einer doppelten Sachfachlitalität (Frisch 2016). Eine kognitiv aktivierende Methode mit einem Darstellungswechsel kombiniert stellt beispielsweise der von Bohrmann-Linde (2016) vorgeschlagene Unterrichtsmodell zum funktionalen Sprachwechsel dar. Gleichzeitig ist die Entwicklung und Untersuchung geeigneter Methoden und Unterrichtsformate zur Erreichung der doppelten Sachfachlitalität bedeutsam. So könnte das *Concept Mapping* im Pre-Post-Vergleich zur Exploration der doppelten Sachfachlitalität dienen. Auch die Analyse der Tonaufnahmen der zugehörigen Aushandlungsgespräche könnte die kontrastive Untersuchung des fachsprachlichen Lernens in der Schul- und Fremdsprache unterstützen. Weiterhin erscheint es interessant zu untersuchen, ob der bei Heidemann (2015) und Dalton-Puffer (2009, 2013) belegte geringe Gebrauch von Diskursmarkern ein genuin bilinguales Problem oder eher ein grundsätzliches Problem des Sachfachunterrichts darstellt.

Auch wenn in dieser Studie für das bilinguale Treatment ein gleichwertiges sachfachliches Lernen belegt wurde und dieses beispielsweise mit der vertieften semantischen Verarbeitung aufgrund der Bearbeitung auf sprachlicher wie kognitiver Ebene erklärt wurde, ist damit die semantische Verarbeitungstiefe selbst noch nicht untersucht und belegt. Bedeutsam erscheint es darum, Messinstrumente zu entwickeln, welche eine semantische Verarbeitungstiefe explorieren. Hinweise auf Verarbeitungsprozesse könnten Untersuchungen zu gestaffelten *Scaffolding* sowie bilinguale Unterrichtsmodelle zu verschiedenen Darstellungsformen bieten.

Als aufschlussreich hat sich weiterhin in dieser Studie die Identifizierung von Lernertypen erwiesen. Auf dieser Grundlage konnten beobachtete Zusammenhänge und Entwicklungen diskutiert werden, welche anderenfalls unerklärbar geblieben wären. Eindrücklich wurde dieses beispielsweise für die kurz- und langfristige Wirksamkeit des bilingualen Schülerlabortages auf das Fähigkeitsselbstkonzept Bilingualität belegt, welches u.a. aus einem kombinierten Kompetenzerleben und dem fachlichen Interesse an der Biologie und/oder an Englisch resultierte und eine besondere Wirkung für die Lernertypen der Biologen und Fremdsprachler entfaltete.

Es erfolgte jedoch stichprobenbedingt keine Treatment-bezogene Aufschlüsselung der Lernertypen. Erstrebenswert wäre es, in folgenden Studien mit größeren Stichproben explizit die Lernertypen vergleichend in monolingual-deutschen und bilingual-englischen Treatments zu untersuchen.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Frühe Embryonalentwicklung des menschlichen Nervensystems (nach 60 Tagen), verändert nach Purves (2011)	20
Abbildung 2: Menschliches Gehirn in seitlicher Außensicht (Modell). Grau unterlegt sind die Hirnregionen.	21
Abbildung 3: Substantia grisea (Graue Substanz) und Substantia alba (Weiße Substanz) der Großhirnrinde (Menschliches Gehirn, Modell)	22
Abbildung 4: Querschnitt durch das menschliche Gehirn (Medianschnitt, Modell). Grau hinterlegt sind die Hauptregionen des Gehirns.	23
Abbildung 5: Leptomeninx inklusive Blutgefäßen	25
Abbildung 6: Schweinehirn in Außenansicht: Grau hinterlegt sind die Hirnregionen	25
Abbildung 7: Schweinehirn im Medianschnitt	26
Abbildung 8: Die vier Hirnlappen der Großhirnhemisphäre, verändert nach Purves (2011)	27
Abbildung 9: Neuronen und ihre typischen Kennzeichen: Neuron schematisch und Pyramidenzelle schematisch, verändert nach Purves (2011). Der Pfeil indiziert die Richtung der Informationsweiterleitung.	29
Abbildung 10: Aufbau der Großhirnrinde schematisch (links), mikroskopisch (rechts): Unter der Hirnhaut liegt die Großhirnrinde, die aus einer Molekularschicht (I) besteht, der mehrere Schichten Pyramidenzellen, sog. Zellschichten (II-IV) folgen. Verändert nach Bear et al. (2009). Im mikroskopischen Bild wird die Anordnung der Pyramidenzellen in Säulen deutlich.	31
Abbildung 11: Mikroskopische Bilder der Pyramidenzellen in unterschiedliche Vergrößerung (eigene Aufnahmen). Links: Pyramidale Form der Zellkörper sowie Zellkern und Dendriten sind sichtbar, Axon nicht unterscheidbar. Rechts: Pyramidenzellen im Detail: 1 Zellkörper, 2 Nucleus, 3 Axon- bzw. Dendritenursprünge	32
Abbildung 12: Das Ruhepotenzial (Wesentliche Kenngrößen): Der Graph zeigt das gemessene Membranpotenzial in Millivolt (mV). In der Tabelle sind maßgebliche Merkmale des Ruhepotenzials fett hervorgehoben. Kanäle für Chlorid- und Calcium-Ionen bleiben unberücksichtigt.	34
Abbildung 13: Das Aktionspotenzial (Wesentliche Kenngrößen): Der Graph zeigt den zugehörigen Verlauf des Membranpotenzials. In der Tabelle sind maßgebliche Merkmale des Aktionspotenzials fett hervorgehoben.	36
Abbildung 14: Die synaptische Übertragung am Motoneuron, nach Heckmann & Dudel (2010) sowie Purves (2011)	39
Abbildung 15: Bipolare Ableitung am Frontal- und Okzipitallappen mit frontaler Referenzelektrode	47
Abbildung 16: Ausschnitt eines Gesamt-EEG (in grün dargestellt) mit den vier Frequenzbändern der Alpha-(blau), Beta-(rot), Theta-(pink) und Deltawellen (violett)	47
Abbildung 17: EEG bei geschlossenen Augen im Überblick (links) und Detail Alphawellen - Alpha-Grundrhythmus (rechts)	48
Abbildung 18: EEG bei geöffneten Augen im Überblick (links) und Detail Alphawellen – Blockade des Alpha-Grundrhythmus (rechts)	49
Abbildung 19: Entstehung elektrischer Felder durch synaptische Potenziale in Pyramidenzellen, verändert nach Bear et al. (2009). Eine elektrische Elektrode würde ein viel größeres Areal, als hier angedeutet, bedecken.	50
Abbildung 20: Mechanismen der Rhythmisierung: Schrittmacher (links), kollektive Rhythmisierung (rechts), verändert nach Bear et al. (2009)	52
Abbildung 21: Cup stacking - Phasen des Versuches (von links nach rechts). Ausgangsposition mit 3 -6 -3 Stapeln, mittlere Position, Endposition	53
Abbildung 22: Idealisierte Lernkurve: 1 – Nullphase, 2 – Lernphase, 3 - Kannphase	53

Abbildung 23: Kortexareale der Planung und Steuerung von Willkürbewegungen, verändert nach Bear et al. (2009)	56
Abbildung 24: Kleinhirn quer am Hausschwein: Frischmaterial (links) und Mensch Modell (rechts) (Eigene Aufnahmen): Weiß im Innern die Substantia alba, umgeben von dunkel erscheinender Kleinhirnrinde (Substantia grisea).	60
Abbildung 25: Struktur der Kleinhirnrinde (Mikroskopisches Bild)	63
Abbildung 26: Struktur der Kleinhirnrinde (schematisch), verändert nach Bear et al. (2009). In der Legende rechts sind die Namen der Neuronentypen schwarz, die Namen der Axone verschiedener Neuronen graufarbig hervorgehoben.	64
Abbildung 27: Mechanismus der Induktion eines LDP im Kleinhirn, verändert nach Bear et al. 2009	66
Abbildung 28: Anatomie des Hippocampus und seine Mikroschaltkreise, verändert nach Bear et al. (2009) & Birbaumer und Schmidt (2006a)	67
Abbildung 29: Molekulare und strukturelle Veränderungen nach LTP an hippocampaler CA1-Region: a) Expression von LTP in CA1, verändert nach Bear et al. (2009), b.) Strukturelle Veränderungen, verändert nach Birbaumer und Schmidt (2006a)	69
Abbildung 30: Modales Gedächtnismodell inklusive wesentlicher Informationsverarbeitungsprozesse im Überblick (nach Anderson 2007, Birbaumer & Schmidt 2010, Buchner 2012, Diehr 2016, Sousa 2012)	75
Abbildung 31: Vergleich von Lernarrangements gemäß der Cognitive Load Theory (Chandler und Sweller 1991)	80
Abbildung 32: Interessensgenese (verändert nach Krapp 1998)	86
Abbildung 33: Erweitertes Modell zum Selbstkonzept nach Shavelson & Marsh (Marsh 1990; Marsh et al. 1988, Shavelson et al. 1976): Exemplarisch sind für den in dieser Studie untersuchten bilingualen Schülerlabortag das naturwissenschaftlich-akademische und das verbalsprachliche akademische Selbstkonzept differenziert dargestellt. Weiterhin sind für das Fach Biologie ein sachfachliches Selbstkonzept Neurobiologie sowie ein psychomotorisch ausgerichtetes Selbstkonzept Experimentieren in seinen experimentbezogenen Teilkompetenzen Hypothesenbildung bis Präsentation aufgeführt.	87
Abbildung 34: Grundformen des Erkundens, verändert nach Spörhase (2012)	103
Abbildung 35: Kompetenzmodell naturwissenschaftlichen Denkens, ergänzt um Situationsvariablen (nach Mayer 2007a)	107
Abbildung 36: Gemäßigter Konstruktivismus: Praxisorientierte Position zum Lernen und Lehren, verändert nach Reinmann und Mandl (2006)	112
Abbildung 37: Trias sachfachlichen (Inhalt), methodischen und sprachlichen Lernens im bilingualen Unterrichts (CLIL) sowie zugehöriger Stützfunktionen (Scaffolding) (Buse und Preisfeld 2016)	128
Abbildung 38: Dimensionen bilingualen Sachfachunterrichts und begleitende Gerüstmaßnahmen bei der Erlangung inhaltlicher, sprachlicher und reflexiver Kompetenzen	130
Abbildung 39: Integrated Dynamic Model des mentalen Lexikons bilingual Unterrichteter (Diehr 2016, mit freundlicher Genehmigung der Autorin hier abgebildet)	137
Abbildung 40: Einflussgrößen der Lesekompetenz (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2007; Leisen 2013b; Hermes 2005; Naumann et al. 2010)	142
Abbildung 41: Beziehungsgeflecht affektiver Wirksamkeit des bilingual-englisch durchgeführten experimentellen Lehr-Lernarrangements	151
Abbildung 42: Aufbau der Studie	162
Abbildung 43: Versuchsdesign der Hauptstudie zum Labortag „The Brain – A Living Network“ (englisch bilingualer Labortag N= 170, deutschsprachiger Labortag N= 48)	163
Abbildung 44: Versuchsdesign der Nebenstudien von Odenthal (2015) in der Phase der Vor- und Hauptstudie und Thum (2015) in der Phase der Hauptstudie	164

Abbildung 45: Versuchsdesign der Nebenstudie von Heidemann (2015) in der Phase der Vor- und Hauptstudie	164
Abbildung 46: Eine Aufgabe mit zugehörigen Items aus dem Wissenstest	168
Abbildung 47: Cloze Test (Ausschnitt)	169
Abbildung 48: Item zum Wahlkriterium des Schülerlabortages	189
Abbildung 49: Item zum vermuteten Interesse an durchgeführten Experimenten	189
Abbildung 50: Items zur Positionierung des Schülerlaborbesuches und der zugehörigen Klausur im Thema Neurobiologie	190
Abbildung 51: Folie aus der Einstiegspräsentation zum Schülerlabortag „The Brain – A Living Network“	196
Abbildung 52: Lernende arbeiten mit der EEG- Software und werden von einer Masterstudierenden zur Benutzung der EEG-Software instruiert	197
Abbildung 53: Versuchsergebnisse einer Arbeitsgruppe zum EEG: Gezeigt sind jeweils die Amplitude und Frequenz der Alpha- und Betawellen bei geöffneten und geschlossenen Augen für drei Messzeitpunkte. Auch angegeben sind die Mittelwerte (mean) und die Standardabweichung (SD).	198
Abbildung 54: Screenshots einer Arbeitsgruppe zum Alpha-Grundrhythmus (links) und zur Alpha-Blockade (rechts): Hier sind exemplarisch die Frequenz und die Amplitude für einen Zeitraum einer Sekunde registriert (grauer Bereich im Plot) und die daraus resultierenden Werte für die Frequenz und Amplitude in den darunterliegenden Tabellen aufgeführt.	198
Abbildung 55: Lernende bei der Präparation des Schweinehirns (oben links) und ausliegendes Gehirnmodell (oben rechts) sowie ein ausliegender Schädel des Hausschweins und ein Blick in den Hohlraum (untere rechte Darstellungen)	199
Abbildung 56: Dokumentation der Präparationsschritte durch verschiedene Arbeitsgruppen: Kleinhirn median geschnitten (links), konserviertes Gehirn vor der Präparation (Mitte) und Region des Hippocampus nach finalem Präparationsschritt (rechts)	200
Abbildung 57 Färbepreparation des Zellfilms: Makroskopische Betrachtung der Arbeitserfolge und mikroskopische Analyse	201
Abbildung 58: Von Lernenden erstellte Visualisierungen zum Aufbau der Großhirnrinde	201
Abbildung 59: Positionierung der Becher beim Cup stacking	202
Abbildung 60 Beispiel für eine von Lernenden erstellte Lernkurve zum Cup stacking: Die Nummerierung verweist auf die Phasierung einer typischen Lernkurve; 1 Nullphase, 2 Lernphase, 3 Kannphase.	202
Abbildung 61: Erstellung der Ergebnispräsentation mittels des digital eingestellten Lab Reports (links) und Betrachtung der Ergebnisse dazu (rechts)	203
Abbildung 62: Abschlussbesprechung durch Schülerinnen und Schüler aus der Pilotphase	203
Abbildung 63: Einleitung des englischsprachigen Skripts	206
Abbildung 64: Arbeitsauftrag zur Concept Map	207
Abbildung 65: Auswahl der Fachbegriffe und Operatoren zum Concept mapping des Schülerlabortages „The Brain – A Living Network“	207
Abbildung 66: Beispiel für eine Leitfrage zum motorischen Lernen	207
Abbildung 67: Ausliegende Materialien zur Analyse der Fertigpräparate und der erstellten Zellfilme	208
Abbildung 68: Ausschnitt aus dem Lab report (Laufzettel) zum Experiment Cup stacking	209
Abbildung 69: Vokabelhilfe der Einleitungsseite des Skripts	209
Abbildung 70: Ausschnitt aus der alphabetischen Vokabelliste des Skriptes	210
Abbildung 71: Ausschnitt aus dem Scaffolding zur finalen Präsentation	210
Abbildung 72 Visualisierung der Flashcards. Indikation der Versuche zur Verdeutlichung ergänzt	211
Abbildung 73: Statistisches Vorgehen bei Längsschnittuntersuchungen von zwei Vergleichsgruppen (ANOVA = Varianzanalyse, ANCOVA= Kovarianzanalyse)	218
Abbildung 74: Statistisches Vorgehen bei Längsschnittuntersuchungen von mehr als zwei Vergleichsgruppen (ANOVA = Varianzanalyse, ANCOVA= Kovarianzanalyse)	219

Abbildung 75: Ergebnisse des Wissenstests der Gesamtstichprobe N=218 (Skalenmaximum=61 Punkte, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet *** $p \leq 0,001$)	228
Abbildung 76: Ergebnisse des Wissenstests der englischen und deutschen Treatmentgruppen zu den drei Messzeitpunkten (Skalenmaximum=61 Punkte)	229
Abbildung 77: Ergebnisse des Cloze Tests als Mittelwert zu allen drei Messzeitpunkten bei einer Stichprobengröße von N=218 (Skalenmaximum=24 Punkte, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet *** $p \leq 0,001$)	231
Abbildung 78: Ergebnisse des Cloze Tests zu den Messzeitpunkten für die beiden Treatments (Skalenmaximum=24 Punkte, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet * $p \leq 0,05$)	232
Abbildung 79: Darstellung der Mittelwerte der affektiven Personenvariablen für die aus der Clusteranalyse hervorgegangenen Gruppen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder (Skalenmaximum=4)	235
Abbildung 80: Darstellung der Mittelwerte der affektiven Personenvariablen für die aus der Clusteranalyse hervorgegangenen Gruppen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder in der englischen Treatmentgruppe (oben) und in der deutschen Treatmentgruppe (unten) (Skalenmaximum=4)	237
Abbildung 81: Ergebnisse der Wissenstests für die Schülertypen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder (Skalenmaximum=61 Punkte)	239
Abbildung 82: Ergebnisse des Cloze Tests für die Lernertypen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder für die Gesamtstichprobe betrachtet (Skalenmaximum=24 Punkte)	240
Abbildung 83: Ergebnisse des Wissenstests bei Lernenden der Biologie LK und GK der Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=61 Punkte)	242
Abbildung 84: Ergebnisse des Wissenstests bei Lernenden der Englisch LK und GK in der englischen Treatmentgruppe (Skalenmaximum=61 Punkte)	243
Abbildung 85: Ergebnisse des Wissenstests bei Lernenden mit und ohne bilinguale Vorerfahrung im englischen Treatment (Skalenmaximum=61 Punkte)	244
Abbildung 86: Vergleich der Wissenstestergebnisse zu den drei Messzeitpunkten nach Geschlechtern unterschieden	245
Abbildung 87: Ergebnisse des Cloze Tests bei unterschiedlicher Kurszugehörigkeit Biologie (Leistungskurs und Grundkurs) der Gesamtstichprobe, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet ** $p \leq 0,01$)	247
Abbildung 88: Verteilung der Cloze Test-Ergebnisse bezüglich der Kurszugehörigkeit im Fach Englisch in der Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=24 Punkte, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet ** $p \leq 0,01$)	248
Abbildung 89: Verteilung der Cloze Test-Ergebnisse bezüglich der bilingualen Vorerfahrung der Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=24 Punkte, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet *** $p \leq 0,001$)	249
Abbildung 90: Verteilung der Cloze Test-Ergebnisse hinsichtlich der Geschlechterunterschiede (Gesamtstichprobe)	251
Abbildung 91: Entwicklung der Höhe der Einschätzung der Authentizität aller Kursteilnehmenden (Skalenmaximum=4, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet *** $p \leq 0,001$)	256
Abbildung 92: Entwicklung der Höhe des eingeschätzten Druckempfindens aller Kursteilnehmenden (Skalenmaximum=4)	257
Abbildung 93: Entwicklung der Höhe der eingeschätzten Zusammenarbeit aller Kursteilnehmenden (Skalenmaximum=4)	257
Abbildung 94: Entwicklung der Höhe der eingeschätzten Authentizität für die verschiedenen Cluster der Gesamtstichprobe	258
Abbildung 95: Entwicklung des durchschnittlich eingeschätzten Druckempfindens für die verschiedenen Cluster der Gesamtstichprobe	259
Abbildung 96: Entwicklung der Höhe der eingeschätzten Zusammenarbeit für die verschiedenen Cluster der Gesamtstichprobe	260

