



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Bergische Universität Wuppertal
Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen
Lehr- und Forschungsgebiet
Baubetrieb und Bauwirtschaft
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus

**GRUNDLAGEN FÜR EIN
ENERGIEMANAGEMENT IM BAUBETRIEB**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

Vorgelegt von: Dipl.-Ing. Selcuk Nisancioglu

Betreut durch: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus

Wuppertal, 30. März 2016

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20170412-100014-4

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20170412-100014-4>]

„Und es wird höchste Zeit, dass die deutsche Bauwirtschaft der eigenen Energieeffizienz und Emissionsreduzierung als wichtigen Wettbewerbsvorteil sehr große Bedeutung beimisst.“¹

Klaus Pöllath

¹ Megatrends – Auswirkungen auf die Bauwirtschaft: Klaus Pöllath (Vorstand Ed. Züblin AG und Vizepräsident Technik des Hauptverbands der Deutschen Bauindustrie) im Tagungsband: 1. Internationaler BBB-Kongress, 15.09.2011 in Dresden

„Während in den Anfängen der Energieeinsparverordnung (EnEV) und der vorangegangenen Wärmeschutzverordnung der Energieverbrauch für Heizwärme während der Nutzungsphase den Energiebedarf zur Erstellung bei weitem überstieg, führen die jüngeren Fassungen der EnEV zu einem deutlich verminderten Energieverbrauch während der Nutzung. Dies bedeutet, dass der Energieverbrauch für Herstellung und Rückbau nicht mehr als insignifikant gering anzusehen ist und zukünftig der Energieverbrauch über den gesamten Lebenszyklus bilanziert werden sollte.“²

² VDI Zentrum Ressourceneffizienz, <http://www.ressource-deutschland.de/themen/bauwesen/lebenszyklusbau/> (Stand: 30.03.2016)

Vorwort des Verfassers

Diese Arbeit entstand im Wesentlichen während meiner Zeit am Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft der Bergischen Universität Wuppertal auf Grundlage des von der Deutschen Bundestiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsprojektes *Entwicklung von Energiekonzepten zur Steigerung der Energieeffizienz und Reduzierung des CO₂-Ausstoßes auf Baustellen.*³

Meine große Wertschätzung und mein besonderer Dank für das mir entgegengebrachte Vertrauen sowie die Betreuung und Unterstützung während der Erstellung dieser Arbeit gilt meinem akademischen Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus.

Insbesondere meiner ehemaligen Kollegin Anne Randel danke ich für die gute Zusammenarbeit. Berit Offergeld, Oliver Sachs und Nicole Warkus danke ich für ihre Unterstützung im Rahmen unserer Doktorandenseminare. Für die kompetente und sorgfältige Durchsicht des Manuskripts danke ich Silke Wiesemann.

Des Weiteren gilt mein Dank den studentischen Hilfskräften, allen voran Daniel Küppersbusch, Tobias Osterfeld und Carina Ritter und den Studierenden, die ich im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten betreuen durfte und die mit ihren Arbeiten wichtige Impulse für diese Arbeit gegeben haben.

Den Forschungspartnern und den beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern danke ich für die gute Zusammenarbeit und große Unterstützung. Ohne sie wäre der weitreichende Erkenntnisgewinn nicht möglich gewesen. Namentlich sind dies:

- Bettina Luik, Ed. Züblin AG, Stuttgart
- Stefan Körbel, Bilfinger SE
- Silke Pfortner, Ed. Züblin AG, Hamburg
- Frank Schreiber und Milenko Ciric, bam Deutschland, Stuttgart
- Mark Hinrichsen und Norbert Ibendahl, Wuppertaler Stadtwerke GmbH

Schließlich danke ich meiner Familie und meinen Freunden für den großen Rückhalt während der Erstellung der Dissertation.

Selcuk Nisancioglu

³ Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Aktenzeichen 25780-24/2, Projektlaufzeit 2009-2011

Zusammenfassung

Zu den wesentlichen Herausforderungen der Gegenwart gehören die Reduzierung von Treibhausgasemissionen und gleichzeitig die sparsame und effiziente Nutzung von Ressourcen. Um kostengünstig und vor allem umweltschonend bauen zu können, müssen Bauabläufe und die in der Bauproduktion eingesetzten Maschinen auf ihren Energieverbrauch überprüft und optimiert werden, um bisher ungenutzte Energieeinsparpotenziale aufzuzeigen und auszuschöpfen. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten *Grundlagen für ein Energiemanagement im Baubetrieb* verknüpfen den Gedanken des nachhaltigen und umweltschonenden Wirtschaftens mit betriebswirtschaftlich sinnvollem Handeln, so dass wichtige wirtschaftliche Anreize für Unternehmen geschaffen werden, sich aktiv an der Schonung der Ressourcen und damit auch an der Reduktion des CO₂-Ausstoßes zu beteiligen.

Durchgeführte Untersuchungen

Zu den untersuchten Baustellen gehören sowohl Erd-, Tief- und Deponiebaumaßnahmen als auch Hochbaustellen (Roh- und Ausbaugewerke). Die energetische Bestandsaufnahme erfolgt durch die Installation von Messgeräten, die den Stromverbrauch aufzeichnen und dokumentieren. Ebenso wird der Kraftstoffverbrauch von Baumaschinen erfasst. Auf dieser Grundlage wird die Analyse des Energiebedarfs möglich. Zeitgleich zu der energetischen Bestandsaufnahme erfolgen eine Schwachstellenanalyse und die Entwicklung von Optimierungsmöglichkeiten.

Erzielte Ergebnisse

Erstmals wird der Energieverbrauch einer Baumaßnahme über alle Bauphasen hinweg dargestellt, indem die energieverbrauchenden Prozesse analysiert und Verbrauchern zugeordnet werden. So werden die Voraussetzungen geschaffen, im Rahmen eines Energiemanagements vorhandene Energieeffizienz- und Energieeinsparpotenziale zu identifizieren und auszuschöpfen. Ergänzend werden die Potenziale den Bereichen Technik, Organisation und Personal zugeordnet und so direkte, auf ihre ökologische Wirksamkeit und ökonomische Effizienz hin untersuchte Handlungsempfehlungen für Baustellen zur Verfügung gestellt. Für die systematische Nutzung der Potenziale wird auf Grundlage der DIN EN ISO 50001 (Energiemanagementsysteme) ein Modell für die Implementierung und Umsetzung eines Energiemanagementsystems im Baubetrieb entwickelt. Auf dieser Grundlage kann die bestehende Lücke in der energetischen Lebenszyklusbetrachtung von Immobilien geschlossen werden.

Abstract

One of the main challenges of the present is the reduction of greenhouse gas emissions and the economical and efficient use of resources. In order to build cost-effectively and environmentally friendly, energy consumption of the construction processes and the used machinery must be reviewed to identify and exploit previously untapped energy saving potentials.

This thesis develops *basics for an energy management on construction-sites* in order to combine the idea of sustainable and environmentally friendly business practices with economically meaningful action, so that important economic incentives are given for construction companies to participate actively in the conservation of resources and the reduction of CO₂-emissions.

Realized researches

The analyzed sites include earthworks and landfill construction as well as building construction sites (raw and finishing trades). The consumption of electricity is recorded and documented using electric meters. The fuel consumption of the machinery is also detected. This delivers the basis for calculating the energy demand of subsequent construction projects. A weak point analysis and the identification of optimization opportunities are done simultaneously.

Results Achieved

For the first time, the energy consumption of a building project throughout all construction phases is shown, by analyzing the energy-consuming processes and consumers. This allows identifying and exploiting existing energy efficiency and energy saving potentials as part of an energy management system for construction sites.

The identified potentials are assigned to technological, organizational and personnel measures. Thus recommendations for exploiting the potentials are given, that are examined on their environmental effectiveness and economic efficiency.

For the systematic use of the identified potentials a model for implementing and realizing an energy management system on construction sites based on *ISO 50001 - Energy management* is developed. In this way the existing gap in the energetic life cycle assessment of real estate can be closed.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	V
Verzeichnis der Abbildungen	IX
Verzeichnis der Abkürzungen.....	XIII
1 Einleitung.....	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Stand der Forschung	2
1.3 Literaturrecherche	4
1.4 Ziel	6
1.5 Einordnung der Arbeit und Vorgehensweise	7
1.6 Vorveröffentlichungen	8
2 Grundlagen	9
2.1 Struktur der Bauwirtschaft	9
2.2 Gliederung der Bauunternehmen in Wirtschaftszweige und Größenklassen	10
2.3 Größen- und Umsatzstruktur der Unternehmen der Bauwirtschaft	11
2.4 Gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Bauwirtschaft	12
2.5 Kostenstruktur des Bauhauptgewerbes	14
3 Energienutzung in der Bauwirtschaft	17
3.1 Energieeffizienz in der Bauwirtschaft	18
3.2 In der Bauwirtschaft verwendete Energieträger	20
3.3 Energiepreisentwicklung	21
3.4 Energieeffizienz und Nachhaltigkeit in Bauunternehmen	23
3.4.1 Nachhaltigkeit der Bauwirtschaft	23
3.4.2 Nachhaltigkeitsberichterstattung von Bauunternehmen	25
3.4.3 Die Bedeutung von Energieeffizienz in Bauunternehmen	29
3.5 Überblick bestehender Nachhaltigkeitszertifikate	30
3.6 Präqualifizierung von Bauunternehmen	31
4 Analyse des Energieverbrauchs auf Baustellen	35
4.1 Vorbemerkungen	35
4.1.1 System und Systemgrenzen	35

4.1.2	Messmethode	35
4.1.3	Messanlage	36
4.1.4	Messfehler	36
4.1.5	Detailierungsgrad der Messungen	37
4.1.6	Messverfahren, Messpunkte und Messtechnik	37
4.2	Energieverbrauch der Baustelleneinrichtung	38
4.2.1	Referenzprojekt	40
4.2.2	Methodik	41
4.2.3	Stromversorgung der Baustelle	42
4.2.4	Erfassung des Stromverbrauchs	42
4.2.5	Auswertung und Analyse	43
4.2.6	Maßgebliche Erkenntnisse	44
4.2.7	Verifizierung der Erkenntnisse	49
4.2.8	Gesamtbilanz	51
4.2.9	Zusammenfassung – Baustelleneinrichtung	53
4.3	Energieverbrauch der vorbereitenden Baustellenarbeiten	54
4.4	Energieverbrauch im Erdbau	54
4.4.1	Energieverbrauchsmessungen im Erdbau	55
4.4.2	Energieverbrauchsanalyse Projekt 1	60
4.4.3	Eingesetzte Baumaschinen	63
4.4.4	Methodik der Verbrauchsmessung im Erdbau	63
4.4.5	Ergebnisse der Prozessanalysen Projekt 1	65
4.4.6	Energieverbrauchsanalyse Projekt 2	68
4.4.7	Kraftstoffverbrauchsanalyse	69
4.4.8	Durchschnittsverbräuche Projekt 2	69
4.4.9	Energieverbrauchsanalyse Projekt 3a und 3b	70
4.4.10	Kanalbaumaßnahme Projekt 3a	71
4.4.11	Prozessanalyse Aushub Projekt 3a	72
4.4.12	Kanalbaumaßnahme Projekt 3b	73
4.4.13	Prozessanalyse Aushub Projekt 3b	74
4.4.14	Zusammenfassung – Erdbau	74
4.4.15	Optimierungspotenziale hinsichtlich der Technik	77
4.4.16	Optimierungspotenziale hinsichtlich der Organisation	78
4.4.17	Optimierungspotenziale hinsichtlich des Personals	80
4.4.18	Weitere Optimierungspotenziale	81
4.5	Energieverbrauch beim Rohbau mit Fertigteilen	83
4.5.1	Eingebaute Fertigteile	84
4.5.2	Eingesetzte Baumaschinen	84
4.5.3	Zusammenfassung – Rohbau mit Fertigteilen	90
4.6	Energieverbrauch im Ausbau	92
4.6.1	Stromliefervertrag	94
4.6.2	Untersuchung am Beispiel der Werkhalle	94
4.6.3	Eingesetzte Geräte und Baumaschinen	96
4.6.4	Methodik der Verbrauchsmessungen im Ausbau	97

4.6.5	Zusammenfassung – Ausbau	98
5	Energiemanagement im Baubetrieb	101
5.1	Umfrage zur Bedeutung von Energie im Baubetrieb	102
5.2	Normiertes Energiemanagement nach DIN ISO 50001	106
5.3	Baubetriebliches Energiemanagementsystem	112
5.3.1	Aspekte des EnMS in der Ausschreibung und Vergabe (Präqualifizierung)	116
5.3.2	Aspekte des EnMS in der Kalkulation	116
5.3.3	Aspekte des EnMS in der Vertragsgestaltung (Energiepreisgleitklausel)	117
5.3.4	Aspekte des EnMS in der Arbeitsvorbereitung	118
5.3.5	Aspekte des EnMS im Baumanagement	120
6	Fazit	123
6.1	Zusammenfassung	123
6.2	Ausblick und Empfehlung für das weitere Vorgehen	126
	Quellenverzeichnis	131

Anhang 1 - Liste der Vorveröffentlichungen

Anhang 2 - Prozessanalysen zur Energieverbrauchsanalyse Erdbau

Anhang 3 - Prozessanalysen zur Energieverbrauchsanalyse Rohbau

Anhang 4 - Prozessanalysen zur Energieverbrauchsanalyse Ausbau

Anhang 5 - Analyse der Messergebnisse Ausbau

Anhang 6 - Gutachten: MAYR, K.: *Frappierende Unterschiede beim Dieselverbrauch von Baumaschinen*, Attnang-Puchheim, Österreich, 2008

Anhang 7 - Fragebogen zur Umfrage

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1.1:	Lücken in der energetischen Lebenszyklusbetrachtung von Immobilien.....	1
Abb. 2.1:	Gliederung der Bauwirtschaft in Bausparten.....	10
Abb. 2.2:	Einteilung von Unternehmen in Größenklassen	11
Abb. 2.3:	Unternehmen und Umsätze im Bauhauptgewerbe 2013.....	11
Abb. 2.4:	Anteil des Baugewerbes an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung	12
Abb. 2.5:	Preisentwicklung im deutschen Hochbau (Basis 1995)	13
Abb. 2.6:	Umsatzrendite (vor Steuern) und Eigenkapitalquote im Bauhauptgewerbe	13
Abb. 2.7:	Umsätze im Bauhauptgewerbe nach Sparten.....	14
Abb. 2.8:	Kostenstruktur für das Bauhauptgewerbe 2013.....	15
Abb. 3.1:	Treibhausgas-Emissionen und Minderungsziele für Deutschland.....	17
Abb. 3.2:	CO ₂ -Emissionen ausgewählter Produktionsbereiche für Deutschland in [t]	19
Abb. 3.3:	Verwendete Energieträger in der Bauwirtschaft.....	21
Abb. 3.4:	Energiepreisentwicklung für Kraftstoffe in Deutschland.....	22
Abb. 3.5:	Energiepreisentwicklung in Deutschland.....	22
Abb. 4.1:	Ansichten der untersuchten Hochbaumaßnahmen.....	40
Abb. 4.2:	Lageplan der THIER Galerie in Dortmund	40
Abb. 4.3:	Baumaßnahme THIER Galerie: Abriss und Erdbau.....	41
Abb. 4.4:	Baumaßnahme THIER Galerie: Rohbau- und Ausbauarbeiten	41
Abb. 4.5:	Schematische Darstellung der Stromversorgung.....	42
Abb. 4.6:	Verbrauchsganglinien der Messpunkte Trafo 15 und Trafo 20	43
Abb. 4.7:	Verbrauchsganglinie des Messpunktes Verwaltungsgebäude	44
Abb. 4.8:	Durchschnittlicher Energieverbrauch und Energiekosten	45
Abb. 4.9:	Zusammenhang von Stromverbrauch und Lufttemperatur.....	45
Abb. 4.10:	Durchschnittliche Tagestemperatur und Stromverbrauch 2010/2011	46

Abb. 4.11:	Einfluss der Bauphase und Lufttemperatur auf den Stromverbrauch	47
Abb. 4.12:	Anteil des Stromverbrauches im HT und NT.....	48
Abb. 4.13:	Durchschnittliche Stundenverbräuche differenziert nach KAZ und AFZ	48
Abb. 4.14:	Verbrauchsganglinien der drei untersuchten Bauprojekte	49
Abb. 4.15:	Verbrauchswerte der Projekte differenziert nach Sommer und Winter.....	50
Abb. 4.16:	Vergleich der Verbrauchswerte der Projekte differenziert nach HT und NT	51
Abb. 4.17:	Vergleich des Stromverbrauchs der Projekte differenziert nach Arbeitszeiten .	51
Abb. 4.18:	Gesamtbilanz des Stromverbrauches	52
Abb. 4.19:	Beispiel einer Arbeitskette.....	57
Abb. 4.20:	Schildformen von Planierraupen	58
Abb. 4.21:	Aufbau einer Deponie	60
Abb. 4.22:	Übersicht der Deponie-Baufelder	61
Abb. 4.23:	Übersicht der eingesetzten Baumaschinen im Projekt 1 Deponiebau	63
Abb. 4.24:	Verteilung der kalkulierten Gesamtkosten für Diesel nach Bauleistungen.....	64
Abb. 4.25:	Auswahl der geeigneten Bauleistungen für die Prozessanalysen	64
Abb. 4.26:	Verbrauchskennwerte der eingesetzten Hydraulikbagger und LKW	66
Abb. 4.27:	Verbrauchskennwerte der eingesetzten Planierraupen und Erdbauwalzen	66
Abb. 4.28:	Kalkulierte (Soll) und der reale (Ist) Verbrauchskennwerte der OFA	67
Abb. 4.29:	Kalkulierte (Soll) und reale (Ist) Verbrauchskennwerte der Basisabdichtung....	68
Abb. 4.30:	Ansichten der Baustelle „Neubau JVA Wuppertal“	68
Abb. 4.31:	Überblick der Durchschnittsverbräuche Projekt 2	70
Abb. 4.32:	Kanalbaumaßnahme Elberfelder Straße in Velbert.....	71
Abb. 4.33:	Bagger beim Ausschachten.....	72
Abb. 4.34:	Ergebnis Ausschachten im Kanalbau (Projekt 3a)	73
Abb. 4.35:	Lageplan der Kanalbaumaßnahme in Wuppertal	73
Abb. 4.36:	Erneuerung eines Regenkanals.....	74

Abb. 4.37:	Anteil der Treibstoffkosten an den Herstellkosten [%].....	75
Abb. 4.38:	Erhöhung des Auslastungsgrades	78
Abb. 4.39:	Aufbau eines Transportbetonmischers.....	84
Abb. 4.40:	Aufbau einer Autobetonpumpe.....	85
Abb. 4.41:	Aufbau eines Fahrzeugkrans	86
Abb. 4.42:	Kenndaten der eingesetzten Fahrzeugkrane	87
Abb. 4.43:	Scheinleistung des Turmdrehkrans.....	88
Abb. 4.44:	Wirkleistung des Turmdrehkrans.....	88
Abb. 4.45:	Blindleistung des Turmdrehkrans	89
Abb. 4.46:	Lastband für TDK 1 auf Basis der Scheinleistung	90
Abb. 4.47:	Anfallende Energiekosten für die Erstellung der Werkshalle	91
Abb. 4.48:	Energiekosten für die Erstellung der Werkshalle inkl. Transport	92
Abb. 4.49:	Berücksichtigte Anteile bei der Berechnung der Stromkosten.....	93
Abb. 4.50:	Vertraglich vereinbarte Strompreise	94
Abb. 4.51:	Grobablaufplan für die Erstellung der Werkhalle 1	95
Abb. 4.52:	Messgerät im Hauptstromverteiler der Werkhalle.....	97
Abb. 4.53:	Ranking der Ausbaugewerke nach ihrem Anteil an Gesamtstromkosten	98
Abb. 5.1:	Wichtige Themen in der Zukunft	102
Abb. 5.2:	Berücksichtigung des CO ₂ -Ausstosses bei Vergabeverfahren	102
Abb. 5.3:	Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten der Bauwerksherstellung.....	103
Abb. 5.4:	Hemmnisse bei der Nutzung von Energieeinsparpotenzialen.....	104
Abb. 5.5:	Maßnahmen für Energieeinsparungen und Steigerung der Energieeffizienz...	104
Abb. 5.6:	Planung der Einführung eines Energiemanagementsystems	105
Abb. 5.7:	Entscheidende Kriterien bei der Neuanschaffung von Baumaschinen.....	105
Abb. 5.8:	Prioritäten beim Kauf von Baumaschinen mit modernen Technologien	106
Abb. 5.9:	Modell eines Energiemanagementsystems nach DIN ISO 500001	107

- Abb. 5.10: Schritte und Werkzeuge zur Umsetzung eines Energiemanagementsystems . 109
- Abb. 5.11: Maßnahmen im Rahmen eines EnMS-Bau über alle Bauprojektphasen..... 115
- Abb. 6.1: Anteil des Umsatzes im Tiefbau am Gesamtumsatz im Bauhauptgewerbe..... 124

Verzeichnis der Abkürzungen

A

Abb.	Abbildung
AG	Auftraggeber
AG	Aktiengesellschaft

B

BGL	Baugeräteliste
BIM	Building Information Modeling
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise

C

ca.	circa
CAT	Caterpillar

D

DGNB	Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsches Institut für Normung
durchn.	Durchschnittlich

E

EDV	Elektronische Datenverarbeitung
-----	---------------------------------

EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EG	Europäische Gemeinschaft
EG	Erdgeschoss
EP	Einheitspreis
EM	Energiemanager/Energiemanagement
EN	Europäische Norm
EnMS	Energiemanagementsystem
EnMS-Bau	Baubetriebliches Energiemanagementsystem
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
evtl.	eventuell

F

f.	folgende
ff.	fort folgend

G

ggf.	gegebenenfalls
GPS	Global Positioning Service
GTD	geosynthetische Tondichtungsbahn

H

HT	Haupttarif
HWK	Handwerkskammer

I

i. d. R.	in der Regel
inkl.	inklusive
Ing.	Ingenieur
ISO	International Organization for Standardization
IZ3	Interdisziplinäres Zentrum III für das Management technischer Prozesse der Bergischen Universität Wuppertal

J

J	Joule
JVA	Justizvollzugsanstalt

K

KDB	Kunststoffdichtungsbahn
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kg	Kilogramm
KMBU	Kleine und mittelständische Bauunternehmen
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
kvar	Kilovar (Einheit für die Blindleistung)
kW	Kilowatt
KW	Kalenderwoche
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz

L

L	Liter
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LKW	Lastkraftwagen
LV	Leistungsverzeichnis
LZ	Lastzyklus

M

m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
mg	Milligramm
Mio. t.	Millionen Tonnen

N

Nr.	Nummer
NRW	Nordrhein-Westfalen
NT	Nebentarif
NU	Nachunternehmer

O

OFA	Oberflächenabdichtung
OG	Obergeschoss

P

P	Leistung
PC	Personal Computer
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PE-HD	High Density Polyethylen ()
Pkw	Personenkraftwagen
Poly.	Polynomische Regressionslinie
Prof.	Professor
PU	Polyurethan

S

S.	Seite
s. Kap.	siehe Kapitel
Skw	Schwerkraftwagen

T

t	Tonne
Tab.	Tabelle
TDK	Turmdrehkran
TGA	Technische Gebäudeausrüstung

U

u. a.	unter anderem
u. g.	unten genannt
UKGBC	United Kingdom Green Building Council
USGBC	United States Green Building Council

UTL Universaltieföffel

V

V Volt

vgl. vergleiche

ViCon Virtual Design and Construction

VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen

W

W Watt

WHG Wasserhaushaltsgesetz

w/z-Wert Wasser/Zementwert

Z

z. B. zum Beispiel

1 Einleitung

Zu den wesentlichen Herausforderungen der Gegenwart gehören die Reduzierung von Treibhausgasemissionen und gleichzeitig die effiziente und sparsame Verwendung von Ressourcen. Während den Potenzialen zur Steigerung der Energieeffizienz und Energieeinsparung von Gebäuden in der Nutzungsphase die notwendige Beachtung geschenkt wird, bleibt der Prozess der Bauwerkserstellung bislang unberücksichtigt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird erstmals eine baubetriebliche Untersuchung bestehender Potenziale durchgeführt und so die Lücke in der energetischen Lebenszyklusbetrachtung von Immobilien geschlossen.⁴

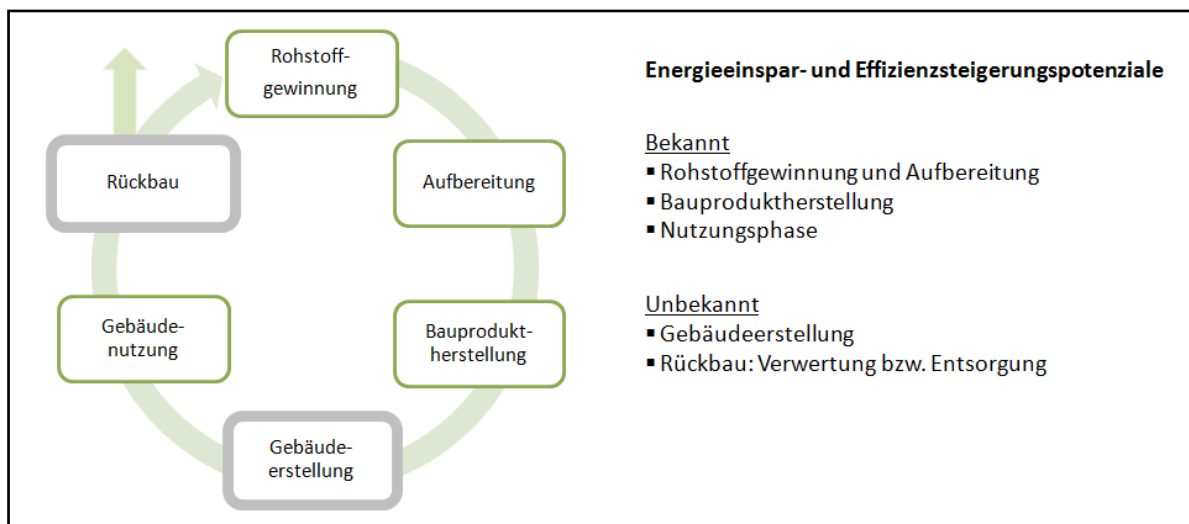


Abb. 1.1: Lücken in der energetischen Lebenszyklusbetrachtung von Immobilien⁵

1.1 Hintergrund

Aspekte der Energienutzung sind im Baubetrieb durch eine untergeordnete Relevanz gekennzeichnet. Unzureichende Rahmenbedingungen und insbesondere ein mangelndes

⁴ vgl. [HNR11], S. 1

⁵ vgl. ebd., S. 3

Bewusstsein verhindern bislang eine Fokussierung auf mögliche Einsparpotenziale. Für den Baustellenbetrieb gilt es als weitgehend unmöglich, den Energiebedarf über die Bauphasen hinweg zu planen. Als Begründung hierfür wird oft der nicht exakt steuerbare Einsatz von Baumaschinen genannt. Aber auch die im Verhältnis zu den Baukosten häufig als zu gering eingeschätzten Energiekosten suggerieren, dass eine Untersuchung von Einsparmöglichkeiten nicht lohnenswert ist. Die Besonderheiten des Bauens, Prototypen an wechselnden Standorten mit wechselnder Belegschaft zu produzieren, erschweren die Umsetzung eines systematischen Energiemanagements. Auch die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit zeigen, dass in der Baustellenpraxis ein nachlässiger Umgang mit Energieressourcen herrscht. Allerdings müssen vor dem Hintergrund weltweit kontinuierlich steigender Energiepreise sowie der Forderung, zeitnah den klimaschädlichen CO₂-Ausstoß zu minimieren, Strategien und Maßnahmen entwickelt werden. Die Bauwirtschaft, als eine der Schlüsselindustrien für die Binnenwirtschaft und zugleich einer der größten Wirtschaftszweige in Europa, spielt hierbei eine bisher völlig vernachlässigte Rolle.⁶

1.2 Stand der Forschung

Eine Untersuchung der KfW-Bankengruppe zu den Hemmnissen und Erfolgsfaktoren von Energieeffizienzmaßnahmen in Unternehmen aus dem Jahr 2005 zeigt, dass der Energiekostenanteil an den Gesamtkosten mit 3,8 % im Bausektor am niedrigsten und im Dienstleistungssektor mit 7,2 % am höchsten von den befragten Unternehmen eingeschätzt wird.⁷ Einspar- und Effizienzpotenziale werden laut der Studie von der Bauwirtschaft kaum wahrgenommen bzw. als zu geringfügig eingeschätzt. Mehr als die Hälfte der befragten Bauunternehmen sehen keine Energieeinsparmöglichkeiten, ein Drittel schätzt das Einsparpotenzial auf unter 10 % ein.⁸ Diese Einordnung beruht hauptsächlich auf der Tatsa-

⁶ vgl. [HNR11], S. 1

⁷ vgl. [KfW05], S. 8

⁸ vgl. ebd. S. 17

che, dass in der Bauwirtschaft die Energieeinsparpotenziale der Bauwerkserstellung unbekannt sind. Die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit zeigen zum einen, dass in der Baustellenpraxis ein nachlässiger Umgang mit Energieressourcen herrscht und zum anderen, dass es an Maßnahmen und Konzepten mangelt bestehende Potenziale zu erkennen und auszuschöpfen.

In Baukonzernen wird die Energieeffizienz im Rahmen von Nachhaltigkeitsberichten thematisiert, wobei es nach wie vor nicht gelingt eindeutige Daten zum Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß im Baubetrieb zu erfassen und diesem zuzuweisen. Die Thematik Klimaschutz bleibt in den Berichten daher vorerst noch auf das Bauen und Betreiben von nachhaltigen Gebäuden, die energetische Gebäudesanierung und die Reduzierung der CO₂-Emissionen der unternehmensinternen Fahrzeugflotte beschränkt.⁹ Daher erscheint es inkonsequent, energieeffiziente Gebäude zu planen, zu bauen und zu betreiben und dabei die Energieeffizienz- und Energieeinsparpotenziale der Bauausführungsphase auszublenden.¹⁰

Erschwerend kommt hinzu, dass vergleichbare Herstellerangaben zum Kraftstoffverbrauch von Baumaschinen fehlen, so dass die Kraftstoffverbräuche gleichartiger Baumaschinen unterschiedlicher Hersteller nicht miteinander verglichen werden können. Ein anerkanntes und standardisiertes Verfahren zur Ermittlung von Baumaschinenverbräuchen würde hier für die notwendige Transparenz im Baumaschinensektor sorgen. Vor allem in der Investitionsrechnung bleibt aufgrund dieses Defizites ein wichtiger wirtschaftlicher Kostenaspekt unberücksichtigt. Wie gravierend jedoch die Kraftstoffverbräuche abweichen können, verdeutlicht ein Sachverständigen-Gutachten¹¹ zweier Autobetonpumpen. Bei identischen Randbedingungen konnte eine Abweichung des Dieserverbrauchs von 64 % festgestellt werden. Solche schwerwiegenden Unterschiede können den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens beeinflussen. Obwohl Baumaschinenhersteller gegenwärtig vermehrt auf neue Technologien setzen, um die Leistung ihrer Baumaschinen zu optimieren und zeit-

⁹ vgl. [Hoc13], S. 69 und [Bam13], S. 39

¹⁰ vgl. [HNR11], S. 3

¹¹ vgl. [May08], Anlage 6

gleich den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren, fehlen transparente Angaben zum Kraftstoffverbrauch; ein energetischer Vergleich der Baumaschinen bleibt somit unmöglich.¹²

1.3 Literaturrecherche

Eine ausführliche Literaturrecherche zeigt, dass es bislang keine Untersuchungen zur Umsetzung eines Energiemanagements auf Baustellen gibt. Es existieren lediglich spezifische Energiekonzepte für verschiedene andere Branchen wie z. B. die Metallindustrie, die kunststoffverarbeitende Industrie, die Ernährungsindustrie, die Textilindustrie und Holzverarbeitung sowie Energieeinsparkonzepte für den Wohnungsbau und öffentliche Gebäude. Für diese Arbeit kann auf schon vorhandene Literatur zum betrieblichen Energiemanagement zurückgegriffen werden, insbesondere zu den Ausführungen in der DIN EN ISO 50001 - Energiemanagementsysteme, wobei zu beachten ist, dass diese sich auf die stationäre Industrie bezieht. Die für den Baustellenbetrieb besonderen Gegebenheiten sind zu beachten und auch in dieser Hinsicht zu erweitern.

Hinsichtlich Energieeinsparungen auf Baustellen existiert wenig Literatur. Ein Forschungsprojekt der Universität Karlsruhe aus dem Jahr 1978 behandelt Energieeinsparungen bei einer Auswahl von Baumaschinen und ist allerdings aufgrund des seitdem gewachsenen Mechanisierungsgrades auf der Baustelle und der Weiterentwicklung von Baumaschinentechnologien nicht mehr aktuell.¹³

Ein Bericht aus dem Jahr 1978 des Swedish Council for Building Research untersucht die Rolle der Energie für den Bausektor, betrachtet aber nur eine begrenzte Auswahl an Möglichkeiten, um Energieverbräuche zu reduzieren. Zudem sind die darin erlangten Erkennt-

¹² vgl. [HNR11], S. 3

¹³ Günter Kühn: Energieeinsparung bei Baumaschinen. Möglichkeiten der Reduzierung des Energieverbrauchs bei einer Auswahl von Baumaschinen. Vorstudie; Bau- und Wohnforschung, Univ. Karlsruhe, Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb -imb-, [o. Ort], 1978, Fraunhofer IRB Verlag

nisse aufgrund des mittlerweile weit vorangeschrittenen Stands der Technik ebenfalls veraltet.¹⁴

In einer Diplomarbeit¹⁵ zur Energiebedarfsermittlung bei einer 14-monatigen Tunnelbaumaßnahme am Münchener Marienplatz aus dem Jahre 2005 wurde ein durchschnittlicher Energiebedarf von ca. 80.000 kWh pro Monat festgestellt. In den letzten 5 Monaten der Baumaßnahme lagen die Energieverbräuche sogar erheblich über dem Durchschnittswert der ersten 9 Monate mit einem Mehrverbrauch von ca. 160.000 kWh im Monatsmittel. Diese Arbeit fokussiert die Prognose des Stromverbrauchs, um Lastspitzen zu vermeiden. Zudem behandelt die Arbeit nur eine spezielle Tiefbaumaßnahme und liefert keine allgemeingültigen und auf ein weites Spektrum von Baustellen anwendbaren Lösungsmöglichkeiten.

Eine Dissertationsschrift aus dem Jahre 2008, verfasst von Althea Gayle Arnold an der Texas A&M University¹⁶, befasst sich mit der Entwicklung einer Methode zur Erfassung der Energiekosten während der Bauphase. Wesentliche Erkenntnis ist, dass es in unterschiedlichen Bauphasen zu unterschiedlichen Energieverbräuchen kommt. Auf Grundlage der vorhandenen Abrechnungen dreier abgeschlossener Baumaßnahmen wird ein Tool entwickelt, das es ermöglichen soll, Energiekosten über die Phasen Baufeldfreimachung (Phase 1), Rohbau (Phase 2), Ausbau (Phase 3) bis zur Inbetriebnahme (Phase 4) der Immobilie zu erfassen und so einen Datenpool für zukünftige Analysen aufzubauen. Die Untersuchung kommt zu dem Schluss, dass der Energieverbrauch über die Bauphasen stark variiert, wobei der größte Verbrauch im Zuge des intensiven Baumaschineneinsatzes in Phase 1 auftritt. Der Energieverbrauch für die Phasen 2 und 3 sei schwer zu quantifizieren gewesen.

¹⁴ Swedish Council for Building Research, Stockholm (Hrsg.): Byggnadets energiprofil. (Welche Rolle spielt die Energie für den Bausektor?), Stockholm, 1978, Selbstverlag

¹⁵ Schuster, André: Untersuchung zur strukturierten Energiebedarfsermittlung für den baubetrieblichen Planungsprozess, Diplomarbeit an der Bauhaus-Universität Weimar, Professur Baubetrieb und Bauverfahren, Weimar, 2005

¹⁶ Arnold, Althea Gayle: Development of a method for recording energy costs and uses during the construction process. Doctoral dissertation, Texas A&M University, [o. Ort], 2008

Jedoch falle der Energieverbrauch hier verglichen mit den anderen Phasen geringer aus. Während der Phase 4 sei der Strombedarf sehr hoch, da Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung in Betrieb genommen wurden. Möglichkeiten um Energie während der Bauwerkserstellung einzusparen werden nicht untersucht.

Das vom BMBF geförderte Verbundprojekt TEAM¹⁷ (Laufzeit 2013-2015) hat die Entwicklung von Technologien für energiesparende Antriebe mobiler Arbeitsmaschinen zum Ziel und fokussiert ausschließlich die maschinenbaulichen Aspekte der Thematik.

Die Versorgung der Baustelle mit Energie ist Aufgabe der Baustelleneinrichtung. Das Studium der gängigen Literatur hierzu zeigt, dass im Rahmen der Energieversorgung die Dimensionierung und Gestaltung des Versorgungsnetzes behandelt werden. Hinweise auf stromsparende Möglichkeiten oder ein Energiemanagement existieren nicht.

Die Literaturrecherche hat somit ergeben, dass bzgl. Energieeinsparungen im Bauprozess und der systematischen Ausschöpfung dieser Potenziale im Rahmen eines Energiemanagements im Baubetrieb begründeter Forschungsbedarf besteht.

1.4 Ziel

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Grundlagen zu schaffen, die es ermöglichen sollen, ein Energiemanagement im Baubetrieb umzusetzen. Nicht nur steigende Energiepreise, sondern auch die Notwendigkeit, den klimaschädlichen CO₂-Ausstoß zeitnah zu minimieren, rechtfertigen eine Untersuchung von Einsparmöglichkeiten auf Baustellen. In Prozessanalysen der Phasen Erdbau, Rohbau und Ausbau werden die Energieverbräuche erfasst und dokumentiert und anschließend Möglichkeiten aufgezeigt, bestehende Potenziale im Rahmen eines Energiemanagements systematisch auszuschöpfen. Durch die Verknüpfung von umweltgerechtem Handeln und nachhaltigem Wirtschaften wird so auch die Wettbewerbsfähigkeit von Bauunternehmen, die ein Energiemanagementsystem anwenden, gestärkt.

¹⁷ vgl. <http://team-mobilemaschinen.de>, Stand: 30.03.2016

1.5 Einordnung der Arbeit und Vorgehensweise

Diese Arbeit behandelt Fragestellungen der Ingenieurwissenschaften, insbesondere des Bauingenieurwesens, im Speziellen der Baubetriebslehre. Der Baubetrieb hat die Aufgabe, die technisch-wirtschaftlichen Zusammenhänge des Geschehens in einer Bauunternehmung und auf der Baustelle darzustellen und Möglichkeiten ihrer Optimierung aufzuzeigen.¹⁸

Der energetische Lebenszyklus einer Immobilie gliedert sich in fünf Phasen: Zu Anfang stehen die Gewinnung und die Aufbereitung der Rohstoffe, der sich die Bauproduktherstellung anschließt. Daran anschließend erfolgt deren Transport zum Bestimmungsort, wo sie in der dritten Phase verbaut und in der vierten Phase genutzt werden. Abschließend folgt in der fünften Phase der Abbruch nach entsprechender Nutzungszeit. Da der Energiebedarf für die Transporte, die Herstellung der Baustoffe und in der Nutzungsphase bekannt ist, wird im Rahmen der Untersuchungen die Baustelle fokussiert. Möglichkeiten der Energieeffizienz und Energieeinsparung beziehen sich damit im Folgenden unmittelbar auf den Baubetrieb.

Für die Entwicklung eines Energiemanagements im Baubetrieb ist es notwendig, Bauprozesse und Bauproduktionsmittel im Hinblick auf den Energieverbrauch zu erfassen und entsprechende technische, organisatorische und personelle Optimierungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Die Entwicklung erfolgt exemplarisch an Fallbeispielen aus den Bereichen Erdbau, Hochbau und der Ausbaugewerke differenziert nach Strom- und Kraftstoffverbräuchen. Nach Darstellung des aktuellen Standes der Thematik *Energieeffizienz und Energieeinsparung auf Baustellen* erfolgt im zweiten Schritt eine Verbrauchsanalyse auf drei Baustellen bei gleichzeitiger Schwachstellenanalyse. Anschließend wird, abhängig von den speziellen Randbedingungen der Bauproduktion, ein Modell für die Umsetzung und Implementierung eines Energiemanagements im Baubetrieb basierend auf DIN ISO 50001 vorgestellt.

¹⁸ vgl. [Brü07], S. 58

1.6 Vorveröffentlichungen

Diese Arbeit entstand im Wesentlichen nach meiner Zeit am Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft der Bergischen Universität Wuppertal auf Grundlage des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsprojektes *Entwicklung von Energiekonzepten zur Steigerung der Energieeffizienz und Reduzierung des CO₂-Ausstoßes auf Baustellen*¹⁹. Im Rahmen dieses Projektes wurden bereits Ergebnisse, die dieser Arbeit zu Grunde liegen, veröffentlicht.²⁰ Die hier verwendeten Ergebnisse und die Notwendigkeit eines Energiemanagements im Baubetrieb wurden somit bereits in Fachkreisen intensiv diskutiert.

¹⁹ Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Aktenzeichen 25780-24/2, Projektlaufzeit 2009-2011

²⁰ Siehe Anhang 1: Liste der Vorveröffentlichungen

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Struktur und die Rolle der Bauwirtschaft im gesamtwirtschaftlichen Kontext dargelegt und die charakteristischen Rahmenbedingungen der Bauproduktion vorgestellt.

2.1 Struktur der Bauwirtschaft

Kennzeichnend für die Bauproduktion ist die entkoppelte Fertigung von Unikaten an wechselnden Standorten mit wechselnder Belegschaft unter freiem Himmel. Die große Herausforderung jedes Bauprojektes besteht somit in der Planung, Organisation und Koordinierung der temporären Produktionsinfrastruktur sowie der gesamten Produktionsmittel und Baustellenbelegschaft zur richtigen Zeit am richtigen Ort in der notwendigen Menge und geforderten Qualität. Dieser Herausforderung wird versucht, mit verschiedenen Organisationsformen der Bauausführung zu begegnen. Die Fertigungsplanung spielt dabei eine entscheidende Rolle, da die Produktionsmittel und Arbeitskräfte unter Beachtung der Termintreue und gleichbleibender Qualität möglichst wirtschaftlich eingesetzt werden müssen. Hinzu kommt noch, dass diese zuvor genannten Aspekte mit den bauvertraglichen Bedingungen des Bauherrn in Einklang zu bringen sind. Diese Menge an Randbedingungen verdeutlicht, dass der Bauunternehmer oftmals nur zu einem gewissen Teil Einfluss auf die Art und Weise der auszuführenden Arbeiten hat. Die Fertigungsplanung stellt somit lediglich den Versuch dar, die notwendigen Ressourcen möglichst wirtschaftlich einzusetzen.²¹ Für den Bauunternehmer und die energetische Betrachtung der Bauproduktion bedeutet das, dass die bisher vernachlässigte „Stellschraube Energieverbrauch“ nach Möglichkeit systematisch ausgenutzt werden muss, um bisher ungenutzte Energie- und die damit verbundenen Kosteneinsparpotentiale auszuschöpfen.²²

²¹ vgl. [Nag98], S. 11

²² vgl. [HNR11], S. 5

2.2 Gliederung der Bauunternehmen in Wirtschaftszweige und Größenklassen

Entsprechend der europäischen Vereinheitlichung von Wirtschaftszweigen wird das Baugewerbe (Kennziffer F) in die Abteilungen

- 41 Hochbau,
- 42 Tiefbau und
- 43 Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallationen und sonstiges Ausbaugewerbe

gegliedert. Darüber hinaus wird das Baugewerbe (bzw. Bauwirtschaft) aus dem Bauhauptgewerbe (bzw. Bauindustrie), Ausbaugewerbe, Bauhilfsgewerbe, Montagebau sowie Architekten- und Ingenieurleistungen zusammengesetzt.²³ In der folgenden Abbildung wird dies übersichtlich dargestellt.

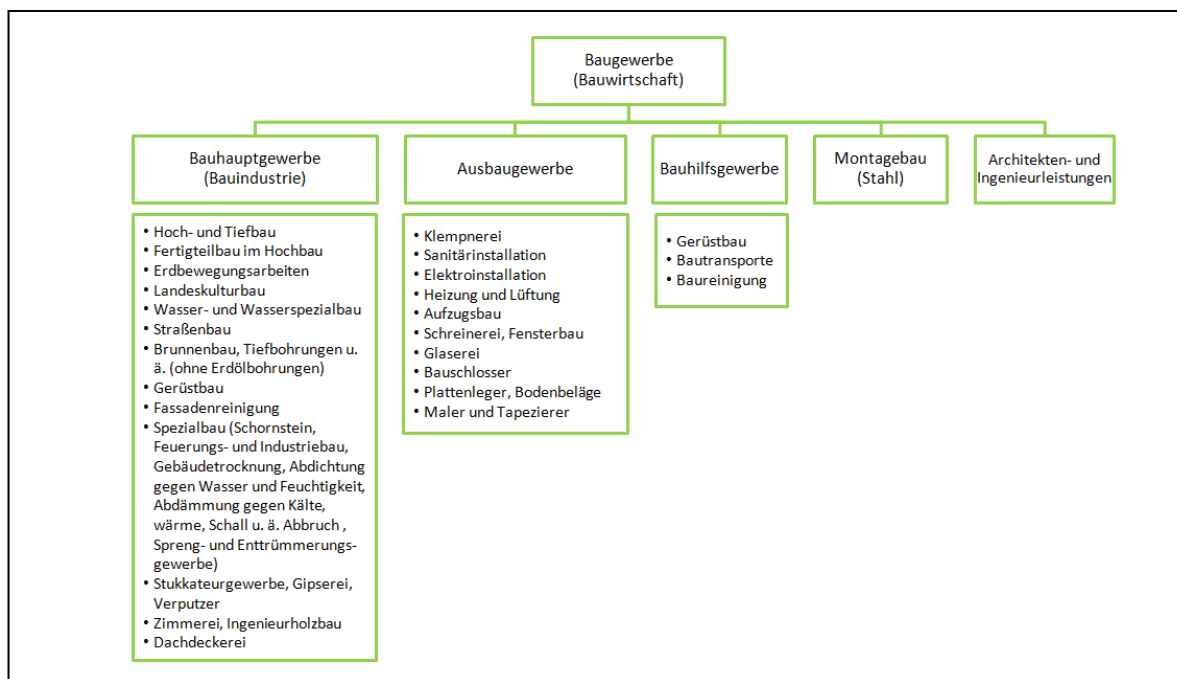


Abb. 2.1: Gliederung der Bauwirtschaft in Bausparten²⁴

²³ vgl. [SB08a], S. 346

²⁴ vgl. [HK11], S. 160

2.3 Größen- und Umsatzstruktur der Unternehmen der Bauwirtschaft

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) werden umgangssprachlich auch als „Mittelstand“ bezeichnet. Die genaue Abgrenzung der Unternehmen in kleinst-, kleine, mittlere und Großunternehmen erfolgt nach Beschäftigtenanzahl und/oder Jahresumsatz und wird in der folgenden Abbildung zusammenfassend dargestellt.²⁵

Größenklasse	Beschäftigte	Jahresumsatz
Kleinstunternehmen	bis 9	und bis 2 Mio. €
Kleine Unternehmen	bis 49	und bis 10 Mio. €
Mittlere Unternehmen	bis 249	und bis 50 Mio. €
Großunternehmen	über 249	oder über 50 Mill. €

Abb. 2.2: Einteilung von Unternehmen in Größenklassen²⁶

Für das Jahr 2013 ermittelte das Statistische Bundesamt die Verteilung der Umsätze der Bauunternehmen nach Größenklassen wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

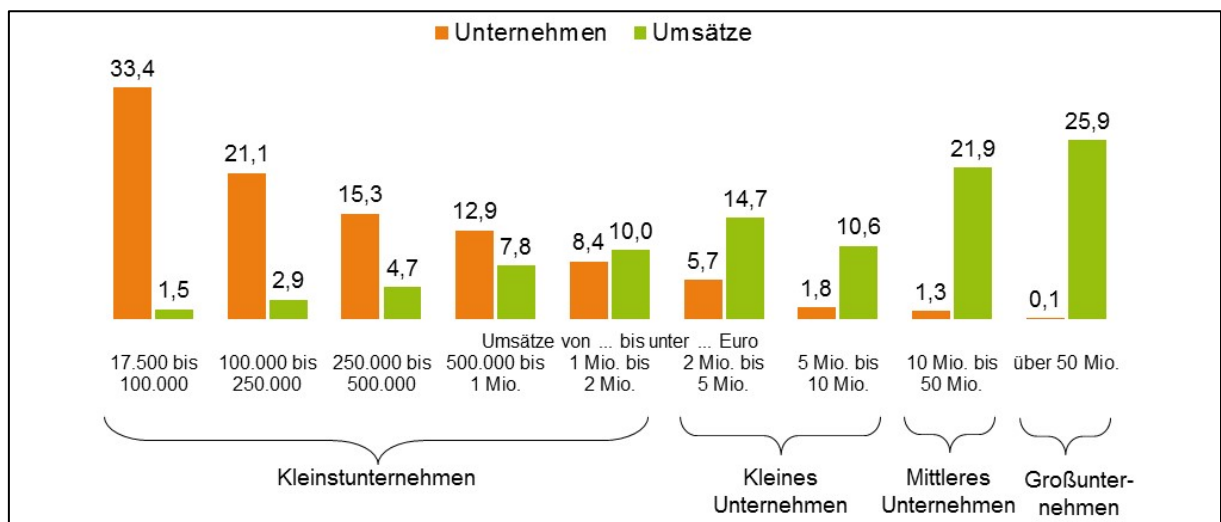


Abb. 2.3: Unternehmen und Umsätze im Bauhauptgewerbe 2013²⁷

²⁵ vgl. [SB08b], S. 1

²⁶ vgl. ebd.

²⁷ [HDB15a], (URL: <http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/statistik/struktur/unternehmensstruktur/>), Stand: 01.10.2015

Hier kann festgehalten werden, dass die Bauwirtschaft maßgeblich von KMU geprägt ist, die 74,1 % des Gesamtumsatzes erwirtschaften. Das bedeutet, dass Maßnahmen für die Umsetzung eines Energiemanagements insbesondere die Bedürfnisse von KMU berücksichtigen müssen.

2.4 Gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Bauwirtschaft

Der Anteil des Baugewerbes an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung betrug in den 1990er Jahren noch durchschnittlich 7 % und befindet sich seitdem im Abwärtstrend. Dies ist vor allem auf die rückläufige Tendenz in den neuen Bundesländern nach dem Bau-boom in der ersten Hälfte der 90er Jahre nach der Wiedervereinigung Deutschlands zurückzuführen. Das Baugewerbe erreichte zuletzt 2014 lediglich einen Anteil von 4,4 %. Dennoch liegt es bei der Produktion sowie auch bei der Beschäftigung noch vor dem Fahrzeugbau, dem Maschinenbau sowie der Chemischen Industrie und bleibt damit eine Schlüsselbranche für Deutschland.²⁸

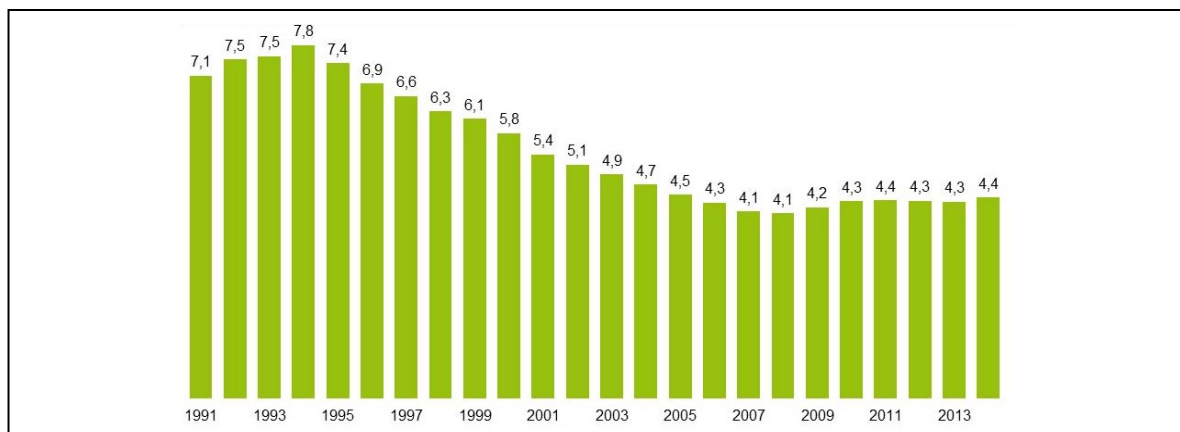


Abb. 2.4: Anteil des Baugewerbes an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung²⁹

²⁸ [HDB15b], (URL: http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/_/fakt/bedeutung-der-bauwirtschaft/), Stand: 01.10.2015

²⁹ Angaben in konstanten Preisen, [HDB15a], (URL: <http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/statistik/bedeutung-der-bauwirtschaft/anteil-der-wertschopfung/>), Stand: 01.10.2015

Infolge der steigenden Preise für Baumaterialien sind seit dem Jahr 2004 die Kosten für Leistungen des Bauhauptgewerbes kontinuierlich gestiegen. Der Zusammenhang der Preisentwicklungen wird in der folgenden Abbildung nachvollziehbar dargestellt.

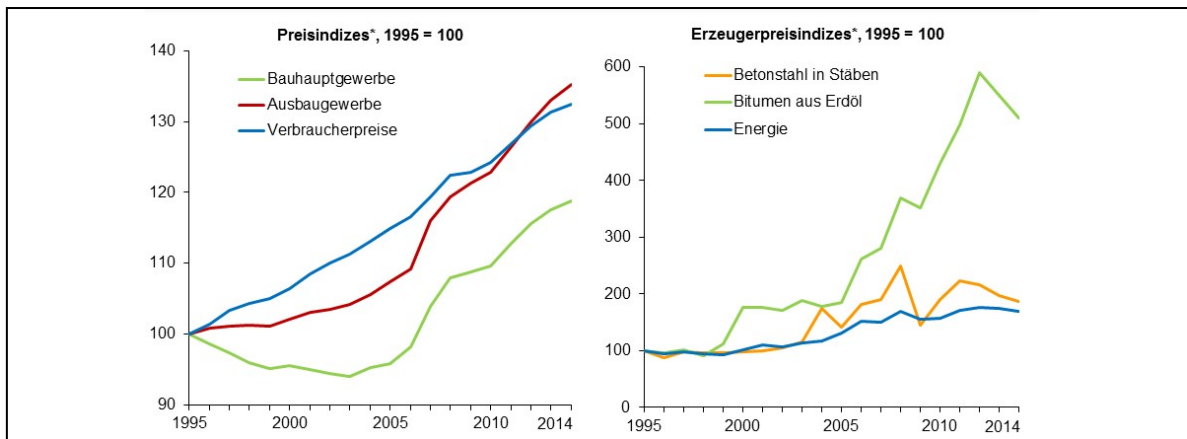


Abb. 2.5: Preisentwicklung im deutschen Hochbau (Basis 1995)³⁰

Infolge der Preisentwicklung fällt die Umsatzrendite von etwa 6 % niedrig aus. Gleichzeitig konnten die Unternehmen die Eigenkapitalquote erhöhen, was sich positiv auf das Insolvenzrisiko auswirkte.³¹

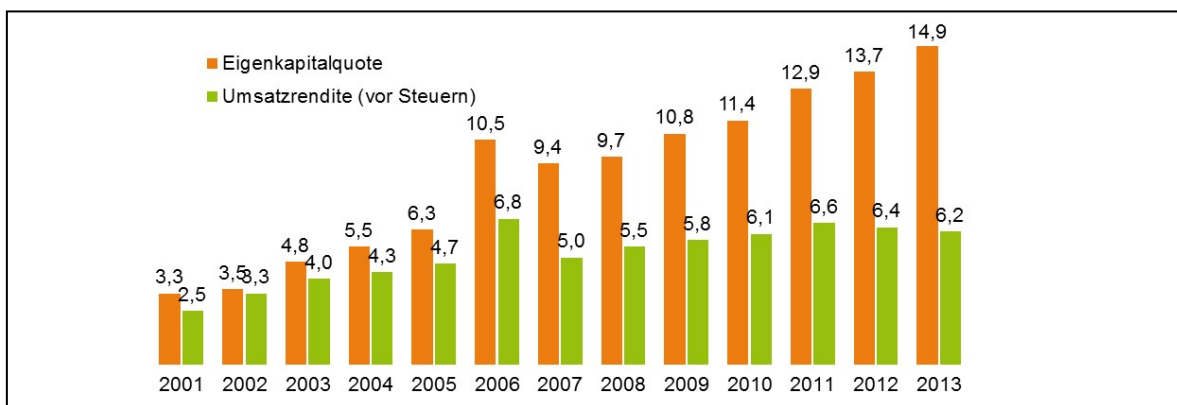


Abb. 2.6: Umsatzrendite (vor Steuern) und Eigenkapitalquote im Bauhauptgewerbe³²

³⁰ [HDB15b], (URL: http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/_fakt/finanzkennzahlen-und-insolvenzen-im-bauhauptgewerb/), Stand: 01.10.2015

³¹ ebd., (URL: http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/_fakt/beschaeftigung-und-arbeitslosigkeit-im-bauhauptgewe/), Stand: 01.10.2015

Im Jahre 2013 konnten die Unternehmen des Bauhauptgewerbes einen Umsatz von 99,4 Mrd. Euro erwirtschaften, was einem Zuwachs von 4,1 % bezogen auf das Jahr 2012 entspricht. Dieser Zuwachs resultiert überwiegend aus der Sparte Wohnungsbau: Im Zuge der Bankenkrise bzw. Finanzmarktkrise investierten Investoren in Immobilien. Darüber hinaus wurde dieser Trend durch niedrige Hypothekenzinsen verstärkt. Ebenso konnte auch der Öffentliche Bau nach einem Einbruch im Jahr 2012 zulegen.³³

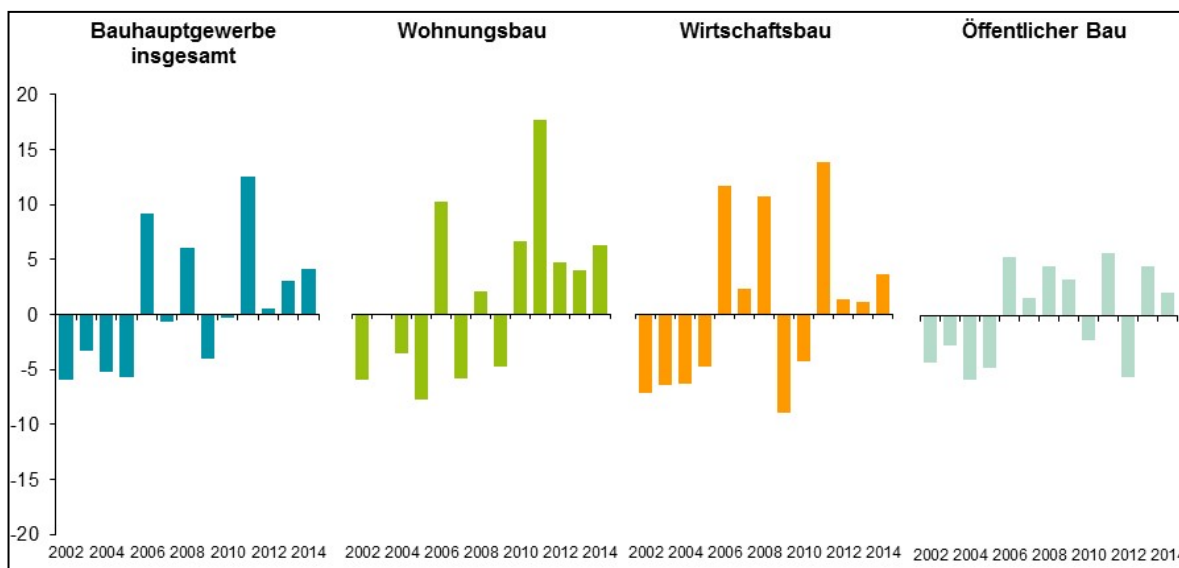


Abb. 2.7: Umsätze im Bauhauptgewerbe nach Sparten³⁴

2.5 Kostenstruktur des Bauhauptgewerbes

Der Trend der vergangenen Jahre, immer mehr Bauleistungen an Nachunternehmer auszulagern, hat dazu geführt, dass die Personalkosten des Bauhauptgewerbes deutlich zurückgegangen sind. Zuletzt lag der Anteil der Personalkosten am Bruttoproduktionswert bei etwa einem Viertel. In Folge dieser Auslagerung sind die Kosten für Nachunternehmer-

³² [HDB15a], (URL: <http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/statistik/preis-und-ertragsentwicklung/umsatzrendite-u-eigenkapitalquote/>), Stand: 01.10.2015

³³ vgl. [HDB15b], (URL: http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/_fakt/umsatze-im-bauhauptgewerbe-nach-sparten/), Stand: 01.10.2015

³⁴ ebd.

leistungen gestiegen.³⁵ Der Anteil der Energiekosten am Bruttoproduktionswert ist seit 1998 von 1,3 % auf 2,5 % im Jahre 2013 ebenfalls gestiegen.

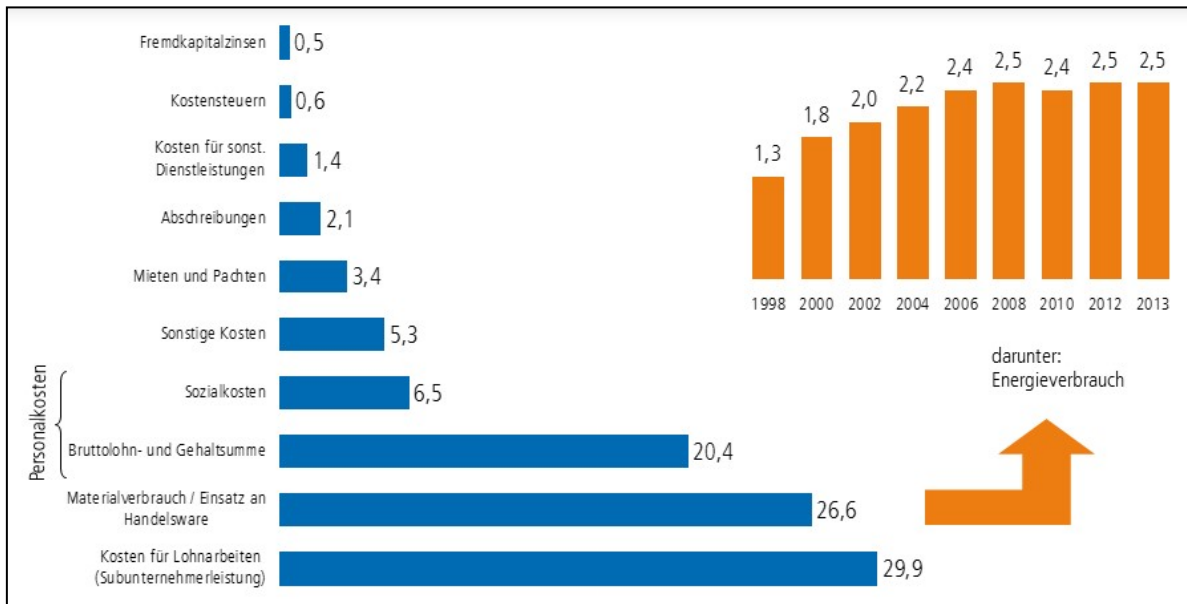


Abb. 2.8: Kostenstruktur für das Bauhauptgewerbe 2013³⁶

Interessant an dieser Stelle ist der Vergleich der oben gezeigten, durch das Statistische Bundesamt ermittelten mit den durch die KfW ermittelten Energiekosten (s. Kapitel 1.2): Für das Jahr 2005 gaben die befragten Bauunternehmen in der KfW Umfrage den Energiekostenanteil mit 3,8% an.³⁷ Das Statistische Bundesamt ermittelte 2,2% für das Jahr 2004 und 2,4% für 2006. Die Angaben sind offensichtlich inkonsistent.

³⁵ vgl. [HDB15b], (URL: http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/_/fakt/betriebsstruktur-im-bauhauptgewerbe/) Stand: 01.10.2015

³⁶ [HDB15a], (URL: <http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/statistik/struktur/kostenstruktur/>), Stand: 01.10.2015

³⁷ vgl. [KfW05], S. 8

3 Energienutzung in der Bauwirtschaft

Weit oben auf der politischen Agenda der deutschen Bundesregierung steht die Erhöhung der Energieeffizienz um die klimaschädlichen Treibhausgase zu reduzieren. Deren Ausstoß soll bis zum Jahre 2020 um mindestens 40 Prozent gegenüber 1990 gesunken sein.³⁸

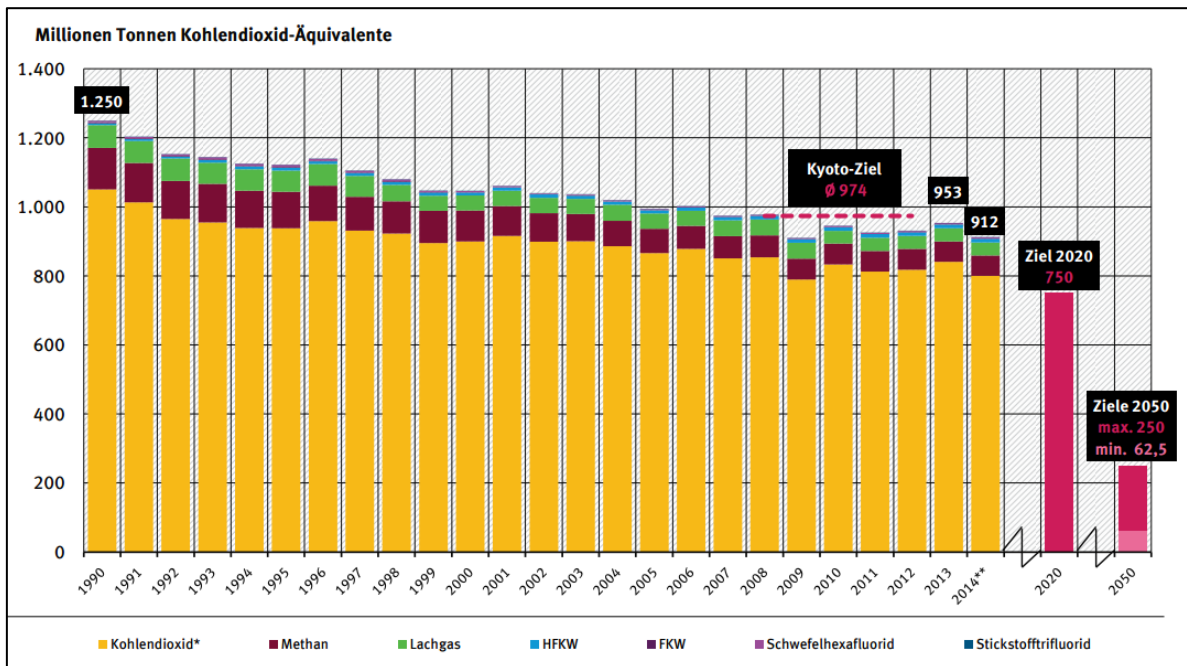


Abb. 3.1: Treibhausgas-Emissionen und Minderungsziele für Deutschland³⁹

Immobilien tragen überwiegend über den Energieverbrauch während ihrer Nutzungsphase zum Ausstoß von Treibhausgasen bei. Dabei wird infolge der zuvor beschriebenen Defizite der Energieverbrauch während der Bauwerkserstellung nicht betrachtet. Daher wird im Folgenden die Energienutzung in der Bauwirtschaft grundlegend untersucht und insbesondere der Umgang mit der Thematik der Energieeffizienz in Bauunternehmen dargelegt.

³⁸ vgl. [BuRe14]

³⁹ [UBA15]

3.1 Energieeffizienz in der Bauwirtschaft

Die Effizienz, welche auch als Leistungsfähigkeit oder Wirtschaftlichkeit bezeichnet werden kann, beschreibt im Allgemeinen das Verhältnis zwischen Einsatz und Wirkung. Es kann daher als Kriterium herangezogen werden, mit dem sich beurteilen lässt, ob eine Maßnahme geeignet ist, ein vorgegebenes Ziel in einer bestimmten Art und Weise wie beispielsweise unter Wahrung der Wirtschaftlichkeit zu erreichen.⁴⁰

Die Europäische Union definiert in ihrer RICHTLINIE 2006/32/EG vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen den Begriff Energieeffizienz wie folgt:

Energieeffizienz ist *„das Verhältnis von Ertrag an Leistung, Dienstleistungen, Waren oder Energie zu Energieeinsatz“*⁴¹

Energieeffizienz bezeichnet damit das Verhältnis von erzieltm Nutzen und eingesetzter Energie. Gemessen wird dabei die prozentuale Steigerung bzw. ihr Kehrwert, die prozentuale Energieeinsparung oder auch die absolute erreichte Energieeinsparung.⁴² Im Rahmen dieser Arbeit bezieht sich der Begriff der Energieeffizienz auf die Endenergieeffizienz der Energienachfrageseite und schließt somit Energieeinsparhandlungen in Form von technisch, organisatorisch und personell verändernden Maßnahmen mit ein.

Die Europäischen Mitgliedsstaaten haben sich im Rahmen der so genannten 20-20-20-Ziele dazu verpflichtet, bis 2020 ihre Treibhausgasemissionen um mindestens 20 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren, die Energieeffizienz um 20 Prozent zu erhöhen und einen Anteil von 20 Prozent erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch zu erreichen.⁴³ Das Bundeswirtschaftsministerium ging bereits im Jahre 2010 davon aus, dass die „kos-

⁴⁰ vgl. [Gab14]

⁴¹ vgl. [EU06], Kapitel 1, Artikel 3, Absatz b

⁴² vgl. [EU14], Kapitel 1, Box 1

⁴³ vgl. [WI08], S. 1

tengünstigen“ Minderungspotenziale ausgeschöpft seien.⁴⁴ Eine weitere Reduzierung des CO₂-Ausstoßes verlangt demnach weitergehende Investitionen und Anstrengungen. Durch staatliche Eingriffe, wie beispielsweise den Emissionshandel oder die Forderung nach alternativen, klimaschonenden Energiequellen, wird das Erreichen der ambitionierten Zielsetzungen unterstützt. Außerdem werden Anreize geschaffen, die Reduktion der Treibhausgasemissionen in möglichst allen Bereichen der Wirtschaft sowie in den Privathaushalten voranzutreiben. Diese Anstrengungen haben sich auch in der Baubranche niedergeschlagen. Insbesondere im Bereich der Gebäudetechnik sind große Fortschritte hinsichtlich der Energieeffizienz zu verzeichnen. Dies betrifft, neben dem Einsatz verbesserter Dämmsysteme, auch den Bereich der Heizungs- und Energieversorgungssysteme.⁴⁵

Der Anteil des Bauhaupt- und Ausbaugewerbes an den bundesweiten CO₂-Emissionen lag im Jahr 2012 bei etwa 9,8 Mio. [t/Jahr]. Zum Vergleich: Der Anteil des Maschinenbaus lag im selben Jahr bei etwa 3,3 Mio. [t/Jahr] und der Anteil der Kraftwagen und -teile-Produktion lag bei etwa 3,8 Mio. [t/Jahr].⁴⁶

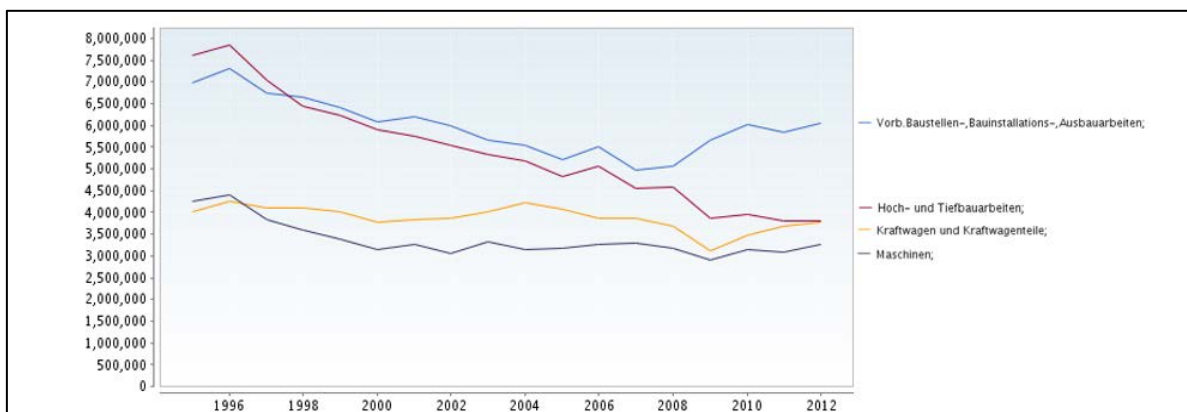


Abb. 3.2: CO₂-Emissionen ausgewählter Produktionsbereiche für Deutschland in [t]⁴⁷

⁴⁴ vgl. [BMWi10], S. 45

⁴⁵ vgl. [HNR11], S. 21 f.

⁴⁶ [SB15b]; Der Wert für das Bauhaupt- und Ausbaugewerbe resultiert aus der Summe von Hoch- und Tiefbauarbeiten (3.816.209 [t/CO₂]) und Vorbereitende Baustellen-, Bauinstallations- und Ausbaurarbeiten (6.055.810 [t/CO₂]).

⁴⁷ ebd.

Um Energieeinspar- und Energieeffizienzpotentiale zu identifizieren, muss der Energieverbrauch leistungsbezogen auf sämtlichen Ebenen eines Unternehmens erfasst werden. Ein Energiemanagement bietet hier die Möglichkeit, den Energieeinsatz systematisch zu erfassen und anschließend zu bewerten. Zu den Instrumenten für die Ausschöpfung der so erkannten Potentiale gehören der kostengünstige Einkauf und bewusste Einsatz von Energie, ein regelmäßiges Monitoring und eine Identifizierung weiterer Energieeinsparpotenziale sowie die Sensibilisierung und Schulung des Personals. Die Steigerung der Energieeffizienz führt zu sinkenden Energiekosten, was insgesamt zu einer höheren Versorgungssicherheit führen kann, zumal Deutschland ist in hohem Maße von Energieträgerimporten abhängig ist.⁴⁸ Denn steigende Energieträgerimporte erhöhen die Abhängigkeit von Preis- und Mengenschwankungen auf dem Weltmarkt und führen zu einem erhöhten Kostenrisiko.⁴⁹

3.2 In der Bauwirtschaft verwendete Energieträger

Für die Erstellung von Bauwerken werden unterschiedliche Arten von Energieträgern benötigt. Mineralöle haben dabei als Hauptenergieträger mit 86 % den mit Abstand größten Anteil. Sie finden vor allem in Form von Kraftstoffen und Heizöl Verwendung. Dieseldieselfkraftstoff wird hauptsächlich für den Betrieb von Baumaschinen mit Verbrennungsmotoren eingesetzt. Des Weiteren werden Generatoren zur Erzeugung elektrischen Stroms und Kompressoren für die Druckluftherzeugung mit Kraftstoffen betrieben. Benzin wird für den Betrieb von PKW und kleinerer Maschinen mit Zweitaktmotor verwendet. Der Anteil von elektrischem Strom liegt bei 5 %. Dieser wird für eine Vielzahl von Verbrauchern auf Baustellen notwendig. Hauptabnehmer sind Baucontainer, Turmdrehkrane, Beleuchtung sowie diverse Kleingeräte, die insbesondere während der Ausführung der Ausbaugewerke genutzt werden.

⁴⁸ vgl. [BMWi10], S. 15

⁴⁹ vgl. [HNR11], S. 22

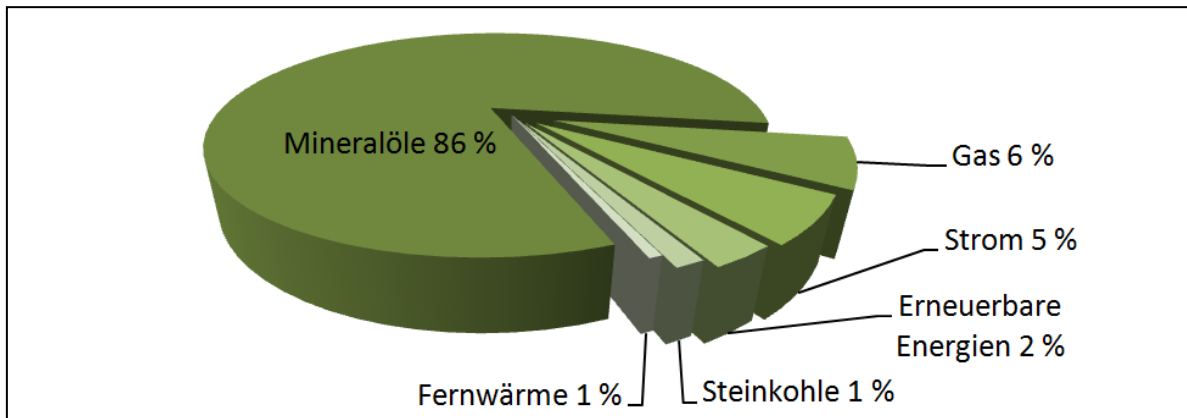


Abb. 3.3: Verwendete Energieträger in der Bauwirtschaft⁵⁰

Auch Informations- und Kommunikationsmittel wie Computer, Server und Großrechner tragen zum Stromverbrauch bei. Aus dem Bericht „Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006“ des BMWi geht hervor, dass die Baubetriebe zu über 90 % mit Computern und Computerzubehör ausgerüstet waren.⁵¹ Gase haben einen Anteil von 5 % am Gesamtenergieverbrauch. In größeren Mengen werden sie für die Beheizung der Baucontainer benötigt. Alternativ kommen hierfür aber auch Strom oder andere Energieträger wie z. B. Heizöl oder Kohle zum Einsatz. In geringen Mengen werden auch erneuerbare Energien, Steinkohle und Fernwärme genutzt.⁵²

3.3 Energiepreisentwicklung

Im Verlauf der vergangenen Dekade sind die Energiepreise kontinuierlich gestiegen. Dem konnte auch die Liberalisierung des deutschen Strom- und Gasmarktes nicht entgegen wirken. Die Preisentwicklung der Kraftstoffe ist auch dem mangelnden Wettbewerb geschuldet.

⁵⁰ vgl. [SB11b]

⁵¹ vgl. [BMW09], S. 88

⁵² vgl. [SB11b]

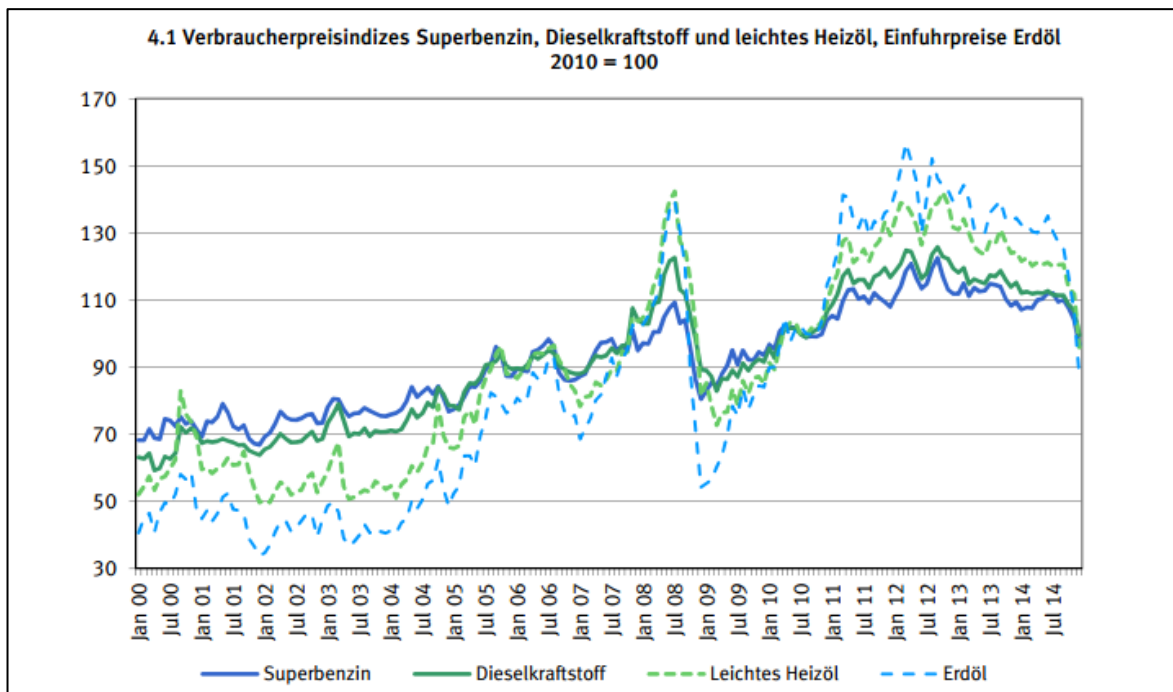


Abb. 3.4: Energiepreisentwicklung für Kraftstoffe in Deutschland⁵³

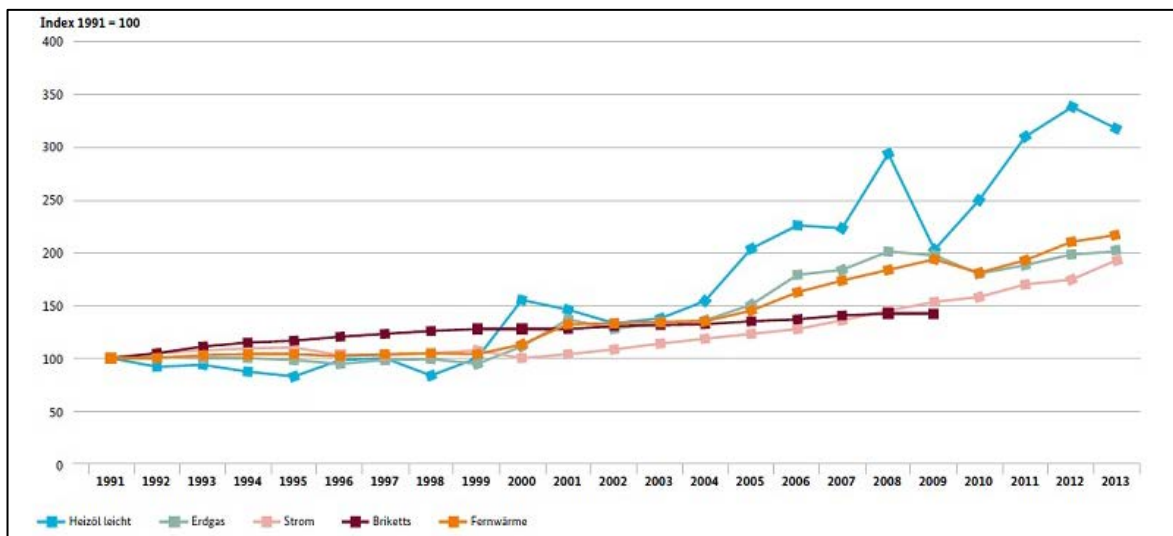


Abb. 3.5: Energiepreisentwicklung in Deutschland⁵⁴

⁵³ [SB15a]

⁵⁴ [BMWi15]

Der oligopolistische Markt wird dominiert von den fünf großen Mineralölkonzernen BP(Aral), Exxon Mobil (Esso), Conoco Philips (Jet), Shell und Total.⁵⁵ Gleichzeitig wirken die Verknappung der Energiereserven und die steigende Energienachfrage der Schwellenländer preissteigernd. Auch wenn aktuell der Ölpreis sich seit Mitte 2014 beinahe halbiert hat und im April 2015 knapp unter 60 Dollar pro Barrel (159 Liter) lag, ist davon auszugehen, dass er langfristig weiterhin steigen wird, da es aufgrund des Preisverfalls zu drastischen Investitionskürzungen bei langfristig angelegten Ölprojekten sowie bei der Entwicklung und Herstellung synthetischer und biologischer Kraftstoffe kommen wird.⁵⁶

Vor diesem Hintergrund erscheint es zwingend notwendig, den Energieverbrauch auch in der Bauproduktionsphase zu reduzieren und effizienter zu gestalten. Eine systematische Nutzung der Energieeinspar- und Energieeffizienzpotenziale bietet das Energiemanagement.

3.4 Energieeffizienz und Nachhaltigkeit in Bauunternehmen

3.4.1 Nachhaltigkeit der Bauwirtschaft

Mittlerweile ist das Leitbild einer nachhaltigen Unternehmensentwicklung auch auf der Tagesordnung vieler Bauunternehmen, insbesondere der börsennotierten Konzerne angekommen, was sich in Nachhaltigkeits- und Umweltberichten widerspiegelt. Der Begriff der Nachhaltigkeit ist nicht neu, die Wahrnehmung und vor allem die Auseinandersetzung mit der Thematik erfährt jedoch eine Wiederbelebung. Allerdings reicht der Bau von „grünen Gebäuden“ und Windkraftanlagen nicht aus, um als nachhaltiges Bauunternehmen zu gelten. In den entsprechenden Berichten etabliert sich eine Sichtweise, die Lebenszyklusaspekte der Bauwerkserstellung ausklammert und somit für eine nachhaltige Entwicklung nicht zielführend ist. Um einen tatsächlichen Wandel in Richtung ressourcensparende,

⁵⁵ vgl. [DeWe12]

⁵⁶ vgl. [Sch15] und [Buk15]

nachhaltige Wirtschaftsweise in Gang zu bringen, ist eine deutliche Reduzierung der Energie- und Stoffströme in Bauunternehmen notwendig. Insbesondere der gesellschaftliche Wandel zwingt auch den Bausektor, sich auf die neuen Ansprüche der Kunden, wie zum Beispiel Green-Building-Zertifikate, einzustellen und neue Produkte sowie und Geschäftsfelder zu erschließen. Bis vor wenigen Jahren noch, konnte sich der Sektor auf wirtschaftlich gesicherte Absatzmärkte verlassen. Mittlerweile ist er mit einer veränderten Wettbewerbssituation konfrontiert.⁵⁷

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, wird die Thematik der Energieeffizienz in einigen großen Bauunternehmen im Rahmen von Nachhaltigkeitsberichten bzw. Umweltberichten aufgegriffen, wobei es nicht gelingt, der Bauproduktion konkrete Daten zum Energie- und Ressourcenverbrauch sowie zum CO₂-Ausstoß zuzuordnen. Unter Klimaschutz fallen im Wesentlichen das Bauen von nachhaltigen Gebäuden, die energetische Gebäudesanierung sowie die Reduzierung der CO₂-Emissionen der unternehmensinternen Fahrzeugflotte.⁵⁸ So erscheint es inkonsequent, energieeffiziente Gebäude zu planen und zu bauen und dabei die Einsparpotenziale in den vorgelagerten Prozessstufen auszublenden, nur weil die größte Einflussmöglichkeit hinsichtlich des Energieverbrauches und des damit verbundenen Klimaschutzes über den Lebenszyklus betrachtet, in der späteren Nutzungsphase des Bauwerks und somit beim Nutzer liegt. Darüber hinaus wird nachhaltiges Bauen auf eine verbesserte Dämmung von Gebäuden und die technischen Lösungsmöglichkeiten zur Energieeinsparung reduziert und damit lediglich bauliche Voraussetzungen geschaffen, Heizenergie in der Nutzungsphase einzusparen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass gesellschaftliche Veränderungen, zunehmender Wohlstand und wachsende Wohnansprüche zu einem stetig steigenden Pro-Kopf-Wohnflächenverbrauch führen, der die Heizenergieeinsparungen in der Nutzungsphase teilweise wieder aufhebt.^{59 60}

⁵⁷ vgl. [HNR11], S. 31

⁵⁸ vgl. [Hoc09]

⁵⁹ vgl. [JCS05], S. 108 ff

3.4.2 Nachhaltigkeitsberichterstattung von Bauunternehmen

Wie bereits erwähnt, greifen einige Bauunternehmen im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsberichte die Aspekte Energieeffizienz, Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung auf. Im Folgenden werden die für diese Arbeit interessanten Aspekte zweier Unternehmen kurz dargestellt.

Nachhaltigkeitsberichte der Strabag SE

Die Nachhaltigkeitsberichte der Strabag SE aus dem Jahre 2010 orientieren sich an den Richtlinien der Global Reporting Initiative⁶¹, die entsprechend dem Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Soziales), Richtlinien für die Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten entwickeln bzw. vorgeben. Diesem Standard folgend bestehen laut dem Bericht prinzipiell drei Möglichkeiten aktiv zum Umweltschutz beizutragen:⁶²

- Durch durchdachte Bauprojekte
- Durch innovative Produkte und Geschäftsbereiche
- Durch aktives Handeln des Einzelnen⁶³

In diesem Zusammenhang setze die Strabag SE sich das Ziel, bereits während der Erstellung sowie in der Nutzungsphase des Bauwerks geringe Emissionen zu verursachen. Zudem würden Kennzahlen definiert um Projektziele zu überwachen und die Energiebilanz der Bauwerke vergleichbar zu machen. Im Rahmen der Mitgliedschaft in der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), treibe die Strabag SE eine nachhaltige Bauweise voran und bilde Mitarbeiter zu Auditoren aus. Zum Zeitpunkt der Berichterstattung befänden sich sieben Bauprojekte im Zertifizierungsprozess des DGNB bzw. ÖGNI (Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft).⁶⁴ Ebenfalls würden

⁶⁰ vgl. [HNR11], S. 31

⁶¹ vgl. <https://www.globalreporting.org>, Stand 30.03.2016

⁶² vgl. [HNR11], S. 97

⁶³ vgl. [Str10], S. 23 ff

⁶⁴ vgl. ebd., S. 24

im Bereich der Verkehrsinfrastruktur Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt: So sei im Sommer 2010, als erste Autobahnkonzession in Skandinavien, der Bau und Betrieb eines Autobahnteils nach den Umweltmanagementnorm ISO 14001:2009 und nach OHSAS 18001:2007 zertifiziert worden. Im Rahmen eines nachhaltigen Bodenmanagements seien im Projekt durch 70.000 m³ Bodenverbesserungen 1,8 Mio. Lkw-Kilometer eingespart und dadurch eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 20 % erreicht worden. Auch würden durch die Nutzung eines GPS-gestützten Steuerungssystems Telemetriedaten wie Dieselverbrauch, Motor- und Hydraulikkennwerten sowie Informationen zu Geräteauslastung, Betriebsstunden, Stillstandzeiten und zurückgelegten Entfernungen erfasst.⁶⁵

Durch die neuen Geschäftsbereiche *Zentrale Technik* und die *Strabag Umweltechnik*, würden fachbereichsübergreifend Technologien, Prozesse und Produkte erarbeitet, die den Umweltschutz im Fokus haben. Besondere Betonung erfährt der aktive Beitrag der Mitarbeiter zum Umweltschutz im Zuge der Abfallentsorgung auf der Baustelle sowie des Wasserverbrauchs bei der Betonproduktion.⁶⁶

Desweiteren sollen mit Hilfe der Ökobilanzierung nach dem Greenhouse Gas Protocol⁶⁷ die Emissionen der Konzernprozesse sowie -produkte gesenkt werden. Hierzu sei es in einem ersten Schritt notwendig, die Emissionsquellen zu identifizieren um den Treibstoff- und Stromverbrauch zu erfassen.⁶⁸ Abschließend werden im Bericht u. a. folgende ökologische Ziele für die Zukunft formuliert:⁶⁹

- Installierung einer unternehmensübergreifenden Koordinationsstelle für Umweltmanagement
- Stärkung des Umweltbewusstseins bei allen Mitarbeitern durch Schulungen und Informationskampagnen

⁶⁵ vgl. [Str10], S. 26 f

⁶⁶ vgl. ebd., S. 31 ff

⁶⁷ vgl. <http://www.ghgprotocol.org/>, Stand 23.11.2015

⁶⁸ vgl. [Str10], S. 33 ff

⁶⁹ ebd., S. 64

-
- Verringerung der Emissionen und Abfallmengen bei Baustellen und Betriebsanlagen
 - Erweiterung der Parameter der internen Ausschreibungskriterien um ökologische Faktoren.

Der aktuelle Nachhaltigkeitsbericht 2013 greift das Konzept und die formulierten Ziele wieder auf.⁷⁰ Mittlerweile wurde ein *Technologiezentrum Nachhaltiges Bauen* initiiert, das ressourcenschonende Technologien und Prozesse mit dem Ziel aufgreife, sowohl die konzerneigenen Hochbaueinheiten als auch externe Partnerinnen und Partner bei der Planung und Realisierung von ressourceneffizienten Gebäuden zu unterstützen, um die gesellschaftlich geforderten Nachhaltigkeitsstandards umzusetzen. In diesem Zusammenhang würden folgende Leistungen angeboten:⁷¹

- Auditierung nach DGNB, breeam und LEED
- Beratung, Projektsteuerung und –management
- Ökobilanzierung von Gebäuden
- Ermittlung von Lebenszykluskosten
- Bewertung des Nutzerkomforts unter Energieeffizienzaspekten

Für die Energie- und CO₂-Bilanzierung des Konzerns wurde im Jahre 2012 ein Energiemanagement eingeführt. Dieses konnte als Hauptenergieträger des Konzerns Strom, Treibstoff, Gas, Heizöl und Kohlenstaub identifizieren. Kennzahlen zu Energieproduktivität und dem Energieverbrauch sowie zu umgesetzten Maßnahmen auf Baustellen werden auch in diesem Bericht nicht dargestellt.⁷²

⁷⁰ vgl. [Str13]

⁷¹ vgl. ebd., S. 16 f.

⁷² vgl. ebd., S. 22

Nachhaltigkeitsberichte der Hochtief AG

Auch die Hochtief AG bekennt sich in seinen Leitlinien deutlich zu nachhaltigem Handeln. Das erklärte Ziel sei es Ressourcen zu schonen, diese optimal einzusetzen sowie systematisch umwelt- und klimaschädliche Emissionen zu reduzieren.⁷³ Nachhaltigkeitsaspekte nehmen demnach eine besondere Stellung im täglichen operativen Geschäft ein. Um Nachhaltigkeitsaspekte über den gesamten Lebenszyklus von Bauwerken zu berücksichtigen nutze die Hochtief AG ein BIM-Verfahren⁷⁴ namens *ViCon* (Virtual Design and Construction), das es ermögliche Projekte in allen Dimensionen digital zu erfassen. Durch dieses BIM-Verfahren ließen sich Risiken reduzieren und Schnittstellen optimieren. Argumentiert wird, dass detailliert geplante Bauabläufe auch den Energieverbrauch auf den Baustellen optimierten und so zu einer Schonung von Ressourcen führten. Daher solle *ViCon* zukünftig auch zur Nachhaltigkeitsbewertung herangezogen werden, in dem die im Modell gesammelten Gebäudedaten für die Berechnung der CO₂-Emissionen und die Ermittlung des Material- und Energieverbrauchs bereitgestellt würden. Darüber hinaus ermögliche die baubegleitende Erfassung der tatsächlich verwendeten Materialien eine projektspezifische Überwachung der Nachhaltigkeitsziele. Damit entstehe der sogenannte *4D-Eco-Footprint*.⁷⁵ Der kürzlich erschienene Nachhaltigkeitsbericht 2013 enthält bzgl. des Verfahrens allerdings keine Informationen bzw. Auswertungen.⁷⁶

Auch Hochtief veröffentlicht Kennzahlen zum Strom- und Treibstoffverbrauch sowie zu den Emissionen von Treibhausgasen. Die deutschen und europäischen Daten werden dabei auf Basis der stoffspezifischen Kostenarten unter der Annahme mittlerer Preise ermittelt bzw. hochgerechnet. Eine weitergehende Analyse der Verbrauchskennzahlen findet nicht statt. Laut Hochtief lassen die Kennzahlen wenig Rückschlüsse auf die tatsächliche

⁷³ vgl. [Hoc13], S. 68.

⁷⁴ Building Information Modeling bzw. Gebäudedatenmodellierung

⁷⁵ vgl. [Hoc09], S. 19

⁷⁶ vgl. [Hoc13]

Leistung für den Klimaschutz zu. Eine Verbesserung der Datenqualität bei der CO₂-Berichterstattung werde daher in Zukunft angestrebt.⁷⁷

Abschließend werden im Bericht u. a. folgende übergeordnete ökologische Ziele für die Zukunft formuliert:⁷⁸

- Erhebung der Treibhausgasemissionen
- Erhöhung der Erfassung von Treibhausgasemissionen auf 100 %
- Erhöhung des Anteils der Mitarbeiter, die nach einem international anerkannten und zertifizierten Umweltmanagementsystem arbeiten
- Neuausrichtung des Kompetenzteams Nachhaltigkeit
- Kontinuierliche Erhöhung der Anzahl zertifizierter Gebäude
- Aus- und Aufbau zertifizierter Infrastrukturprojekte

3.4.3 Die Bedeutung von Energieeffizienz in Bauunternehmen

In wie weit ein Unternehmen dem Thema Energieeffizienz Bedeutung beimisst, ist im Wesentlichen von der Höhe der anfallenden Energiekosten abhängig. Allerdings ist in Bauunternehmen, unabhängig von der Unternehmensgröße, selten qualifiziertes Personal vorhanden, dass sich mit dem Thema Energieeffizienz bzw. -einsparung beschäftigt. Die Baubranche weist wie zuvor beschrieben, einen vergleichsweise geringen Kenntnisstand bzgl. der Energiekosten auf.⁷⁹ Die Hemmnisse sind ist nach wie vor vorhanden:^{80 81}

- Fehlendes Wissen und damit fehlende Motivation
- Fehlendes qualifiziertes Personal

⁷⁷ vgl. [Hoc09], S. 40

⁷⁸ vgl. [Hoc13], S. 54 f.

⁷⁹ vgl. [Pro10], S. 17

⁸⁰ ebd., S. 55

⁸¹ vgl. [Peh], S. 38

- Fehlendes Kapital für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen

In den folgenden Kapiteln dieser Ausarbeitung kann allerdings gezeigt werden, dass für erste Energieeinsparmaßnahmen im Baubetrieb kaum Investitionen notwendig und Maßnahmen vergleichsweise einfach umzusetzen sind. Voraussetzung für die Entwicklung und Umsetzung von entsprechenden Maßnahmen ist dabei zuvorderst die Identifizierung der relevanten Energieverbraucher.

Nach wie vor fehlt es den Bauunternehmen am Bewusstsein, dass sich der durch die sinkende Nachfrage der letzten Dekade entstandene Kostendruck, mit einer steigenden Material- oder Energieproduktivität dämpfen ließe. Fatalerweise stehen die Senkung der Personalkosten und das Spekulieren auf Nachträge mit den bekannten Konsequenzen im Vordergrund. Nicht ausgeschöpfte Energiekostenpotenziale sind daher in der Bauwirtschaft, insbesondere in im Baubetrieb die Regel. Vor dem Hintergrund verändernder Märkte und wirtschaftlicher Krisen erhalten andere Maßnahmen im Kerngeschäft der Bauunternehmen Vorrang.⁸²

3.5 Überblick bestehender Nachhaltigkeitszertifikate

Um Bauwerke bzgl. ihrer Nachhaltigkeit bewerten zu können, wurden in den letzten Jahren weltweit Bewertungssysteme entwickelt, die eine standardisierte Vergleichbarkeit der Gebäudequalität und Umweltverträglichkeit ermöglichen sollen. Dabei werden Bauwerke anhand verschiedener Kriterien in Bezug auf ihre Nachhaltigkeit bewertet. Die Detailtiefe der Kriterien sowie ihre Gewichtung variieren dabei stark. Das *Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)* ist das dienstälteste Zertifizierungssystem für nachhaltiges Bauen. Es wurde in Großbritannien entwickelt und bereits 1990 vom *United Kingdom Green Building Council (UKGBC)* eingeführt. Im Jahr 1998 folgten die USA mit dem *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)* des *United*

⁸² vgl. [Peh10], S. 37

States Green Building Council (USGBC). In Deutschland wurde erst im Jahr 2007 die *Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB)* gegründet, das dann Anfang 2009 das *Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen* einführte. Dieses Gütesiegel gliedert Kriterien grob in Gebäude- und Standortqualität: Die Gebäudequalität wird mit Hilfe von 43 Kriterien in den folgenden fünf Gruppen bestimmt:

- Ökologische Qualität
- Ökonomische Qualität
- Soziokulturelle und funktionale Qualität
- Technische Qualität
- Prozessqualität

Dabei finden Aspekte der Energieeffizienz während der Bauwerkserstellung, die prinzipiell der Prozessqualität zugeordnet werden könnten, noch keine explizite Berücksichtigung im deutschen Gütesiegel für nachhaltiges Bauen.⁸³

3.6 Präqualifizierung von Bauunternehmen

Zukünftig ist mit einer Forderung nach einer Ökobilanzierung für Bauprojekte zu rechnen. In diesem Zusammenhang kann beispielsweise das CO₂-Zertifizierungssystem der niederländischen Stichting *Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen (SKAO)* genannt werden, das von *ProRail* entwickelt wurde, einem Unternehmen der Niederländischen Bahninfrastrukturgesellschaft. Im Rahmen dieses Zertifizierungssystems, das als Motivationswerkzeug konzipiert wurde, erhalten Unternehmen bei der Auftragsvergabe einen Vorteil in Form eines fiktiven Preisnachlasses von bis zu 10 %, wenn sie sich mit den eigenen CO₂-Emissionen auseinandersetzen und diese reduzieren. Die so genannte *CO₂-Performanceladder* ist kompatibel mit dem europäischen Vergaberecht. Die Bauunter-

⁸³ vgl. [HNR11], S. 100

nehmen werden dabei in ein Zertifizierungsschema eingestuft, das insgesamt sechs Stufen definiert, wobei die sechste Stufe den höchsten Vergabevorteil bietet.^{84 85}

Vergleichbare Anstrengungen auf europäischer Ebene sind bei der Infrastrukturgesellschaft *Crossrail LTD.* in Großbritannien zu finden, die hauptsächlich für die Entwicklung des Schienenverkehrs im Großraum London verantwortlich ist. *Crossrail LTD.* stellt an die ausführenden Bauunternehmen Anforderungen an den Umgang mit ihrem Energieverbrauch während der Bauphase. Zu diesen Anforderungen zählen die Erfassung und Überwachung des Energieverbrauchs, die Formulierung definierter Zielsetzungen sowie Entwicklung von Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs.^{86 87}

Aktuelle Ereignisse wie der VW-Abgasskandal⁸⁸ in den USA zeigen, dass sich das vor dem Hintergrund des nahenden Klimawandels wachsende ökologische Bewusstsein der Gesellschaft nicht nur politisch niederschlägt, sondern zukünftig konkrete Auswirkungen auf Unternehmen und ihr Verhalten im Umgang mit Umweltaspekten haben wird. Für Bauunternehmen bedeutet das, dass in Zukunft diese Aspekte durchaus für die Auftragserteilung entscheidend sein werden. Diese Entwicklung lässt sich auch an der gemeinnützigen Initiative *Carbon Disclosure Project* aus Großbritannien beobachten, die in regelmäßigen Abständen die CO₂-Bilanzen von teilnehmenden Unternehmen und deren Pläne zur Reduzierung klimaschädlicher Emissionen veröffentlicht. Zu den an der Initiative teilnehmenden Unternehmen gehören Global Player wie Air France-KLM, Dell, PepsiCo und Philips.⁸⁹ Sie stellen im Rahmen ihrer Klimaschutzbestrebungen nicht nur höhere Anforderungen an die eigenen Geschäftsprozesse, sondern auch an die ihrer Zulieferer.⁹⁰ Über freiwillige Maß-

⁸⁴ vgl. [Pro11]

⁸⁵ vgl. [HNR11], S. 100

⁸⁶ vgl. [Cro15]

⁸⁷ vgl. [HNR11], S. 102 f.

⁸⁸ vgl. [FAZ15]

⁸⁹ vgl. [Car11]

⁹⁰ vgl. [Atk11]

nahmen hinaus existieren seit Einführung des europäischen Emissionshandels gesetzliche Auflagen für Großemittenten. Zur Erreichung der Klimaziele kann davon ausgegangen werden, dass diese Auflagen auch auf andere Industriezweige ausgeeitet werden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass in Zukunft bei der Vergabe von Bauaufträgen auch Umweltaspekte in der Beurteilung der Angebote Berücksichtigung finden werden. Gelingt es Bauunternehmen nicht den Baubetrieb klimafreundlich zu gestalten, schwinden die Aufträge und schließlich der Ruf.

4 Analyse des Energieverbrauchs auf Baustellen

Für die Entwicklung eines Energiemanagements im Baubetrieb ist es notwendig, Bauprozesse und Bauproduktionsmittel im Hinblick auf den Energieverbrauch zu erfassen und entsprechende technische, organisatorische und personelle Optimierungsmöglichkeiten zu identifizieren und aufzuzeigen. Dies erfolgt, entsprechend dem üblichen Ablauf im Hochbau, orientiert am Baufortschritt und differenziert nach Strom- und Kraftstoffverbräuchen exemplarisch an Fallbeispielen für die Bereiche:

- Vorbereitende Baustellenarbeiten
- Baustelleneinrichtung
- Erdbau
- Rohbau
- Ausbaugewerke

4.1 Vorbemerkungen

4.1.1 System und Systemgrenzen

Im Rahmen dieser Arbeit beschränkt sich die Erfassung der Energieverbräuche auf die Prozesse auf der Baustelle. Der Energieverbrauch vorgelagerter Prozesse, beginnend beim Abbau von Rohstoffen, über die Herstellung der Zwischenprodukte, hin zu Transportleistungen bleibt unberücksichtigt, da diese bereits bekannt sind. Die Systemgrenze der Untersuchung bildet somit sinnbildlich der Bauzaun, der die Baustelle räumlich abgrenzt.

4.1.2 Messmethode

Die Datenerfassung erfolgt mit automatischen Messgeräten entlang der Bauphasen über die gesamte Bauzeit und wird durch Multimomentaufnahmen (manuell sowie durch den Einsatz automatisierter Messgeräte) ergänzt. Darüber hinaus steht die Baustellendokumentation in Form von Bautagesberichten und Abrechnungen zur Verfügung.

Im Zuge der Nutzung eines Energiemanagementsystems ist es notwendig, die erfassten Verbräuche Verbrauchern und Bauleistungen prozessorientiert zuzuordnen und so die für Soll-Ist-Vergleiche notwendigen Kennzahlen zu bilden.

4.1.3 Messanlage

Die Messanlage besteht in der Regel aus folgenden vier Komponenten:

- Messgerät
- Übertragungstechnik
- Schnittstellen
- Software zur Auswertung

Das Messgerät erfasst die Verbräuche. Anschließend werden die Daten an den Datensammelpunkt übertragen. Die Übertragung erfolgt entweder kabelgebunden oder über kabellose Schnittstellen. Der Datensammelpunkt entspricht der zentralen Sammelstelle. Mit einer Software werden die gesammelten Daten ausgelesen und systematisch dokumentiert. Die Ausgabe erfolgt in Tabellenform bzw. graphisch.

4.1.4 Messfehler

Mögliche Fehler, die bei der Messung, der Übertragung und Auswertung auftreten können, sind zufällige und/oder systematische Messfehler. Systematische Messfehler entstehen bei jeder Messung und folgen einer Regelmäßigkeit. Zufällige Messfehler folgen keinem System und treten unregelmäßig auf.⁹¹

Ebenfalls können sowohl systematische als auch zufällige Komponentenfehler auftreten. Zu ihnen zählen Fehler der Messtechnikkomponenten. Durch sie kann die korrekte Funktion von Bauteilen eingeschränkt oder gänzlich verhindert werden. Schrittweise Verschlechterungen, die bspw. infolge starker Verschmutzungen auftreten können, werden häufig nicht bzw. erst bei großen Abweichungen und damit sehr spät erkannt.⁹² Daher ist eine

⁹¹ vgl. [Ler10], S. 95 ff.

⁹² vgl. [Par11]

regelmäßige Pflege, Reinigung und Wartung der Messtechnik, insbesondere nach Einsätzen bei schlechter Witterung, notwendig. Auch eine regelmäßige Prüfung auf Plausibilität der Messwerte ist sinnvoll, um Fehler zu erkennen.

Übertragungsfehler können sowohl bei kabelgebundener als auch bei kabelloser Datenübermittlung auftreten. Auch sie können systematischer oder zufälliger Natur sein. Bei der kabelgebundenen Übertragung zählen geknickte und beschädigte Kabel zu den häufigsten Störquellen. Störungen während der kabellosen Übertragung können durch andere Funkquellen, große Entfernungen oder Hindernisse, die im direkten Übertragungsweg liegen, verursacht werden.

4.1.5 Detailierungsgrad der Messungen

Der Detailierungsgrad der Messungen berücksichtigt im Rahmen dieser Arbeit keine ökonomischen Gesichtspunkte. Für Messungen im Zuge der Umsetzung eines Energiemanagements in der Baupraxis ist die Entscheidung hierüber den Bauunternehmen bzw. der Organisation überlassen. Demnach ist also zwischen technisch möglicher und zielführend sinnvoller Erfassung abzuwägen.

Für die Baustellenpraxis erscheint eine Vorgehensweise nach dem Pareto-Prinzip sinnvoll: Demnach sollte die Analyse vorrangig bei den Verbrauchern erfolgen, die den größten Anteil am Gesamtverbrauch haben, da hier das absolut größte Einsparpotenzial vorhanden ist.⁹³

4.1.6 Messverfahren, Messpunkte und Messtechnik

Für die Erfassung des **Stromverbrauchs** der Baustelle wird am Übergabepunkt der Stromversorgung ein Stromzähler notwendig. Ideal für die Strommessung sind intelligente Stromzähler, die die Verbräuche in Echtzeit an Energieversorgungsunternehmen übertragen. Diese intelligenten Stromzähler ermöglichen es, bei Bedarf jederzeit den aktuellen Stromverbrauch abzufragen.

⁹³ vgl. [BGKS06]

Im Allgemeinen wird zur Erleichterung der Abrechnung vom Energieversorgungsunternehmen ein intelligenter Stromzähler an der Übergabestelle zwischen Baustelle und öffentlicher Stromversorgung eingerichtet. Viele Anbieter ermöglichen mittlerweile eine Online-Abfrage dieser Daten. Die Voraussetzung für ein Energie-Monitoring der Baustelle ist demnach bereits zum heutigen Stand gegeben. Je nach Größe der Baustelle und gewünschtem Detaillierungsgrad der Messungen sind weitere Messpunkte an Übergabepunkten auf der Baustelle zu wählen, um differenzierte Aussagen über die Stromverbräuche treffen zu können. Im Rahmen der Untersuchungen werden daher auch Stromzähler an Turmdrehkränen und Baucontainern installiert. Während des Einsatzes von Kleingeräten in der Ausbauphase werden weitere Stromzähler bauwerksweise installiert. Für die Bewertung des Stromverbrauchs muss zwischen Wirk-, Blindarbeit und Wirkleistung unterschieden werden, da sich diese drei Parameter auf die Stromkosten auswirken.

Flüssiggas wird in verhältnismäßig geringem Maße für die Beheizung der Container sowie für Schweißarbeiten eingesetzt. Hier ist es ausreichend, den Verbrauch über die Lieferzettel zu erfassen und den Prozessen zuzuweisen.

Kraftstoffe wie Diesel und Benzin werden regelmäßig von Tankwagen auf die Baustelle geliefert. Die Betankung der Baumaschinen erfolgt dann unmittelbar durch den Tankwagen oder im Falle einer Zwischenlagerung aus Treibstofftanks. Die Erfassung der gelieferten Gesamtmengen erfolgt auf Grundlage der Abrechnungen. Für die Multimomentaufnahmen im Zuge der Prozessanalysen können die Tankmengen manuell in Tanklisten dokumentiert und den Arbeitsprozessen zugeordnet werden. Ebenso ist es möglich, den Durchschnittsverbrauch der Baumaschinen mittels Bordcomputer in Echtzeit anzuzeigen.

4.2 Energieverbrauch der Baustelleneinrichtung

Für die Erstellung eines Bauwerkes ist es notwendig, dass die gesamte Baustelleneinrichtung, bestehend aus Geräten, Maschinen, Unterkünften sowie Lager- und Verkehrsflächen, für eine zeitlich begrenzte Dauer an die Baustelle verbracht und dort vorgehalten werden muss. Zur Baustelleneinrichtung zählen auch die Versorgung der Baustelle mit

Strom, Wasser und Kommunikationstechnik sowie die Entsorgung von Abwasser und Bauabfällen.

Der Umfang der Baustelleneinrichtung ist dabei abhängig von Art und Größe der Baustelle und von der Dauer der Baumaßnahme. Darüber hinaus muss sie entsprechend dem Baufortschritt angepasst werden. Die Qualität der Baustelleneinrichtungsplanung ist somit grundlegend für den Erfolg einer Baumaßnahme.

Für die Erfassung von Energieverbräuchen der Baustelleneinrichtung ist von Bedeutung, dass die Energieverbraucher nicht immer eindeutig bestimmten Prozessen oder Positionen aus dem Leistungsverzeichnis zugeordnet werden können. Diese Baumaschinen werden als Vorhaltegeräte bezeichnet. Die Kosten für diese Vorhaltegeräte werden i. d. R. in den Baustellengemeinkosten berücksichtigt.

Für die Energieversorgung der Baustelle wird überwiegend elektrischer Strom für Turmdrehkrane, die Baustellenbeleuchtung, die Baucontainer mit der darin enthaltenen EDV, Beleuchtung, Klimatisierung und die Versorgung mit Warmwasser benötigt. Des Weiteren wird Diesel für Vorhaltegeräte wie Radlader, Minibagger, Kompressoren und Generatoren notwendig. Auch kann Flüssiggas für die Beheizung der Baucontainer erforderlich sein.

Der Energieverbrauch der Baustelleneinrichtung wird maßgeblich von der Jahreszeit beeinflusst. Bedingt durch die kürzeren Tageslichtphasen wird in den Wintermonaten eine Beleuchtung der Baustelle notwendig. Auch trägt die Beheizung der Baustelle im Winter zum Gesamtverbrauch bei. Darüber hinaus kann es notwendig werden, Winterbaumaßnahmen durchzuführen, die zu einem hohen Energieverbrauch beitragen. In den Sommermonaten kann die Kühlung der Baucontainer mittels Klimaanlage für einen erhöhten Stromverbrauch sorgen.

Auf Großbaustellen sind die Baumaschinen mit ihren leistungsstarken Dieselmotoren überwiegend verantwortlich für den Energieverbrauch. Doch neben dem Bestreben, durch verbrauchsärmere Baumaschinen Kraftstoff zu sparen, muss auch das Einsparen elektrischer Energie im Hochbau im Vordergrund stehen. Das Bemühen, elektrische Energie zu sparen, kann in Anbetracht weiter steigender Strompreise auch zum wirtschaftlichen Erfolg beitragen. Zu diesem Zweck ist eine ganzheitliche, bauphasenbezogene Analyse sinnvoll.

Hierzu werden im Folgenden drei Projekte über die gesamte Bauzeit ausgewertet. Bei den analysierten Baumaßnahmen handelt es sich um

- den Neubau der JVA in Wuppertal,
- das Neue Thier Areal in Dortmund und
- die Tanzenden Türme in Hamburg.



Abb. 4.1: Ansichten der untersuchten Hochbaumaßnahmen⁹⁴

4.2.1 Referenzprojekt

Bei dem Referenzprojekt „Neues Thier Areal Dortmund“ handelt es sich um den Neubau einer Shopping-Mall südlich des Dortmunder Bahnhofs. Es verfügt über eine Fläche von etwa 33.000 m² und bietet Verkaufsflächen für über 150 Geschäfte. Die Galerie wurde im September 2011 eröffnet.⁹⁵

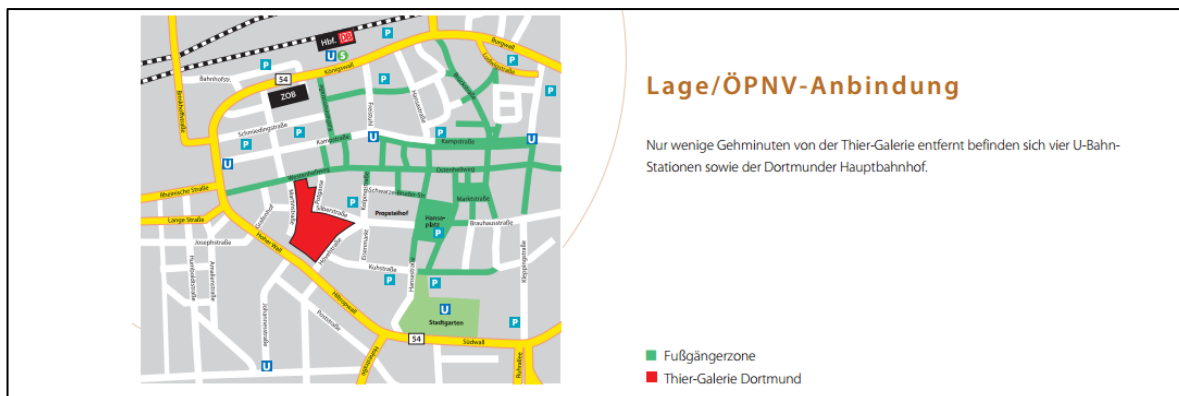


Abb. 4.2: Lageplan der THIER Galerie in Dortmund⁹⁶

⁹⁴ Fotos: Ed. Züblin AG

⁹⁵ vgl. [ECE15]

⁹⁶ ebd.

Zu den notwendigen Maßnahmen gehörten, neben dem Abriss von Bestandsgebäuden, der Erdbau, Roh- und Ausbau.



Abb. 4.3: Baumaßnahme THIER Galerie: Abriss und Erdbau⁹⁷



Abb. 4.4: Baumaßnahme THIER Galerie: Rohbau- und Ausbauarbeiten⁹⁸

4.2.2 Methodik

Die Informationsgrundlagen für die Erfassung des Stromverbrauchs der Baustelleneinrichtung bilden

- der Baustelleneinrichtungsplan mit der Stromversorgung
- der Stromliefervertrag
- die Bautagesberichte mit Stunden- und Leistungserfassung für Personal und Baumaschinen und
- der Bauablaufplan.

⁹⁷ [ECE15]

⁹⁸ ebd.

4.2.3 Stromversorgung der Baustelle

Laut Baustelleneinrichtungsplan sind zwei Einspeisepunkte (Trafo 15 und Trafo 20) für die Stromversorgung der Baustelle vorgesehen. Der Einspeisepunkt ist die Übergabe- bzw. Schnittstelle zwischen dem Verteilernetz des Versorgungsunternehmens und der Baustelle. In der folgenden Darstellung wird das Stromnetz der Baustelle schematisch dargestellt.

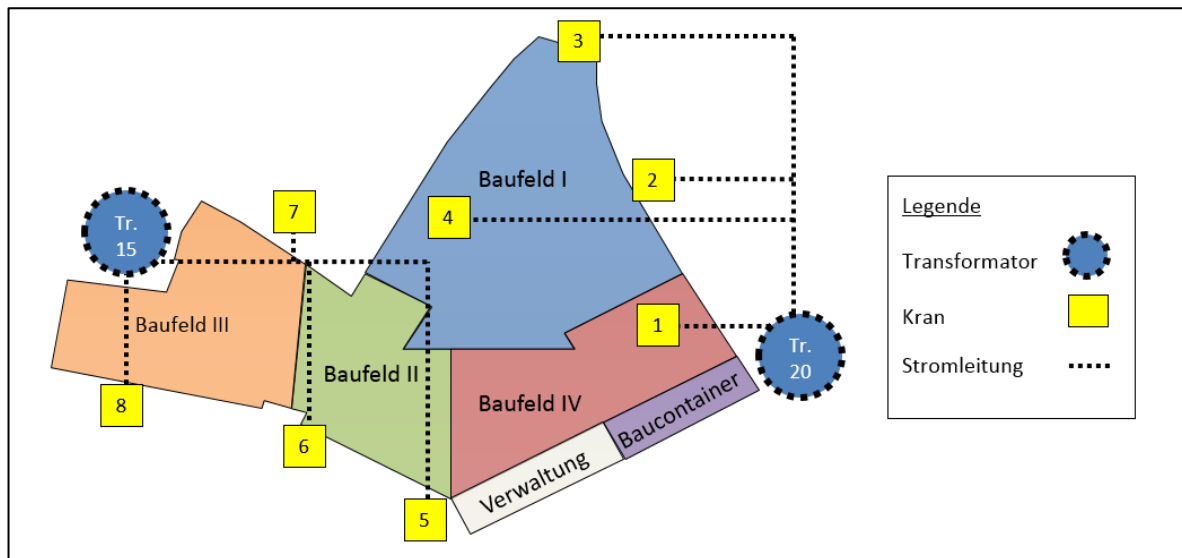


Abb. 4.5: Schematische Darstellung der Stromversorgung⁹⁹

Für die Zuordnung des Stromverbrauchs ist in diesem Zusammenhang eindeutig zu klären, welcher Verbraucher an welchen Transformator angeschlossen ist. Die Baubüros sind in einem bestehenden Verwaltungsgebäude untergebracht, das separat an das Stromverteilternetz angeschlossen ist, so dass eine Differenzierung nach Kranen und Baubüro eindeutig erfolgen kann.

4.2.4 Erfassung des Stromverbrauchs

Die Erfassung des Stromverbrauchs erfolgt automatisiert viertelstündlich durch geeichte Messeinrichtungen. Bei einer Dauer von etwa zwei Jahren Bauzeit und der daraus resultierenden enormen Datenmenge erfolgt aus Gründen der Übersichtlichkeit die Auswertung

⁹⁹ vgl. [HNR11], S. 67

graphisch in Form von Verbrauchsganglinien. So lassen sich insbesondere Lastspitzen einfach erkennen.

4.2.5 Auswertung und Analyse

Die Aufzeichnung der Daten beginnt am 09.11.2009 mit der Verbrauchsstelle „Verwaltungsgebäude“, in dem die Baubüros untergebracht sind. Am 13.11.2009 beginnen die Aufzeichnungen an „Trafo 20“ und am 11.12.2009 an „Trafo 15“. Die Aufzeichnungen enden für alle Verbrauchsstellen gleichzeitig am 15.04.2011.

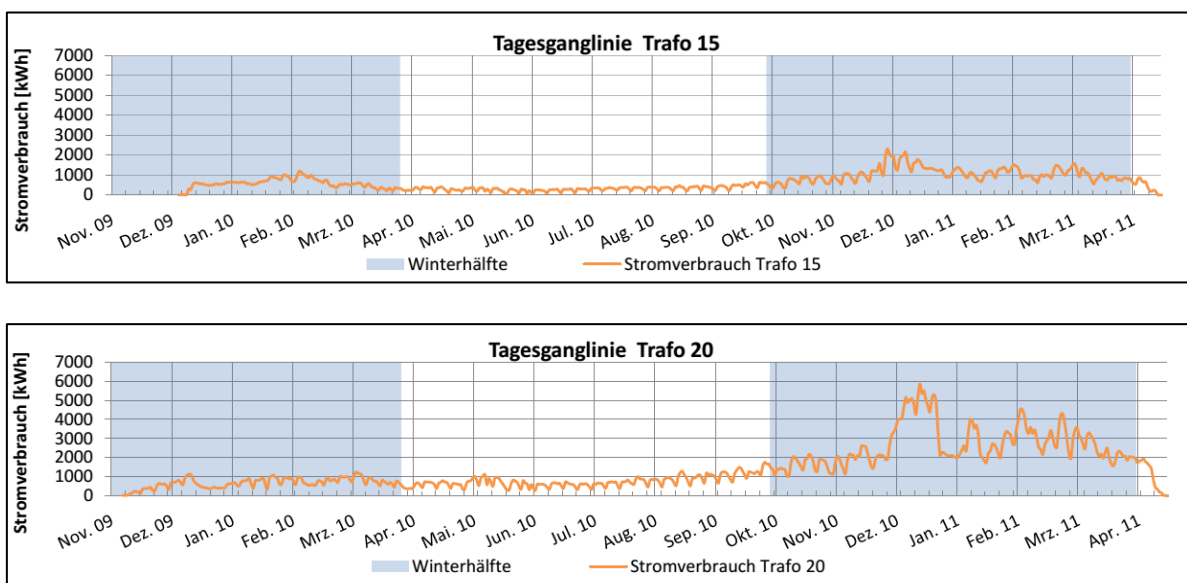


Abb. 4.6: Verbrauchsganglinien der Messpunkte Trafo 15 und Trafo 20¹⁰⁰

Die Graphen der Messpunkte „Trafo 15“ und „Trafo 20“ verlaufen qualitativ ähnlich: An Werktagen ist ein konstanter Verlauf zu erkennen. An arbeitsfreien Tagen fällt der Verbrauch erwartungsgemäß bis zu einem Grundverbrauch ab. Im Dezember 2010 ist ein deutlicher Anstieg des Verbrauchs an allen Messpunkten zu erkennen, der zu den Weihnachtsfeiertagen abfällt und bis zum Jahresende konstant verläuft.

Verbrauchsspitzen sind an den Ausschlägen der Verbrauchsganglinie zu erkennen. Bei den Messpunkten „Trafo 15“ und „Trafo 20“ wird deutlich, dass sie ihre Maxima in der letzten Bauphase des Ausbaus ab Dezember 2010 erreichen.

¹⁰⁰ [HNR11], S. 70

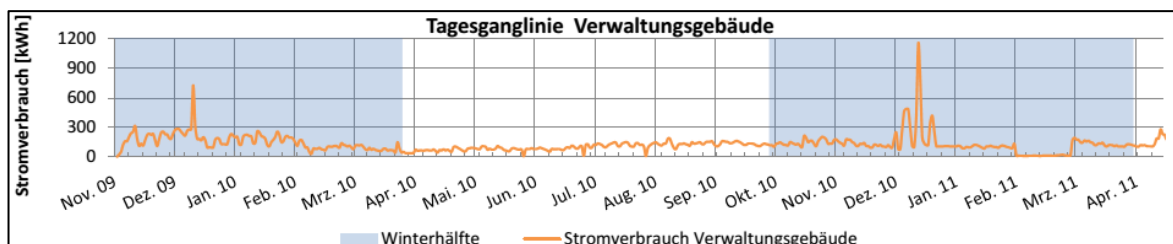


Abb. 4.7: Verbrauchsganglinie des Messpunktes Verwaltungsgebäude¹⁰¹

Die Tagesganglinie des Verwaltungsgebäudes bleibt weitestgehend konstant mit einem Anstieg in den Wintermonaten. Auffallend sind jedoch Lastspitzen die etwa Mitte Dezember 2009 und 2010 auftreten. Des Weiteren fällt auf, dass im Februar 2011 der Verbrauch stark sinkt und auf diesem Niveau bis Anfang März 2011 konstant bleibt. Im Nachgang konnte geklärt werden, dass es sich bei dem Abfall des Verbrauchs um einen Messfehler des Stromanbieters handelte: Das Komma war um eine Stelle nach links verrutscht. Die Ursache für die Verbrauchsspitzen konnte allerdings nicht plausibel geklärt werden. Auffällig ist, dass beide Ausschläge in einem ähnlichen Zeitfenster zwischen dem 14. - 18. Dezember liegen und es im Verwaltungsgebäude laut Aussage der örtlichen Bauleitung auch zu keinem Einsatz von strombetriebenen Geräten kam, die einen Anstieg erklären würden. Ein Messfehler wurde vom Stromanbieter nicht bestätigt.

4.2.6 Maßgebliche Erkenntnisse

Kennwertbildung

Nach einer ersten qualitativen Bewertung erfolgt im nächsten Schritt eine exemplarische Bildung von Kennwerten, mit deren Hilfe sich die zu erwartenden Energieverbräuche zukünftiger Projekte im Zuge eines EnMS kalkulieren, überprüfen und steuern lassen. In der folgenden Tabelle sind Kennwerte für die separaten Verbrauchsstellen und für die gesamte Baustelle dargestellt.

¹⁰¹ [HNR11], S. 70

	Trafo 15	Trafo 20	Verwaltungsgebäude	Gesamt
Durchschn. monatlicher Verbrauch [kWh]	19.168,00	40.581,00	3.915,00	62.600,00
Durchschn. monatliche Kosten [€]	3.128,00	6.517,00	860,00	10.331,00

Abb. 4.8: Durchschnittlicher Energieverbrauch und Energiekosten¹⁰²

Einfluss der Lufttemperatur

Mittels dieser ersten groben Kennwerte lassen sich bereits die zukünftigen Stromkosten während einer Baumaßnahme abschätzen. Zeiten mit Lastspitzen und abweichenden Verbräuchen können auf dieser Grundlage allerdings noch nicht abgeschätzt werden, da die Gründe für die Schwankungen an dieser Stelle noch nicht identifiziert sind. Die reine Betrachtung von Verbrauchswerten reicht also nicht aus. Da die Lastspitzen in den Wintermonaten erreicht werden, liegt die Vermutung nahe, dass die Witterungsverhältnisse den Verbrauch beeinflussen könnten. In der folgenden Darstellung ist der Zusammenhang zwischen Stromverbrauch und Lufttemperatur dargestellt. Der Vergleich der polynomischen Regressionslinien zeigt ein antizyklisches Verhalten: Bei sinkenden Lufttemperaturen steigt der Stromverbrauch.¹⁰³

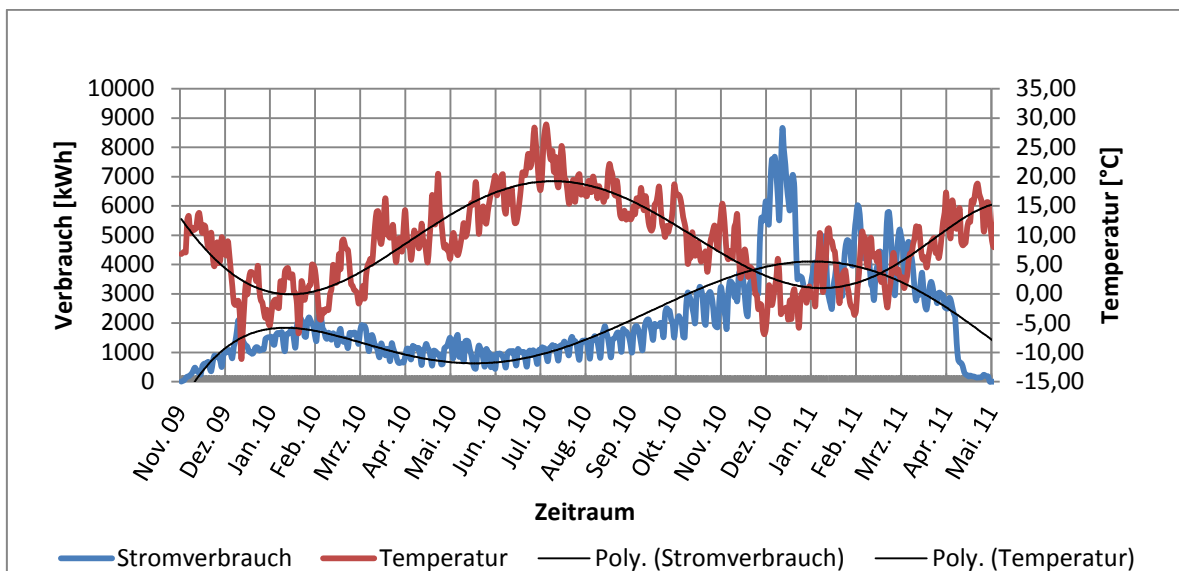


Abb. 4.9: Zusammenhang von Stromverbrauch und Lufttemperatur¹⁰⁴

¹⁰² [HNR11], S. 71

¹⁰³ vgl. ebd., S. 72

¹⁰⁴ vgl. ebd.

Für eine nach den Jahreszeiten differenzierte Betrachtung des Stromverbrauches werden für die Baumaßnahme jahreszeitliche Mittelwerte gebildet, wobei die Heizperiode im Oktober beginnt und mit dem März endet.¹⁰⁵

April - September 2010		Oktober (2010) - März (2011) / Heizperiode	
durchn. Temperatur	durchn. tägl. Verbrauch	durchn. Temperatur	durchn. tägl. Verbrauch
[°C]	[kWh/d]	[°C]	[kWh/d]
15,40	1.189,00	4,40	2.557,00

Abb. 4.10: Durchschnittliche Tagestemperatur und Stromverbrauch 2010/2011¹⁰⁶

Bei dieser jahreszeitlichen Betrachtung wird der Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und Stromverbrauch noch einmal deutlich. Ob der Mehrverbrauch in der Heizperiode jedoch überwiegend heizbedingt ist, kann nur durch eine weitere Detaillierung nach Verbrauchern erfolgen. Vermutlich haben auch die schlechteren Lichtverhältnisse und die dadurch notwendig werdende Beleuchtung in der Heizperiode einen Anteil am Mehrverbrauch. Darüber hinaus ist auch der Einfluss der Bauphase auf den Stromverbrauch zu untersuchen.

Einfluss der Bauphase

Im Dezember 2010 sinkt die durchschnittliche Temperatur auf -1,4 °C. Zu diesem Zeitpunkt sind bereits Unternehmen mit der Ausführung der Ausbaugewerke beschäftigt. Für spezielle Arbeiten, besonders mit hydraulischen Bindemitteln, müssen allerdings die für die Verarbeitung notwendigen Temperaturen geschaffen werden. Da die Rohbauarbeiten des Gebäudes überwiegend abgeschlossen sind, steht genügend umbauter Raum zur Verfügung, der beheizt werden kann. Dies wird durch den Einsatz von elektrischen Heizlüftern erreicht, in dessen Folge der Stromverbrauch in diesem Monat auf 5.756,00 kWh steigt. Neben der Lufttemperatur hat demnach auch die Bauphase, in diesem Fall die Ausbaugewerke mit dem vermehrten Einsatz von Kleingeräten und der Beheizung, einen Einfluss auf

¹⁰⁵ Der Deutsche Mieterbund definiert die Zeit vom 1. Oktober bis zum 30. April als Heizperiode.

¹⁰⁶ [HNR11], S. 73

den Stromverbrauch. Dieser Zusammenhang wird in der folgenden Darstellung zusammenfassend dargestellt.¹⁰⁷

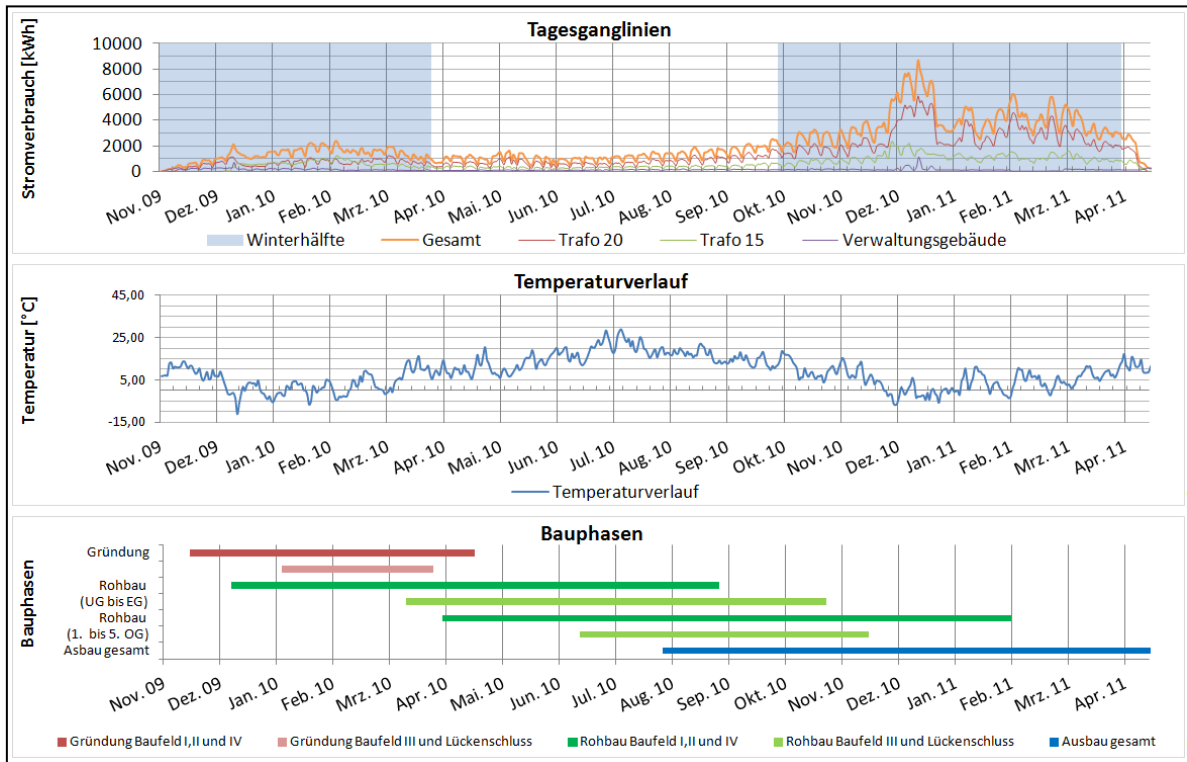


Abb. 4.11: Einfluss der Bauphase und Lufttemperatur auf den Stromverbrauch¹⁰⁸

Im bisherigen Verlauf der Untersuchung wurden der Einfluss der Lufttemperatur und der Stromverbrauch bedingt durch die Beheizung der Arbeitsräume untersucht. Im Folgenden wird abschließend der Einfluss der elektrisch betriebenen Baugeräte geprüft, zu denen Hebezeuge und Kleingeräte zählen. Hierzu ist es notwendig, die Verbräuche getrennt nach Tages- und Nachtzeiten bzw. Haupt- (HT) und Nebentarif (NT) zu untersuchen. Die Bauarbeiten finden am Tage, also in der Phase des HT, statt. Nachts resultieren die Stromverbräuche aus der Beleuchtung, Beheizung und der Büroausstattung. Die Anteile stellen sich folgendermaßen dar:¹⁰⁹

¹⁰⁷ vgl. [HNR11], S. 73

¹⁰⁸ [HNR11], S. 74

¹⁰⁹ ebd.

	Trafo 15	Trafo 20	Verw.-Gebäude	Gesamt
Durchschnittlicher monatlicher Verbrauch [kWh/M]	19.168,00	40.581,00	3.915,00	62.600,00
Durchschnittlicher monatlicher Verbrauch im HT [kWh/M]	13.540,00	28.833,00	2.719,00	44.339,00
Durchschnittlicher monatlicher Verbrauch im NT [kWh/M]	5.628,00	11.749,00	1.196,00	18.260,00
Anteil des Verbrauchs im NT am gesamten Verbrauch	29,4 %	29,0 %	30,6 %	29,2 %

Abb. 4.12: Anteil des Stromverbrauches im HT und NT¹¹⁰

Demnach kann festgehalten werden, dass im NT (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr), also in einem Zeitfenster, in dem keine Bauleistungen ausgeführt werden, durchschnittlich 29,2 % des Gesamtstromverbrauchs anfallen. Dies lässt vermuten, dass die zusätzlichen stromverbrauchenden Prozesse während der Arbeitszeit infolge von elektrisch betriebenen Geräten einen verhältnismäßig geringen Einfluss auf den gesamten Stromverbrauch haben. Um dies genauer zu analysieren, muss noch nach Kernarbeitszeit (KAZ) und arbeitsfreier Zeit (AFZ) unterschieden werden. Die KAZ liegt zwischen 07:00 Uhr und 16:00 Uhr. Die übrigen Stunden des Tages entsprechen der AFZ. Der Tagesverbrauch differenziert nach KAZ und AFZ stellt sich folgendermaßen dar:¹¹¹

	Durchschnittlicher Stromverbrauch [kWh]		
	Trafo 15	Trafo 20	Verwaltungsgebäude
Kernarbeitszeit	31,40	66,40	4,54
Arbeitsfreiezeit	25,40	54,00	2,28
Mehrverbrauch in der Kernarbeitszeit	23,8 %	23,1 %	98,8 %

Abb. 4.13: Durchschnittliche Stundenverbräuche differenziert nach KAZ und AFZ¹¹²

Bei diesem Vergleich zeigt sich, dass der Stromverbrauch der Messpunkte „Trafo 15“ und „Trafo 20“ in der KAZ um etwa ein Viertel höher liegt als in der AFZ. Beim Messpunkt „Verwaltungsgebäude“ steigt der Energieverbrauch in der KAZ im Vergleich zur AFZ auf etwa das Doppelte an. Der Messpunkt „Verwaltungsgebäude“ erfasst die Verbräuche der Baucontainer und ist von den eigentlichen Bauprozessen entkoppelt. Die Betrachtung zeigt deutlich, dass die eigentlichen Bauprozesse der Baustelle, bei denen elektrisch betriebene Baugeräte genutzt werden, einen geringen Anteil am Gesamtstromverbrauch der

¹¹⁰ vgl. [HNR11], S. 74

¹¹¹ ebd., S. 75

¹¹² ebd.

Baustelle haben. Maßgebende Verbraucher sind demnach die, die eine hohe Grundlast verursachen, wie z. B. die Baubeleuchtung und Klimatisierung sowie die in den Baucontainern und Baubüros untergebrachte Informations- und Kommunikationstechnik.¹¹³

Nach dem in Kapitel 4.1.5 erwähnten Pareto-Prinzip ist es daher sinnvoll, den Fokus zunächst auf diese Verbraucher zu legen.

4.2.7 Verifizierung der Erkenntnisse

Im Folgenden werden die gewonnenen Erkenntnisse mit den Messungen von zwei weiteren Bauprojekten verglichen. Hierbei handelt es sich um

- den Neubau der Justizvollzugsanstalt (JVA) in Wuppertal und
- die „Tanzende Türme“ in Hamburg.

In der folgenden Darstellung werden die Verbrauchsganglinien der drei Bauprojekte untereinander abgebildet, wobei die Heizperiode dunkel hinterlegt ist.

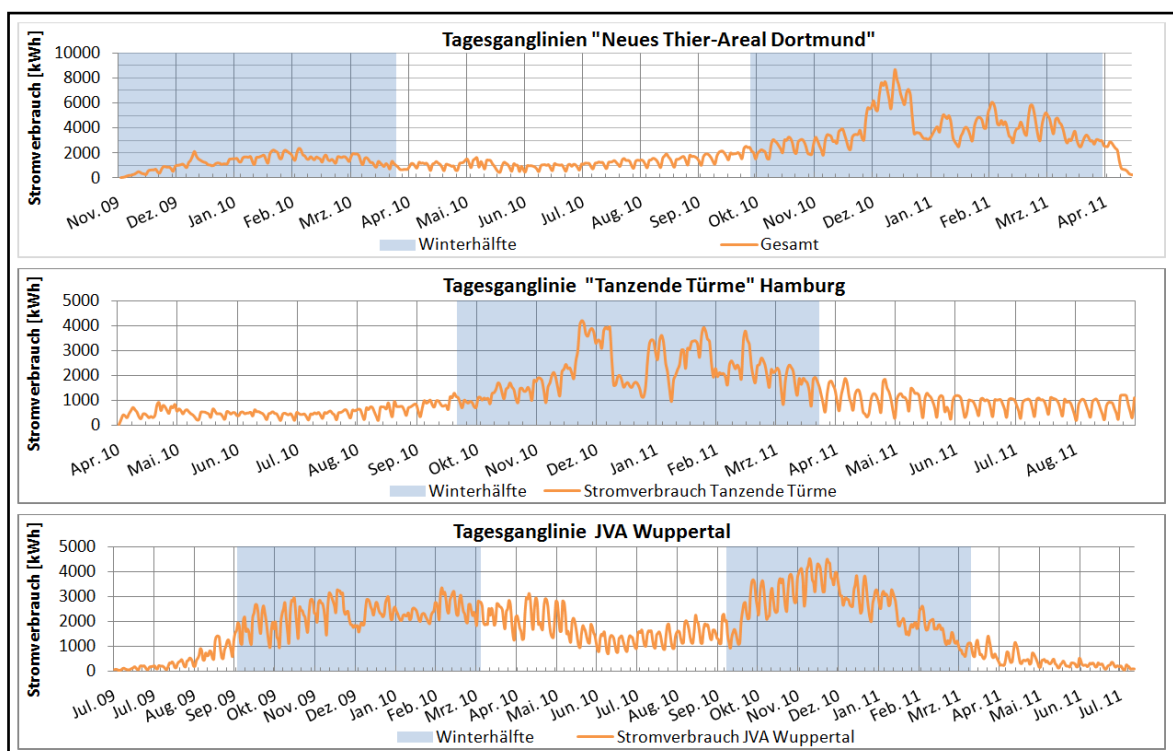


Abb. 4.14: Verbrauchsganglinien der drei untersuchten Bauprojekte¹¹⁴

¹¹³ vgl. [HNR11], S. 75

Der Vergleich der Verbrauchsganglinien bestätigt den Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und Stromverbrauch: In der Winterhälfte steigt der Stromverbrauch deutlich an. Die qualitative Darstellung ergänzend werden in der folgenden Abbildung die durchschnittlichen täglichen Verbrauchswerte, differenziert nach Sommer und Heizperiode, zusammengefasst und die Faktoren des Anstiegs des Stromverbrauchs in der Heizperiode ausgewiesen. Demnach steigt der Stromverbrauch in der Heizperiode um den Faktor 2,15 in Dortmund, 3,76 in Hamburg und 2,41 in Wuppertal.