Abbildung 97: Entwicklung des Fähigkeitsselbstkonzepts Durchführung in der Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=4, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet *** $p \leq 0,001$)	265
Abbildung 98: Entwicklung des Sachinteresses Experimentieren in der Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=4, Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet *** $p \leq 0,001$)	265
Abbildung 99: Entwicklung des Fähigkeitsselbstkonzepts Durchführung in der englischen und deutschen Treatmentgruppe (Skalenmaximum=4)	266
Abbildung 100: Entwicklung des Sachinteresses Experimentieren in der englischen und deutschen Treatmentgruppe (Skalenmaximum=4)	267
Abbildung 101: Durchschnittlich von den geclusterten Lernertypen erreichte Punkte beim FSK Durchführung im Pretest (Skalenmaximum=4)	268
Abbildung 102: Durchschnittlich von den geclusterten Lernertypen erreichte Punkte beim Sachinteresse Experimentieren im Pretest (Skalenmaximum=4)	269
Abbildung 103: Von den Biologen, Fremdsprachlerne und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte im Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung (Skalenmaximum=4)	270
Abbildung 104: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte im Sachinteresse Durchführung (=Sachinteresse Biologie) (Skalenmaximum=4)	270
Abbildung 105: Entwicklung der Höhe des Sachinteresses Auswertung, des Tätigkeitsbezogenen Sachinteresses und des Fähigkeitsselbstkonzepts Auswertung für die Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=4)	273
Abbildung 106: Vom englischen und deutschen Treatment durchschnittlich erreichte Punktzahl für das Sachinteresse Auswertung (Skalenmaximum=4)	274
Abbildung 107: Vom englischen und deutschen Treatment durchschnittlich eingeschätztes Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung (Skalenmaximum=4)	275
Abbildung 108: Vom englischen und deutschen Treatment durchschnittlich eingeschätztes Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung (Skalenmaximum=4)	276
Abbildung 109: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes Sachinteresses Auswertung (Skalenmaximum=4)	278
Abbildung 110: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung (Skalenmaximum=4)	279
Abbildung 111: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte bezüglich des Fähigkeitsselbstkonzepts Auswertung (Skalenmaximum=4)	279
Abbildung 112: Durchschnittlich erreichte Punkte bei zwei Flow-Erlebens-Kennwerten und der daraus gebildeten Flow-Erleben-Kurzskala sowie die Standardabweichung	282
Abbildung 113: Durchschnittlich bei den verschiedenen Experimenten des Labortages erreichte Punktzahl beim Flow-Erleben (Skalenmaximum=6, V1 Cup Stacking, V2 EEG, V3 Hirnpräparation, V4 Mikroskopieren Pyramidenzellen. Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet ** $p \leq 0,01$, * $p \leq 0,05$)	283
Abbildung 114: Durchschnittlich bei den verschiedenen Experimenten von den englischen und deutschen Treatments erreichte Punkte beim Flow-Erleben (Skalenmaximum=6, V1 Cup Stacking, V2 EEG, V3 Hirnpräparation, V4 Mikroskopieren Pyramidenzellen)	284
Abbildung 115: In den verschiedenen Experimenten erzielte durchschnittliche Punktzahl zum Flow-Erleben bei experimentbezogenen Rollen (Skalenmaximum=6, V1 Cup Stacking, V2 EEG, V3 Hirnpräparation, V4 Mikroskopieren Pyramidenzellen)	285
Abbildung 116: In der englischen Treatmentgruppe durchschnittlich erreichte Punktzahl des Flow-Erlebens nach eingenommenen experimentbezogenen Rollen unterschieden (Skalenmaximum=6, V1 Cup Stacking, V2 EEG, V3 Hirnpräparation, V4 Mikroskopieren Pyramidenzellen)	287
Abbildung 117: In der deutschen Treatmentgruppe durchschnittlich erreichte Punktzahl des Flow-Erlebens nach eingenommenen experimentbezogenen Rollen unterschieden (Skalenmaximum=6, V1 Cup Stacking, V2 EEG, V3 Hirnpräparation, V4 Mikroskopieren Pyramidenzellen)	287

Abbildung 118: Verteilung der durchschnittlich erfolgten Einschätzungen zu den Dimensionen des Bilingualen Handelns über den gesamten Messzeitraum für die Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=4, FI = Fachinteresse, FSK= Fähigkeitsselbstkonzept)	290
Abbildung 119: Durchschnittlich vom englischen und deutschen Treatment vorgenommenen Einschätzungen zur Skala Bilinguales Handeln im Pretest (Skalenmaximum=4)	293
Abbildung 120: Im englischen Treatment durchschnittlich erreichte Punkte zu den Dimensionen Bilingualen Handelns zu allen Messzeitpunkten (Skalenmaximum=4)	295
Abbildung 121: Im deutschen Treatment durchschnittlich erreichte Punkte zu den Dimensionen Bilingualen Handelns zu allen Messzeitpunkten (Skalenmaximum=4)	295
Abbildung 122: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte in den Dimensionen bilingualen Handelns zum Pretestzeitpunkt	296
Abbildung 123: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte im Fachinteresse Biologie und Englisch (Skalenmaximum=4)	298
Abbildung 124: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte im Fähigkeitsselbstkonzepts und im Druckempfinden Bilingualität (Skalenmaximum=4)	298
Abbildung 125: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich erreichte Punkte bezüglich der Bedeutung Sprache (Skalenmaximum=4)	299
Abbildung 126: Durchschnittlich erzielte Punkte für die metakognitiven Strategien der Gesamtstichprobe (Skalenmaximum=4; Signifikanzen sind folgendermaßen gekennzeichnet * $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$)	302
Abbildung 127: Von den beiden Treatments durchschnittlich erreichte Punktzahl bezüglich der metakognitiven Strategien (Skalenmaximum=4)	303
Abbildung 128: Durchschnittlich von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern erreichte Punktzahl zu den metakognitiven Strategien (Skalenmaximum=4)	304
Abbildung 129: Darstellung der Korrelationen (Pearson-Korrelation) zwischen Variablen biologischer und bilingual-fremdsprachlicher Ausrichtung. Höchst signifikante Korrelationen sind mit ***, sehr signifikante mit **, nicht signifikante als n.s. gekennzeichnet.	306
Abbildung 130: Durchschnittlich bezüglich der Parameter Umfang, Knotengrad, Durchmesser und Qualität erzielte Punkte in der Teilstichprobe von 50 Lernenden in 18 Arbeitsgruppen	308
Abbildung 131: Von Lernenden mit und ohne bilinguale Vorerfahrung durchschnittlich erreichte Punktzahl bezüglich des Umfangs und der Qualität (N= 50 SuS in 18 Arbeitsgruppen)	310
Abbildung 132: Von Lernenden mit und ohne bilinguale Vorerfahrung durchschnittlich erreichte Punktzahl bezüglich des Knotengrades und des Durchmessers (N= 50 SuS in 18 Arbeitsgruppen)	310

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Die menschlichen Hirnlappen und ihre Funktionen in Kürze	27
Tabelle 2: Häufig im ZNS vorkommende Neurotransmitter. Dargestellt sind jeweils Beispiele und Eigenschaften	40
Tabelle 3: Langzeitpotenzierung (LTP) an Pyramidenzellen - der Einfluss der Anbindung des Transmitters Glutamat	41
Tabelle 4: Mechanismus der Langzeitdepression an Purkinje-Zellen - Der Einfluss von zwei Eingängen	42
Tabelle 5: Bildgebende Verfahren im Überblick.....	43
Tabelle 6: Hierarchie der zentralnervösen Bewegungskontrolle. Maßgebliche kortikale wie subkortikale Strukturen sowie deren Funktionen (nach Bear et al. 2009).....	54
Tabelle 7: Kennzeichen der Langzeitdepression (LTD).....	65
Tabelle 8: Typen von Schülerexperimenten mit ihren jeweiligen Merkmalen und Funktionen (vgl. Berck & Graf 2010)	102
Tabelle 9: Modell der Experimentierkompetenz (Schreiber et al. 2009; Grube 2010). Mit Sternchen versehene Teilkompetenzen entstammen der Modellvorstellung von Grube (2010). Die Teilkompetenzen „Versuchsplan“ und „Umgang mit Problemen“ wurden von Schreiber et al. 2009 keiner der Teilkompetenzen zugeordnet.....	108
Tabelle 10: Situationale Variablen der Kommunikation innerhalb von Arbeitsgruppen (nach Konrad 2004 und Mayer 2007a).....	117
Tabelle 11: Verteilung der Schulformen bezogen auf die Gesamtstichprobe (N= 218)	155
Tabelle 12: Verteilung der Jahrgänge und des Geschlechts in den verschiedenen Gruppen (EF= Einführungsphase, Q1 + Q2= Jahrgänge der Qualifikationsphase).....	155
Tabelle 13: Verteilung der Leistungskurse und Grundkurse bezüglich der Fächer Biologie und Englisch der Gesamtstichprobe (Leistungskurs= LK, oder Grundkurs = GK)	155
Tabelle 14: Verteilung der Biologie- und Englischnote in der Gesamtstichprobe (Stichprobengröße N=218).....	156
Tabelle 15: Bilinguale Vorerfahrungen in verschiedenen Gruppen und in der Gesamtstichprobe (N=218).....	157
Tabelle 16: Organisationsform und Dauer des schulischen bilingualen Angebots im Vergleich der Gruppen und in der Gesamtstichprobe (N=218).....	157
Tabelle 17: Verteilung der bilingualen Sachfächer in den Gruppen und in der Gesamtstichprobe	158
Tabelle 18: Verteilung der Muttersprache in den verschiedenen Gruppen und der Gesamtstichprobe	158
Tabelle 19: Stichprobenzusammensetzung der im Rahmen des Flow-Erlebens aufgezeichneten und den Fragebögen zugeordneten Daten (N= 97)	159
Tabelle 20: Stichprobenzusammensetzung der im Rahmen des Concept Mapping aufgezeichneten Daten (Pre- und Post-Design) in englischen Treatmentgruppen (N= 50 SuS)	160
Tabelle 21: Gesamtstichprobe Nebenstudie II (Heidemann 2015) aus der Phase der Vor- und Hauptstudie	160
Tabelle 22: Übersicht über die in der Hauptstudie eingesetzten Messinstrumente.....	167
Tabelle 23: Codierungsschema der Likert-Skala vor und nach Umcodierung der gegenläufigen Items	170
Tabelle 24: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Laborvariable Authentizität der Hauptstudie. Die Indices „va“, „na“ und „ba“ weisen auf den Messzeitpunkt im Vor-, Nach- und Behaltenstest hin.....	171
Tabelle 25: Einzelitem Messdimension Druckempfinden	172
Tabelle 26: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Laborvariable Zusammenarbeit.....	172

Tabelle 27: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Sachinteresse Experimentieren.....	173
Tabelle 28: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension des experimentbezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts Durchführung.....	173
Tabelle 29: Item der Messdimension Sachinteresse Auswertung	174
Tabelle 30: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension des experimentbezogenen Fähigkeitsselbstkonzeptes Auswertung.....	174
Tabelle 31: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung in der jeweiligen Arbeitssprache.....	176
Tabelle 32: Faktorenanalyse mit ermittelten Faktorenladungen der Items der Variablen Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertungskompetenz und des FSK Auswertung (N=218).....	177
Tabelle 33: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Kenngröße Flow-Erleben (Siebenstufige Likert- Skala von „trifft nicht“ zu über „teils-teils“ bis „trifft zu“	177
Tabelle 34: Item der Messdimension Subjektiv wahrgenommene Anforderungs-Fähigkeitsspassung. Item gestrichen.	178
Tabelle 35: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Fachinteresse Biologie	178
Tabelle 36: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Fachinteresse Englisch	179
Tabelle 37: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Fähigkeitsselbstkonzept bilinguales Lernen	179
Tabelle 38: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Druckempfinden bilinguales Lernen	180
Tabelle 39: Items und Reliabilität (Cronbachs α) der Messdimension Authentizität Fremdspracheneinsatz	180
Tabelle 40: Zusammenfassung der Items und Reliabilitäten der Konstrukte der Skala Bilinguales Handeln.....	181
Tabelle 41: Faktorenanalyse mit ermittelter Faktorenladung der Items der Skala Bilinguales Handeln (N=219): Die beiden Items va13 bzw. va36 zum Fachinteresse Englisch werden als eigene Subskala aufgefasst.	181
Tabelle 42: Items und Reliabilität der Konstrukte der Skala Metakognitive Strategien	182
Tabelle 43: Untersuchte Gütekriterien der Concept Map	184
Tabelle 44: Untersuchungsschwerpunkte der Aushandlungsgespräche, verändert nach Odenthal (2015).....	186
Tabelle 45: Übersicht untersuchter Diskursfunktionen, verändert nach Heinemann (2015)	187
Tabelle 46: Kriterien der qualitativen Analyse, verändert nach Thum (2015)	188
Tabelle 47: Kriterien der Analyse als relative Häufigkeiten, verändert nach Thum (2015).....	188
Tabelle 48: Lernziele des BeLL Bio Kurses „The Brain – A Living Network“	192
Tabelle 49: Verlaufsplan der Schülerlaborkurse Neurobiologie.....	193
Tabelle 50: Verbleibende Itemzahl des Wissenstests nach Bestimmung des Schwierigkeitsindex und Bestimmung der Trennschärfe einschließlich der Reliabilität (Cronbachs α) im Posttest	215
Tabelle 51: Verbleibende Itemzahl des Cloze-Tests nach Bestimmung des Schwierigkeitsindex und der Trennschärfe einschließlich der Reliabilität (Cronbachs α)	215
Tabelle 52: Signifikanzniveaus und deren Kennzeichnung in den Abbildungen (vgl. Bühl 2014)	220
Tabelle 53: Richtwerte zur Beurteilung von ω^2 (nach Albert und Koster 2002).....	221
Tabelle 54: Richtwerte für die Beurteilung von η^2 (Cohen 1988).....	222
Tabelle 55: Ergebnisse Wissenstests als Mittelwert (M) mit Standardabweichung (SD) zu allen drei Messzeitpunkten bei einer Stichprobengröße von N 218.....	228
Tabelle 56: Pearson-Korrelation (r), Signifikanzen (zweiseitig) und Stichprobengröße (N) der Wissenstestergebnisse. Korrelationen $\geq 0,3$ sind farblich hervorgehoben	229

Tabelle 57: Vergleich der Wissenstestergebnisse des englischen und deutschen Treatments zu den drei Messzeitpunkten (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N) (Skalenmaximum=61 Punkte).....	230
Tabelle 58: Von der Gesamtstichprobe durchschnittlich erreichte Punktzahl (M) und Standardabweichung (SD) im Cloze-Test mit Skalenmaximum=24 Punkte (Gesamtstichprobe N=218).....	230
Tabelle 59: Pearson-Korrelation (r), Signifikanzen (zweiseitig) und Stichprobengröße (N) der Ergebnisse des Cloze Tests. Korrelationen $\geq 0,4$ sind farblich hervorgehoben	231
Tabelle 60: Von den englischen und deutschen Treatments durchschnittlich im Cloze-Test erreichte Punkte (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	233
Tabelle 61: Mittelwerte (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N) der Personenvariablen für die Ermittlung der Cluster Biologen, Fremdsprachler, Allrounder im Pretest.....	234
Tabelle 62: Anzahl und prozentualer Anteil der Biologen, Fremdsprachler und Allrounder in der Gesamtstichprobe sowie in den englischen und deutschen Treatments	238
Tabelle 63: Von den Lernertypen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder durchschnittlich erreichte Punktzahl im Wissenstest (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	239
Tabelle 64: Von den Lernertypen Biologen, Fremdsprachler und Allrounder durchschnittlich erreichte Punktzahl im Cloze Test (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)	240
Tabelle 65: Vergleich der Wissenstestergebnisse bei SuS der Bio LK und GK zu den drei Messzeitpunkten in der Gesamtstichprobe. (Drei SuS machen keine Angaben zur Form ihres Unterrichts und sind aus der Darstellung ausgeschlossen)	242
Tabelle 66: Vergleich der Wissenstestergebnisse bei Lernenden der Englisch LK und GK zu den drei Messzeitpunkten (englisches Treatment, 47 SuS machen keine Angaben zur Form ihres Unterrichts und aus der Darstellung sind ausgeschlossen)	243
Tabelle 67: Von Lernenden mit und ohne bilinguale Vorerfahrung in den Wissenstests durchschnittlich erreichte Punktzahl (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N) im englischen Treatment	244
Tabelle 68: Von den Geschlechtern im Wissenstest durchschnittlich erreichte Punkte (M), Standardabweichung (SD) sowie Stichprobengröße (N).....	246
Tabelle 69: Biologienote und in den Wissenstests erzielte Punkte (M) und Standardabweichung (SD) für die Gesamtstichprobe. (Die Note 5 und 6 waren in der Stichprobe nicht vergeben.)	246
Tabelle 70: Von den Lernenden des Biologie LK bzw. GK durchschnittlich im Cloze Test erreichte Punkte (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)	248
Tabelle 71: Von den Lernenden des Englisch LK bzw. GK durchschnittlich im Cloze Test erreichte Punkte (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	249
Tabelle 72: Von den Lernenden mit und ohne bilingualer Vorerfahrung durchschnittlich im Cloze Test erreichte Punkte (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	250
Tabelle 73: Von den Lernenden weiblichen und männlichen Geschlechts durchschnittlich im Cloze Test durchschnittlich erreichte Punkte (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	251
Tabelle 74: Englischnote und in den Cloze-Tests durchschnittlich erzielte Punkte (M) und Standardabweichung (SD) für die Gesamtstichprobe (Die Note 6 war in der Stichprobe nicht vergeben.).....	252
Tabelle 75: Pearson-Korrelation (r) Signifikanzen (zweiseitig) und Stichprobengröße (N) der Laborvariablen zum Posttest	255
Tabelle 76: Höhe der von den Kursteilnehmern für die Laborvariablen Authentizität, Druck und Zusammenarbeit durchschnittlich gemachten Einschätzungen (M) und Standardabweichung (SD) für die Gesamtstichprobe N=218	256

Tabelle 77: Höhe der von den Gruppen durchschnittlich selbsteingeschätzten Authentizität (M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)	258
Tabelle 78: Höhe des von den Gruppen durchschnittlich selbsteingeschätzten Druckempfindens(M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)	259
Tabelle 79: Höhe der von den Gruppen durchschnittlich selbsteingeschätzten Zusammenarbeit (M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N)	261
Tabelle 80: Korrelation (r), Signifikanzen (zweiseitig) und Stichprobengröße (N) der Variablen der Skala Durchführung und Auswertung zum Posttest. Korrelationen $\geq 0,3$ sind farblich hervorgehoben.....	263
Tabelle 81: Mittelwerte des Fähigkeitsselbstkonzepts Durchführung und des Sachinteresses Experimentieren (M) zu allen Messzeitpunkten und Standardabweichung (SD) für die Gesamtstichprobe (Maximum 4)	264
Tabelle 82: Von den englischen und deutschen Treatments durchschnittlich eingeschätztes Fähigkeitsselbstkonzept Durchführung (M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	266
Tabelle 83: Von den englischen und deutschen Treatments durchschnittlich eingeschätztes Sachinteresse Experimentieren (M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	267
Tabelle 84: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes FSK Durchführung (M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	268
Tabelle 85: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes Sachinteresse Experimentieren (M) mit Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	269
Tabelle 86: Durchschnittlich erreichte Mittelwerte bezüglich der Variablen der Skala Auswertung (Sachinteresse Auswertung, Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung und Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung) (M) und Standardabweichung (SD) (Skalenmaximum=4).....	273
Tabelle 87: Durchschnittlich erreichte Punktzahl (M) der englischen und deutschen Treatments mit Standardabweichung (SD) zur Skala der Auswertung	274
Tabelle 88: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes Sachinteresse Auswertung (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	276
Tabelle 89: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes Tätigkeitsbezogenes Sachinteresse Auswertung (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	277
Tabelle 90: Von den Biologen, Fremdsprachlern und Allroundern durchschnittlich eingeschätztes Fähigkeitsselbstkonzept Auswertung (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	277
Tabelle 91: Mittelwerte der zwei Kennwerte des Flow-Erlebens sowie für die zusammengefasste Form des Konstrukts Flow-Erleben (M) mit Standardabweichung (SD) in der Teilstichprobe (N=96, Skalenmaximum=6)	281
Tabelle 92: Bei den vier Experimentalkomponenten (1 Cup stacking, 2 EEG, 3 Hirnpräparation, 4 Mikroskopische Betrachtung der Pyramidenzellen) durchschnittlich erreichte Punktzahl zur Flow-Erleben Kurzskaala (M) sowie Standardabweichung (SD)	282
Tabelle 93: Vom englischen und deutschen Treatment durchschnittlich erreichte Punktzahl beim Flow-Erleben (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	283
Tabelle 94: Verteilung der durchschnittlich erreichten Punkte des Flow-Erlebens in den experimentbezogenen Rollen sowie den verschiedenen Experimenten des Labortages zugeordnet (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	284
Tabelle 95: In der englischen Treatmentgruppe durchschnittlich erreichte Punktzahl beim Flow-Erleben nach Rollen differenziert (Skalenmaximum=6), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	286