Projekt	April - September 2010		Oktober - März (Heizperiode) 2010		Verhältnis des Stromverbrauchs
	mittlere Temperatur	mittlerer tägl. Verbrauch	mittlere Temperatur	mittlerer tägl. Verbrauch	
	[°C]	[kWh/d]	[°C]	[kWh/d]	Heizperiode/Sommerhälfte
Neues Thier-Areal, Dortmund	15,4	1.189,00	4,4	2.557,00	2,15
Tanzende Türme, Hamburg	14,9	580,00	3,0	2.180,00	3,76
JVA, Wuppertal	16,3	1.024,00	5,0	2.468,00	2,41

Abb. 4.15: Verbrauchswerte der Projekte differenziert nach Sommer und Winter¹¹⁵

Da die Bauphasen der drei Projekte in unterschiedlichen Monaten liegen, kann auch der Einfluss der Bauphase auf den Stromverbrauch verifiziert werden. Anhand der Verbrauchsganglinie der JVA Wuppertal kann festgestellt werden, dass im Winter 2010 bei mildereren Temperaturen als in den Wintermonaten 2009 der Stromverbrauch größer ist. Das liegt an der bereits gestarteten Ausbauphase.¹¹⁶

Der Vergleich des Verbrauchs differenziert nach Nebentarif und Haupttarif zeigt ähnliche Anteile: In Dortmund liegt der Anteil des Verbrauchs im Nebentarif bei 29,2 %, in Hamburg bei 26,0 % und in Wuppertal bei 27,5 %.

¹¹⁴ vgl. [HNR11], S. 77

¹¹⁵ ebd.

¹¹⁶ vgl. ebd., S. 78

	Neues Thier-Areal, Dortmund	Tanzende Türme, Hamburg	JVA, Wuppertal
Durchschnittlicher monatlicher Verbrauch [kWh/M]	62.600,00	39.827,00	55.779,00
Durchschnittlicher monatlicher Verbrauch im HT [kWh/M]	44.339,00	29.459,00	40.447,00
Durchschnittlicher monatlicher Verbrauch im NT [kWh/M]	18.260,00	10.368,00	15.332,00
Anteil des Verbrauchs im NT am gesamten Verbrauch	29,20%	26,00%	27,50%

Abb. 4.16: Vergleich der Verbrauchswerte der Projekte differenziert nach HT und NT¹¹⁷

Bei genauer Betrachtung des Stromverbrauchs, differenziert nach KAZ und AFZ, zeigt sich in Hamburg mit 56,1 % ein Mehrverbrauch in der KAZ. Allerdings gilt weiterhin die These, dass der hauptsächliche Anteil maßgeblich von den Verbrauchern verursacht wird, die über den gesamten Tag Strom verbrauchen.

	Durchschnittlicher Stromverbrauch [kWh]		
	Neues Thier-Areal, Dortmund	Tanzende Türme, Hamburg	JVA, Wuppertal
Kernarbeitszeit	97,8	67,6	83,3
Arbeitsfreiezeit	79,4	43,3	64,3
Mehrverbrauch in der Kernarbeitszeit	23,2 %	56,1 %	29,5 %

Abb. 4.17: Vergleich des Stromverbrauchs der Projekte differenziert nach Arbeitszeiten¹¹⁸

4.2.8 Gesamtbilanz

Abschließend erfolgt die Erstellung der Gesamtbilanz exemplarisch für das Referenzprojekt „Neues Thier Areal Dortmund“. Die Bilanzierung des Stromverbrauchs und der damit verbunden Kosten werden in der folgenden Abbildung ausgewertet.

¹¹⁷ [HNR11], S. 77

¹¹⁸ vgl. ebd., S. 78

	Stromverbrauch	Anteil am Gesamtverbrauch
Gesamt	1.126.792,51 kWh	100%
Anteil im Haupttarif	798.104,95 kWh	70,80%
Anteil im Nebentarif	328.687,56 kWh	29,20%
	Kosten	Anteil an Gesamtnettkosten
Grundpreis	3.615,00 €	2,55%
Kosten Wirkstrom HT	80.855,38 €	57,01%
Kosten Wirkstrom NT	33.339,28 €	23,51%
Kosten Wirkstrom	114.194,88 €	80,52%
Kosten Blindstrom	379,27 €	0,27%
KWKG-Aufschlag	839,14 €	0,59%
EEG-Umlage	22.797,11 €	16,07%
Stromsteuer	13.134,87 €	
Stromkosten gesamt netto	141.825,41 €	
USt auf Netto + Stromsteuer	29.442,45 €	
Stromkosten gesamt brutto	175.275,84 €	

Abb. 4.18: Gesamtbilanz des Stromverbrauches¹¹⁹

Die Gesamtbilanz wurde auf Grundlage der Stromlieferverträge inklusive deren Änderungen von Beginn der Aufzeichnungen am 09.11.2009 bis zum 15.04.2011 erstellt. Für eine stichtagsbezogene Bewertung im Rahmen eines EnMS müssen die Daten im Zuge des Baufortschritts regelmäßig aktualisiert werden. So können etwaige Abweichungen vom definierten Soll zeitnah erkannt werden und es kann ggf. steuernd eingegriffen werden. Auf Grundlage der Gesamtbilanz können Angaben über charakteristische Kenngrößen, wie bspw. die Energieeffizienz einer Baumaßnahme, getroffen werden. Eine einfach zu ermittelnde Kenngröße, die zur Zielwertkontrolle eingesetzt werden kann, ist die Energieproduktivität, definiert als Verhältnis von geleisteten Arbeitsstunden zum Stromverbrauch.¹²⁰

Der Ausstoß von CO₂ kann ebenfalls als Kenngröße herangezogen werden. Laut Umweltbundesamt lag der CO₂-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix im Jahr 2010 bei 563 g/kWh.¹²¹ Für die Baustelle in Dortmund ergibt sich damit eine Menge an ausgestoßenem CO₂ von 634,38 t. Allerdings ist die Tatsache zu berücksichtigen, dass etwa 80 % des Energiebedarfs im Baugewerbe durch Mineralöle gedeckt werden und der Stromverbrauch und die damit verbundenen CO₂-Emissionen von nachrangiger Bedeutung sind (siehe Abb. 3.5).

¹¹⁹ [HNR11], S. 80

¹²⁰ vgl. ebd., S. 79

¹²¹ vgl. [UBA11]

4.2.9 Zusammenfassung – Baustelleneinrichtung

Im Zuge der Analyse konnten Verbraucher und Einflussfaktoren bzgl. des Stromverbrauchs identifiziert werden. Diese Kenngrößen sind notwendig, um ein EnMS im Baubetrieb umzusetzen. Mit ihrer Hilfe können Energiekosten kalkuliert und entsprechende Zielvorgaben formuliert werden.

Anhand von Verbrauchsganglinien können außergewöhnliche Lastspitzen erkannt werden. Dies ermöglicht das steuernde Eingreifen im Zuge eines EnMS. Hierbei sind folgende Faktoren zu berücksichtigen, die den Stromverbrauch im Verlauf einer Baumaßnahme maßgeblich beeinflussen:

- Jahreszeit (Lufttemperatur)
- Art und Anzahl der ständigen Verbraucher (Grundlast)
- Bauphase
- Außergewöhnliche, stromintensive Bauleistungen (z. B. Winterbaumaßnahmen)

Die durchgeführten Analysen identifizieren die Jahreszeit bzw. die Lufttemperatur als maßgeblichen Einflussfaktor. Gleichzeitig ist auch die Bauphase von maßgebender Bedeutung für den Stromverbrauch: Insbesondere während der Ausbauphase kommen viele elektrisch betriebene Kleingeräte zum Einsatz und der Stromverbrauch steigt entsprechend an. Auch die anteilig hohen Verbräuche in der AFZ und der verhältnismäßig geringe Anstieg des Verbrauchs während der KAZ zeigen, dass die Verbraucher mit dem größten Energieeinsparpotenzial die Baustellenbeleuchtung, Beheizung und Baubürokommunikationstechnik sind. Hier muss zuerst angesetzt werden, um Energie zu sparen. Dies ist Kernaufgabe eines EnMS im Baubetrieb, das die Verbraucher erfasst, Handlungsvorgaben formuliert und so einen energieeffizienten Baubetrieb ermöglicht.

4.3 Energieverbrauch der vorbereitenden Baustellenarbeiten

Zu jeder Baumaßnahme gehört die sogenannte Baufeldfreimachung. Sie hat zum Ziel, das Baufeld durch die Entfernung von Hindernissen mittels Rückbau, Fällung von Bäumen und Rodung von Bewuchs in einen unbelasteten und hindernisfreien Ort und somit in einen bebaubaren Zustand zu versetzen.¹²² Hierzu gehören auch Arbeiten, die bei einer Kontaminierung des Bodens durch Altlasten oder Schadstoffe notwendig werden, wie bspw. ein Bodenaustausch. Im Rahmen einer Geländeprofilierung gehören auch Erdarbeiten zu den vorbereitenden Baustellenarbeiten. Da viele Arbeiten der vorbereitenden Baustellenarbeiten denen des Erdbaus entsprechen, wird im Hinblick auf den Energieverbrauch auf das folgende Kapitel 4.4 verwiesen.

4.4 Energieverbrauch im Erdbau

Der Erdbau umfasst alle Leistungen, die das Baumaterial Boden betreffen und oberflächennahe Änderungen in Bezug auf ihre Lagerungsdichte, Form und Lage bewirken. Sie schließen sich im Allgemeinen an die vorbereitenden Baustellenarbeiten an. Im Rahmen von Hochbaustellen dient der Erdbau der Herstellung der Baugrube. Die Tragfähigkeit des anstehenden Bodens ist maßgebend für die Art und Ausführung der Gründung. Neben dem Baugrubenaushub gehören auch die Erstellung von Transportwegen wie Baustraßen, Gräben für Kanäle, Rohr- und sonstige Leitungen sowie Verfüll- und Verdichtungsarbeiten zum Spektrum des Erdbaus. Eine klare zeitliche Abgrenzung von Erdbauleistungen im Bauablauf ist nicht möglich, da sie bereits zu Beginn der Baumaßnahme sowie auch in späteren Bauphasen erforderlich werden können.¹²³

Im Erdbau sind die eingesetzten Baumaschinen überwiegend mit Verbrennungsmotoren ausgestattet. Zu den oftmals eingesetzten Baumaschinen gehören

- Hydraulikbagger, Radlader und Scraper für das Lösen, Laden und Einbauen,
- Lastkraftwagen zum Transport,

¹²² vgl. [AHO04], S. 7

¹²³ vgl. [Bau07], S. 61 ff.

- Planiermaschinen und Grader für die Verteilung sowie
- Walzen für die Verdichtung von Böden.

Der Kraftstoffverbrauch wird maßgeblich beeinflusst von der Art des anstehenden Bodens, da mit steigender Bodenfestigkeitsklasse das Lösen und Laden des Bodens energieintensiver wird. Auch die Anbaugeräte sowie die Qualität des Zusammenspiels der Baumaschinen in einer Arbeitskette haben einen Einfluss auf den Energieverbrauch. Hier kann bereits in der Arbeitsvorbereitung und der Maschineneinsatzplanung die Berücksichtigung energetischer Aspekte erfolgen. Der Einsatz der Baumaschinen muss sorgfältig geplant und bei Bedarf während der Bauausführung angepasst werden, um einen möglichst hohen Nutzungsgrad zu erreichen und so zum wirtschaftlichen Erfolg einer Baumaßnahme beizutragen.¹²⁴

4.4.1 Energieverbrauchsmessungen im Erdbau

Um einen ganzheitlichen Überblick über vorhandene Energieeinsparpotenziale des Erdbaus zu erhalten, werden

- eine mittelgroße Maßnahme eines mittelständischen Unternehmens (Projekt 1),
- eine große Erdbaumaßnahme eines großen Unternehmens (Projekt 2) und
- zwei kleine Baumaßnahmen eines kleinen Bauunternehmens (Projekt 3a und 3b)

untersucht.

Baumaschinen im Erdbau

Einführend werden die Eigenschaften, Baugrößen und Einsatzmöglichkeiten der gängigen Erdbaumaschinen vorgestellt und dargelegt, welche Aspekte ihren Energieverbrauch beeinflussen.

¹²⁴ vgl. [Wit09], S. 1

Hydraulikbagger

Hydraulikbagger werden wegen ihrer universellen Einsetzbarkeit auch Universalbagger genannt. Durch den Anbau von Werkzeugen wie Tieflöffel, Ladeschaufel, Greifer, Verbau-, Grabenräum- und Profillöffel sowie weiterem Sonderzubehör lässt er sich gleichermaßen zum Heben, Lösen, Laden, Verteilen, Profilieren und Verdichten einsetzen.¹²⁵ Weiterhin können Hydraulikbagger als Trägergerät für Bohr- oder Rammgeräte dienen. Abhängig vom Einsatzgebiet haben Hydraulikbagger unterschiedliche Baugrößen: Diese reichen von Minibaggern mit 2,0 t Einsatzgewicht und 5,0 kW Leistung für den leichten Einsatz im Gartenbau oder innerhalb von Gebäuden bis hin zum Großgerät für den Tagebau mit bis zu 980 t Einsatzgewicht und 3360 kW Leistung.¹²⁶

Weiterhin werden Hydraulikbagger nach ihrem Fahrwerk unterschieden. Bagger mit Raupenfahrwerk (Raupenbagger) eignen sich für schwere und nasse Böden und kommen daher immer zum Einsatz, wenn eine hohe Standfestigkeit notwendig ist. Bagger mit Reifenfahrwerk (Mobilbagger) werden auf trockenem und festem Untergrund eingesetzt und können Straßen zerstörungsfrei befahren.¹²⁷

Die Leistung eines Hydraulikbaggers wird im Baubetrieb durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Hierbei ist vor allem die Planung und logistische Abstimmung des Geräteeinsatzes zu nennen. Da i. d. R. Gerätegruppen zum Lösen, Laden, Transportieren, Einbauen und Verdichten eingesetzt werden, müssen die an der Arbeitskette beteiligten Geräte aufeinander abgestimmt werden.¹²⁸

¹²⁵ vgl. [HK11], S. 745

¹²⁶ ebd., S. 746

¹²⁷ ebd., S. 745

¹²⁸ ebd., S. 720

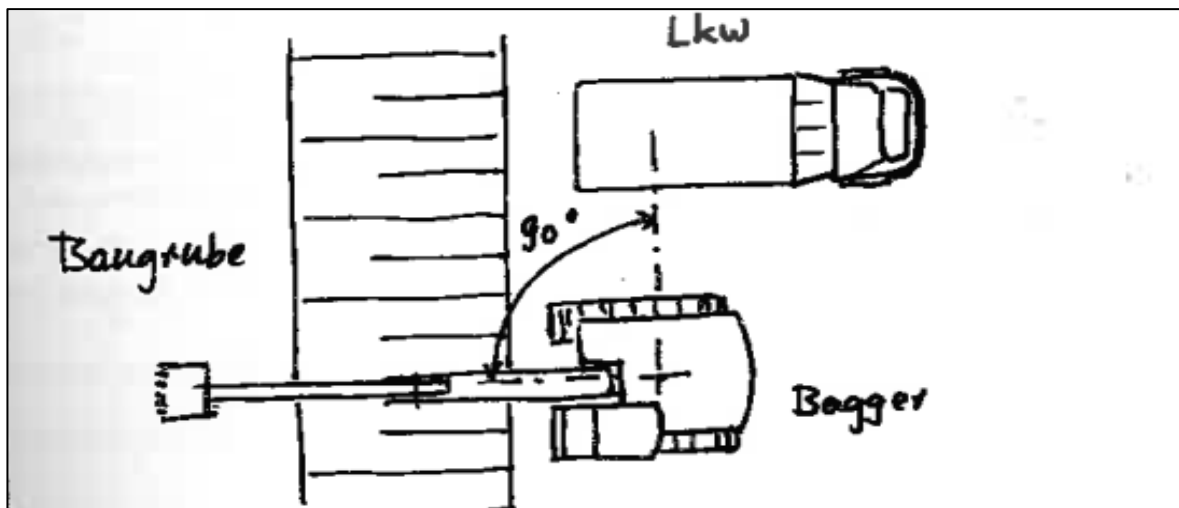


Abb. 4.19: Beispiel einer Arbeitskette¹²⁹

Neben der genauen Planung und Abstimmung der Arbeitsketten spielen auch die Eigenschaften des Bodens eine wichtige Rolle. Der Boden wird in der DIN 18300 der VOB/ C¹³⁰ nach seiner Lösbarkeit und den erdbautechnischen Eigenschaften in sieben Bodenklassen unterteilt. Die Bodenklasse bestimmt maßgeblich die Leistungsfähigkeit der Arbeitskette. Gleichzeitig wird die Leistung auch bestimmt vom Schwenkwinkel, der Grabtiefe bzw. -höhe, dem gewählten Grabgefäß, der Art der Entleerung und der Einsatzart.¹³¹ Auch sind die Fähigkeiten des Bedienpersonals maßgebend: Kommen schlechte Randbedingungen und geringes Können des Fahrers zusammen, kann der Wirkungsgrad einer Arbeitskette sogar auf die Hälfte der theoretischen Leistung absinken.¹³²

Ladegeräte

Ladegeräte werden für das Laden von Schüttgütern und bereits gelösten Böden eingesetzt. Je nach Bauart werden sie unterschieden in Rad-, Raupen-, Bagger- und Kompaktlader. Sie können mit unterschiedlichen Werkzeugen und Anbaugeräten ausgestattet wer-

¹²⁹ vgl. [HK11], S. 749

¹³⁰ VOB/C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Erdarbeiten

¹³¹ vgl. [HK11], S. 748, Tafel 9.24 bis 9.28

¹³² vgl. [Gar09], S. 55

den. Hierzu zählen Schaufel, Stapler- und Greifgabel, Räumschild, Kranausleger, Betonkübel, Kehrmachine und Fräse.¹³³

Die Leistung von Ladegeräten ist abhängig vom angebauten Ladegerät (Schaufel), von der Füll- und Entleerungszeit (in Abhängigkeit von der Bodenklasse), der Transportentfernung und dem Einsatzort.¹³⁴

Planierraupen

Planierraupen werden im Erdbau in den Baugrößen zwischen 7 und 50 t für hohe Leistungen beim großflächigen Lösen, Transportieren und Einbauen von Böden eingesetzt. Dabei werden je nach Einsatzart unterschiedliche Schilde verwendet.

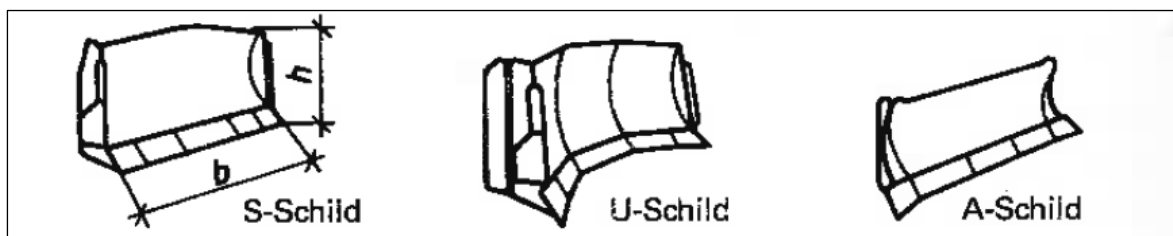


Abb. 4.20: Schildformen von Planierraupen¹³⁵

Das S-Schild wird für Abschieben von Material vor Kopf, das U-Schild für Schüttgüter und lose Böden und das A-Schild für Planierarbeiten und seitliches Abschieben genutzt.¹³⁶

Über die Schilde hinaus können Planierraupen noch mit weiteren Anbauteilen wie Heckaufreißern für leichten bis mittleren Fels, Seitenauslegern für die Rohrverlegung, Führungsgeräten für Böschungsarbeiten oder Seilwinden ausgestattet werden.¹³⁷

Auch können Planierraupen mit Laser-Nivellierautomatik ausgestattet werden.¹³⁸ Diese ermöglichen auf Grundlage eines digitalen Geländemodells (DGM) eine wesentliche Effizi-

¹³³ vgl. [HK11], S. 755

¹³⁴ vgl. ebd., S. 756 ff.

¹³⁵ ebd., S. 760

¹³⁶ vgl. ebd.

¹³⁷ vgl. ebd., S. 761

¹³⁸ vgl. ebd.

enzsteigerung über einen Soll-Ist-Abgleich der Auf- bzw. Abtragsdaten. Die Leistung der Planierraupen wird ebenfalls durch die Klasse des anstehenden Bodens, die Witterungseinflüsse und das Gefälle des Geländes beeinflusst.¹³⁹

Verdichtungsgeräte

Verdichtungsgeräte werden nach ihrer Wirkungsweise in statisch und dynamisch wirkende Geräte unterschieden. Im Wesentlichen stehen handgeführte Vibrationsplatten, Stampfer und verschiedene Arten von Walzen zur Verfügung.¹⁴⁰

Walzenzüge

Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen sind Walzenzüge von Bedeutung. Sie eignen sich nur für die Bodenverdichtung und wirken entweder statisch durch das Eigengewicht des Gerätes oder dynamisch durch zusätzliche Vibrationen infolge einer exzentrisch angebrachten Masse. Die Baugrößen von Erdbauwalzen variieren zwischen 3 bis 25 t. Die Leistung von Walzenzügen wird von Faktoren wie der Fähigkeit des Bedieners, der Fahrgeschwindigkeit, der Topographie und der Bodenklasse beeinflusst. Die Klasse des anstehenden Bodens beeinflusst insbesondere die mögliche Einbaustärke der Lagen sowie die Anzahl der notwendigen Verdichtungsübergänge.¹⁴¹

Transportgeräte

Für An- bzw. Ablieferung von Baumaterial und für flexible Transporte auf der Baustelle werden Lastkraftwagen (LKW) oder Schwerlastkraftwagen (SKW) eingesetzt.¹⁴² LKW sind für den Betrieb auf Straßen zugelassen und können daher gleichermaßen für die An- und Ablieferung über öffentliche Straßen und für Baustellentransporte eingesetzt werden. Schwerlastkraftwagen (SKW) sind aufgrund ihrer großen Abmessung und des sehr hohen Gesamtgewichts nur für den Baustellenverkehr zulässig.¹⁴³

¹³⁹ vgl. [HK11], S. 762

¹⁴⁰ vgl. ebd., S. 773

¹⁴¹ vgl. ebd.

¹⁴² vgl. [KGJ02], S. 257

¹⁴³ vgl. [HK11], S. 768

4.4.2 Energieverbrauchsanalyse Projekt 1

Die Untersuchungen zum Energieverbrauch im Erdbau erfolgen bei einer Deponiebaumaßnahme. Der Deponiebau ist ein gesonderter Bereich des Erdbaus, bei dem viele unterschiedliche Erdbauleistungen ausgeführt werden. In der folgenden Abbildung wird aus Gründen der Nachvollziehbarkeit exemplarisch der Aufbau einer Deponie dargestellt.

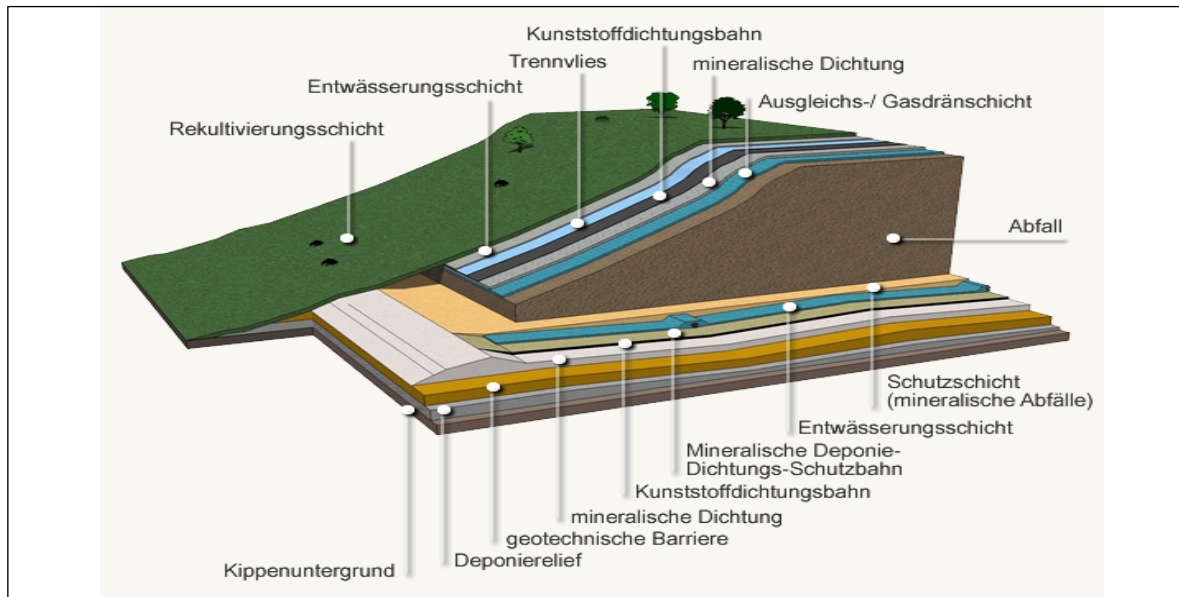


Abb. 4.21: Aufbau einer Deponie ¹⁴⁴

Bei der Baumaßnahme wird im Altteil der Deponie, in dem die Ablagerungsphase bereits abgeschlossen ist, eine Oberflächenabdichtung zur Versiegelung hergestellt. Des Weiteren wird die Deponie um einen Neuteil erweitert, der mit einer Basisabdichtung versehen wird. Das Gelände des Altteils ist etwa 50.000 m² groß und weist einen trapezförmigen Grundriss auf. ¹⁴⁵

¹⁴⁴ [ZAW15]

¹⁴⁵ vgl. [HNR11], S. 38

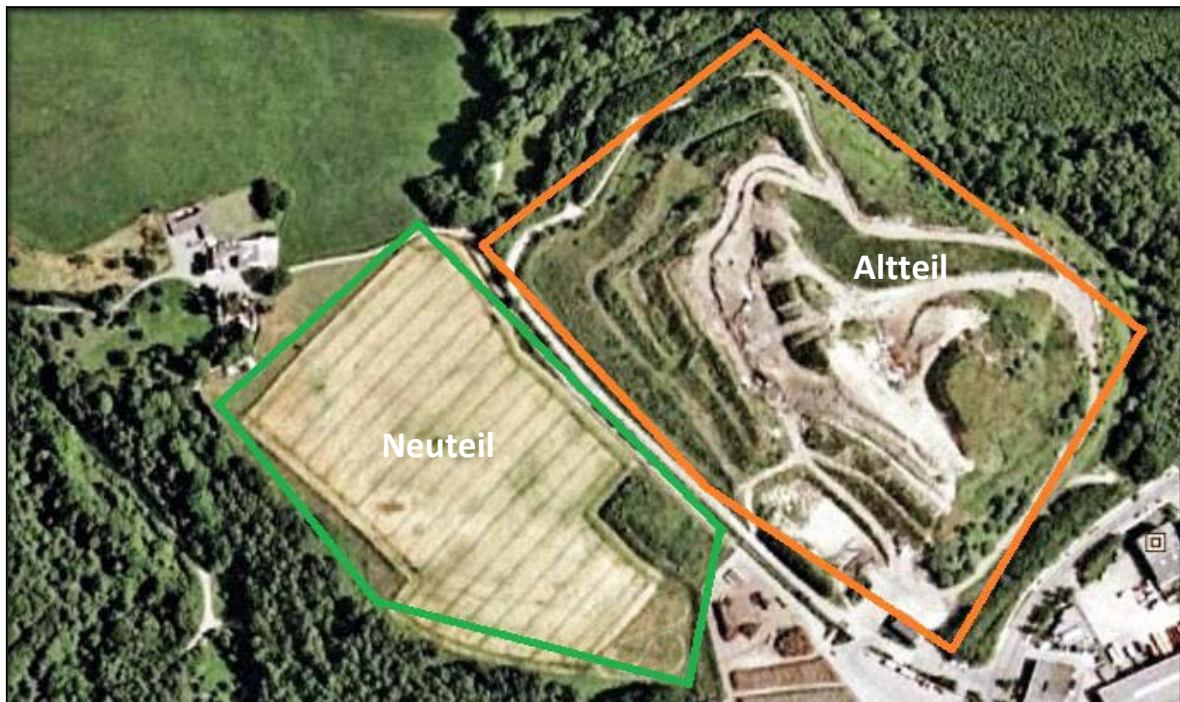


Abb. 4.22: Übersicht der Deponie-Baufelder¹⁴⁶

Die wesentlichen Bestandteile der Altteilabdichtung bilden die nachfolgend aufgeführten Leistungen:¹⁴⁷

- Teilweise Umlagerung und anschließendes Feinplanum des abgelagerten Deponiegutes
- Einbau und Verdichten einer Gasdränschicht aus Hausmüllverbrennungsasche (HMV-Asche 10/32) mit einer Mächtigkeit von 15 bis 35 cm. Diese Schicht dient neben der Sammlung von Deponiegasen auch der genauen Profilierung und dem Erreichen einer ausreichenden Tragfähigkeit
- Einbau und Verdichten einer Auflagerschicht (HMV-Asche 0/10) mit einer Mächtigkeit von etwa 15 cm. Diese Schicht erfüllt neben der Funktion als Auflager auch eine Schutzfunktion für die darauf zu verlegende geosynthetische Tondichtungsbahn (GTD)

¹⁴⁶ vgl. [HNR11], S. 39

¹⁴⁷ ebd., S. 39

- Liefern und Einbau des Abdichtungssystems, das aus einer zweilagigen GTD oder alternativ aus zwei einlagigen GTD und einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB) aus High Density Polyethylen (PE-HD) besteht
- Liefern und Einbau einer Dränmatte zur Entwässerung sowie eines Geogitters zur Sicherstellung der Standsicherheit des Oberflächenabdichtungssystems
- Einbau einer Rekultivierungsschicht mit anschließender Raseneinsaat als abschließende Schicht des Deponiekörpers

Außerdem gehören das Erstellen von Rohrleitungssystemen zur Gas- bzw. Wasserdrainage, Randmulden und Sohlshalen sowie die Fertigstellung von Betriebswegen zum Leistungsumfang.¹⁴⁸

Der Bereich der Basisabdichtung weist eine etwa rechteckige Grundform auf und hat eine Fläche von ca. 35.000 m². Die wesentlichen Bestandteile für die Erstellung des Neuteils sind im Folgenden aufgeführt:¹⁴⁹

- Bau eines Randdammes, der die neue Ablagerungsstätte umschließt
- Verlegung von Rohrleitungen und Schächten zur Entwässerung im Bereich des Randdammes
- Erstellung eines Betriebs- bzw. Wartungsweges auf dem Randdamm
- Feinplanum des Geländes für den Einbau einer geotechnischen Barriere
- Erstellung des Basisabdichtungssystems aus geotechnischer Barriere und KDB
- Verlegen eines Schutzvlieses auf dem Abdichtungssystem und Aufbringen einer Flächendrainage

¹⁴⁸ [HNR11], S. 39

¹⁴⁹ ebd., S. 39 f.

- Verlegen einer Sickerwasserdrainageleitung im Tiefpunkt der Fläche zur Ableitung anfallenden Sickerwassers

4.4.3 Eingesetzte Baumaschinen

Insgesamt kommen bei der Baumaßnahme sechs Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerken unterschiedlicher Baugröße, vier Planierraupen, fünf LKW und zwei Erdbauwalzen zum Einsatz. Die folgende Abbildung fasst die Baumaschinen übersichtlich zusammen:¹⁵⁰

Bezeichnung	Einsatzgewicht [t]	Leistung [kW]	Ladevolumen [t]	Ausstattung
Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk				
Hitachi ZX350LCN	ca. 35,0	202		Tieflöffel, Grabenräumlöffel
Terex T225LC	ca. 23,7	116		Grabenräumlöffel, Seilwinde
JCB JS200	ca. 21,0	121		Grabenräumlöffel
Kobellko Sk200	ca. 19,4	107		Grabenräumlöffel
New Holland E245B	ca. 24,7	118		Sieblöffel
Cat 320CL	ca. 21,0	110		Tieflöffel
Planierraupen				
Cat D9R	ca. 49,0	306		SU-Schild, Heckaufreißer
Cat D6R LGP	ca. 21,7	149		S-Schild, GPS-Steuerung
Cat D6M LGP	ca. 16,9	104		S-Schild, GPS-Steuerung, Heckaufreißer
Cat D5G	ca. 9,7	68		S-Schild, GPS-Steuerung, Heckaufreißer
Lastkraftwagen				
MAN FE 410 A		302	ca. 18,0	
Mercedes 2638		280	ca. 18,0	
Mercedes 2635		257	ca. 18,0	
MAN 48 372		274	ca. 18,0	
Verdichtungsgeräte				
Bomag BW213PDHC	ca. 15,0	119		Schafffußbandage
Bomag BW213PDH	ca. 15,0	119		Glattmantelbandage

Abb. 4.23: Übersicht der eingesetzten Baumaschinen im Projekt 1 Deponiebau¹⁵¹

4.4.4 Methodik der Verbrauchsmessung im Erdbau

Auswahl geeigneter Leistungen

Auf Grundlage der Angebotskalkulation werden für die Prozessanalyse die Schlüsselpositionen mit dem größten zu erwartenden Energiekostenanteil ausgewählt. Eine Vorauswahl

¹⁵⁰ vgl. [HNR11], S. 40

¹⁵¹ vgl. ebd., S. 42 ff.

der in Frage kommenden LV-Titel zeigt folgende Verteilung der in der Angebotskalkulation hinterlegten Dieselskosten:¹⁵²

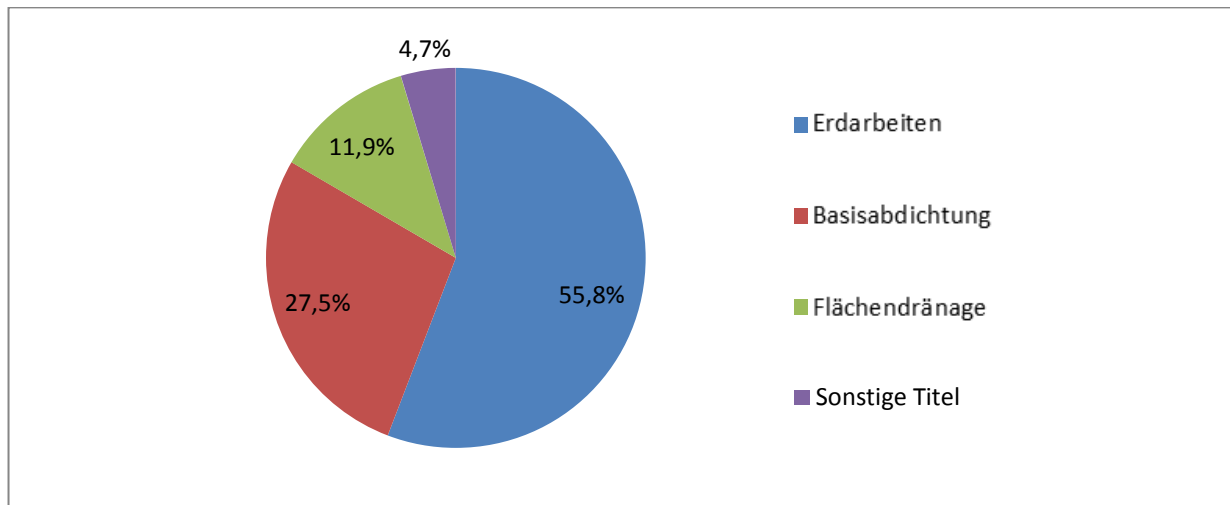


Abb. 4.24: Verteilung der kalkulierten Gesamtkosten für Diesel nach Bauleistungen¹⁵³

Den größten Anteil an den Dieselskosten haben die Erdarbeiten mit 55,8 %. Der absolute Verbrauch des Titels ist mit 47.350,11 l in der Angebotskalkulation hinterlegt. Weiterhin entfallen anteilig 27,5 % (23.361,44 l) der Gesamtkosten für Diesel auf Leistungen für die Herstellung der Basisabdichtung sowie weitere 11,9 % (10.119,50 l) auf die Herstellung der Flächendrainage. 4,7 % sind für sonstige Leistungen kalkuliert.¹⁵⁴

Hieraus resultieren für den Untersuchungszeitraum folgende Leistungen, die für die Erfassung in Form von Prozessanalysen geeignet sind:

Ausgewählte Leistungen	
Leistungen OFA (Oberflächenabdichtung)	Leistungen Basis (Basisabdichtung)
Gasdrän- bzw. Auflagerschicht	Boden abtragen und wieder einbauen
Verlegen der Geosynthetische Tondichtungsbahn (GTD) bzw. Kunststoffdichtungsbahn (KDB)	Aushub Kanalgraben und Sandbettung
Drainelement/Geogitter	Mineralische Dichtung
Unter- bzw. Oberboden einbauen	Flächendrainage

Abb. 4.25: Auswahl der geeigneten Bauleistungen für die Prozessanalysen¹⁵⁵

¹⁵² vgl. [Broi11], S. 48 ff.

¹⁵³ vgl. ebd., S. 54

¹⁵⁴ vgl. ebd.

¹⁵⁵ vgl. ebd., S. 55

Erfassung der Verbräuche

Die Erfassung des Dieserverbrauchs der eingesetzten Baumaschinen erfolgt über einen Zeitraum von sechs Wochen. Die Baustelle wird in regelmäßigen Abständen von Tankwagen mit Diesel versorgt. Die Zuordnung der Betankungen zu den einzelnen Geräten wird mit Hilfe einer Dokumentation der Tankmengen einzelner Geräte durchgeführt. Die Zuordnung und Abgrenzung des Verbrauchs zu einzelnen Leistungspositionen kann nur erfolgen, wenn die Baumaschinen über einen Zeitraum von mindestens einem Tankintervall eine klar abgrenzbare Bauleistung erbringen.¹⁵⁶

4.4.5 Ergebnisse der Prozessanalysen Projekt 1

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Prozessanalysen zusammenfassend dargestellt.

Kraftstoffverbrauch der Hydraulikbagger und LKW

Die in der Angebotskalkulation gewählten Ansätze für die Verbräuche der Bagger, Planier-
raupen und Walzen liegen in der Regel zwischen 0,11 - 0,12 l/kWh. In einigen Positionen
sind geringere Werte berücksichtigt worden: Für die Hilfestellung des Baggers beim Verle-
gen der Geokunststoffe wurden 0,08 l/kWh angesetzt und der geschätzte Verbrauch der
Planier-
raupe im Bereich der Basisabdichtung lag bei 0,09 l/kWh. Für die LKW wurde ein
Verbrauch von 0,14 l/kWh kalkuliert. Die im Zuge der Prozessanalysen ermittelten Ver-
bräuche der Hydraulikbagger und LKW werden in der folgenden Tabelle übersichtlich zu-
sammengefasst:

¹⁵⁶ vgl. [HNR11], S. 40

Gerät	V_n [l/h]	V_{kwh} [l/kWh]	Tätigkeit
Hydraulikbagger			
Hitachi ZX350LCN	24,8	0,123	Verschiedene Arbeiten
Terex 225LC	9,4	0,081	Hilfestellung OFA
	17,1	0,147	Ausschachtungen/Ladebetrieb
JCB JS200	11,8	0,098	Arbeiten mit geringer Auslastung
	14,5	0,120	Ladebetrieb
	15,3	0,126	Freilegen Trapezgraben
Kobellko SK200	10,8	0,101	Erstellen der Flächendrainage
New Holland E245B	11,8	0,094	Ladebetrieb
CAT 320CL	16	0,145	Ladebetrieb
LKW			
Mercedes Benz 2638	5,8	0,021	Baustellentransporte
Mercedes Benz 2635	4,6	0,018	Baustellentransporte
MAN FE410A	5,7	0,019	Baustellentransporte

Abb. 4.26: Verbrauchskennwerte der eingesetzten Hydraulikbagger und LKW¹⁵⁷

Die Prozessanalysen zeigen, dass die Verbrauchswerte der Hydraulikbagger tatsächlich zwischen 0,081 l/kWh und 0,147 l/kWh liegen. In der Angebotskalkulation variieren die Annahmen zwischen 0,11 und 0,12 l/kWh. Der Verbrauch der LKW ist tatsächlich mit 0,019 - 0,021 l/kWh geringer als in der Kalkulation mit 0,14 l/kWh angenommen. Insbesondere für LKW ließen sich durch tatsächlich ermittelte Werte eine höhere Kalkulations-sicherheit und ein Wettbewerbsvorteil erzielen.¹⁵⁸

Kraftstoffverbrauch der Planierraupen und Erdbauwalzen

In der folgenden Tabelle sind die tatsächlichen Verbrauchskennwerte der eingesetzten Planierraupen und Erdbauwalzen zusammengefasst:

Gerät	V_n [l/h]	V_{kwh} [l/kWh]	Tätigkeit
Planierraupen			
CAT D9R	40,5	0,132	Lösen und Transportieren von Boden
CAT D6R LGP	17,0	0,114	Einbau der Tondichtung
	28,4	0,191	Transportieren und Einbauen von Boden
CAT D6M LGP	12,6	0,121	Einbau von Ton im Böschungsbereich
CAT D5G	5,0	0,074	Einbau von Asche bzw. Rekuboden Fahrer 1
	8,3	0,122	Einbau von Asche bzw. Rekuboden Fahrer 2
CAT D9R	40,5	0,132	Lösen und Transportieren von Boden
Erdbauwalzen			
Bomag 213PDH	13,1	0,110	Verdichten von Fels
	7,6	0,064	Verdichten von Ton
Bomag 213PDHC	12,8	0,108	Verdichten von Fels
	9,9	0,083	Verdichten von Ton

Abb. 4.27: Verbrauchskennwerte der eingesetzten Planierraupen und Erdbauwalzen¹⁵⁹

¹⁵⁷ vgl. [HNR11], S. 42

¹⁵⁸ vgl. ebd., S. 41

¹⁵⁹ vgl. ebd., S. 43

Bei den Planierarbeiten treten infolge der unterschiedlichen Baugrößen sowie der unterschiedlichen Auslastung starke Unterschiede bei den Verbrauchskennwerten auf. Auch die Fähigkeiten des Bedienpersonals haben einen Einfluss auf den Verbrauch. Dies zeigt sich besonders bei der CAT D5G. Die Messungen weisen bei unterschiedlichen Fahrern stark unterschiedliche Verbräuche auf. Fahrer 1 verbraucht 0,074 l/kWh und Fahrer 2 für dieselbe Leistung 0,122 l/kWh. Der Mehrverbrauch von Fahrer 2 liegt bei etwa 65 %.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die in der Kalkulation angesetzten Verbrauchskennwerte von den tatsächlichen Werten abweichen. Der wirtschaftliche Erfolg der Baumaßnahme wird begünstigt, da die Kraftstoffverbrauchskennwerte der OFA in der Kalkulation höher und damit auf der sicheren Seite liegend abgeschätzt wurden. Die tatsächlichen Verbräuche liegen unterhalb der Kalkulationsansätze. Für die Nachvollziehbarkeit wird in der folgenden Abbildung die Abweichung in Form eines Soll-Ist-Vergleiches dargestellt.¹⁶⁰

Position		Verbrauch V_h		V/ME		Abweichung
Nr.	Bezeichnung	Soll [l/h]	Ist [l/h]	Soll	Ist	
01.02.0060	Gasdränschicht	75,64	43,40	1,26 l/m ³	0,47 l/m ³	-42,62%
01.02.0080	Auflagerschicht					
01.03.0040	Geosynthetische Tondichtbahn	12,00	9,40	0,05 l/m ²	0,045 l/m ²	-21,67%
01.03.0100	Kunststoffdichtungsbahn					
01.04.0010	Kunststoff-Dränelement					
01.04.0090	Geogitter	71,36	30,30	1,19 l/m ³	0,27 l/m ³	-57,54%
01.06.0010	Unterboden einbauen					
01.06.0040	Oberboden einbauen					

Abb. 4.28: Kalkulierte (Soll) und der reale (Ist) Verbrauchskennwerte der OFA¹⁶¹

Der Kraftstoffverbrauch für die Herstellung der Basisabdichtung wurde hingegen wesentlich unterschätzt. Besonders hervorzuheben sind die Positionen Nr. 1.2.0080a (Bodenabtrag und Direkteinbau) und Nr. 1.2.0200 (Sandbettung).¹⁶² Insbesondere die Unterschätzung der Schlüsselposition 1.2.0080 um etwa 240 % wird den wirtschaftlichen Erfolg der Baumaßnahme negativ beeinflussen.

¹⁶⁰ vgl. [HNR11], S. 44

¹⁶¹ vgl. ebd.

¹⁶² vgl. ebd., S. 45

Position		V_h		V/ME		Abweichung
Nr.	Bezeichnung	Soll [l/h]	Ist [l/h]	Soll	Ist	
1.2.0080 a	Bodenabtrag u. Direkteinbau	44,07	106,47	0,35 l/m ³	0,95 l/m ³	241,59%
1.2.0080 b	Bodenabtrag u. Einbau mit Zwischentransport	106,47	104,60	0,85 l/m ³	0,66 l/m ³	-1,76%
1.2.0090	Zulage für Bkl. 6	19,20	40,50	0,18 l/m ³	0,04 l/m ³	210,94%
1.2.0150	Aushub Entwässerungskanäle	19,20	25,10	0,77 l/m ³	0,51 l/m ³	130,73%
1.2.0200	Sandbettung	19,20	25,10	1,28 l/m ³	2,00 l/m ³	130,73%
2.3.0040	Mineralische Dichtung	44,07	38,10	0,44 l/m ²	0,54 l/m ²	-13,55%
2.4.0100	Flächendränge	34,80	10,80	0,70 l/m ³	0,50 l/m ³	-68,97%

Abb. 4.29: Kalkulierte (Soll) und reale (Ist) Verbrauchskennwerte der Basisabdichtung¹⁶³

4.4.6 Energieverbrauchsanalyse Projekt 2

Als weiteres Projekt für die Erfassung des Energieverbrauchs im Erdbau dient der Neubau der Justizvollzugsanstalt (JVA) im Wuppertaler Stadtteil Ronsdorf. Insgesamt umfasst der Neubau 510 Plätze für den Strafvollzug.



Abb. 4.30: Ansichten der Baustelle „Neubau JVA Wuppertal“¹⁶⁴

Neben Bildungs- und Freizeiteinrichtungen sind drei Werkhallen, eine Sporthalle, eine KFZ-Halle, ein Verwaltungsgebäude inklusive Technik, ein Aufnahme-/Besuchsgebäude sowie eine Küche vorgesehen. Darüber hinaus wird ein Haus der Begegnung sowie ein Kulturzentrum erstellt. Das gesamte Gelände wird von einer Umwehrungsmauer eingeschlossen. Auf den unbebauten Flächen werden Freianlagen und ein Sportplatz umgesetzt. Innerhalb

¹⁶³ vgl. [HNR11], S. 45

¹⁶⁴ Fotos: Bezirksregierung Düsseldorf, [BZR15]

der JVA sind zahlreiche Sicherheits- und Ordnungszäune vorgesehen, die Teilbereiche voneinander abtrennen.¹⁶⁵

4.4.7 Kraftstoffverbrauchsanalyse

Analog zur Erfassungssystematik bei Projekt 1 werden die bei Prozessbeobachtungen erfassten Verbräuche konkreten Bauleistungen zugeordnet und somit Richt- bzw. Referenzwerte ermittelt. Diese können als Ansatz für die Kalkulation dienen und als Vergleichswerte für die Beurteilung der Leistung von Maschinenführern verwendet werden. Die Bauleistungen werden nach Prozessen gegliedert. Der Verbrauch jeder Baumaschine wird separat erfasst und die erbrachte Bauleistung bezogen auf den Dieserverbrauch ausgewiesen. Anders als bei Projekt 1 erfolgt bei der folgenden Untersuchung keine Soll-Ist-Analyse der Verbrauchskennwerte, da das ausführende Bauunternehmen die entsprechenden Kennwerte nicht in der Angebotskalkulation ausweist. Hier dienen die Prozessanalysen dazu, dem Bauunternehmen erste Richtwerte und Optimierungspotenziale zur Verfügung zu stellen. Die detaillierten Prozessanalysen befinden sich in Anhang 2.

4.4.8 Durchschnittsverbräuche Projekt 2

Die anhand von Projekt 2 ermittelten durchschnittlichen Kraftstoffverbräuche werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst. Die erfassten mittleren Kraftstoffverbräuche variieren abhängig von der durchgeführten Bauleistung von 0,02 l/m³ (Verdichten mittels Walzenzug) bis zu 0,39 l/m³ (Aushub mit Gleitschienenverbau und Bagger) und der eingesetzten Baumaschine zwischen 0,17 - 0,28 l/m³ (Bagger der Baugröße 345).

¹⁶⁵ vgl. [Zue15]

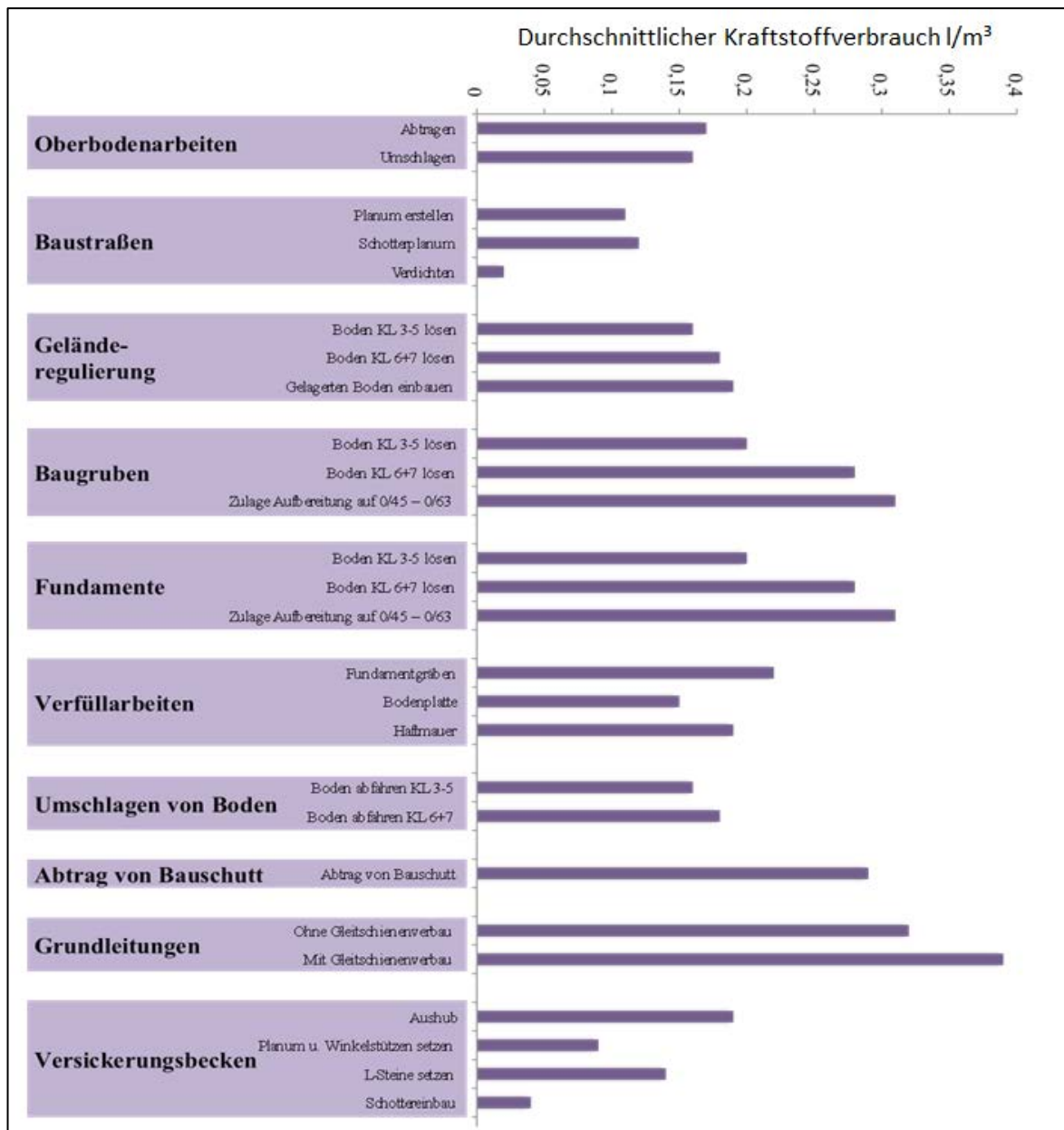


Abb. 4.31: Überblick der Durchschnittsverbräuche Projekt 2¹⁶⁶

4.4.9 Energieverbrauchsanalyse Projekt 3a und 3b

Abschließend werden Erdbauleistungen zweier Kanalbauprojekte bezüglich ihres Energieverbrauches untersucht. Dabei handelt es sich um die Erneuerung eines Mischwasserkanals in Velbert sowie um die Sanierung eines Regenwasserkanals in Wuppertal. Während

¹⁶⁶ vgl. [HNR11], S. 57

der Prozessanalysen werden die Einsatzzeiten, die Kraftstoffverbräuche und Leerlaufzeiten dokumentiert.¹⁶⁷

4.4.10 Kanalbaumaßnahme Projekt 3a

Im Rahmen der Kanalbaumaßnahme in Velbert wird ein Mischwasserkanal zwischen den Schächten 5001 und 7008 auf einer Länge von 88 m erneuert. Hierbei wird der alte Kanal (DN 700 B) durch einen neuen größeren (DN 800 GGG) ersetzt.¹⁶⁸

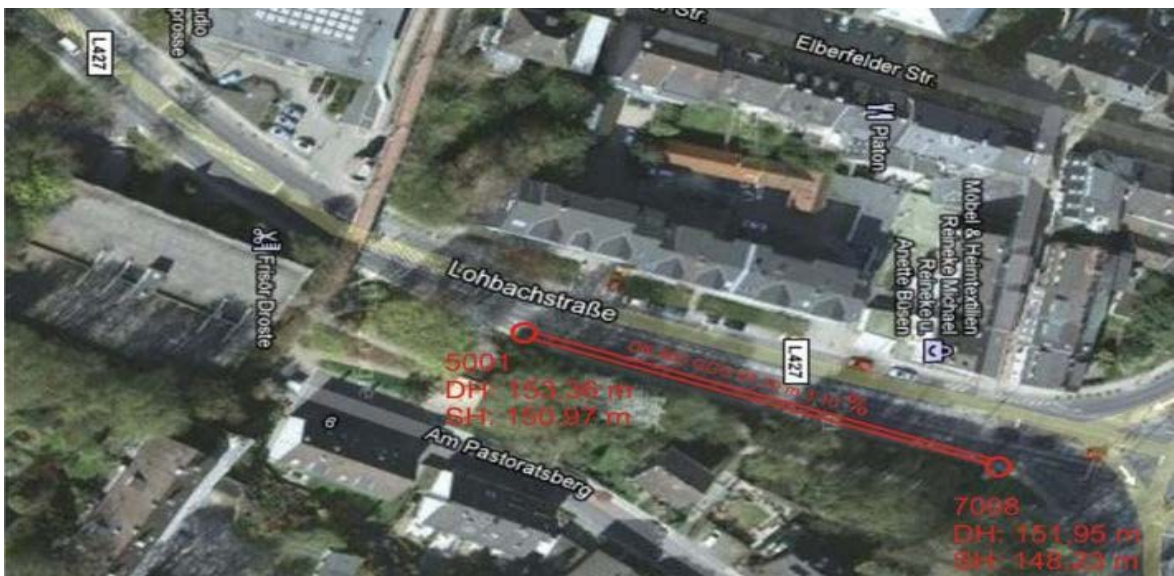


Abb. 4.32: Kanalbaumaßnahme Eiberfelder Straße in Velbert¹⁶⁹

Für die Erneuerung des Mischwasserkanals wurden ein Schachtmeister und zwei Baufacharbeiter als Personal eingeplant. Darüber hinaus kommen ein Bagger (HITACHI ZX190W) sowie ein Radlader (Kramer 480) zum Einsatz. Für den Abtransport des Aushubmaterials und die Anlieferung von Schüttgütern wurde ein Fremdunternehmen beauftragt, das einen LKW mit Fahrer zur Verfügung stellt.¹⁷⁰

¹⁶⁷ vgl. [Azi11], S. 39

¹⁶⁸ ebd., S. 40

¹⁶⁹ ebd.

¹⁷⁰ ebd., S. 41

4.4.11 Prozessanalyse Aushub Projekt 3a

Der Graben wird von einem Hydraulikbagger (HITACHI ZX190W) ausgeschachtet. Das gewonnene Aushubmaterial wird mit einem 90°-Schwenk in den LKW (4-Achser) verladen und auf dem Zwischenlager deponiert.



Abb. 4.33: Bagger beim Ausschachten¹⁷¹

Der Aushubprozess wird dabei immer wieder unterbrochen, damit eine kreuzende Gasleitung per Handaushub freigelegt werden kann. Während der Unterbrechungen wird der Bagger nicht ausgeschaltet. Hieraus ergeben sich, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, Verbräuche zwischen 0,22 und 0,35 l/m³.¹⁷²

¹⁷¹ [Azi11], S. 40

¹⁷² vgl. ebd., S. 41

Gerät	Kraftstoffverbrauch [l/m ³]		
	Tag 1	Tag 2	Tag 3
HITACHI ZX190W	0,35	0,30	0,22

Abb. 4.34: Ergebnis Ausschachten im Kanalbau (Projekt 3a)¹⁷³

4.4.12 Kanalbaumaßnahme Projekt 3b

Im Rahmen einer Kanalbaumaßnahme werden auf einer Länge von etwa 95 m ein Regenwasserkanal erneuert, ein Fertigteilschacht eingebaut sowie zehn Regenwasseranschlüsse umgebunden. Das Baufeld befindet sich auf einer Rechtsabbiegespur der stark befahrenen B7 in Wuppertal-Elberfeld.¹⁷⁴



Abb. 4.35: Lageplan der Kanalbaumaßnahme in Wuppertal¹⁷⁵

Für die Ausführung der Leistung sind ein Schachtmeister und zwei Baufacharbeiter als Personal eingeplant. Darüber hinaus kommen ein Bagger (HITACHI ZX190W) sowie ein Radlader (Kramer 480) zum Einsatz. Für den Abtransport des Aushubmaterials und die Anlieferung von Schüttgütern ist ein Fremdunternehmen beauftragt worden, das zwei LKW mit Fahrern zur Verfügung stellt.¹⁷⁶

¹⁷³ vgl. [Azi11], S. 46

¹⁷⁴ vgl. ebd., S. 50

¹⁷⁵ Ebd., S. 51

¹⁷⁶ vgl. ebd., S. 52

4.4.13 Prozessanalyse Aushub Projekt 3b

Für die Erneuerung eines Regenkanals wird ein Graben über eine Länge von 95 m, bei einer Breite von 1,40 m und mit Tiefen von 3 bis 5 m, ausgehoben. Zuvor muss allerdings die Fahrbahndecke inklusive Stahlbetonunterbau zwischen den beiden geschnittenen Grabenrändern mittels Stemmhammer aufgebrochen werden. Das Aufbruchmaterial wird später mit dem Baggerlöffel ausgehoben, auf den LKW verladen und entsorgt. Diese Leistung ist im Leistungsverzeichnis als Zulageposition zur Aushubposition erfasst. Der Bodenaushub des Grabens wird mit einem 180°-Schwenk in den LKW (4-Achser) geladen. Infolge der sehr engen Platzverhältnisse muss der Baggerfahrer bei jedem Schwenk auf den fließenden Verkehr achten, was die Spielzeit pro Verladevorgang beeinflusst und die Leistung erheblich beeinträchtigt.¹⁷⁷

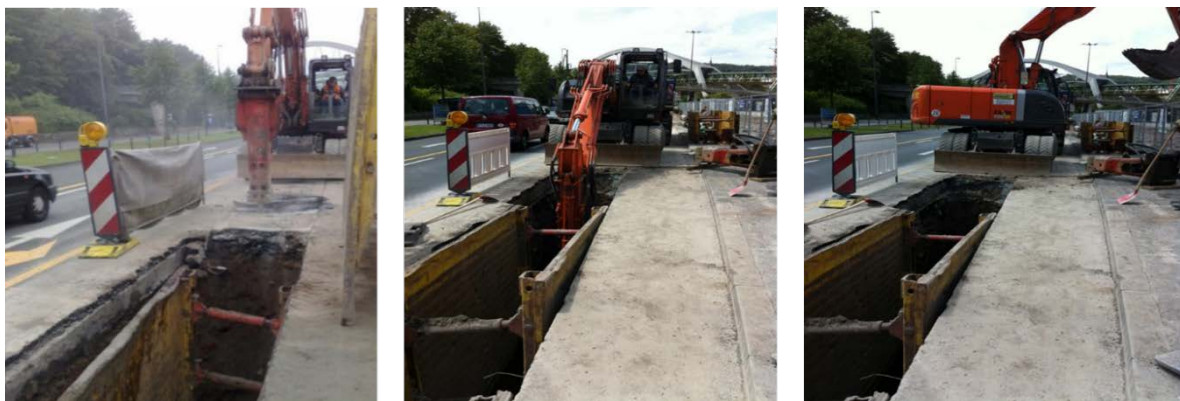


Abb. 4.36: Erneuerung eines Regenkanals¹⁷⁸

4.4.14 Zusammenfassung – Erdbau

Im Rahmen der Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Erfassung und Dokumentation von bauleistungsspezifischen Kraftstoffverbräuchen im Zuge eines EnMS mit geringem Aufwand umzusetzen ist. Die ermittelten Kraftstoffverbräuche sind allerdings aufgrund der individuellen Randbedingungen der Baumaßnahmen nicht auf andere Bauunternehmen bzw. Bauprojekte übertragbar. Neben technischen und organisatorischen

¹⁷⁷ vgl. [Azi11], S. 52

¹⁷⁸ vgl. ebd., S. 52 ff.

Maßnahmen hat insbesondere das Verhalten des Personals einen starken Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Die Auswertung der Energiekosten der letzten fünf Jahre in einem der untersuchten Bauunternehmen zeigt Erstaunliches: Der Anteil der Treibstoffkosten an den Herstellkosten fällt im Jahr 2009 deutlich geringer aus, als in den Jahren zuvor.

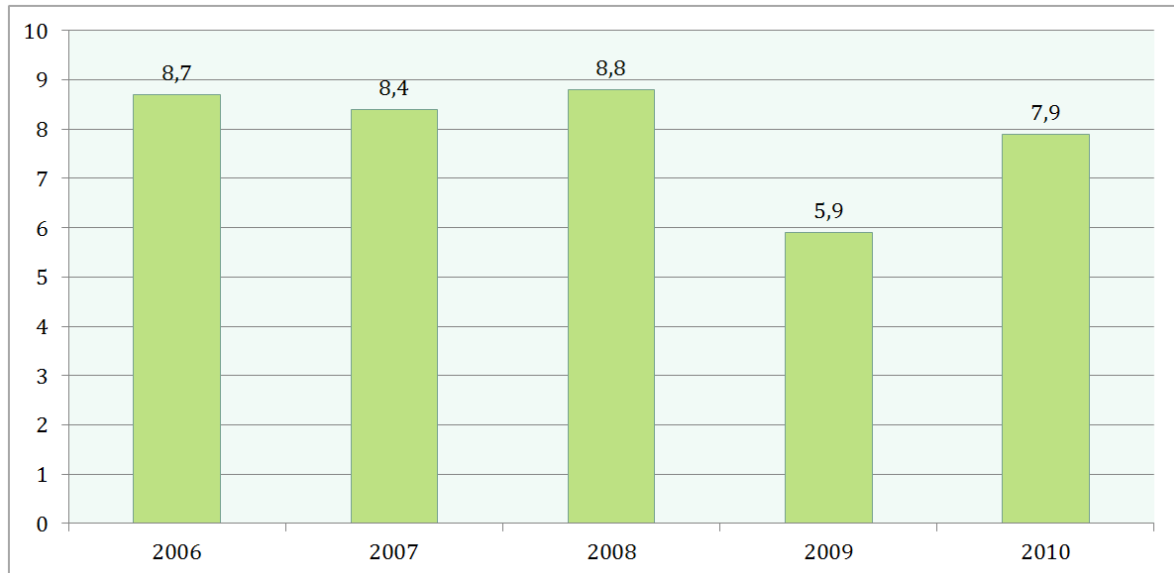


Abb. 4.37: Anteil der Treibstoffkosten an den Herstellkosten [%]¹⁷⁹

Die Erklärung für den Rückgang liegt in der schlechten Auftragslage des Unternehmens in dem betreffenden Jahr. In diesem Zusammenhang musste Kurzarbeit angemeldet werden, so dass sich bei den Mitarbeitern ein sensibler Umgang mit den Ressourcen einstellte und so auch der Energieverbrauch auf der Baustelle zurückging. Dies belegt eindrucksvoll den Einfluss des Personals auf den Energieverbrauch.¹⁸⁰

Parallel zur Erfassung der Kraftstoffverbräuche konnten während der Prozessanalysen Optimierungspotenziale identifiziert werden. Ein kurzer Auszug aus der Dokumentation der durchgeführten Prozessanalysen verdeutlicht sehr anschaulich die vielfältigen Optimierungspotenziale in den Bereichen Technik, Organisation und Personal:¹⁸¹

¹⁷⁹ vgl. [Azi11], S. 35

¹⁸⁰ vgl. ebd., S. 71

¹⁸¹ [Rie10], S. 33

„Der Bagger CAT 320 hat im Einsatz für die Erstellung einer Baustraße immer wieder Stillstandzeiten von 5-15 Minuten, währenddessen der Motor läuft.“

„Bei der Erstellung des Planums am Hang wurden durch den CAT 323 immer wieder Pausen von 15 Minuten mit laufendem Motor eingelegt.“

„Während des Setzens der Fertigteilwände für das Hafthaus 1 war der Mobilkran angeschaltet, aber unbesetzt.“

„Ohne Arbeit über einen längeren Zeitraum (ca. 15 Minuten) zu verrichten, sind der Radlader CAT 409 und der Bagger PC 290 in Betrieb.“

„Da die Baugrube für die Haftmauer an der Baustelleneinfahrt hergestellt wird, gibt es nur noch einen Weg in und aus der Baustelle heraus, wodurch ein Stau entsteht und Arbeitsvorgänge nur langsam mit Material versorgt werden.“

„Zwei von vier aktiven Turmdrehkränen haben bis 11 Uhr ihre Strahler an, obwohl Tageslicht schon ab ca. 7.30 Uhr voll zur Verfügung stand. Einer der Kräne hatte sogar um 13:30 Uhr noch das Licht an.“

„EW 140, CAT 320, Radlader Volvo L40, CAT 345 haben immer wieder längere Stillstandzeiten, in denen sie aber den Motor laufen lassen.“

Aus den Prozessbeobachtungen lassen sich unterschiedliche Optimierungspotenziale filtern. Ein wichtiger Aspekt ist die Sensibilisierung der Mitarbeiter. Außerdem kann mit Hilfe einer systematischen Energieverbrauchserfassung eine genauere und somit risikoreduzierte Angebotskalkulation erstellt werden, was maßgeblichen Einfluss auf den Erfolg einer Baumaßnahme hat. Generell gilt es, den Maschineneinsatz effizienter zu organisieren, also den Ablauf auf der Baustelle auch kurzfristig anzupassen. Die Entwicklung im Bereich Baumaschinen geht immer weiter in Richtung Energieeffizienz, so dass durch den Einsatz moderner Baumaschinen ebenfalls Potenziale ausgeschöpft werden können. Prinzipiell können die Potenziale den Bereichen Technik, Organisation und Personal zugeordnet werden. Dementsprechend sind die folgenden Abschnitte strukturiert.

4.4.15 Optimierungspotenziale hinsichtlich der Technik

Auswahl der richtigen Gerätegröße und -gruppe

Während der Prozessanalyse konnte festgestellt werden, dass die Auswahl der Baugrößen der eingesetzten Baumaschinen einen großen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch hat. Hinsichtlich der Energieeffizienz ist unter den gegebenen Randbedingungen immer die kleinere Baugröße vorzuziehen. Dabei kommt es darauf an, die Baugröße auf den vorgesehenen Einsatz abzustimmen. Großgeräte der 35-t-Klasse sollten generell nur dann eingesetzt werden, wenn eine hohe Auslastung möglich ist oder die Leistung pro Stunde die maßgebliche Rolle spielt oder hohe Grabkräfte erforderlich sind.¹⁸²

Aus den ermittelten Verbrauchskennwerten der Geräte geht auch hervor, dass die Kraftstoffverbräuche unterschiedlicher Gerätehersteller stark variieren. So kann auch die richtige Auswahl bestimmter Geräte von verschiedenen Herstellern den Energieverbrauch in Bauunternehmen maßgeblich reduzieren. Da bezüglich des Verbrauchs nach wie vor keine Markttransparenz herrscht, muss der Bauunternehmer entweder durch eigene Tests oder die Dokumentation des Verbrauchs verbrauchsarme Maschinen identifizieren. Der Gesetzgeber ist hier in der Pflicht, die Angabe von Verbrauchskennwerten durch die Hersteller zu erwirken. Dazu ist eine einheitliche und genormte Verbrauchsermittlung erforderlich. Hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.¹⁸³

Einsatz neuer Technologien

Durch den Einsatz moderner Technik kann die Energieeffizienz von Baumaschinen erhöht werden. Hierzu zählt bspw. der Einsatz von Hybridmotoren. Außerdem sollten Baumaschinen mit Bordcomputern ausgerüstet werden, die das Auslesen von Verbräuchen ermöglichen und so die Identifizierung sparsamer Geräte sowie die Ermittlung von Kennwerten unterstützen. Zudem sollte darauf geachtet werden, dass die Maschinen über verschiede-

¹⁸² vgl. [HNR11], S. 88

¹⁸³ vgl. ebd.

ne Betriebsmodi verfügen, die die Leistung des Gerätes an die schwankende Auslastung anpassen und den Energieverbrauch reduzieren.¹⁸⁴

4.4.16 Optimierungspotenziale hinsichtlich der Organisation

Optimierung des Auslastungsgrades von Arbeitskettten

Während einiger Prozessbeobachtungen fiel auf, dass der Auslastungsgrad der Hydraulikbagger niedrig war. Durch einen optimierten Auslastungsgrad lässt sich der Kraftstoffverbrauch reduzieren. Exemplarisch kann dies anhand des Vergleichs zweier Prozessanalysen „Beladen von LKW mit Rekultivierungsboden“ nachvollzogen werden: Bei den Prozessanalysen kam ein Hydraulikbagger New Holland E245B zum Einsatz, der bei der Analyse 1 von zwei LKW und bei der Analyse 2 mit drei LKW angedient wurde. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse für die Arbeitskette bestehend aus Hydraulikbagger und zwei bzw. drei LKW ist in folgender Tabelle dargestellt.¹⁸⁵

Nr.	Gerät	Auslastungsgrad η_{Bagger}	L [m ³ /h]	V _h [l/h]	V/ME [l/m ³]
1	New Holland E245B	0,39	116,6	11,8 + 2* 5,4	0,19
	2 LKW				
2	New Holland E245B	0,56	172,4	13,2 + 3*5,4	0,17
	3 LKW				

Abb. 4.38: Erhöhung des Auslastungsgrades¹⁸⁶

Demnach kann mit dem Einsatz eines weiteren LKW und den daraus resultierenden geringeren Wartezeiten der Kraftstoffverbrauch der Arbeitskette von 0,19 l/m³ auf 0,17 l/m³ reduziert werden. Allerdings ist zu beachten, dass der Auslastungsgrad nicht beliebig durch die Erhöhung der Anzahl von LKW gesteigert werden kann. Er wird zum einen durch die maximale Ladeleistung des Baggers begrenzt und zum anderen wird der Einsatz zu vieler LKW zu Störungen des Bauablaufs führen.¹⁸⁷

¹⁸⁴ vgl. [HNR11], S. 58

¹⁸⁵ vgl. ebd., S. 59

¹⁸⁶ vgl. ebd.

¹⁸⁷ vgl. ebd., S. 60

Optimierung der Betankungsintervalle (Stillstandzeiten)

Bei den analysierten Baumaßnahmen erfolgte die Betankung der Baumaschinen immer während des Arbeitseinsatzes, wobei es zu Unterbrechungen der Arbeitsabläufe und somit zu weiteren Stillstandzeiten bei laufendem Motor kam:

„Jeden zweiten Tag werden die beiden Erdbauwalzen CAT D9R und CAT D6R LGP betankt. Die reine Tankdauer beträgt für die D6R zwischen 20 und 25 Minuten, bei der D9R sind es 35 bis 45 Minuten. Während der Betankungen laufen die Maschinen. Das Tanken führt immer zu einer Unterbrechung der Arbeit, die insgesamt bis zu einer Stunde beträgt.“¹⁸⁸

Idealerweise sollte das Betanken außerhalb der eigentlichen Arbeitszeiten erfolgen. Auch konnte anhand der Dokumentation festgestellt werden, dass die Geräte oft zu früh betankt werden: Teilweise waren erst ein Viertel des Kraftstoffs verbraucht worden.¹⁸⁹

Dokumentation des Kraftstoffverbrauchs

Mittels einer Kraftstoffverbrauchsdokumentation kann kurzfristig die Erhöhung der Energieeffizienz bzw. Energieeinsparungen erreicht werden. Durch die Dokumentation werden Mitarbeiter unmittelbar für den sparsamen Umgang mit Kraftstoff sensibilisiert, da diesem Aspekt so mehr Aufmerksamkeit zukommt.

Gleichzeitig können die ermittelten Verbrauchswerte für die Angebotskalkulation genutzt werden, da in der Praxis bisher mit ungenauen Werten oder ganz ohne Ansätze kalkuliert wird. Somit kann die Kalkulationssicherheit erhöht werden.¹⁹⁰

Die dokumentierten Verbrauchskennwerte können darüber hinaus für Investitionsentscheidungen bei Neuanschaffungen von Baumaschinen herangezogen werden. Da auch in Zukunft die Kraftstoffpreise weiter ansteigen werden, muss ihr Anteil an den Unterhaltungskosten in die betriebswirtschaftliche Betrachtung einfließen. Schließlich ist die Er-

¹⁸⁸ [Broi11], S. 98

¹⁸⁹ vgl. [HNR11], S. 60

¹⁹⁰ vgl. ebd., S. 60

mittlung des Verbrauchs ein erster Schritt, um eine CO₂-Bilanz für das Bauunternehmen und das spezifische Bauprojekt zu erstellen.¹⁹¹

Optimierung der Anzahl von Baustellentransporten

Die Anlieferung von Baumaterial erfolgt i.d.R. zu Zwischenlagern auf der Baustelle. Je nach Bedarf wird das Material dann an den Einbauort transportiert. Unter energetischen Aspekten ist die Anlieferung des notwendigen Materials zum Einbauort eindeutig vorzuziehen. So können ineffiziente Baustellentransporte reduziert werden. Allerdings kann aufgrund von Schwankungen in der Zulieferlogistik nicht gänzlich auf Materiallager verzichtet werden.¹⁹²

4.4.17 Optimierungspotenziale hinsichtlich des Personals

Sensibilisierung der Baumaschinenführer und des Baustellenpersonals

Die Maschinenführer müssen für den energiesparenden Umgang mit Baumaschinen geschult werden, da die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass aktuell kaum auf den Kraftstoffverbrauch geachtet wird. Auch kennen nicht alle Baumaschinenführer die Betriebsmodi und energiesparenden Funktionen ihrer Maschinen. Auch erscheint es sinnvoll, einen verantwortlichen „Energiebeauftragten“ auf der Baustelle zu benennen, der die Sensibilisierung der Mitarbeiter vorantreibt und Erkenntnisse bzgl. einer energieeffizienten Arbeitsgestaltung bündelt.¹⁹³

Verhalten bei Stillstandzeiten

Im Zuge der Prozessanalysen zeigte sich, dass die Maschinen sehr hohe Stillstandzeiten aufweisen. Die Geräte sind auch während langer Pausen in Betrieb. Es ist eher die Regel, dass viele Prozesse längere Stillstandzeiten der Maschinen verlangen, wie zum Beispiel das Umschlagen der Miete, bei dem es durch die Andienung der LKW zu Stillstandzeiten von

¹⁹¹ vgl. [HNR11], S. 60

¹⁹² vgl. [Broi11], S. 96

¹⁹³ vgl. [HNR11], S. 62

durchschnittlich fünf Minuten kam. Diese Stillstandzeiten können sich im Falle von schlecht geplanten Intervallen oder anderen evtl. unvorhersehbaren Einflüssen auf mehrere Stunden ausdehnen:¹⁹⁴

„Die Planierdrape D5G wird für den Einbau der Tondichtung eingesetzt. Da die Anlieferungen sehr unregelmäßig erfolgen, kommt es zu Standzeiten von bis zu 30 Minuten Dauer mit laufendem Motor.“

„Die Bomag BW 213 PDH steht, nachdem Verdichtungsarbeiten durchgeführt wurden, im Bereich der OFA 4,5 Stunden mit laufendem Motor, ohne eingesetzt zu werden.“

„Der Bagger CAT 320CL wird zum Laden von Mutterboden eingesetzt. Zwischen den Ladevorgängen sind Wartezeiten von 17,5 bis zu 21 Minuten vorhanden. Während dieser Zeit wird die Maschine nicht außer Betrieb genommen.“

Zwar sind mittlerweile Maschinen mit integrierten Start-Stopp-Funktionen auf Baustellen zu finden, diese werden allerdings nicht genutzt. Genauso verhält es sich mit dem sogenannten Öko-Modus. Dieser ist für kurze Stillstandzeiten ausgelegt und reduziert automatisch die Motorleistung bei Stillständen auf die Hälfte. Nach Meinung der Baumaschinenführer schränkt dieser Modus die Leistung der Maschine dermaßen ein, dass kein effizientes Arbeiten mehr möglich sei. Daher bleibt auch aufgrund von Unwissenheit des Bedienpersonals diese Funktion überwiegend ungenutzt.¹⁹⁵

4.4.18 Weitere Optimierungspotenziale

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen konnten weitere Optimierungsmöglichkeiten identifiziert werden, die im Folgenden dargestellt werden.

Preisgleitklausel für Dieselkraftstoff

In der Regel wird der Kraftstoffpreis zum Zeitpunkt der Angebotskalkulation festgelegt und Preisschwankungen während der Ausführung bleiben unberücksichtigt. Im Fall des unter-

¹⁹⁴ vgl. [Broi11], S. 98

¹⁹⁵ vgl. [HNR11], S. 63

suchten Projektes 1 wurde der Dieselpreis zum Zeitpunkt der Angebotskalkulation (Februar 2010) mit 0,95 €/l angesetzt. Während des Ausführungszeitraums wurde der Kraftstoff zu Preisen zwischen 1,19 €/l (Mai 2011) und 1,28 €/l (April 2011) angekauft, was zu 19 bis 33 % höheren Treibstoffkosten führte. Da das Risiko hier allein beim Auftragnehmer liegt, könnte dieses Ungleichgewicht mit Hilfe einer Preisgleitklausel für den Dieselpreis ausgeglichen werden, da entsprechende Preissteigerungen dramatische Auswirkungen auf den Erfolg von Bauunternehmen haben können.¹⁹⁶

Auswahl der Bausysteme/Baumaterialien

Auch haben die ausgewählten Bausysteme bzw. Baumaterialien Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Bei den Untersuchungen am Projekt 1 zeigte sich, dass die Abdichtungssysteme der Oberflächenabdichtung, welche mit Hilfe von geosynthetischen Tondichtungsbahnen und Kunststoffdichtungsbahnen realisiert werden, einen deutlich geringeren Kraftstoffbedarf von jeweils 0,045 l/m² aufweisen als Dichtungssysteme, die mit Hilfe einer mineralischen Dichtung erstellt werden (0,54 l/m²). Also kann auch mit der Auswahl der Bausysteme Einfluss auf den Energieverbrauch genommen werden.¹⁹⁷

Optimierungspotenziale für die Angebotskalkulation

Die Aufwandswerte für den Dieselpreisverbrauch (0,15 l/kWh und 0,24 l/kWh) werden in der Angebotskalkulation im Allgemeinen pauschal angesetzt.¹⁹⁸ Dabei werden organisatorisch bedingte Leerlaufzeiten oder äußere Rahmenbedingungen genauso wenig berücksichtigt wie die Fähigkeiten der Baumaschinenführer. Dies führt zu einer erheblichen Ungenauigkeit der Kalkulation.

Durch die Analyse der Kalkulationsgrundlagen von Projekt 1 und Prozessanalysen konnte festgestellt werden, dass häufig andere Gerätegrößen bzw. Gerätearten eingesetzt werden, als ursprünglich in der Kalkulation vorgesehen wurde. Auch wird in der Kalkulation

¹⁹⁶ vgl. [HNR11], S. 63

¹⁹⁷ ebd., S. 64

¹⁹⁸ vgl. [HK11], S. 1003

die Gerätegröße für verschiedene Leistungen kaum variiert. So wurde bspw. die Ausführung der Leistungen für die Oberflächenabdichtung ausschließlich mit einer Baugröße (Planierdrape, 175 kW) kalkuliert. Für den Einbau der Rekultivierungsschicht darf jedoch aus Gründen der Bauqualität nur eine Planierdrape mit einem Einsatzgewicht von bis zu 10 t (dies entspricht der Baugröße 68 kW) eingesetzt werden. Wäre dies in der Kalkulation bereits berücksichtigt worden, hätte eine kleinere Baugröße und damit geringere Gerätekosten angesetzt werden können, was die die Angebotssumme reduziert und somit die Wettbewerbsfähigkeit des Angebots gesteigert hätte.¹⁹⁹

4.5 Energieverbrauch beim Rohbau mit Fertigteilen

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Verbrauchsmessungen im Zuge der Rohbauerstellung bei Projekt 2 „Neubau der Justizvollzugsanstalt (JVA) in Wuppertal“ zusammengefasst. Im Detail werden Untersuchungen anhand der Errichtung der Werkhalle 1 durchgeführt. Diese verfügt über einen Grundriss von etwa 51 m zu 36 m, was einer Grundfläche von 1.836 m² entspricht. Die Gesamthöhe des Gebäudes liegt bei etwa 12 m. Die Werkhalle 1 wird in Stahlbetonskelettbauweise ausgeführt. Hierbei kommen in einem Abstand von 2,50 m Unterzüge als Halbfertigteile auf Stützenkonsolen zum Einsatz, die die Deckenlasten in die Wände abtragen. In den Außenwänden sind umlaufend Randbalken als Auflager für die Decken vorgesehen.

Die Systemgrenze der Untersuchung bildet wie zuvor der Bauzaun. Die vorgelagerten Prozesse der Fertigteilherstellung und des Transports zur Baustelle werden nicht betrachtet. Da diese über eine Entfernung von 450 km zur Baustelle transportiert werden, liegt der Anteil der Transportkosten an den Gesamtenergiekosten bei 87,5 % und würde bei einer Betrachtung im Zuge einer Ökobilanz stark zu Buche schlagen.²⁰⁰

Die Fertigung von Fertigteilen findet in stationären Fertigteilwerken oder in so genannten Feldfabriken statt, die unweit der Baustelle errichtet werden. Die Fertigungsprozesse sind

¹⁹⁹ vgl. [Broi11], S. 85

²⁰⁰ vgl. [Pfe10], S. 117

weitestgehend automatisiert und optimiert. Daher erlaubt die Produktion eine erhebliche Bauzeitverkürzung bei gleichbleibend hoher Qualität der Fertigteile.

4.5.1 Eingebaute Fertigteile

Für die Errichtung der Werkhalle werden folgende Bauteile notwendig: Bodenplatte, Hohlwände, Stützen, Unterzüge, Brüstungen, Decken und Treppen.

4.5.2 Eingesetzte Baumaschinen

Transportbetonmischer

Transportbetonmischer bestehen aus den Komponenten LKW und einem Mischeraufbau. Betone der Klassen F2, F3 und F4 sind in Transportbetonmischern zu transportieren und müssen spätestens 90 Minuten nach Wasserzugabe eingebaut werden. Durch Zugabe von Verzögerern kann diese Zeitspanne bis zum Einbau verlängert werden.²⁰¹

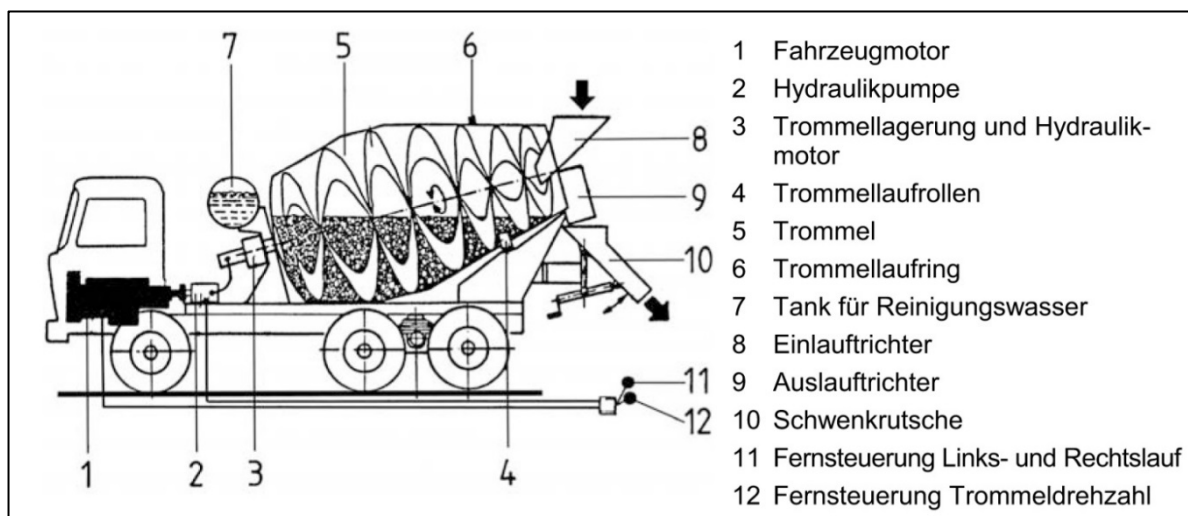


Abb. 4.39: Aufbau eines Transportbetonmischers²⁰²

Dabei bewirkt eine zweigängige Mischspirale eine gleichmäßige Durchmischung des Frischbetons. Üblicherweise werden Transportbetonmischer mit 3 oder 4 Achsen verwendet.²⁰³ Der

²⁰¹ vgl. [HK11], S. 725

²⁰² [Kön08], S. 16

Kraftstoffverbrauch wird überwiegend durch den Transport erzeugt. Im vorliegenden konkreten Fall werden 4-Achsmischer mit einem Frischbetonvolumen von $7,5 \text{ m}^3$ eingesetzt. Die einfache Transportentfernung beträgt 14 km .²⁰⁴

Autobetonpumpe

Der Betoneinbau im Rahmen des Einbaus der Fertigteile wird mit Hilfe einer Autobetonpumpe durchgeführt. Autobetonpumpen bieten den Vorteil des schnellen Ortswechsels. Sie bestehen aus einer Betonpumpe und einem Verteilermast, die auf einem LKW aufgebaut sind.

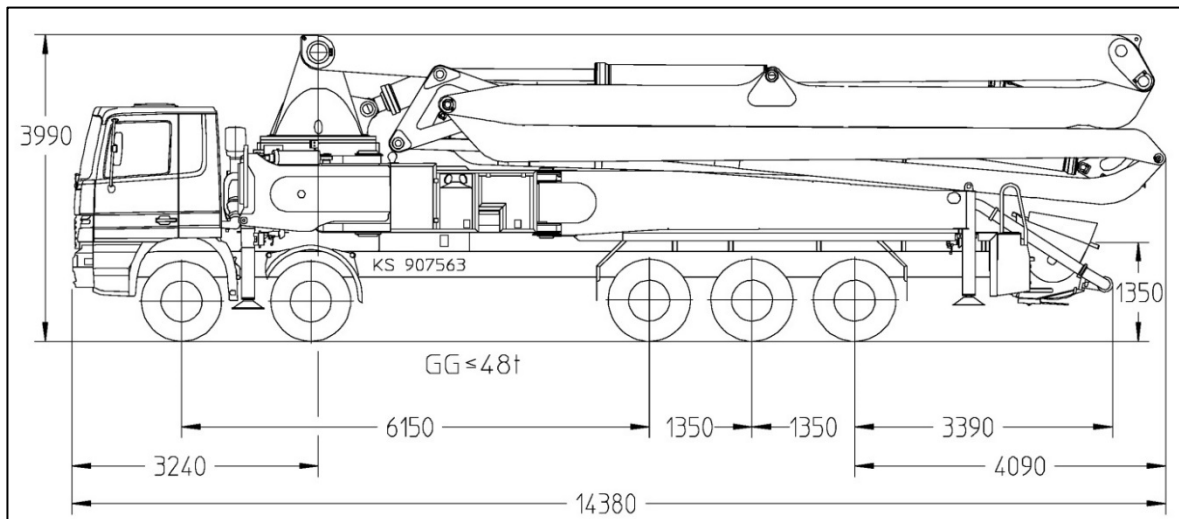


Abb. 4.40: Aufbau einer Autobetonpumpe²⁰⁵

Die in diesem Fall eingesetzte Autobetonpumpe hat einen Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr von $50 \text{ l}/100 \text{ km}$. Der Kraftstoffverbrauch im Pumpbetrieb ist abhängig von verschiedenen Faktoren des Betons sowie des benötigten Pumpendruckes und der Motordrehzahl.

²⁰³ vgl. [Kön08], S. 17

²⁰⁴ vgl. [Pfe10], S. 53

²⁰⁵ [Put15]

Hebezeuge

Bei der Herstellung der Werkhalle kommen strombetriebene Turmdrehkrane, deren Stromverbräuche über die Baustelleneinrichtung erfasst werden, sowie kraftstoffbetriebene Fahrzeugkrane zum Einsatz. Fahrzeugkrane sind in der BGL unter Nr. C.2 gelistet, wobei die BGL zwischen

- Mobilkran (bis 40km/h),
- Autokran und (über 60 km/h)
- Geländekran (Allradantrieb)

unterscheidet.²⁰⁶ Fahrzeugkrane sind i. d. R. mit zwei separaten Motoren ausgestattet: Der Motor im Unterwagen ist für die Fortbewegung zuständig, der Motor im Oberwagen wird für den Hebebetrieb genutzt.

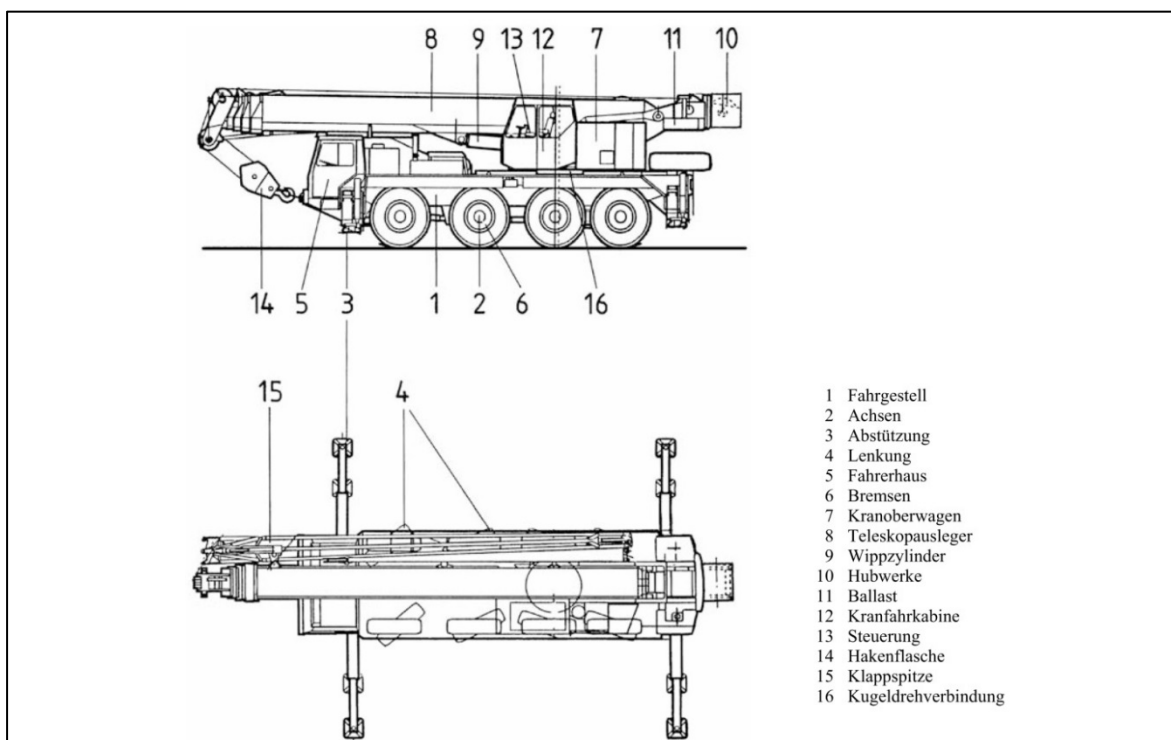


Abb. 4.41: Aufbau eines Fahrzeugkrans²⁰⁷

²⁰⁶ vgl. [HK11], S. 736

²⁰⁷ [Kön08], S. 67

Der Kraftstoffverbrauch für den Fahrbetrieb liegt zwischen 0,16 und 0,19 l/kWh. Im Kranbetrieb werden zwischen 0,05 und 0,10 l/kWh verbraucht.²⁰⁸ Im konkreten Fall wird ein Mobilkran der Firma Liebherr (Typ LTM 1090-4.1) und ein Mobilkran der Firma Faun (Typ ATF 70-4) verwendet. In der folgenden Abbildung sind die Fahrzeugkrane, die bei Projekt 2 eingesetzt werden, aufgelistet. Aus bauprozestechnischen Gründen war es durch das Bauunternehmen nicht gewollt, dass der tatsächliche Kraftstoffverbrauch erfasst wurde. Daher muss für die Erfassung der Verbrauchswerte des Mobilkrans auf die BGL zurückgegriffen werden.²⁰⁹

Krantyp	Max. Hublast	Auslegerlänge	Fahrzeugmotor	Kranmotor	Transportgewicht	Kraftstoffverbrauch
	[t]	[m]	[kW]	[kW]	[t]	[l/h]
Liebherr LTM 1090-4.1	90	11,1 bis 50	350	145	48	10,875
Faun ATF 70-4	70	10,5 bis 40,5	290	90	47	6,750

Abb. 4.42: Kenndaten der eingesetzten Fahrzeugkrane²¹⁰

Ergänzend ist auch ein oben drehender Turmdrehkran des Herstellers Wolff Typ 6531.12 mit Laufkatzenausleger im Einsatz. Durch die Ausrüstung mit einem Schienenfahrwerk erreicht er einen größeren Aktionsradius. Das Hubwerk HW 645 FU besitzt eine max. Leistung von 45 kW. Der mittlere Stromverbrauch beträgt 7,875 kW.²¹¹

Für die Messung des Stromverbrauchs wurde ein Messgerät installiert, das in zehnminütigen Abständen den Stromverbrauch dokumentiert. In den folgenden Abbildungen sind die Ganglinien des Stromverbrauches des Turmdrehkrans differenziert nach Wirk-, Schein- und Blindleistung im Beobachtungszeitraum dargestellt.

²⁰⁸ vgl. [HK11], S. 736

²⁰⁹ vgl. [Pfe10], S. 54

²¹⁰ vgl. ebd.

²¹¹ vgl. ebd., S. 56

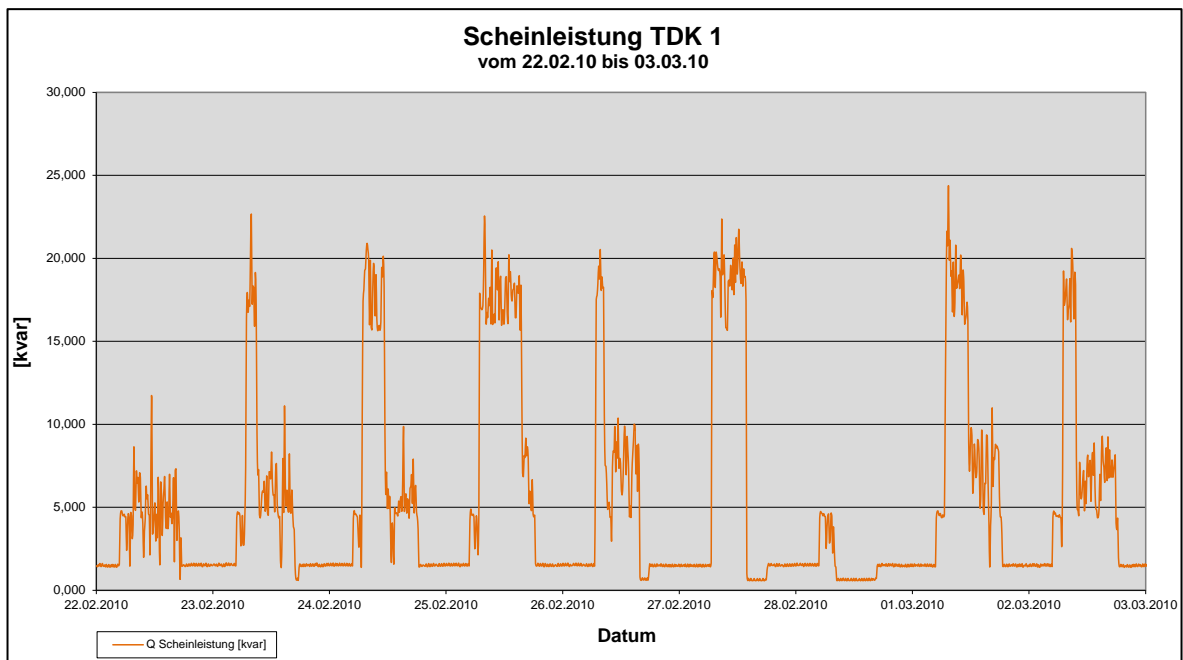


Abb. 4.43: Scheinleistung des Turmdrehkrans²¹²

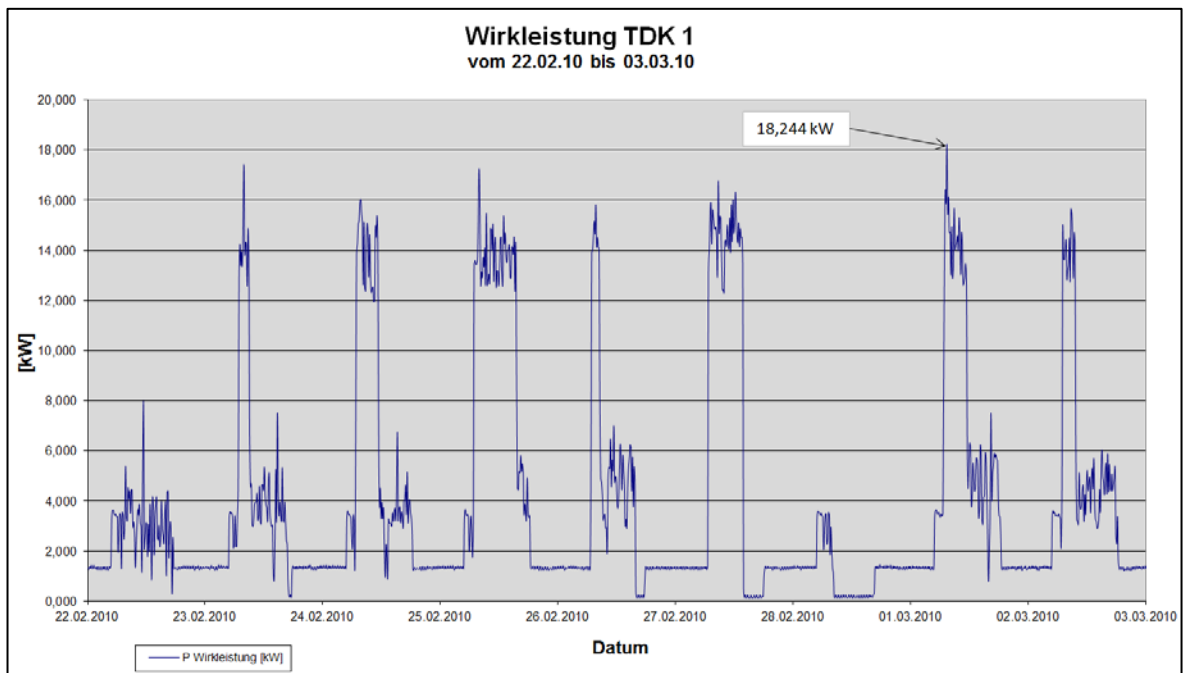


Abb. 4.44: Wirkleistung des Turmdrehkrans²¹³

²¹² vgl. [Pfe10], Anhang A 12.3

²¹³ vgl. ebd., Anhang A 12.1

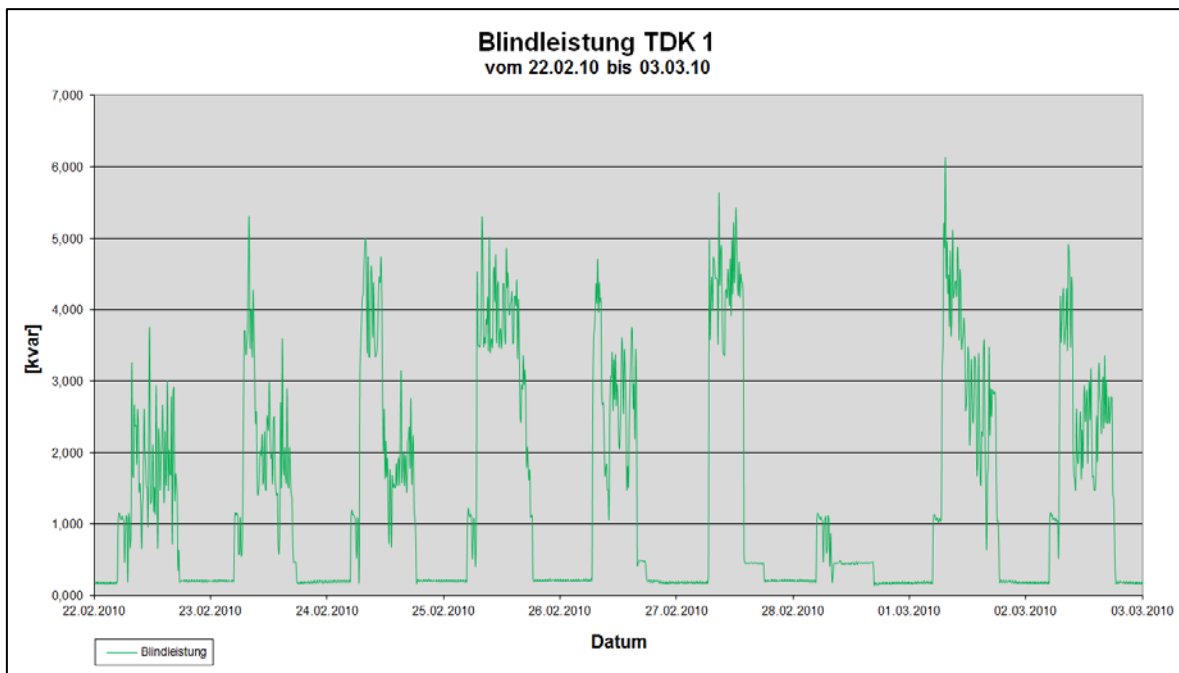


Abb. 4.45: Blindleistung des Turmdrehkrans²¹⁴

Mit den erfassten Daten lässt sich aus der Wirkleistung der Spitzenverbrauch ermitteln. Dieser Maximalwert im Betrachtungszeitraum (18,244 kW am 01.03.2010) wird der nachfolgenden Berechnung zu Grunde gelegt.

Für die Ermittlung eines Lastbandes wird der Mittelwert der Scheinleistung im Betrachtungszeitraum herangezogen. Zu beobachten ist, dass stets eine Grundlast von ca. 0,6 kW vorhanden ist. Diese wird durch technische Einrichtungen im TDK, wie etwa dem Bordcomputer oder der Funkanlage, welche im Standby-Modus laufen, verursacht. Zu Arbeitsbeginn um 6:00 Uhr wird, neben der Grundlast, sowohl die Leistung für die Baustrahler, als auch die Leistung für die Werbeschilder der Bauunternehmen abgerufen.²¹⁵ Zu diesem Zeitpunkt wird eine Leistung von etwa 5 kW zur Verfügung gestellt, und dies ohne aktiven Kraneinsatz. Ab 8:00 Uhr werden die Verbraucher i. d. R. abgestellt. In der Spitze wird durch alle Verbraucher eine Leistung von 24,375 kW am 01.03.2010 um 7:24 Uhr abgerufen. Mit einsetzender Dunkelheit werden die Baustrahler und Werbeleuchten um ca. 16:00 Uhr wieder eingeschaltet. Die Strahler werden um 18:00 Uhr zum Ende der Arbeits-

²¹⁴ vgl. [Pfe10], Anhang A 12.4

²¹⁵ Laut Aussage der örtlichen Bauleitung vom 10.03.2010, vgl. [Pfe10], S. 57

zeit wieder ausgeschaltet, wobei die Werbeleuchten die Nacht über weiterhin ca. 1,4 kW Strom verbrauchen. Das Lastband auf Basis der Scheinleistung wird während des Beobachtungszeitraumes wie folgt beschrieben:²¹⁶

Bezeichnung	[kW]
Spitzenlast	24,375
Grundlast	0,600
Gesamtleistung	7091,840
Durchschnittsleistung	5,250
Tagesleistung	886,480

Abb. 4.46: Lastband für TDK 1 auf Basis der Scheinleistung ²¹⁷

Die detaillierten Prozessanalysen am Referenzprojekt 2 bestehend aus

- Herstellen der Bodenplatte,
- Einbau der Hohlwände,
- Einbau der Stützen,
- Einbau der Unterzüge,
- Einbau von Brüstungen,
- Einbau der Filigrandecke und
- Einbau der Fertigteiltreppe

können Anhang 3 entnommen werden.

4.5.3 Zusammenfassung – Rohbau mit Fertigteilen

Zur Erstellung des Rohbaus wird Energie in Form von Diesel und Strom verbraucht. Diesel wird für den Transport sowie den Betrieb der Fahrzeugkrane und der Betonpumpen verwendet. Strom wird zur Versorgung des Turmdrehkrans gebraucht. Kleinverbraucher bleiben bei der Betrachtung außen vor und werden im folgenden Kapitel zur Untersuchung des Energieverbrauchs im Ausbau näher beleuchtet.

²¹⁶ vgl. [Pfe10], S. 57

²¹⁷ vgl. ebd., S. 57

In der Regel hat der Bauunternehmer keine Kenntnis über den Gesamtbedarf an elektrischer Energie und auftretende Spannungsspitzen. Dies führt dazu, dass er den Strom zum teuersten Tarif (Baustrom) einkaufen muss. Liegen dem Stromversorger jedoch zum Einkauf detaillierte Informationen über den Strombedarf und die zeitlich anfallenden Spannungsspitzen vor, so kann dieser vorausschauend den Bedarf einplanen und dem Bauunternehmer einen günstigeren Stromtarif anbieten.

Die Energiekosten der Erstellung der Werkshalle in Fertigteilbauweise werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Energiekosten für die Erstellung der Werkshalle in Fertigteilbauweise				
Bauteil	Größe	Bezugseinheit	Einbaukosten	
		[BZE]	[€/BZE]	[€]
Bodenplatte	1.730,50	[m ²]	0,53	917,17
Hohlwände	2.950,00	[m ²]	0,30	885,00
Stützen	524,00	[m ³]	4,06	2.127,44
Unterzüge (Balkenförmig)	73,00	[m ³]	2,66	194,18
Unterzüge (Scheibenförmig)	571,00	[m ²]	0,53	302,63
Brüstung	380,00	[m ²]	0,44	167,20
Filigrandecke	3.200,00	[m ²]	0,24	768,00
Treppe	52,30	[m ²]	0,58	30,33
Gesamtkosten				5.391,95

Abb. 4.47: Anfallende Energiekosten für die Erstellung der Werkshalle²¹⁸

Demnach fallen insgesamt 5.391,95 € an Energiekosten für die Herstellprozesse des Rohbaus in Fertigteilbauweise auf der Baustelle an. In Relation zu den Herstellkosten für die Werkshalle von 1,5 Mio. € entspricht das einem Anteil von 0,36 %.

Da die Fertigteile über 450 km lange Anfahrtswege geliefert wurden, wird an dieser Stelle noch ein kritischer Blick auf die Energiekosten für den Transport geworfen. Diese werden in der folgenden Abbildung tabellarisch zusammengefasst.

²¹⁸ vgl. [Pfe10], S. 116

Energiekosten für die Erstellung der Werkshalle in Fertigteilbauweise								
Bauteil	Größe	Bezugseinheit	Transportkosten		Einbaukosten		Gesamtkosten	
		[BZE]	[€/BZE]	Summe [€]	[€/BZE]	Summe [€]	[€/BZE]	Summe [€]
Bodenplatte	1.730,50	[m ²]	1,04	1.799,72	0,53	917,17	1,57	2.716,89
Hohlwände	2.950,00	[m ²]	1,12	3.304,00	0,30	885	1,42	4.189,00
Stützen	524,00	[m ³]	41,24	21.609,76	4,06	2.127,44	45,30	23.737,20
Unterzüge (Balkenförmig)	73,00	[m ³]	40,91	2.986,43	2,66	194,18	43,57	3.180,61
Unterzüge (Scheibenförmig)	571,00	[m ²]	9,47	5.497,37	0,53	302,63	10,00	5.710,00
Brüstung	380,00	[m ²]	2,66	1.010,80	0,44	167,2	3,10	1.178,00
Füllgrandecke	3.200,00	[m ²]	0,49	1.568,00	0,24	768	0,73	2.336,00
Treppe	52,30	[m ²]	1,62	84,73	0,58	30,33	2,20	115,06
Gesamtkosten				37.860,81		5.391,95		43.162,76

Abb. 4.48: Energiekosten für die Erstellung der Werkshalle inkl. Transport²¹⁹

Die Energiekosten für den Transport belaufen sich auf 37.860,81 € und liegen damit beim 7-fachen der Energiekosten des Einbaus auf der Baustelle. Bezogen auf die Herstellkosten der Werkshalle von 1,5 Mio. € entspricht das einem Anteil von etwa 2,5 %. Im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung müsste hier kritisch hinterfragt werden, ob es unter Aspekten des Klima- bzw. Umweltschutzes sinnvoll ist, Fertigteile aus einer Entfernung von 450 km transportieren zu lassen.

4.6 Energieverbrauch im Ausbau

Im folgenden Kapitel erfolgt die zusammenfassende Darstellung der Untersuchungen des Energieverbrauchs während der Ausbauphase am Beispiel der Werkshalle des Projektes 2 „Neubau der Justizvollzugsanstalt“ in Wuppertal. Über einen Zeitraum von insgesamt 75 Tagen wird zwischen dem 07.04.2010 und dem 20.06.2010 der Energieverbrauch von Ausbauleistungen erfasst. Gleichzeitig werden Prozessanalysen der ausgeführten Ausbaugewerke durchgeführt. Die detaillierten Prozessanalysen können Anhang 4 entnommen werden.

²¹⁹ vgl. [Pfe10], S. 116

Die Prozessanalysen werden dabei wie folgt gegliedert:

- Prozessbeschreibung

Im Rahmen der Prozessbeschreibung werden die an den Beobachtungstagen ausgeführten Leistungen, auf die später der Stromverbrauch bezogen wird, in hinreichendem Detaillierungsgrad beschrieben.

- Geräteeinsatz

Die während der Ausführung der Leistungen genutzten Geräte werden erfasst und dargestellt.

- Auswertung

Im ersten Schritt wird der erfasste Stromverbrauch, bestehend aus den Anteilen Wirkarbeit und Blindarbeit ausgewiesen und auf die im Beobachtungszeitraum erbrachte Bauleistung bezogen. Diese Kennzahl liefert die sogenannte Energieproduktivität. In einem weiteren Schritt werden die Stromkosten berechnet. Diese bestehen aus dem vollen Anteil der Wirkarbeit und dem Teil der Blindarbeit, der 50 % der Wirkarbeit übersteigt. Dies wird zum besseren Verständnis in der folgenden Abbildung nachvollziehbar dargestellt. Abschließend werden die Ergebnisse bewertet, Optimierungspotenziale aufgezeigt und Handlungsempfehlungen gegeben.

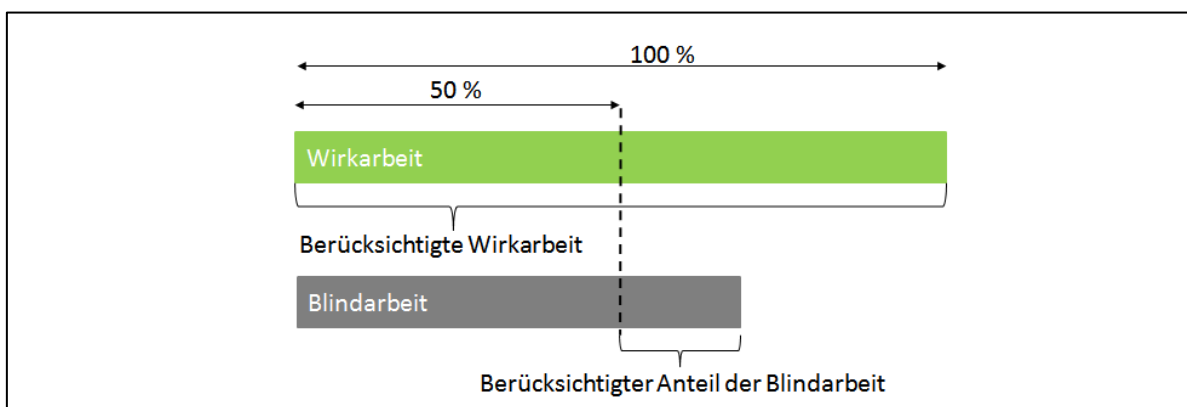


Abb. 4.49: Berücksichtigte Anteile bei der Berechnung der Stromkosten

4.6.1 Stromliefervertrag

Der Stromliefervertrag der Baustelle wurde mit einem regionalen Stromanbieter geschlossen. Dabei wurde ein Blindarbeitspreis von 1,38 ct/kvar (netto) und ein Wirkarbeitspreis von 11,609 ct/kWh (netto) vereinbart. Eine Differenzierung in Haupt- und Nebentarif wurde nicht vorgesehen.

	Bezeichnung	01.01.2010 - 31.12.2010
		Preis
A	Entgelt für die Netznutzung	
	Mess- und Verrechnungspreis	1365,48 €/a
	Leistungspreis für jedes kW der Jahreshöchstleistung	
	Benutzungsdauer <2500 h/a	
	Benutzungsdauer ≥2500 h/a	47,64 €/kW/a
	Arbeitspreis für die bezogene elektrische Arbeit	0,21 Ct/kWh
	Blindarbeitspreis	1,38 Ct/kvar
	Konzessionsabgabe	0,11 Ct/kWh
B	Entgelt für die Energielieferung	
	Der Arbeitspreis für die bezogene elektrische Arbeit	7,95 Ct/kWh
	KWKG-Aufschlag (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz)	
	für die ersten 100.000 kWh/a	0,13 Ct/kWh
	für jede weitere kWh/a	0,05 Ct/kWh
	Stromsteuer	1,23 Ct/kWh
C	Strompreis netto	11,609 Ct/kWh
	zzgl. MWSt	19%
	Strompreis brutto	13,8147 Ct/kWh

Abb. 4.50: Vertraglich vereinbarte Strompreise²²⁰

4.6.2 Untersuchung am Beispiel der Werkhalle

Die für die Untersuchung des Energieverbrauchs betrachtete Werkhalle ist eine von insgesamt drei Werkhallen, die auf dem Gelände der neuen JVA errichtet werden. Die zweigeschossigen Gebäude sollen als Ausbildungs- und Arbeitsstätten von etwa 80 Häftlingen genutzt werden. Je Geschoss sind drei Werkstätten untergebracht. Jede Werkhalle verfügt darüber hinaus über Sozial- und Schulungsräume. Die vertikale Erschließung der Geschosse im Gebäude erfolgt neben einem Treppenhaus auch durch eine Aufzugsanlage.²²¹

²²⁰ vgl. [Gur10], S. 13 f.

²²¹ vgl. ebd., S. 5

Die Außenwände der Werkhalle werden zweischalig konstruiert: Das Erdgeschoss (Ebene 00) erhält eine Außenschale aus Klinkerverblendmauerwerk, das erste (Ebene 01) und das zweite Geschoss (Ebene 02) einschließlich der Attika erhalten eine Blechverkleidung als Außenschale. Das Flachdach wird aus Stahlbeton-Halbfertigteilen (Filigrandecken) errichtet und mit Gehwegplatten und einer Kiesschicht versehen.²²²

Die Auftragssumme für die Ausbauleistungen der Werkhalle liegt bei netto 98.606,00 €.

Der Grob Ablaufplan für die Erstellung der Werkhalle 1 mit den Phasen Erdbau, Rohbau und Ausbau wird in der folgenden Abbildung dargestellt. Hieraus ist zu erkennen, dass, außer einem kurzen Zeitraum zu Beginn der Ausbauphase, keine weiteren Bauleistungen parallel erbracht werden und der ermittelte Energieverbrauch so eindeutig der Ausbauphase zugeordnet werden kann.

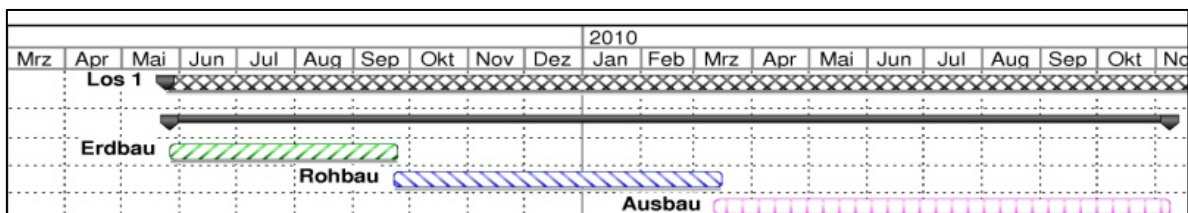


Abb. 4.51: Grob Ablaufplan für die Erstellung der Werkhalle 1²²³

Zu den in der Ausbauphase untersuchten Gewerken gehören:

- Fenstermontage
- Fenstervergitterung
- Mauerarbeiten
- Fassadenarbeiten
- Abdichtungsarbeiten: Flachdachabdichtung, Sockelabdichtung, Dampfsperre auf Bodenplatte
- Malerarbeiten
- Gips- und Kalkzementputzarbeiten
- Estricharbeiten

²²² vgl. [Gur10], S. 5

²²³ Ebd., S. 12

- Leitungen: Abwasser-, Heizungsrohr- und Lüftungsleitungen
- Türzargen- und Türblattmontage
- Trennwände in Trockenbauweise
- Kernbohr-, Säge- und Stemmarbeiten in Stahlbetonkonstruktionen
- Elektroinstallation (Starkstrom) und
- Aufzugsmontage

4.6.3 Eingesetzte Geräte und Baumaschinen

Für die Ausführung von Ausbauleistungen kommen neben Turmdreh- und Mobilkranen, Teleskopstaplern und LKW überwiegend elektrisch betriebene Handgeräte zum Einsatz. Zu diesen gehören

- Bohrmaschinen, Bohrhammer, Kombihammer und Abbruchhammer
- Akku- und Montageschrauber
- Winkelschleifer
- Kapp- und Gehrungssägen, Hand- und Tischkreissägen
- Diamantsteinsägen
- Klammergeräte
- Rührgeräte
- Halogenlichtstrahler
- Hubwagen und elektrische Hebebühnen
- Kompressoren
- Mischpumpen
- Estrichfördergeräte
- Flügelglätter
- Bauaufzüge
- Seilhebezüge
- Elektrokettenzüge
- Nass- und Trockensauger

4.6.4 Methodik der Verbrauchsmessungen im Ausbau

Für die Erfassung des Stromverbrauchs wird in den Hauptstromverteiler der Werkhalle ein Stromzähler installiert, der in einem Intervall von zehn Minuten den Stromverbrauch misst und dokumentiert.



Abb. 4.52: Messgerät im Hauptstromverteiler der Werkhalle²²⁴

Für die Auswertung werden zum einen die erzeugte Blind- und die verbrauchte Wirkarbeit und zum anderen die erbrachten Leistungen in den Gewerken erfasst. Da teilweise Leistungen unterschiedlicher Gewerke gleichzeitig ausgeführt werden, wird die erfasste Wirk- und Blindarbeit im Nachgang den jeweiligen Gewerken zugeordnet. Die Gewichtung der Gewerke bezüglich ihres Anteils am Stromverbrauch erfolgt auf Grundlage der getätigten Beobachtungen auf der Baustelle. Der anteilige Stromverbrauch für die Beleuchtung kann auf Grundlage der Nacht- und Wochenendmessungen zugeordnet werden.²²⁵

²²⁴ Fotos: Evgeny Gurov

²²⁵ vgl. [Gur10], S. 30

4.6.5 Zusammenfassung – Ausbau

Bereits in Kapitel 4.2.9 wurde festgestellt, dass die eigentlichen Arbeitsprozesse während der Ausbauphase einen geringeren Anteil am Gesamtstromverbrauch haben. Maßgebende Verbraucher sind die Baubeleuchtung und Beheizung bzw. Kühlung sowie die in den Baucontainern/Baubüros untergebrachte Informations- und Kommunikationstechnik.

Die in diesem Kapitel durchgeführten Untersuchungen des Energieverbrauchs der Ausbaugewerke bestätigen die zuvor gewonnene Erkenntnis und konkretisieren diese wie folgt:

Im Zuge der gewerkespezifischen Auswertung der Energiekosten zeigt sich, dass die Wirkarbeit den maßgebenden Anteil der Gesamtstromkosten verursacht. Die Gesamtstromkosten im Untersuchungszeitraum belaufen sich auf 440,29 €, wobei die Wirkarbeit Kosten von 414,52 € und die Blindarbeit Kosten in Höhe von 25,77 € verursacht. Die Menge der verbrauchten Wirkarbeit ist direkt abhängig von der Anzahl, Abnahmeleistung und Einsatzdauer der genutzten Energieverbraucher. Dementsprechend fällt auch das Ranking der untersuchten Ausbaugewerke nach ihrem Anteil an den Gesamtstromkosten aus.²²⁶

Anteil an Gesamtkosten [%]	Gewerk	Ursache
47,87	Innere Beleuchtung	Durchgehende Beleuchtung der Arbeitsplätze, Flucht- und Rettungswege notwendig
13,52	Estricharbeiten	Intensive Vorarbeiten - Fräsen, Stemmen, Kugelstrahlen
9,08	Kernbohr-, Säge- und Stemmarbeiten	Maschinenintensive Arbeiten, lange Einsatzzeiten
5,29	Elektroinstallationen	Schlitzen von Wänden
5,25	Malerarbeiten	Glätten gespachtelter Flächen, Farbspritzen

Abb. 4.53: Ranking der Ausbaugewerke nach ihrem Anteil an Gesamtstromkosten

Den mit Abstand größten Anteil am Gesamtstromverbrauch verursacht die Beleuchtung der Werkhalle. Darauf folgen die Gewerke Estricharbeiten (13,52 %), Kernbohr-, Säge- und Stemmarbeiten (9,08 %), Elektroinstallationen (5,29 %) und Malerarbeiten (5,25 %).

Entsprechend des Pareto-Prinzips erscheint es sinnvoll, vorrangig nach Einsparpotenzialen bei der inneren Beleuchtung zu suchen, da hier das absolut größte Einsparpotenzial vor-

²²⁶ vgl. Anhang 5

handen ist. Eine technische Möglichkeit wäre in diesem Zusammenhang der Einsatz energieeffizienter Leuchtmittel. Personelle Maßnahmen, wie die Sensibilisierung der Mitarbeiter und die Übertragung der Verantwortung für den sparsamen Umgang mit der Beleuchtung auf einen Mitarbeiter ist denkbar und verhältnismäßig einfach umzusetzen.

Eine organisatorische Möglichkeit besteht darin, die Ausführung der energieintensiven Ausbaugewerke möglichst voneinander zu entkoppeln und damit Lastspitzen der Wirkleistung zu vermeiden. Allerdings erscheint dieser Eingriff in den Bauablauf vor dem Hintergrund der geringen monetären Einsparpotenziale nicht sinnvoll. Auch würde die Entkopplung der Gewerke zu einer längeren Bauzeit führen, was wiederum zu einem höheren Energieverbrauch infolge der Vorhaltung der Baubeleuchtung, Beheizung etc. und damit zu Mehrkosten führen würde.

5 Energiemanagement im Baubetrieb

Die stetige Optimierung aller Prozessabläufe im Bauunternehmen sowie auf Baustellen ist die Kernaufgabe der Unternehmensführung. Daher sollen Managementsysteme dazu dienen, Prozessabläufe so zu strukturieren, dass unter den gegebenen Rahmenbedingungen eine angemessene Rendite erwirtschaftet wird und gleichzeitig die Kundenwünsche zufrieden gestellt, Wettbewerbsvorteile sichergestellt und gesetzliche Bestimmungen eingehalten werden. Dabei sollen sich Managementsysteme an den betrieblichen Erfordernissen orientieren. Das bedeutet, dass Ziele und Regeln für standardisierte Prozesse formuliert und kommuniziert werden müssen, deren Einhaltung und Erreichung zu wiederholbaren Ergebnissen und letztlich zu einer Leistungssteigerung des gesamten Unternehmens führen.²²⁷

Managementsysteme finden in der Bauwirtschaft Anwendung für die Bereiche Qualität, Arbeitssicherheit, Umweltschutz und Innovationen. Ein baubetriebliches Energiemanagementsystem (EnMS), das die Abläufe auf Baustellen fokussiert, existiert hingegen nicht. Die Hemmnisse einer Einführung sind nach wie vor unverändert: Laut einer Umfrage der PROGNOSE AG aus dem Jahre 2010 im Auftrag der KfW-Bankengruppe zur Rolle und Bedeutung von Energieeffizienz und Energiedienstleistungen in KMU mangelt es in erster Linie an Know-how, personellen Ressourcen und finanziellem Kapital für die Umsetzung von Maßnahmen.²²⁸ Dabei konnte im Rahmen dieser Arbeit gezeigt werden, dass Maßnahmen für Energieeinsparungen auf Baustellen in den Bereichen Technik, Organisation und Personal geringe Investitionen voraussetzen und vergleichsweise einfach umzusetzen sind. Gleichzeitig besitzt jede Baustelle implizit Teile eines Energiemanagementsystems (Energieeinkauf, Energiekostenabrechnung, etc.), die im Rahmen der folgenden Untersuchungen dargestellt, systematisiert und ergänzt werden.

²²⁷ vgl. [ZDK02], S. 2-130

²²⁸ vgl. [Pro10]

5.1 Umfrage zur Bedeutung von Energie im Baubetrieb

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgte eine europaweite Umfrage in Zusammenarbeit mit dem Verband der Deutschen Bauindustrie.²²⁹ Demnach lässt sich folgendes festhalten: Umwelt- und Klimaschutz, Ressourcen- und Energieeffizienz sind in etwa gleichem Maße für alle befragten Unternehmen wichtig.

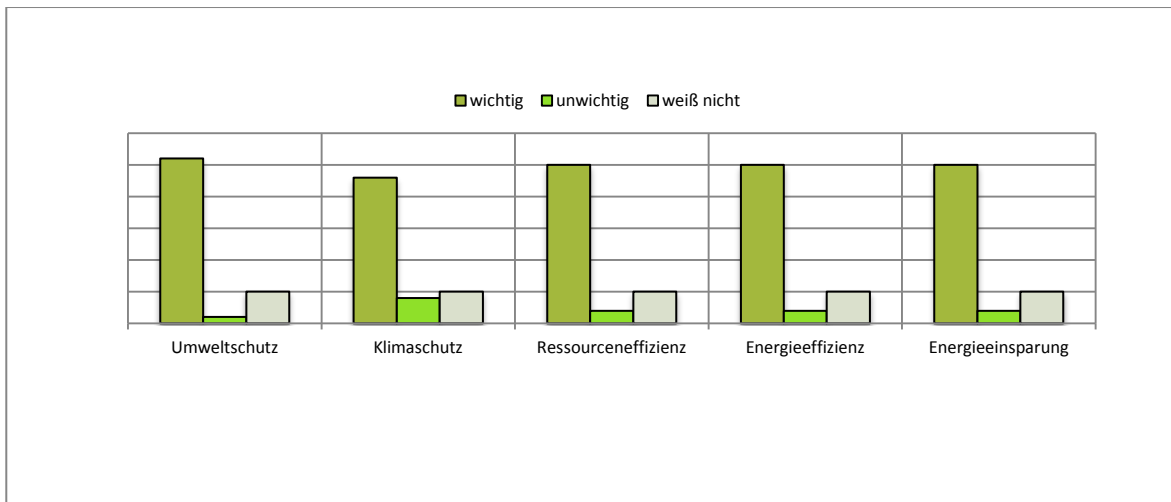


Abb. 5.1: Wichtige Themen in der Zukunft

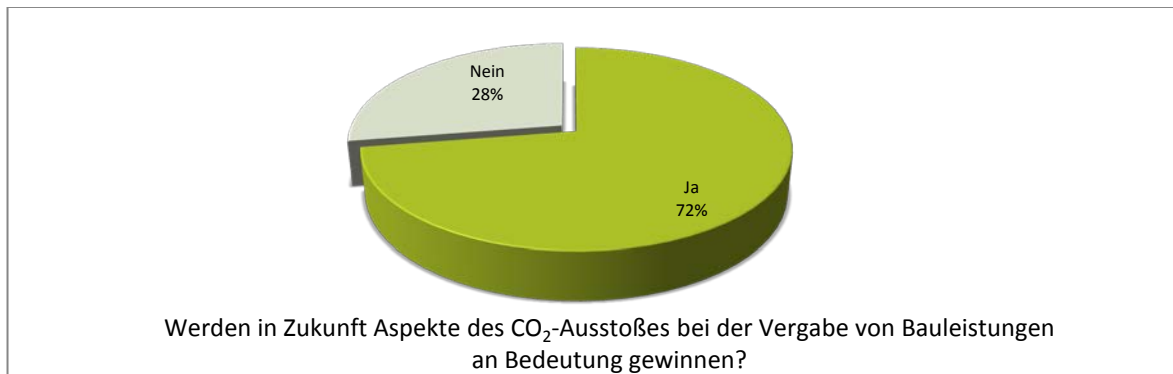


Abb. 5.2: Berücksichtigung des CO₂-Ausstosses bei Vergabeverfahren

²²⁹ In einer Online-Umfrage wurden im Jahr 2011/2012 126 Unternehmen aus den Ländern Deutschland, Frankreich, Spanien und den Niederlanden befragt. Vgl. Anhang 7

Die zukünftig steigende Bedeutung einer CO₂-optimierten Baustelle wird von 72 % aller Befragten prognostiziert. Ein gutes Drittel der Unternehmen gibt den prozentualen Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten mit 5-10 an, wobei ein weiteres Drittel der Befragten keine Kenntnisse über den Anteil besitzt.

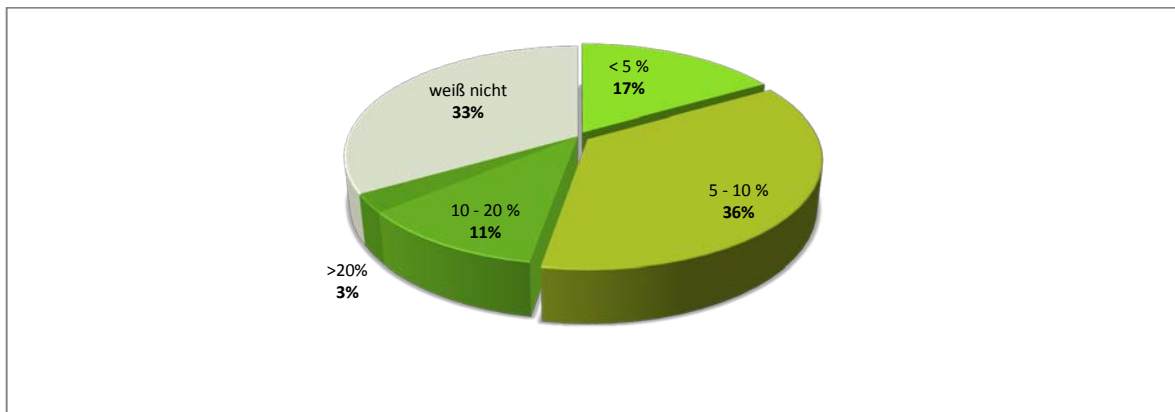


Abb. 5.3: Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten der Bauwerksherstellung

Hauptthemnis der fehlenden Nutzung von Energiesparpotenzialen wird in den zu langen Amortisationszeiten bei investiven Maßnahmen vermutet. Weitere wichtige Gründe sind fehlendes Kapital sowie die Einschätzung, dass Energiekosten nachrangig sind, die zu hohe Arbeitsbelastung bzw. Zeitmangel. Des Weiteren wird von den Befragten auch mangelndes Wissen über Energieeinsparmöglichkeiten und energiesparende Technologien als wichtiger Grund gesehen.

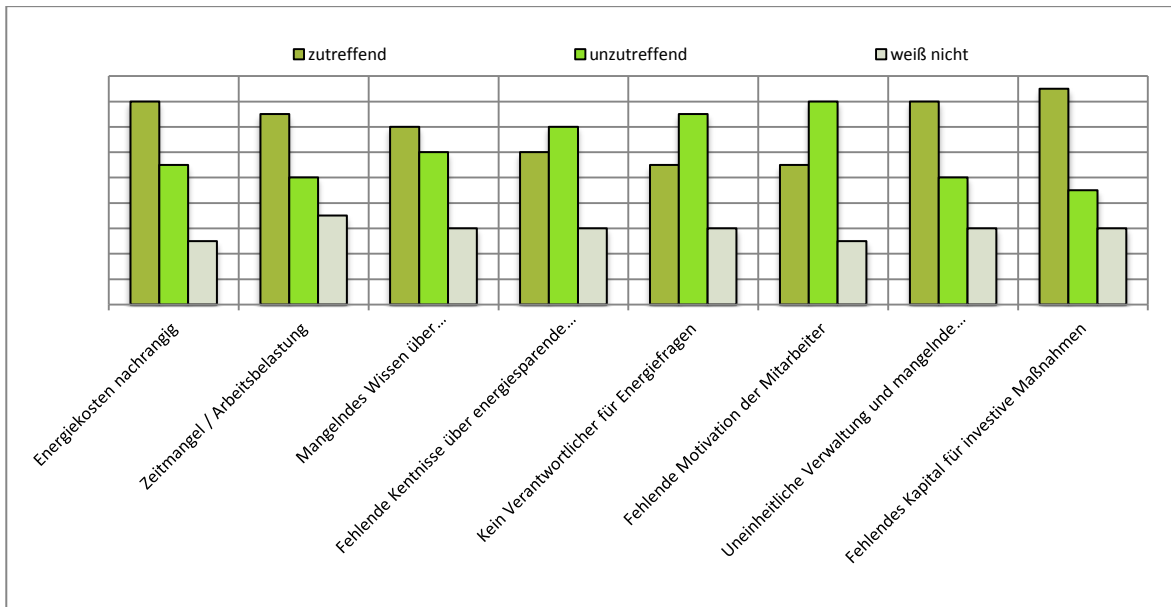


Abb. 5.4: Hemmnisse bei der Nutzung von Energieeinsparpotenzialen

Sinnvolle Maßnahmen, um Energieeinsparungen zu erreichen und die Energieeffizienz zu steigern, sehen die befragten Unternehmen in allen abgefragten Bereichen: Neben der Reduzierung des Ressourcenverbrauchs werden weitere Maßnahmen wie die Auswahl des Bauverfahrens, energiesparende Lösungen in den Bereichen Baulogistik und Transport und Personalschulung genannt.

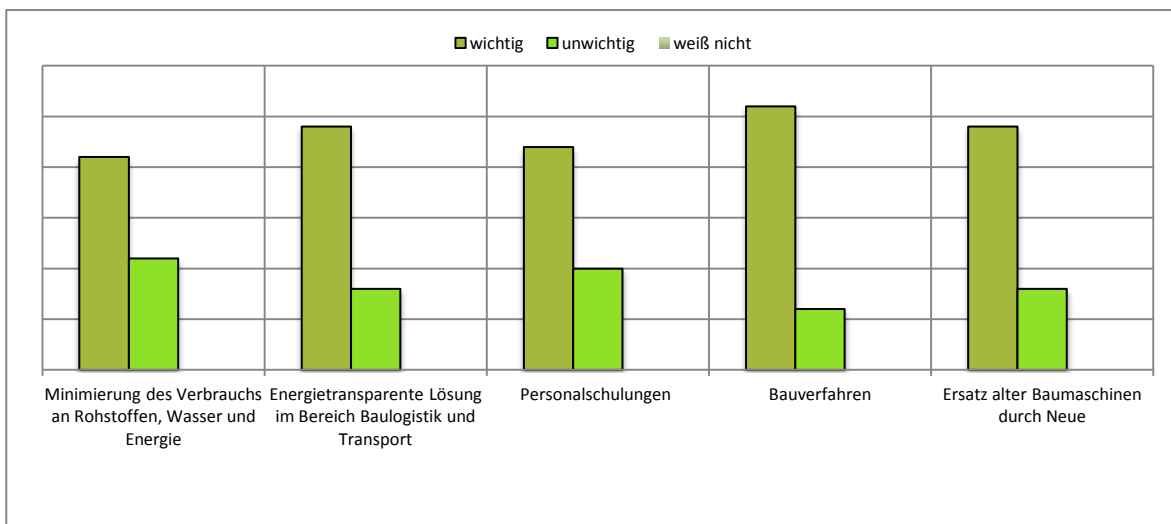


Abb. 5.5: Maßnahmen für Energieeinsparungen und Steigerung der Energieeffizienz

Kaum ein Bauunternehmen nutzt ein systematisches Energiemanagement. Wenn eines eingeführt wurde, dann in den meisten Fällen erst in den letzten fünf Jahren unter Aus-

schluss der Baustellen. Von den Unternehmen, die zum Zeitpunkt der Befragung kein Managementsystem nutzen, gibt ein Drittel an, ein solches System in Vorbereitung zu haben. Knapp die Hälfte der Befragten hat allerdings keine Kenntnis darüber, ob sich ein Energiemanagement für die Baustellen im eigenen Unternehmen in Planung befindet.

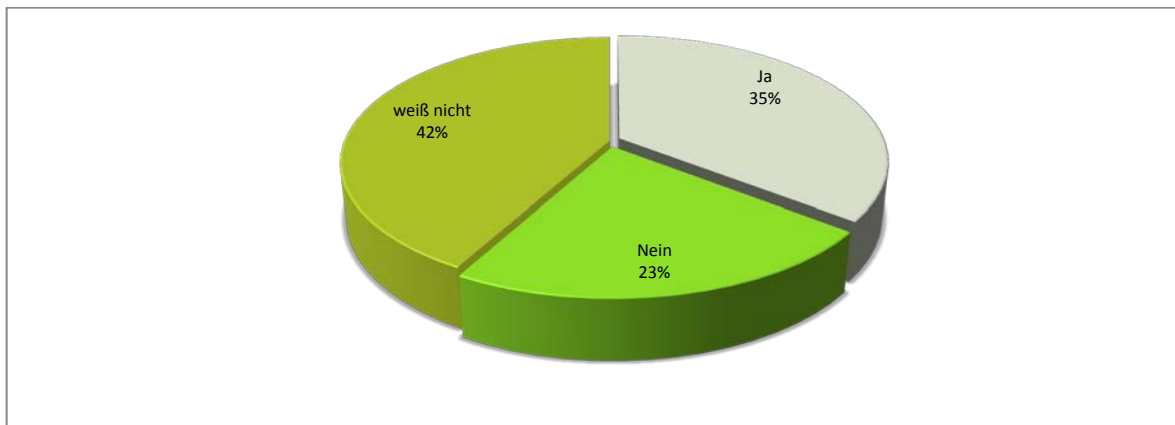


Abb. 5.6: Planung der Einführung eines Energiemanagementsystems

Ein wichtiger Aspekt ist der Einkauf von Baumaschinen. Bei der Neuanschaffung einer Baumaschine ist für etwa 80 % der Befragten der Preis bei der Kaufentscheidung ausschlaggebend. Darauf folgen die Kriterien Leistung, Instandhaltungskosten und Innovationsgrad mit abnehmender Priorität. Der Energieverbrauch bildet im Vergleich der Kriterien das Schlusslicht.

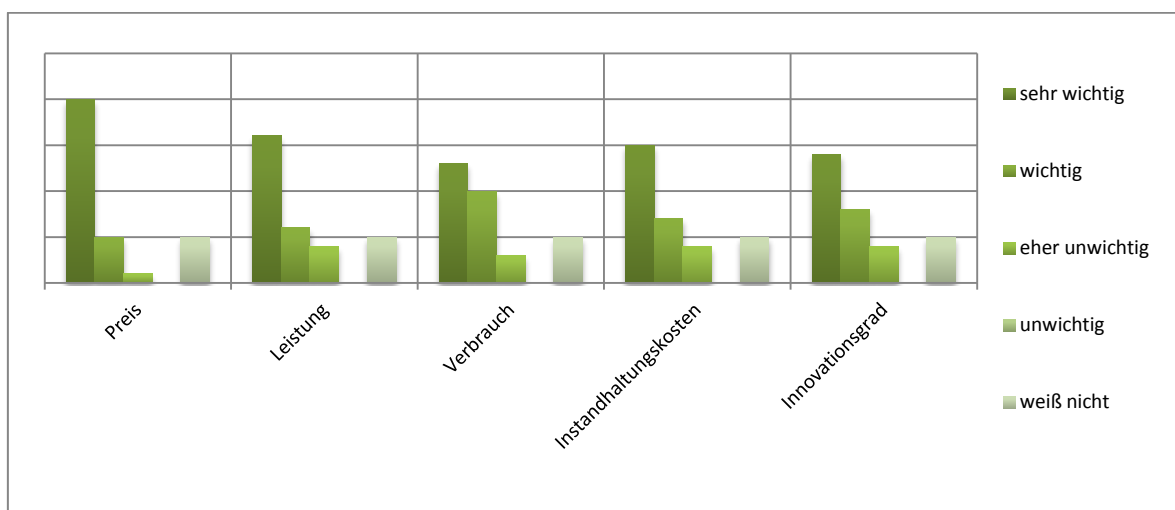


Abb. 5.7: Entscheidende Kriterien bei der Neuanschaffung von Baumaschinen

In erster Linie werden gezielt Baumaschinen mit Rußpartikelfiltern gekauft. Satellitengestützte Steuerung, Start-Stopp-Funktion und Lasersteuerung sind dabei von nachrangiger Bedeutung. Der Hybridantrieb wird selten gezielt nachgefragt. Auffällig ist, dass Baumaschinen mit modernen Technologien entweder sehr gezielt und bewusst oder aber bewusst nicht eingekauft werden.

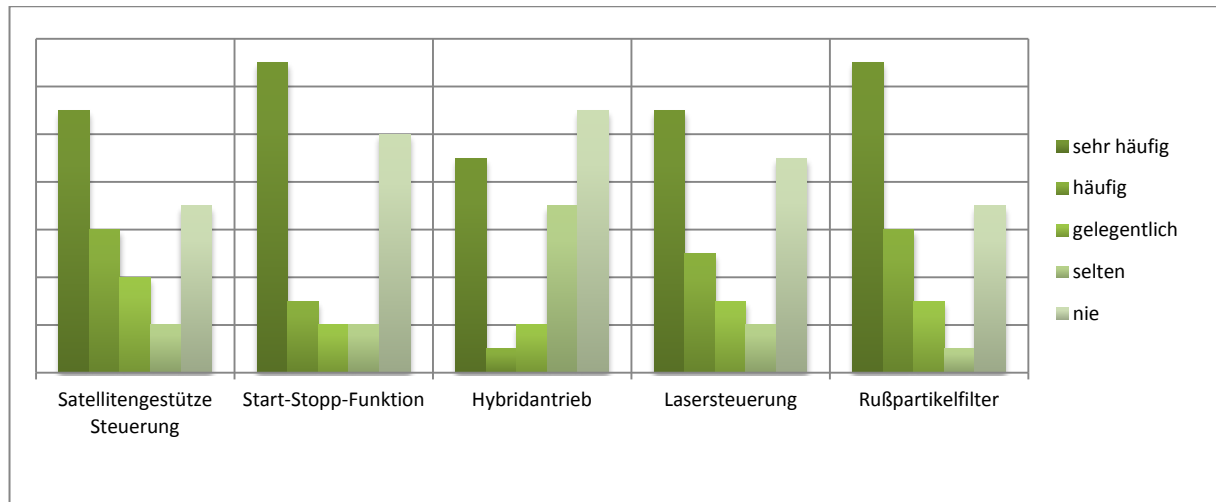


Abb. 5.8: Prioritäten beim Kauf von Baumaschinen mit modernen Technologien

Die Auswertung der beantworteten Fragebögen zeigt zum einen, dass in den Unternehmen die Thematik überwiegend bekannt ist, es allerdings an Einsicht und Wissen mangelt, Instrumente eines Energiemanagements einzusetzen. Allerdings gibt es auch eine Vielzahl von Bauunternehmen, denen der Umweltschutz unwichtig ist und die auch keine bzw. kaum Kenntnisse über tatsächliche Energieverbräuche, mögliche Einsparpotenziale und den Nutzen neuer Technologien besitzen.