Tabelle 96: In der deutschen Treatmentgruppe durchschnittlich erreichte Punktzahl beim Flow-Erleben nach Rollen differenziert (Skalenmaximum=6), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N).....	286
Tabelle 97: Korrelation (r), Signifikanzen (zweiseitig) und Stichprobengröße (N) der Variablen der Skala Bilinguales Handeln zum Pretest. Korrelationen $\geq 0,3$ sind farblich hervorgehoben	289
Tabelle 98: Durchschnittlich erreichte Punkte in den Konstrukten der Skala Bilinguales Handeln (M) sowie die Standardabweichung (SD) für die Gesamtstichprobe (N=218) (Skalenmaximum=4).....	292
Tabelle 99: Vergleiche der vom englischen und deutschen Treatment erreichten Punkte bei den Parametern zum Bilingualen Handeln (M) und Standardabweichung (SD) über alle Messzeitpunkte hinweg	294
Tabelle 100: Von den geclusterten Lernertypen für die Variablen der Skala Bilinguales Handeln zu allen Messzeitpunkten in der Gesamtstichprobe durchschnittlich erreichte Punkte (M) und Standardabweichung (SD), (Skalenmaximum=4)	297
Tabelle 101: Mittelwerte der Skala Metakognitive Strategien (M) zu allen Messzeitpunkten und Standardabweichung (SD) (Gesamtstichprobe).....	302
Tabelle 102: Von den beiden Treatments durchschnittlich erreichte Punktzahl bezüglich der Metakognitiven Strategien (M), Standardabweichung (SD) und Stichprobengröße (N) (Skalenmaximum=4).....	303
Tabelle 103: Verteilung der durchschnittlich erreichten Punktzahl bei den metakognitiven Strategien (M), die Standardabweichung (SD) sowie die Stichprobengröße (N).....	305
Tabelle 104: Durchschnittlich erreichte Punktzahl (M) in den Kenngrößen Concept Map im Pre- und Posttest und Standardabweichung (SD) bei einer Stichprobengröße von 50 Lernenden in N= 18 Arbeitsgruppen).....	308
Tabelle 105: Von Lernenden mit und ohne bilinguale Vorerfahrung durchschnittliche erzielte Punkte (M) bei den Kenngrößen zum Pre- und Posttest, Standardabweichung (SD) (Anzahl der Arbeitsgruppen N=18 und insgesamt 50 Lernenden)	309
Tabelle 106: Verwendete Marker zur Diskursfunktion explain und ihre absolute Häufigkeit (Heidemann 2015). Die in den letzten zwei Spalten aufgeführten Marker wurden je zwei- bzw. einmal registriert.....	312
Tabelle 107: Verwendete Diskursmarker zur Diskursfunktion hypothesize und ihre absolute Häufigkeit (Heidemann 2015). Die in den letzten Spalten aufgeführten Marker wurden je zwei- bzw. einmal registriert.....	312
Tabelle 108: Durchschnittlich benutzte Diskursmarker (M) für N=2 bzw. N=3 betrachtete Arbeitsgruppen an zwei englischen Schülerlabortagen (verändert nach Heidemann 2015)	313
Tabelle 109: Ergebnisse der Analyse der mündlichen Beiträge einer Arbeitsgruppe im Pre- und Post-Design (N=4).....	314
Tabelle 110: Vergleich der Verhandlungsgespräche zu den Pre- und Post-Maps (Auswertungsbogen und Ergebnisse) (N= 1 Arbeitsgruppe, Häufigkeiten relativ: 0= gar nicht, 1= selten/ kaum, 2= mittel, 3= häufig)	315
Tabelle 111: Genannte Gründe für die Teilnahme am Schülerlabortag (Mehrfachnennung möglich).....	317
Tabelle 112: Lehrkräfte-Einschätzung zur Wichtigkeit der Versuche des Schülerlabortages ..	317
Tabelle 113: Positionierung des Schülerlaborbesuches im Thema Neurobiologie	318
Tabelle 114: Lage der Klausur zum Thema Neurobiologie	318

5 LITERATURVERZEICHNIS

Abendroth-Timmer, Dagmar (2004): Evaluation bilingualer Module aus Schülerperspektive: zur Lernbewusstheit und ihrer motivationalen Wirkung. In: *Zeitschrift für Interkulturellen Fremdsprachenunterricht [Online]* 9. Online verfügbar unter <http://zif.spz.tu-darmstadt.de/jg-09-2/beitrag/Abendroth2.htm>.

Abendroth-Timmer, Dagmar (2007): Bilinguale Module. Ein Modell für den integrierten Fremdsprachen- und Sachfachunterricht. Goethe Institut, Online Redaktion. Online verfügbar unter <http://www.goethe.de/ges/spa/dos/ifs/met/de2855768.htm>.

Aguado, Karin; Schramm, Karen (2009): Videographie in den Fremdsprachendidaktiken. Ein Überblick. In: Karin Aguado, Karen Schramm und Helmut Johannes Vollmer (Hg.): *Fremdsprachliches Handeln beobachten, messen, evaluieren*. Frankfurt a. M.: Lang, S. 185–229.

Albert, Ruth; Koster, Cor J. (2002): *Empirie in Linguistik und Sprachlehrforschung*. Ein methodologisches Arbeitsbuch. Tübingen: Gunter Narr.

Anderson, John R. (2007): *Kognitive Psychologie*. 6. Aufl. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl.

Arras, Ulrike; Eckes, Thomas; Grotjahn, Rüdiger (2002): C-Tests im Rahmen des "Test Deutsch als Fremdsprache" (TestDaF): Erste Forschungsergebnisse. In: Rüdiger Grotjahn (Hg.): *Der C-Tests. Theoretische Grundlagen und praktische Anwendungen*, Bd. 4. 4 Bände. Bochum: AKS-Verlag, S. 175–209.

Artelt, Cordula; Beinicke, Andrea; Schlagmüller, Matthias; Schneider, Wolfgang (2009): Diagnose von Strategiewissen beim Textverstehen. In: *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 41, S. 96–103. DOI: 10.1026/0049-8637.41.2.96.

Artelt, Cordula; Dörfler, Tobias (2010): Förderung von Lesekompetenz als Aufgabe aller Fächer. Forschungsergebnisse und Anregungen für die Praxis. Hg. v. Leseforum Bayern. Online verfügbar unter <http://www.leseforum.bayern.de/download.asp?DownloadFileID=d6a2652fedcc6694323988fc4380417c>, zuletzt geprüft am 27.06.2017.

Artelt, Cordula; Schiefele, Ulrich; Schneider, Wolfgang (2001): Predictors of Reading Literacy. In: *European Journal of Psychology of Education* 16 (3), S. 363–383. Online verfügbar unter [file:///C:/Users/Sebi/Downloads/Artelt,%20Schiefele,%20Schneider%20-%20Predictors%20of%20reading%20literacy%20OaseA1b%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Sebi/Downloads/Artelt,%20Schiefele,%20Schneider%20-%20Predictors%20of%20reading%20literacy%20OaseA1b%20(1).pdf), zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Asato, M. R.; Terwilliger, R.; Woo, J.; Luna, B. (2010): White matter development in adolescence: a DTI Studie. In: *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)* 20 (9), S. 2122–2131. DOI: 10.1093/cercor/bhp282.

- Atkinson, John W. (1957): Motivational determinants of risk-taking behavior. In: *Psychological Review* 64 (6, Pt.1), S. 359–372. DOI: 10.1037/h0043445.
- Atkinson, Richard C.; Shiffrin, Richard M. (1968): Human memory: A proposed system and its control processes. In: K. W. Spence und J. T. Spence (Hg.): *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. New York: Academic Press, S. 89–195. Online verfügbar unter http://apps.fischlerschool.nova.edu/toolbox/instructionalproducts/edd8124/fall11/1968-Atkinson_and_Shiffrin.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Aufdermarsch, Anke; Hesse, Manfred (2006): Die Meinung von Schülern zu ihrem Biologie-Schulbuch und zu Schulversuchen. In: *IBD Münster* 15, S. 105–112.
- Aufschnaiter, Claudia von (2014): Laborstudien zur Untersuchung von Lernprozessen. In: Dirk Krüger, Ilka Parchmann und Horst Schecker (Hg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Spektrum (Springer Link: Bücher), S. 81–94.
- Ausubel, David P.; Novak, Joseph D.; Hanesian, Helen (Hg.) (1981): *Psychologie des Unterrichtens*. Weinheim: Beltz.
- Baddeley, Alan (2003): Working memory: looking back and looking forward. In: *Nature reviews. Neuroscience* 4 (10), S. 829–839. DOI: 10.1038/nrn1201.
- Badel, Isolde (2009): Vermittlung von Lesestrategien im Unterricht. In: Frank Hellmich und Stephan Wernke (Hg.): *Lernstrategien im Grundschulalter*: Kohlhammer, 146f.
- Badertscher, Hans; Bieri, Thomas (Hg.) (2009): *Wissenserwerb im Content and Language Integrated Learning*. Empirische Befunde und Interpretationen. 1. Aufl. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt (Schulpädagogik - Fachdidaktik - Lehrerbildung, Bd. 16).
- Baker, Amanda (2002): Der Erwerb von akademischen Sprachfähigkeiten im Englischen durch bilingualen Sachfachunterricht am Beispiel Biologie. In: Brigitte Krück und Kristiane Loeser (Hg.): *Innovationen im Fremdsprachenunterricht*. Frankfurt am Main: P. Lang (KFU, Kolloquium Fremdsprachenunterricht, Bd. 14), S. 133–152.
- Bandura, Albert (1982): Self-efficacy Mechanism in Hurman Agency. In: *American Psychologist* 37 (2), S. 122–147. Online verfügbar unter <https://www.uky.edu/~eushe2/Bandura/Bandura1982AP.pdf>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Barac, Raluca; Bialystok, Ellen (2012): Bilingual effects on cognitive and linguistic development: Role of language, cultural background, and education. In: *Child Development* 83, S. 413–422.
- Baron, Agnes (2012): Konzeption und Durchführung eines neurobiologischen Themas im Schülerlabor mit anschließender Evaluation. Thesis zur Erlangung des akademischen Grades eines Master of Education (M.Ed.). Wuppertal.
- Baumert, Jürgen (1993): Lernstrategien, motivationale Orientierung und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen im Kontext schulischen Lernens. In: *Unterrichtswissenschaft* 21 (4), S. 327–354, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

- Baumert, Jürgen (1998): Interest research concerning secondary level I: An overview. In: Lore Hoffmann, Andreas Krapp, K. Ann Renninger und Jürgen Baumert (Hg.): Interest and learning. Proceedings of the Seeon Conference on Interest and Gender. Kiel: IPN (IPN, 164).
- Baumert, Jürgen (Hg.) (2003): PISA 2000. Ein differenzierter Blick auf die Länder der Bundesrepublik Deutschland. Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, Jürgen; Artelt, Cordula; Klieme, Eckhard; Neubrand, Michael; Prenzel, Manfred; Schiefele, Ulrich et al. (2003): PISA 2000 - Ein differenzierter Blick auf die Länder der Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Baumert, Jürgen; Köller, Olaf (2000): Unterrichtsgestaltung, verständnisvolles Lernen und multiple Zielerreichung im Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. In: Jürgen Baumert, Wilfried Bos und Rainer H. Lehmann (Hg.): TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie-Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn: Vol. 2. Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe. Opladen: Leske und Budrich.
- Baur, Rupprecht S.; Grotjahn, Rüdiger; Spettmann, Melanie (2006): Der C-Test als Instrument der Sprachstandserhebung und Sprachförderung. In: Johannes-Peter Timm (Hg.): Fremdsprachenlernen und Fremdsprachenforschung: Kompetenzen, Standards, Lernformen, Evaluation. Tübingen: Narr, S. 389–406.
- Bear, Mark F.; Connors, Barry W.; Paradiso, Michael A. (2009): Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie. Unter Mitarbeit von Deutsche Ausgabe herausgegeben von Andreas K. Engel. 3. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Beller, Sieghard (2016): Empirisch forschen lernen. Konzepte, Methoden, Fallbeispiele, Tipps. 1., 3., überarb. u. erw. Aufl. Bern: Hogrefe, vorm. Verlag Hans Huber.
- Berck, Karl-Heinz; Graf, Dittmar (2010): Biologiedidaktik. Grundlagen und Methoden. 4. Aufl. Wiebelsheim: Quelle & Meyer.
- Bergami, Matteo; Masserdotti, Giacomo; Temprana, Silvio G.; Motori, Elisa; Eriksson, Therese M.; Gobel, Jana et al. (2015): A Critical Period for Experience-Dependent Remodeling of Adult-Born Neuron Connectivity. In: *Neuron* 85 (4), S. 710–717. DOI: 10.1016/j.neuron.2015.01.001.
- Bernd, Heike; Hippchen, Thomas; Jüngst, Karl-Ludwig; Strittmatter, Peter (2000): Durcharbeiten von Begriffsstrukturdarstellungen in unterrichtlichen und computergestützten Lernumgebungen. In: Heinz Mandl und Frank Fischer (Hg.): Wissen sichtbar machen. Mapping -Techniken für das Wissensmanagement in Lern- und Kooperationsprozessen. Göttingen: Hogrefe, S. 15–36.

- Bialystok, Ellen; Craik, Fergus I.M.; Freedman, Morris (2007): Bilingualism as a protection against the onset of symptoms of dementia. In: *Neuropsychologia* 45, S. 459–464, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Bialystok, Ellen; Craik, Fergus I.M.; Luk, Gigi (2012): Bilingualism: consequences for mind and brain. In: *Trends in Cognitive Sciences* 16 (4), S. 240–250. Online verfügbar unter <https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/10587326/gigitrends.pdf?sequence=1>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Birbaumer, Niels; Schmidt, Robert F. (2006a): Lernen und Gedächtnis. In: Robert F. Schmidt und Hans-Georg Schaible (Hg.): *Neuro- und Sinnesphysiologie*. 5., neu bearbeitete Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, S. 402–423.
- Birbaumer, Niels; Schmidt, Robert F. (2006b): Untersuchung der Hirnaktivität beim Menschen. In: Robert F. Schmidt und Hans-Georg Schaible (Hg.): *Neuro- und Sinnesphysiologie*. 5., neu bearbeitete Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, S. 353–373.
- Birbaumer, Niels; Schmidt, Robert F. (2006c): Wachen, Aufmerksamkeit und Schlafen. In: Robert F. Schmidt und Hans-Georg Schaible (Hg.): *Neuro- und Sinnesphysiologie*. 5., neu bearbeitete Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, S. 374–401.
- Birbaumer, Niels; Schmidt, Robert F. (2010a): Allgemeine Physiologie der Großhirnrinde. In: Robert F. Schmidt, Florian Lang und Manfred Heckmann (Hg.): *Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie; mit 85 Tabellen; mit herausnehmbaren Repetitorium*. 31., überarb. und aktualisierte Aufl. Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch), S. 163–180.
- Birbaumer, Niels; Schmidt, Robert F. (2010b): *Biologische Psychologie. Mit 44 Tabellen*. 7., überarb. und erg. Aufl. Heidelberg: Springer Medizin-Verl. (Springer-Lehrbuch).
- Birbaumer, Niels; Schmidt, Robert F. (2010c): Lernen und Gedächtnis. In: Robert F. Schmidt, Florian Lang und Manfred Heckmann (Hg.): *Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie; mit 85 Tabellen; mit herausnehmbaren Repetitorium*. 31., überarb. und aktualisierte Aufl. Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch), S. 202–217.
- Bischofberger, Josef; Schmidt-Hieber, Christoph (2006): Adulte Neurogenese im Hippokampus. Perspektiven der Hirnforschung. In: *Neuroforum* (3), S. 212–221, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Bischoff, Jutta (2003): Lernmotivation, Flow-Erleben und Leistung in universitären Fremdsprachenkursen. Diplomarbeit. Institut für Psychologie der Universität Potsdam. Potsdam.
- Blakemore, Sarah-Jayne; Robbins, Trevor W. (2012): Decision-making in the adolescent brain. In: *Nature neuroscience* 15 (9), S. 1184–1191. DOI: 10.1038/nn.3177.

- Bohn, Matthias (2013): Biologie. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), 286f.
- Bohn, Matthias; Doff, Sabine (2010): Biologie bilingual: Die Perspektive der Unterrichtspraxis. In: Sabine Doff (Hg.): Bilingualer Sachfachunterricht in der Sekundarstufe. Eine Einführung. Tübingen: Narr Francke Attempto Verlag (narr Studienbücher), S. 72–88.
- Bohrmann-Linde, Claudia (2016): Funktionale Sprachwechsel und Wechsel der Darstellungsformen im bilingualen Chemieunterricht. In: Bärbel Diehr, Angelika Preisfeld und Lars Schmelter (Hg.): Bilingualen Unterricht erforschen und weiterentwickeln: Peter Lang.
- Bonnet, Andreas (2004): Chemie im bilingualen Unterricht. Kompetenzerwerb durch Interaktion. Opladen: Leske und Budrich (Studien zur Bildungsgangforschung, Bd. 4).
- Bonnet, Andreas (2007): "Hol's dir da hinten raus und halte die Klappe!". Von Kooperation in aufgaben- basierten Lernumgebungen im Chemieunterricht, ihrem Scheitern und wie man beides erforschen kann. In: Kerstin Rabenstein (Hg.): Kooperatives und selbstständiges Arbeiten von Schülern. Zur Qualitätsentwicklung von Unterricht. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 87–107.
- Bonnet, Andreas (2015): Sachfachlicher Kompetenzerwerb in naturwissenschaftlichen CLIL Kontexten. In: Bernd Rüschoff, Julian Sudhoff und Dieter Wolff (Hg.): CLIL Revisited. Eine kritische Analyse zum gegenwärtige Stand des bilingualen Sachfachunterrichts: Peter Lang GmbH, Internationaler Verlag der Wissenschaften, S. 165–182.
- Bonnet, Andreas; Breidbach, Stephan; Hallet, Wolfgang (2003): Fremdsprachlich handeln im Sachfach: Bilinguale Lernkontexte. In: Gerhard Bach und Johannes-Peter Timm (Hg.): Englischunterricht. Grundlagen und Methoden einer handlungsorientierten Unterrichtspraxis. 3.vollst. überarb. und erw. Aufl. Tübingen und Basel: Francke, 172f.
- Bortz, Jürgen; Döring, Nicola (2006): Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler; mit 87 Tabellen. 4., überarb. Aufl., [Nachdr.]. Heidelberg: Springer-Medizin-Verl (Springer-Lehrbuch Bachelor, Master).
- Bos, Wilfried (2012): TIMSS 2011. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich. Münster, München [u.a.]: Waxmann.
- Bos, Wilfried; Bonsen, M.; Baumert, Jürgen; Prenzel, Manfred; Selter, C.; Walther, G. (Hg.) (2008): Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich. Münster: Waxmann (TIMSS 2007).
- Bos, Wilfried; Lankes, Eva-Maria; Prenzel, Manfred; Schwippert, Knut; Walther, Gerd (2003): Welche Fragen können aus einer gemeinsamen Interpretation der Befunde

aus PISA und IGLU fundiert beantwortet werden? In: *Zeitschrift für Pädagogik* 49, S. 198–212, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Botz, Lieselotta; Frisch, Stefanie (2015): Fachliteralität im bilingualen Sachunterricht der Grundschule. In: Norbert Schlüter und Heiner Böttger (Hg.): *Praxis Pädagogik/FFF-Konferenzband*. Fachübergreifend. Braunschweig: Westermann Schulbuchverlag (Praxis Pädagogik), 240f.

Böwing, Corinna (2013): Lehrwerke für den Bilingualen Unterricht. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): *Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning*. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 194–202.

Brandt, Alexander (2005): *Förderung von Motivation und Interesse durch außerschulische Experimentierlabors*. 1. Aufl. Göttingen: Cuvillier.

Bredenbröker, Winfried (2000): *Förderung der fremdsprachlichen Kompetenz durch bilingualen Unterricht. Empirische Untersuchungen*. Frankfurt am Main, New York: P. Lang (Foreign language teaching in Europe, 3).

Bruhn, Johannes; Fischer, Frank; Gräsel, Cornelia; Mandl, Heinz (2000): Kooperatives lernen mit Mapping-Techniken. In: Heinz Mandl und Frank Fischer (Hg.): *Wissen sichtbar machen. Mapping -Techniken für das Wissensmanagement in Lern- und Kooperationsprozessen*. Göttingen: Hogrefe, S. 119–132.

Buchner, Axel (2012): Funktionen und Modelle des Gedächtnisses. In: Hans-Otto Karnath und Peter Thier (Hg.): *Kognitive Neurowissenschaften*. 3. Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch), S. 541–551.

Bühl, Achim (2014): *SPSS 22. Einführung in die moderne Datenanalyse*. 14., aktualisierte Auflage. Hallbergmoos: Pearson Studium ein Imprint von Pearson Deutschland (Pearson Studium - Scientific Tools).

Bühner, Markus; Ziegler, Matthias (2012): *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. [Nachdr.]. München [u.a.]: Pearson (Psychologie).

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2007): *Förderung von Lesekompetenz. Expertise*. 17 Bände. Bonn, Berlin.

Burmeister, Petra (2013): Immersion. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): *Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning*. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), 160f.

Busch, Hannah; Ralle, Bernd (2012): Diagnostik und Förderung fachsprachlicher Kompetenz im Chemieunterricht. In: Michael Becker-Mrotzek, Karen Schramm, Eike Thürmann und Johannes Vollmer (Hg.): *Sprache im Fach. Sprachlichkeit und fachliches Lernen*. Münster, München [u.a.]: Waxmann (Fachdidaktische Forschungen, 3), S. 277–294.

Buse, Margret; Preisfeld, Angelika (2016): The Emperor Moth – The Power to Develop. Sachfachliches Lernen im bilingualen Biologieunterricht der Sekundarstufe I. In: Bärbel

- Diehr, Angelika Preisfeld und Lars Schmelter (Hg.): Bilingualen Unterricht erforschen und weiterentwickeln: Peter Lang.
- Butzkamm, Wolfgang (2010a): Über die planvolle Mitbenutzung der Muttersprache im bilingualen Sachfachunterricht. In: Gerhard Bach und Susanne Niemeier (Hg.): Bilingualer Unterricht. Grundlagen, Methoden, Praxis, Perspektiven. 5., überarbeitete und erw. Aufl. Frankfurt am Main: Peter Lang (KFU, Bd. 5), S. 97–113.
- Butzkamm, Wolfgang (2010b): Über die planvolle Mitbenutzung der Muttersprache im bilingualen Sachfachunterricht. In: Gerhard/ Niemeier Susanne Bach (Hg.): Bilingualer Unterricht. Grundlagen, Methoden, Praxis, Perspektiven. 5. überarbeitete und erweiterte Auflage. Frankfurt a.M., Berlin, Bern, Bruxelles, New York, Oxford, Wien: Peter Lang (KFU Kolloquium Fremdsprachenunterricht, 5), S. 97–113.
- Bybee, Roger W. (2002): Scientific Literacy - Mythos oder Realität? In: Wolfgang Gräber, Robert Evans, Thomas Koballa und Peter Nentwig (Hg.): Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 21–43.
- Campos-Ortega, José-Antonio (2001): Ontogenie des Nervensystems und Sinnesorgane. In: Josef Dudel und Dudel-Menzel-Schmidt (Hg.): Neurowissenschaft. Vom Molekül zur Kognition; mit 32 Tabellen. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin [u.a.]: Springer (Springer-Lehrbuch), S. 63–86.
- Caspari, Daniela; Wolfgang Hallet; Wegner, Anke; Zydati, Wolfgang (Hg.) (2009): Bilingualer Unterricht macht Schule. Beiträge aus der Praxisforschung. 2., durchges. Aufl. Frankfurt, M, Berlin, Bern, Bruxelles, New York, NY, Oxford, Wien: Lang (Kolloquium Fremdsprachenunterricht, Bd. 29).
- Chanal, Julien P.; Marsh, Herbert W.; Sarrazin, Philippe G.; Bois, Julien E. (2005): Big-Fish-Little-Pond Effects on Gymnastics Self-Concept. Social Comparison Processes in a Physical Setting. In: *Journal of Sport and Exercise Psychology* 27 (1), S. 53–70. DOI: 10.1123/jsep.27.1.53.
- Chandler, Paul; Sweller, John (1991): Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. In: *Cognition and Instruction* 8 (4), S. 293–332. DOI: 10.1207/s1532690xci0804_2.
- Clayton, Nicky S.; Krebs, John R. (1994): Hippocampal growth and attrition in birds affected by experience. In: *Current Issue* 91 (16), S. 7410–7414. Online verfügbar unter <http://www.pnas.org/content/91/16/7410.short>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Coggins, Porter E.; Kennedy, Teresa J.; Armstrong, Terry A. (2004): Bilingual corpus callosum variability. In: *Brain and language* 89 (1), S. 69–75. DOI: 10.1016/S0093-934X(03)00299-2.
- Cohen, Jacob (1988): Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Cohen, Louis; Manion, Lawrence; Morrison, Keith (Hg.) (2008): Research Methods in Education. 6. Ausgabe. London, New York: Routledge.

- Coleman, James A. (1997): Residence abroad within language study. State of the art article. In: *Language Teaching* 30, S. 1–20. Online verfügbar unter <http://www.ugr.es/~temcu/Recursos/Articulos%20de%20interes/J%20Coleman/Residence%20Abroad%20within%20language%20studies.pdf>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Cowan, Nelson (2007): An Embedded-Process Modell of Working Memory. In: Akira Miyake (Hg.): *Models of working memory. Mechanisms of active maintenance and executive control*. Repr. Cambridge [u.a.]: Cambridge Univ. Press, 62f.
- Coyle, Do; Hood Philipp; Marsh David (2010): *CLIL. Content and Language Integrated Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Craik, Fergus I.M.; Lockhart, Robert S. (1972): Levels of processing: A framework for memory research. In: *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, S. 671–684. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002253717280001X>.
- Creß, Ulrike (2006): Lernorientierungen, Lernstile, Lernertypen und kognitive Stile. In: Heinz Mandl und Helmut F. Friedrich (Hg.): *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe, S. 365–377.
- Creß, Ulrike; Friedrich, Helmut F. (2000): Selbst gesteuertes Lernen Erwachsener: Eine Lernertypologie auf der Basis von Lernstrategien, Lernmotivation und Selbstkonzept. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 14, S. 194–205.
- Csikszentmihalyi, Mihaly (1975): *Beyond boredom and anxiety. The experience of play in work and games*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Csikszentmihalyi, Mihaly; Schiefele, Ulrich (1993): Die Qualität des Erlebens und der Prozess des Lernens. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 39, S. 207–221.
- Cummins, Jim (1979): Linguistic Interdependence and the Educational Development of Bilingual children. In: *Review of Educational Research* 49 (2), S. 222–251.
- Cummins, Jim (1980): The Cross-Lingual Dimensions of Language Proficiency: Implications for Bilingual Education and the Optimal Age Issue. In: *TESOL Quarterly* 14 (2), S. 175–187.
- Cummins, Jim (1999): BICS and CALP: Clarifying the Distinction.
- Dähnhardt, D.; Haupt, Oliver J.; Pawek, Christoph (2009): Neugier wecken, Kompetenzen fördern: Wie Schülerlabore arbeiten. In: D. Dähnhardt, Oliver J. Haupt und Christoph Pawek (Hg.): *Kursbuch 2010*. Marburg: Tectum-Verlag.
- Dalton-Puffer, Christiane (2009): Fremdsprache als Medium des Wissenserwerbs: Definieren und Hypothesen bilden. In: Daniela Caspari, Wolfgang Hallet, Anke Wegner und Wolfgang Zydariß (Hg.): *Bilingualer Unterricht macht Schule. Beiträge aus der Praxisforschung*. 2., durchges. Aufl. Frankfurt, M, Berlin, Bern, Bruxelles, New York, NY, Oxford, Wien: Lang (Kolloquium Fremdsprachenunterricht, Bd. 29), S. 67–79.

- Dalton-Puffer, Christiane (2013): Diskursfunktionen und generische Ansätze. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 138–145.
- Damerau, Karsten (2012): Molekulare und Zell-Biologie im Schülerlabor Fachliche Optimierung und Evaluation der Wirksamkeit im BeLL Bio (Bergisches Lehr-Lern-Labor Biologie). Dissertationsschrift.
- Damerau, Karsten; Preisfeld, Angelika (2016): Einfluss von Schülerlaborbesuchen auf das Fachwissen und das Fähigkeitsselbstkonzept heterogener Schülergruppen. In: Ulrich Gebhard und Marcus Hammann (Hg.): "Bildung durch Biologieunterricht". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Hamburg 2015. [1. Auflage]. Innsbruck, Wien, Bozen, Innsbruck, Wien, Bozen: Studienverlag (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Band 7), S. 337–353.
- Davies, R.S; Sprangue, C. R.; New, C. M. (2008): Integrating technology into a science classroom. In: D.W Sunal, E. L. Wright und Sundberg C. (Hg.): The impact of the laboratory and technology on learning and teaching science K-16. Charlotte, N.C.: IAP Information Age Publishing.
- Deci, Edward L.; Ryan, Richard M. (1985): Intrinsic Motivation and self-determination in human behavior. New York: Plenum Press.
- Deci, Edward L.; Ryan, Richard M. (1993): Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihr Bedeutung für die Pädagogik. In: *Zeitschrift für Pädagogik* (2), S. 223–238.
- Deci, Edward L.; Ryan, Richard M. (2000): The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. In: *Psychological Inquiry* 11 (4), S. 227–268.
- Decke-Cornill, Helene; Küster, Lutz (2015): Fremdsprachendidaktik. Eine Einführung. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Tübingen: Narr Francke Attempto (Narr Bachelor-Wissen.de).
- DESI-Konsortium (Hg.) (2008): Unterricht und Kompetenzerwerb in Deutsch und Englisch. Ergebnisse der DESI-Studie. Ergebnisse der DESI-Studie. Weinheim: Beltz.
- Deutsches PISA-Konsortium (Hg.) (2001): PISA 2000. Ein differenzierter Blick auf die Länder der Bundesrepublik Deutschland. Opladen: Leske + Budrich.
- Diehr, Bärbel (2012): What's in a name? Terminologische, typologische und programmatische Überlegungen zum Verhältnis der Sprachen im Bilingualen Unterricht. In: Bilingualen Unterricht weiterdenken. Programme, Positionen, Perspektiven. Frankfurt am Main: Lang (Inquiries in language learning Forschungen zu Psycholinguistik und Fremdsprachendidaktik, v. 7), S. 17–36.
- Diehr, Bärbel (2016): Doppelte Fachliteralität im bilingualen Unterricht. Theoretische Modelle für Forschung und Praxis. In: Bärbel Diehr, Angelika Preisfeld und Lars

Schmelter (Hg.): Bilingualen Unterricht erforschen und weiterentwickeln: Peter Lang, 57f.

Dörnyei, Zoltán (2009): The L2 Motivational Self System. In: Zoltán Dörnyei und Ema Ushioda (Hg.): Motivation, language identity and the L2 self. Bristol: Multilingual Matters (Second language acquisition), S. 9–42.

Dunker, Nina (2010): Concept maps im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Didaktische Rekonstruktion am Beispiel des Lerngegenstandes Feuer. Oldenburg: BIS-Verlag (Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion (BzdR), 26). Online verfügbar unter http://oops.uni-oldenburg.de/1021/1/Dunker_Druckversion_05.03.2012.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Duske, Petra (2017): Bilingualer Unterricht im Fokus der Biologiedidaktik. Auswirkungen von Unterrichtssprache und -kontext auf Motivation und Wissenserwerb. Wiesbaden: Springer VS.

Ebe, Mitsuru; Homma, Isako; Kugler, J.; Yamada, Michio (2002): Leitfaden für die EEG-Praxis. Ein Bildkompendium. 3., neu bearb. dt. Aufl. München [u.a.]: Urban & Fischer.

Eccles, Jacquelynne S.; Adler, T. F.; Futtermann, R.; Goff, S.G., Kaszala, C.M.; Meece, J. L.; Migdely, C. (1983): Expectancies, values and academic behavior. In: J. T. Spence (Hg.): Achievement and achievement motives. San Francisco: W.H. Freeman.

Eckert, Andreas (2000): Die Netzwerk-Elaborierungs-Technik (NET) - Ein computerunterstütztes Verfahren zur Diagnose komplexer Wissensstrukturen. In: Heinz Mandl und Frank Fischer (Hg.): Wissen sichtbar machen. Mapping -Techniken für das Wissensmanagement in Lern- und Kooperationsprozessen. Göttingen: Hogrefe, S. 137–157.

Eid, Michael; Gollwitzer, Mario; Schmitt, Manfred (2010): Statistik und Forschungsmethoden. Lehrbuch. Mit Online-Materialien. 3., korrigierte Ausgabe. Weinheim: Beltz.

Elzen-Rump, Viola.; Vorholt, Hannah (2012): Lernen aus Sachtexten mit Concept Maps. In: *Unterricht Biologie* (377/78), S. 79–81.

Engeln, Katrin (2004): Schülerlabors. Authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken. Dissertation. Kiel.

Engeln, Katrin (2006): Schülerlabore: Interessenförderung bei Mädchen und Jungen. In: A. Pitton (Hg.): Lehren und Lernen mit neuen Medien: LIT.

Engeln, Katrin; Euler, Manfred (2004): Forschen statt Pauken. Aktives Lernen im Schülerlabor. In: *Physik Journal* 3, 2004 (11), S. 45–48.

Engeser, Stefan (2004): Lernmotivation und volitionale Handlungssteuerung: Eine Längsschnittsuntersuchung beim Statistik Lernen im Psychologiestudium. Dissertation.

- Engeser, Stefan; Rheinberg, Falko; Vollmeyer, Regina; Bischoff, Jutta (2005): Motivation, Flow-Erleben und Lernleistung in universitären Lernsettings*. Motivation, Flow-Experience, and Performance in Learning Settings at Universities. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie/German Journal of Educational Psychology*, S. 159–172. DOI: 10.1024/1010-0652.19.3.159.
- Euler, Manfred (2009a): 25 Schülerlabore: Lernen durch Forschen und Entwickeln. In: Ernst/ Girdwidz Raimund/ Häußler Peter Kircher (Hg.): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. zweite Auflage. Heidelberg: Springer Verlag, S. 799.
- Euler, Manfred (2009b): Werkzeuge und Flügel des Geistes: Die Rolle von Experimenten in der Lehre. In: *Physik Journal* 8 (4), S. 39–42. Online verfügbar unter www.pro-physik.de/details/articlePdf/1103461/issue.html, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- European Commission (1995): White Paper on Education and Training. Teaching and Learning. Towards the Learning Society. Online verfügbar unter http://europa.eu/documents/comm/white_papers/pdf/com95_590_en.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- European Commission (2004): Promoting language learning and linguistic diversity: An action plan 2004-06. Hg. v. European Commission. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Online verfügbar unter http://www.saaic.sk/eu-label/doc/2004-06_en.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- European Commission (2012): FAQs on multilingualism and language learning. Brussels. Online verfügbar unter http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-703_en.htm, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Field, Andy P. (2009): *Discovering statistics using SPSS (and sex and drugs and rock 'n' roll)*. 3rd ed. Los Angeles [Calif.], London: SAGE.
- Finn, Alke (2012): *Bio bilingual. Entwicklung und Durchführung eines Unterrichtskonzeptes zu bilinguaem Unterricht*. Unter Mitarbeit von Bernhard Dressler u. Lothar A. Beck (Hg). Marburg: Tectumverlag (Marburger Schriften zur Lehrerbildung).
- Fischer, Frank; Mandl, Heinz (2000): Strategiemodellierung mit Expertenmaps. In: Heinz Mandl und Frank Fischer (Hg.): *Wissen sichtbar machen. Mapping -Techniken für das Wissensmanagement in Lern- und Kooperationsprozessen*. Göttingen: Hogrefe, S. 37–54.
- Fischer, Hans E.; Klemm, Klaus; Leutner, Detlev; Sumfleth, Elke; Tiemann, Rüdiger; Wirth, Joachim (2003): Naturwissenschaftsdidaktische Lehr-Lernforschung: Defizite und Desiderata. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 9, S. 179–208, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Fodor, Jerry A. (1975): *The Language of Thought*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

- Friederici, Angela D. (2012): Neurobiologische Grundlagen der Sprache. In: Hans-Otto Karnath und Peter Thier (Hg.): Kognitive Neurowissenschaften. 3. Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch), S. 429–438.
- Friedrich, Helmut F.; Mandl, Heinz (2006): Lernstrategien: Zur Strukturierung des Forschungsfeldes. In: Heinz Mandl und Helmut F. Friedrich (Hg.): Handbuch Lernstrategien. Göttingen: Hogrefe, S. 1–23.
- Fries, Verena (2013): Begriffsbildung und Begriffslernen. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 145–152.
- Frisch, Stefanie (2016): Sprachwechsel als integraler Bestandteil bilingualen Unterrichts. In: Bärbel Diehr, Angelika Preisfeld und Lars Schmelter (Hg.): Bilingualen Unterricht erforschen und weiterentwickeln: Peter Lang.
- Gablasova, Dana (2015): Learning technical words through L1 and L2: Completeness and accuracy of word meanings. In: *English for specific purposes* 39, S. 62–74.
- Gebhard, Ulrich (2009): Angst und Ekel vor Tieren. In: Ulrich Gebhard (Hg.): Kind und Natur. Die Bedeutung der Natur für die psychische Entwicklung. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: VS, Verlag für Sozialwissenschaften, S. 170–195.
- Gerstenmaier, J.; Mandl, Heinz (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 41 (6), S. 867–888.
- Gibbons, Pauline (2002): Scaffolding language, scaffolding learning. Teaching second language learners in the mainstream classroom. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Gillies, R. M. (2003): Structuring cooperative group work in classrooms. In: *International Journal of Educational Research* 39, S. 35–49.
- Glowinski, Ingrid (2007): Schülerlabore im Themenbereich Molekularbiologie als Interesse fördernde Lernumgebung. Dissertation. Kiel.
- Gnutzmann, Claus; Jakisch, Jenny (2013): Language Awareness und Metakognition. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 167–174.
- Göbel, Kerstin (2009): Videographie als Verfahren zur Erforschung von Lehr-/Lernprozessen im Fremdsprachenunterricht. In: Karin Aguado, Karen Schramm und Helmut Johannes Vollmer (Hg.): Fremdsprachliches Handeln beobachten, messen, evaluieren. Frankfurt a. M.: Lang, S. 277–305.
- Goetz, Thomas; Pekrum, Reinhard; Zirngibl, Anne; Jullien, Simone; Kleine, Michael; Vom Hofe, Rudolf; Blum, Werner (2006): Leistung und emotionales Erleben im Fach Mathematik Längsschnittliche Mehrebenenanalysen Academic Achievement and Emotions in Mathematics: A Longitudinal Multilevel Analysis Perspective. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 18, S. 201–212.