5.2 Normiertes Energiemanagement nach DIN ISO 50001

Die Grundlage eines betrieblichen Energiemanagementsystems bildet seit Dezember 2011 die DIN ISO 50001.²³⁰ In dieser Norm werden Anforderungen an Energiemanagementsys-

²³⁰ DIN EN ISO 50001 – Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung

teme (EnMS) formuliert, die Unternehmen in die Lage versetzt, durch Verbesserung der energiebezogenen Leistungen Treibhausgasemissionen, Umweltauswirkungen und Energiekosten zu reduzieren. Es basiert auf dem kontinuierlichen Verbesserungsprozess (PDCA-Zyklus) und soll das EnMS im Top-Management und gleichzeitig im operativen Tagesgeschäft integrieren. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die die Anpassungsfähigkeit und die somit gegebene Möglichkeit der Integration in bestehende Managementsysteme (Integriertes Managementsystem). Letztlich kann ein Unternehmen auf Grundlage der Norm zertifiziert werden.

Das Energiemanagement verfolgt das Ziel, „den gesamten Betriebsablauf, aber auch die einzelnen Prozesse und Anlagen effizienter zu gestalten bzw. zu betreiben und so über die Energiekosten zur Senkung der Betriebskosten zu gelangen“²³¹. Zur Erreichung dieses Zielles stehen prinzipiell Maßnahmen in den Handlungsfeldern Technik, Organisation und Personal zur Verfügung.

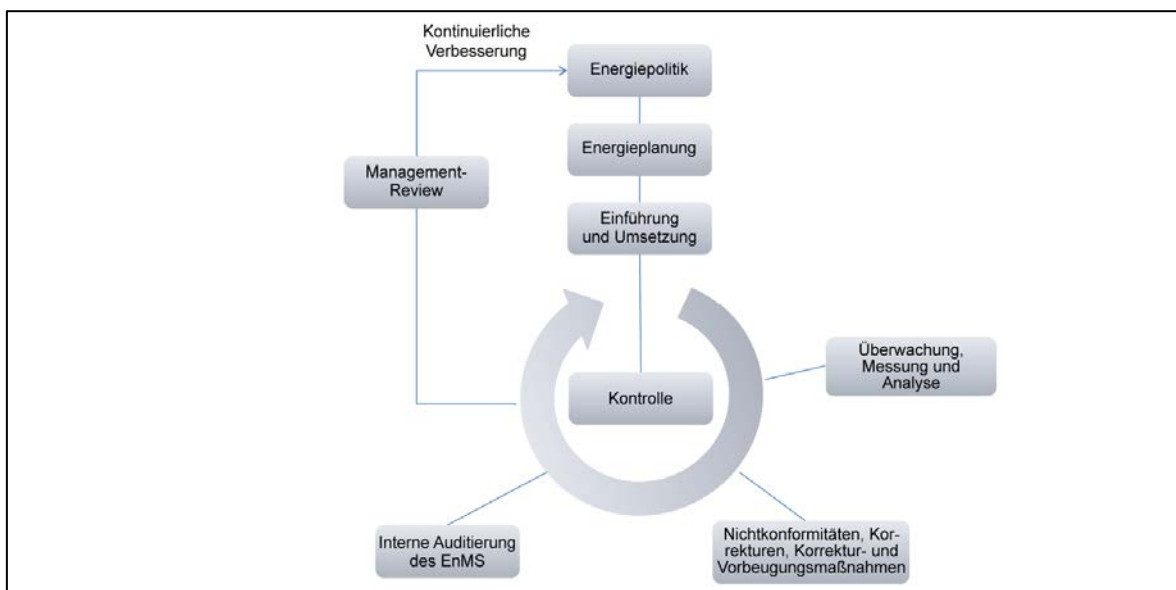


Abb. 5.9: Modell eines Energiemanagementsystems nach DIN ISO 50001²³²

²³¹ [Sch05], S. 2

²³² [DIN50001], S. 6

Die DIN ISO 50001 definiert ein Energiemanagementsystem als „Gesamtheit miteinander zusammenhängender oder interagierender Elemente zur Einführung einer Energiepolitik und strategischer Energieziele, sowie Prozesse und Verfahren zur Erreichung dieser strategischen Ziele“. ²³³

Voraussetzung für jedes Energiemanagement ist der bewusste und sparsame Umgang aller Beteiligten mit Energieträgern. Es muss vom Top-Management, also der obersten Leitung der Organisation, initiiert, geplant und bei der Umsetzung unterstützt werden, so dass Maßnahmen den angemessenen Stellenwert finden und unmittelbar umgesetzt werden können. Zu den Aufgaben des Top-Managements gehört in diesem Zusammenhang zuvorderst die Formulierung einer Energiepolitik. Diese hat die Aufgabe, die Verpflichtung der Organisation zur Erreichung einer Verbesserung der energiebezogenen Leistung darzulegen. Des Weiteren muss das Top-Management einen Energiemanagementbeauftragten ernennen und der Bildung eines Energiemanagement-Teams zustimmen und die erforderlichen Ressourcen wie Mitarbeiter, Fachkompetenzen sowie technologische und finanzielle Ressourcen zur Verfügung stellen. ²³⁴

²³³ [DIN50001], S. 7

²³⁴ vgl. ebd. S. 11



Abb. 5.10: Schritte und Werkzeuge zur Umsetzung eines Energiemanagementsystems²³⁵

Sofern diese Voraussetzungen geschaffen wurden, erfolgt im nächsten Schritt die **Energieplanung**. Diese besteht aus der Klärung und Einhaltung evtl. vorhandener rechtlicher Rahmenbedingungen bzgl. des Energieeinsatzes, -verbrauchs und der Energieeffizienz. Dann folgt die Erfassung und Dokumentation des Status Quo: Hierzu müssen alle derzeit genutzten Energiequellen, ihr Einsatz und Verbrauch erfasst und analysiert werden. Die

²³⁵ vgl. [DIN50001], S. 13 ff.

Ergebnisse bilden die energetische Ausgangsbasis, auf deren Grundlage alle weiteren Maßnahmen geplant, umgesetzt und bewertet werden. Parallel zur Zustandserfassung müssen Optimierungsmöglichkeiten identifiziert, priorisiert und dokumentiert werden. Sobald die energetische Ausgangsbasis feststeht, können im nächsten Schritt Energieleistungskennzahlen für die weitere Überwachung, Messung und für Vergleiche gebildet werden. Auf Basis der Vergleiche können später ergriffene Maßnahmen bewertet und neue initiiert werden, die zu einer Verbesserung der energiebezogenen Leistung führen sollen. Die Energieplanung abschließend, werden strategische und operative Energieziele vorgegeben, wobei ein strategisches Energieziel ein globales Ziel darstellt und operative Ziele detaillierte und quantifizierbare Ziele formulieren, die für die Erreichung des strategischen Ziels notwendig sind. Um diese Ziele zu erreichen, sind Aktionspläne notwendig, die die Verantwortlichkeiten festlegen und die Mittel und Methoden zur Erreichung und Überprüfung der Ziele darlegen.²³⁶

Nachdem alle Energieverbräuche erfasst, strukturiert und Energiekennzahlen gebildet wurden, werden diese im Rahmen des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses regelmäßig überprüft und optimiert. Hierfür ist im nächsten Schritt die **Einführung und Umsetzung** des EnMS notwendig. Fokussiert wird hierbei im Wesentlichen auf die Schulung und Sensibilisierung der Mitarbeiter. Dies ist von entscheidender Bedeutung für die Erreichung der Energieziele. Gleichzeitig muss es Mitarbeitern möglich sein, Kommentare und Verbesserungsvorschläge abzugeben. Sinnvoll ist in diesem Zusammenhang auch die externe **Kommunikation** der geplanten sowie erreichten Energieziele, um so Vorteile gegenüber anderen Wettbewerbern zu erreichen.²³⁷

Wesentlicher Bestandteil des EnMS ist die **Dokumentation** ihrer Kernelemente. Diese muss den Geltungsbereich und die Grenzen des EnMS, die vereinbarte Energiepolitik, die strategischen und operativen Energieziele und Aktionspläne sowie weitere Dokumente

²³⁶ vgl. [DIN50001], S. 13 f.

²³⁷ vgl. ebd., S. 15

enthalten. In Art und Umfang ist die Dokumentation stark abhängig von der Unternehmensgröße, der Komplexität der Produktionsprozesse und den Fähigkeiten der Mitarbeiter. Die Dokumentation und die dazugehörenden Dokumente müssen einer stetigen Kontrolle bzgl. ihrer Aktualität und Richtigkeit unterliegen.²³⁸

Des Weiteren müssen Abläufe wie Betrieb, Instandhaltung und Beschaffung im Sinne der gesetzten Energieziele geplant und ausgeführt werden. Diese **Ablauflenkung** muss an die verantwortlichen Mitarbeiter kommuniziert werden.²³⁹ Im Rahmen der **Auslegung** neuer bzw. veränderter Anlagen, Geräte, Prozesse etc. müssen die gesetzten Energieziele zwingend berücksichtigt werden. Dies muss sich auch entsprechend in der Dokumentation wiederfinden. Im Zuge der **Beschaffung von Energiedienstleistungen, Produkten, Einrichtungen und Energie** müssen Lieferanten darüber informiert werden, dass die Beschaffung auch unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs bzw. der Energieeffizienz geschieht, um auch hier eine Sensibilisierung zu erreichen. Insbesondere müssen diese Anforderungen für die Beschaffung dokumentiert und kommuniziert werden.²⁴⁰

Auch werden Anforderungen an das Energiecontrolling gestellt, das ganzheitlich „das Beherrschen des optimalen Energieflusses in Korrespondenz mit dem optimalen gesamtbetrieblichen Materialfluss, Produktionsprozess ja, gesamten Reproduktionsprozess von der Beschaffung bis zum Absatz“²⁴¹ umfasst. Hierzu zählen die **Überwachung, Messung und Analyse** der Verbräuche und bei Auftreten von **Nichtkonformitäten Korrekturen und Korrektur- und Vorbeugungsmaßnahmen**.²⁴²

Die **Einhaltung evtl. vorhandener rechtlicher Vorschriften und anderer Anforderungen** müssen in zeitlich geregelten Abständen bewertet und dokumentiert werden. Eine interne

²³⁸ vgl. [DIN50001], S. 15 f.

²³⁹ vgl. ebd., S. 16

²⁴⁰ vgl. ebd., S. 17

²⁴¹ [Sch05], S. 6

²⁴² vgl. [DIN50001], S. 18

Auditierung sollte ebenfalls in zuvor vereinbarten Zeitabständen erfolgen, um norm- und zielgerechte Ausgestaltung des EnMS zu gewährleisten. Die Ergebnisse dieser Audits sind entsprechend zu dokumentieren und umzusetzen.²⁴³

Die Überprüfung der Wirksamkeit des EnMS erfolgt regelmäßig durch das Top-Management im Zuge eines so genannten Management-Reviews. Im Ergebnis dieser Überprüfung müssen alle Entscheidungen und Maßnahmen enthalten sein, die sich auf die

- Veränderung der energiebezogenen Leistung gegenüber der letzten Überprüfung,
- Änderungen in der Energiepolitik, der Energieleistungskennzahlen sowie der Energieziele,
- Änderungen in weiteren Elementen des Energiemanagementsystems im Zuge der Verpflichtung zur kontinuierlichen Verbesserung und
- Änderung der Bereitstellung der erforderlichen Ressourcen

beziehen.²⁴⁴

Unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Aspekte ist ein EnMS das geeignete Instrument, um auch in Bauunternehmen und auf Baustellen die Reduzierung des Energieverbrauchs voranzutreiben und damit die Energie- und Betriebskosten gezielt zu senken.

5.3 Baubetriebliches Energiemanagementsystem

Die Einführung eines Energiemanagementsystems im Baubetrieb (EnMS-Bau) ist nicht verpflichtend, bringt aber auf Dauer Wettbewerbsvorteile, Kostenreduzierungen und minimiert den CO₂-Ausstoss. Die größten Chancen liegen wie immer im proaktiven Handeln. Zu einer nachhaltigen Unternehmensstrategie, die sich bewusst den Herausforderungen der Zukunft stellt, gehört die Umsetzung eines Energiemanagements. Einige Bauunter-

²⁴³ vgl. [DIN50001], S. 19

²⁴⁴ vgl. ebd., S. 19

nehmen erfassen bereits im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsberichterstattung ihre Energieverbräuche und CO₂-Emissionen, jedoch existieren noch keine detaillierten Einblicke in das Geschehen auf Baustellen. Es gilt also, den Verbrauch der Bauunternehmung (Büro, Fuhrpark, etc.) und des eigentlichen Baubetriebs zu unterscheiden. Dabei resultiert die größte Herausforderung aus den zuvor genannten Randbedingungen (wechselnde Standorte und Belegschaft, Witterungsabhängigkeit, Prototypenproduktion) der Bauproduktion. Dennoch zeigen die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit, dass die Erfassung, Reduzierung und Optimierung der Energieverbräuche systematisch möglich und vor allem lohnenswert ist:

Für das Management energieintensiver Prozesse sind in Bauunternehmen selten Instrumente vorhanden, die eine Dokumentation, Kontrolle oder gar deren Steuerung erlauben. Hinsichtlich der Kalkulation fehlt eine systematische Kontrolle der gewählten Ansätze, die teilweise stark von den wirklichen Werten abweichen. Für die Planung des Geräteeinsatzes sind keine Möglichkeiten vorhanden, verschiedene Geräte oder Gerätegruppen energetisch zu vergleichen. Energieeinsparpotenziale durch angepasste Bauabläufe werden nicht ausgeschöpft. Eine Anpassung laufender Bauprozesse erfolgt, wenn überhaupt, nur dann, wenn die Bauleistungen stark vom Soll abweichen.²⁴⁵ Diese Defizite können durch ein systematisches Energiemanagement behoben werden.

Um die Effizienz des Energieeinsatzes zu ermitteln und zu erhöhen, muss diese auf sämtlichen Ebenen erfasst und bewertet werden. Dies kann mit Hilfe eines Energiemanagements erfolgen. Dazu gehören mindestens der kostengünstige Einkauf und bewusste Einsatz von Energie, ein regelmäßiges Monitoring, die Identifizierung weiterer Energieeinsparpotenziale und die Sensibilisierung und Schulung des betreffenden Personals. Bevor allerdings der Energieverbrauch und die -kosten mittels eines Managementsystems überwacht werden können, ist die Erfassung des Ist-Zustandes im Unternehmen unabdingbar. Idealerweise kann so eine ausreichende Datengrundlage geschaffen und mit den erbrach-

²⁴⁵ vgl. [HNR11], S. 105

ten Leistungen gekoppelt werden. Auf dieser Basis können Kalkulation und Arbeitsvorbereitung unterstützt und Bauprozesse mit einem geringeren Energieeinsatz geplant werden.

In der Bauwirtschaft sind Energiemanagementsysteme weitaus weniger verbreitet als in der stationären Industrie. Sind Teile vorhanden, wird der Bauprozess nicht in die energetische Untersuchung mit einbezogen. Die Hemmnisstruktur ist nach wie vor unverändert. Es mangelt in erster Linie an Know-how, personellen und finanziellen Ressourcen für die Umsetzung von Maßnahmen. Dabei setzen Energieeinsparmaßnahmen geringe Investitionen voraus und sind vergleichsweise einfach umzusetzen. Durch zahlreiche Prozessbeobachtungen und -auswertungen konnten Lösungsansätze herausgefiltert werden. Prinzipiell liegen die Potenziale in den Bereichen Technik, Organisation und Personal. Zu den Vorteilen der Nutzung eines systematischen Energiemanagements gehören:²⁴⁶

- Erhöhung der Datentransparenz und Kalkulationssicherheit
- Reduzierung der Energiekosten
- Senkung der Baumaschinenkosten
- Kontinuierliche Verbesserung des Energieeinsatzes
- Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit
- Reduktion des CO₂-Ausstoßes
- Sensibilisierung der Mitarbeiter

Die Etablierung eines EnMS-Bau setzt die Kenntnis der Bauprozesse voraus. Je genauer diese bekannt sind, geplant und umgesetzt werden können, desto höher ist das ausschöpfbare Einsparpotenzial. Neben der Optimierung im Baubetrieb durch das Baumanagement muss ein Energiemanagement ganzheitlich in allen Projektphasen zuvor und organisatorisch im gesamten Bauunternehmen greifen. In der folgenden Abbildung werden alle Maßnahmen, die im Rahmen der vorangegangenen Prozessanalysen entwickelt wurden,

²⁴⁶ vgl. [Deu15]

den unterschiedlichen Projektphasen einer Baumaßnahme zugeordnet und anschließend detailliert erläutert.



Abb. 5.11: Maßnahmen im Rahmen eines EnMS-Bau über alle Bauprojektphasen

5.3.1 Aspekte des EnMS in der Ausschreibung und Vergabe (Präqualifizierung)

Bauunternehmen bekennen sich mittlerweile zu nachhaltigem Handeln, indem sie sich entsprechende Ziele setzen, diese dokumentieren und im Rahmen von Nachhaltigkeitsberichten kommunizieren. Sie veröffentlichen Kennzahlen zum Strom- und Kraftstoffverbrauch sowie zu den Treibhausgasemissionen. In diesem Zusammenhang werden auch Anforderungen an Nachunternehmer und Lieferanten gestellt.²⁴⁷ Hier besteht die Möglichkeit, entsprechend der SKAO CO₂-Performanceladder²⁴⁸ Nachunternehmern und Zulieferern im Rahmen der Präqualifizierung in Abhängigkeit ihrer CO₂-Performance Vorteile bei der Auftragsvergabe einzuräumen.²⁴⁹ Über dieselben Mechanismen kann auch der Bauherr Bauunternehmen dazu anhalten, sich mit den eigenen CO₂-Emissionen auseinanderzusetzen und dies entsprechend honorieren. Die CO₂-Performanceladder ist kompatibel mit den Europäischen Verordnungen und dem öffentlichem Vergaberecht.

5.3.2 Aspekte des EnMS in der Kalkulation

Die Kalkulation (Baufauftragsrechnung) dient der auftragsbezogenen Kostenermittlung und ist somit die Grundlage für die Angebotsabgabe und elementarer Bestandteil der Kosten- und Leistungsrechnung von Bauunternehmen. Die Qualität der Kalkulation beeinflusst maßgeblich die Auftragserteilung und unmittelbar den wirtschaftlichen Erfolg einer Baumaßnahme.²⁵⁰

Auswahl der Bauproduktionsmittel

Daher sollte bereits in der Kalkulationsphase auf energieeffiziente und energiesparende Baumaschinen zurückgegriffen werden. Die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit haben gezeigt, dass häufig andere Gerätegrößen oder Gerätearten auf den Baustellen zum Einsatz kommen, als ursprünglich in der Kalkulation vorgesehen. Dadurch entstehen viel-

²⁴⁷ vgl. [Hoc13] und [Str12]

²⁴⁸ vgl. Kapitel 3.6

²⁴⁹ vgl.ebd.

²⁵⁰ vgl. [ZDK02], S. 2-58 ff.

fach Abweichungen von der ursprünglich angesetzten Leistung und beim Kraftstoffverbrauch. Daher sollten organisatorische Maßnahmen dafür ergriffen werden, dass die ausgewählten Baumaschinen für die spätere Auftragsabwicklung zur Verfügung stehen. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die Gerätegröße für verschiedene Leistungen selten variiert wird. So wird in der Kalkulation durchweg über alle Leistungen hinweg mit einer Baugröße einer Baumaschine gerechnet. Würde entsprechend der später tatsächlich eingesetzten Baumaschinen kalkuliert werden, so ergäben sich genauere Gerätekosten, was sich positiv auf den wirtschaftlichen Erfolg auswirken würde.

Dokumentation des Energieverbrauchs

Die für die Kalkulation gewählten Ansätze werden in der Praxis auf Grundlage der Motorleistung bestimmt. Dabei wird der Kraftstoffbedarf mit einem geschätzten Faktor abgemindert. Wie sich gezeigt hat, weichen die Verbräuche in der Praxis teilweise extrem von den Werten der Kalkulation ab. Vorausgesetzt, dass andere Bauunternehmen ähnlich kalkulieren, könnten Wettbewerbsvorteile bei der Vergabe erreicht werden, wenn mit tatsächlichen Verbrauchsansätzen kalkuliert würde. Voraussetzung hierfür ist die Dokumentation und Analyse des Kraftstoffverbrauchs. Durch eine gezielte Ermittlung und Dokumentation von Kraftstoffverbrauchskennzahlen während der Bauwerkserstellung und durch die systematische Pflege der ermittelten Werte durch die Nachkalkulation ließe sich eine höhere Kalkulationssicherheit erzielen. Diese Kennzahlen können darüber hinaus für Investitionsentscheidungen beim Kauf von Baumaschinen herangezogen werden. Da Energiekosten kontinuierlich steigen, sollten sie aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht weiter ausgeblendet werden. Gleichzeitig führt die Dokumentation der Kraftstoffverbräuche zu einer Sensibilisierung der verantwortlichen Mitarbeiter auf der Baustelle und zu einem bewussteren Umgang mit Energieträgern. Die Dokumentation des Kraftstoffverbrauchs bildet den ersten Schritt, den CO₂-Fußabdruck der Baustellentätigkeit zu erfassen.

5.3.3 Aspekte des EnMS in der Vertragsgestaltung (Energiepreisgleitklausel)

Bei der Angebotserstellung wird der Kraftstoffpreis zum Zeitpunkt der Kalkulationserstellung festgelegt und bleibt über die gesamte Ausführungsdauer bestehen. In den Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit zeigte sich allerdings, dass es zu erheblichen Kraftstoff-

preisänderungen kommen kann. Beispielsweise wurde bei der untersuchten Deponiebaumaßnahme der Dieselpreis mit 0,95 €/l (Kalkulationszeitpunkt Februar 2010) angesetzt. Während der Ausführung musste allerdings der Kraftstoff zu Preisen zwischen 1,19 €/l (Mai 2011) und 1,28 €/l (April 2011) eingekauft werden. Dem Bauunternehmen entstanden so tatsächlich zwischen 19 % und 33 % höhere Energiekosten. Preissteigerungen dieser Art können dramatische Auswirkungen auf den Erfolg von Bauunternehmen haben. Da das Risiko hier allein beim Auftragnehmer liegt, sollte dieses Ungleichgewicht mit Hilfe einer Preisgleitklausel für Energie ausgeglichen werden. Nach § 9 Abs. 9 der VOB/A sind Preisgleitklauseln zulässig: *„Sind wesentliche Änderungen der Preisermittlungsgrundlagen zu erwarten, deren Eintritt oder Ausmaß ungewiss ist, so kann eine angemessene Änderung der Vergütung in den Vertragsunterlagen vorgesehen werden. Die Einzelheiten der Preisänderungen sind festzulegen.“*²⁵¹

5.3.4 Aspekte des EnMS in der Arbeitsvorbereitung

Die systematische Arbeitsvorbereitung eines Bauunternehmens gliedert sich in die Bereiche Fertigungsplanung und Fertigungssteuerung und beschäftigt sich mit den innerbetrieblichen Prozessen. Die Fertigungsplanung umfasst die Bauablauf-, Mittel-, und Baustelleneinrichtungsplanung sowie die Dokumentation und verfolgt das Ziel, die Durchführung des Bauauftrages unter den gegebenen Randbedingungen mit den geringstmöglichen Kosten durchzuführen.²⁵² Im Gegensatz zur stationären Industrie muss die Arbeitsvorbereitung für jede Baustelle erneut durchgeführt werden, wobei durch Dokumentation und Aufbereitung vorangegangener Planungen Lösungen übertragen und weiter verbessert werden können.

²⁵¹ [VOB12]

²⁵² vgl. [Wie10], S. 195 ff.

Aspekte des EnMS in der Bauablaufplanung

Durch die die Auswahl von Bauverfahren und der Baumaschinen können unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen (bspw. notwendig werdende Winterbaumaßnahmen) optimierte Betriebsabläufe erreicht werden. Somit besteht in der Bauablaufplanung die Möglichkeit, bereits in der Planungsphase durch die Vermeidung von Lastspitzen auf die Energiekosten einzuwirken.

Aspekte des EnMS in der Kapazitätenplanung

Die Kapazitätenplanung gliedert sich in die Bauproduktionsmittel-, Baustellenbelegschafts- und Baustoffbereitstellungsplanung.

Bauproduktionsmittelplanung

Nachdem die Bauverfahren ausgewählt wurden, werden die Anzahl, Art, Leistungsfähigkeit, Dauer des Einsatzes und Einsatzzeitpunkte der Bauproduktionsmittel festgelegt. Hierbei ist im Rahmen eines EnMS-Bau zu beachten, dass die der Kalkulation zugrunde liegenden energiesparenden und -effizienten Baumaschinen eingesetzt werden. Der Einsatz abweichender Baumaschinen würde die aus dem EnMS-Bau resultierenden Optimierungspotenziale und damit die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen ungenutzt lassen. Sofern Anmietungen notwendig sind, muss auf energiesparende und -effiziente Baumaschinen zurückgegriffen werden. Dies muss den Baumaschinenvermietern explizit kommuniziert werden, um auch bei ihnen eine entsprechende Sensibilisierung für die Thematik zu erzielen. Unter denselben Aspekten sind auch alle weiteren Dienstleistungen und insbesondere Energie (bspw. Ökostrom) einzukaufen.

Baustellenbelegschaftsplanung

Die Stärke der Baustellenbelegschaft wird in Übereinstimmung mit dem Bauzeitenplan bestimmt. Im Hinblick auf die verfügbare Baustelleninfrastruktur und dem damit verbundenen Energieverbrauch müssen Belegschaftsspitzen vermieden werden. Darüber hinaus muss Personal eingeplant werden, das entsprechend sensibilisiert und geschult wurde, um die aus dem EnMS-Bau resultierenden Potenziale auszuschöpfen. Auch die Begründung für die Auswahl geeigneter Mitarbeiter muss kommuniziert werden, um weitere Mitarbei-

ter zu motivieren und zu sensibilisieren. Die gleichen Kriterien müssen konsequenterweise bei der Auswahl und dem Einsatz von Nachunternehmern herangezogen werden.

Baustoffbereitstellungsplanung

Die für die Bauwerkserstellung notwendigen Baustoffmengen werden aus den Ausschreibungsunterlagen bzw. Leistungsmengen und den technischen Unterlagen abgeleitet. Die Zeitpunkte für ihre Bereitstellung ergeben sich aus den Bauablaufplänen. Aufgrund der wenig vorhandenen Lagerflächen erfolgt die Baustoffversorgung der meisten Baustellen „just in time“. Dies sollte auch im Rahmen eines EnMS-Bau geschehen, da so Baustellen Transporte vermieden und Energie eingespart werden kann. Andererseits kann es infolge von Verzögerungen bei der Materialversorgung zu Stillstandzeiten kommen.

Baustelleneinrichtungsplanung

Der wirtschaftliche Erfolg eines Bauprojektes hängt in hohem Maße von einer effizienten Baustelleneinrichtung ab, die für jede neue Baumaßnahme temporär so eingerichtet werden muss, dass ein ungestörter Bauablauf gewährleistet ist. Dazu gehören insbesondere kurze Wege und gut eingerichtete Arbeits- und Lagerplätze.²⁵³ Im Zuge eines EnMS-Bau muss bei der Wahl der Container, Leuchtmittel, Beheizung und der Bürokommunikationsmittel auf Energieeffizienz geachtet werden. Auch die Auswahl des Stromversorgers und Stromliefervertrages (Haupt- und Nebentarife, Ökostrom) bieten ausschöpfbare Einsparpotenziale.

5.3.5 Aspekte des EnMS im Baumanagement

Das Baumanagement, das die Leitung und Organisation des Bauprojektes zur Aufgabe hat, trägt im Rahmen eines EnMS-Bau während der Ausführungsphase wesentliche Verantwortung für die Realisierung der vorhandenen Energieeinsparpotenziale. Zu den Aufgaben in diesem Zusammenhang gehören:

²⁵³ [DR71], S. VIII

Klärung von Verantwortlichkeiten

Voraussetzung für die Umsetzung eines EnMS-Bau ist die Benennung eines Verantwortlichen für das Energiemanagement auf der Baustelle. Dieser Energiemanager ist für die Verwirklichung des EnMS-Bau auf der Baustelle verantwortlich und muss die entsprechenden Befugnisse besitzen und das Energiecontrolling durchführen.

Energiecontrolling

Das Energiecontrolling hat die Umsetzung, Überwachung und Steuerung der geplanten Maßnahmen zum Ziel. Hierzu müssen Energieverbrauchsdaten erfasst und Kennzahlen gebildet werden, um diese mit den Zielwerten zu vergleichen.²⁵⁴ Sofern Abweichungen auftreten, sind Korrektur- und Vorbeugungsmaßnahmen einzuleiten. Gleichzeitig sind Mitarbeiter und Nachunternehmer für die Thematik zu sensibilisieren und zu schulen. Darüber hinaus sollten die Bemühungen, im Zuge eines EnMS-Bau besonders umweltschonend und CO₂-sparend zu bauen, projektintern und auch extern (bspw. über ein Bauschild) kommuniziert werden. Ebenso gehören eine abschließende Bewertung der Einhaltung der Vorgaben und durchgeführten Maßnahmen sowie die Entwicklung weiterer Maßnahmen zu den Aufgaben des Energiemanagers im Zuge des Energiecontrollings.

Für die erfolgreiche Umsetzung der vorgestellten Maßnahmen, die zu einem bewussten und sparsamen Umgang aller Beteiligten mit Energieträgern führen sollen, ist die Initiierung durch das Top-Management, also der Geschäftsführung des Bauunternehmens notwendig. Diese muss den Maßnahmen den angemessenen Stellenwert einräumen und deren unmittelbare Umsetzung unterstützen.

²⁵⁴ vgl. [Deu12]

6 Fazit

Das folgende Kapitel gibt einen kurzen, zusammenfassenden Überblick der im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse und stellt weiterführende Fragestellungen dar, die in Zukunft untersucht werden sollten.

6.1 Zusammenfassung

Die die Bauwirtschaft wird maßgeblich von kleinen und mittelständischen Bauunternehmen (KMBU) geprägt, die 74,1 % des Gesamtumsatzes erwirtschaften.²⁵⁵ Vor dem Hintergrund der angespannten wirtschaftlichen Situation vieler Bauunternehmen, führt der anhaltende Preiswettbewerb zu mangelhafter Bauausführung, nachlässigem Umgang mit Ressourcen und in der Konsequenz zu wirtschaftlichem Misserfolg.²⁵⁶ Aber auch unter diesen schwierigen Rahmenbedingungen muss wirtschaftliches Arbeiten möglich sein. In der Regel fehlen den KMBU die Strukturen, die personellen Kapazitäten und die Zeit, um neben dem operativen Geschäft die eigene Organisations- und Ablaufplanung zu hinterfragen und Defizite im Umgang mit der Ressource Energie aufzudecken und zu beheben.²⁵⁷ Die im Zuge dieser Arbeit durchgeführte Umfrage²⁵⁸ zeigt, dass es in den Bauunternehmen überwiegend an Einsicht und Wissen mangelt, vorhandene Energieeffizienz- und -einsparpotenziale zu nutzen. Es sind keine bzw. kaum Kenntnisse über die tatsächlichen Energieverbräuche, mögliche Einsparpotenziale und den Nutzen neuer Technologien vorhanden. Aufgrund der zunehmenden Verknappung und der Endlichkeit fossiler Brenn-

²⁵⁵ vgl. Kapitel 2.3

²⁵⁶ Im Jahr 2014 erreichte die Insolvenzhäufigkeit deutscher Bauunternehmen einen Tiefpunkt mit 156 Insolvenzen bezogen auf 10.000 Bauunternehmen. Zum Vergleich: Im Jahr 2000 lag diese noch bei 446 pro 10.000. Dennoch ist die Insolvenzhäufigkeit deutscher Bauunternehmen im Vergleich mit dem Mittel der Insolvenzhäufigkeit aller Unternehmen im Jahr 2015 (74 pro 10.000) etwa doppelt so hoch. Vgl. [HDB15b]

²⁵⁷ vgl. [HNR11], S. 105

²⁵⁸ vgl. Kapitel 5.1

stoffe ist aber weiterhin mit kontinuierlichen Energiepreisteigerungen zu rechnen.²⁵⁹ Um in Zukunft gleichzeitig kostengünstig und umweltschonend bauen zu können, wurden im Rahmen dieser Arbeit zum einen die Bauabläufe und zum anderen die eingesetzten Baumaschinen im Hinblick auf energetische Optimierungspotenziale untersucht.²⁶⁰

Als Ergebnis konnten Energieverbräuche der Bauprozesse unterschiedlicher Bauphasen und unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen Einflüsse ermittelt werden. Gleichzeitig wurden Potenziale aufgezeigt, die systematisch mit technischen, organisatorischen und personellen Maßnahmen im Bauunternehmen und auf Baustellen erschlossen werden können. Der Fokus liegt hierbei insbesondere auf den maschinenintensiven Arbeiten wie z. B. dem Erdbau. Der Erdbau wird entsprechend der Wirtschaftszweigsystematik WZ 2008²⁶¹ dem Tiefbau zugeordnet und hat einen wesentlichen Anteil am Gesamtumsatz des Bauhauptgewerbes. In der folgenden Abbildung wird die Entwicklung dieses Anteils dargestellt.

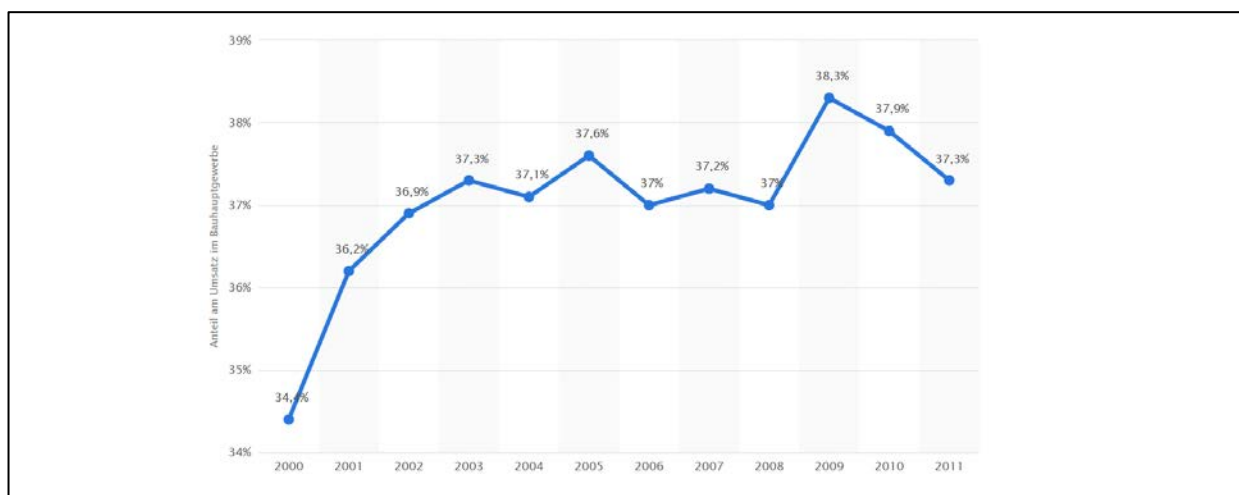


Abb. 6.1: Anteil des Umsatzes im Tiefbau am Gesamtumsatz im Bauhauptgewerbe²⁶²

²⁵⁹ Auch wenn der Ölpreis sich seit Mitte 2014 beinahe halbiert hat und im April 2015 knapp unter 60 Dollar pro Barrel (159 Liter) lag, ist davon auszugehen, dass er langfristig weiterhin steigen wird, da es aufgrund des Preisverfalls zu drastischen Investitionskürzungen bei langfristig angelegten Ölprojekten sowie bei der Entwicklung und Herstellung synthetischer und biologischer Kraftstoffe kommt. Vgl.: [Sch15] und [Buk15]

²⁶⁰ vgl. Kapitel 4

²⁶¹ vgl. [SB08a]

²⁶² [Sta15]

Vor dem Hintergrund, dass bei diesen maschinenintensiven Leistungen der Anteil der Treibstoffkosten an den Gesamtherstellkosten bei etwa 8 %²⁶³ liegt, wird die gesamtbauwirtschaftliche Relevanz von Einsparmöglichkeiten deutlich. Um diesen Anteil zu ermitteln, wurden Erdbau- und Deponiebaumaßnahmen unter Berücksichtigung der spezifischen Randbedingungen der Baustellen sowie der ursprünglich kalkulierten Energiekosten untersucht, indem geeignete Einzelleistungen ausgewählt und einer Prozessanalyse unterzogen wurden. So wurde, neben der Identifikation von Optimierungspotenzialen in den Bereichen Technik, Organisation und Personal, auch die Qualität der gewählten Kalkulationsansätze bewertet.

Auch der Stromverbrauch, der überwiegend aus dem Unterhalt der Baustelleneinrichtung resultiert, birgt ein vielversprechendes Einsparpotenzial. Zu den Hauptverbrauchern gehören die Beleuchtung, Kühlung und Beheizung der Baustelle und der Baucontainer. Der Einfluss von Kleingeräten in der Ausbauphase trägt nur gering zum Gesamtstromverbrauch bei. Insgesamt zeigte sich eine fehlende Sensibilität bzgl. des Stromverbrauchs: Optimierungspotenziale könnten überwiegend durch einfache Maßnahmen, wie verbesserter Organisation und Sensibilisierung des Personals, erschlossen werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse wurden anschließend in ein Konzept für ein baubetriebliches Energiemanagementsystem über alle Projektphasen hinweg überführt.²⁶⁴ In diesem Zusammenhang wurden Instrumente erarbeitet, die im Projektablauf den entsprechenden Projektphasen zugeordnet wurden, um die aufgezeigten Potenziale systematisch zu nutzen. Um diese Systematik umzusetzen, muss im ersten Schritt die Erfassung des Energieverbrauchs erfolgen, um eine Datengrundlage für spätere Optimierungsmaßnahmen zu schaffen und diese in Beziehung zu den erbrachten Bauleistungen zu bringen. Gleichzeitig können so effiziente Maschinen und Prozesse identifiziert und die Kalkulation sowie Arbeitsvorbereitung dahingehend unterstützt werden, Bauprozesse mit einem geringen Energieverbrauch zu planen und umzusetzen. Für die Umsetzung ist die Schulung und Sensibilisierung der gewerblichen Mitarbeiter unabdingbar, da große Einsparpotenziale be-

²⁶³ vgl.: Kapitel 4.4.14

²⁶⁴ vgl.: Kapitel 5.3

reits durch Verhaltensanpassungen ausgeschöpft werden können. Die entwickelte Systematik liefert Bauunternehmen so die Möglichkeit, mit verhältnismäßig geringem Aufwand vorhandene Potenziale aufzudecken und zu nutzen und verknüpft so den Gedanken des umweltschonenden Wirtschaftens mit betriebswirtschaftlich sinnvollem Handeln. Neben Marketing- und Imagevorteilen, die ein bewusster Umgang mit Energie und Umwelt mit sich bringt, kann so durch direkte Kosteneinsparungen auch die Wettbewerbsfähigkeit von Bauunternehmen gestärkt werden. Über die Kostenvorteile hinaus, müssen weitere Anreize für Bauunternehmen geschaffen werden, sich aktiv an der Energieeinsparung im Sinne des Klimaschutzes zu beteiligen. Dies kann beispielsweise durch systematisierte Vergabevorteile bei Projekten der öffentlichen Hand geschehen. Erst wenn Bauunternehmen alle bestehenden wirtschaftlichen Vorteile erkennen, werden sie sich verstärkt für einen schonenden Umgang mit der Ressource Energie einsetzen.²⁶⁵

6.2 Ausblick und Empfehlung für das weitere Vorgehen

Der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie hat die Zeichen der Zeit erkannt:

„Über Energie muss nachgedacht werden, Energie muss gespart werden, der CO₂-Ausstoß muss verringert werden, dabei müssen Kosten gesenkt werden. Der Bauwirtschaft bietet sich dabei ein großes Betätigungsfeld. Sie muss selbst aktiv werden, neue Ideen entwickeln und Innovationen in die Praxis umsetzen. Und es wird höchste Zeit, dass die deutsche Bauwirtschaft der eigenen Energieeffizienz und Emissionsreduzierung als wichtigen Wettbewerbsvorteil sehr große Bedeutung beimisst. Sie muss nachdenken über den hohen Dieserverbrauch der Baugeräte und des Fuhrparks, über Alternativen zu Geschäftsreisen oder zu Materialien wie Granit aus China.“²⁶⁶

Um das Thema Energieeffizienz in angemessener Weise in allen Phasen der Bauproduktion zu berücksichtigen, bedarf es der Umsetzung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten

²⁶⁵ vgl. [HNR11], S. 106

²⁶⁶ [Pöl11]

Grundlagen für ein baubetriebliches Energiemanagementsystem. Wie zuvor analysiert, formulieren börsennotierte Baukonzerne bereits Umwelt- bzw. Nachhaltigkeitsziele. Unternehmen anderer Wirtschaftszweige, in denen die Fertigungsprozesse wesentliche Umweltbelastungen nach sich ziehen und bei denen die Energieverbräuche einen wichtigen wirtschaftlichen Faktor bilden, nutzen Energiemanagementsysteme und sind im Besitz entsprechender Zertifizierungen, die auf den Regelungen der DIN EN ISO 50001 und DIN ISO 14001 basieren. Auch Bauunternehmen steht es offen sich im Bereich des Energiemanagements zu qualifizieren und so Wettbewerbsvorteile zu generieren.²⁶⁷

Als wesentliche Schwierigkeit für die energieeffiziente und -sparende Ausführung von Bauleistungen kann zweifelsohne die fehlende Vergleichbarkeit von Baumaschinenverbräuchen genannt werden. Zum heutigen Zeitpunkt besteht nach wie vor nicht die Möglichkeit, die Lebenszykluskosten von Baumaschinen unter Berücksichtigung des tatsächlichen Kraftstoffverbrauchs zu ermitteln. Dies setzt die einheitliche Ermittlung von Energieverbräuchen auf Grundlage eines genormten Verfahrens voraus. Hier kann auf das Forschungsprojekt „Standardisierung definierter Lastzyklen und Messmethoden zur Energieverbrauchsermittlung von Baumaschinen (DeLaBau)²⁶⁸ hingewiesen werden, das auf den Erkenntnissen, die auch dieser Arbeit zu Grunde liegen, basiert. Im Rahmen des Projektes DeLaBau werden die notwendigen Vorarbeiten für die Normung und Standardisierung eines Messverfahrens zur Ermittlung von Baumaschinenverbräuchen erarbeitet.

Mittelfristig ist davon auszugehen, dass das wachsende Verantwortungsbewusstsein der Auftraggeber in Deutschland ähnliche Anreizsysteme wie in den Niederlanden (SKAO) und Großbritannien (CrossRail)²⁶⁹ nach sich ziehen wird. Bei der Ausschreibung und Vergabe des Projektes „Abwasserkanal Emscher, BA 40“ im Jahre 2013 wurde das Thema durch

²⁶⁷ vgl. [HNR11], S. 107

²⁶⁸ vgl. URL: <http://www.abz-essen.de/ueber-uns/projekte/dela-bau/> und URL: <http://www.iz3.uni-wuppertal.de/forschung-und-lehre.html#c7820> (Stand 29.03.2016)

²⁶⁹ vgl. Kapitel 3.6

Bewertung der zu erwartenden CO₂-Emissionen der Baumaschinen berücksichtigt, wobei die Summe des geschätzten Verbrauchs ausgewertet und mit denen der anderen Bieter verglichen wurde.²⁷⁰ Dies zeigt sehr eindrucksvoll, dass bereits versucht wird der Thematik den notwendigen Platz zu bieten, aber aufgrund der vorhandenen Defizite und nicht vorhandener belastbarer Verbrauchsangaben, noch auf Schätzungen zurück gegriffen werden muss.

Gleichzeitig hat diese Untersuchung gezeigt, dass dem Thema Energieeffizienz im Baubetrieb lediglich ein untergeordnete Rolle zukommt und somit ein zwingender Handlungsbedarf besteht: In Bauunternehmen werden selten Instrumente systematisch genutzt, die eine Dokumentation, Kontrolle und Steuerung energieverbrauchender Prozesse ermöglichen. In der Kalkulationsphase fehlt eine systematische Kontrolle und Anpassung der gewählten Ansätze für Energieverbräuche, die teilweise stark von den wirklichen Werten abweichen. Für den Einkauf und die Einsatzplanung der Baumaschinen fehlen die Grundlagen, um verschiedene Baumaschinen unterschiedlicher Hersteller energetisch miteinander zu vergleichen. Im Zuge der Untersuchung zeigte sich, dass hier große Unterschiede bestehen, die für den wirtschaftlichen Erfolg einer Baumaßnahme von grundlegender Relevanz sind. Im Baubetrieb erfolgt eine Anpassung laufender Bauprozesse nur dann, wenn die Bauleistungen stark vom Soll abweichen. Energieeinsparpotenziale durch angepasste Bauabläufe werden nicht erkannt und somit nicht ausgeschöpft. Dieses fehlende Wissen schlägt sich auch im Verhalten der Baugeräteführer nieder.²⁷¹ Daher ist es von grundlegender Relevanz, das Personal und insbesondere die Baumaschinenführer zu sensibilisieren und zu schulen. Die Aspekte des Umgangs mit Energie müssen zukünftig in die Ausbildung von Baumaschinenführern Eingang finden. Auch erscheint die Entwicklung eines Berufsbildes *Energie- und Umweltmanager für Baustellen* sinnvoll. Es ist vorstellbar, dass ein Energiemanager mehrere Bauprojekte gleichzeitig betreut und so systematisch Potenziale erschließt.

²⁷⁰ vgl. [DBT15], S. 40

²⁷¹ vgl. [HNR11], S. 105 f.

Green-Building-Zertifikate (bspw. DGNB) berücksichtigen keine Energieeffizienzaspekte der Erstellungsphase. Hier bestünde prinzipiell die Möglichkeit, entsprechende Aspekte zu implementieren und der Thematik einen wichtigen Stellenwert einzuräumen. In Zukunft sollten Angaben der zu erwartenden Energieverbräuche und der damit verbundenen CO₂-Emissionen in Ausschreibungen gefordert werden, um diese in die Bewertung der Angebote einfließen zu lassen. Hier sind im ersten Schritt öffentliche Bauherren als Impulsgeber gefordert.

Quellenverzeichnis

- [AHO04] AHO-FACHKOMMISSION BAUFELDFREIMACHUNG / ALTLASTEN: *Arbeitshilfen zur Vereinbarung von Leistungen und Honoraren für den Planungsbereich "Baufeldfreimachung"*, Schriftenreihe des AHO, 18, Bundesanzeiger 2004
- [Atk11] ATKEARNEY: *Carbon Disclosure Project - Supply Chain Report 2011*, URL: <https://www.cdp.net/CDPResults/CDP-2011-Supply-Chain-Report.pdf> (Stand: 28.03.2016)
- [Azi11] AZIMI, S. A.: *Optimierung der Kalkulation für KMBU unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs am Beispiel eines Tiefbauunternehmens in Wuppertal*, Unveröffentlichte Diplomarbeit am Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, Bergische Universität Wuppertal, 2011
- [Bam13] ROYAL BAM GROUP: *Sustainability Report 2013*, URL: <http://www.bam.eu/sites/default/files/domain-106/documents/bam-2013-sustainability-report-106-14083652861965143251.pdf> (Stand: 28.03.2016)
- [Bau07] BAUER, H.: *Baubetrieb*, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2007
- [BGKS06] BARGSTÄDT, H. J. / GUTTENBERGER, P. / KATH, T. / SCHUSTER, A. (Hrsg.): *Untersuchung zur verbesserten Energiebedarfsermittlung von Baustellen*, erschienen in: *Bautechnik*, Jg. 83, Heft Nr. 8, 2006, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2006
- [BZR15] BEZIRKSREGIERUNG DÜSSELDORF: *Neubau von Justizvollzugsanstalten NRW*, URL: <http://www.brd.nrw.de/wirueberuns/Jahresrueckblicke/rueckblick2009ver/jva1.html> (Stand: 28.03.2016)
- [BMU08] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU): *Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland*, Potsdam, 2008, URL: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimadeutschland_endbericht.pdf (Stand: 28.03.2016)

-
- [BMWi09] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE (BMWi) UND BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTOR-SICHERHEIT (BMU): *Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006*, Abschlussbericht 2009
- [BMWi10] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE: *Energie in Deutschland – Trends und Hintergründe zur Energieversorgung*, URL: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Bilder/Service/Publikation/energie-in-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (Stand: 28.03.2016)
- [BMWi15] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE: *Energiepreise und Energiekosten*, URL: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/energiepreise-energiekosten.html> (Stand: 28.03.2016)
- [Broi11] BROICHHAUS, C.: *Analyse der Energieeinsparpotenziale bei Erdbaumaßnahmen und Maßnahmenentwicklung zur Erhöhung der Energieeffizienz auf Baustellen*, Gesperrte Masterarbeit am Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, Bergische Universität Wuppertal, 2011
- [Brü07] BRÜSSEL, W: *Baubetrieb von A bis Z*, Werner Verlag, München, 2007
- [Buk15] BUKOLD, S.: *Der Ölpreiskollaps - Neue Ära oder nur kurze Episode? Hintergründe und Daten, Eine Kurzstudie im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, Berlin, 2015* URL: https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/energie/PDF/OEIpriese-Bericht-Bukold.pdf (Stand: 28.03.2016)
- [BuRe14] Die Bundesregierung, Klimaschutzziel bis 2020 erreichbar, Berlin, 2014, URL: <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2014/12/2014-12-03-aktionsprogramm-klimaschutz-2020.html> (Stand: 28.03.2016)
- [Car11] CARBON DISCLOSURE PROJECT: *Reports and data*, URL: <https://www.cdp.net/en-US/Results/Pages/reports.aspx>, (Stand: 28.03.2016)
- [Cro15] CROSSRAIL LTD.: *Carbon Footprint -Targeting construction energy*, URL: <http://www.crossrail.co.uk/sustainability/environmental-sustainability/energy-efficiency-and-carbon#constructionenergy> (Stand: 28.03.2016)

-
- [DBT15] DINGLINGER, J./ BUDACH, C./TAURIAINEN, R.: *Ökologische Nachhaltigkeitsaspekte bei großen Tunnelbauprojekten: Neueste Entwicklungen im In- und Ausland; Bewertungskriterien, Anwendungsbeispiele*, Forschung + Praxis 46: STUVA Tagung 2015, S. 39 – 43, Köln, 2015
- [Deu12] DEUTSCHE ENERGIEAGENTUR: *Energiecontrolling*, URL: <http://industrie-energieeffizienz.de/energiekosten-senken/energieeffizienz-prozesse/energiecontrolling/> (Stand: 28.03.2016)
- [Deu15] DEUTSCHE ENERGIEAGENTUR: *Energiemanagement. Energiekosten im Betrieb systematisch senken*, Motivationsbroschüre Energiemanagement, URL: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Stromnutzung/Dokumente/Motivationsbroschuere_Energiemanagement.pdf (Stand: 28.03.2016)
- [DeWe12] DER WESTEN: *Fünf große Mineralölkonzerne dominieren die Kraftstoffbranche*, Essen, 2012, URL: <http://www.derwesten.de/auto/fuenf-grosse-mineraloelkonzerne-dominieren-die-kraftstoffbranche-id6614762.html> (Stand: 28.03.2016)
- [DIN50001] DIN EN ISO 50001: *Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2011)*; Deutsche Fassung EN ISO 50001:2011
- [DR71] DREES, G.; REIFF, K. O.: *Die Baustelleneinrichtung : Entwurf, Planung, Beispiele*, München, Unterschleißheim, Werner Verlag, 1971.
- [EA15] ENERGIEAGENTUR NRW: *Energiepreise in Deutschland im Vergleich*, Berlin 2015, URL: <http://www.energieagentur.nrw.de/infografik/grafik.asp?RubrikID=3131> (Stand: 28.03.2016)
- [ECE15] ECE PROJEKTMANAGEMENT: *Informationsbroschüre “Neues Thier-Areal Dortmund”*, Hamburg, o. J., URL: http://www.ece.de/brochures/TGD/Thier-Galerie_Dortmund_DE.pdf, (Stand: 28.03.2016)
- [EU06] EU-Kommission: *RICHTLINIE 2006/32/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates*, Brüssel, 2006

-
- [EU14] EU-Commission: *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030*, Brussels, 2014
- [FAZ15] Frankfurter Allgemeine Zeitung: *Volkswagen-Chronik - Vom sauberen Auto zum schmutzigen Skandal*, Frankfurt, 2015, URL: <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/vw-abgasskandal/eine-chronik-des-abgasskandals-bei-volkswagen-13832087.html>, (Stand: 28.03.2016)
- [Gab14] WINTER E. (Hrsg.): *Gabler Wirtschaftslexikon*, Springer-Gabler Verlag 18., aktualisierte Auflage, Wiesbaden, 2014
- [Gar09] GARSTKA, B.: *Skriptum zur Vorlesungsreihe Bauproduktionsmittel*, Sommersemester 2009 Teil 3, Bergische Universität Wuppertal
- [Gur10] GUROV, E.: *Untersuchung des Energieverbrauchs der Ausbaugewerke von komplexen Hochbaumaßnahmen am Beispiel Neubau JVA-Wuppertal*, Unveröffentlichte Masterarbeit am Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, Bergische Universität Wuppertal, 2010
- [HDB15a] HAUPTVERBAND DER DEUTSCHEN BAUINDUSTRIE E.V.: *Statistik*, URL: <http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/statistik>, (Stand: 28.03.2016)
- [HDB15b] HAUPTVERBAND DER DEUTSCHEN BAUINDUSTRIE E.V.: *Bauwirtschaft im Zahlenbild*, URL: <http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/>, (Stand: 28.03.2016)
- [HK11] HOFFMANN, M. / KRAUSE, T. (HRSG.): *Zahlentafeln für den Baubetrieb*, Vieweg + Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden, 8. Auflage, 2011
- [HNR11] HELMUS, M. / NISANCIOGLU, S. / RANDEL, A.: *Entwicklung von Energiekonzepten zur Steigerung der Energieeffizienz und Reduzierung des CO₂-Ausstoßes auf Baustellen*, Abschlussbericht Az: 25780-24/2, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2011; <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-25780.pdf>, (Stand: 26.03.2016)
- [HNR12] HELMUS M. / NISANCIOGLU, S. / RANDEL, A.: *Energie und Ressourcen beim Betrieb von Baustellen sparen - Die effiziente Baustelle*, in: *tHis* - Ausgabe 02/2012, S. 96ff

-
- [Hoc09] HOCHTIEF AG: *Grüne Schätze - Mehrwert durch nachhaltige Immobilien*, Essen, 2009, URL: <http://www.hochtief.de/hochtief/mmdbdownload?id=41845&format=4>, (Stand: 26.03.2016)
- [Hoc13] HOCHTIEF AG: *Nachhaltigkeitsbericht 2013*, Essen, 2014, URL: <http://www.hochtief.de/hochtief/mmdbdownload?id=134359&format=4>, (Stand: 26.03.2016)
- [JCS05] JÖRISSSEN, J. / COENEN, R. / STELZER, V.: *Zukunftsfähiges Wohnen und Bauen. Herausforderungen, Defizite, Strategien*, edition sigma, Berlin, 2005
- [KFW05] KFW-BANKENGRUPPE: *Befragung zu den Hemmnissen und Erfolgsfaktoren von Energieeffizienz in Unternehmen*, Frankfurt am Main, 2005, URL: <https://www.kfw.de/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Sonderpublikationen/Sonderpublikation.pdf>, (Stand: 26.03.2016)
- [KGJ02] KUNZE, G. / GÖHRING H. / JACOB, K.: *Baumaschinen: Erdbau- und Tagebaumaschinen*, Band 10, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2002
- [Kön08] KÖNIG, H.: *Maschinen im Baubetrieb – Grundlagen und Anwendungen*, 2. erweiterte Auflage, Vieweg + Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2008
- [Ler10] LERCH, R.: *Elektrische Messtechnik - Analoge, digitale und computergestützte Verfahren*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2010
- [May08] MAYR, K.: *Frappierende Unterschiede beim Dieserverbrauch von Baumaschinen*, Attnang-Puchheim, Österreich, 2008 (siehe Anhang 6)
- [Nag98] NAGEL, U.: *Baustellen-Management*, Verlag Bauwesen, Berlin, 1998
- [Par11] PARKER HANNIFIN GMBH (HRSG.): *Eine Vielzahl kostensparender Lösungen - Durchflussmessgeräte & -schalter*, URL: http://www.hydrauliksysteme.com/WebRoot/Telegate/Shops/ZR_Hydraulik_GmbH_Erfststadt_49772038/MediaGallery/filter/Durchflussmessgerate-und-Schalter.pdf, (Stand: 28.3.2016)
- [Peh10] PEHNT, M.: *Energieeffizienz – Ein Lehr- und Handbuch*, Springer Verlag, Heidelberg, 2010
- [Pfe10] PFEIFER, C.: *Analyse der energieverbrauchenden Prozesse von Rohbauarbeiten bei Hochbaumaßnahmen am Beispiel „Neubau der JVA-Wuppertal“*, Un-

veröffentlichte Diplomarbeit am Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, Bergische Universität Wuppertal, 2010

- [Pöll11] PÖLLATH, K.: *Megatrends – Auswirkungen auf die Bauwirtschaft*, in Schach, R.(HRSG): Zukunftspotential Bauwirtschaft - Tagungsband 1. Internationaler BBB-Kongress am 15.09.2011 in Dresden, Institut für Baubetriebswesen, Dresden, 2011
- [Pro10] PROGNOSE AG: *Rolle und Bedeutung von Energieeffizienz und Energiedienstleistungen in KMU*, im Auftrag der KfW Bankengruppe, URL: http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/Prognos_Rolle_und_Bedeutung_von_Energieeffizienz_und_Energiedienstleistungen_in_KMU.pdf, Berlin, 2010, (Stand: 28.3.2016)
- [Pro11] PRORAIL: *Taking care for less CO₂*, URL: <http://www.prorail.nl>, (Stand: 28.3.2016)
- [Put15] PUTZMEISTER CONCRETE PUMPS GMBH: *Autobetonpumpen*, URL: http://www.pmw.de/cps/rde/xchg/SID-314E6F02-14C491C9/pm_online/hs.xsl/32_DEU_HTML.htm, (Stand: 28.3.2016)
- [Rie10] RIES, K.: *Analyse der energieverbrauchenden Prozesse von Erdbaumaßnahmen am Beispiel „Neubau der JVA- Wuppertal“*, Unveröffentlichte Diplomarbeit am Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, Bergische Universität Wuppertal, 2010
- [SB08a] STATISTISCHES BUNDESAMT (HRSG.): *Systematik der Wirtschaftszweige WZ 2008*, Wiesbaden, 2008, URL: https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationwz2008_erl.pdf?__blob=publicationFile, (Stand: 28.3.2016)
- [SB08b] STATISTISCHES BUNDESAMT (HRSG.): *Kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland*, in: STATmagazin, Wiesbaden, 2008, URL: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/STATmagazin/UnternehmenGewerbelnsolvenzen/2008_08/PDF2008_8.pdf?__blob=publicationFile; (Stand: 28.3.2016)
- [SB11b] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Umweltnutzung und Wirtschaft – Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen Teil 2: Energie, Rohstoffe*, Ausgabe 2011

-
- [SB15a] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Preise – Daten zur Energiepreisentwicklung*, URL: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergiepreisentwicklungPDF_5619001.pdf, (Stand: 28.3.2016)
- [SB15b] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Luftemissionen: Deutschland, Jahre, Luftemissionsart, Produktionsbereiche*, URL: <http://www.destatis.de>, (Stand: 28.3.2016)
- [Sch05] SCHIEFERDECKER, B. (HRSG): *Energiemanagement-Tools*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005
- [Sch15] SCHULTZ, S.: *Verunsicherte Investoren: Forscher warnen vor globaler Ölpreiskrise*, Hamburg, 2015, URL: <http://www.spiegel.de/wirtschaft/service/oelpreis-forscher-warnt-vor-globaler-oelpreiskrise-a-1028947.html>, (Stand: 28.3.2016)
- [Sta15] STATISTA: *Anteil des Umsatzes im Tiefbau am Gesamtumsatz im Bauhauptgewerbe in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2014*, URL: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/255221/umfrage/bedeutung-des-tiefbaus-innerhalb-des-deutschen-bauhauptgewerbes/>, (Stand: 28.3.2016)
- [Str10] STRABAG SE: *Nachhaltigkeitsbericht 2010 – Entdecken Sie unsere Nachhaltigkeit*, Wien, 2011, URL: [http://www.strabag.com/databases/internet/public/files.nsf/SearchView/95967F2AD40A01F3C1257E8F004926C3/\\$File/STRABAG_NHBericht_2010_D.pdf](http://www.strabag.com/databases/internet/public/files.nsf/SearchView/95967F2AD40A01F3C1257E8F004926C3/$File/STRABAG_NHBericht_2010_D.pdf), (Stand: 28.03.2016)
- [Str13] STRABAG SE: *Online-Nachhaltigkeitsbericht 2013*, Wien, 2015, URL: [http://www.strabag.com/databases/internet/public/files.nsf/SearchView/95967F2AD40A01F3C1257E8F004926C3/\\$File/Online-NH-Bericht2013.pdf](http://www.strabag.com/databases/internet/public/files.nsf/SearchView/95967F2AD40A01F3C1257E8F004926C3/$File/Online-NH-Bericht2013.pdf), (Stand: 28.3.2016)
- [UBA11] UMWELTBUNDESAMT: *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix*, Dessau-Roßlau, 2015 URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_09_2015_entwicklung_der_spezifischen_kohlendioxid-emissionen_1.pdf, (Stand: 28.3.2016)
- [UBA15] UMWELTBUNDESAMT: *Treibhausgas-Emissionen und Minderungsziele für Deutschland*, Dessau-Roßlau, 2014 URL: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_thg-emissionen_2014-08-11_0.pdf, (Stand: 28.3.2016)

- [VOB12] *VOB - Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil A: Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen*, Fassung 2012
- [Wie10] WIENDAHL, H.-P.: *Betriebsorganisation für Ingenieure*, Hanser Verlag, München, 2010
- [WI08] WUPPERTAL INSTITUT FÜR KLIMA, UMWELT, ENERGIE GMBH: *Definition Energieeffizienz*, Wuppertal, 2008, URL: http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/energieeffizienz_definition.pdf, (Stand: 28.3.2016)
- [Wit09] WITT, K.: *Grundbau – Taschenbuch – Teil 2: Geotechnische Verfahren*, Ernst und Sohn Verlag, Berlin, 2009
- [ZAW15] ZWECKVERBAND ABFALLWIRTSCHAFT WESTSACHSEN: *Querschnitt durch eine Deponie*, URL: <http://www.zawsachsen.de/index.php/querschnitt-grafiken.html>, (Stand: 28.3.2016)
- [ZDK02] ZILCH, K. / DIEDERICHS C. J. / KATZENBACH R. (HRSG.): *Handbuch für Bauingenieure*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2002
- [Zei10] ZEIT ONLINE: *Grüne Geschäfte-CO₂-Bilanz entscheidet über den Auftrag*, Hamburg, 2010, URL: <http://blog.zeit.de/gruenegeschaefte/2010/02/01/co2-bilanz-entscheidet-uber-den-auftrag/>, (Stand: 28.3.2016)
- [Zue15] ED. ZÜBLIN AG: *JVA Wuppertal-Ronsdorf*, URL: http://mitte.zueblin.de/databases/internet/_public/content.nsf/web/DE-ZUEBLIN.DA-PORTRAIT-BEREICHE-REFERENZEN-Sachsen-JVA%20Wuppertal-Ronsdorf, (Stand: 28.3.2016)



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Bergische Universität Wuppertal
Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen
Lehr- und Forschungsgebiet
Baubetrieb und Bauwirtschaft
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus

**GRUNDLAGEN FÜR EIN
ENERGIEMANAGEMENT IM BAUBETRIEB**

ANHÄNGE

Vorgelegt von: Dipl.-Ing. Selcuk Nisancioglu

Betreut durch: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus

Wuppertal, 30. März 2016

Anhang 1 - Liste der Vorveröffentlichungen

Anhang 2 - Prozessanalysen zur Energieverbrauchsanalyse Erdbau

Anhang 3 - Prozessanalysen zur Energieverbrauchsanalyse Rohbau

Anhang 4 - Prozessanalysen zur Energieverbrauchsanalyse Ausbau

Anhang 5 - Analyse der Messergebnisse Ausbau

Anhang 6 - Gutachten: MAYR, K.: *Frappierende Unterschiede beim Dieserverbrauch von Baumaschinen, Attnang-Puchheim, Österreich, 2008*

Anhang 7 - Fragebogen zur Umfrage und Ergebnisse (Auswahl)

Anhang 1:

Liste der Vorveröffentlichungen

Selcuk Nisancioglu

Energieeffizienz im Baubetrieb – Umwelt- und Klimaschutzaspekte in Ausschreibungen und Vergaben

Verkehr und Technik Heft 12 2013, S. 455 f., Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2013

Manfred Helmus, Selcuk Nisancioglu, Anne Randel

Energie- und Ressourceneffizienz in der Bauwirtschaft

in: Umweltgerechte Baustoffe - Graue Energie und Nachhaltigkeit von Gebäuden, ISBN: 978-3-8167-8836-2, Fraunhofer IRB Verlag 2013, S. 88 ff

Manfred Helmus, Selcuk Nisancioglu, Anne Randel

Energieeffizienz auf Baustellen - Potenziale systematisch nutzen

in: Bauportal 02/2013, S. 2 ff

Manfred Helmus, Selcuk Nisancioglu, Anne Randel

Energie und Ressourcen beim Betrieb von Baustellen sparen - Die effiziente Baustelle

in: tHis - Ausgabe 02/2012, S. 96 ff

Manfred Helmus, Selcuk Nisancioglu, Anne Randel

Energie- und Ressourcenmanagement in der Bauwirtschaft

in: Festschrift anlässlich des 60. Geburtstages von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Schach, S. 169 ff, TU Dresden, 2011

Manfred Helmus, Selcuk Nisancioglu, Anne Randel

Entwicklung von Energiekonzepten zur Steigerung der Energieeffizienz und Reduzierung des CO₂-Ausstoßes auf Baustellen

Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Aktenzeichen 25780-24/2, Projektlaufzeit 2009-2011

Manfred Helmus, Selcuk Nisancioglu, Anne Randel

Energieeffizienz - Ungenutzte Potentiale auf Baustellen

in: Baumarkt + Bauwirtschaft - Ausgabe 10/2010 S. 38 ff

Selcuk Nisancioglu, Anne Randel, Semra Ümit

Energieeffizienz und Energieeinsparpotenziale auf Baustellen

in: Tagungsband des 21. Assistententreffens der Bereich Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, S. 195 ff, TU Wien, 2010

Anhang 2:

Prozessanalysen zur Energieverbrauchsanalyse Erdbau

Prozessanalyse „Aushub“



Abb. 1: Bagger beim Ausheben von Lehm Boden¹

Bei der Erfassung des Verbrauchs für Aushubarbeiten muss zwischen den Bodenklassen unterschieden werden: Je höher die Bodenklasse, desto energieintensiver ist der Aushub. Der deutlich hohe Kraftstoffverbrauch für den Aushub der Bodenklasse 6-7 resultiert daraus, dass das felsige Gestein nicht ohne weiteres mit einem Schwenk des Baggers aus der Baugrube ausgehoben werden kann, sondern oftmals erst mit Hilfe des Löffels ausgehoben werden muss. Auch füllt das grobe Gestein dieser Bodenklasse den Löffel nicht vollständig aus (Füllfaktor), so dass mehr Spiele pro Aushubleistung notwendig sind. In der folgenden Tabelle werden die im Zuge der Prozessanalyse „Aushub“ ermittelten Werte zusammengefasst.² Der Verbrauch des Baggers variiert dabei abhängig von der anstehenden Bodenklasse zwischen 0,17 - 0,28 l/m³.

¹ Foto: Kevin Ries

² vgl. [Rie10], S. 62

Prozess	Gerät	Ausrüstung	Menge	Kraftstoffverbrauch	
			[m ³]	[l]	[l/m ³]
Abtrag Bodenklasse 1-2	Bagger CAT 345 D	UTL 2,8 m ³	2.500,00	424,89	0,17
Abtrag Bodenklasse 3-5	Bagger CAT 345 D	UTL 2,8 m ³	2.150,00	424,89	0,2
Abtrag Bodenklasse 6-7	Bagger CAT 345 D	UTL 2,8 m ³	1.500,00	424,89	0,28

Abb. 2: Zusammenfassung der Ergebnisse Aushub³

Prozessanalyse „Umschlagen der Miete“

Beim Umschlagen nimmt ein Bagger mit dem Löffel Boden auf, schwenkt und lädt den Boden auf einen bereit stehenden LKW ab. Die Arbeitskette besteht also aus LKW und Hydraulikbagger.



Abb. 3: Umschlagen von Boden vom Bagger auf LKW⁴

In der folgenden Abbildung sind die ermittelten Kraftstoffverbräuche dieses Prozesses aufgeführt.

³ vgl. [Rie10], S. 62

⁴ Foto: Kevin Ries

Prozess "Umschlagen"	Gerät	Ausrüstung	Menge	Kraftstoffverbrauch	
			[m ³]	[l]	[l/m ³]
Prozessanalyse 1	Bagger CAT 345 D	Universaltieflöffel 2,8 m ³	1460,0	256,5	0,18
Prozessanalyse 2	Bagger CAT 435 D	Universaltieflöffel 2,8 m ³	2489,4	449,3	0,18
Prozessanalyse 3	Bagger CAT 325	Universaltieflöffel 1,25 m ³	1080,0	174,3	0,16
Prozessanalyse 4	Bagger CAT 320	Dränagelöffel	510,0	154,3	0,30
Prozessanalyse 5	Radlader Volvo L40	Ladeschaufel 1 m ³	837,2	30,0	0,04

Abb. 4: Zusammenfassung der Ergebnisse „Umschlagen der Miete“⁵

Die Prozessanalysen 1 und 2 zeigen hier exakt den gleichen Kraftstoffverbrauch von jeweils 0,18 l/m³. Die Bauleistungen der Prozessanalyse 3 fanden in leichter Hanglage statt. Dabei standen Bagger und LKW auf einer Höhe, während der LKW mit einem Schwenk von etwa 180° vom Hydraulikbagger mit Boden beladen wurde. Die Arbeiten des Baggers wurden offensichtlich nicht durch die Hanglage beeinflusst. Allerdings wurde das Rangieren des LKW erschwert und verlängerte so die Wechselzeit zwischen den LKW (+ 33 %). Die niedrigeren Werte (0,16 l/m³) im Vergleich zu den Prozessanalysen 1 und 2 (0,18 l/m³) kommen dadurch zustande, dass während der Bauleistung die LKW-Andienung konstant lief und dadurch keine größeren Leerlaufzeiten der Bagger entstanden.⁶ Hier wird der Einfluss der Wartezeiten bzw. Leerlaufzeiten deutlich. Optimalerweise hätten die Hydraulikbagger während der Wartezeiten in den Prozessanalysen 1 und 2 ausgeschaltet werden müssen.

Bei der Prozessanalyse 4 wurde Felsgestein der Bodenklasse 6-7 verladen. Der LKW wurde in einem Schwenkbereich von 90° gefüllt. Der vergleichsweise hohe Kraftstoffverbrauch (0,30 l/m³) resultiert daraus, dass hier das falsche Werkzeug verwendet wurde: Der für den Aushub von Kanalgräben konzipierte Drainagelöffel kann für die Arbeiten mit grobem Gestein nicht effizient eingesetzt werden. Der Bagger hatte zuvor mit der Ausstattung Kanalarbeiten ausgeführt, und es stand kein adäquates Anbaugerät zur Verfügung.⁷

⁵ vgl. [Rie10], S. 63

⁶ vgl. ebd., S. 64

⁷ vgl. ebd.

Im Zuge der Prozessanalysen wurde auch das Umschlagen der Miete mittels eines Radladers untersucht (Prozessanalyse 5). Der LKW stand neben der Miete und der Beladevorgang gliederte sich in folgende Schritte:⁸

1. Der Radlader fährt mit der Ladeschaufel voran in den Schotterhaufen, wo er dann die Ladeschaufel anhebt.
2. Anschließend setzt er mit einer Schwenkbewegung zurück, damit er senkrecht zum LKW steht.
3. Der LKW wird durch Vorfahren und Abkippen des Schotters beladen.