Gossmann, Bastian (2012): "Es nervt" - Entwicklung, Durchführung und Evaluation eines Kurses im Rahmen der Neurobiologie am Bergischen Lehr-Lernlabor Biologie. Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien/Gesamtschulen. Wuppertal.

Graf, Dittmar (2009): Concept Mapping als Instrument zur Wissensdiagnostik. In: *Unterricht Biologie* (347/348), S. 66–69.

Graf, Dittmar (2014): Concept Mapping als Diagnosewerkzeug. In: Dirk Krüger, Ilka Parchmann und Horst Schecker (Hg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Spektrum (Springer Link: Bücher), S. 325–337.

Grotjahn, Rüdiger (2002): Konstruktion und Einsatz von C-Tests: Ein Leitfaden für die Praxis. In: Rüdiger Grotjahn (Hg.): *Der C-Tests. Theoretische Grundlagen und praktische Anwendungen*. 4 Bände. Bochum: AKS-Verlag, S. 211–225. Online verfügbar unter http://homepage.ruhr-uni-bochum.de/ruediger.grotjahn/Grotjahn_KonstruktionC-Test_2002.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Gruart, Agnes (2014): The Role of Neurosciences in Education... and vice versa. In: *International Journal of Educational Psychology* 3 (1), S. 21–48. Online verfügbar unter <http://hipatiapress.com/hpjournals/index.php/ijep/article/view/941/pdf>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Grube, Christiane Regine (2010): *Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Untersuchung der Struktur und Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe 1*. Dissertationsschrift. Online verfügbar unter <https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/bitstream/urn:nbn:de:hebis:34-2011041537247/3/DissertationChristianeGrube.pdf>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Guderian, Pascal (2007): *Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte. Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Lernlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik*.

Haagen-Schützenhöfer, Claudia; Mathelitsch, Leopold; Hopf, Martin (2011): Fremdsprachiger Physikunterricht: Fremdsprachlicher Mehrwert auf Kosten fachlicher Leistungen? Auswirkungen fremdsprachenintegrierten Physikunterrichts auf fachliche Leistungen. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 17, S. 223–260.

Hallet, Wolfgang (2002): Auf dem Weg zu einer bilingualen Sachfachdidaktik. Bilinguales Lernen als fremdsprachige Konstruktion wissenschaftlicher Begriffe. In: *Praxis des neusprachlichen Unterrichts* 49, S. 114–127.

Hallet, Wolfgang (2005a): Bilingualer Unterricht: Fremdsprachig denken, lernen und handeln. In: *Der fremdsprachliche Unterricht Englisch* 11 2005, 2005 (78/ 2005 Content Language Intergrated Learning Bilingualer Unterricht), S. 2–8.

- Hallet, Wolfgang (2005b): Sprachliches Lernen im BU. In: *Der fremdsprachliche Unterricht Englisch* 11 2005, 2005 (78 / 2005), S. 13.
- Hallet, Wolfgang (2013): Fremdsprachenunterricht und Bilingualer Unterricht. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): *Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning*. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 180–186.
- Hammann, Marcus (2004): Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung- dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. In: *MNU Der mathematischer und naturwissenschaftliche Unterricht* 57, 2004, S. 196–203.
- Hammann, Marcus (2007): Das Scientific Discovery as Dual Search- Modell. In: Dirk Krüger und Helmut Vogt (Hg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. 1. Aufl. Berlin, New York: Springer, S. 187–196.
- Hammann, Marcus (2014): Experimentieren. In: Ulrike Spörhase-Eichmann und Wolfgang Ruppert (Hg.): *Biologie Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II*. 2., überarbeitete Neuauflage. Berlin: Cornelsen, S. 102–106.
- Hampel, Petra; Kropf, Verena; Dikici, Saniye; König, Lilith; Gloger-Tippel, Gabriele; Petermann, Franz (2007): Kognitive Entwicklung und sozial-emotionale Kompetenzen bei Frühgeborenen mit unterschiedlichen Bindungsrepräsentationen. In: *Zeitschrift für Klinische Kinderpsychologie* 16, S. 220–228.
- Händel, M.; Sandmann, A. (2013): Kooperatives Concept Mapping. Eine Untersuchung zur Qualität der Zusammenarbeit. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 66 (6), S. 372–376.
- Hannover, Bettina (2004): Gender revisited: Konsequenzen aus PISA für die Geschlechterforschung. In: Dieter Lenzen, Jürgen Baumert, R. Watermann und U. Trautwein (Hg.): *PISA und die Konsequenzen für die erziehungswissenschaftliche Forschung*. Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss (Zeitschrift für Erziehungswissenschaft. Beiheft, 3), 81f.
- Hartig, Johannes; Jude, Nina (2008): Sprachkompetenzen von Mädchen und Jungen. In: Eckhard Klieme (Hg.): *Unterricht und Kompetenzerwerb in Deutsch und Englisch. Zentrale Befunde der Studie Deutsch Englisch Schülerleistungen International (DESI)*. Frankfurt a.M.: Beltz, S. 202–207.
- Hartinger, Andreas; Gryier, Patricia; Tretter, Tobias; Ziegler, Florian (2013): Lernumgebungen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren. Handreichungen des Programms Sinus an Grundschulen. IPN. Kiel. Online verfügbar unter http://www.sinus-an-grundschulen.de/fileadmin/uploads/Material_aus_SGS/Handreichung_Hartinger_et_al_fuer_web.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Hartmannsgruber, Martin (2014): *Bilinguale Biologie. Konzeption und Evaluation*. 1. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren (Sprachenlernen Konkret! Angewandte Linguistik und Sprachvermittlung, 15).

- Hascher, Tina (2005): Emotionen im Schulalltag: Wirkungen und Regulationsformen. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 51, S. 610–625. Online verfügbar unter http://www.pedocs.de/volltexte/2011/4771/pdf/ZfPaed_2005_5_Hascher_Emotionen_im_Schulalltag_D_A.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Hascher, Tina; Edlinger, Heidrun (2008): Von der Stimmungs- zur Unterrichtsforschung: Überlegungen zur Wirkung von Emotionen auf schulisches Lernen und Leisten. In: *Unterrichtswissenschaft* 36, S. 55–70. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Tina_Hascher/publication/280305565_Von_der_Stimmungs-_zur_Unterrichtsforschung_Uberlegungen_zur_Wirkung_von_Emotionen_auf_schulisches_Lernen_und_Leisten/links/55b0cde508ae32092e072f85/Von-der-Stimmungs-zur-Unterrichtsforschung-Ueberlegungen-zur-Wirkung-von-Emotionen-auf-schulisches-Lernen-und-Leisten.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Hattie, John; Timperley, Helen (2007): The Power of Feedback. In: *Review of Educational Research* 77, 2007, S. 81–112. Online verfügbar unter <http://rer.sagepub.com/content/77/1/81.short>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Haugwitz, Marion (2009): Kontextorientiertes Lernen und Concept Mapping im Fach Biologie. Eine experimentelle Untersuchung zum Einfluss auf Interesse und Leistung unter Berücksichtigung von Moderationseffekten individueller Voraussetzung beim kooperativen Lernen. Dissertationsschrift. Online verfügbar unter http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-23401/Dissertation_Haugwitz.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Haugwitz, Marion; Fechner, S.; Sandmann, Angela; Sumfleth, Elke (2009): Zum Einfluss von Kontext und Concept Maps auf Lernerfolg und Interesse in Biologie und Chemie. Zwischenbericht der Forschergruppe und des Graduiertenkollegs nwu-essen. Universität Duisburg-Essen.
- Haugwitz, Marion; Sandmann, Angela (2009): Kooperatives Concept Mapping in Biologie: Effekte auf den Wissenserwerb und die Behaltensleistung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 15, S. 89–107.
- Haupt, Oliver J.; Domjahn, J.; Martin, U., Skiebe-Corrette, Petra; Vorst, Silke; Zehren, Walter; Hempelmann, Rolf (2013): Schülerlabore - eine Begriffsschärfung und Kategorisierung. In: *MNU Der mathematischer und naturwissenschaftliche Unterricht* (66), S. 324–330.
- Häussler, Peter; Bündler, Wolfgang; Duit, Reinders; Gräber, Wolfgang; Mayer, Jürgen (1998): Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Häußler, Peter; Hoffmann, Lore (1995): Physikunterricht - an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert. In: *Unterrichtswissenschaft* 23 (2), S. 107–126.
- Hebb, Donald Olding (1949): The organization of behavior. A neuropsychological theory. New York: Wiley.

- Heckhausen, H. (1972): Interaktion der Sozialvariablen in der Genese der Leistungsmotivation. In: C. F. Graumann (Hg.): Handbuch der Psychologie. 2. Halbband: Forschungsberichte. Göttingen: C.J.Hogrefe.
- Heckmann, Manfred; Dudel, Josef (2010): Synaptische Übertragung. In: Robert F. Schmidt, Florian Lang und Manfred Heckmann (Hg.): Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie; mit 85 Tabellen; mit herausnehmbarem Repetitorium. 31., überarb. und aktualisierte Aufl. Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch), S. 76–97.
- Heidemann, Sarah (2015): Die Verwendung von Diskursfunktionen am Bilingualen Schülerlabortag "The Brain - A Living Network". Masterthesis.
- Heimes, Alexander (2013): Geschichte. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), 345f.
- Heine, Lena (2010a): Fremdsprache und konzeptuelle Repräsentation: bilingualer Unterricht aus kognitiver Perspektive. In: Sabine Doff (Hg.): Bilingualer Sachfachunterricht in der Sekundarstufe. Eine Einführung. Tübingen: Narr Francke Attempto Verlag (narr Studienbücher), S. 199–212.
- Heine, Lena (2010b): Problem solving in a foreign language. Berlin, New York: De Gruyter Mouton (Studies on language acquisition, 41).
- Helmke, Andreas (1992): Selbstvertrauen und schulische Leistungen. Göttingen, Bern: Hogrefe Verl. für Psychologie.
- Hemmelgarn, Marion; Ewig, Michael (2003): Bilingualer Biologieunterricht: Ein Forschungsgebiet (auch) für die Biologiedidaktik. In: *Ber.Inst. Didaktik Biologie* 12, 2003, S. 39–62. Online verfügbar unter <http://miami.uni-muenster.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-2082/idb12-39-62.pdf>, zuletzt geprüft am 11.09.2013.
- Hermes, Liesel (2005): Leseverstehen. In: Johannes-P Timm (Hg.): Englisch lernen und lehren. Didaktik des Englischunterrichts. Berlin: Cornelsen Verlag, S. 229–236.
- Hillebrandt, Dirk; Dähnhardt, Dorothee (2005): Forschend lernen – Schülerlabore in Deutschland: Naturwissenschaft und Nachwuchs gehen ein Stück des Weges gemeinsam. In: *TheoPrax* 1, S. 20–23.
- Hofstein, Avi; Lunetta, Vincent N. (1982): The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. In: *Review of Educational Research* 52 (2), S. 201–217.
- Hofstein, Avi; Lunetta, Vincent N. (2003): The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. In: *Science Education* 88, S. 28–54. Online verfügbar unter <http://gpquae.iqm.unicamp.br/gtexperimentacao.pdf>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Hornberg, S.; Valtin, R.; Potthoff, B.; Schwippert, Knut; Schulz-Zander, R. (2007): Lesekompetenz von Jungen und Mädchen im internationalen Vergleich. In: Wilfried Bos, S. Hornberg, Arnold K.-H., G. Faust, L. Fried, Eva-Maria Lankes et al. (Hg.): IGLU

2006. Lesekompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich. Münster: Waxmann, S. 195–224.

Hugl, Ulrike (1995): Qualitative Inhaltsanalyse und mind mapping. Eine neuer Ansatz für Datenauswertung und Organisationsdiagnose. Wiesbaden: Gabler (Neue betriebswirtschaftliche Forschung, Bd. 151).

IBM (2014): IBM SPSS Missing Values 23. Online verfügbar unter ftp://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/documentation/statistics/23.0/de/client/Manuals/IBM_SPSS_Missing_Values.pdf.

Illert, M.; Kuhtz-Buschbeck, J. P. (2006): Motorisches System. In: Robert F. Schmidt und Hans-Georg Schaible (Hg.): Neuro- und Sinnesphysiologie. 5., neu bearbeitete Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, S. 94–131.

Itzek-Greulich, Heike (2014): Einbindung des Lernorts Schülerlabor in den naturwissenschaftlichen Unterricht. Empirische Untersuchung zu kognitiven und motivationalen Wirkungen eines naturwissenschaftlichen Lehr-Lernarrangements. Dissertation. Tübingen. Online verfügbar unter https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/bitstream/handle/10900/60557/Dissertation_Heike_Itzek-Greulich.pdf?sequence=1&isAllowed=y, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Kandel, Eric Richard (2005): The molecular biology of memory storage: a dialogue between genes and synapses. In: *Bioscience Reports* 24, S. 475–522.

Killermann, Wilhelm; Hierung, Peter; Starosta, Bernhard (2016): Biologieunterricht heute. Eine moderne Fachdidaktik. 16., aktualisierte Aufl. Donauwörth: Auer (Auer Didaktik).

Kim, Karl H.S.; Relkin, Norman R.; Lee, Kyoung-Min; Hirsch, Joy (1997): Distinct cortical areas associated with native and second languages. In: *Nature* (388), S. 171–174.

Kirchner, S.; Priemer, B. (2007): Probleme von Schülern mit offenen Experimentieraufgaben in Physik. In: D. Höttke (Hg.): Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Berlin: LIT.

Klahr, David (2000): Exploring science: The cognition and development of discovery processes. Massachusetts: MIT Press.

Klahr, David; Dunbar, Kevin (1988): Dual Space Search During Scientific Reasoning. In: *Cognitive Science* 12 (1), S. 1–48. DOI: 10.1207/s15516709cog1201_1.

Klieme, Eckhard; Artelt, Cordula; Hartig, Johannes; Jude, Nina; Köller, Olaf; Prenzel, Manfred et al. (Hg.) (2010): PISA 2009. Bilanz nach einem Jahrzehnt. Münster, New York, NY, München, Berlin: Waxmann. Online verfügbar unter https://www.phil-fak.uni-duesseldorf.de/fileadmin/Redaktion/Institute/Sozialwissenschaften/BF/Lehre/Materialien/Pisa/PISA_2009_Bilanz_nach_einem_Jahrzehnt.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Kline, Rex B. (op. 2016): Principles and practice of structural equation modeling. 4th ed. New York, London: The Guilford Press (Methodology in the Social Sciences).

KMK (2005): Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). Beschluss vom 16.12.2004. München, Neuwied: Luchterhand. Online verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Knoblauch, Rebecca; Sumfleth, Elke; Walpuski, Maik (2013): Förderung der Qualität fachinhaltlicher Schüleräußerungen in experimenteller Kleingruppenarbeit im Chemieunterricht. In: *ZfDN - Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 19, S. 347–373, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Koch, Angela; Bündler, Wolfgang (2006): Fachbezogener Wissenserwerb im bilingualen naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 12, 2006, S. 67–76. Online verfügbar unter http://gandalf.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/004_12.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Kögel, A.; Regel, M.; Geelhaar, K.-H.; Klepel, G. (2000): Biologieinteressen der Schüler. Erste Ergebnisse einer Intervalstudie. In: Horst Bayrhuber und Ulrike Unterbruner (Hg.): *Lehren und Lernen im Biologieunterricht*. Innsbruck [u.a.]: Studien-Verl. (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 1).

Kolb, Alice Y.; Kolb, David A. (2005): Learning Styles and Learning Spaces: Enhancing Experiential Learning in Higher Education. In: *Academy of Management & Learning* 4 (2), S. 193–212, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Kolb, David A. (1984): *Experiential Learning: Experience As the Source of Learning and Development*. Engelwood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Köller, O.; Schnabel, K. U.; Baumert, J. (2001): Does interest matter? The relationship between academic interest and achievement in mathematics. In: *Journal for Research in Mathematics Education* 32, S. 448–470.

Köller, Olaf; Klieme, Eckhard (2000): Geschlechtsdifferenzen in den mathematischen Leistungen. In: Jürgen Baumert, Wilfried Bos und Rainer H. Lehmann (Hg.): *TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie-Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn: Vol. 2. Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe*. Opladen: Leske und Budrich, S. 373–404.

Köller, Olaf; Möller, Jens (2010): Selbstwirksamkeit. In: Detlef H. Rost (Hg.): *Handwörterbuch pädagogische Psychologie*. 4., überarb. und erw. Aufl. Weinheim: Beltz (Anwendung Psychologie).

Köller, Olaf; Trautwein, Ulrich; Lüdtke, Oliver; Baumert, Jürgen (2006): Zum Zusammenspiel von schulischer Leistung, Selbstkonzept und Interesse in der gymnasialen Oberstufe. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* (20), S. 27–39.

Königs, Frank G. (2013): Einsprachigkeit, Zweisprachigkeit und Code-Switching. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): *Handbuch Bilingualer Unterricht*. Content

and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 174–180.

Konrad, Klaus (2004): Förderung und Analyse von selbstgesteuertem Lernen in kooperativen Lernumgebungen. Bedingungen, Prozesse und Bedeutung kognitiver sowie metakognitiver Strategien für den Erwerb und Transfer konzeptuellen Wissens. Habilitationsschrift.

Krapp, Andreas (1998): Entwicklung und Förderung von Interesse im Unterricht. In: *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 45, S. 186–203.

Krapp, Andreas (1999): Intrinsische Lernmotivation und Interesse. Forschungsansätze und konzeptuelle Überlegungen. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 45 (3), S. 387–406.

Krapp, Andreas (2005a): Das Konzept der grundlegenden psychologischen Bedürfnisse. Ein Erklärungsansatz für die positiven Effekte von Wohlbefinden und intrinsischer Motivation im Lehr-Lerngeschehen. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, S. 626–641. Online verfügbar unter http://www.pedocs.de/volltexte/2011/4772/pdf/ZfPaed_2005_5_Krapp_Konzept_der_grundlegenden_psychologischen_Beduerfnisse_D_A.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Krapp, Andreas (2005b): Emotion und Lernen - Beiträge der Pädagogischen Psychologie. Einführung in den Thementeil. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, S. 603–609. Online verfügbar unter http://www.pedocs.de/volltexte/2011/4770/pdf/ZfPaed_2005_5_Krapp_Emotion_und_Lernen_Einfuehrung_D_A.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Krashen, Stephen (1982): Principles and Practice Principles and Practice in Second Language Acquisition. Online verfügbar unter http://www.sdkrashen.com/content/books/principles_and_practice.pdf, zuletzt geprüft am 21.06.2017.

Krashen, Stephen D. (1980): The Input Hypothesis. Issues and Implications. Torrance, CA: Laredo Pub. Co.

Krashen, Stephen D. (1986): Principles and Practice in Second Language Acquisition. Reprint. Oxford: Pergamon (Language teaching methodology series).

Krashen, Stephen D. (2005): Explorations in language acquisition and use. The Taipei lectures. [5th print.]. Portsmouth: Heinemann.

Krechel, Hans-Ludwig (2003): Bilingual Modules: Flexible Formen bilingualen Lehrens und Lernens. In: Manfred Wildhage und Edgar Otten (Hg.): Praxis des bilingualen Unterrichts. 1. Aufl. Berlin: Cornelsen-Scriptor, S. 194–215.

Krechel, Hans-Ludwig (2010): Lern- und Arbeitstechniken im bilingualen Sachfachunterricht. In: Sabine Doff (Hg.): Bilingualer Sachfachunterricht in der Sekundarstufe. Eine Einführung. Tübingen: Narr Francke Attempto Verlag (narr Studienbücher), S. 154–168.

- Krechel, Hans-Ludwig (2013a): Organisationsformen und Modelle in weiterführenden Schulen. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 74–80.
- Krechel, Hans-Ludwig (2013b): Textarbeit im Bilingualen Unterricht. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 251–258.
- Kroll, Judith; Sundermann, Gretchen (2003): Cognitive Processes in Second Language Learners and Bilinguals: The Development of Lexical and Conceptual Representations. In: Catherine J. Doughty und Michael H. Long (Hg.): The Handbook of Second Language Acquisition. Malden: Blackwell, S. 104–129.
- Krombass, Angela; Urhahne, Detlef; Harms, Ute (2007): Flow-Erleben von Schülerinnen und Schülern beim Lernen mit Computern und Ausstellungsobjekten in einem Naturkundemuseum. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 13, S. 87–101.
- Lamsfuß-Schenk, Stefanie (2008): Fremdverstehen im bilingualen Geschichtsunterricht: Eine Fallstudie. Frankfurt a.M.
- Lamsfuß-Schenk, Stefanie (2013): Lernmethoden, -techniken und -strategien im Bilingualen Unterricht. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 258–264.
- Lamsfuß-Schenk, Stefanie (2015): Sachfachlicher Kompetenzerwerb in gesellschaftswissenschaftlichen CLIL-Kontexten. In: Bernd Rüschoff, Julian Sudhoff und Dieter Wolff (Hg.): CLIL Revisited. Eine kritische Analyse zum gegenwärtigen Stand des bilingualen Sachfachunterrichts: Peter Lang GmbH, Internationaler Verlag der Wissenschaften, S. 151–164.
- Lange, Silke D. (2012): Steigerung selbstregulierten Lernens durch computerbasiertes Feedback beim Erwerb von Experimentierkompetenz im Fach Biologie. Dissertationsschrift. Göttingen.
- Langlet, Jürgen (2001): Wissenschaft - entdecken und begreifen. In: *Unterricht Biologie* (268), S. 4–11.
- Lasagabaster, David (2011): English achievement and student motivation in CLIL and EFL settings. In: *Innovation in Language Learning & Teaching* 5 (1), S. 3–18.
- Laupenmühlen, Janine (2013): Das Bilinguale im Biologieunterricht - Konzeptbildung in zwei Sprachen. Zum Potenzial der Biologie als bi-lingualem Unterrichtsfach. In: Bärbel Diehr und Lars Schmelter (Hg.): Bilingualen Unterricht weiterdenken. Programme, Positionen, Perspektiven. Frankfurt a.M., Berlin, Bern, Bruxelles, New York: Peter Lang, S. 163–181.

- Lefrançois, Guy R. (2006): *Psychologie des Lernens*. Mit 23 Tabellen. 4., überarb. und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer (Bachelor).
- Lehmann-Horn, Frank (2010): *Motorische Systeme*. In: Robert F. Schmidt, Florian Lang und Manfred Heckmann (Hg.): *Physiologie des Menschen*. Mit Pathophysiologie; mit 85 Tabellen; mit herausnehmbarem Repetitorium. 31., überarb. und aktualisierte Aufl. Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch), S. 127–162.
- Leisen, Josef (2010): *Handbuch Sprachförderung im Fach*. Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis; Grundlagenwissen, Anregungen und Beispiele für die Unterstützung von sprachschwachen Lernern und Lernern mit Zuwanderungsgeschichte beim Sprechen, Lesen, Schreiben und Üben im Fach. Bonn: Varus-Verl.
- Leisen, Josef (2013a): *Darstellungs- und Symbolisierungsformen im Bilingualen Unterricht*. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): *Handbuch Bilingualer Unterricht*. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 152–160.
- Leisen, Josef (2013b): *Handbuch Sprachförderung im Fach*. 1. Aufl. Stuttgart: Klett Sprachen.
- Leisen, Josef (2015): *Fachlernen und Sprachlernen*. Bringt zusammen, was zusammen gehört! In: *MNU Der mathematischer und naturwissenschaftliche Unterricht* 68 (3/2015), S. 132–137.
- Lompscher, Joachim (1993): *Lernstrategien - metakognitive Aspekte*. Lern- und Lehrforschung. Potsdam. Online verfügbar unter <https://publishup.uni-potsdam.de/files/381/LERNSTR2.pdf>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Lompscher, Joachim (1995): *Erfassung von Lernstrategien mittels Fragebogen*. LLF-Berichte / Interdisziplinäres Zentrum für Lern- und Lehrforschung, Universität Potsdam. - 10 (1995). Online verfügbar unter <https://publishup.uni-potsdam.de/files/381/LERNSTR2.pdf>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Long, M. H. (1991): *Focus on form: a design feature in language teaching methodology*. In: Kees de Bot, Ralph B. Ginsberg und Claire J. Kramsch (Hg.): *Foreign language research in cross-cultural perspective*. Amsterdam, Philadelphia: J. Benjamins Pub. Co (Studies in bilingualism, v. 2), S. 39–52.
- Looß, Maike (2007): *Lernstrategien, Lernorientierungen, Lern(er)typen*. In: Dirk Krüger und Helmut Vogt (Hg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. 1. Aufl. Berlin, New York: Springer, S. 141–152.
- Lose, Jana L. (2009): *The Language of Scientific Discourse*. Ergebnisse einer empirischen deskriptiven Interaktionsanalyse zur Verwendung fachbezogener Diskursfunktionen im bilingualen Biologieunterricht. In: Daniela Caspari, Wolfgang Hallet, Anke Wegner und Wolfgang Zydatiś (Hg.): *Bilingualer Unterricht macht Schule*. Beiträge aus der Praxisforschung. 2., durchges. Aufl. Frankfurt, M, Berlin, Bern,

- Bruxelles, New York, NY, Oxford, Wien: Lang (Kolloquium Fremdsprachenunterricht, Bd. 29).
- Löwe, Bernd (1992): Biologieunterricht und Schülerinteresse an Biologie. Dr. nach Typoskr. Weinheim: Dt. Studien-Verl. (Schriftenreihe der Pädagogischen Hochschule Heidelberg / hrsg. von der Pädagogischen Hochschule Heidelberg, Bd. 9).
- Lüthjohann, Frank; Parchmann, Ilka (2011): Konzeptverständnis ermitteln. Concept Mapping als Diagnoseinstrument im NaWi-Unterricht an Regional- und Gemeinschaftsschulen. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, S. 76–81.
- Mandl, Heinz; Fischer, Frank (Hg.) (2000): Wissen sichtbar machen. Mapping - Techniken für das Wissensmanagement in Lern- und Kooperationsprozessen. Göttingen: Hogrefe.
- Mandl, Heinz; Friedrich, Helmut F. (Hg.) (2006): Handbuch Lernstrategien. Göttingen: Hogrefe.
- Markic, Silvija; Ralle, Bernd (2015): Fach und Sprache - Sprache und Fach. In: *MNU Der mathematischer und naturwissenschaftliche Unterricht* 68 (3 2015), S. 131. Online verfügbar unter Verlag Klaus Seeberger. Neuss.
- Marsh, Herbert W. (1986): Verbal and Math Self-Concepts: An Internal/External Frame of Reference Model. In: *American Educational Research Journal*, S. 129–149.
- Marsh, Herbert W. (1990): The Structure of Academic Self-Concept: The Marsh/Shavelson Model. In: *Journal of Educational Psychology* 82 (4), S. 623–636.
- Marsh, Herbert W.; Bryne, Barbara M.; Shavelson, Richard J (1988): A Multifaceted Academic Self- Concept: Its hierarchical Structure and Its Relation to Academic Achievement. In: *Journal of Educational Psychology* 80 (3), S. 366–380.
- Mayer, Jürgen (2007a): Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In: Dirk Krüger und Helmut Vogt (Hg.): *Theorien in der biologiepädagogischen Forschung*. 1. Aufl. Berlin, New York: Springer, S. 177–196.
- Mayer, Jürgen (2014): Forschendes Lernen. In: Ulrike Spörhase-Eichmann und Wolfgang Ruppert (Hg.): *Biologie Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II*. 2., überarbeitete Neuauflage. Berlin: Cornelsen, S. 107–113.
- Mayer, Richard E. (2007b): *Multimedia learning*. 9. print. Cambridge [u.a.]: Cambridge Univ. Press.
- Mehisto, Peter; Marsh, David; Frigols, María Jesús (2008): *Uncovering CLIL. Content and language integrated learning in bilingual and multilingual education*. Oxford: Macmillan Education (Macmillan books for teachers).
- Meyer, Hilbert (2007): *Unterrichtsmethoden*. 12. Aufl. Frankfurt a.M: Cornelsen Scriptor.
- Meyer, Oliver (2010): Towards quality-CLIL: successful planning and teaching strategies. In: *Pulso: Revista de Educación* (3), S. 11–29.

- Ministerium für Kultus, Jugend und Sport (2006): Realschule. Bildung in Baden-Württemberg. Bilingualer Unterricht.
- Mitchell, Mathew (1993): Situational interest. Its multifaceted structure in the secondary school mathematics classroom. In: *Journal of Educational Psychology* 85 (3), S. 424–436. DOI: 10.1037/0022-0663.85.3.424.
- Mittag, Walter; Jerusalem, Matthias (1999): Determinanten des Rauchverhaltens bei Jugendlichen und Transfereffekte eines schulischen Gesundheitsprogrammes. In: *Zeitschrift für Gesundheitspsychologie* 7 (4), S. 183–202.
- Möller, Jens; Köller, Olaf (2004): Die Genese akademischer Selbstkonzepte: Effekte dimensionaler und sozialer Vergleiche. In: *Psychologische Rundschau* 55, S. 19–27, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- MSW NRW (2008): Kernlehrplan für das Gymnasium - Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen - Biologie. Frechen: Ritterbach (Schriftenreihe "Schule in NRW", 3413).
- MSW NRW (2012): Bilingualer Unterricht. Biologie deutsch-englisch in der Sekundarstufe I. Online verfügbar unter http://www.schulentwicklung.nrw.de/cms/upload/bilingualer_Unterricht/documents/HR_BU_BioE_SekI_0912.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- MSW NRW (2013a): Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen Englisch. Online verfügbar unter https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/e/GOST_Englisch_Endfassung3.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- MSW NRW (2013b): Vorgaben zu den unterrichtlichen Voraussetzungen für die schriftlichen Prüfungen im Abitur in der gymnasialen Oberstufe im Jahr 2016. Vorgaben für das Fach Biologie. Hg. v. MSW NRW.
- MSW NRW (2014): Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen Biologie. Düsseldorf. Online verfügbar unter http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/bi/KLP_GOST_Biologie.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- MSW NRW (2015): Zentralabitur 2017 – Biologie. Hg. v. MSW NRW. Online verfügbar unter <https://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/cms/zentralabiturgost/faecher/getfile.php?file=3981>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Mumenthaler, Marco; Mattle, Heinrich (2008): Neurologie. 12., vollständig neu bearbeitete Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Naumann, Johannes; Artelt, Cordula; Schneider, Wolfgang; Stanat, Petra (2010): Lesekompetenz von PISA 2000 bis PISA 2009. In: Eckhard Klieme, Cordula Artelt, Johannes Hartig, Nina Jude, Olaf Köller, Manfred Prenzel et al. (Hg.): PISA 2009. Bilanz nach einem Jahrzehnt. Münster, New York, NY, München, Berlin: Waxmann, S. 23-71.

- Nickel, Richard; Böhme, Gerhard; Schummer, August; Seiferle, Eugen (2004): Nervensystem, Sinnesorgane, endokrine Drüsen. 4., unveränd. Aufl. Stuttgart: Parey (Lehrbuch der Anatomie der Haustiere / Richard Nickel, Bd. 4).
- Niemeier, Susanne (2010): Bilingualismus und "bilinguale" Bildungsgänge aus kognitiv- linguistischer Sicht. In: Gerhard/ Niemeier Susanne Bach (Hg.): Bilingualer Unterricht. Grundlagen, Methoden, Praxis, Perspektiven. 5. überarbeitete und erweiterte Auflage. Frankfurt a.M., Berlin, Bern, Bruxelles, New York, Oxford, Wien: Peter Lang (KFU Kolloquium Fremdsprachenunterricht, 5), S. 23–45.
- Novak, Joseph D.; Cañas, A. J. (2009): The Development and Evolution of the Concept Mapping Tool Leading to a New Model for Mathematics Education. In: K. Afamasaga-Fuata'i (Hg.): Concept Mapping in Mathematics. Research into Practice. Boston: Springer, S. 3–16.
- Nunan, David (2011): Task-based language teaching. 7th print. Cambridge: Cambridge University Press (Cambridge language teaching library).
- Odenthal, Melanie (2015): Untersuchung fachsprachlicher Kommunikation im englisch- deutschen bilingualen Laborkurs "The Brain - A Living Network". Masterthesis. Wuppertal.
- Okebukola, P. A.; Jegede, O. J. (1988): Cognitive preference and learning mode as determinants of meaningful learning through concept mapping. In: *Science Education* 72, S. 153–170.
- Okebukola, Peter Akinsola (1992): Can Good Concept Mappers be Good Problem Solvers in Science? In: *Research in Science & Technological Education* 10 (2), S. 153–170. DOI: 10.1080/0263514920100204.
- Osterhage, Sven (2009): Sachfachkönnen (scientific literacy) bilingual und monolingual unterrichteter Biologieschüler: ein Kompetenzvergleich. In: Daniela Caspari, Wolfgang Hallet, Anke Wegner und Wolfgang Zydati (Hg.): Bilingualer Unterricht macht Schule. Beiträge aus der Praxisforschung. 2., durchges. Aufl. Frankfurt, M, Berlin, Bern, Bruxelles, New York, NY, Oxford, Wien: Lang (Kolloquium Fremdsprachenunterricht, Bd. 29), S. 41–50.
- Otten, Edgar; Wildhage, Manfred (2003): Content Language Integrated Learning: Eckpunkte einer "kleinen" Didaktik des bilingualen Sachfachunterrichts. In: Manfred Wildhage und Edgar Otten (Hg.): Praxis des bilingualen Unterrichts. 1. Aufl. Berlin: Cornelsen-Scriptor.
- Otteni, Martin (2014): Methoden zum Erkunden, Entdecken, Erfinden und Erarbeiten. In: Ulrike Spörhase-Eichmann und Wolfgang Ruppert (Hg.): Biologie Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II. 2., überarbeitete Neuauflage. Berlin: Cornelsen, S. 87–102.
- Overmann, Manfred (2004): Frühes Fremdsprachenlernen lohnt sich - Neurobiologische Forschungen zur Mehrsprachigkeit Französisch heute, S. 208–214.

- Paas, Fred; Tuovinen, Juhani E.; Tabbers, Huib; van Gerven, Pascal W.M. (2003): Cognitive Load Measurement as a Means to Advanced Cognitive Load Theory. In: *Educational Psychologist* 38 (1), S. 63–71, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Paivio, Allan (1986): *Mental representations: a dual coding approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Parchmann, Ilka; Bernholt, Sascha (2012): In, mit und über Chemie kommunizieren - Chancen und Herausforderungen von Kommunikationsprozessen im Chemieunterricht. In: Michael Becker-Mrotzek, Karen Schramm, Eike Thürmann und Johannes Vollmer (Hg.): *Sprache im Fach. Sprachlichkeit und fachliches Lernen*. Münster, München [u.a.]: Waxmann (Fachdidaktische Forschungen, 3), S. 241–253.
- Pavlenko, Aneta (2009): Conceptual Representation in the Bilingual Lexicon and Second Language Vocabulary Learning. In: Aneta Pavlenko (Hg.): *The bilingual mental lexicon. Interdisciplinary approaches*. Bristol [u.a.]: *Multilingual Matters* (Bilingual education and bilingualism, 70), S. 125–160.
- Pawek, Christoph (2009): *Schülerlabor als interesselördernde außerschulische Lernumgebung für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe*. Kiel.
- Perfetti, C. A. (1985): *Reading ability*. New York: Oxford University Press.
- Perrez, M.; Huber, G. L.; Geißler, K. A. (2006): *Psychologie der pädagogischen Interaktion*. In: Andreas Krapp und Bernd Weidenmann (Hg.): *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch*. 5., vollständig überarbeitete Seite. Weinheim, Basel: Beltz, S. 357–413.
- Pfangert-Becker, U. (2008): Das Experiment im Lehr- und Lernprozess: Eine Betrachtung aus der Sicht kompetenzorientierten Lehrens und Lernens im Kontext der zweiten Ausbildungsphase. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule* 59 (6), S. 40–42.
- Piaget, Jean (1994): *The equilibration of cognitive structures. The central problem of intellectual development*. Chicago, IL, London: University of Chicago Press.
- Pickering, Ron (2006): *Complete biology for Cambridge IGCSE*. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press.
- Piesche, Nicole; Jonkmann, Kathrin; Fiege, Christiane; Keßler, Jörk-U. (2016): CLIL for all? A randomised controlled field experiment with sixthgrade students on the effects of content and language integrated science learning*. In: *Learning and Instruction* 44, S. 108–116.
- Pisa-Konsortium (Hg.) (2004): *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland - Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*.
- Piske, Thorsten (2006): Zur Entwicklung der Englischkenntnisse bei deutschsprachigen Immersionsschülerinnen und -schülern im Grundschulalter. In: Norbert Schlüter (Hg.): *Fortschritte im frühen Fremdsprachenlernen. Ausgewählte Tagungsbeiträge Weingarten 2004*. 1. Aufl., 1. Dr. Berlin: Cornelsen.