Der Radlader zeichnet sich durch einen sehr geringen Kraftstoffverbrauch (0,04 l/m³) aus und scheint somit die ideale Baumaschine für das Umschlagen der Miete zu sein.⁹

Prozessanalyse „Brechen von Fels mit einer Brecheranlage“

Brecheranlagen dienen der Zerkleinerung von Boden. Dabei wird die Korngröße des Bodens entsprechend verkleinert. Oft geschieht das, um das anstehende Bodenmaterial wiederverwenden zu können und so zusätzliche Ankäufe zu vermeiden. Die Arbeitskette besteht aus einem Hydraulikbagger und einer Brecheranlage.

⁸ [Rie10], S. 65

⁹ [Rie10], S. 65



Abb. 5: Brechen von Fels auf der Miete der JVA¹⁰

Der Bagger arbeitet in einem Schwenkbereich von 180°, in dem er das aufgeschüttete Gestein in die Brechanlage befördert (Abb. 5). Der Arbeitsvorgang entspricht dem des zuvor untersuchten „Umschlagen der Miete“ und liegt erwartungsgemäß mit 0,14 l/m³ nahe den dort ermittelten Verbrauchswerten.¹¹

Der Verbrauch der Brecheranlage liegt bei 0,17 l/m³, so dass sich ein Verbrauchswert für die gesamte Leistung „Brechen von Fels mit einer Brecheranlage“ von 0,31 l/m³ einstellt.

Gerät	Ausrüstung	Menge	Kraftstoffverbrauch	
		[m ³]	[l]	[l/m ³]
Brechanlage		692,14	115,80	0,17
Bagger CAT 325	UTL 1,25 m ³	692,14	97,00	0,14
Summe				0,31

Abb. 6: Zusammenfassung der Ergebnisse „Brechen von Fels mit einer Brecheranlage“¹²

¹⁰ Foto: Kevin Ries

¹¹ vgl. [Rie10], S. 65

¹² vgl. ebd.

Prozessanalyse „Verfüllen“

Im Rahmen der Herstellung der Haftmauer mussten die Gruben der Fundamente wieder verfüllt werden. Dabei musste darauf geachtet werden, dass die Böschungskante erhalten blieb und das Fundament nicht beschädigt wurde. Bei den untersuchten Prozessen wurde ein Lehmboden verfüllt.¹³



Abb. 7: Verfüllen der Fundamente der Haftmauer¹⁴

Da für diese Bauleistung Geräte eines Herstellers unterschiedlicher Baugrößen genutzt wurden, kann ein direkter Zusammenhang von Verbrauch und Baugröße nachgewiesen werden. In diesem Fall zeigt sich, dass der kleinere Bagger CAT 308 D CR (0,19 l/m³) für die Bauleistung weniger Kraftstoff verbraucht, als der größere Bagger CAT 323 (0,22 l/m³).

¹³ vgl. [Rie10], S. 67

¹⁴ Foto: Kevin Ries

Gerät	Ausrüstung	Menge	Kraftstoffverbrauch	
		[m ³]	[l]	[l/m ³]
Bagger CAT 308 D CR	UTL 0,8 m ³	330,00	62,40	0,19
Bagger CAT323	UTL 1,25 m ³	450,00	97,00	0,22

Abb. 8: Zusammenfassung der Ergebnisse Verfüllen¹⁵

Prozessanalyse „Planierarbeiten“

Für die Prozessanalyse Planierarbeiten wurde eine Planierraupe mit einem Brustschild verwendet. Dabei wurde eine Böschung aus Mutterboden auf einer Grundfläche von 18 m zu 333,50 m und einer Stärke von 0,70 m planiert. Dies entspricht einem Volumen von 4.202,10 m³.



Abb. 9: Planieren einer Baustraße¹⁶

Im Ergebnis verbrauchte die Planierraupe für die Erbringung der Leistung 0,12 l/m³ Diesel.

Gerät	Ausrüstung	Menge	Kraftstoffverbrauch	
		[m ³]	[l]	[l/m ³]
Raupe CAT D6 N	Brustschild	4.202,10	522,30	0,12

Abb. 10: Ergebnis Planierarbeiten¹⁷

¹⁵ vgl. [Rie10], S. 66

¹⁶ Foto: Kevin Ries

Prozessanalyse „Erstellen Schotterplanum“

Für die 1. Prozessanalyse wurde ein Schotterplanum mit einer Stärke von ca. 10 cm von einem Radlader mit Ladeschaufel (1 m^3) erstellt. Bei der Ausführung wurde der Schotter vom Radlader angeliefert und so in die Baugrube gekippt, dass nur noch wenig Nachbesserungen durch zwei Facharbeiter in der Baugrube vorgenommen werden mussten. Bei dieser Art der Erstellung verbrauchte der Radlader $0,15 \text{ l/m}^3$.¹⁸

Während der Prozessanalysen 2 und 3 wurde ein Schotterplanum von einem Minibagger erstellt.



Abb. 11: Erstellen eines Schotterplanums mit einem Minibagger¹⁹

Der Minibagger verbrauchte hierbei nur $0,11 \text{ l/m}^3$ und damit etwa 27 % weniger als der Radlader.

¹⁷ vgl. [Rie10], S. 67

¹⁸ vgl. ebd., S. 68

¹⁹ Foto: Kevin Ries

Prozess "Erstellen Schotterplanum"	Gerät	Ausrüstung	Menge	Kraftstoffverbrauch	
			[m ³]	[l]	[l/m ³]
Prozessanalyse 1	Radlader Volvo L40	-	150,00	22,15	0,15
Prozessanalyse 2	Minibagger Kubota KX 161	UTL 0,6 m ³	187,50	20,00	0,11
Prozessanalyse 3	Minibagger Kubota KX 161	UTL 0,6 m ³	272,70	31,30	0,11

Abb. 12: Zusammenfassung der Ergebnisse „Erstellen Schotterplanum“²⁰

Prozessanalyse „Verdichten“

Für die Prozessanalyse „Verdichten“ wurde die Herstellung einer Baustraße untersucht. Die Verdichtungsarbeit erfolgte durch einen Walzenzug.



Abb. 13: Verdichten einer Baustraße mit einem Walzenzug²¹

Um den gewünschten Verdichtungsgrad des Schotters zu erreichen, wurde eine Fläche von insgesamt 8.333,30 m² zweimal durch einen Walzenzug befahren. Der Kraftstoffverbrauch für diese Bauleistung lag dabei bei 0,02 l/m².²²

²⁰ vgl. [Rie10], S. 68

²¹ Foto: Kevin Ries

²² vgl. [Rie10], S. 68

Gerät	Ausrüstung	Menge	Kraftstoffverbrauch	
		[m ²]	[l]	[l/m ²]
Walzenzug CAT CS 76	-	8.333,30	161,64	0,02

Abb. 14: Ergebnis der Prozessanalyse „Verdichten“²³

Prozessanalyse „Verlegen von Kanälen“

Für die Prozessanalyse 1 (Abb. 16) wurde die Verlegung eines Kanals für Grundwasserleitungen der Sporthalle untersucht. Hierzu musste eine 3 m tiefe Baugrube ausgeschachtet werden, wobei aus Gründen der Arbeitssicherheit die Baugrubenwände mit einem Verbau gesichert wurden.



Abb. 15: Kanalverlegung am Sportplatz²⁴

Zum Einsatz kam ein Gleitschienenverbau. Hierbei muss der Verbau für jeden Abschnitt versetzt werden. Für diese Bauleistung ergibt sich ein Kraftstoffverbrauch von 0,39 l/m³.²⁵

²³ vgl. [Rie10], S. 69

²⁴ Foto: Kevin Ries

Während der Prozessanalyse 2 kam ein CAT 320 mit einem Universaltieföffel zum Einsatz. Da der anstehende Boden der Bodenklasse 6-7 entsprach, verrichtete der Hydraulikbagger die Bauleistung permanent an seiner Leistungsgrenze, was zu einem erhöhten Verbrauch von $0,81 \text{ l/m}^3$ führte. Dieses Beispiel belegt die Bedeutung des Kalkulationszuschlags für Aushübe der Bodenklasse 6-7 in der Angebotskalkulation. Der im Rahmen der Prozessanalyse 3 untersuchte Radlader hatte beim Verlegen der Kanalrohre die Aufgabe, die Rohrstücke in die Baugrube zu legen und anschließend die Baugrube zu verfüllen. Für die Bauleistung ergab sich ein Kraftstoffverbrauch von $0,14 \text{ l/m}^3$. Dies wird in der folgenden Abbildung zusammenfassend dargestellt.²⁶

Prozess "Verlegen von Kanälen"	Gerät	Ausrüstung	Menge	Kraftstoffverbrauch	
			[m ³]	[l]	[l/m ³]
1	Bagger EW 140	UTL	125,00	48,70	0,39
2	Bagger CAT 320	UTL	173,30	141,00	0,81
3	Radlader Volvo L40	-	156,30	22,15	0,14

Abb. 16: Zusammenfassung der Ergebnisse Verlegen von Kanälen²⁷

Prozessanalyse „Erstellen eines Versickerungsbeckens“

Bei der Anlage eines Versickerungsbeckens wird zunächst eine Grube ausgehoben, die dann im Anschluss mit verschiedenen Lagen von Gestein zum Auffangen und Versickern von Regenwasser gefüllt wird. Die hier aufgeführten Arbeiten beschränken sich aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den restlichen Prozessanalysen auf den Bodenaushub und

²⁵ vgl. [Rie10], S. 70

²⁶ vgl. ebd.

²⁷ vgl. ebd.

den Einbau von Schotter. So konnte der Kraftstoffverbrauch eines Hydraulikbaggers und der eines Radladers untersucht werden.²⁸

Der Bagger führte den Aushub mittels eines Universaltieflöffels aus, und für die weiteren Tätigkeiten wurde eine Grabenräumschaufel genutzt. Für den Einbau von Schotter kam ein Radlader zum Einsatz.²⁹



Abb. 17: Erstellen eines Versickerungsbeckens hinter der nordwestlichen Haftmauer³⁰

Nach der Auswertung ergeben sich die Kraftstoffverbräuche wie in der folgenden Abbildung dargestellt: Der Hydraulikbagger verbrauchte für die Aushubarbeiten $0,19 \text{ l/m}^3$. Der Radlader verbrauchte für den Schottereinbau $0,04 \text{ l/m}^3$.

²⁸ vgl. [Rie10], S. 72

²⁹ vgl. ebd.

³⁰ Foto: Kevin Ries

Leistung	Gerät	Ausrüstung	Menge	Kraftstoffverbrauch	
				[l]	[l/m ³]
Aushub	Bagger CAT 320	UTL 1,2 m ³	1.600,00 (m ³)	304,00	0,19 [l/m ³]
Schottereinbau	Radlader Volvo L40	-	1.600,00 (m ²)	48,00	0,04 [l/m ²]

Abb. 18: Zusammenfassung der Ergebnisse „Erstellen eines Versickerungsbeckens“³¹

Prozessanalyse „Abtragen von Bauschutt“

Im Rahmen des Abtrages von Bauschutt durch einen Hydraulikbagger mit Universaltieflöffel wurde Bauschutt aus einem Bestandsabbruch mit unterschiedlichen Strukturen und Größen abgetragen.



Abb. 19: Abtrag von Betonresten der ehemaligen Schießwand³²

Infolge des inhomogenen Abbruchmaterials war es nicht möglich, einen optimalen Füllfaktor des Löffels zu erreichen. Darüber hinaus musste der Maschinenführer mehrmals ansetzen, um das Material aufzunehmen. Dies erklärt auch den hohen Kraftstoffverbrauch von 0,29 l/m³.

³¹ vgl. [Rie10], S. 71

³² Foto: Kevin Ries

Gerät	Ausrüstung	Menge	Kraftstoffverbrauch	
		[m ³]	[l]	[l/m ³]
Bagger CAT 325	UTL 1,2 m ³	5.250	1.515,60	0,29

Abb. 20: Ergebnis „Abtragen von Bauschutt“³³

Prozessanalyse „Ausschachten einer Baugrube“

Für das Ausschachten einer Baugrube kam ein Hydraulikbagger mit Universaltiefenlöffel zum Einsatz. Die Arbeitskette bestand aus einem Hydraulikbagger und LKW.



Abb. 21: Ausschachten einer Baugrube³⁴

³³ vgl. [Rie10], S. 72

³⁴ Foto: Kevin Ries

Der anstehende Boden der Klasse 3-5 wurde mit einem Raupenbagger mit Universaltief-
löffel ausgehoben und mit einem Schwenkwinkel von 90° abgeladen. Der Kraftstoffver-
brauch ergibt sich hier zu 0,15 l/m³.

Gerät	Ausrüstung	Menge	Kraftstoffverbrauch	
		[m ³]	[l]	[l/m ³]
Bagger CAT 304	UTL 0,8 m ³	1.350,50	208,70	0,15

Abb. 22: Ergebnis Ausschachten einer Baugrube³⁵

³⁵ vgl. [Rie10], S. 73

Anhang 3:

Prozessanalysen zur Energieverbrauchsanalyse Rohbau

Prozessanalyse „Herstellen der Bodenplatte“

Nachdem das Planum hergestellt wurde, wird die Bodenplatte für die Werkhalle errichtet. Diese Bodenplatte dient im vorliegenden Fall als Flächenfundament. Zur Herstellung sind folgenden Arbeitsschritte notwendig:¹

- Schalen des Streifenfundamentes
- Sauberkeitsschicht
- Bewehrung
- Betonieren

Schalen des Streifenfundamentes

Unter die Bodenplatte wird in den Bereichen, in denen die Lastabtragung durch Stützen und tragende Wände erfolgt, ein Streifenfundament erstellt. Dieses wird beidseitig verschalt. Die verwendeten Schalelemente haben die Abmessungen 3,30 m x 0,92 m. Das Setzen und Ausbauen der Schalelemente wird im betrachteten Fall mit dem Turmdrehkran und einem Energieverbrauch von 18,244 kWh durchgeführt.



Abb. 1: Einbau von Schalelementen mittels TDK²

¹ vgl. [Pfe10], S. 58

Die Erfassung der Vorgangsdauer beschränkt sich auf die tatsächliche Kraneinsatzzeit. Diese und dauert 3,5 Min. Die in der folgenden Abbildung dargestellten Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs beziehen sich auf den Ein- und Ausbau eines Schalelements.

Abmessung Bodenplatte [m]	Abmessung Schalelement [m]	Vorgangsdauer [min]	Energieaufwand [kWh]
34,77 x 49,77	3,30 x 0,92	3,5	18,244

Abb. 2: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs des TDK³

Demnach ergibt sich der Energieverbrauch für den Ein- bzw. Ausbau eines Schalelements wie folgt:⁴

- Einbau der Schalelemente mittels Turmdrehkran

$$\frac{18,244 \text{ [kWh]} * 3,5 \text{ [min]}}{60 \text{ [min]}} * 2 = 2,128 \text{ [kWh/ Schalelement]}$$

- Einbau der Schalelemente mit TDK

$$(34,77 \text{ [m]} + 49,77 \text{ [m]}) * 2 = 169,08 \text{ [m]}$$

$$\frac{169,08 \text{ [m]} * 2}{3,30 \text{ [m]}} \approx 102 \text{ [Schalelemente]}$$

$$\frac{2,128 \text{ [kWh/ Schalelement]} * 102 \text{ [Schalelemente]}}{34,77 \text{ [m]} * 49,77 \text{ [m]}} = 0,125 \text{ [kWh/ m}^2\text{]}$$

Somit ergibt sich der Stromverbrauch für den Ein- bzw. Ausbau der Schalung zu 0,125 kWh/m².

Prozess	Energieaufwand je Schalelement	Energieaufwand je m ²
Ein- bzw. Ausbau Schalung	2,128 [kWh/Schalelement]	0,125 [kWh/m ²]

Abb. 3: Energieverbrauch zum Ein- bzw. Ausbau von Schalelementen mit TDK⁵

² Fotos: Christian Pfeifer

³ vgl. [Pfe10], S. 58

⁴ ebd.

Sauberkeitsschicht

Die Sauberkeitsschicht dient der Herstellung einer ebenen und sauberen Fläche. Sie wird auf eine zuvor auf dem Planum ausgerollte Folie betoniert. Durch den Einsatz der Folie wird verhindert, dass das im Beton enthaltene Wasser versickert und ein Feuchteübertrag vom Boden an den Beton stattfindet. Der Transportbeton der Festigkeitsklasse C 20/25 wird von einem Fahrmischer aus einem 14 km entfernten Betonmischwerk zum Einbauort transportiert. Der Frischbeton wird am Einbauort in einen Betonkübel mit einem Volumen von 1 m³ Frischbeton befüllt.⁶



Abb. 4: Betonieren der Sauberkeitsschicht: Befüllen und Schwenken des Betonkübels⁷

Anschließend wird der Betonkübel vom Mobilkran Typ LTM 1090-4.1 in die gewünschte Position gehoben und der Beton eingebaut. Dabei verteilt ein Mitarbeiter den Frischbeton gleichmäßig, während ein zweiter Mitarbeiter überprüft, ob die gewünschte Betondeckung von 0,10 m eingehalten wird. Abschließend wird die Oberfläche glatt abgezogen. Der Kran

⁵ vgl. ebd., S. 59

⁶ vgl. [Pfe10], S. 60

⁷ Fotos: Christian Pfeifer

benötigt für den Vorgang Heben – Schwenken – Betonieren – Schwenken durchschnittlich 4,33 min bei einem Kraftstoffverbrauch von 10,875 l/h.⁸



Abb. 5: Betonieren der Sauberkeitsschicht: Verteilen und Glattstreichen des Frischbetons⁹

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Abmessung Bodenplatte [m]	Dicke Sauberkeitsschicht [m]	Vorgangsdauer [min]	Energieverbrauch LTM 1090-4.1 [l/h]	Volumen Betonbombe [m ³]
34,77 x 49,77	0,1	4,33	10,875	1

Abb. 6: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs des TDK¹⁰

Der Kraftstoffverbrauch für das Betonieren der Sauberkeitsschicht ergibt sich wie folgt:¹¹

- Einbau Frischbeton mit LTM 1090-4.1

$$\frac{10,875 \text{ [l/h]} * 4,33 \text{ [min/m}^3\text{]}}{60 \text{ [min]}} = 0,785 \text{ [l/m}^3\text{]}$$

⁸ vgl. [Pfe10], S. 60

⁹ Fotos: Christian Pfeifer

¹⁰ vgl. [Pfe10], S. 58

¹¹ ebd., S. 61

$$0,785 \left[\frac{l}{m^3} \right] * 0,1 \left[m \right] = 0,079 \left[\frac{l}{m^2} \right]$$

Demnach ergibt sich für das Betonieren der Sauberkeitsschicht mit einer Dicke von 0,10 m der Kraftstoffverbrauch des Mobilkrans zu 0,079 l/m².

Bewehrung

Die Bewehrung besteht aus einzelnen Elementen wie Längseisen, Bügeln und Matten, die mittels Draht miteinander fixiert werden. Der Bewehrungsgrad beträgt im Durchschnitt 36,2 kg/m². Der Energieverbrauch auf der Baustelle für den Einbau der Bewehrung entsteht durch das Abladen auf einem Zwischenlager und dem späteren Baustellentransport durch den Turmdrehkran an den Einbauort. Die Beladung des LKW ist in 15 Positionen unterteilt, so dass für das Abladen und die spätere Bereitstellung zum Einbau je 15 Kranlastspiele je LKW erforderlich sind. Je Vorgang benötigt der Kran 4,5 Min. Der Einbau- und Abladevorgang wird durch den TDK Wolff 6531.12 HW 645 FU (45) durchgeführt. Der Stromverbrauch des Turmdrehkrans beträgt 18,244 kWh.¹²

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Abmessung Bodenplatte	Bewehrungsgrad	Vorgangsdauer	Energieaufwand	Zuladung je LKW	Lastspiele je LKW
[m]	[kg/m ²]	[min]	[kWh]	[t]	
34,77 x 49,77	0,016	4,5	18,244	21	15

Abb. 7: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs des TDK¹³

Der Energieverbrauch für das Betonieren der Sauberkeitsschicht ergibt sich wie folgt:¹⁴

¹² vgl. [Pfe10], S. 62

¹³ vgl. Ebd.

¹⁴ ebd., S. 63

- Abladen und Einbau der Bewehrung mit TDK

$$\frac{18,244 [kWh] * 4,5 [\text{min}]}{60 [\text{min}]} = 1,368 [kWh / \text{Lastspiel}]$$

$$\frac{34,77 [m] \cdot 49,77 [m] * 36,2 [kg / m^2] * 15 [\text{Lastspiele} / \text{LKW}] * 2}{21000 [kg / \text{LKW}]} \approx 90 [\text{Lastspiele}]$$

$$\frac{1,368 [kWh / \text{Lastspiel}] * 90 [\text{Lastspiele}]}{34,77 [m] \cdot 49,77 [m]} = 0,071 [kWh / m^2]$$

Demnach ergibt sich für den Einbau der Bewehrung der Stromverbrauch des Turmdrehkrans zu 0,071 kWh/m².

Betonieren

Für die Bodenplatte wird ein Beton der Festigkeitsklasse C 25/30 (Ausbreitmaß-Klasse F3, Größtkorn 32 mm und einem W/Z-Wert von 0,58) als Transportbeton geliefert. Das Betonieren der Bodenplatte mit den Abmessungen 34,77 m x 49,77 m x 0,35 m erfolgt in drei Abschnitten. Die Menge an Transportbeton beträgt je Fahrmischer 7,5 m³, wobei die Anfahrt aus einem 14 km entfernten Betonmischwerk erfolgt. Der Einbau erfolgt mittels einer Transportbetonpumpe des Herstellers Putzmeister Typ M 52. Bei dem Pumpvorgang wird 1,00 l/m³ Diesel verbraucht.



Abb. 8: Betonieren der Bodenplatte: Bewehrung und Transportbetonpumpe¹⁵

Der Einbauvorgang wird von fünf Mitarbeitern durchgeführt: Der Bediener der Autobetonpumpe steuert den Verteilermast. Ein weiterer Mitarbeiter verteilt den Beton über das Verteilerrohr. Der dritte Mitarbeiter überprüft mit Hilfe eines Rotationsnivelliers die Einhaltung der notwendigen Betondicke. Ein vierter Mitarbeiter verdichtet mittels Rüttelflasche den Frischbeton. Abschließend wird die Betonoberfläche von einem Mitarbeiter geglättet.¹⁶

¹⁵ Fotos: Christian Pfeifer

¹⁶ vgl. [Pfe10], S. 64



Abb. 9: Betonieren der Bodenplatte: Betoniervorgang und Endzustand¹⁷

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Abmessung Bodenplatte [m]	Dicke Bodenplatte [m]	Energieaufwand [l/m ³]
34,77 x 49,77	0,35	1,000

Abb. 10: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs der Transportbetonpumpe¹⁸

Der Energieverbrauch für das Betonieren der Sauberkeitsschicht ergibt sich wie folgt:¹⁹

- Einbau Frischbeton mit Betonpumpe

$$1,00 \text{ [l/m}^3\text{]} * 0,35 \text{ [m]} = 0,35 \text{ [l/m}^2\text{]}$$

Demnach ergibt sich der Kraftstoffverbrauch für den Betoneinbau mittels Betonpumpe zu 0,35 l/m².

¹⁷ Fotos: Christian Pfeifer

¹⁸ vgl. [Pfe10], S. 62

¹⁹ ebd., S. 66

Zusammenfassung

Abschließend werden die Ergebnisse der Prozessanalysen in der folgenden Abbildung zusammengefasst. Für die Erstellung der Bodenplatte mit den zuvor genannten Dimensionen und den auf der Baustelle eingesetzten Baumaschinen werden 0,429 l/m² an Diesel und 0,196 kWh/m² Strom verbraucht.

Vorgang	Energieverbrauch	
	Kraftstoff [l/m ²]	Stromverbrauch [kWh/m ²]
Ein- bzw. Ausbau der Schalung Streifenfundament		0,125
Betonieren der Sauberkeitsschicht	0,079	
Einbau der Bewehrung		0,071
Betonieren	0,350	
Summe	0,429	0,196

Abb. 11: Zusammenfassung des Energieverbrauchs zur Herstellung der Bodenplatte

Prozessanalyse „Einbau der Hohlwände“

Nach Herstellung der Bodenplatte bzw. sobald diese die ausreichende Tragfähigkeit erreicht hat, erfolgt der Einbau der Fertigteil-Hohlwände. Der Prozess des Einbaus gliedert sich in folgende Arbeitsschritte:

- Abladen und Einbau der Fertigteile
- Abladen und Einbau der Zulagebewehrung
- Betonieren

Abladen und Einbau der Fertigteile

Bei der untersuchten Baumaßnahme werden die gelieferten Fertigteile bis zum Zeitpunkt ihres Einbaus auf der Baustelle zwischengelagert. Hierzu wird zunächst Anschlagmittel an den Wandelementen angebracht, um sie anschließend mit dem Fahrzeugkran ATF 70-4 abzuladen und auf Kanthölzern zwischenzulagern. Als Energieaufwandswert des Kranes

wird wie zuvor ein Kraftstoffverbrauch von 6,75 l/h angesetzt. Der Abladevorgang dauert 3,10 Min. je Element.²⁰



Abb. 12: Einbau einer Fertigteil-Montagehülsen und Einheben an Anschlagmitteln²¹

Die Wandpositionen werden mit Ölkreide auf der Bodenplatte markiert. Anschließend werden an dieser Markierung zwei Löcher in die Bodenplatte gebohrt, in die Stahlstifte eingesetzt werden. Zeitgleich dazu werden an die Position der Außen- und Innenschale der Wand Unterlegscheiben auf die Bodenplatte gelegt. Die Höhenüberprüfung erfolgt mittels Nivellier. Im weiteren Verlauf werden je Wandelement zwei Montagehülsen gedübelt, an die später die Montagestützen befestigt werden. Nun werden die Anschlagmittel an der Kopfseite der Fertigteil-Hohlwand befestigt, und der Mobilkran hebt das Element hoch und setzt es auf die Unterlegscheiben ab, so dass sich die Stahlstifte zwischen der Außen- und Innenschale befinden. Anschließend werden die Montagestützen an den Montagehülsen angebracht und das untere Ende der Stützen in der Bodenplatte verdübelt.

²⁰ vgl. [Pfe10], S. 69

²¹ Fotos: Christian Pfeifer



Abb. 13: Einbau einer Fertigteil-Hohlwand: Einpassen der Stahlstifte²²

Die Stützen sind mit einem Gewinde versehen und können verlängert bzw. verkürzt werden, so dass die Wand senkrecht gestellt werden kann. Abschließend werden die Anschlagmittel von der Wand gelöst. Für den Einbau eines Wandelementes wird der Fahrzeugkran durchschnittlich 18,13 Min. eingesetzt.²³

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Prozess	Wandgröße	Vorgangsdauer	Energieverbrauch Fahrzeugkran
	[m ²]	[min]	[l/h]
Abladen	9,71	3,10	6,75
Einbau	9,71	18,13	6,75

Abb. 14: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs²⁴

Der Energieverbrauch für das Abladen und den Einbau der Fertigteil-Hohlwände ergibt sich wie folgt:²⁵

²² Fotos: Christian Pfeifer

²³ vgl. [Pfe10], S. 69

²⁴ vgl. [Pfe10], S. 70

²⁵ ebd., S. 71

- Abladen Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{6,75 \text{ [l/h]} * 3,10 \text{ [min]}}{60 \text{ [min]}} = 0,349 \text{ [l / Fertigteil]}$$

- Einbau Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{6,75 \text{ [l/h]} * 18,13 \text{ [min]}}{60 \text{ [min]}} = 2,040 \text{ [l / Fertigteil]}$$

- Summe Einbau Fertigteil mit ATF 70-4

$$0,349 \text{ [l / Fertigteil]} + 2,040 \text{ [l / Fertigteil]} = 2,389 \text{ [l / Fertigteil]}$$

- Abladen Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{0,349 \text{ [l / Fertigteil]}}{9,71 \text{ [m}^2\text{]}} = 0,036 \text{ [l / m}^2\text{]}$$

- Einbau Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{2,040 \text{ [l / Fertigteil]}}{9,71 \text{ [m}^2\text{]}} = 0,210 \text{ [l / m}^2\text{]}$$

- Summe Einbau Fertigteil mit ATF 70-4

$$0,036 \text{ [l / m}^2\text{]} + 0,210 \text{ [l / m}^2\text{]} = 0,246 \text{ [l / m}^2\text{]}$$

Demnach ergibt sich der Kraftstoffverbrauch für das Abladen und den Einbau der Fertigteil-Hohlwände zu 0,246 l/m².

Abladen und Einbau der Zulagebewehrung

Nach Einbau der Hohlwandfertigteile wird die Zulagebewehrung eingebaut. Geliefert wird sie von einem LKW, wobei die Bewehrungseisen zu 15 Paketen zusammengefasst sind. Hierdurch entstehen 15 Lastspiele je LKW für den Abladevorgang durch den Turmdrehkran. Dieser verursacht einen Stromverbrauch von 18,224 kWh. Die Bewehrungseisen werden zwischengelagert, so dass die Vorgangsdauer von 4,50 Min. jeweils für den Ab-

de- und den Bereitstellungsvorgang zu berücksichtigen ist. Durchschnittlich wird Zulagebewehrung in Höhe von 0,969 kg/m² Hohlwand eingebaut.²⁶

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Wandfläche	Bewehrungsgrad	Vorgangsdauer	Energieaufwand	Zuladung je LKW	Lastspiele je LKW
[m ²]	[kg/m ²]	[min]	[kWh]	[t]	
2.950	0,969	4,5	18,244	21	15

Abb. 15: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs²⁷

Der Energieverbrauch für das Abladen und den Einbau der Zulagebewehrung mit dem Turmdrehkran ergibt sich wie folgt:²⁸

- Abladen und Einbau der Zulagebewehrung mit TDK

$$\frac{18,244 \text{ [kWh]} * 4,5 \text{ [min]}}{60 \text{ [min]}} = 1,368 \text{ [kWh/ Lastspiel]}$$

- Abladen und Einbau der Zulagebewehrung mit TDK

$$\frac{2.950,00 \text{ [m}^2\text{]} * 0,969 \text{ [kg / m}^2\text{]} * 15 \text{ [Lastspiele / LKW]} * 2}{21.000 \text{ [kg / LKW]}} \approx 4 \text{ [Lastspiele]}$$

$$\frac{1,368 \text{ [kWh/ Lastspiel]} * 4 \text{ [Lastspiele]}}{2.950,00 \text{ [m}^2\text{]}} = 0,002 \text{ [kWh/ m}^2\text{]}$$

Demnach ergibt sich der Stromverbrauch für das Abladen und den Einbau der Zulagebewehrung zu 0,002 kWh/m².

²⁶ vgl. [Pfe10], S. 72

²⁷ vgl. Ebd., S. 70

²⁸ ebd., S. 72

Betonieren

Im letzten Arbeitsschritt erfolgt das Ausbetonieren der Hohlwände. Verwendet wird ein Beton der Festigkeitsklasse C 25/30 (Ausbreitmaß-Klasse F3) mit einem Größtkorn von 16 mm, der mit einem Betonkübel mit 1 m³ Inhalt eingebaut wird. Der Beton wird als Transportbeton an den Einbauort geliefert. Der Turmdrehkran hebt den Beton, der zuvor in den Betonkübel gefüllt wurde, an die Einbaustelle. Über den Betonierschlauch des Kübels wird der Frischbeton in den Hohlraum der Wand eingelassen. Der Abstand der Innen- und Außenschale der Wand beträgt 0,08 m, weswegen eine Betoniergeschwindigkeit in vertikaler Richtung von max. 0,5 m/h zu beachten ist. Abschließend erfolgt die Verdichtung durch eine Rüttelflasche, die in den Frischbeton hineingelassen wird. Der Energieverbrauch des TDK Wolff 6531.12 HW 645 FU (45) wird mit 18,244 kWh berücksichtigt. Die Vorgangsdauer für den Kran beträgt 3,9 Min. je Betonkübel.²⁹



Abb. 16: Ausbetonieren der Fertigteil-Hohlwand³⁰

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

²⁹ vgl. [Pfe10], S. 74

³⁰ Fotos: Christian Pfeifer

Abstand Innen- Aussenschale [m]	Volumen Betonpumpe [m ³]	Vorgangsdauer [min]	Energieaufwand TDK [kWh]
0,08	1,0	3,9	18,244

Abb. 17: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs³¹

Der Energieverbrauch für den Turmdrehkran ergibt sich wie folgt:³²

- Einbau Frischbeton mit TDK

$$\frac{18,224 \text{ [kWh]} * 3,9 \text{ [min]}}{60 \text{ [min]}} = 1,185 \text{ [kWh / Lastspiel]}$$

- Einbau Frischbeton mit TDK

$$\frac{1,0 \text{ [m}^3 \text{ / Lastspiel]}}{0,08 \text{ [m]}} = 12,5 \text{ [m}^2 \text{ / Lastspiel]}$$

$$\frac{1,185 \text{ [kWh / Lastspiel]}}{12,5 \text{ [m}^2 \text{ / Lastspiel]}} = 0,095 \text{ [kWh / m}^2\text{]}$$

Demnach ergibt sich der Stromverbrauch für das Ausbetonieren der Hohlraumwand zu 0,095 kWh/m².

Zusammenfassung

Abschließend werden die Ergebnisse der Prozessanalysen in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Vorgang	Energieverbrauch	
	Kraftstoff [l/m ²]	Stromverbrauch [kWh/m ²]
Abladen und Einbau der Fertigteil-Hohlwände	0,246	
Abladen und Einbau der Zulagebewehrung		0,002
Betonieren		0,095
Summe	0,246	0,097

Abb. 18: Zusammenfassung des Energieverbrauchs „Einbau der Hohlwände“

³¹ vgl. [Pfe10], S. 70

³² ebd., S. 76

Für den Einbau der Hohlwände mit den zuvor genannten Dimensionen und den auf der Baustelle eingesetzten Baumaschinen werden $0,246 \text{ l/m}^2$ an Diesel und $0,097 \text{ kWh/m}^2$ Strom verbraucht.

Prozessanalyse „Einbau der Stützen“

Aufgrund der stabförmigen Kubatur von Stützen wird nachfolgend der Energieverbrauch für dieses Bauteil auf die Basiseinheit m^3 bezogen ermittelt. Die Stützen werden als Fertigteil-elemente auf die Baustelle geliefert. Das Durchschnittsgewicht der Stützen beträgt $2,16 \text{ t}$ bei einem mittleren Volumen von $0,86 \text{ m}^3$, woraus sich das Gewichtsverhältnis von $2,512 \text{ t/m}^3$ ergibt. Der Bewehrungsgrad beträgt $134,5 \text{ kg/m}^3$.³³



Abb. 19: Einbau der Fertigteil-Stützen³⁴

Für den Transport werden $0,016 \text{ l/t*km}$ Dieseldieselkraftstoff verbraucht, wobei die Stützen aus einem Fertigteilwerk, das 454 km von der Baustelle entfernt liegt, mittels LKW angeliefert werden. Jeder LKW hat eine effektive Zuladung von 21 t . Das Abladen und der Einbau erfolgt mit dem Fahrzeugkran ATF 70-4 mit einem Kraftstoffverbrauch von $6,75 \text{ l/h}$. Der Abladevor-

³³ vgl. [Pfe10], S. 78

³⁴ Fotos: Christian Pfeifer

gang dauert 4,5 Min. Nach dem Abladen werden die Stützen zwischengelagert. Bevor die Stützen montiert werden, ist die Unterlage vorzubereiten. Dazu wird die exakte Position der Stütze bestimmt und ein Loch in die Bodenplatte gebohrt. Hier wird der Dorn am Stützenfuß eingelassen, der eine horizontale Verschiebung verhindern soll. Anschließend werden unter den vier Eckpunkten der Stütze Unterlegplättchen auf die Bodenplatte gelegt, um eine einheitliche Ausgangshöhe zu erhalten. Diese Höhe wird mittels Nivellier überprüft. Dann erfolgt das Anbringen der Montagehülsen an der Stütze. Danach wird die Stütze an ihre Position gehoben, wobei ein Mitarbeiter dem Kranführer über Funk Anweisungen gibt. Bei Erreichen der exakten Position wird die Stütze in das vorher gebohrte Loch und auf die Unterlegplättchen abgelassen. Darauffolgend werden die Stützdiagonalen in die Montagehülsen eingehakt und das andere Ende in der Bodenplatte verdübelt. Für die Standfestigkeit der Stütze sind mindestens drei Stützdiagonalen anzubringen. Durch Verlängern oder Verkürzen der Diagonalen wird die Stütze lotrecht gestellt. Die Vorgangsdauer für den Kran beträgt 23,00 Min.³⁵

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs sind in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Prozess	Stützensvolumen	Vorgangsdauer	Energieverbrauch Fahrzeugkran
	[m ³]	[min]	[l/h]
Abladen	0,86	4,50	6,75
Einbau		23,00	6,75

Abb. 20: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs³⁶

Der Energieverbrauch für Abladen und Einbau mittels Fahrzeugkran ergibt sich wie folgt:³⁷

³⁵ [Pfe10], S. 79

³⁶ vgl. ebd., S. 70

³⁷ ebd., S. 76

- Abladen Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{6,75 [l/h] * 4,5 [min]}{60 [min]} = 0,506 [l / \text{Fertigteil}]$$

- Einbau Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{6,75 [l/h] * 23,00 [min]}{60 [min]} = 2,588 [l / \text{Fertigteil}]$$

- Summe Abladen und Einbau

$$0,506 [l / \text{Fertigteil}] + 2,588 [l / \text{Fertigteil}] = 3,094 [l / \text{Fertigteil}]$$

- Abladen Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{0,506 [l / \text{Fertigteil}]}{0,86 [m^3 / \text{Fertigteil}]} = 0,588 [l / m^3]$$

- Einbau Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{2,588 [l / \text{Fertigteil}]}{0,86 [m^3 / \text{Fertigteil}]} = 3,009 [l / m^3]$$

- Summe Abladen und Einbau Fertigteil

$$0,588 [l / m^3] + 3,009 [l / m^3] = 3,597 [l / m^3]$$

Demnach wird für das Abladen und den Einbau der Fertigteil-Stützen etwa 3,6 l/m³ verbraucht.

Der direkte und indirekte CO₂-Emissionsfaktor für Diesel beträgt 3,06 kg CO₂/l.³⁸ Damit ergibt sich der CO₂-Ausstoß wie folgt:

- Summe der CO₂ Emissionen für Abladen und Einbau Fertigteil

$$3,06 [kg CO_2/l] * 3,597 [l / m^3] = 11,00 [kg CO_2 / m^3]$$

³⁸ Entsprechend der Berechnung des Infozentrums Umweltwirtschaft Bayern: <http://www.izu.bayern.de/>

Prozessanalyse „Einbau der Unterzüge“

Im Folgenden wird der Einbau von balkenförmigen Unterzügen untersucht. Unterzüge dienen zur Abtragung der Deckenlasten. Das durchschnittliche Volumen eines balkenförmigen Unterzuges bei der Erstellung der Werkshalle beträgt $1,05 \text{ m}^3$ bei einem Gewicht von $2,621 \text{ t}$, woraus sich ein Gewichtsverhältnis von $2,5 \text{ t/m}^3$ ergibt. Der Bewehrungsgrad beträgt $190,02 \text{ kg/m}^3$. Für das Abladen und den Einbau wird der Fahrzeugkran ATF 70-4 mit einem Kraftstoffverbrauch von $6,75 \text{ l/h}$ verwendet. Der Abladevorgang dauert $4,5 \text{ Min.}$ ³⁹



Abb. 21: Einbau eines Fertigteil-Unterzuges⁴⁰

Die Vorgangsdauer für den Einbau beträgt $17,45 \text{ Min.}$ Hierbei wird der Unterzug auf die Stützenkonsolen gelegt. Diese sind für die Lagefixierung mit einem Stahldorn versehen. Im ersten Schritt werden die Anschlagmittel an dem Unterzug befestigt und ein Elastomer auf die Konsole gelegt. Im zweiten Schritt wird der Unterzug an seine Einbauposition gehoben

³⁹ vgl. [Pfe10], S. 84

⁴⁰ Foto: Christian Pfeifer

und punktgenau montiert, in dem der Unterzug auf dem Stahldorn der Stützenkonsole aufgesetzt wird. Der Einbau wird von einem Mitarbeiter, der auf einer Hebebühne steht gesteuert.⁴¹

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Prozess	Volumen Unterzug	Vorgangsdauer	Energieverbrauch Fahrzeugkran
	[m³]	[min]	[l/h]
Abladen	1,05	4,50	6,75
Einbau		17,45	6,75

Abb. 22: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs⁴²

Der Energieverbrauch für das Abladen und den Einbau mittels Fahrzeugkran ergibt sich wie folgt:⁴³

- Abladen Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{6,75 \text{ [l/h]} * 4,5 \text{ [min]}}{60 \text{ [min]}} = 0,506 \text{ [l / Fertigteil]}$$

- Einbau Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{6,75 \text{ [l/h]} * 17,45 \text{ [min]}}{60 \text{ [min]}} = 1,963 \text{ [l / Fertigteil]}$$

- Summe Abladen und Einbau Fertigteil

$$0,506 \text{ [l / Fertigteil]} + 1,963 \text{ [l / Fertigteil]} = 2,469 \text{ [l / Fertigteil]}$$

⁴¹ vgl. [Pfe10], S. 84

⁴² vgl. ebd., S. 85

⁴³ vgl. ebd., S. 86

- Abladen Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{0,506 [l / \text{Fertigteil}]}{1,05 [m^3 / \text{Fertigteil}]} = 0,482 [l / m^3]$$

- Einbau Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{1,963 [l / \text{Fertigteil}]}{1,05 [m^3 / \text{Fertigteil}]} = 1,870 [l / m^3]$$

- Summe Abladen und Einbau Fertigteil

$$0,482 [l / m^3] + 1,870 [l / m^3] = 2,352 [l / m^3]$$

Demnach wird für das Abladen und den Einbau der Fertigteil-Unterzüge 2,352 l/m³ verbraucht.

Prozessanalyse „Einbau von Brüstungen“

Die Brüstungen bestehen aus Beton der Festigkeitsklasse C 35/45 und sind bewehrt (Bewehrungsgrad 13,86 kg/m²). Bei einer Wandstärke von 0,18 m, einer Durchschnittsfläche von 4,192 m² und einem Gewicht von 1,882 t je Fertigteil ergibt sich ein Gewichtsverhältnis von 0,449 t/m². Das Abladen und der Einbau erfolgen mit dem Fahrzeugkran ATF 70-4. Dieser hat einen Kraftstoffverbrauch von 6,75 l/h. Der Abladevorgang dauert 4,5 Min. und der Einbauvorgang 10,05 Min.⁴⁴

⁴⁴ [Pfe10], S. 92



Abb. 23: Einbau einer Fertigteil-Brüstung⁴⁵

Im ersten Schritt werden an der Innenseite der Brüstung Montagehülsen für die Schrägstützen (gelbe Stützen im oberen Bild) angebracht. Im zweiten Schritt werden Anschlagmittel am Fertigteil befestigt und das Element an seine Position gehoben. Für die Höhenregulierung werden auf die Unterlage Unterlegscheiben aufgelegt. Anschließend wird das Bauteil auf die Unterlegscheiben abgelassen, die Montagestützen eingehakt und an der Brüstung an der Bodenplatte befestigt. Je Bauteil sind zwei Diagonalstützen notwendig. Durch Längenanpassung der Diagonalstützen wird die Brüstung in senkrechte Stellung gebracht. Abschließend werden die Anschlagmittel vom Bauteil gelöst.⁴⁶

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

⁴⁵ Foto: Christian Pfeifer

⁴⁶ vgl. [Pfe10], S. 92

Prozess	Fläche Brüstung	Vorgangsdauer	Energieverbrauch Fahrzeugkran
	[m ²]	[min]	[l/h]
Abladen	4,19	4,50	6,75
Einbau		10,05	6,75

Abb. 24: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs⁴⁷

Der Energieverbrauch für das Abladen und den Einbau mittels Fahrzeugkran ergibt sich wie folgt:⁴⁸

- Abladen Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{6,75 \text{ [l/h]} * 4,5 \text{ [min]}}{60 \text{ [min]}} = 0,506 \text{ [l / Fertigteil]}$$

- Einbau Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{6,75 \text{ [l/h]} * 10,05 \text{ [min]}}{60 \text{ [min]}} = 1,131 \text{ [l / Fertigteil]}$$

- Summe Abladen und Einbau Fertigteil

$$0,506 \text{ [l / Fertigteil]} + 1,131 \text{ [l / Fertigteil]} = 1,637 \text{ [l / Fertigteil]}$$

- Abladen Fertigteile mit ATF 70-4

$$\frac{0,506 \text{ [l / Fertigteil]}}{4,192 \text{ [m}^2 \text{ / Fertigteil]}} = 0,121 \text{ [l / m}^2 \text{]}$$

- Einbau Fertigteile mit ATF 70-4

$$\frac{1,131 \text{ [l / Fertigteil]}}{4,192 \text{ [m}^2 \text{ / Fertigteil]}} = 0,270 \text{ [l / m}^2 \text{]}$$

- Summe Abladen und Einbau Fertigteil

$$0,121 \text{ [l / m}^2 \text{]} + 0,270 \text{ [l / m}^2 \text{]} = 0,391 \text{ [l / m}^2 \text{]}$$

⁴⁷ vgl. [Pfe10], S. 93

⁴⁸ vgl. Ebd., S. 94

Demnach wird für das Abladen und den Einbau der Fertigteil-Unterzüge 0,391 l/m² Kraftstoff verbraucht.

Prozessanalyse „Einbau der Filigrandecke“

Den Abschluss des ersten Geschosses bildet die Decke. Diese wird als so genannte „Filigrandecke“ als Fertigteil verbaut und auf die Hohlwände und Unterzüge aufgelegt. Der Herstellungsprozess gliedert sich in folgende Arbeitsschritte:⁴⁹

- Einbau
- Zulagebewehrung
- Betonieren

Einbau

Die Filigrandecken bestehen aus einer Betonschale der Dicke 0,06 m und einem Bewehrungsgrad von 10,91 kg/m². Im Durchschnitt wiegt ein Filigrandeckenelement 0,916 t bei einer Fläche von 6,06 m². Das Einheben der Fertigteile erfolgt direkt vom LKW aus ohne Zwischenlagerung mit dem Turmdrehkran Wolff 6531.12 HW 645 FU (45). Der Stromverbrauch des Turmdrehkrans liegt wie zuvor ermittelt bei 18,224 kWh. Die Vorgangsdauer für den Einbau beträgt durchschnittlich 5,72 Min. Die Anschlagmittel werden an vier Punkten an den Gitterträgern der Platte befestigt und die Filigrandecke an die Einbaustelle gehoben.⁵⁰

⁴⁹ vgl. [Pfe10], S. 96

⁵⁰ vgl. ebd.



Abb. 25: Einbau der Filigrandecke⁵¹

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs werden in der folgenden Abbildung zusammenfassend dargestellt.

Vorgang	Größe Filigrandecke [m ²]	Vorgangsdauer [min]	Energieaufwand [kWh]
Einbau	6,06	5,72	18,244

Abb. 26: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs⁵²

Der Energieverbrauch für den Einbau mittels Turmdrehkran ergibt sich wie folgt:⁵³

- Einbau Fertigteil mit TDK

$$\frac{18,244 \text{ [kWh]} * 5,72 \text{ [min]}}{60 \text{ [min]}} = 1,74 \text{ [kWh / Fertigteil]}$$

- Einbau Fertigteil mit TDK

$$\frac{1,74 \text{ [kWh / Fertigteil]}}{6,06 \text{ [m}^2 \text{ / Fertigteil]}} = 0,287 \text{ [kWh / m}^2\text{]}$$

⁵¹ Foto: Christian Pfeifer

⁵² vgl. [Pfe10], S. 99

⁵³ vgl. ebd.

Demnach wird für das Abladen und den Einbau der Fertigteil-Filigrandecken 0,287 kWh/m² elektrischer Strom verbraucht.

Zulagebewehrung

Nach erfolgter Montage der Filigrandeckenelemente wird die Zulagebewehrung eingebaut. Über eine Fläche von 1.370,00 m² wird durchschnittlich eine Zulagebewehrung von 14,70 kg/m² eingebaut. Das Gesamtgewicht der LKW-Ladung beträgt 21 t, wobei die Bewehrungseisen zu 15 Paketen zusammengefasst sind. Für den gesamten Abladevorgang pro LKW entstehen somit 15 Lastspiele des TDK. Das Abladen und Einheben der Zulagebewehrung wird vom Turmdrehkran mit einem Energieverbrauch von 18,244 kWh durchgeführt. Aufgrund der Zwischenlagerung der Bewehrungseisen beträgt die Vorgangsdauer 4,50 Min., die jeweils für das Abladen und Einheben zu berücksichtigen sind.⁵⁴

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Deckenfläche	Bewehrungsgrad	Vorgangsdauer	Energieaufwand	Zuladung je LKW	Lastspiele je LKW
[m ²]	[kg/m ²]	[min]	[kWh]	[t]	
1.370	14,700	4,5	18,244	21	15

Abb. 27: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs⁵⁵

Der Energieverbrauch für das Abladen und den Einbau der Zulagebewehrung mittels Turmdrehkran ergibt sich demnach wie folgt:⁵⁶

- Abladen und Einbau der Bewehrung mit TDK

⁵⁴ vgl. [Pfe10], S. 100

⁵⁵ vgl. ebd., S. 101

⁵⁶ vgl. ebd.

$$\frac{18,244 \text{ [kWh]} * 4,5 \text{ [min]}}{60 \text{ [min]}} = 1,367 \text{ [kWh / Lastspiel]}$$

- Abladen und Einbau der Bewehrung mit TDK

$$\frac{1370,00 \text{ [m}^2\text{]} * 14,70 \text{ [kg / m}^2\text{]} * 15 \text{ [Lastspiele / LKW]} * 2}{21000 \text{ [kg / LKW]}} \approx 29 \text{ [Lastspiele]}$$

$$\frac{1,367 \text{ [kWh / Lastspiel]} * 29 \text{ [Lastspiele]}}{1370,00 \text{ [m}^2\text{]}} = 0,029 \text{ [kWh / m}^2\text{]}$$

Für das Abladen und den Einbau der Zulagebewehrung werden 0,029 kWh/m² verbraucht.

Betonieren

Zum Betonieren der Filigrandecke wird Transportbeton der Festigkeitsklasse C 30/37 (Ausbreitmaß-Klasse F3, Größtkorn 32 mm und einem W/Z-Wert von 0,58) verwendet. Die Deckenebene hat eine Fläche von 1.370,00 m². Die Transportmenge beträgt je Fahrmi-scher 7,5 m³. Für die Betonförderung wird eine Transportbetonpumpe des Herstellers Putzmeister Typ M 52 verwendet, der 1,00 l/m³ Diesel für den Pumpvorgang verbraucht. Der Einbau erfordert das Mitwirken von fünf Mitarbeitern: Zum einen den Fahrer der Au-tobetonpumpe, der den Verteilermast steuert, und einen Mitarbeiter, der den Beton über das Verteilerrohr verteilt. Der dritte Mitarbeiter überprüft mittels Rotationsnivellier die Einhaltung der notwendigen Betondicke von 0,15 m. Der vierte Mitarbeiter verdichtet mit einer Rüttelflasche den Frischbeton, wobei ein fünfter Mitarbeiter die Betonoberfläche glättet.⁵⁷

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

⁵⁷ vgl. [Pfe10], S. 102

Betondicke [m]	Volumen Betonpumpe [m ³]	Kraftstoffverbrauch [l/m ³]
0,15	1,0	1,0

Abb. 28: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs⁵⁸

Der Energieverbrauch für das Einbringen des Transportbetons mit einer Betonpumpe ergibt sich wie folgt:⁵⁹

- Einbau mit Betonpumpe

$$1,00 \text{ [l/m}^3\text{]} * 0,15 \text{ [m]} = 0,150 \text{ [l/m}^2\text{]}$$

Demnach wird für das das Einbringen des Transportbetons mit einer Betonpumpe 0,150 [l/m³] Diesel verbraucht.

Zusammenfassung

Abschließend werden die Ergebnisse der Prozessanalysen in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Vorgang	Energieverbrauch	
	Kraftstoff [l/m ²]	Stromverbrauch [kWh/m ²]
Abladen und Einbau der Filigrandecke		0,287
Abladen und Einbau der Zulagebewehrung		0,029
Betonieren	0,150	
Summe	0,150	0,316

Abb. 29: Zusammenfassung des Energieverbrauchs „Einbau der Filigrandecke“

Für den Einbau der Filigrandecke mit den auf der Baustelle eingesetzten Baumaschinen werden 0,150 l/m² an Diesel und 0,316 kWh/m² Strom verbraucht.

⁵⁸ vgl. ebd., S. 101

⁵⁹ vgl. [Pfe10], S. 101

Prozessanalyse „Einbau der Fertigteil-Treppe“

Abschließend werden für die vertikale Raumerschließung noch Fertigteil-Treppen eingebaut. Die Treppen bestehen aus Beton der Festigkeitsklasse C 30/37 sowie Bewehrungsstahl. Die folgenden Berechnungen beziehen sich auf die Aufsichtsfläche der Treppen. Diese Fläche beträgt im Durchschnitt $8,71 \text{ m}^2$. Der Bewehrungsgrad beträgt $22,97 \text{ kg/m}^2$, die Treppendicke $0,26 \text{ m}$ und das Gewicht $5,896 \text{ t}$. Durchschnittlich ist jeder LKW mit 21 t beladen. Für das Abladen und den Einbau steht der Fahrzeugkran ATF 70-4 mit einem Kraftstoffverbrauch von $6,75 \text{ l/h}$ zur Verfügung. Der Abladevorgang dauert $4,5 \text{ Min.}$ und der Einbauvorgang $35,00 \text{ Min.}$



Abb. 30: Einbau der Fertigteil-Treppe⁶⁰

Im ersten Schritt werden die Anschlagmittel in die vier vorgefertigten Transportgewinde eingedreht und anschließend über die Betonzapfen am Treppenanfang und -ende Elastomerkappen gestülpt. Die Betonzapfen dienen zum späteren Übertrag der Kräfte von der Treppe an die Wände. Die Treppe wird im nächsten Schritt vom Fahrzeugkran an die Einbauposition gehoben. Infolge der engen Platzverhältnisse beim Einpassen der Treppe in das Treppenhaus erfolgt der Einbau mit äußerster Vorsicht, was die lange Einbaudauer

⁶⁰ Foto: Christian Pfeifer

von 35 Min. erklärt. Die Betonzapfen der Treppen werden dabei in die Wandtaschen eingefädelt. Abschließend werden die Anschlagmittel von der Treppe gelöst.⁶¹



Abb. 31: Einpassen der Fertigteil-Treppe⁶²

Die Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Prozess	Fläche Treppe	Vorgangsdauer	Energieverbrauch Fahrzeugkran
	[m ²]	[min]	[l/h]
Abladen	8,71	4,50	6,75
Einbau		35,00	6,75

Abb. 32: Eingangswerte für die Berechnung des Energieverbrauchs⁶³

Der Energieverbrauch für das Einbringen des Transportbetons mit einer Betonpumpe ergibt sich wie folgt:⁶⁴

⁶¹ vgl. [Pfe10], S. 106

⁶² Fotos: Christian Pfeifer

⁶³ vgl. [Pfe10], S. 106

⁶⁴ vgl. ebd., S. 107

- Abladen Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{6,75 [l/h] * 4,5 [\text{min}]}{60 [\text{min}]} = 0,506 [l / \text{Fertigteil}]$$

- Einbau Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{6,75 [l/h] * 35,00 [\text{min}]}{60 [\text{min}]} = 3,938 [l / \text{Fertigteil}]$$

- Summe Abladen und Einbau Fertigteil

$$0,506 [l / \text{Fertigteil}] + 3,938 [l / \text{Fertigteil}] = 4,444 [l / \text{Fertigteil}]$$

- Abladen Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{0,506 [l / \text{Fertigteil}]}{8,710 [m^2 / \text{Fertigteil}]} = 0,058 [l / m^2]$$

- Einbau Fertigteil mit ATF 70-4

$$\frac{3,938 [l / \text{Fertigteil}]}{8,710 [m^2 / \text{Fertigteil}]} = 0,452 [l / m^2]$$

- Summe Abladen und Einbau Fertigteil

$$0,058 [l / m^2] + 0,452 [l / m^2] = 0,510 [l / m^2]$$

Für den Einbau der Fertigteil-Treppe wird 0,510 l/m² an Diesel verbraucht.

Anhang 4:

Prozessanalysen zur Energieverbrauchsanalyse Ausbau

Prozessanalyse „Gewerk Fenstervergitterung“

Prozessbeschreibung

Für den Einbau der Fenstervergitterung erfolgt im ersten Schritt das Einmessen der Montagestellen mit einem Tachymeter. Nachdem die Befestigungsstellen so festgelegt wurden, werden zuerst die mittleren Bohrlöcher für die Befestigung der Gitter gebohrt. Das Einheben, Montieren und grobe Ausrichten der Vergitterung wird von vier Mitarbeitern unter Zuhilfenahme eines Mobilkranes durchgeführt. Sobald die Gitter eingehoben wurden, werden sie mittels Theodolit eingemessen und die restlichen Bohrstellen werden markiert und gebohrt. Die Befestigung der Vergitterung erfolgt mit Durchsteckankern.



Abb. 1: Einheben der Vergitterung mit einem Mobilkran und anschließende Montage¹

Anschließend wird die Einhaltung der Einbautoleranzen überprüft. Sofern es notwendig ist, werden vorhandene Abweichungen mit Hilfe von Unterlegscheiben ausgeglichen. In einem letzten Arbeitsschritt werden alle Abreißmuttern mit den Befestigungslaschen der Vergitterung verschweißt.²

¹ Fotos: Evgeny Gurov

² vgl. [Gur10], S. 56



Abb. 2: Ausgleichen von Abweichungen mit Unterlegscheiben und Verschweißen³

Geräteinsatz

Für den Einbau der Vergitterung kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:⁴

- Bohrhammer Hilti TE 30-AVR
- Bohrhammer Hilti TE 24
- Winkelschleifer Bosch GWS 11-125 CIE Professional
- Tachymeter Theodolit „Wild Heerbrugg T16 (70) D (1973-1995)
- Schweißgerät Elektrodeninverter Rehm Booster 170

Auswertung

Im Untersuchungszeitraum wurden zwischen dem 07.04.2010 und 12.04.2010 an 4 Tagen insgesamt 28 Vergitterungen montiert. An diesen Tagen wurden neben dem Gewerk Fenstervergitterung auch Leistungen der Gewerke Fenstermontage, Maurerarbeiten, Klin-

³ Fotos: Evgeny Gurov

⁴ vgl. [Gur10], S. 52

kerfassadenarbeiten, Abdichtungsarbeiten (Sockel und Dampfsperre) und Malerarbeiten ausgeführt.⁵

Für die Montage der Vergitterungen wurde 12,041 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht.⁶

Das bedeutet, dass für den Einbau einer Vergitterung

$$\frac{\text{Wirkarbeit Fenstervergitterung}}{\text{Anzahl der Gitter}} = \frac{12,041 \text{ kWh}}{28 \text{ Stk}} = 0,430 \text{ kWh/Stk}$$

an Wirkarbeit verbraucht wird.

Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$12,041 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 1,40 \text{ [€]}$$

Hinzu kommen die Kosten für die Blindarbeit, allerdings nur für den Anteil der Blindarbeit, der 50 % der Wirkarbeit übersteigt:

$$0,0138 \text{ [€]} \times (7,778 \text{ [kvar]} - 50\% \times 12,041 \text{ [kWh]}) = 0,02 \text{ [€]}$$

Somit belaufen sich die Stromkosten auf insgesamt

$$1,40 \text{ [€]} + 0,02 \text{ [€]} = 1,42 \text{ [€]}.$$

Entsprechend dem vereinbarten Stromtarif fallen also pro eingebauter Vergitterung Stromkosten in Höhe von

$$1,42 \text{ [€]} / 48 \text{ Stck} = 0,051 \text{ [€/Stck]}$$

an.

⁵ siehe Anhang 5

⁶ ebd.

Hier wird deutlich, dass der Einbau der Fenstervergitterung nicht zu den energieintensiven Prozessen gehört, da die Arbeiten, die für die Erstellung des Gewerks notwendig sind, wie Bohr-, Schleif- und Schweißarbeiten, mit leistungsschwachen Handgeräten erbracht werden, die darüber hinaus kaum bis keine Leerlaufzeiten verursachen.

Prozessanalyse „Gewerk Fenstermontage“

Im Rahmen der Erstellung der Werkhalle 1 werden insgesamt 117 Fenster eingebaut. Im Untersuchungszeitraum werden an 28 Tagen alle 60 Fenster der Ebene 1 montiert, wobei allerdings nur an 16 Tagen Strom für diese Leistungen verbraucht wird.⁷

Prozessbeschreibung

Die Fenstermontage kann erst nach erfolgtem Einbau der Vergitterung erfolgen, da die Fensterrahmen fest mit den Gitterleibungen verbunden werden müssen. Für den Einbau der Fenster werden im Vorlauf zunächst die Abmessungen der Fensteröffnungen im Rohbau überprüft, um etwaige Abweichungen frühzeitig festzustellen und zu korrigieren. Anschließend werden die Fenster von einem Turmdrehkran an ihre entsprechenden Einbauorte gehoben und die Montage kann beginnen: Die Fenster werden von zwei Mitarbeitern in die Fensteröffnung eingebracht und mittels eines Rotationslasers ausgerichtet. Anschließend werden die für die Befestigung notwendigen Bohrlöcher mit einem Bohrer gebohrt. Die Bohrlöcher werden mit Dübeln versehen, und die Fenster werden mit Hilfe eines Schlagbohrschraubers an der Wand befestigt.⁸

⁷ vgl. [Gur10], S. 61 und S. 69

⁸ vgl. ebd., S. 69



Abb. 3: Rotationslaser zum Ausrichten der Fenster nach dem Einbau in der Werkhalle⁹

Nach erfolgter Montage der Fenster wird eine dampfoffene Folie an die Stoßstelle zwischen Fensterrahmen und Rohbauwand geklebt. Hierzu wird zuerst ein Voranstrich aus Elastomerbitumen und anschließend die dampfoffene Folie aufgebracht. Nach erfolgter Verklebung der Folie wird die Wärmedämmung der Fugen ausgeführt. Dies geschieht, indem 7-8 cm breite Streifen aus Mineralwolle in die Fugen gelegt werden. Im nächsten Schritt werden die Fugen versiegelt. Zuvor werden die Oberflächen der Rohbauöffnung an den Kontaktstellen gereinigt und die Fugen mit Hinterfüllbändern gefüllt und mit dampfdichtem Silikon aus der Kartuschenpistole versiegelt.¹⁰

⁹ Fotos: Evgeny Gurov

¹⁰ vgl. [Gur10], S. 69



Abb. 4: Bitumen-Voranstrich, Wärmedämmung und Hinterfüllbänder¹¹

Zuletzt werden die Fensterfugen von innen mit Leisten versehen. Die Leisten werden hierfür mit einem Winkelschleifer und einer Kapp- und Gehrungssäge auf die entsprechende Länge gekürzt und abschließend auf die Fensterfugen geklebt.¹²



Abb. 5: Kapp- und Gehrungssäge und Leiste auf der Fuge¹³

Geräteinsatz

Für den Einbau der Fenster kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:¹⁴

¹¹ Fotos: Evgeny Gurov

¹² vgl. [Gur10], S. 69

¹³ Fotos: Evgeny Gurov

¹⁴ vgl. [Gur10], S. 64

-
- Rotationslaser Würth RL 04
 - Winkelschleifer
 - Würth Master EWS 125-S
 - Akku-Schlagbohrschrauber Hilti SFH 144-A
 - Bohrhammer Hilti TE 16-C
 - Kapp- und Gehrungssäge Makita LS1013
 - Winkelschleifer
 - Pattfield E-WS 1000
 - Kartuschenpistole Panasonic EY 3654 FQM

Auswertung

Im Untersuchungszeitraum wurden zwischen dem 07.04.2010 und 12.04.2010 an 28 Tagen insgesamt 60 Fenster montiert. Insgesamt wurde an 16 Tagen Strom für die Leistungen des Gewerks verbraucht. An diesen Tagen wurden neben dem Gewerk Fenstermontage auch Leistungen der Gewerke Fenstervergitterung, Maurerarbeiten, Klinkerfassadenarbeiten, Abdichtungsarbeiten (Sockel und Dampfsperre) und Malerarbeiten ausgeführt.

Für die Montage der Fenster wurde 66,714 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht.¹⁵

Das bedeutet, dass für den Einbau eines Fensters

$$\frac{\text{Wirkarbeit Fenstermontage}}{\text{Anzahl der Fenster}} = \frac{66,714 \text{ kWh}}{60 \text{ Stk}} = 1,112 \text{ kWh/Stk}$$

an Wirkarbeit verbraucht wird.

Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$66,714 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 7,74 \text{ [€]}$$

¹⁵ siehe Anhang 5

Hinzu kommen die Kosten für die Blindarbeit, allerdings nur für den Anteil der Blindarbeit, der 50 % der Wirkarbeit übersteigt:

$$0,0138 \text{ [€]} \times (36,159 \text{ [kvar]} - 50\% \times 66,714 \text{ [kWh]}) = 0,04 \text{ [€]}$$

Somit belaufen sich die Stromkosten auf insgesamt

$$7,74 \text{ [€]} + 0,04 \text{ [€]} = 7,78 \text{ [€]}.$$

Entsprechend dem vereinbarten Stromtarif fallen also pro eingebautem Fenster Stromkosten in Höhe von

$$7,78 \text{ [€]} / 60 \text{ Stck} = 0,130 \text{ [€/Stck]}$$

an.

Auch hier wird deutlich, dass der Einbau der Fenster nicht zu den energieintensiven Prozessen gehört, da die Arbeiten, die für die Erstellung des Gewerks notwendig sind, mit Handgeräten erbracht werden, die kaum bis keine Leerlaufzeiten verursachen.

Prozessanalyse „Gewerk Maurerarbeiten“

Im Zuge des Ausbaus werden im Inneren der Werkhalle nichttragende Raumtrennwände sowie Schachtabmauerungen aus Porenbeton bzw. Kalksandstein errichtet. Insgesamt werden etwa 918 m² Mauerwerkswände und 10 Türstürze hergestellt.¹⁶

Prozessbeschreibung

Im ersten Schritt erfolgt das Einmessen der Mauerwerkswände. Sobald die Position der Wände festgelegt wurde, wird für die zu erstellenden Mauern im Erd- und Kellergeschoss eine Trennlage gegen aufsteigende Feuchtigkeit verlegt. Anschließend werden zwei Bretter als Führungsleisten für das Mauern an den Wänden befestigt. Die Verankerung der

¹⁶ vgl. [Gur10], S. 72 f. und S. 78 f.

Mauerwände an den Stahlbetonwänden wird durch Lochschienen und Maueranschlussanker gewährleistet.¹⁷

Nach diesen Vorbereitungen wird der Mörtel in einer Mörtelwanne mittels Rührgerät gemischt. Darüber hinaus werden die Eck- und Endmauersteine auf die notwendige Länge gekürzt. Der Steinschnitt erfolgt mit einer Diamant-Steinsäge bzw. einem Winkelschleifer. Sobald alle Vorbereitungen getroffen wurden, erfolgt die erste Steinlage, die so genannten Kimmschicht. Diese dient der Erstellung eines planebenen Niveaus in Längs- und Querrichtung und somit dem Ausgleich von Unebenheiten und beansprucht daher mehr Zeit als die folgenden Schichten. Für die Kimmschicht wird ein Mörtel der Gruppe IIa bzw. III verwendet, wohingegen für die folgenden Schichten ein Dünnbettmörtel genutzt wird. Auf die erste Steinlage wird dann eine Trennlage in Form einer Bitumen-Dichtungsbahn verlegt, die das Aufsteigen von Feuchtigkeit in die höheren Schichten verhindern soll. Nachdem die Mauer fertiggestellt wurde, erfolgt abschließend die Versiegelung der Fugen zwischen Mauerwerk und den Decken mit Silikon.¹⁸ Dies wird zur Veranschaulichung zusammenfassend in der folgenden Abbildung dargestellt.

¹⁷ vgl. [Gur10], S. 80 f.

¹⁸ vgl. ebd.



Abb. 6: Lage der Führungsleisten, Kimmerschicht und Bitumen-Trennlage bei Maurerarbeiten¹⁹

Geräteinsatz

Für Maurerarbeiten kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:²⁰

- Rührgerät Collomix CX 44 DUO
- Halogenlichtstrahler Fael Luce Okay 500 R7s
- Akku-Montageschrauber Hilti SF 100-A
- Bohrhammer Bosch GBH-2-23-RE Professional
- Winkelschleifer Bosch GWS 22-230 LVI
- Gabelstapler Ladegeräte P.B.M. srl TL 24/40
- Diamant-Steinsäge Dietz Motoren FBR 132S/40
- Gabelhochhubwagen Crown WE 2300

¹⁹ Foto: Evgeny Gurov

²⁰ vgl. [Gur10], S. 75 ff.

Auswertung

Das Gewerk Maurerarbeiten wurde im Untersuchungszeitraum an insgesamt 13 Tagen ausgeführt, wobei an 11 Tagen Strom verbraucht wurde.²¹

Für die im Untersuchungszeitraum erbrachte Mauerwerksleistung von 266,66 m² wurde 49,217 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht.²²

Das bedeutet, dass für die Herstellung von einem m² Mauerwerk

$$\frac{\text{Wirkarbeit Mauerwerkserstellung}}{\text{Erstelltes Mauerwerk}} = \frac{49,217 \text{ kWh}}{266,66 \text{ m}^2} = 0,185 \text{ kWh/m}^2$$

an Wirkarbeit verbraucht wird.

Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$49,217 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 5,71 \text{ [€]}$$

Hinzu kommen die Kosten für die Blindarbeit, jedoch nur für den Anteil der Blindarbeit, der 50 % der Wirkarbeit übersteigt:

$$0,0138 \text{ [€]} \times (31,115 \text{ [kvar]} - 50\% \times 49,217 \text{ [kWh]}) = 0,09 \text{ [€]}$$

Somit belaufen sich die Stromkosten auf insgesamt

$$5,71 \text{ [€]} + 0,09 \text{ [€]} = 5,80 \text{ [€]}.$$

Entsprechend dem vereinbarten Stromtarif fallen also pro m² Mauerwerk Stromkosten in Höhe von

$$5,80 \text{ [€]} / 266,66 \text{ m}^2 = 0,022 \text{ [€/m}^2\text{]}$$

an.

²¹ siehe Anhang 5

²² ebd.

Auch hier wird deutlich, dass die Erbringung von Maurerarbeiten nicht zu den energieintensiven Prozessen gehört, da die Arbeiten, die für die Erstellung des Gewerks notwendig sind, mit Handgeräten erbracht werden, die darüber hinaus kaum bis keine Leerlaufzeiten verursachen.

Prozessanalyse „Gewerk Fassadenarbeiten (Verblendmauerwerk)“

Prozessbeschreibung

Bevor die Fassadenarbeiten beginnen, werden alle Tür- und Fensterleibungen, die direkt an das zu erstellende Verblendmauerwerk anschließen, mit Fugendichtbändern abgeklebt. Des Weiteren werden, wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, zwei Führungsleisten in Form von Holzbrettern an die Wände verschraubt und eine Richtschnur dazwischen gespannt, um das Ausrichten der Fassade zu erleichtern.²³ Dies wird in der folgenden Abbildung zum besseren Verständnis zusammenfassend dargestellt.

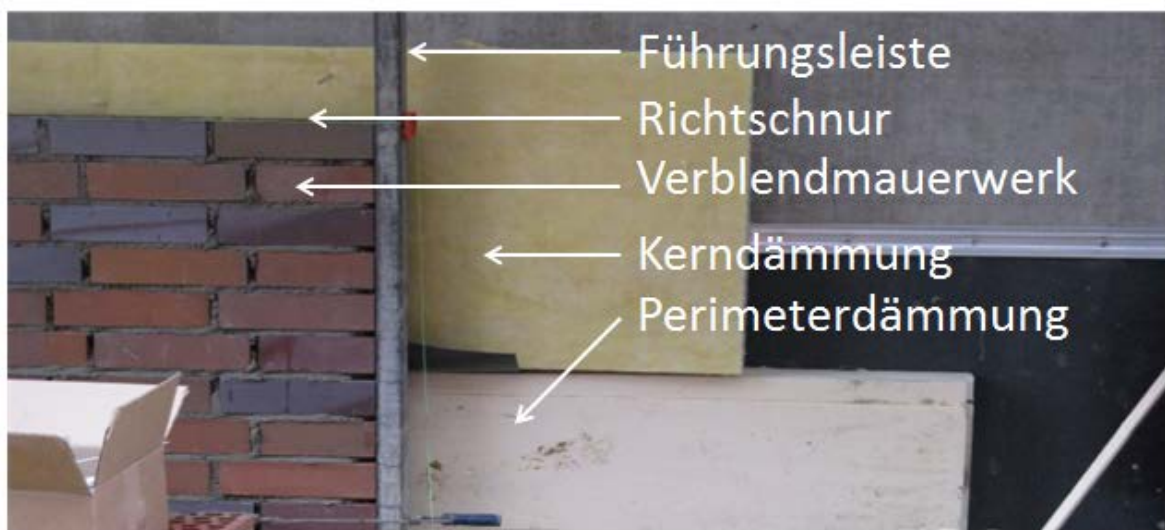


Abb. 7: Lage der Führungsleiste und Richtschnur für die Herstellung des Verblendmauerwerks²⁴

²³ vgl. [Gur10], S. 92 ff.