- Piske, Thorsten (2015): Zum Erwerb der CLIL-Fremdsprache. In: Bernd Rüschoff, Julian Sudhoff und Dieter Wolff (Hg.): CLIL Revisited. Eine kritische Analyse zum gegenwärtigen Stand des bilingualen Sachfachunterrichts: Peter Lang GmbH, Internationaler Verlag der Wissenschaften, S. 101–125.
- Pitsch, Karola; Heimes, Alexander (2013): Fachmethoden im Bilingualen Unterricht. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 243–251.
- Plieger, Petra (2006): Struktur und Erwerb des bilingualen Lexikons. Konzepte für die mediengestützte Wortschatzarbeit. Berlin: LIT.
- Pohlmann, Britta; Möller, Jens; Streblov, Lilian (2005): Bedingungen leistungsbezogenen Verhaltens im Sportunterricht. In: *Zeitschrift für Sportpsychologie*, S. 127–134. Online verfügbar unter <http://econtent.hogrefe.com/doi/abs/10.1026/1612-5010.12.4.127>.
- Pospeschill, Markus (2010): Testtheorie, Testkonstruktion, Testevaluation. Mit 77 Fragen zur Wiederholung. München [u.a.]: Reinhardt (UTB, 3431 : Psychologie).
- Preisfeld, Angelika (2016): Die Bedeutung bilingualen Experimentalunterrichts in Biologie für die fachliche und sprachliche Kompetenz. In: Bärbel Diehr, Angelika Preisfeld und Lars Schmelter (Hg.): Bilingualen Unterricht erforschen und weiterentwickeln: Peter Lang.
- Prenzel, Manfred (1988): Wirkungsweise von Interesse. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Prenzel, Manfred (Hg.) (2007a): Kompetenzdiagnostik. 1. Aufl. Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss (Zeitschrift für Erziehungswissenschaft / Sonderheft, 8).
- Prenzel, Manfred (2007b): Wichtige Ergebnisse im Überblick. In: Manfred Prenzel, Cordula Artelt, Jürgen Baumert, Werner Blum, Marcus Hammann, Eckhard Klieme und Reinhard Pekrum (Hg.): PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie. Münster, München [u.a.]: Waxmann.
- Prenzel, Manfred (Hg.) (2013): PISA 2012. Fortschritte und Herausforderungen in Deutschland. Münster: Waxmann.
- Prenzel, Manfred; Artelt, Cordula; Baumert, Jürgen; Blum, Werner; Hammann, Marcus; Klieme, Eckhard; Pekrum, Reinhard (Hg.) (2007): PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie. Münster, München [u.a.]: Waxmann.
- Purves, William K. (2011): Biologie. 9. Aufl. Hg. v. Jürgen Markl. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.
- Quatember, Andreas (2014): Statistik ohne Angst vor Formeln. Das Studienbuch für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. 4. aktualisierte Auflage. Hallbergmoos: Pearson (MyLibrary).

Raab-Steiner, Elisabeth; Benesch, Michael (2012): Der Fragebogen. 3., aktualisierte und überarb. Aufl. Wien: Facultas.wuv.

Rasch, Björn; Friese, Malte; Hofmann Wilhelm (2014): Quantitative Methoden 2. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Unter Mitarbeit von Björn Rasch, Malte Friese, Wilhelm Johann Hofmann und Ewald Naumann. 4., überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).

Rasch, Dieter; Guiard, Volker (2004): The robustness of parametric statistical methods (46), S. 175–208.

Reinmann, Gabi; Mandl, Heinz (2006): 13. Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: Andreas Krapp und Bernd Weidenmann (Hg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. 5., vollständig überarbeitete Seite. Weinheim, Basel: Beltz, S. 613–658.

Reinmann-Rothmeier, Gabi; Mandl, Heinz (2013): Wissen. In: Markus A. Wirtz (Hg.): Lexikon der Psychologie. Dorsch - 2014/2015, Bd. 6. 16., vollst. überarb. Aufl. Bern: Huber. Online verfügbar unter <http://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/wissen/16892>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Remy, K. (2000): Entwicklung eines Fragebogens zum Flow-Erleben. Diplomarbeit. Bielefeld.

Resnick, L. B. (1987): Instruction and the Cultivation of Thinking. In: E. de Corte (Hg.): Learning and Instruction. European Research in an International Context. Oxford (1).

Rheinberg, Falko (2004): Motivation. 5. Auflage. Stuttgart: Kohlhammer.

Rheinberg, Falko; Vollmeyer, Regina; Engeser, Stefan (2003): Die Erfassung des Flow-Erlebens. Online verfügbar unter <http://psych-server.psych.uni-potsdam.de/people/rheinberg/messverfahren/Flow-FKS.pdf>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Rheinhardt, Christian; Lau, Andreas; Hottenrott, Kuno; Stoll, Oliver (2006): Flow-Erleben unter kontrollierter Beanspruchungssteuerung. Ergebnisse einer Laufbahnstudie. In: *Zeitschrift für Sportpsychologie* 13, S. 140–146. DOI: 10.1026/1612-5010.13.4.140.

Richter, Renate (2004): And now - in English, please. Basisartikel. In: *UB Unterricht Biologie*, 2004 (297/98), S. 4–12.

Richter, Renate; Reischauer, Dirk (2004): Sicherungsmethoden im bilingualen Biologieunterricht. Beilage. In: *Unterricht Biologie* (297/98).

Richter, Renate; Zimmermann, Marianne (2003): Und es geht doch: Naturwissenschaftlicher Unterricht auf Englisch. In: Manfred Wildhage und Edgar Otten (Hg.): Praxis des bilingualen Unterrichts. 1. Aufl. Berlin: Cornelsen-Scriptor, S. 116–146.

- Roche, Jörg (2013): Fremdsprachenerwerb, Fremdsprachendidaktik. 3., vollst. überarbeitete Aufl. Tübingen: Narr Francke Attempto Verlag.
- Rodenhauser, Annika (2016): Bilinguale biologische Schülerlaborkurse. Konzeption und Durchführung sowie Evaluation der kognitiven und affektiven Wirksamkeit. Dissertation. Wuppertal.
- Rodenhauser, Annika; Preisfeld, Angelika (2015): Bilingual (German–English) Molecular Biology Courses in an Out-of-School Lab on a University Campus: Cognitive and Affective Evaluation. In: *International Journal of Environmental and Science Education* 10 (1), 99-10. DOI: 10.12973/ijese.2015.233a.
- Rodenhauser, Annika; Preisfeld, Angelika (2016): A Glue from Snail Slime?! – Umsetzung und Evaluation eines bilingualen Moduls für den Biologieunterricht. In: Bärbel Diehr, Angelika Preisfeld und Lars Schmelter (Hg.): *Bilingualen Unterricht erforschen und weiterentwickeln*: Peter Lang.
- Rönnebeck, Silke; Schöps, Katrin; Prenzel, Manfred; Mildner, Dorothea; Hochweber, Jan (2010): Naturwissenschaftliche Kompetenz von PISA 2006 bis PISA 2009. In: Eckhard Klieme, Cordula Artelt, Johannes Hartig, Nina Jude, Manfred Prenzel, Wolfgang Schneider und Petra Stanat (Hg.): *PISA 2009. Bilanz nach einem Jahrzehnt*. Münster: Waxmann, S. 177–198. Online verfügbar unter http://www.pedocs.de/volltexte/2011/3535/pdf/Roennebeck_et_Al._Naturwissenschaftliche_Kompetenz_D_A.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Rosenzweig, Mark R.; Bennett, Edward L. (1996): Psychobiology of plasticity. Effects of training and experience on brain and behavior. In: *Behavioural Brain Research* 78 (1), S. 57–65. DOI: 10.1016/0166-4328(95)00216-2.
- Rost, Jürgen (2004): *Lehrbuch Testtheorie, Testkonstruktion*. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Aufl. Bern: H. Huber (Aus dem Programm Huber, Psychologie Lehrbuch).
- Rumlich, Dominik (2013): Students´ general English proficiency prior to CLIL: Empirical evidence for substantial differences between prospective CLIL and non-CLIL students in Germany. In: Stephan Breidbach (Hg.): *Content and Language Integrated Learning (CLIL) in Europe: Research Perspectives on Policy and Practice (Mehrsprachigkeit in Schule Und Unterricht)*. Frankfurt a.M.: Peter Lang Publishing Group, S. 181–201.
- Rumlich, Dominik (2014): Prospective CLIL and non-CLIL students´ interest in English (classes): A quasi-experimental study on German sixth-graders. In: Ruth Breeze, Carmen Llamas Saíz, Concepcion Martínez Pasamar und Cristina Tabernero Sala (Hg.): *Integration of theory and practice in CLIL*. Amsterdam: Rodopi B.V (Utrecht Studies in Language and Communication, 28), S. 75–95.
- Rumlich, Dominik (2015): Zur affektiv-motivationalen Entwicklung von Lernenden im bilingualen Sachfachunterricht. In: Bernd Rüschoff, Julian Sudhoff und Dieter Wolff (Hg.): *CLIL Revisited. Eine kritische Analyse zum gegenwärtigen Stand des bilingualen Sachfachunterrichts*: Peter Lang GmbH, Internationaler Verlag der Wissenschaften, S. 309–330.

- Sandmann, Angela (2014): Lautes Denken - die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In: Dirk Krüger, Ilka Parchmann und Horst Schecker (Hg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Spektrum (Springer Link: Bücher), S. 179–188.
- Schaffner, E.; Schiefele, Ulrich; Drechsel, B.; Artelt, Cordula (2004): Lesekompetenz. In: Pisa-Konsortium (Hg.): PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland - Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs, S. 93–110.
- Scharfenberg, Franz-Josef (2005): Experimenteller Biologieunterricht zu Aspekten der Gentechnik im Lernort Labor: empirische Untersuchung zu Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse. (Am Beispiel des Demonstrationslabors Bio-/Gentechnik der Universität Bayreuth mit Schülern aus dem Biologie-Leistungskurs des Gymnasiums). Dissertation.
- Schecker, Horst (2014): Überprüfung der Konsistenz von Itemgruppen mit Cronbachs alpha. Online Zusatzmaterial. Retrieved from <http://static.springer.com/sgw/documents/1426184/application/pdf/Cronbach+Alpha.pdf>. In: Dirk Krüger, Ilka Parchmann und Horst Schecker (Hg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Spektrum (Springer Link: Bücher).
- Schecker, Horst; Parchmann, Ilka; Krüger, Dirk (2014): Formate und Methoden naturwissenschaftsdidaktischer Forschung. In: Dirk Krüger, Ilka Parchmann und Horst Schecker (Hg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Spektrum (Springer Link: Bücher), S. 1–15.
- Scheersoi, Annette (2009): Lernmotivation im Biologieunterricht. In: Ulrich Gebhard (Hg.): Kind und Natur. Die Bedeutung der Natur für die psychische Entwicklung. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: VS, Verlag für Sozialwissenschaften, S. 69–88.
- Schiefele, Ulrich (1996): Motivation und Lernen mit Texten. Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, Ulrich; Schreyer, Inge (1994): Intrinsische Lernmotivation und Lernen. Ein Überblick zu Ergebnissen der Forschung. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 8 (1), S. 1–13.
- Schiepe-Tiska, A.; Schöps, K.; Rönnebeck, S.; Köller, O.; Prenzel, M. (2013): Naturwissenschaftliche Kompetenz in PISA 2012: Ergebnisse und Herausforderungen. In: Manfred Prenzel (Hg.): PISA 2012. Fortschritte und Herausforderungen in Deutschland. Münster: Waxmann.
- Schmidt, Richard (1993): Awareness and second language acquisition. In: *Annual Review of Applied Linguistics* 13, S. 206–226.
- Schmidt, Robert F.; Schaible, Hans-Georg (Hg.) (2006): Neuro- und Sinnesphysiologie. 5., neu bearbeitete Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.

- Schmiemann, Philipp (2011): Fachsprache in biologischen Testaufgaben. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 17, S. 115–136, zuletzt geprüft am 17.02.2017.
- Schnell, Rainer; Esser, Elke; Hill, Paul B.; Schnell-Hill-Esser (2005): *Methoden der empirischen Sozialforschung*. 7., völlig überarb. und erw. Aufl. München [u.a.]: Oldenbourg.
- Scholz, Gerold (2005): Experimente mit Kindern. Mainz, 17.06.2005. Online verfügbar unter http://grundschulforschung.de/GSA/Bildungsarbeit_4.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Schön, Melanie (2007): Medizinische Psychologie und Soziologie. In: Jesko Priewe und D. Tümmers (Hg.): *Kompendium Vorklinik - GK1*. Mit ... 253 Tabellen ; [+ IMPP-Fragen online 2002 - heute]. Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Schöne, Claudia; Dickhäuser, Oliver; Spinath, Birgit; Stiensmeier-Pelster, Joachim (2003): Das Fähigkeitsselbstkonzept und seine Erfassung. In: Joachim Stiensmeier-Pelster und Falko Rheinberg (Hg.): *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept*. Göttingen [u.a.]: Hogrefe (Tests und Trends, N.F., Bd. 2).
- Schreiber, N.; Theyßen, H.; Schecker, H. (2009): Experimentelle Kompetenz messen?! In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* 8:(3) 92–101 8, 2009 (3), S. 92–101.
- Sedlmeier, Peter; Renkewitz, Frank (2013): *Forschungsmethoden und Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. 2., aktual. und erweiter. Aufl. München: Pearson.
- Sokolowski, Kurt (2013): *Allgemeine Psychologie für Studium und Beruf*. München [u.a.]: Pearson (Always learning).
- Sousa, David A. (2012): *How the brain learns*. 4th ed. Thousand Oaks, Calif.: Corwin Press.
- Spörhase-Eichmann, Ulrike; Köhler, Karlheinz (Hg.) (2012): *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. 5., überarb. Neuaufl. Berlin: Cornelsen.
- Spörhase-Eichmann, Ulrike; Ruppert, Wolfgang (2004): *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. 1. Auflage. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Stanat, Petra; Kunter, Mareike (2001): Kompetenzerwerb, Bildungsbeteiligung und Schullaufbahn von Mädchen und Jungen im Ländervergleich. In: Deutsches PISA-Konsortium (Hg.): *PISA 2000. Ein differenzierter Blick auf die Länder der Bundesrepublik Deutschland*. Opladen: Leske + Budrich, S. 211–242.
- Sumfleth, Elke; Neuroth, Jasmin; Leutner, Detlev (2010): Concept Mapping - eine Lernstrategie muss man lernen. In: *CHEMkon* 17, S. 66–70, zuletzt geprüft am 03.07.2017.
- Sunal, D.W; Sunal, C. S.; Sundberg C.; Wright, E. L. (2008): The Importance of Laboratory Work and Technology in Science Teaching. In: D.W Sunal, E. L. Wright

und Sundberg C. (Hg.): The impact of the laboratory and technology on learning and teaching science K-16. Charlotte, N.C.: IAP Information Age Publishing, S. 1–28.

Thum, Anja (2015): Untersuchung der fachsprachlichen Kommunikation im deutschen Schülerlaborkurs "Das Gehirn - ein lebendes Netzwerk". Masterthesis. Wuppertal.

Thürmann, Eike (2010): Die eigenständige Methodik für den bilingualen Sachfachunterricht? In: Gerhard/ Niemeier Susanne Bach (Hg.): Bilingualer Unterricht. Grundlagen, Methoden, Praxis, Perspektiven. 5. überarbeitete und erweiterte Auflage. Frankfurt a.M., Berlin, Bern, Bruxelles, New York, Oxford, Wien: Peter Lang (KFU Kolloquium Fremdsprachenunterricht, 5), S. 71–89.

Thürmann, Eike (2013a): Scaffolding. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 236–243.

Thürmann, Eike (2013b): Spezifische Methoden für den Bilingualen Unterricht/CLIL. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 229–235.

Thürmann, Eike; Vollmer, Helmut J. (2011): Checkliste zu sprachlichen Aspekten des Fachunterrichts. Online verfügbar unter http://www.unterrichtsdiagnostik.info/media/files/Beobachtungsraster_Sprachsensibler_Fachunterricht.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Unterbruner, Ulrike (2007): Multimedia- Lernen und Cognitive Load. In: Dirk Krüger und Helmut Vogt (Hg.): Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. 1. Aufl. Berlin, New York: Springer, S. 152–164.

Vaas, Rüdiger (2000): Gedächtnis. In: Hartwig Hanser (Hg.): Lexikon der Neurowissenschaft. In vier Bänden. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. Online verfügbar unter <http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/gedaechtnis/4050>, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

Van Patten, Bill (1990): Attending to Form and Content in the Input. In: *Stud. Sec. Lang. Acq.* 12 (03), S. 287–301. DOI: 10.1017/S0272263100009177.

Verriere, Katharina (2014): Bilinguale Module im Mathematikunterricht und ihr Einfluss auf die Lernbereitschaft der Schüler/innen für das Sachfach. Trier: WVT Wissenschaftlicher Verlag Trier (Studien zur Fremdsprachendidaktik und Spracherwerbforschung, 2).

Vollmer, Helmut J. (2010): Bilingualer Sachfachunterricht als Inhalts- und als Sprachlernen. In: Gerhard/ Niemeier Susanne Bach (Hg.): Bilingualer Unterricht. Grundlagen, Methoden, Praxis, Perspektiven. 5. überarbeitete und erweiterte Auflage. Frankfurt a.M., Berlin, Bern, Bruxelles, New York, Oxford, Wien: Peter Lang (KFU Kolloquium Fremdsprachenunterricht, 5), S. 47–70.

- Vollmer, Helmut Johannes (2013): Das Verhältnis von Sprach- und Inhaltslernen im Bilingualen Unterricht. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 124–131.
- Vygotskij, Lev S. (2002): Denken und Sprechen. Psychologische Untersuchungen. Orig.-ausg. Weinheim, Basel: Beltz (Beltz-Taschenbuch, 125 : Psychologie).
- Walpuski, Maik; Sumfleth, Elke (2007): Strukturierung und Feedback zur Unterstützung experimenteller Kleingruppen im Chemieunterricht. In: *ZfdN, Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 13, 2007, S. 181–198. Online verfügbar unter http://www.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/010_Walpuski_13.pdf, zuletzt geprüft am 03.09.2013.
- Watzlawick, Paul (2016): Wie wirklich ist die Wirklichkeit? Wahn, Täuschung, Verstehen. 17. Auflage. München, Berlin, Zürich: Piper (Serie Piper, 4319).
- Weidenmann, Bernd (2006): Lernen mit Medien. In: Andreas Krapp und Bernd Weidenmann (Hg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. 5., vollständig überarbeitete Seite. Weinheim, Basel: Beltz, S. 415–465.
- Weinert, Franz E. (Hg.) (2001): Leistungsmessungen in Schulen. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Weinert, Franz E. (2016): Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: Franz E. Weinert (Hg.): Leistungsmessungen in Schulen. 3. Aufl. Weinheim: Beltz, S. 17–32.
- White, Bozena (2007): Are girls better readers than boys? Which boys? Which girls? In: *Canadian Journal of Education* 30 (2), S. 554–581.
- Wigfield, Allan; Eccles, Jacquelynne S. (1992): The development of achievement task values. A theoretical analysis. In: *Developmental Review* 12 (3), S. 265–310. DOI: 10.1016/0273-2297(92)90011-P.
- Wild, Elke; Hofer, Manfred; Pekrum, Reinhard (2006): Psychologie des Lernalers. In: Andreas Krapp und Bernd Weidenmann (Hg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. 5., vollständig überarbeitete Seite. Weinheim, Basel: Beltz, S. 203–267.
- Wilde, Matthias (2007): Biologieunterricht im Naturkundemuseum. Eine empirische Untersuchung zu naturwissenschaftlichem Unterricht im außerschulischen Lernort. Saarbrücken: VDM Verl. Dr. Müller.
- Wilde, Matthias; Bätz, Katrin; Kovaleva, Anastassiya; Urhahne, Detlef (2009): Überprüfung einer Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM). In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 15, S. 31–45.
- Wildhage, Manfred (2002): Vom Verstehen und Verständigung. Basisartikel des Themenhefts zum bilingualen Geschichtsunterricht. In: *Praxis Geschichte*, 2002 (1/2002), S. 4–11. Online verfügbar unter http://lakk.bildung.hessen.de/netzwerk/faecher/bilingual/Magazin/mat_aufsaeetze/wildhage-2002.pdf.