²⁴ Foto: Evgeny Gurov

Im ersten Schritt wird eine Lage aus druckfesten Dämmsteinen gelegt. Da diese die Basis für alle weiteren Steinlagen bildet, muss sie genau ausgerichtet werden. Die nächsten darüber liegenden Schichten werden aus Klinkersteinen gelegt. Sobald sechs Steinlagen gemauert wurden, wird eine Sperrfolie als horizontale Abdichtung gegen aufsteigende Feuchtigkeit verlegt. In der elften Steinlage werden das Verblendmauerwerk und die Kerndämmung in der Stahlbetonwand verankert. Dies geschieht, indem zunächst Löcher mit einem Bohrhämmer gebohrt werden. Anschließend werden die Drahtanker eingeschlagen und auf das notwendige Maß mit einem Winkelschleifer gekürzt.



Abb. 8: Lage der druckfesten Dämmsteine, Sperrfolie und Verankerung²⁵

Die Perimeterdämmung wird, anders als die Kerndämmung, nicht mitverankert, sondern in den Hohlraum zwischen Stahlbetonwand und Verblendmauerwerk gelegt.²⁶

Geräteinsatz

Bei der Ausführung Fassadenarbeiten kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:²⁷

- Akku-Bohrhammer Hilti TE 7-A
- Winkelschleifer Bosch GWS 11-125 CIE Professional

²⁵ Fotos: Evgeny Gurov

²⁶ vgl. [Gur10], S. 92 ff.

²⁷ vgl. Ebd., S. 88

- Diamant-Steinsäge Bourk CON-STAR 40/63

Auswertung

Das Gewerk Fassadenarbeiten wurde im Untersuchungszeitraum an 13 Tagen vollständig ausgeführt, wobei insgesamt 13,040 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht und eine Gesamtleistung von 377,2 m² Fassade erbracht wurde.²⁸

Das bedeutet, dass für die Herstellung von einem m²

$$\frac{\text{Wirkarbeit Fassadenarbeiten}}{\text{Erstellte Fassade}} = \frac{13,040 \text{ kWh}}{377,2 \text{ m}^2} = 0,035 \text{ kWh/m}^2$$

an Wirkarbeit verbraucht wird. Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$13,040 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 1,51 \text{ [€]}$$

Hinzu kommen die Kosten für die Blindarbeit, jedoch nur für den Anteil der Blindarbeit, der 50 % der Wirkarbeit übersteigt:

$$0,0138 \text{ [€]} \times (7,430 \text{ [kvar]} - 50\% \times 13,040 \text{ [kWh]}) = 0,01 \text{ [€]}$$

Somit belaufen sich die Stromkosten auf insgesamt

$$1,51 \text{ [€]} + 0,01 \text{ [€]} = 1,52 \text{ [€]}.$$

Entsprechend dem vereinbarten Stromtarif fallen also pro m² Fassadenarbeiten Stromkosten in Höhe von

$$1,52 \text{ [€]} / 377,2 \text{ m}^2 = 0,004 \text{ [€/m}^2\text{]}$$

an.

An dem Ergebnis wird deutlich, dass die Erbringung von Fassadenarbeiten nicht zu den energieintensiven Prozessen gehört, da die Arbeiten die für die Erstellung des Gewerks

²⁸ siehe Anhang 5

notwendig sind, mit Handgeräten erbracht werden, die darüber hinaus kaum bis keine Leerlaufzeiten verursachen.

Prozessanalyse „Gewerk Abdichtungsarbeiten (Flachdachabdichtung)“

Im Zuge der Herstellung der Flachdachabdichtung wurde der Stromverbrauch für

- die Ausführung des Voranstrichs auf der Rohdecke,
- den Einbau der Dacheinläufe,
- die Verklebung der Dampfsperre,
- den Einbau der Dachabsturzicherung,
- den Einbau der Dachabläufe und

untersucht.

Prozessbeschreibung

Die Flachdachabdichtung erfolgt nach Fertigstellung der Stahlbetondecke. Hierzu muss die abzudichtende Oberfläche zuvor gereinigt werden. Anschließend wird ein Bitumen-Voranstrich aufgebracht. Sobald der Voranstrich trocken ist, erfolgt das Verkleben der Dampfsperre mit Heißbitumen.



Abb. 9: Bitumen-Voranstrich, Heißbitumenkocher und Bitumen-Dampfsperren²⁹

²⁹ Fotos: Evgeny Gurov

Hierzu wird das Heißbitumen gekocht und anschließend mit Gießkannen auf der abzu-dichtenden Fläche verteilt. Die Dampfsperre wird in Bahnen auf das heiße Bitumen gelegt und so mit der Decke verklebt. Parallel dazu werden die Dachabsturz Sicherungen auf der Decke mit Schrauben befestigt und die Dachabläufe eingebaut und abgedichtet.³⁰



Abb. 10: Montage der Dachabsturz Sicherungen und der Dachabläufe³¹

Geräteinsatz

Für die Abdichtungsarbeiten kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Ein-satz:³²

- Bohrhammer Hilti TE 15-C
- Nass- und Trockensauger Kärcher NT 611 ECO K
- Flachsaugende Tauchpumpe Blueline FSP 260 KM
- Nass-Trockensauger Einhell DUO 1250/1

Auswertung

Das Gewerk wurde im Untersuchungszeitraum an insgesamt 27 Tagen ausgeführt, wobei an 13 Tagen Strom verbraucht wurde. Insgesamt wurden 50,841 kWh der abrechnungsre-levanten Wirkarbeit verbraucht und eine Gesamtfläche von 1.872,05 m² abgedichtet.³³

³⁰ vgl. [Gur10], S. 106 ff.

³¹ Fotos: Evgeny Gurov

³² vgl. [Gur10], S. 101

Das bedeutet, dass für die Herstellung von 1 m² Flachdachabdichtung

$$\frac{\text{Gesamtwirkarbeit Flachdachabdichtung}}{\text{Abgedichtete Fläche}} = \frac{50,841 \text{ kWh}}{1.872,05 \text{ m}^2} = 0,03 \text{ kWh/m}^2$$

an Wirkarbeit verbraucht wird.

Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$50,841 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 5,90 \text{ [€]}$$

Die Blindarbeit beträgt 15,607 [kvar] und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (25,4205 [kWh]) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht.

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen also pro m² Flachdachabdichtung Stromkosten in Höhe von

$$5,90 \text{ [€]} / 1.872,05 \text{ m}^2 = 0,003 \text{ [€/m}^2\text{]}$$

an.

Ebenso wie in den Untersuchungen der Ausbaugewerke zuvor wird klar, dass die Erbringung von Abdichtungsarbeiten nicht zu den energieintensiven Prozessen gehört.

Prozessanalyse „Gewerk Abdichtungsarbeiten (Sockelabdichtung)“

Gegen aufsteigende Feuchte aus dem Boden sowie sickerndes und stehendes Wasser muss laut Ausführungsplanung eine Abdichtung beginnend bei der Sauberkeitsschicht bis zu +0,52 m Geländeoberkante eingebaut werden. Hierbei wird die Abdichtung auf einer Fläche von 99,23 m² einlagig und auf 176,21 m² zweilagig ausgeführt.³⁴

³³ siehe Anhang 5

³⁴ vgl. [Gur10], S. 112 f.

Prozessbeschreibung

Wichtige Voraussetzung für das Aufbringen der Abdichtung ist, dass die abzudichtende Oberfläche sauber, trocken und frei von Unebenheiten ist. Sofern dies der Fall ist, wird im ersten Schritt die Bodenschlämme zwischen dem Übergang Bodenplatte zur aufgehenden Wand (ca. 40 cm breiter Streifen) eingebracht und die Hohlkehle entlang des Wandfußpunktes (Radius ca. 4-6 cm.) ausgebildet. Anschließend wird von Hand mit einer Farbwalze der Bitumen-Voranstrich aufgebracht. Hierauf wird die erste Lage der Bitumen-Schweißbahn ab Oberkante Sauberkeitsschicht bis Oberkante Bodenplatte mittels Schweißverfahren geklebt. Sobald diese erste Schicht der Abdichtung fertig gestellt wurde, wird die zweite Schicht Bitumen-Schweißbahnen wieder beginnend bei Oberkante Sauberkeitsschicht, diesmal allerdings entsprechend der Ausführungsplanung, in der vollen Höhe bis +0,52 m Geländeoberkante aufgebracht.³⁵ Für das bessere Verständnis wird dies in der folgenden Abbildung auf Grundlage der Ausführungsplanung zusammenfassend dargestellt.

³⁵ vgl. [Gur10], S. 115 ff.

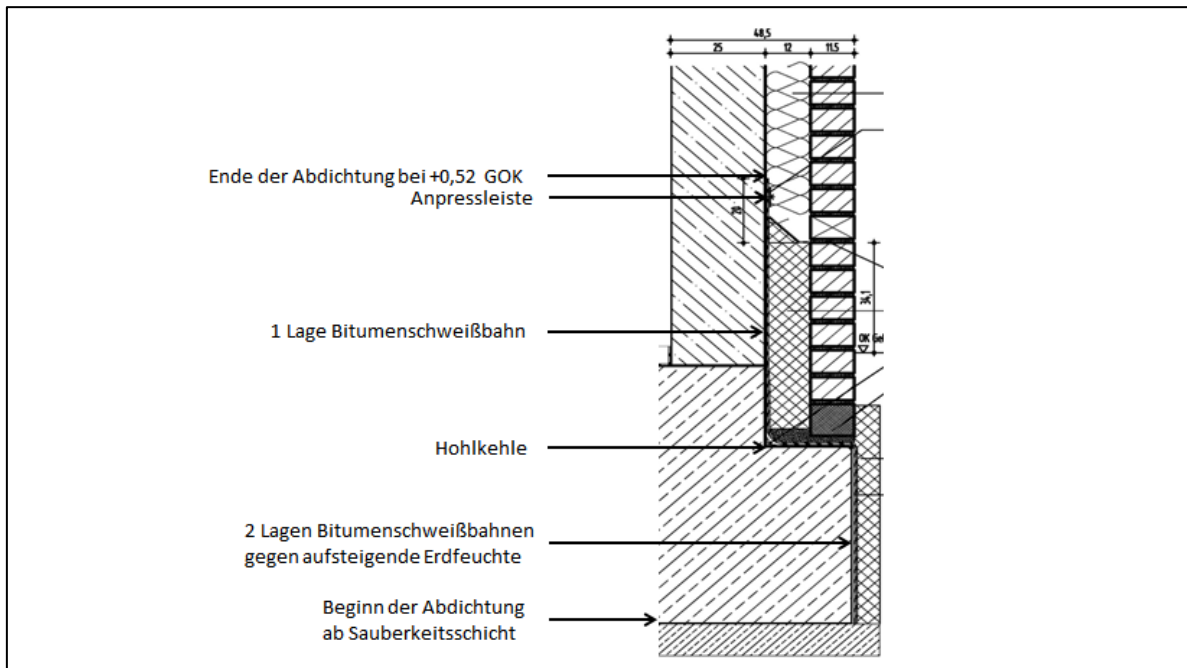


Abb. 11: Ausführungsplan der Sockelabdichtung³⁶

Die Oberkante der Abdichtung wird durch eine Abpressleiste, die mit Ankern fest im Mauerwerk verbunden wird, abgeschlossen.

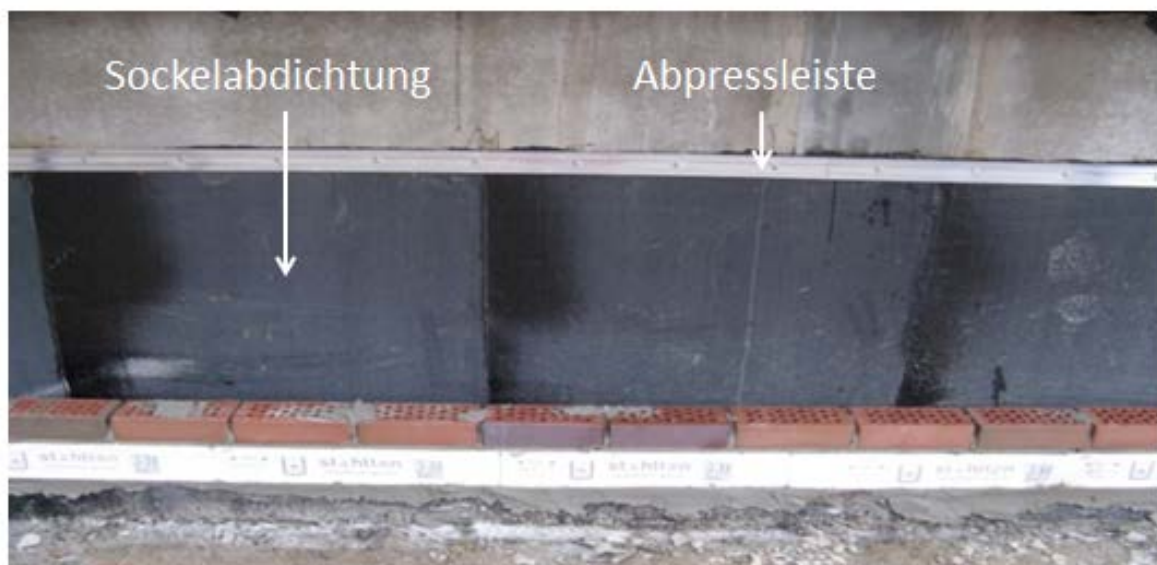


Abb. 12: Abschluss der Sockelabdichtung mit einer Abpressleiste³⁷

³⁶ vgl. [Gur10], S. 112

Geräteinsatz

Für die Herstellung der Sockelabdichtung kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:³⁸

- Bohrschrauber Bosch GSR 6-40 TE
- Bohrhammer Hitachi DH 25 PB

Auswertung

Das Gewerk Sockelabdichtung wurde im Untersuchungszeitraum an insgesamt 3 Tagen ausgeführt, wobei an 2 Tagen Strom verbraucht wurde. Insgesamt wurden 2,652 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht und eine Gesamtfläche von

$$99,23 \text{ m}^2 \text{ (einlagig)} + 2 \times 176,21 \text{ m}^2 \text{ (zweilagig)} = 451,65 \text{ m}^2$$

abgedichtet.³⁹

Das bedeutet, dass für die Herstellung von 1 m² Sockelabdichtung

$$\frac{\text{Gesamtwirkarbeit Sockelabdichtung}}{\text{Abgedichtete Fläche}} = \frac{2,652 \text{ kWh}}{451,65 \text{ m}^2} = 0,006 \text{ kWh/m}^2$$

an Wirkarbeit verbraucht wird. Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$2,652 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 0,31 \text{ [€]}$$

Hinzu kommen die Kosten für die Blindarbeit, allerdings nur für den Anteil der Blindarbeit, der 50 % der Wirkarbeit übersteigt:

³⁷ Foto: Evgeny Gurov

³⁸ vgl. [Gur10], S. 114

³⁹ siehe Anhang 5

$$0,0138 \text{ [€]} \times (1,590 \text{ [kvar]} - 50\% \times 2,652 \text{ [kWh]}) = 0,004 \text{ [€]}$$

Somit belaufen sich die Stromkosten auf insgesamt

$$0,31 \text{ [€]} + 0,004 \text{ [€]} = 0,31 \text{ [€]}.$$

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen also pro m² Sockelabdichtung Stromkosten in Höhe von

$$0,31 \text{ [€]} / 451,65 \text{ m}^2 = 0,001 \text{ [€/m}^2\text{]}$$

an.

Hier wird deutlich, dass die Ausführung der Sockelabdichtung nicht zu den energieintensiven Prozessen zählt.

Prozessanalyse „Gewerk Abdichtung (Dampfsperre auf Bodenplatte)“

Im Folgenden erfolgt die Analyse des Energieverbrauchs für das Aufbringen der Dampfsperre auf die Bodenplatte. Diese ist notwendig, um das Gebäude gegen aufsteigende Feuchtigkeit aus dem Erdreich abzudichten.

Prozessbeschreibung

Die abzudichtende Bodenplatte hat eine Größe von 1.696,0 m². Allerdings muss die Dampfsperre an den Rändern zu Wänden und Stützen um 10 cm hochgezogen werden. Hieraus ergibt sich eine zusätzlich abzudichtende Fläche von 87,67 m². Insgesamt ist also eine Fläche von

$$1696,0 \text{ m}^2 + 87,67 \text{ m}^2 = 1783,67 \text{ m}^2$$

mit einem Bitumen-Voranstrich und anschließend einlagig mit Bitumen-Schweißbahnen zu versehen.⁴⁰

Im ersten Schritt erfolgt das Säubern und Trocknen der Bodenplatte. Anschließend wird ein Bitumen-Voranstrich von Hand mit einer Farbwalze aufgetragen. Hiernach werden Elastomerbitumen-Schweißbahnen im Schweißverfahren aufgebracht. Dabei wird mit einer Gasflamme schrittweise die Bitumen-Schweißbahn erwärmt und auf der Bodenplatte verklebt.⁴¹ Dies wird aus Gründen der Nachvollziehbarkeit in der folgenden Abbildung dargestellt.

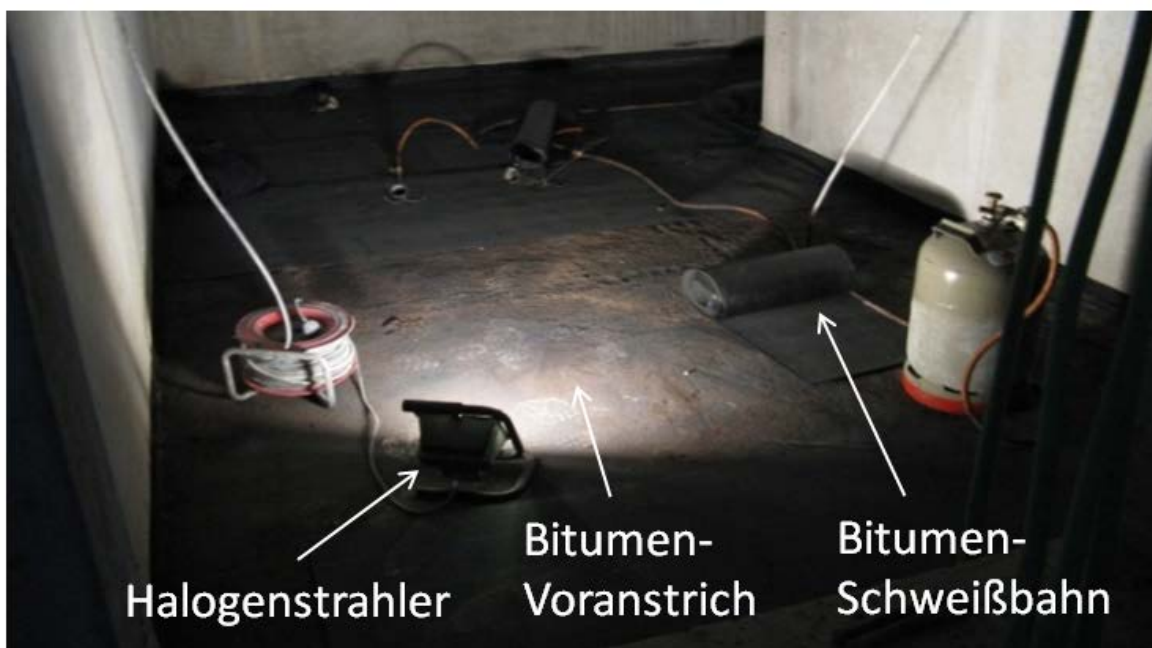


Abb. 13: Aufbringen der Dampfsperre auf der Bodenplatte⁴²

⁴⁰ vgl. [Gur10], S. 120

⁴¹ vgl. ebd., S. 123

⁴² Foto: Evgeny Gurov

Geräteinsatz

Für die Ausführung der Leistung ist lediglich eine Arbeitsbeleuchtung in Form eines Halogenstrahlers notwendig. Die eigentlichen Abdichtungsarbeiten werden ohne weitere stromverbrauchende Geräte ausgeführt.⁴³

Auswertung

Im Untersuchungszeitraum wurde an insgesamt 17 Tagen die Dampfsperre auf die Bodenplatte aufgebracht, wobei allerdings an nur 3 Tagen Strom für die Arbeitsbeleuchtung verbraucht wurde. Insgesamt wurden 3,178 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht.⁴⁴

Das bedeutet, dass für die Herstellung von 1 m² Dampfsperre

$$\frac{\text{Gesamtwirkarbeit Dampfsperre}}{\text{Abgedichtete Fläche}} = \frac{3,178 \text{ kWh}}{1.783,67 \text{ m}^2} = 0,002 \text{ kWh/m}^2$$

an Wirkarbeit verbraucht wird.

Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$3,178 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 0,37 \text{ [€]}$$

Hinzu kommen die Kosten für die Blindarbeit, allerdings nur für den Anteil der Blindarbeit, der 50 % der Wirkarbeit übersteigt:

$$0,0138 \text{ [€]} \times (2,155 \text{ [kvar]} - 50\% \times 3,178 \text{ [kWh]}) = 0,01 \text{ [€]}$$

Somit belaufen sich die Stromkosten auf insgesamt

$$0,37 \text{ [€]} + 0,01 \text{ [€]} = 0,38 \text{ [€]}.$$

⁴³ vgl. [Gur10], S. 121

⁴⁴ siehe Anhang 5

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen also pro m² Sockelabdichtung Stromkosten in Höhe von

$$0,45 \text{ [€]} / 1.783,67 \text{ m}^2 = 0,0002 \text{ [€/m}^2\text{]}$$

an.

Auch hier wird deutlich, dass die Erbringung von Abdichtungsarbeiten nicht zu den energieintensiven Prozessen gehört.

Prozessanalyse „Gewerk Malerarbeiten“

Im Rahmen des Gewerks Malerarbeiten werden im Beobachtungszeitraum insgesamt 12.968,66 m² Decken und Wände gespachtelt, grundiert und gestrichen.⁴⁵

Prozessbeschreibung

Zu Beginn der Arbeiten wird die Betonoberfläche mit einem Spachtel von groben Verunreinigungen befreit. Da in der Werkhalle die Raumhöhe etwa 5 m beträgt, muss für die Arbeiten ein Arbeitsgerüst aufgebaut werden. Die Spachtelmasse wird durch Mischen eines Wandfüllers auf Gips-Kunststoff-Basis und Wasser mit einem Rührwerk hergestellt. Sobald die Betonoberfläche gereinigt wurde, wird die Spachtelmasse in Fugen und Unebenheiten der Wände und Decken verteilt und glatt gestrichen.⁴⁶

⁴⁵ vgl. [Gur10], S. 135

⁴⁶ vgl. ebd., S. 132 ff.



Abb. 14: Herstellung der Spachtelmasse⁴⁷

Nachdem die aufgetragenen Spachtelschichten getrocknet sind, werden die Oberflächen mit einem Wand- und Deckenschleifer glatt geschliffen. Um hierbei die Verunreinigung und Staubbelastung gering zu halten, wird ein Schleifstaubsauger genutzt.⁴⁸



Abb. 15: Abschleifen der gespachtelten Flächen⁴⁹

⁴⁷ Fotos: Evgeny Gurov

⁴⁸ vgl. [Gur10], S. 132 ff.

⁴⁹ Fotos: Evgeny Gurov

Nachdem die Wand- und Deckenoberflächen auf diese Weise behandelt wurden, wird ein Dispersionsanstrich als Grundierung aufgetragen. Sobald dieser trocken ist, wird die eigentliche Farbe, ein hoch deckender weißer Latexanstrich, aufgebracht. Sowohl für die Grundierung als auch für den Latexanstrich wird ein Farbspritzgerät verwendet.⁵⁰



Abb. 16: Farbspritzgerät und Farbspritzen⁵¹

Geräteinsatz

Für die Malerarbeiten kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:⁵²

- Halogenlichtstrahler Brennenstuhl PL 500
- Rührwerk Eibenstock EHR 14.1 S
- Airless-Farbspritzgerät GRACO SMART Ultra MAX II Proconnect 1095
- Schleifstaubsauger Storch Vac tec 25
- Wand- und Deckenschleifer Variolux V-TBS 600

⁵⁰ vgl. [Gur10], S. 132 ff.

⁵¹ Fotos: Evgeny Gurov

⁵² vgl. [Gur10], S. 129

Auswertung

Das Gewerk Maurerarbeiten wurde im Untersuchungszeitraum an insgesamt 48 Tagen ausgeführt, wobei an allen Tagen Strom verbraucht wurde. Insgesamt wurden 12.968,66 m² Wände bzw. Decken gespachtelt und gestrichen, wobei 199,151 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht wurde.⁵³

Das bedeutet, dass für die Erbringung von 1 m² Malerarbeiten

$$\frac{\text{Gesamtwirkarbeit Malerarbeiten}}{\text{Fläche}} = \frac{199,151 \text{ kWh}}{12.968,66 \text{ m}^2} = 0,015 \text{ kWh/m}^2$$

der Wirkarbeit verbraucht wird.

Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$199,151 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 23,12 \text{ [€]}$$

Die Blindarbeit beträgt 84,306 kWh und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (99,5755 kWh) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht.

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen also pro m² Malerarbeiten Stromkosten in Höhe von

$$23,12 \text{ [€]} / 12.968,66 \text{ m}^2 = 0,002 \text{ [€/m}^2\text{]}$$

an.

Für die Qualität der Ausführung von Malerleistungen sind auch die im Arbeitsbereich vorhandenen Lichtverhältnisse maßgebend. Da im Inneren der Werkhalle gearbeitet wurde und das vorhandene Tageslicht nicht ausreichend war, musste künstliche Beleuchtung in Form von Halogenlichtstrahlern eingesetzt werden. Diese Halogenstrahler, die ständig auch in den Arbeitspausen eingeschaltet blieben, erzeugen mit ihrer Leistung von 500 W einen wesentlichen Anteil der verbrauchten Wirkarbeit. Daher sollten die

⁵³ siehe Anhang 5

Strahler in Arbeitspausen ausgeschaltet werden. Dies ist nur durch die Sensibilisierung der Mitarbeiter umsetzbar.⁵⁴



Abb. 17: Lichtverhältnisse im Gebäude und eingeschaltete Beleuchtung in den Pausen⁵⁵

Prozessanalyse „Gewerk Elektroinstallationen – Starkstrom“

Im Folgenden wird der Energieverbrauch des Gewerks Elektroinstallationen analysiert. Zu den Leistungen, die ausgeführt wurden, gehören

- die Erstellung von Schlitzten und Bohrlöcher im Mauerwerk und die Verlegung von Leerrohren und Abzweig- und Gerätesteckdosen,
- die Leerrohrverkabelung,
- die Montage der Kabeltrasse sowie die
- Brandschutztechnische Verkastung der Kabeltrasse.⁵⁶

Prozessbeschreibung

Im ersten Schritt erfolgt die Überprüfung der in den Wänden und Decken verbauten Leerrohre. Sofern diese während des Betonierens beschädigt bzw. verstopft wurden, müssen

⁵⁴ vgl. [Gur10], S. 135

⁵⁵ Fotos: Evgeny Gurov

⁵⁶ vgl. [Gur10], S. 138

sie instandgesetzt werden. Darüber hinaus kann es erforderlich sein, weitere Schlitze und Löcher mittels Handkreissäge bzw. Bohrhammer anzufertigen. Anschließend können die Kabel in die Leerrohre bzw. Schlitze verlegt werden. In einigen Bereichen werden Kabel bündelweise mittels Sammelhaltern an den Wänden verlegt.⁵⁷

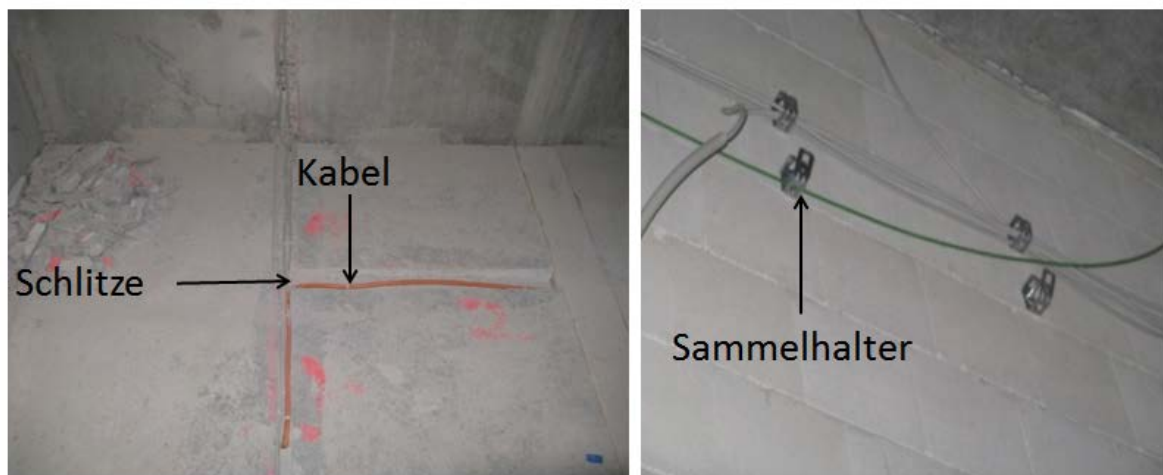


Abb. 18: In Schlitzen verlegte Elektrokabel und Sammelhalter für Kabelbündel⁵⁸

Darüber hinaus wird eine Kabeltrasse mit insgesamt drei Ebenen hergestellt. Hierzu werden Wandausleger für die Befestigung der Trasse an der Wand und Deckenabhängungen für die Befestigung unter der Decke geschraubt. Anschließend werden die Kabel auf der Trasse verlegt.⁵⁹ Die Konstruktion der Kabeltrasse mit den zuvor genannten Elementen wird in der folgenden Abbildung dargestellt.

⁵⁷ vgl. [Gur10], S. 146 ff.

⁵⁸ Foto: Evgeny Gurov

⁵⁹ vgl. [Gur10], S. 146 ff.



Abb. 19: Installierung einer Kabeltrasse⁶⁰

Nachdem die Kabel verlegt worden sind, erfolgt die brandschutztechnische Verkastung der Kabeltrasse. Hierzu wird die Kabeltrasse mit Brandschutzplatten eingehaust. Diese Platten sind mit einem in den Gipskern eingebetteten Glasvliesgewebe armiert und widerstehen einem Feuer, entsprechend der Brandschutzklasse F90, 90 Minuten lang. Die Platten werden hierzu mit einem kompressorbetriebenen Klammergerät befestigt und mittels einer Abhängung an der Decke fixiert. Abschließend werden die vorhandenen Fugen gespachtelt und geschlossen.⁶¹ Dies wird ebenfalls zur Veranschaulichung in der folgenden Abbildung dargestellt.

⁶⁰ Foto: Evgeny Gurov

⁶¹ vgl. [Gur10], S. 146 ff.

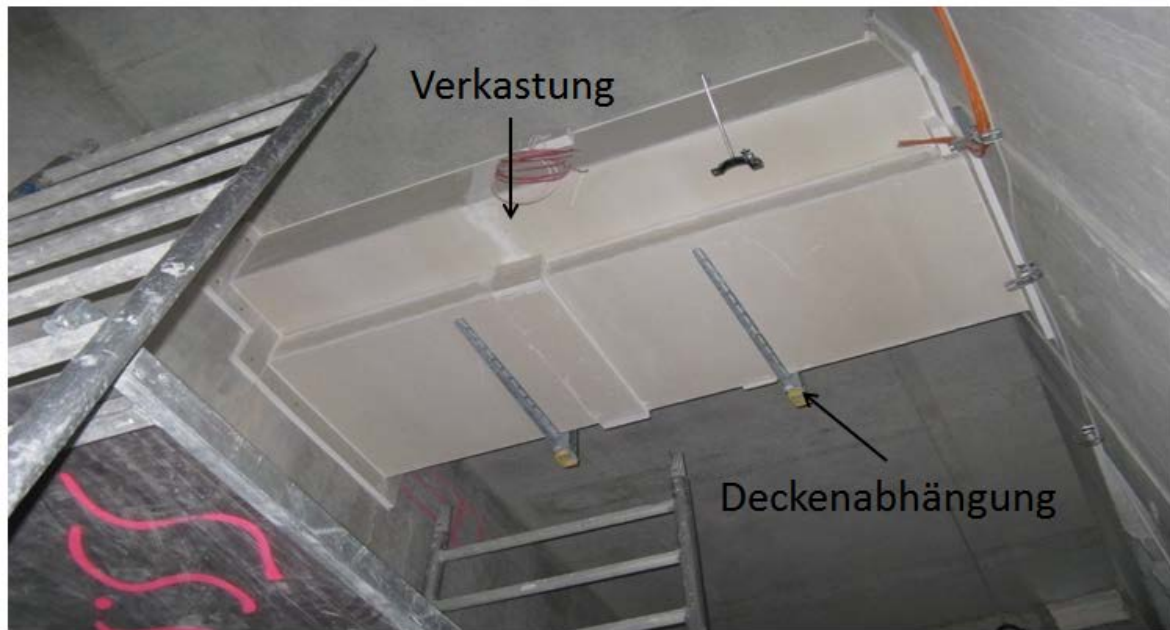


Abb. 20: Brandschutztechnische Verkastung der Kabeltrasse⁶²

Geräteinsatz

Für die Elektroinstallationen kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:⁶³

- Winkelschleifer Hilti DAG 125-S
- Bohrhammer Hilti TE-16-M
- Schlagschrauber Protool IWP 20
- Winkelschleifer Metabo WQ 125 SP
- Akku-Schlagschrauber Protool IWC 18-2 TEC LI
- Bohrhammer Würth Master H 26-ACM
- Kombihammer Hilti TE 76 ATC
- Nass- und Trockensauger Spit AC 1600

⁶² Foto: Evgeny Gurov

⁶³ vgl. [Gur10], S. 141 f.

- Handkreissäge Bosch GSK 65 Professional
- Klammergerät Senco Tacker SNS50 Automatik
- Kompressor Käser KC260-30
- Halogenlichtstrahler Brennenstuhl PL 500

Auswertung

Das Gewerk Elektroinstallationen wurde im Untersuchungszeitraum an insgesamt 42 Tagen ausgeführt, wobei an allen Tagen Strom verbraucht wurde. Insgesamt wurden 200,544 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht.⁶⁴

Die Blindarbeit beträgt 79,118 kvar und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (102,77 kWh) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht.

Entsprechend dem vereinbarten Stromtarif fallen Stromkosten in Höhe von

$$200,544 \text{ kWh} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 27,70 \text{ €}$$

an.

Die Bildung von Kennzahlen für dieses Gewerk ist nicht möglich, da die installierten Mengen nicht mit der notwendigen Genauigkeit erfasst werden konnten. Daher wird die Auswertung nur für eine qualitative Aussage genutzt.

Im Vergleich mit den restlichen Ausbaugewerken fällt der Stromverbrauch für die Arbeiten der Elektroinstallation höher aus. Der Anteil des Gewerks an den Gesamtstromkosten liegt bei 5,34 %⁶⁵. Die Ursache hierfür liegt in dem großen Anteil der Befestigungs-, Schlitz- und Bohrarbeiten. Darüber hinaus musste aufgrund der schlechten Lichtverhältnisse im Inneren des Gebäudes künstlich beleuchtet werden.⁶⁶

⁶⁴ siehe Anhang 5

⁶⁵ ebd.

⁶⁶ vgl. [Gur10], S. 149

Prozessanalyse „Gewerk Gips- und Kalkzementputzarbeiten“

Der Gipsputz wird im Inneren der Werkhalle einlagig in einer Dicke von 15 mm auf insgesamt 361,89 m² Wände und Decken aufgetragen und abschließend geglättet. Der Kalkzementputz wird auf einer Fläche von 655,00 m² ebenfalls einlagig in einer Dicke von 20 mm im Inneren der Werkhalle, allerdings nur auf Porenbetonwandflächen aufgetragen. Insgesamt werden 1.016,89 m² Wände und Decken verputzt.⁶⁷

Prozessbeschreibung

Der Putz wird als Trockenmasse in Silos aufbewahrt, die so nah wie möglich am Gebäude aufgestellt werden. Denn je weiter die zu überbrückende Entfernung zum Einbauort ist, desto mehr Pumpleistung bzw. Energie wird für den Transport des Trockengemischs mittels Förderanlage aufgewendet. Die Mischpumpe wird am Einbauort im Gebäude aufgestellt und dient der Herstellung des einbaufertigen Putzes.⁶⁸ Zum besseren Verständnis werden die genannten Geräte in der folgenden Abbildung dargestellt.

⁶⁷ vgl. [Gur10], S. 151 ff.

⁶⁸ vgl. ebd., S. 156 ff.



Abb. 21: Notwendige Geräte zur Herstellung des Putzes⁶⁹

Nachdem alle Fugen zwischen den Fertigteilen geschlossen wurden, werden die Betonoberflächen von Verschmutzungen gereinigt und anschließend grundiert, um eine Haftbrücke zwischen Betonoberfläche und Putz herzustellen. Anschließend werden Innenputzprofile an die Kanten von Tür- und Fensteröffnungen angebracht. Diese dienen zur Ausbildung und Stabilisierung der Putzkanten sowie als Schutz gegen Rissbildung.⁷⁰



Abb. 22: Innenputzprofile an einer Fensteröffnung⁷¹

⁶⁹ Fotos: Evgeny Gurov

⁷⁰ vgl. [Gur10], S. 157

⁷¹ Foto: Evgeny Gurov

Der Putz wird von einem Mitarbeiter mittels Mischpumpe auf die Wand bzw. Decke aufgebracht, während ein weiterer Mitarbeiter die aufgetragene Putzschicht mit Hilfe einer Trapez-Kartätsche glättet. Anschließend wird der geglättete Putz mit einem Reibebrett abgerieben. Um eine besonders glatte Oberfläche zu erzielen, wird der Putz nach einigen Stunden der Trocknung nochmals mit Wasser angefeuchtet und abgerieben.⁷²



Abb. 23: Auftragen und Glätten des Putzes⁷³

Geräteinsatz

Für die Putzarbeiten kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:⁷⁴

- Mischpumpe PFT G4 Standard
- Wechselsilo PFT WS 12,5 mit Außensilorüttler von Bosch
- Pneumatische Förderanlage PFT Silomat D1-140 mit Fördergefäß PFT CA21-MIB6-U

Auswertung

Das Gewerk Gips- und Kalkzementputzarbeiten wurde im Untersuchungszeitraum an insgesamt 17 Tagen ausgeführt, wobei an 14 Tagen Strom verbraucht wurde.⁷⁵

⁷² vgl. [Gur10], S. 158

⁷³ Fotos: Evgeny Gurov

⁷⁴ vgl. [Gur10], S. 154

⁷⁵ siehe Anhang 5

Insgesamt wurden 1.016,89 m² Wände und Decken verputzt wobei 141,798 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht wurde. Das bedeutet, dass für einen m² Gips- und Kalkzementputzarbeiten im Inneren der Werkhalle 1

$$\frac{\text{Wirkarbeit der Gips – und Kalkzementputzarbeiten}}{\text{verputzte Gesamtfläche}} = \frac{141,798 \text{ kWh}}{1.016,89 \text{ m}^2} = 0,139 \text{ kWh/m}^2$$

verbraucht wird.

Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$141,798 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 16,46 \text{ [€]}$$

Die Blindarbeit beträgt 69,304 kvar und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (70,899 kWh) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht. Entsprechend dem vereinbarten Stromtarif fallen pro m² Putzarbeiten Stromkosten in Höhe von

$$16,46 \text{ [€]} / 1.016,89 = 0,016 \text{ [€/m}^2\text{]}$$

an.

Im Vergleich zu den bisher untersuchten Ausbaugewerken fällt der Stromverbrauch hier deutlich höher aus. Dies liegt daran, dass das Auftragen und der Transport des Putzes zum Einbauort mittels Mischpumpe maschinell erfolgt.

Prozessanalyse „Gewerk Estricharbeiten“

Nachdem die Bodenplatte gegen aufsteigende Feuchtigkeit abgedichtet wurde, wird der Estrich verlegt. Im Untersuchungszeitraum wurden an 21 Tagen insgesamt 2.752,85 m² schwimmender Estrich verlegt.

Prozessbeschreibung

Zu Beginn wird der Estrichförderer so nah wie möglich an den Einbauort gebracht, um die Entfernung für die Beförderung des Estrichs so gering wie möglich zu halten, da mit wachsendem Förderweg der Energieverbrauch entsprechend steigt.⁷⁶

Bevor der Estrich „schwimmend“ aufgebracht wird, erfolgt die Reinigung des Untergrunds. Dies erfolgt durch Fegen mit einem Besen. Teilweise müssen auch Stemmarbeiten durchgeführt werden, um bereits erhärteten Mörtel bzw. Putz oder Beton zu entfernen. Anschließend wird der Untergrund weiter großflächig vorbereitet, indem zuerst die Oberfläche mit einem Kugelstrahler und anschließend mit einer Fräse bearbeitet wird. Um die Verschmutzung und die Staubbelastung durch das Fräsen gering zu halten, wird eine Staubfilteranlage eingesetzt.⁷⁷

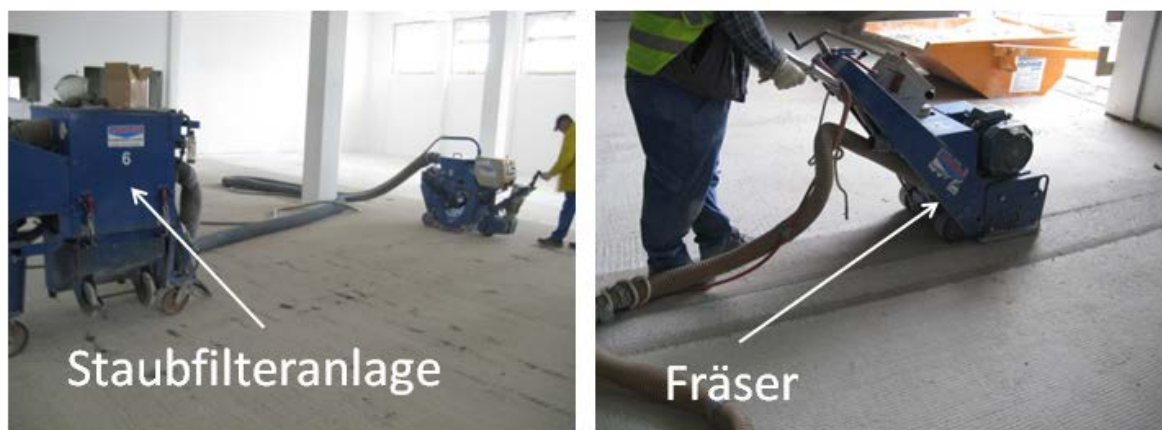


Abb. 24: Fräsen des Untergrundes⁷⁸

Nachdem die Fräsarbeiten abgeschlossen wurden, werden die Trittschalldämmung, PE-Folie und Randdämmstreifen verlegt. An Stellen, an denen Leitungen auf dem Boden ver-

⁷⁶ vgl. [Gur10], S. 172 ff.

⁷⁷ vgl. ebd.

⁷⁸ Fotos: Evgeny Gurov

laufen, werden entsprechende Aussparungen vorgesehen. Diese Stellen werden später mit einer Ausgleichsschüttung versehen, um Risse im Estrich zu vermeiden.⁷⁹



Abb. 25: Verlegen der Trittschalldämmung, PE-Folie und Randdämmstreifen⁸⁰

Anschließend wird der Estrich eingebaut. Hierzu wird der Estrich vom Estrichförderer zur Einbaustelle gepumpt, wo er dann von einem Mitarbeiter mit einer Estrichlatte verteilt und glatt gezogen wird. Abschließend wird die Oberfläche des eingebauten Estrichs mit einem Estrichglätter geglättet.⁸¹



Abb. 26: Einbau des Estrichs⁸²

⁷⁹ vgl. [Gur10], S. 172 ff.

⁸⁰ Fotos: Evgeny Gurov

⁸¹ vgl. [Gur10], S. 174

⁸² Fotos: Evgeny Gurov

Geräteinsatz

Für die Estricharbeiten kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:⁸³

- Rotationslaser
- Rührwerk Flex R 600 FR
- Halogenstrahler Brennenstuhl
- Estrichglätter (Hersteller konnte wegen stark verschmutztem Gerät nicht ermittelt werden)
- Kugelstrahlmaschine BLASTRAC 2-20DT
- Staubfilteranlage BLASTRAC BDC -854
- Staubfilteranlage BLASTRAC BDC-317
- Fräser BLASTRAC BMP-EHY 320

Auswertung

Das Gewerk Estricharbeiten wurde im Untersuchungszeitraum an insgesamt 21 Tagen ausgeführt, wobei an 19 Tagen Strom verbraucht wurde.⁸⁴

Insgesamt wurden 2.752,85 m² Estrich eingebaut, wodurch 512,897 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht wurde. Das bedeutet, dass für einen m² Estricharbeiten in der Werkhalle 1

$$\frac{\text{Wirkarbeit Estricharbeiten}}{\text{verputzte Gesamtfläche}} = \frac{512,897 \text{ kWh}}{2.752,85 \text{ m}^2} = 0,186 \text{ kWh/m}^2$$

verbraucht wird.

Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$512,897 [\text{kWh}] \times 0,11609 [\text{€/kWh}] = 59,54 [\text{€}]$$

⁸³ vgl. [Gur10], S. 167 ff.

⁸⁴ siehe Anhang 5

Die Blindarbeit beträgt 252,258 kvar und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (256,448 kWh) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht.

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen pro m² Estricharbeiten Stromkosten in Höhe von

$$59,54 \text{ [€]} / 2.752,85 \text{ [m}^2\text{]} = 0,022 \text{ [€/m}^2\text{]}$$

an.

Im Vergleich zu den bisher untersuchten Gewerken fällt der Stromverbrauch höher aus. Dies liegt insbesondere an den energieintensiven Vorarbeiten wie Kugelstrahlen und Betonfräsen, die notwendig waren, weil die Bodenoberflächen stark verschmutzt waren.

Prozessanalyse „Gewerk Abwasserleitungen“

Im Folgenden wird der Stromverbrauch für die Installation der Schmutzwasser- und Regenwasserrohre in der Werkhalle 1 untersucht. Im Untersuchungszeitraum wurden insgesamt 455,50 m Leitungen im Gebäude verbaut. Einen Überblick über die installierten Leitungen und Elemente gibt die folgende Tabelle.⁸⁵

⁸⁵ vgl. [Gur10], S. 179 ff.

Nr.	Bezeichnung	Menge	Einheit
1	Schmutzwasserleitungen aus gusseisernen muffenlosen Rohren DN 100	182,00	m
2	Schmutzwasserleitungen aus gusseisernen muffenlosen Rohren DN 70	85,00	m
3	Schmutzwasserleitungen aus gusseisernen muffenlosen Rohren DN 50	10,00	m
4	Schmutzwasserleitungen aus gusseisernen muffenlosen Rohren DN 40	3,00	m
5	Form- und Verbindungsstück aus gusseisernen muffenlosen Rohren DN 100	18,00	Stk
6	Form- und Verbindungsstück aus gusseisernen muffenlosen Rohren DN 70	7,00	Stk
7	Dachdurchführung mit Lüftungsrohr aus PUR, Anschluss DN 100	3,00	Stk
8	Dachdurchführung mit Lüftungsrohr aus PUR, DN 125 und DN 150	4,00	Stk
9	Schnellablauf für Druckströmung Nennweite: DN 70	6,00	Stk
10	Regenwasserleitungen aus Präzisionsstahlrohr DN 150	3,00	m
11	Regenwasserleitungen aus Präzisionsstahlrohr DN 125	19,00	m
12	Regenwasserleitungen aus Präzisionsstahlrohr DN 100	47,50	m
13	Regenwasserleitungen aus Präzisionsstahlrohr DN 70	78,00	m
14	Regenwasserleitungen aus Präzisionsstahlrohr DN 50	6,00	m
Gesamtlänge der installierten Leitungen:		455,50	m

Abb. 27: Zusammenfassung der installierten Leitungen und Elemente⁸⁶

Prozessbeschreibung

Zu Beginn der Arbeiten werden die Zugänge zu den Anschlüssen an den Grundleitungen sowie die Durchbrüche in Wänden und Decken für die Verlegung der Rohrleitungen überprüft. Gleichzeitig werden die Befestigungspunkte für die Losschellen vermessen und markiert. Anschließend kann mit der Installation der Abwasserleitungen begonnen werden. Im ersten Schritt werden die Abstandhalter an der Wand bzw. der Decke befestigt. Hierzu werden entsprechende Löcher gebohrt und die Abstandhalter mit den der Schalldämmung dienenden Gummizwischenlagen befestigt. Teilweise ist es notwendig, die Abstandhalter in ihrer Länge zu kürzen. Nachdem die Abstandhalter eingeschraubt wurden, werden die Losschellen an ihnen befestigt und das Entwässerungsrohr hindurch geführt. Der Anschluss der Entwässerungsrohre aneinander erfolgt durch eine Verbindungsschelle.⁸⁷ Zum besseren Verständnis wird dies in der folgenden Abbildung dargestellt.

⁸⁶ vgl. [Gur10], S. 179

⁸⁷ vgl. [Gur10], S. 186 ff.



Abb. 28: Montage der Entwässerungsleitung an der Decke⁸⁸

Geräteinsatz

Für die Installation der Abwasserleitungen kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:⁸⁹

- Rohrtrenngerät Portacut 185 BSP
- Akku-Bohrschrauber Bosch GSR 14,4 VE-2-LI Professional
- Bohrhammer Bosch GBH 2-26 DFR Professional
- Winkelschleifer Bosch GWS 11-125 CIE Professional
- Akku-Bohrhammer Hilti TE 6-A
- Halogenstrahler Brennenstuhl

⁸⁸ Foto: Evgeny Gurov

⁸⁹ vgl. [Gur10], S. 167 ff.

Auswertung

Das Gewerk Abwasserleitungen wurde im Untersuchungszeitraum an insgesamt 22 Tagen ausgeführt, wobei an 9 Tagen Strom verbraucht wurde.⁹⁰

Insgesamt wurden 455,50 m Abwasserleitungen installiert, wodurch 83,279 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht wurde. Das bedeutet, dass für den Einbau von einem Meter Abwasserleitungen in der Werkhalle 1

$$\frac{\text{Wirkarbeit Abwasserleitungen}}{\text{Installierte Gesamtlänge}} = \frac{83,279 \text{ kWh}}{455,50 \text{ m}} = 0,183 \text{ kWh/m}$$

verbraucht wird.

Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$83,279 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 9,67 \text{ [€]}$$

Die Blindarbeit beträgt 26,177 kvar und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (41,6395 kWh) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht.

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen pro Meter verbauter Abwasserleitung Stromkosten in Höhe von

$$9,67 \text{ [€]} / 455,50 \text{ [m]} = 0,021 \text{ [€/m]}$$

an.

Auch hier wird deutlich, dass der Stromverbrauch gering ausfällt. Dies liegt daran, dass die notwendigen Leistungen für das Gewerk im Wesentlichen aus Schraub,- Bohr- und Schneidarbeiten bestehen, die mit kleinen Handgeräten erbracht werden. Den größten

⁹⁰ siehe Anhang 5

Anteil am Stromverbrauch verursacht auch in diesem Gewerk die Arbeitsbeleuchtung, die fortwährend in Betrieb war, da überwiegend in dunklen Räumen gearbeitet wurde.⁹¹

Prozessanalyse „Gewerk Heizungsrohrleitungen“

Im folgenden Abschnitt wird der Stromverbrauch für die Installation der Heizungsrohrleitungen in der Werkhalle 1 analysiert. Insgesamt wurden im Beobachtungszeitraum 780,00 m Heizungsrohrleitung DN 10 bis DN 50 eingebaut. Einen detaillierten Überblick über die installierten Leitungen gibt die folgende Tabelle.⁹²

Nr.	Bezeichnung	Menge [m]
1	Heizungsrohrleitung DN 10	180,00
2	Heizungsrohrleitung DN 15	210,00
3	Heizungsrohrleitung DN 20	50,00
4	Heizungsrohrleitung DN 25	65,00
5	Heizungsrohrleitung DN 40	160,00
6	Heizungsrohrleitung DN 50	115,00
Gesamtlänge der installierten Heizungsrohre		780,00

Abb. 29: Überblick der installierten Heizungsrohrleitungen⁹³

Prozessbeschreibung

Zu Beginn der Ausführung wird überprüft, ob alle für die Installation der Heizungsrohrleitungen notwendigen Durchbrüche in den Wänden und Decken vorhanden sind. Anschließend werden die Stellen für den Einbau der Befestigungen eingemessen und die Bohrlöcher gebohrt. Da die Arbeitshöhe teilweise über 5 m beträgt, werden entsprechende Arbeitsgerüste aufgebaut.⁹⁴

⁹¹ vgl. [Gur10], S. 190

⁹² vgl. [Gur10], S. 192

⁹³ vgl. ebd., S. 192 f.

⁹⁴ vgl. ebd., S. 198

Im nächsten Schritt werden Abstandhalter an der Wand bzw. der Decke mittels verzinkter Schrauben befestigt. Sofern es notwendig ist, werden die Abstandhalter in der Länge gekürzt. Anschließend werden die Losschellen an die Abstandhalter geschraubt. Im nächsten Schritt werden die Heizungsrohre zugeschnitten und sofern dies erforderlich ist, auf einem Tischbieger von Hand gebogen. Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit wird dies in der folgenden Abbildung zusammenfassend dargestellt.⁹⁵



Abb. 30: Befestigte Losschelle und Abstandhalter und Tischbieger für Heizungsrohrleitungen⁹⁶

Nachdem die Heizungsrohrleitung angepasst wurde, wird sie in die vormontierten Losschellen geschoben und an das Vorgängerrohr geschweißt.⁹⁷

⁹⁵ vgl. [Gur10], S. 199

⁹⁶ Fotos: Evgeny Gurov

⁹⁷ vgl. [Gur10], S. 198 ff.



Abb. 31: Installierte Heizungsrohrleitungen⁹⁸

Geräteinsatz

Für die Installation der Heizungsrohrleitungen kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:⁹⁹

- Bohrhammer Makita HR2470FT
- Akku-Schrauber Makita 6271DWAE
- Winkelschleifer Makita 9555NB
- Halogenstrahler Brennenstuhl

Auswertung

Das Gewerk Heizungsrohrleitungen wurde im Untersuchungszeitraum an 12 Tagen ausgeführt, wobei an jedem Tag Strom verbraucht wurde. Insgesamt wurden 780 m

⁹⁸ Foto: Evgeny Gurov

⁹⁹ vgl. [Gur10], S. 194 f.

Heizungsrohrleitungen installiert, wodurch 39,044 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht wurde.¹⁰⁰

Das bedeutet, dass für den Einbau von einem Meter Heizungsrohrleitung

$$\frac{\text{Wirkarbeit Heizungsrohrleitungen}}{\text{Installierte Gesamtlänge}} = \frac{39,044 \text{ kWh}}{780,00 \text{ m}} = 0,05 \text{ kWh/m}$$

verbraucht wird. Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$39,044 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 4,53 \text{ [€]}$$

Die Blindarbeit beträgt 8,784 kvar und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (19,522 kWh) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht. Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen pro Meter verbauter Heizungsrohrleitung Stromkosten in Höhe von

$$4,53 \text{ [€]} / 780,00 \text{ [m]} = 0,006 \text{ [€/m]}$$

an. Auch hier wird deutlich, dass die Ausführung der Ausbaugewerke nicht zu den energieintensiven Prozessen gehört. Der Strom wurde für Befestigungsarbeiten wie Schraub,- Bohr- und Schneidearbeiten verbraucht. Diese Arbeiten werden mit kleinen elektrisch betriebenen Handgeräten ausgeführt und weisen kurze Einsatzdauern auf, ohne dabei Leerläufe zu verursachen. Hinzu kommt ein Anteil für den Betrieb der Arbeitsbeleuchtung, die notwendig wurde, weil in dunklen Räumen ohne ausreichend Tageslicht gearbeitet wurde.¹⁰¹

Prozessanalyse „Gewerk Lüftungsleitungen“

Im folgenden Abschnitt wird der Stromverbrauch für die Installation der Lüftungsleitungen in der Werkhalle 1 analysiert. Insgesamt wurden im Beobachtungszeitraum 305,00 m²

¹⁰⁰ siehe Anhang 5

¹⁰¹ vgl. [Gur10], S. 201

Lüftungsleitungen eingebaut. Einen Überblick über die im Beobachtungszeitraum installierten Leitungen gibt die folgende Tabelle.¹⁰²

Nr.	Bezeichnung	Menge [m ²]
1	Lüftungsleitungen, rechteckiger Querschnitt aus verzinktem Stahl, gefalzt	207,50
2	Formstück, rechteckiger Querschnitt aus verzinktem Stahl, gefalzt	97,50
Gesamtfläche der installierten Lüftungsleitungen		305,00

Abb. 32: Überblick der installierten Lüftungsleitungen¹⁰³

Prozessbeschreibung

Vor Beginn der Installation wird überprüft, ob alle notwendigen Durchbrüche und Aussparungen in den Wänden bzw. Decken vorhanden sind. Sofern dies der Fall ist, werden die Stellen für die Befestigung der Gewindestangen eingemessen. An den Gewindestangen werden später die Aufhängungen der Lüftungsleitungen befestigt. Da die Arbeiten überwiegend an der Decke und somit in etwa 5 m Höhe ausgeführt werden, werden entsprechende Arbeitsgerüste aufgebaut.¹⁰⁴

Im ersten Schritt werden Löcher in die Decke gebohrt und mit Dübeln versehen. Dann werden die Gewindestangen mit Schrauben an den Bohrlöchern befestigt. An diese Gewindestangen werden mit Gummipuffern versehene Verbindungsschienen montiert. Sofern es notwendig ist, werden die Verbindungsschienen in ihrer Länge gekürzt.¹⁰⁵ Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit wird dies in der folgenden Abbildung zusammenfassend dargestellt.

¹⁰² vgl. [Gur10], S. 203

¹⁰³ vgl. ebd.

¹⁰⁴ vgl. ebd., S. 208

¹⁰⁵ vgl. ebd., S. 209



Abb. 33: Befestigungskonstruktion aus Gewindestangen und Verbindungsschienen¹⁰⁶

Parallel hierzu werden von einem weiteren Mitarbeiter die einzelnen Segmente der Lüftungsleitungen zusammenschraubt. Sofern es notwendig ist, werden auch diese der Länge nach mit einem Winkelschleifer gekürzt. Nachdem die Segmente verschraubt wurden, werden sie von den Mitarbeitern hochgehoben und auf die zuvor beschriebenen Verbindungsschienen der Befestigungskonstruktion aufgelegt.¹⁰⁷



Abb. 34: Zuschneiden und Verschrauben der Lüftungsleitungssegmente¹⁰⁸

¹⁰⁶ Fotos: Evgeny Gurov

¹⁰⁷ vgl. [Gur10], S. 209

¹⁰⁸ Fotos: Evgeny Gurov

Geräteinsatz

Für den Einbau der Lüftungsleitungen werden folgende elektrisch betriebene Geräte eingesetzt:¹⁰⁹

- Bohrhammer Makita HR2470FT
- Akkuboehrschrauber Makita 6317DWDE
- Winkelschleifer Makita 9558NB

Auswertung

Das Gewerk Lüftungsleitungen wurde im Untersuchungszeitraum an 7 Tagen ausgeführt, wobei an jedem Tag Strom verbraucht wurde. Insgesamt wurden 305,00 m² Lüftungsleitungen installiert, wodurch 15,540 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht wurde.¹¹⁰

Das bedeutet, dass für den Einbau von einem m² Lüftungsleitung

$$\frac{\text{Wirkarbeit Heizungsrohrleitungen}}{\text{Installierte Gesamtlänge}} = \frac{15,540 \text{ kWh}}{305,00 \text{ m}^2} = 0,05 \text{ kWh/m}^2$$

verbraucht wird.

Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$15,540 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 1,80 \text{ [€]}$$

Die Blindarbeit beträgt 2,396 kvar und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (7,77 kWh) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht.

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen pro m² verbauter Lüftungsleitung Stromkosten in Höhe von

¹⁰⁹ vgl. [Gur10], S. 205

¹¹⁰ siehe Anhang 5

$$1,80 \text{ [€]} / 305,00 \text{ [m}^2\text{]} = 0,006 \text{ [€/ m}^2\text{]}$$

an.

Auch hier wird deutlich, dass die Ausführung der Ausbaugewerke nicht zu den energieintensiven Prozessen gehört. Der Strom wurde für Befestigungsarbeiten wie Schraub-, Bohr- und Schneidearbeiten verbraucht. Diese Arbeiten werden mit kleinen elektrisch betriebenen Handgeräten ausgeführt und weisen kurze Einsatzdauern auf, ohne dabei Leerläufe zu verursachen. Da die Arbeiten in Räumen ausgeführt wurden, in denen genügend Tageslicht zur Verfügung stand, war keine künstliche Beleuchtung notwendig.¹¹¹

Prozessanalyse „Gewerk Aufzugmontage“

Im Folgenden wird die Aufzugmontage dargestellt und analysiert.

Prozessbeschreibung

Die Aufzugsmontage findet im Inneren des Gebäudes im engen Aufzugsschacht statt. Im ersten Schritt wird die notwendige Arbeitsbeleuchtung im Schacht aufgestellt und es werden Arbeitsgerüste installiert. Anschließend werden die Abmessungen des Aufzugsschachtes überprüft. Sofern der Aufzugsschacht die notwendigen Abmessungen aufweist, werden die Führungsschienen montiert. Dann werden die Gewichte eingesetzt, der Fangrahmen montiert, der später den Aufzugkorb aufnehmen wird. Im Anschluss hieran werden der Geschwindigkeitsregler, Motor und Umrichter eingebaut.¹¹² Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit wird dies in der folgenden Abbildung zusammenfassend dargestellt.

¹¹¹ vgl. [Gur10], S. 212

¹¹² vgl. [Gur10], S. 218 ff.

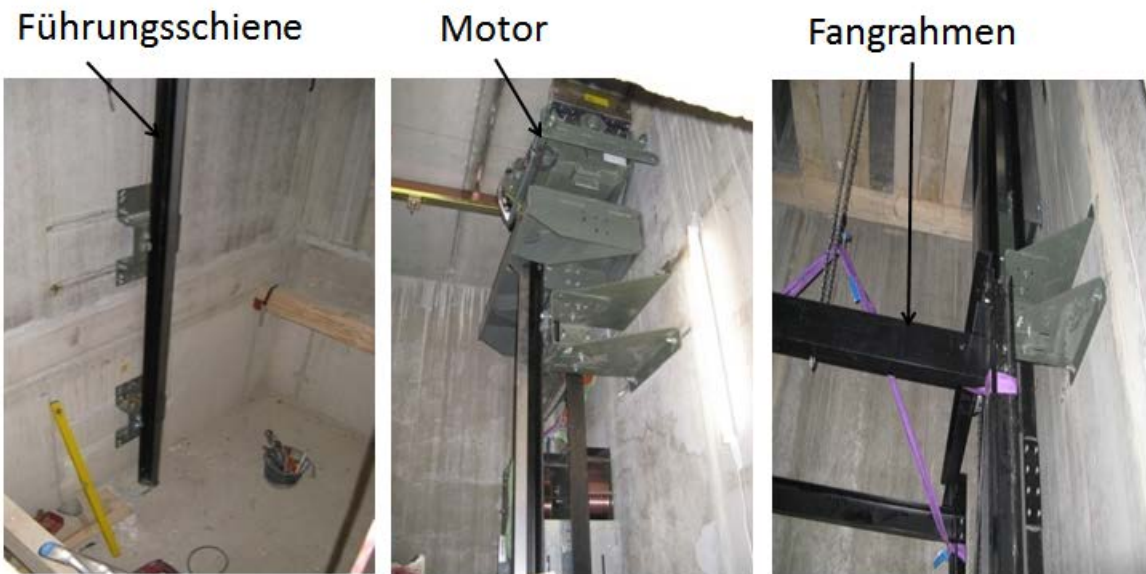


Abb. 35: Montage von Führungsschiene, Motor und Fangrahmen im Aufzugsschacht¹¹³

Im nächsten Schritt erfolgt die Montage der Schachttüren sowie der Steuerungskomponenten im Steuerschrank. Dann werden die Aufzugseile aufgelegt und befestigt sowie die Hängekabel installiert. Vor der Probefahrt werden die Arbeitsgerüste entfernt, und sofern keine Mängel vorliegen, wird im nächsten Schritt die Aufzugskabine eingebaut. Anschließend werden die Elektroinstallationen auf der fertigen Kabine eingebaut und die Kabinentüren eingesetzt.¹¹⁴

¹¹³ Fotos: Evgeny Gurov

¹¹⁴ vgl. [Gur10], S. 218 ff.



Abb. 36: Montierte Schachttüren, Steuerschrank und Kabine¹¹⁵

Geräteinsatz

Für die Aufzugmontage werden folgende elektrisch betriebene Geräte eingesetzt:¹¹⁶

- Bohrmaschine Hilti UD 30
- Akkuboehrschrauber Hilti SF 121-A
- Winkelschleifer Hilti DAG 115-S
- Kettensäge Bosch AKE 35-19 S Edition
- Seilhebezug Einhell Global BT-EH 600
- Elektrokettenszug YaleVego CPVF 5-8
- Halogenlichtstrahler Brennenstuhl PL 500
- Mini-Lichtleiste EMD T5 21W EVG

¹¹⁵ Fotos: Evgeny Gurov

¹¹⁶ vgl. [Gur10], S. 214 ff.

Auswertung

Das Gewerk Aufzugmontage wurde im Untersuchungszeitraum an insgesamt 43 Tagen ausgeführt, wobei an 42 Tagen Strom verbraucht wurde. Insgesamt wurden 138,579 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht.¹¹⁷

Die Blindarbeit beträgt 58,498 kvar und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (69,2895 kWh) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht.

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen Stromkosten in Höhe von

$$138,579 \text{ kWh} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 16,09 \text{ €}$$

an.

Die Bildung von Kennzahlen für dieses Gewerk ist nicht möglich, da die installierten Mengen nicht mit der notwendigen Genauigkeit erfasst werden konnten. Darüber hinaus waren die Arbeiten zum Ende des Beobachtungszeitraums noch nicht abgeschlossen. Aufgrund der schlechten Lichtverhältnisse im Aufzugschacht musste durchgehend künstlich beleuchtet werden. Der Anteil des Gewerks an den Gesamtstromkosten liegt daher bei 3,65 %¹¹⁸.

Prozessanalyse „Gewerk Tüorzargen- und Türblattmontage mit Glasausschnitt“

Im Zuge des Ausbaus werden im Inneren der Werkhalle die Tüorzargen und Türblätter montiert. Dabei wird nach

- Stahlblechtüren mit Glasausschnitt und
- Stahlblechtüren ohne Glasausschnitt

¹¹⁷ siehe Anhang 5

¹¹⁸ ebd.

unterschieden, da ihre Montagen unterschiedlich erfolgen. Im Folgenden wird die Montage von insgesamt 45 Türen mit Glasausschnitt untersucht.

Prozessbeschreibung

Bevor die Arbeiten beginnen, werden die Maße der Türöffnung überprüft und sofern es erforderlich ist, korrigiert. Anschließend werden die Positionen der Verbindungspunkte der Ankerplatten vermessen und markiert. Die Ankerplatten werden dann an die vorgesehenen Positionen geschraubt. Anschließend werden die Eckzargen und Gegenzargen zusammenschraubt und in die Türöffnung eingebracht, ausgerichtet und vorläufig mit Schraubzwingen fixiert.¹¹⁹



Abb. 37: In die Türöffnung montierte Ankerplatten und Eckzarge¹²⁰

Anschließend werden die Türblätter eingesetzt und die Eckzarge mit den Ankerplatten verschweißt. Abschließend wird der Hohlraum zwischen Eckzarge und Wand mit Mörtel gefüllt.

¹¹⁹ vgl. [Gur10], S. 232 ff.

¹²⁰ Fotos: Evgeny Gurov



Abb. 38: Montierte Türblätter¹²¹

Geräteinsatz

Für den Einbau der Türen mit Glasausschnitt werden folgende elektrisch betriebene Geräte eingesetzt:¹²²

- E-Hand Inverter Schweißgerät Gysmi 161 MMA
- Bohrhammer Bosch GBH 3-28 DRE Professional
- Akkuboerschrauber Bosch GSR 14,4 -2-Li Professional
- Winkelschleifer Bosch GWS 6-115 E Professional
- Rührwerk Eibenstock EHR 23/2.3 S

Auswertung

Das Gewerk wurde im Untersuchungszeitraum an insgesamt 14 Tagen ausgeführt, wobei an 13 Tagen Strom verbraucht und 45 Türen eingebaut wurden. Insgesamt wurden hierzu 25,607 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht.¹²³

¹²¹ Fotos: Evgeny Gurov

¹²² vgl. [Gur10], S. 228 f.

Die Blindarbeit beträgt 8,206 kvar und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (12,8035 kWh) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht.

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen Stromkosten in Höhe von

$$25,607 \text{ kWh} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 2,97 \text{ €}$$

an.

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen pro eingebauter Tür Stromkosten in Höhe von

$$2,97 \text{ [€]} / 45 \text{ [Stck]} = 0,066 \text{ [€/ Stck]}$$

an.

Insgesamt hat das Gewerk einen Anteil an den Gesamtstromkosten von 0,68%¹²⁴. Dies liegt daran, dass die Lichtverhältnisse ausreichend waren und keine weitere künstliche Beleuchtung notwendig war. Die gesamte Wirkarbeit wurde daher für die Befestigungsarbeiten verbraucht, wobei elektrisch betriebene Handgeräte mit kurzen Einsatzdauern genutzt wurden.

Prozessanalyse „Gewerk Tüorzargen- und Türblattmontage“

Im Folgenden wird die Montage von insgesamt 18 Türen ohne Glasausschnitt untersucht.

¹²³ siehe Anhang 5

¹²⁴ Ebd.

Prozessbeschreibung

Bevor die Arbeiten beginnen, werden die Maße der Türöffnung überprüft und sofern es erforderlich ist, korrigiert. Anschließend werden die Positionen der Verbindungspunkte der Klappanker vermessen und markiert. Die Klappankerplatten werden dann an die vorgesehenen Positionen geschraubt und aufgerichtet. Anschließend wird das Türblatt in die Zarge gehangen und die Zarge ausgerichtet und fixiert. Abschließend wird der Hohlraum zwischen Umfassungszarge und Wand mit Mörtel gefüllt.¹²⁵ Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit wird dies in der folgenden Abbildung zusammenfassend dargestellt.



Abb. 39: Montage der Klappanker und Umfassungszarge¹²⁶

Geräteinsatz

Für den Einbau der Türen mit Glasausschnitt werden folgende elektrisch betriebene Geräte eingesetzt:¹²⁷

¹²⁵ vgl. [Gur10], S. 242 ff.

¹²⁶ Fotos: Evgeny Gurov

¹²⁷ vgl. [Gur10], S. 238 ff.

-
- Bohr- und Meißelhammer Hitachi DH 30PC2
 - Schlagschrauber Makita TW0350
 - Akkuboehrschrauber Makita 6271 DWAE
 - Winkelschleifer Black & Decker KG1200-QS
 - Bohrhammer Spit 322 SDS
 - Akku-Lampe Makita ML120

Auswertung

Das Gewerk wurde im Untersuchungszeitraum an insgesamt 4 Tagen ausgeführt, wobei allen Tagen Strom verbraucht wurde. Insgesamt wurden 5,571 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht.¹²⁸

Zum Ende der Untersuchung waren alle Türen eingebaut. Das Verfüllen der Hohlräume zwischen Zarge und Wand wurde allerdings bauablaufbedingt auf einen späteren Zeitpunkt verschoben. Die Verfüllung der Hohlräume erfolgte ohne elektrische Geräte, so dass sie für den Stromverbrauch irrelevant ist.

Die Blindarbeit beträgt 1,647 kvar und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (2,7855 kWh) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht.

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen Stromkosten in Höhe von

$$5,571 [kWh] \times 0,11609 [€/kWh] = 0,65 \text{ €}$$

an.