- Willenberg, Heiner (2001): Wir sollten mehr üben, anders zu lesen. In: *Deutschunterricht*, S. 11–12.
- Wode, H.; Burmeister, P.; Daniel, A.; Kickler, K. U.; Knust, M. (1996): Die Erprobung von deutsch-englisch bilingualem Unterricht in Schleswig-Holstein: Ein erster Zwischenbericht. In: *Zeitschrift für Fremdsprachenforschung* 7, S. 15–42.
- Wode, Henning (1995): Lernen in der Fremdsprache. Grundzüge von Immersion und bilingualem Unterricht. Ismaning: Hueber Verlag.
- Wolff, Dieter (2012): Sprache und Sprachhandeln: Grundlage aller Verstehens- und Lernprozesse. In: Gabriele Bell (Hg.): Fremdsprachendidaktik und Lehrerbildung. Konzepte, Impulse, Perspektiven. Münster: LIT (Fremdsprachendidaktik in globaler Perspektive, 1), S. 21–34.
- Wolff, Dieter (2016): Der bilinguale Sachfachunterricht historisch betrachtet: Ist er der Königsweg der Mehrsprachigkeit und zum interkulturellen Verstehen? In: Bärbel Diehr, Angelika Preisfeld und Lars Schmelter (Hg.): Bilingualen Unterricht erforschen und weiterentwickeln: Peter Lang.
- Woolfolk, Anita (2008): Pädagogische Psychologie. 10. Aufl. bearbeitet und übersetzt von Ute Schönplüg. München [u.a.]: Pearson Studium (Pearson Studium Psychologie).
- Wotschack, Christiane (2009): Zum Einfluss der Lesestrategien auf Effekte der kognitiven Kontrolle Spektrum Patholinguistik, S. 69–78. Online verfügbar unter https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/files/3092/spath02_themen02.pdf.
- Yin, J. C.; Tully, T. (1996): CREB and the formation of long-term memory. In: *Current opinion in neurobiology* 6 (2), S. 264–268.
- Zehren, Walter (2009): Forschendes Experimentieren im Schülerlabor. Dissertation. Saarbrücken.
- Zöfel, Peter (2002): Statistik verstehen. Ein Begleitbuch zur computergestützten Anwendung. 2. Dr. München: Addison-Wesley (Scientific computing).
- Zschocke, Stephan (Hg.) (2002): Klinische Elektroenzephalographie. Unter Mitarbeit von H.-C. Hansen. 2., überarb. und erw. Aufl. Berlin: Springer.
- Zumbach, Jörg; Moser, Stephanie; Unterbruner, Ulrike; Pfligersdorffer, Georg (2014): Problemorientiertes Online-Lernen im Biologieunterricht: Fähigkeitsselbstkonzept, mentale Anstrengung und Vorwissen als Prädiktoren für Wissenserwerbsprozesse zwischen Instruktion und Konstruktion. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (20), S. 45–56.
- Zydati, Wolfgang (2005): Diskursfunktionen in einem analytischen und curricularen Zugriff auf Textvarietäten und Aufgaben des bilingualen Sachfachunterrichts. In: Franz-Joseph Meißner (Hg.): Themenschwerpunkt. "Neokommunikativer" Fremdsprachenunterricht. Tübingen: Narr (Fremdsprachen lehren und lernen, 34), S. 157–173.

Zydati, Wolfgang (2007): Deutsch-Englische Züge in Berlin (DEZIBEL). Eine Evaluation des bilingualen Sachfachunterrichts an Gymnasien - Kontext, Kompetenzen, Konsequenzen. Frankfurt am Main [u.a.]: Lang (Mehrsprachigkeit in Schule und Unterricht, 7).

Zydati, Wolfgang (2013): Kompetenzerwerb im Bilingualen Unterricht. In: Wolfgang Hallet und Frank G. Königs (Hg.): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and Language Integrated Learning. Seelze: Friedrich Verlag (Reihe Handbücher zur Fremdsprachendidaktik), S. 131–137.

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei Frau Prof'in Dr. Gela Preisfeld für die Möglichkeit der Durchführung der vorliegenden Arbeit bedanken. Auch für das offene, angenehme und konstruktive Arbeitsklima sowie die anregenden Diskussionen und die positive Energie möchte ich mich herzlich bedanken.

Frau Prof'in Bärbel Diehr danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens und die vielen interessanten Konversationen im Rahmen des Arbeitskreises Bilinguales Lehren und Lernen.

Mein besonderer Dank gilt Dr. Karsten Damerau für die vielfältigen Anregungen und Gedankenaustausche auch im Zusammenhang mit SP(A)SS.

Ebenso gilt M.Ed. Sabrina Dahmen ein herzlicher Dank für die herausragende wissenschaftliche Unterstützung an den vielen gemeinsamen Schülerlabortagen.

Des Weiteren danke ich allen, die beim Korrekturlesen u. ä. hilfreiche Hinweise gaben, besonders danke ich M.Sc. Melanie Beudels und Annemarie Piepenbrink für ihren besonderen Beitrag zum Korrekturlesen.

Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe gilt mein besonderer Dank für eine spannende gemeinsame Zeit, für die vielen kurzweiligen Momente, das gegenseitige Unterstützen und dafür, dass ihr wart, wie ihr wart.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie sowie den Freundinnen und Freunden, die dieses Projekt mit unterschiedlicher Intensität von nah und fern miterlebt und begleitet haben. Besonders danke ich meinem Mann Rainer sowie unseren Kindern Katharina und Sebastian für ihre angenehme und unterstützende Begleitung während dieser Jahre.

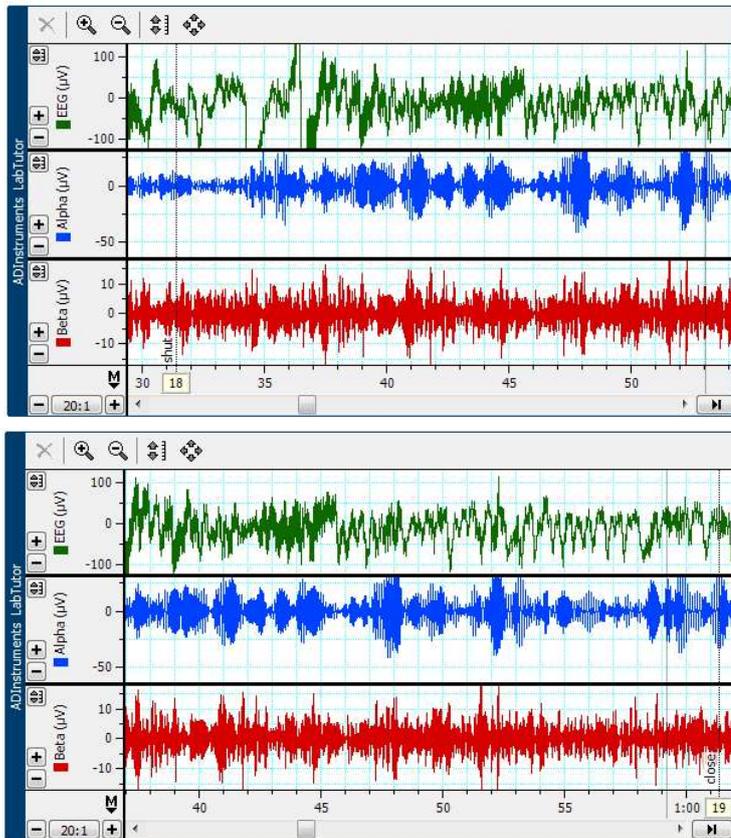
ANHANG

Inhaltsverzeichnis

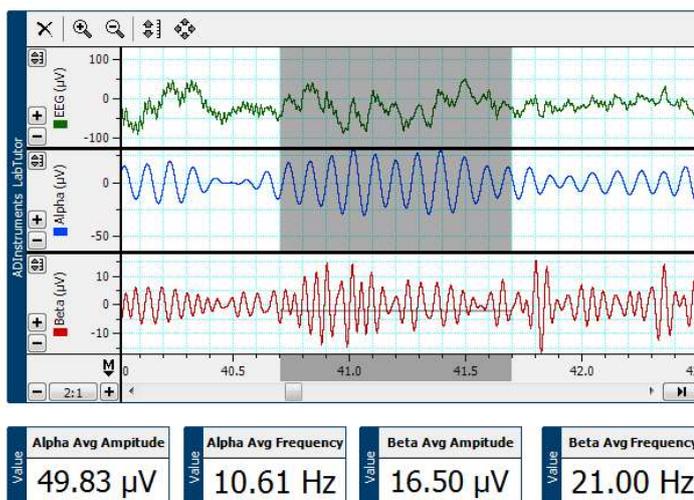
- A** Versuchsergebnisse der Elektroenzephalografie
- B** Mikroskopische Abbildungen der Großhirnrinde und der Pyramidenzellen
- C** In dieser Studie eingesetzter *Cloze* Test

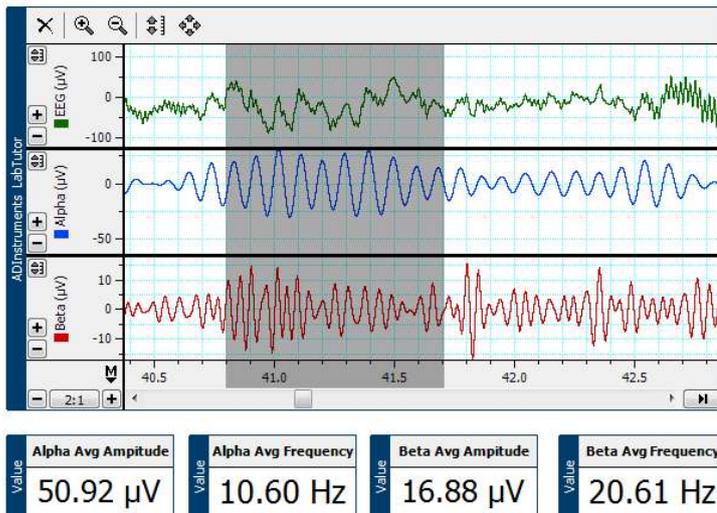
A Versuchsergebnisse der Elektroenzephalografie

1. Elektroenzephalogramme im Überblick bei geschlossenen Augen (eigene Aufnahmen)

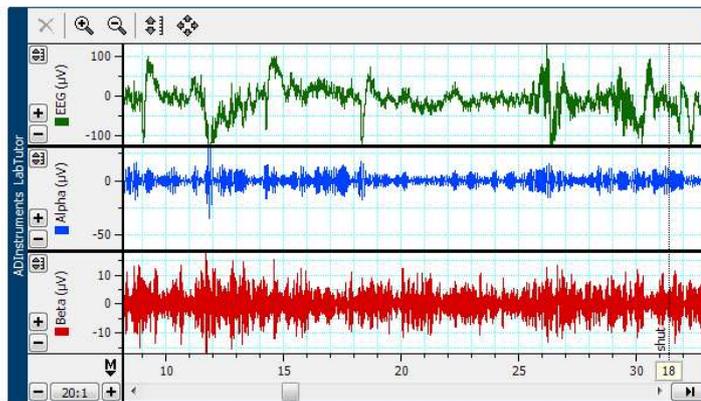


2. Elektroenzephalogramme im Detail bei geschlossenen Augen – Alpha-Grundrhythmus, mit zugehörigen Werten für Amplitude und Frequenz der Alpha- und Betawellen (eigene Aufnahmen)

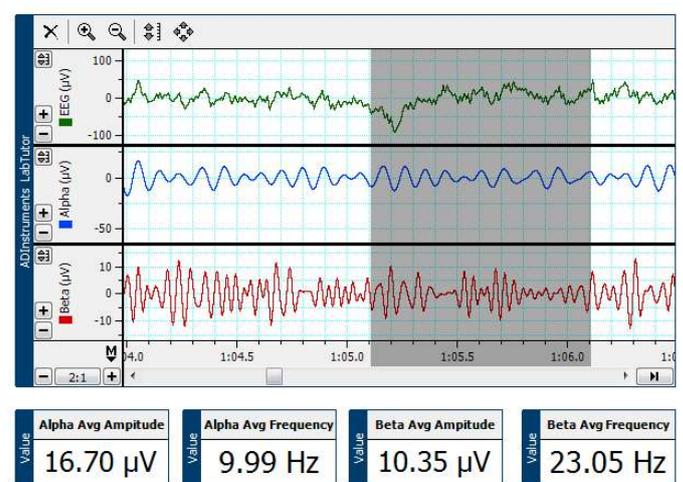
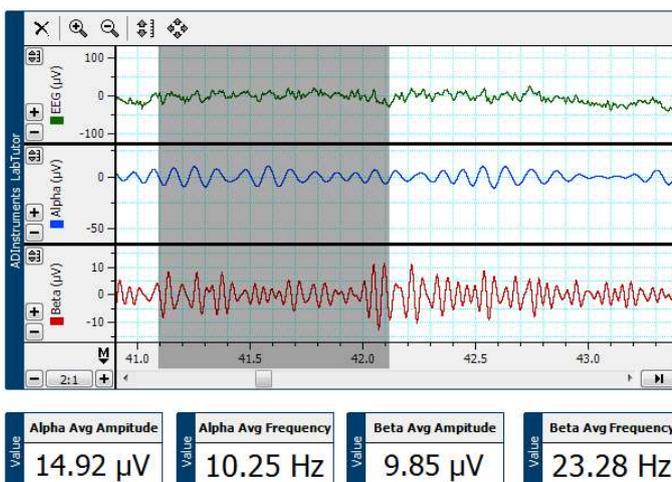




3. Elektroenzephalogramme im Überblick bei geöffneten Augen (Blockade des Alpha-Rhythmus) (eigene Aufnahmen)

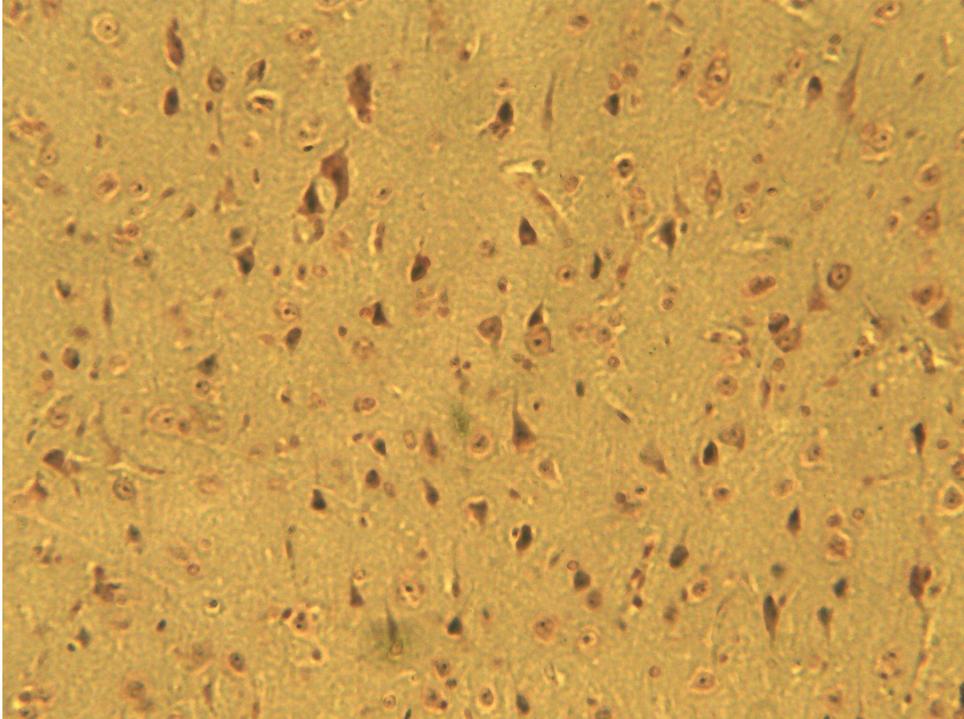


4. Elektroenzephalogramme im Detail bei geöffneten Augen (Blockade des Alpha-Rhythmus), mit zugehörigen Werten für Amplitude und Frequenz der Alpha- und Betawellen (eigene Aufnahmen)

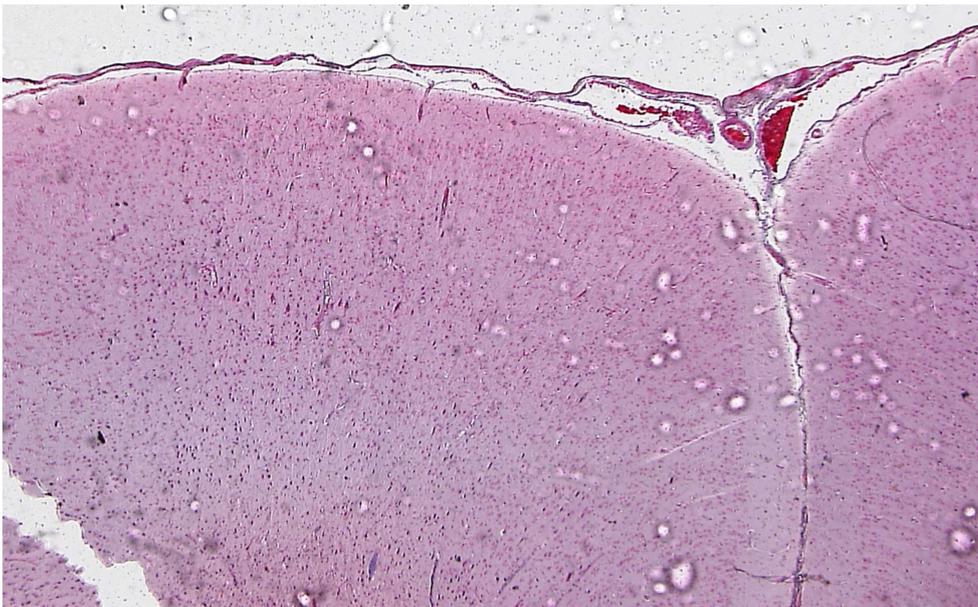


B Mikroskopische Abbildungen der Großhirnrinde und der Pyramidenzellen (eigene Aufnahmen)

1. Pyramidenzellen der Großhirnrinde (Mensch). Sie sind anhand der großen, unregelmäßigen, z.T. pyramidalen Zellkörper identifizierbar.



2. Großhirn (Mensch) im Überblick. Deutlich sichtbar ist die außen gelegene Molekularschicht und die darunterliegenden Zellschichten, in denen die Anordnung der Pyramiden in Säulen deutlich wird.



C In dieser Studie eingesetzter Cloze Test

Ergänzen Sie die Wörter bezüglich der folgenden Lücken in Großblockbuchstaben.
Die Anzahl der Kästchen verweist auf die Anzahl der fehlenden Buchstaben.

The brain develops as a swelling at the front end of the spinal cord. In humans it
weighs about 1.4 kg and is the most common organ known.
The brain is large, composed of neurons, typically containing
about 25 000 000 000 cells, each connected to as many as thousands
others, for a total of up to 10^{14} synapses. As well as thousands
of neurones, the brain contains many other cells with
supporting roles – some form a barrier to prevent
infection, others secrete cushioning fluids – and a well-developed
blood supply delivers the vital supplies of oxygen and glucose.

ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, dass ich

- die von mir eingereichte Dissertation selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe,
- nur die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche unter Angabe der Quelle gekennzeichnet habe,
- die Dissertation weder in der vorliegenden noch in ähnlicher Form bei anderen Instituten oder wissenschaftlichen Hochschulen mit der Absicht einer Promotion vorgelegt habe.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Dissertation wissenschaftlich interessierten Personen oder Institutionen zur Einsichtnahme zur Verfügung gestellt werden kann.

Wuppertal, den

(Margret Buse)