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen pro eingebauter Tür Stromkosten in Höhe von

$$0,65 [€] / 18 [Stck] = 0,04 [€/Stck]$$

¹²⁸ siehe Anhang 5

an.

Insgesamt hat das Gewerk einen Anteil an den Gesamtstromkosten von 0,15%¹²⁹. Dies liegt daran, dass die Lichtverhältnisse ausreichend waren und keine weitere künstliche Beleuchtung notwendig war. Die gesamte Wirkarbeit wurde daher für die Befestigungsarbeiten verbraucht, wobei elektrisch betriebene Handgeräte mit kurzen Einsatzdauern genutzt wurden.

Prozessanalyse „Gewerk Trennwände in Trockenbauweise“

Im Folgenden wird der Stromverbrauch für die Herstellung von insgesamt 709,50 m² Trennwände in Trockenbauweise untersucht. Einen Überblick über die aufgebauten Trockenbauelemente gibt die folgende Tabelle.¹³⁰

¹²⁹ siehe Anhang 5

¹³⁰ vgl. [Gur10], S. 257

Nr.	Wandstärke [cm]	Wandhöhe [m]	Wandfläche [m²]	Beschreibung
Metallständerwände ohne besondere Anforderungen				
1	12,5	5,11	92,41	Nicht tragende innere Trennwand als Montagewand Beplankung zweilagig mit 12,5 mm GKB Platten „Knauf W112“ Ständerstärke: 75 mm aus verzinkten CW/UW-Profilen 75x0,6 Dämmstoffstärke aus mineralischen Faserdämmstoff: 60mm Beplankung zweilagig mit 12,5 mm GKB Platten „Knauf W112“ Oberflächenqualität: Q2
2	17,5	5,11	63,62	Wie Nr. 1 nur Ständerstärke: 125 mm
Installationswände				
3	15	5,11	110,7	Nicht tragende innere Trennwand als Montagewand Beplankung zweilagig mit 12,5 mm GKB Platten „Femacell 1 S 31“ Stahl-Doppelständer aus verzinkten CW/UW-Profilen 75x0,6 + Dämmstreifen Dämmstoff aus mineralischen Faserdämmstoff d= 40 mm Beplankung zweilagig mit 12,5 mm GKB Platten „Femacell 1 S 31“ Oberflächenqualität: Q2
4	25	5,11	23,57	Wie Nr. 1 nur Ständerstärke: 200 mm
5	30	5,11	19,36	Nicht tragende innere Trennwand als Montagewand Beplankung zweilagig mit 12,5 mm und 10 mm GKB Platten „Femacell 1 S 32FC“ Stahl-Doppelständer aus verzinkten CW/UW-Profilen 50x0,6 + Dämmstreifen Dämmstoff aus mineralischen Faserdämmstoff d=: 50 mm Beplankung zweilagig mit 12,5 mm und 10 mm GKB Platten „Femacell 1 S 32FC“ Oberflächenqualität: Q2
Türöffnungen				
6	12,5	0,76 x 2,135	8 Stk	Türöffnung mit Sturzprofil, seitlich raumhohen verstärkten UA-Metallständerprofilen inkl. Boden- und Deckenanschluss mit Türpfostensteckwinkel
7	15	0,635 x 2,135	6 Stk	Wie Nr. 6
8	15	0,76 x 2,135	8 Stk	Wie Nr. 6
1-teilige Stahlumfassungszarge				
9	12,5	0,76 x 2,135	8 Stk	
10	15	0,635 x 2,135	6 Stk	
11	15	0,76 x 2,135	8 Stk	

Abb. 40: Überblick der Trockenbau-Elemente¹³¹

Prozessbeschreibung

Zu Beginn werden Vermessungsarbeiten für die Platzierung der Befestigungspunkte der UW-Profile durchgeführt. Diese Profile werden über die gesamte Länge der zu erstellenden Trennwand an der Decke und am Boden verschraubt. Um den Schallschutz zu verbessern, wird zwischen den UW-Profilen und der Wand bzw. Decke ein Trennwandband ge-

¹³¹ vgl. [Gur10], S. 247 f.

klebt. Im nächsten Schritt werden so genannte CW-Profile senkrecht eingespielt und verschraubt. Sofern es notwendig ist, werden die Profile mit einem Winkelschleifer gekürzt. Zum besseren Verständnis werden die eingebauten Profile in der folgenden Abbildung dargestellt.¹³²



Abb. 41: Trockenbau Unterkonstruktion aus UW- und CW-Profilen¹³³

Nachdem so die Metallständer-Unterkonstruktion errichtet wurde, erfolgt im nächsten Schritt der Einbau der Türzargen. Hierzu werden verstärkte Wandständer an den Längsseiten der Umfassungszarge befestigt und anschließend in die UW-Profile eingepasst und verschraubt. Diese wird ebenfalls aus Gründen der Nachvollziehbarkeit in der folgenden Abbildung dargestellt.¹³⁴

¹³² vgl. [Gur10], S. 254 ff.

¹³³ Foto: Evgeny Gurov

¹³⁴ vgl. [Gur10], S. 254 ff.

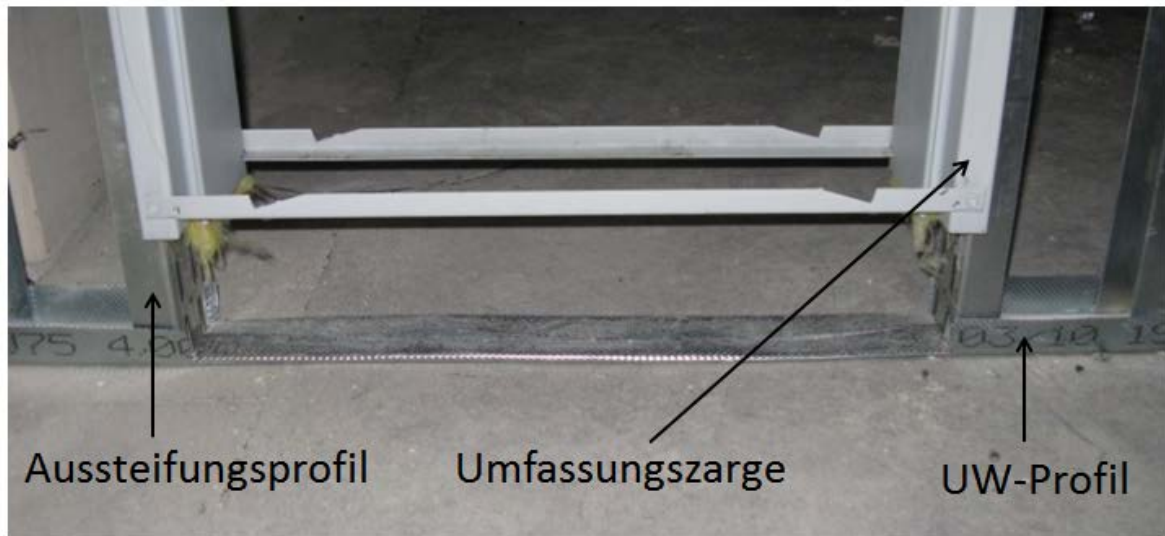


Abb. 42: Einbau einer Umfassungszarge in die Metallständer Unterkonstruktion¹³⁵

Anschließend wird die Unterkonstruktion mit Gipskartonplatten einseitig beplankt, und alle vorgesehenen Leitungen sowie die Dämmung werden in der Wand verlegt. Dann wird die rückseitige Beplankung aus Gipskartonplatten aufgebracht und verschraubt. Abschließend werden die Oberflächen der Trennwand gespachtelt.

Geräteinsatz

Für die Trockenbauarbeiten kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:¹³⁶

- Trockenbauschrauber Hilti SD 5000
- Bohrhammer Milwaukee PFH 25 QEX
- Winkelschleifer Hitachi G12SE2
- Handkreissäge Festool TS 55 EBQ-Plus
- Halogenlichtstrahler Fael Luce Okay 500 R7s

¹³⁵ Foto: Evgeny Gurov

¹³⁶ vgl. [Gur10], S. 250 f.

Auswertung

Das Gewerk Trockenbauarbeiten wurde im Untersuchungszeitraum an 12 Tagen ausgeführt, wobei an 11 Tagen Strom verbraucht wurde. Insgesamt wurden 709,50 m² Trennwände im Gebäude aufgebaut, wodurch 71,782 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht wurde.¹³⁷

Das bedeutet, dass für die Errichtung von 1 m² Trennwand in Trockenbauweise

$$\frac{\text{Wirkarbeit Trockenbau}}{\text{Installierte Gesamtlänge}} = \frac{71,782 \text{ kWh}}{709,50 \text{ m}^2} = 0,10 \text{ kWh/m}^2$$

verbraucht wird.

Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$71,782 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 8,33 \text{ [€]}$$

Die Blindarbeit beträgt 25,273 kvar und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (35,891 kWh) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht.

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen pro m² Trennwand in Trockenbauweise Stromkosten in Höhe von

$$8,33 \text{ [€]} / 709,50 \text{ [m}^2\text{]} = 0,012 \text{ [€ m}^2\text{]}$$

an.

Auch hier zeigt sich, dass die Stromkosten verhältnismäßig gering sind. Da ausschließlich im Gebäudeinneren gearbeitet wurde, waren Arbeitsbeleuchtungen notwendig, die allerdings in den Pausen nicht ausgeschaltet wurden.

¹³⁷ siehe Anhang 5

Prozessanalyse „Kernbohr-, Säge- und Stemmarbeiten“

Im Folgenden erfolgt die die Untersuchung von Kernbohr-, Säge- und Stemmarbeiten, die nachträglich in der Stahlbetonkonstruktion vorgenommen werden mussten, um Öffnungen für die TGA zu schaffen bzw. die im Rahmen der Mängelbeseitigung notwendig wurden. Einen Überblick über diese Arbeiten gibt die folgende Tabelle.¹³⁸

¹³⁸ vgl. [Gur10], S. 262

Typ-Nr.	Beschreibung	Maße [cm]	Anzahl [Stck]	Menge [m³]
1	Kernbohrungen für Abwasserrohrleitungen			
A		d=13; t=22	10	0,029
B		d=23; t=22	35	0,32
C		d= 7; t=25	3	0,003
D		d=13; t=25	9	0,03
E		d=15; t=25	5	0,022
2	Kernbohrungen für Elektroleitungen			
A		d=6; t=8	15	0,003
3	Kernbohrungen für Heizungsrohrleitungen			
A		d=12; t=22	2	0,005
B		d= 7; t=25	25	0,024
C		d=10; t=25	5	0,01
D		d=12; t=25	5	0,014
4	Kernbohrungen für Wasserrohrleitungen			
A		d= 7; t=22	28	0,024
B		d=10; t=22	12	0,021
C		d= 7; t=25	10	0,01
5	Durchbrüche für Abwasserrohrleitungen			
A		h= 20; b= 17,5; t= 530	2	0,371
B		h= 30; b= 15; t= 10	7	0,0315
6	Durchbrüche für Elektroleitungen			
A		h= 40; b= 40; t= 25	9	0,36
7	Schlitze für Abwasserrohrleitungen			
A		h= 15; b= 10; l=150	2	0,045
B		h= 15; b=10; l= 511	1	0,077
8	Schlitze für Elektroleitungen			
A		h= 4; b= 3; l= 100	2	0,002
B		h=40; b= 30; l= 10	2	0,024
C		h= 3; b= 3; l=200	15	0,027
9	Schlitze für Heizungsleitungen			
A		h= 15; b=10; l= 500	8	0,6
10	Schlitze für Wasserrohrleitungen			
A		h= 15; b= 10; l= 400	2	0,12
B		h= 15; b= 10; l=511	3	0,3
			Summe	2,4725

Abb. 43: Überblick der ausgeführten Leistungen¹³⁹

Prozessbeschreibung

Die Kernbohr-, Säge- und Stemmarbeiten wurden für die Gewerke Sanitär-, Heizungs- und Wasserrohrinstallation, Elektroinstallation und Estricharbeiten erbracht, um notwendige Bohrungen, Schlitze und Durchbrüche zu schaffen.

¹³⁹ vgl. [Gur10], S. 262 ff.

Im ersten Schritt werden die zu bearbeitenden Stellen markiert. Im zweiten Schritt muss sichergestellt werden, dass durch die Arbeiten keine zuvor verlegten Rohre und Leitungen beschädigt werden können. Anschließend werden die jeweiligen Arbeiten durchgeführt.

Kernbohrungen erfolgen mit Diamant-Kernbohrsystemen mit möglichen Radien von 52 mm bis 500 mm Durchmesser. Zu Beginn wird der Bohrständer über der Bohrstelle positioniert und fixiert. Dann wird das Kernbohrsystem angesetzt und unter Nutzung einer Wasserkühlung das Bohrloch erstellt.¹⁴⁰ In der folgenden Abbildung sind exemplarisch einige durchgeführte Kernbohrungen dargestellt.



Abb. 44: Durchgeführte Kernbohrungen¹⁴¹

Durchbrüche werden für die Durchführung von Abwasserrohrleitungen und die Elektroinstallation mittels Bohrhammern geschaffen. Auch hier sind exemplarisch in der folgenden Abbildung Durchbrüche dargestellt.

¹⁴⁰ vgl. [Gur10], S. 262

¹⁴¹ Fotos: Evgeny Gurov



Abb. 45: Durchgeführte Durchbrüche¹⁴²

Schlitze werden mittels Sägearbeiten für Abwasserrohr-, Elektro-, Heizungsrohr- und Wasserrohrleitungen angefertigt, von denen ebenfalls zur Veranschaulichung in der folgenden Abbildung einige exemplarisch dargestellt werden.



Abb. 46: Erstellte Schlitze¹⁴³

Da die Arbeiten in überwiegend dunklen Räumen durchgeführt werden, wird künstlich mit Halogenstrahlern beleuchtet.

¹⁴² Fotos: Evgeny Gurov

¹⁴³ Fotos: Evgeny Gurov

Geräteinsatz

Für das Gewerk kommen folgende elektrisch betriebene Geräte zum Einsatz:¹⁴⁴

- Diamant-Kernbohrsystem Hilti DD 350 mit Bohrständler DD-HD 30
- Bohrhammer Dewalt D25404K
- Flachsaugende Tauchpumpe Metabo TPF 6000
- Nasssauger
- Halogenlichtstrahler Brennenstuhl PL 500
- Winkelschleifer Hitachi G23UA2
- Abbruchhammer Hitachi H60MR
- Bohr- und Meißelhammer Hitachi DH40MRY
- Bohrhammer Bosch GBH 5-40 DCE Professional
- Bohrhammer Bosch GBH 4-32 DFR Professional
- Winkelschleifer Bosch GWS 22-230JH Professional
- Stichsäge Bosch GST 150 BCE Professional
- Schlaghammer Bosch GSH 11E Professional
- Bohrhammer Bosch GBH 7-46 DE Professional

Auswertung

Die Arbeiten wurden im Untersuchungszeitraum an 36 Tagen ausgeführt, wobei an allen Tagen Strom verbraucht wurde. Insgesamt wurden 2,4725 m³ Stahlbeton gebohrt, gesägt und gestemmt, wodurch 344,247 kWh der abrechnungsrelevanten Wirkarbeit verbraucht wurde.¹⁴⁵

Das bedeutet, dass für die Bearbeitung von einem m³ Stahlbeton

¹⁴⁴ vgl. [Gur10], S. 265 ff.

¹⁴⁵ siehe Anhang 5

$$\frac{\text{Wirkarbeit}}{\text{Menge gelöster Stahlbeton}} = \frac{344,247 \text{ kWh}}{2,4725 \text{ m}^3} = 16,163 \text{ kWh/m}^3$$

verbraucht wird.

Die Kosten für die Wirkarbeit ergeben sich wie folgt:

$$344,247 \text{ [kWh]} \times 0,11609 \text{ [€/kWh]} = 39,96 \text{ [€]}$$

Die Blindarbeit beträgt 136,747 kvar und übersteigt die 50 % der Wirkarbeit (172,1235 kWh]) nicht und wird daher nicht in Ansatz gebracht.

Entsprechend des vereinbarten Stromtarifs fallen pro m³ bearbeiteter Stahlbetonkonstruktion Stromkosten in Höhe von

$$39,96 \text{ [€]} / 2,4725 \text{ [m}^3\text{]} = 16,163 \text{ [€/m}^3\text{]}$$

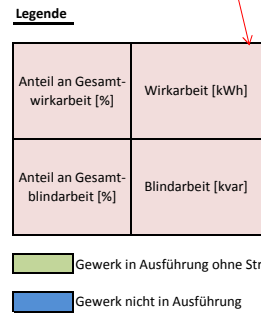
an.

Der Anteil der Arbeiten am Gesamtstromverbrauch liegt bei etwa 9,0 %, was zum einen daran liegt, dass in dunklen Räumen gearbeitet wurde und daher Halogenstrahler für die ausreichende Beleuchtung eingesetzt wurden. Zum anderen werden für die Arbeiten ausschließlich elektrisch betriebene und leistungsstarke Geräte mit langen Einsatzdauern eingesetzt.¹⁴⁶

¹⁴⁶ vgl. [Gur10], S. 273

Anhang 5:
Analyse der Messergebnisse Ausbau

Kapitel Nr.	Gewerk	Anfang	Ende	Erbrachte Bauleistung		Leistungstage, [t]	Stromverbrauchstage, [t]	07.04.10	08.04.10	09.04.10	10.04.10	11.04.10	12.04.10	13.04.10	14.04.10	15.04.10	16.04.10	17.04.10	18.04.10
								30,00% 3,508	16,00% 3,893	15,00% 2,667			15,00% 1,972	15,00% 4,868	15,00% 4,339	18,00% 6,444	14,00% 6,300		
4.6.4	Fenstervergitterung	07.04.2010	12.04.2010	28,00	Stck	4	4	30,00% 3,040	16,00% 1,980	15,00% 1,779		15,00% 0,979							
4.6.5	Fenstermontage	07.04.2010	19.06.2010	60,00	Stck	28	16	30,00% 3,040	16,00% 1,980	15,00% 1,779			15,00% 4,868	15,00% 4,339	18,00% 6,444	14,00% 6,300			
4.6.6	Mauerarbeiten	07.04.2010	19.06.2010	266,66	m²	12	11	30,00% 4,678	16,00% 3,217	15,00% 2,667			15,00% 4,339	18,00% 6,444	14,00% 6,300				
4.6.7	Fassadenarbeiten (Verblendmauerwerk)	08.04.2010	27.04.2010	377,20	m²	13	13	40,00% 4,054	26,00% 1,460	26,00% 0,889	100,00% 2,155			5,00% 1,446	4,00% 1,311	3,00% 1,080			
	Abdichtungsarbeiten																		
4.6.8	Flachdachabdichtung	07.04.2010	19.06.2010	1.872,05	m²	27	13												
4.6.9	Sockelabdichtung	07.04.2010	12.04.2010	451,65	m²	3	2			9,00% 1,600		8,00% 1,052							
4.6.10	Dampfsperre auf Bodenplatte	07.04.2010	04.06.2010	1.783,67	m²	17	3			9,00% 1,067									
4.6.11	Malerarbeiten	12.04.2010	19.06.2010	12.968,66	m²	48	48						5,00% 0,657		5,00% 1,446	3,00% 1,074			
4.6.12	Elektroinstallation Starkstrom	16.04.2010	19.06.2010	(-)		42	42						5,00% 0,326		5,00% 1,446	3,00% 0,984			
4.6.13	Gips- und Kalkzementputzarbeiten	16.04.2010	21.05.2010	1.016,89	m²	17	14						8,00% 1,052	15,00% 4,868	13,00% 3,760	13,00% 4,654	10,00% 4,500	100,00% 3,000	
4.6.14	Estricharbeiten	29.04.2010	19.06.2010	2.752,85	m²	21	19						8,00% 0,522	15,00% 4,868	13,00% 3,760	13,00% 4,654	10,00% 4,500	100,00% 3,000	
4.6.15	Abwasserleitungen	19.04.2010	19.06.2010	455,00	m	22	19												
4.6.16	Heizungsrohrleitungen	31.05.2010	19.06.2010	780,00	m	12	12												
4.6.17	Lüftungsleitungen	01.06.2010	19.06.2010	305,00	m²	7	7												
4.6.18	Aufzugsmontage	21.04.2010	19.06.2010	(-)		43	42												
	Türzargen- und Türblattmontage																		
4.6.19	Stahlblechtüren mit Glasausschnitten	10.05.2010	19.06.2010	45,00	Stck	14	13												
4.6.20	Stahlblechtüren ohne Glasausschnitten	27.05.2010	19.06.2010	18,00	Stck	4	4												
4.6.21	Trennwände in Trockenbauweise	19.04.2010	04.05.2010	709,50	m²	12	11												
4.6.22	Kernbohr-, Säge- und Stemmarbeiten in Stahlbetonkonstruktionen	08.04.2010	19.06.2010	2,4725	m³	36	36		36,00% 8,760	30,00% 5,334									
4.6.23	Beleuchtung innerhalb der Werkhalle 1	20.04.2010	20.06.2010	1.836,00	m²	62	62		36,00% 4,454	30,00% 3,558									
Wirkarbeit (WA) pro Tag [kWh]								11,694	24,334	17,780	2,155	0,000	13,149	32,455	28,926	35,800	45,000	3,000	0,000
Blindarbeit (BA) pro Tag [kvar]								10,134	12,373	11,861	1,235	0,000	6,529	20,850	16,897	32,785	36,000	1,500	0,000
Anteil der Blindarbeit, der 50% der Wirkarbeit übersteigt [kvar]								4,287	0,206	2,971	0,158	0,000	-0,045	4,623	2,434	14,885	13,500	0,000	0,000



¹ vgl. [Gur10], S. 31 ff.

Kapitel Nr.	Gewerk	Anfang	Ende	Erbrachte Bauleistung		Leistungstage, [t]	Stromverbrauchstage, [t]	Tage																			
								19.04.10	20.04.10	21.04.10	22.04.10	23.04.10	24.04.10	25.04.10	26.04.10	27.04.10	28.04.10	29.04.10	30.04.10	01.05.10							
4.6.4	Fenstervergitterung	07.04.2010	12.04.2010	28,00	Stck	4	4																				
4.6.5	Fenstermontage	07.04.2010	19.06.2010	60,00	Stck	28	16	12,00%	2,919	7,00%	3,189	7,00%	2,833	7,00%	4,910	7,00%	4,552										
4.6.6	Mauerarbeiten	07.04.2010	19.06.2010	266,66	m²	12	11	12,00%	0,857	2,53%	0,932	3,54%	1,466	3,14%	1,350	4,18%	2,179										
								10,00%	2,432																		
4.6.7	Fassadenarbeiten (Verblendmauerwerk)	08.04.2010	27.04.2010	377,20	m²	13	13	3,00%	0,730	1,00%	0,456	1,00%	0,405	1,00%	0,701												
								3,00%	0,214	0,36%	0,133	0,51%	0,211	0,45%	0,193												
4.6.8	Abdichtungsarbeiten																										
4.6.8	Flachdachabdichtung	07.04.2010	19.06.2010	1.872,05	m²	27	13																				
4.6.9	Sockelabdichtung	07.04.2010	12.04.2010	451,65	m²	3	2																				
4.6.10	Dampfsperre auf Bodenplatte	07.04.2010	04.06.2010	1.783,67	m²	17	3																				
4.6.11	Malerarbeiten	12.04.2010	19.06.2010	12.968,66	m²	48	48	12,00%	2,919	7,00%	3,189	7,00%	2,833	6,00%	4,208	6,50%	4,227										
4.6.12	Elektroinstallation Starkstrom	16.04.2010	19.06.2010	(-)		42	42	12,00%	0,857	2,53%	0,932	3,54%	1,466	2,69%	1,158	3,88%	2,024										
								25,00%	6,081	9%	4,100	9,00%	3,642	7,00%	4,910	7,00%	4,552										
4.6.13	Gips- und Kalkzementputzarbeiten	16.04.2010	21.05.2010	1.016,89	m²	17	14	25,00%	1,785	3,26%	1,201	4,55%	1,885	3,14%	1,350	4,18%	2,179										
								20%	9,112	16,00%	6,475	20,00%	14,027	23,00%	14,956												
4.6.14	Estricharbeiten	29.04.2010	19.06.2010	2.752,85	m²	21	19																				
4.6.15	Abwasserleitungen	19.04.2010	19.06.2010	455,00	m	22	19																				
4.6.16	Heizungsrohrleitungen	31.05.2010	19.06.2010	780,00	m	12	12																				
4.6.17	Lüftungsleitungen	01.06.2010	19.06.2010	305,00	m²	7	7																				
4.6.18	Aufzugsmontage	21.04.2010	19.06.2010	(-)		43	42									6,68%	2,703	4,00%	2,805								
								3,38%	1,400	1,79%	0,772																
4.6.19	Türzargen- und Türblattmontage																										
4.6.19	Stahlblechtüren mit Glasausschnitten	10.05.2010	19.06.2010	45,00	Stck	14	13																				
4.6.20	Stahlblechtüren ohne Glasausschnitten	27.05.2010	19.06.2010	18,00	Stck	4	4																				
4.6.21	Trennwände in Trockenbauweise	19.04.2010	04.05.2010	709,50	m²	12	11																				
4.6.22	Kernbohr-, Säge- und Stemmarbeiten in Stahlbetonkonstruktionen	08.04.2010	19.06.2010	2,4725	m³	36	36	11,00%	5,012	10,00%	4,047	8,00%	5,611	8,50%	5,527												
								3,98%	1,467	5,05%	2,092	3,59%	1,543	5,08%	2,646												
4.6.23	Beleuchtung innerhalb der Werkhalle 1	20.04.2010	20.06.2010	1.836,00	m²	62	62	38,00%	9,242	15,4%	7,016	10,00%	4,047	20,77%	14,567	27,26%	17,726										
								38,00%	2,712	5,57%	2,052	5,05%	2,092	9,31%	4,007	16,28%	8,487										
								29,60%	13,485	33,32%	13,485	19,23%	13,485	20,74%	13,485	100%	13,485	13,474									
								74,53%	27,463	66,31%	27,463	63,80%	27,463	52,67%	27,463	100%	27,463	27,671									
								Wirkarbeit (WA) pro Tag [kWh]		24,322	45,560	40,467	70,137	65,024	13,485	13,474											
								Blindarbeit (BA) pro Tag [kvar]		7,138	36,849	41,419	43,046	52,140	27,463	27,671											
								Anteil der Blindarbeit, der 50% der Wirkarbeit übersteigt [kvar]		-5,023	14,069	21,186	7,978	19,628	20,721	20,934											

Sonntag

Feiertag

¹ vgl. [Gur10], S. 31 ff.

Kapitel Nr.	Gewerk	Anfang	Ende	Erbrachte Bauleistung		Leistungstage, [t]	Stromverbrauchs- tage, [t]	02.05.10												09.05.10					13.05.10						
								03.05.10	04.05.10	05.05.10	06.05.10	07.05.10	08.05.10	09.05.10	10.05.10	11.05.10	12.05.10	13.05.10	09.05.10	10.05.10	11.05.10	12.05.10	13.05.10								
4.6.4	Fenstervergitterung	07.04.2010	12.04.2010	28,00	Stck	4	4																								
4.6.5	Fenstermontage	07.04.2010	19.06.2010	60,00	Stck	28	16																								
4.6.6	Mauerarbeiten	07.04.2010	19.06.2010	266,66	m²	12	11																								
4.6.7	Fassadenarbeiten (Verblendmauerwerk)	08.04.2010	27.04.2010	377,20	m²	13	13																								
	Abdichtungsarbeiten																														
4.6.8	Flachdachabdichtung	07.04.2010	19.06.2010	1.872,05	m²	27	13																								
4.6.9	Sockelabdichtung	07.04.2010	12.04.2010	451,65	m²	3	2																								
4.6.10	Dampfsperre auf Bodenplatte	07.04.2010	04.06.2010	1.783,67	m²	17	3																								
4.6.11	Malerarbeiten	12.04.2010	19.06.2010	12.968,66	m²	48	48	9,00%	7,134	4,00%	7,449	5,00%	7,865	5,00%	8,095	5,50%	8,874	19,00%	9,532	8,00%	8,649	13,00%	8,005	13,00%	8,413	5,27%	5,059	6,67%	4,483	6,34%	4,245
4.6.12	Elektroinstallation Starkstrom	16.04.2010	19.06.2010	(-)		42	42	9,00%	7,134	4,00%	7,449	5,00%	7,865	5,00%	8,095	5,50%	8,874	3,96%	2,288	8,00%	8,649	13,00%	8,005	13,00%	8,413	5,27%	5,059	6,67%	4,483	6,34%	4,245
4.6.13	Gips- und Kalkzementputzarbeiten	16.04.2010	21.05.2010	1.016,89	m²	17	14																								
4.6.14	Estricharbeiten	29.04.2010	19.06.2010	2.752,85	m²	21	19	2,00%	1,585	64,10%	119,372	67,00%	105,396	67,60%	109,442	66,50%	107,299			50,07%	54,130	2,00%	1,232	2,00%	1,294	32,96%	31,664	1,03%	0,690	0,97%	0,653
4.6.15	Abwasserleitungen	19.04.2010	19.06.2010	455,00	m	22	19	0,60%	0,383	42,37%	48,645	42,72%	45,124	49,78%	63,335	46,96%	56,309														
4.6.16	Heizungsrohrleitungen	31.05.2010	19.06.2010	780,00	m	12	12																								
4.6.17	Lüftungsleitungen	01.06.2010	19.06.2010	305,00	m²	7	7																								
4.6.18	Aufzugsmontage	21.04.2010	19.06.2010	(-)		43	42	6,00%	4,756	3,00%	5,587	3,00%	4,719	3,00%	4,857	3,00%	4,841	13,30%	6,672	6,00%	6,487	10,00%	6,158	10,00%	6,472	3,95%	3,794	5,13%	3,449	4,87%	3,265
	Türzargen- und Türblattmontage																														
4.6.19	Stahlblechtüren mit Glasausschnitten	10.05.2010	19.06.2010	45,00	Stck	14	13																								
4.6.20	Stahlblechtüren ohne Glasausschnitten	27.05.2010	19.06.2010	18,00	Stck	4	4																								
4.6.21	Trennwände in Trockenbauweise	19.04.2010	04.05.2010	709,50	m²	12	11	8,00%	6,341	4,00%	7,449																				
4.6.22	Kernbohr-, Säge- und Stemmarbeiten in Stahlbetonkonstruktionen	08.04.2010	19.06.2010	2,4725	m³	36	36	2,42%	1,531	2,64%	3,036																				
4.6.23	Beleuchtung innerhalb der Werkhalle 1	20.04.2010	20.06.2010	1.836,00	m²	62	62	18,33%	14,530																						
								5,54%	3,508																						
								31,543	39,67%	31,443	16,88%	31,443	19,99%	31,443	19,42%	31,443	19,49%	31,443	67,70%	33,966	33,966	27,93%	30,200	47,78%	29,418	45,46%	29,418	29,418	29,418		
								51,889	81,75%	51,736	45,06%	51,736	48,98%	51,736	40,66%	51,736	43,15%	51,736	93,27%	53,890	53,890	52,56%	50,487	73,20%	49,180	73,41%	49,180	49,180	49,180		
								Wirkarbeit (WA) pro Tag [kWh]		186,228		157,307		161,897		161,352		50,169		33,966		108,109		61,575		64,718		29,418			
								Blindarbeit (BA) pro Tag [kvar]		114,812		105,623		127,230		119,910		57,780		53,890		67,190		66,990		49,180		49,180			
								Anteil der Blindarbeit, der 50% der Wirkarbeit übersteigt [kvar]		21,698		26,970		46,282		39,234		32,696		36,907		42,006		36,403		34,631		34,471			

¹ vgl. [Gur10], S. 31 ff.

Kapitel Nr.	Gewerk	Anfang	Ende	Erbrachte Bauleistung		Leistungstage, [t]	Stromverbrauchs- tage, [t]	14.05.10		15.05.10		16.05.10	17.05.10		18.05.10		19.05.10		20.05.10		21.05.10		22.05.10		23.05.10				
4.6.4	Fenstervergitterung	07.04.2010	12.04.2010	28,00	Stck	4	4					Sonntag																	
4.6.5	Fenstermontage	07.04.2010	19.06.2010	60,00	Stck	28	16																						
4.6.6	Mauerarbeiten	07.04.2010	19.06.2010	266,66	m ²	12	11																						
4.6.7	Fassadenarbeiten (Verblendmauerwerk)	08.04.2010	27.04.2010	377,20	m ²	13	13																						
	Abdichtungsarbeiten																												
4.6.8	Flachdachabdichtung	07.04.2010	19.06.2010	1.872,05	m ²	27	13															4,00%	1,913						
4.6.9	Sockelabdichtung	07.04.2010	12.04.2010	451,65	m ²	3	2															2,38%	1,415						
4.6.10	Dampfsperre auf Bodenplatte	07.04.2010	04.06.2010	1.783,67	m ²	17	3																						
4.6.11	Malerarbeiten	12.04.2010	19.06.2010	12.968,66	m ²	48	48																						
4.6.12	Elektroinstallation Starkstrom	16.04.2010	19.06.2010	(-)		42	42	8,00%	3,443					6,00%	2,280	6,00%	2,830	5,00%	2,472	5,00%	2,392	4,00%	1,517						
4.6.13	Gips- und Kalkzementputzarbeiten	16.04.2010	21.05.2010	1.016,89	m ²	17	14	4,96%	3,038					4,26%	2,112	1,64%	0,857	1,70%	0,922	2,97%	1,768	1,79%	0,909						
								16,65%	7,166					7,00%	2,660	6,00%	2,830	6,00%	2,966	5,00%	2,392	5,00%	1,896						
4.6.14	Estricharbeiten	29.04.2010	19.06.2010	2.752,85	m ²	21	19	10,33%	6,323					4,97%	2,464	1,64%	0,857	2,04%	1,106	2,97%	1,768	2,24%	1,136						
								18,74%	7,122	16,51%	7,786		15,34%	7,583	13,21%	6,319	9,00%	3,413											
4.6.15	Abwasserleitungen	19.04.2010	19.06.2010	455,00	m	22	19	10,33%	6,323					13,31%	6,597	4,52%	2,359	5,21%	2,829	7,86%	4,672	4,03%	2,044						
								2,00%	0,760	3,00%	1,415		3,00%	1,483	3,00%	1,435	2,00%	0,759											
4.6.16	Heizungsrohrleitungen	31.05.2010	19.06.2010	780,00	m	12	12																						
4.6.17	Lüftungsleitungen	01.06.2010	19.06.2010	305,00	m ²	7	7																						
4.6.18	Aufzugsmontage	21.04.2010	19.06.2010	(-)		43	42	7,00%	3,013	9,26%	3,057			8,00%	3,040	7,00%	3,301	7,00%	3,461	7,00%	3,348	7,12%	2,700	11,90%	3,734				
								4,34%	2,658	2,84%	1,471			5,68%	2,816	1,92%	1,000	2,38%	1,291	4,16%	2,476	3,19%	1,617	6,11%	2,900				
	Türzargen- und Türblattmontage																												
4.6.19	Stahlblechtüren mit Glasausschnitten	10.05.2010	19.06.2010	45,00	Stck	14	13																						
4.6.20	Stahlblechtüren ohne Glasausschnitten	27.05.2010	19.06.2010	18,00	Stck	4	4																						
4.6.21	Trennwände in Trockenbauweise	19.04.2010	04.05.2010	709,50	m ²	12	11																						
4.6.22	Kernbohr-, Säge- und Stemmarbeiten in Stahlbetonkonstruktionen	08.04.2010	19.06.2010	2,4725	m ³	36	36																						
4.6.23	Beleuchtung innerhalb der Werkhalle 1	20.04.2010	20.06.2010	1.836,00	m ²	62	62	68,35%	29,418	90,74%	29,960	29,960	55,26%	21,000	61,49%	29,000	58,66%	29,000	57,79%	27,642	72,88%	27,642	88,10%	27,642	27,642				
								80,36%	49,180	97,16%	50,290	50,290	68,23%	33,830	89,46%	46,718	85,97%	46,718	74,89%	44,530	87,85%	44,530	93,89%	44,530	44,530	44,530			
									43,041	33,016	29,960	38,003		47,162	49,436	47,834	37,927	31,376	27,642										
									61,200	51,760	50,290	49,580		52,220	54,340	59,460	50,690	47,430	44,530										
									39,680	35,252	35,310	30,579		28,639	29,622	35,543	31,727	31,742	30,709										

¹ vgl. [Gur10], S. 31 ff.

Kapitel Nr.	Gewerk	Anfang	Ende	Erbrachte Bauleistung		Leistungstage, [t]	Stromverbrauchs-tage, [t]	Anteil an Gesamtwirkarbeit	Wirkarbeit [kWh]	Anteil an Gesamtblindarbeit	Blindarbeit [kvar]	Kosten aus Wirkarbeit (11,609 Ct/ kWh)	Kosten aus Blindarbeit 1,38 (Ct/kvar)	Gesamtkosten	Anteil an Gesamtkosten	Stromkosten pro Einheit Bauleistung
4.6.4	Fenstervergitterung	07.04.2010	12.04.2010	28,00	Stck	4	4	0,34%	12,041	0,22%	7,778	1,40 €	0,02 €	1,42 €	0,32%	0,051 [€/ Stck]
4.6.5	Fenstermontage	07.04.2010	19.06.2010	60,00	Stck	28	16	1,87%	66,714	1,03%	36,159	7,74 €	0,04 €	7,78 €	1,77%	0,130 [€/ Stck]
4.6.6	Mauerarbeiten	07.04.2010	19.06.2010	266,66	m²	12	11	1,38%	49,217	0,89%	31,115	5,71 €	0,09 €	5,80 €	1,32%	0,022 [€/ m²]
4.6.7	Fassadenarbeiten (Verblendmauerwerk)	08.04.2010	27.04.2010	377,20	m²	13	13	0,37%	13,040	0,21%	7,430	1,51 €	0,01 €	1,52 €	0,35%	0,004 [€/ m²]
	Abdichtungsarbeiten															
4.6.8	Flachdachabdichtung	07.04.2010	19.06.2010	1.872,05	m²	27	13	1,42%	50,841	0,45%	15,607	5,90 €	0,00 €	5,90 €	1,34%	0,003 [€/ m²]
4.6.9	Sockelabdichtung	07.04.2010	12.04.2010	451,65	m²	3	2	0,07%	2,652	0,05%	1,590	0,31 €	0,004 €	0,31 €	0,07%	0,001 [€/ m²]
4.6.10	Dampfsperre auf Bodenplatte	07.04.2010	04.06.2010	1.783,67	m²	17	3	0,09%	3,178	0,06%	2,155	0,37 €	0,01 €	0,38 €	0,09%	0,0002 [€/ m²]
4.6.11	Malerarbeiten	12.04.2010	19.06.2010	12.968,66	m²	48	48	5,58%	199,151	2,40%	84,306	23,12 €	0,00 €	23,12 €	5,25%	0,002 [€/ m²]
4.6.12	Elektroinstallation Starkstrom	16.04.2010	19.06.2010	(-)		42	42	5,62%	200,544	2,26%	79,118	23,28 €	0,00 €	23,28 €	5,29%	(-)
4.6.13	Gips- und Kalkzementputzarbeiten	16.04.2010	21.05.2010	1.016,89	m²	17	14	3,97%	141,798	1,98%	69,304	16,46 €	0,00 €	16,46 €	3,74%	0,016 [€/ m²]
4.6.14	Estricharbeiten	29.04.2010	19.06.2010	2.752,85	m²	21	19	14,36%	512,897	7,19%	252,258	59,54 €	0,00 €	59,54 €	13,52%	0,022 [€/ m²]
4.6.15	Abwasserleitungen	19.04.2010	19.06.2010	455,00	m	22	19	2,33%	83,279	0,75%	26,177	9,67 €	0,00 €	9,67 €	2,20%	0,021 [€/ m]
4.6.16	Heizungsrohrleitungen	31.05.2010	19.06.2010	780,00	m	12	12	1,09%	39,044	0,25%	8,784	4,53 €	0,00 €	4,53 €	1,03%	0,006 [€/ m]
4.6.17	Lüftungsleitungen	01.06.2010	19.06.2010	305,00	m²	7	7	0,44%	15,540	0,07%	2,396	1,80 €	0,00 €	1,80 €	0,41%	0,006 [€/ m²]
4.6.18	Aufzugsmontage	21.04.2010	19.06.2010	(-)		43	42	3,88%	138,579	1,67%	58,498	16,09 €	0,00 €	16,09 €	3,65%	(-)
	Türzargen- und Türblattmontage															
4.6.19	Stahlblechtüren mit Glasausschnitten	10.05.2010	19.06.2010	45,00	Stck	14	13	0,72%	25,607	0,23%	8,206	2,97 €	0,00 €	2,97 €	0,68%	0,066 [€/ Stck]
4.6.20	Stahlblechtüren ohne Glasausschnitten	27.05.2010	19.06.2010	18,00	Stck	4	4	0,16%	5,571	0,05%	1,647	0,65 €	0,00 €	0,65 €	0,15%	0,04 [€/ Stck]
4.6.21	Trennwände in Trockenbauweise	19.04.2010	04.05.2010	709,50	m²	12	11	2,01%	71,782	0,72%	25,273	8,33 €	0,00 €	8,33 €	1,89%	0,012 [€/ m²]
4.6.22	Kernbohr-, Säge- und Stemmarbeiten in Stahlbetonkonstruktionen	08.04.2010	19.06.2010	2,4725	m³	36	36	9,64%	344,247	3,90%	136,747	39,96 €	0,00 €	39,96 €	9,08%	16,163 [€/m³]
4.6.23	Beleuchtung innerhalb der Werkhalle 1	20.04.2010	20.06.2010	1.836,00	m²	62	62	44,67%	1594,92	75,63%	2652,31	185,15 €	25,60 €	210,75 €	47,87%	0,115 [€/ m²]
									Wirkarbeit (WA) pro Tag [kWh]			494,24				
									Blindarbeit (BA) pro Tag [kvar]			3.506,85				
									Anteil der Blindarbeit, der 50% der Wirkarbeit übersteigt [kvar]			1.721,62				
												Gesamtstromkosten		440,29 € brutto		

¹ vgl. [Gur10], S. 31 ff.

Anhang 6:

**Gutachten: MAYR, K.: Frappierende Unterschiede beim
Dieselverbrauch von Baumaschinen, Attnang-Puchheim,
Österreich, 2008**

21/11/08

Pressemitteilung

von BMST. Ing. Klaus Mayr

Frappierende Unterschiede beim Dieselverbrauch von Baumaschinen

Als gerichtlich vereidigter Sachverständiger für Baumaschinen und Maschinen des Baunebengewerbes werde ich immer wieder zurate gezogen, wenn es um Fragen von Wertermittlungen oder auch Schadensgutachten geht. Viel zu selten werde ich ersucht, Maschinen auch auf ihre wirtschaftlichen Aspekte zu überprüfen. Dies halte ich jedoch für elementar, da sowohl hinsichtlich von Abnutzungsverhalten und anderen Unterhaltungskosten teilweise erhebliche Unterschiede zwischen einzelnen Fabrikaten bestehen. Es muss jedem Betreiber von Baumaschinen bewusst werden, dass die Anschaffung einer unwirtschaftlichen Maschine zu gravierenden Wettbewerbsnachteilen führen kann. Dies möchte ich anhand eines aktuellen Beispiels untermauern:

In meiner Funktion als gerichtlich vereidigter Sachverständiger wurde ich unlängst von der Firma Deisl Ges. m.b.H. aus Hallein (Österreich) hinzugezogen, um den Dieselverbrauch nachfolgend aufgeführter Betonpumpen in einem Vergleichstest festzustellen und zu dokumentieren. Zum Vergleich standen die Autobetonpumpen (alphabetische Reihung):

Putzmeister M 36-4 von der Firma Asamer



und

SCHWING S 34 X von der Firma Deisl



Datum des Vergleichs: 08.09.2008

Teilnehmende Personen: **Firma Deisl, Hallein:** Herr Mag. A. Deisl

Firma Putzmeister: Herr Mag. J. Eibinger (PM Vertretung),
Fahrer der Firma Asamer

Firma SCHWING: Herr P. Schöttl
Herr M. Kürten, Maschinist
Herr S. Pitman

Gutachter: Herr BMST. Ing. Klaus Mayr

Der Aufbau beider Pumpen erfolgte auf einem Mercedes Actros, mit 265 KW Motorleistung.

1. Feststellen des Gesamtgewichtes der beiden Betonpumpen

1.1 Zunächst wurden die Kraftstoff- und Wassertanks der beiden Maschinen vollkommen befüllt. Dies ist bewusst langsam erfolgt, um ein Entweichen sämtlicher Luft zu bewirken.

1.2 Differenzen der Bestückung:

- a) Putzmeister: keine zusätzliche Ausrüstung
- b) Schwing: zusätzliche Bestückung durch Reservereifen, vier Reserve-Kunststoffkanister gefüllt mit Adblue.

Werte in Kilogramm:

Wiegewerte:	M 36	S 34 X
Achse 1	7.700	6.750
Achse 1+2	18.250	16.250
Achse 2+3	20.000	18.200
Achse 3	9.900	9.000
Gesamt	27.800	25.200

Zusätzliches Gewicht fällt an, wenn – wie in der Praxis üblich – von Baustelle zu Baustelle gefahren wird und sich im Trichter noch Beton befindet, wobei sich dann bei der M 36 von Putzmeister ein Gewicht ergibt, welches sich über dem zulässigen Gesamtgewicht von 26 to (für 3-Achsige Fahrzeuge) bewegt.

Für Fahrzeuge, die dieses Gewicht überschreiten wären Einzelgenehmigung und für jede Fahrt Routenehmigungen anzufordern, um das Fahrzeug auf öffentlichen Straßen bewegen zu dürfen.

Die S 34 X von Schwing würde trotz dieser Betonrestmenge das Gesamtgewicht nicht überschreiten, wodurch die Kosten für eine Sondergenehmigung entfallen können. Weiters wird diese Pumpe auf ein kostengünstigeres 26 to Fahrgestell aufgebaut, für die M 36 wäre hingegen ein 32 to bzw. 33 to Fahrgestell notwendig.

Aus der unterschiedlichen Gewichtung resultiert ein unterschiedlicher Treibstoffverbrauch beim Verfahren des Gerätes, welcher zu Gunsten von Schwing ausfällt.

2.Ermittlung des Dieserverbrauchs beim Pumpen:

Die Fahrzeuge wurden beim Test an der Tankstelle (geeichte Zapfsäule, auf 0,005 l) so positioniert, dass sie ohne Fahrbewegung wiederbetankt werden konnten. Die Maschinen wurden in der Waage aufgestellt, angepumpt und nach dem Vollerfüllen mit Beton (C16/20 GK16) befüllt.

Das Anpumpen erfolgte indem die Schwing Pumpe mit Beton gespeist wurde und diesen dann in den Trichter der Putzmeister Pumpe förderte. Der Trichter der S 34 X wurde solange mit Beton vom Mischwagen befüllt bis auch der Beton aus der Leitung der M 36 in den Trichter der Schwing Pumpe gefördert wurde.



Beim Pumpvorgang wurde das Material jeweils in den Aufgabetrichter von der einen in die andere Pumpe gefördert, um gleiche Voraussetzungen für beide Maschinen zu gewährleisten. Danach wurden die Motoren abgestellt und die Maschinen wieder voll betankt. Wiederum wurde darauf geachtet, dass dies luftfrei von statten ging.

Der Beginn des Pumpvorganges fand um 9.08 Uhr statt. Der Beton hatte eine Temperatur von 21,4° Celsius. Eine Leistung von 70-80 m³/Std. zu pumpen war vorgegeben. Alle 15 min. las man die Daten von den Maschinen ab.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

15 min. Betontemperatur 23,6° C

	PM	Schwing
Hübe	15/min.	13/ min.
Öltemperatur	50° C	38° C
Pumpendruck	75 bar	58 bar
U/min Pumpe	1.535	800

30 min. Betontemperatur 29,0 °C

Hübe	15/min.	13/min.
Öltemperatur	55°C	45°C
Pumpendruck	78 bar	58 bar
U/min Pumpe	1.540	800

45 min. Betontemperatur 34,0 °C

Hübe	14/min.	13,6/min.
Öltemperatur	55°C	48°C
Pumpendruck	79 bar	60 bar
U/min Pumpe	1.530	800

60 min. Betontemperatur 35,0° C

Hübe	14,5/min.	13,2/min.
Öltemperatur	56°C	48°C
Pumpendruck	85 bar	64 bar
U/min. Pumpe	1.520	800

Nach 60 min. wurde während des Pumpvorgangs von den Fahrern eine Wasserzugabe zum Beton durchgeführt. Nach dieser Wasserzugabe wurde 15 min. weitergepumpt.

75 min. Betontemperatur 38,0° C

Hübe	14/min.	12/min.
Öltemperatur	57°C	48°C
Pumpendruck	80 bar	65 bar
U/min. Pumpe	1.534	800

Nach 75 min. war die Hydratation des Betons soweit vorangeschritten, dass ein praxisgerechtes Pumpen nicht mehr möglich war. Somit wurde der Test beendet und die Maschinen wurden gestoppt. Unmittelbar führte ich die Betankung der Fahrzeuge durch, wobei wiederum auf ein luftfreies Betanken, sowie auf die volle Befüllung geachtet wurde. Danach erfolgte die Reinigung der Maschinen.



Nach einer Testzeit von 1 Stunde 15 min. kam es zu folgendem Ergebnis:

Geförderte Betonmenge (hier rechnerisch S 34 X) bei durchschnittlich 13 Hülen/min * 83,1 Liter* 75 min. = 81.022,5 Liter = 81 m³

Der Treibstoffverbrauch der Pumpen:

	PM	Schwing
Verbrauch	18,20 l	11,05 l
Liter/Std.	14,56 l	8,84 l
Verbrauch/m ³	0,23 l	0,14 l

Fazit: Nach diesem Vergleich wurde von mir festgestellt, dass die die Putzmeister Autobetonpumpe M 36 beim Pumpen um ca. 64% mehr Dieselkraftstoff als die Schwing Autobetonpumpe S 34 X verbraucht. Weiters arbeitet die Schwing Pumpe mit einem geringeren Betriebsdruck, einer geringeren Öltemperatur, sowie einer geringeren Pumpendrehzahl; diese Faktoren begünstigen erfahrungsgemäß ein geringeres Abnutzungsverhalten der betreffenden Bauteile.

Die der Untersuchung vorausgeschickte Annahme der Verbrauchsunterschiede lag erheblich über den Erwartungen der Versuchsteilnehmer. Daher dürfte dieses Beispiel verdeutlichen, wie ratsam es ist, vor Neubeschaffung von Baumaschinen entsprechende Untersuchungen nachzufragen.



Attnang Puchheim 21.11.08

Mayr Klaus
Stefan Fadingerstrasse 9
4800 Attnang Puchheim
Mayr.klaus@vpn.at

Anhang 7:

Fragebogen zur Umfrage und Ergebnisse (Auswahl)



FRAGEBOGEN

Deutsche
Bundesstiftung
Umwelt



Energiesparen auf Baustellen und neue Baumaschinentechnologien



Praxispartner



Baugewerbliche
Verbände

Kontakt



Bergische Universität Wuppertal

IZ3 - Interdisziplinäres Zentrum III - Management technischer Prozesse

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus

Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal

Tel.: (0202) 439-4412 Fax: (0202) 439-4314

www.iz3.uni-wuppertal.de



0. Fragesteller

IZ3 - Interdisziplinäres Zentrum III - Management technischer Prozesse
 Bergische Universität Wuppertal
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus
 Pauluskirchstraße 7
 42285 Wuppertal

Hintergrund der Umfrage

Im Rahmen des Forschungsprojektes "Energieeffizienz auf Baustellen" untersucht das Interdisziplinäre Zentrum III der Bergischen Universität Wuppertal den CO₂-Ausstoß auf Baustellen. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) fördert das Projekt seit Januar 2009. In Kooperation mit den Wuppertaler Stadtwerken und weiteren Praxispartnern sollen Maßnahmen bezüglich der Energieeinsparpotenziale auf Baustellen entwickelt und umgesetzt werden.

1. Persönliche Daten für Rückfragen

Die Teilnahme an dem Fragebogen ist freiwillig und unverbindlich. Die von Ihnen angegebenen Daten dienen ausschließlich dem Forschungszweck und werden streng vertraulich behandelt. Die Ergebnisse werden nach der Auswertung anonymisiert.

Am Ende des Fragebogens können Sie mit einem Klick auf die Schaltfläche "per e-mail senden" den ausgefüllten Fragebogen an uns zurück schicken.

Die Ergebnisse der Umfrage erhalten Sie nach der Auswertung per e-mail im April 2010.

Unternehmen	<input type="text"/>		
Gewerk*	<input type="text"/>		* Pflichtfeld
Ansprechpartner	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Telefon	<input type="text"/>	Fax	<input type="text"/>
e-mail	<input type="text"/>		
Straße	<input type="text"/>	Hausnummer	<input type="text"/>
PLZ	<input type="text"/>	Ort	<input type="text"/>



2. Organisation und Struktur

2.1 Wie viele Beschäftigte arbeiten in Ihrem Unternehmen?

1 bis 49 50 bis 99 100 bis 249 250 bis 499 500 und mehr

2.2 Wie viele Niederlassungen unterhält Ihr Unternehmen?

Anzahl

3. Energieeinsatz in der Bauproduktion

3.1 Wie hoch ist der prozentuale Anteil der Energiekosten bei der Bauwerkserstellung / Gewerkerstellung?

	unter 5 %	5 bis 10%	10 bis 20%	mehr als 20%	weiß nicht
nachweislich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
geschätzt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3.2 Sehen Sie in Ihrem Unternehmen Möglichkeiten den Energieverbrauch zu reduzieren?

Ja Nein, dann gehen Sie bitte weiter zu Frage 3.3

3.2.1 Wenn ja, bis zu wie viel Prozent ließen sich bei der Bauwerkserstellung / Gewerkerstellung einsparen?

	unter 5 %	5 bis 10%	10 bis 20%	mehr als 20%	weiß nicht
geschätzt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3.3 In welchen Bereichen finden sich Ihrer Auffassung nach Energieeinsparmöglichkeiten?

	zu- treffend	eher zutreffend	eher unzutreffend	unzu- treffend	weiß nicht
Arbeitsvorbereitung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ablaufplanung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wahl der Bauverfahren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wahl der Baumaschinen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Baurologistik	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Energiecontracting	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Energiemanagement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sonstige:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



3.4 Worin sehen Sie Hemmnisse Energieeinsparpotenziale bei der Bauwerkserstellung / Gewerkerstellung zu nutzen?

	zu- treffend	eher zutreffend	eher unzutreffend	unzu- treffend	weiß nicht
1) Stellenwert der Energiekosten ist nachrangig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Zeitmangel und hohe Arbeitsbelastung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Mangelndes Wissen über Energieeinsparmöglichkeiten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Fehlende Kenntnisse über energiesparende Technologien	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Verantwortlichkeit für Energiefragen nicht eindeutig geregelt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6) Fehlende Motivation der Mitarbeiter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7) Uneinheitliche Verwaltung und mangelnde Kommunikation von Informationen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8) Fehlendes Kapital für investive Maßnahmen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9) Zu lange Amortisationszeiten bei investiven Maßnahmen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. Energieeffizienz als Thema im Unternehmen

4.1 Wie wichtig sind Ihrem Unternehmen die folgenden Themen?

	sehr wichtig	wichtig	eher unwichtig	unwichtig	weiß nicht
Umweltschutz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Klimaschutz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rohstoffeffizienz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Energieeffizienz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Energieeinsparen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



4.2 Welche Maßnahmen werden in Ihrem Unternehmen für Energieeinsparungen umgesetzt?

	zu- treffend	unzu- treffend	In Planung
1) Minimierung des Verbrauches an Rohstoffen, Wasser und Energie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Energiesparende Lösungen im Bereich Baulogistik und Transport	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Personalschulungen in Bezug auf den effizienten Umgang mit Baumaschinen und Baustoffen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Auswahl der Bauverfahren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Sonstige:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4.3 Aus welchen Gründen haben Sie diese Maßnahmen umgesetzt?

- | | |
|--|--|
| <input type="radio"/> Zu hohe bzw. steigende Energiepreise | <input type="radio"/> Aufgrund gesetzlicher Vorgaben |
| <input type="radio"/> Energieeinsparung allgemein | <input type="radio"/> Sonstige: |
| <input type="radio"/> Modernisierung / technische Neuerungen | |
| <input type="radio"/> Umweltschutz (z.B. CO ₂ -Reduktion) | |
| <input type="radio"/> Wettbewerbsvorteile | |

4.4 Wie verteilen Sie Ihre Energiekosten der Bauwerkserstellung / Gewerkerstellung?

- | | |
|--|---|
| <input type="radio"/> Jedem Projekt zugeordnet | <input type="radio"/> Pauschal über die AGK |
|--|---|

Anmerkung:

5. Energiemanagement im Unternehmen

5.1 Nutzen Sie in Ihrem Unternehmen ein Energiemanagementsystem?

(Unter Energiemanagement ist zumindest das Festhalten und Zuordnen der Energieverbrauchsdaten sowie das Auswerten und das Agieren bei Veränderungen zu verstehen)

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| <input type="radio"/> Ja, seit | <input type="radio"/> Nein |
|--------------------------------|----------------------------|

5.1.1 Falls nein, planen Sie ein Energiemanagement einzuführen?

- | | | |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| <input type="radio"/> Ja | <input type="radio"/> Nein | <input type="radio"/> weiß nicht |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|



6. Baumaschinen

6.1 Verfügen Sie über Baumaschinen? Ja Nein, dann gehen Sie bitte auf Seite 11

6.2 Welche Kriterien sind für die Neuanschaffung von Baumaschinen für Sie entscheidend?

	sehr wichtig	wichtig	eher unwichtig	unwichtig	weiß nicht
Preis	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Leistung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verbrauch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Instandhaltungskosten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Innovationsgrad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sonstiges:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6.3 Sind Ihrer Meinung nach die Angaben der Maschinenhersteller im Hinblick auf den Energieverbrauch transparent gestaltet?

Ja Nein weiß nicht

Anmerkungen:

6.4 Kaufen Sie gezielt Baumaschinen mit neuen Technologien ein?

	sehr häufig	häufig	gelegentlich	selten	nie
Satellitengestützte Steuerung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Start-Stopp-Funktion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hybridantrieb	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lasersteuerung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rußpartikelfilter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bemerkungen:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



6.5 Wird das Bedienpersonal geschult?

Ja Nein

6.5.1 Wenn ja, findet auch eine Schulung des Bedienpersonals im Hinblick auf die energieeffiziente und energiesparende Nutzung der Baumaschine statt?

Ja Nein

Anmerkungen:

7. Baumaschinenbestand

7.1 Bitte geben Sie für Ihre Baumaschinen folgende Daten an:

- Anzahl
- Durchschnittliches Baujahr und durchschnittliche Betriebsstunden
- Prozentuale Auslastung 2009 im Durchschnitt
- Ausstattung mit neuer Technologie

Geräte für den Erdbau

Baumaschine		Ausstattung mit neuer Technologie	
Raupenbagger	Anzahl	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung <input type="text"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion <input type="text"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb <input type="text"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="text"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung <input type="text"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter <input type="text"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> %
Mobilbagger	Anzahl	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung <input type="text"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion <input type="text"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb <input type="text"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="text"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung <input type="text"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter <input type="text"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> %
Minibagger	Anzahl	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung <input type="text"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion <input type="text"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb <input type="text"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="text"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung <input type="text"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter <input type="text"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> %



Baumaschine			Ausstattung mit neuer Technologie	
Kompaktbagger	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	
Raupe-/ Mobilseilbagger	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	
Radlader	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	
Raddozer	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	
Baggerlader	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	



Baumaschine			Ausstattung mit neuer Technologie	
Kompaktlader	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	
Vorderkipper	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	
Teleskop- maschinen	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	
Muldenkipper / Dumper	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	
LKW	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	



Baumaschine			Ausstattung mit neuer Technologie	
Planierdraupe	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	
Scraper	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	
Grader	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	
Grabenfräse	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	

Walzen

Baumaschine			Ausstattung mit neuer Technologie	
Gummiradwalze	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	



Baumaschine			Ausstattung mit neuer Technologie		
Tandemwalze	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %	
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %	
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %		
Kombiwalze	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %	
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %	
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %		
Walzenzug	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %	
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %	
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %		

Geräte für den Straßenbau

Baumaschine			Ausstattung mit neuer Technologie		
Straßenfräse	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %	
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %	
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %		
Schwarzdecken- fertiger (Straßenfertiger)	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %	
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %	
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %	
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %		



Hebezeuge

Baumaschine			Ausstattung mit neuer Technologie	
Autokran / Mobilkran	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	

Geräte für den Betondeckenbau

Baumaschine			Ausstattung mit neuer Technologie	
Autobeton- pumpe	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	
Gleitschalungs- fertiger	Anzahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Satellitengestützte Steuerung	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliches Baujahr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Start-Stopp-Funktion	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Betriebsstunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Hybridantrieb	<input type="checkbox"/> %
	Durchschnittliche Auslastung 2009	<input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> Lasersteuerung	<input type="checkbox"/> %
			<input type="checkbox"/> Rußpartikelfilter	<input type="checkbox"/> %
		<input type="checkbox"/> Sonstiges	<input type="checkbox"/> %	

Bei Fragen steht Ihnen Frau Semra Ümit unter der Rufnummer (0202) 439-4412 gerne zur Verfügung.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

per e-mail senden

Kontakt



Bergische Universität Wuppertal
IZ3 - Interdisziplinäres Zentrum III - Management technischer Prozesse
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus
Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal
Tel.: (0202) 439-4412 Fax: (0202) 439-4314
www.iz3.uni-wuppertal.de



Anhang 7 – Ergebnisse der Umfrage (Auswahl)

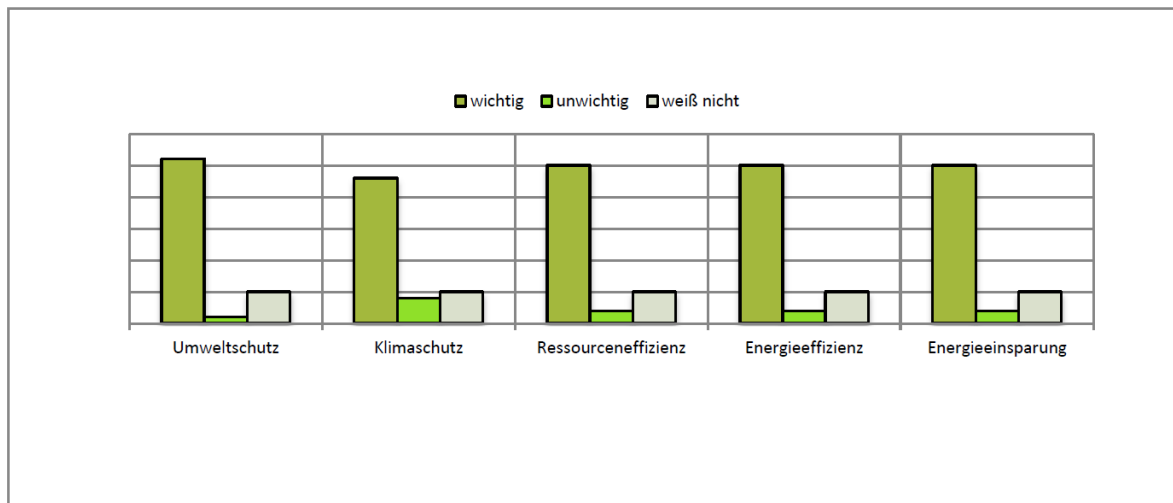


Abb. 1: Wichtige Themen der Zukunft *

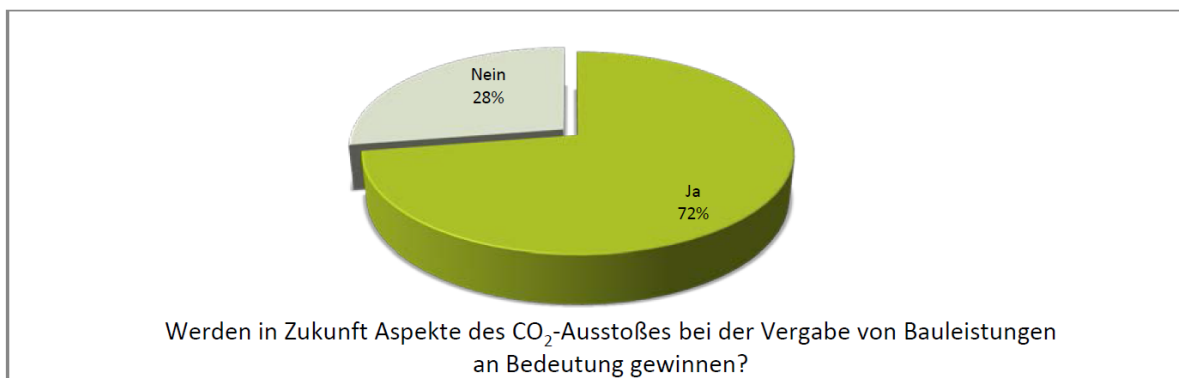


Abb. 2: Zukünftige Bedeutung des CO₂-Ausstosses bei der Vergabe *

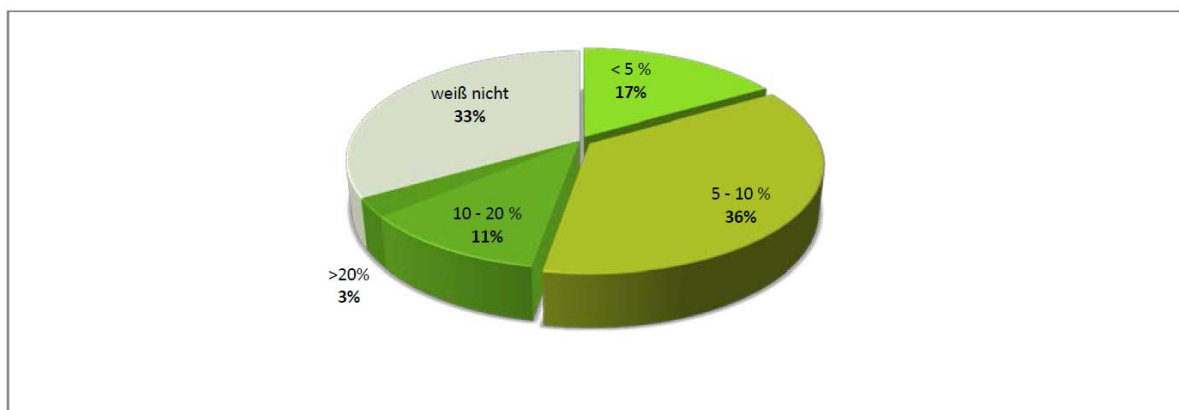


Abb. 3: Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten der Bauwerksherstellung *

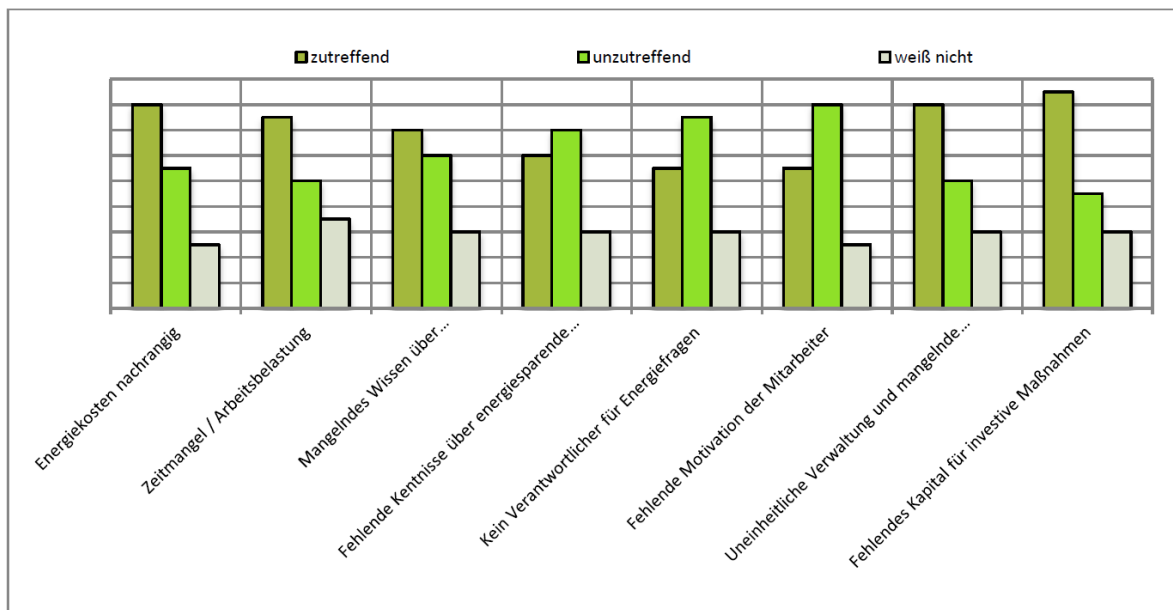


Abb. 4: Hemmnisse in der Nutzung von Energieeinsparpotentialen

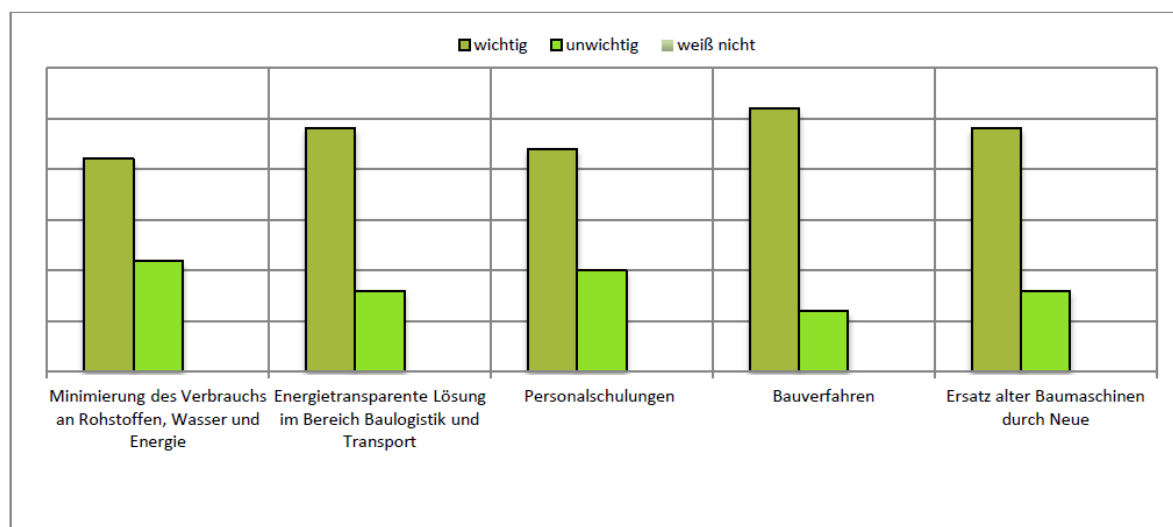


Abb. 5: Maßnahmen für Energieeinsparungen und Steigerung der Energieeffizienz

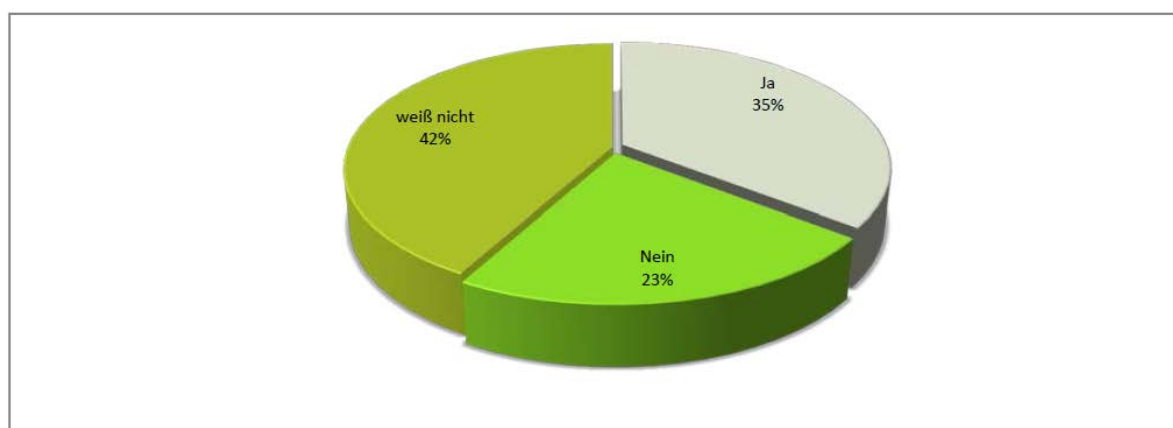


Abb. 6: Planung der Einführung eines Energiemanagementsystems*

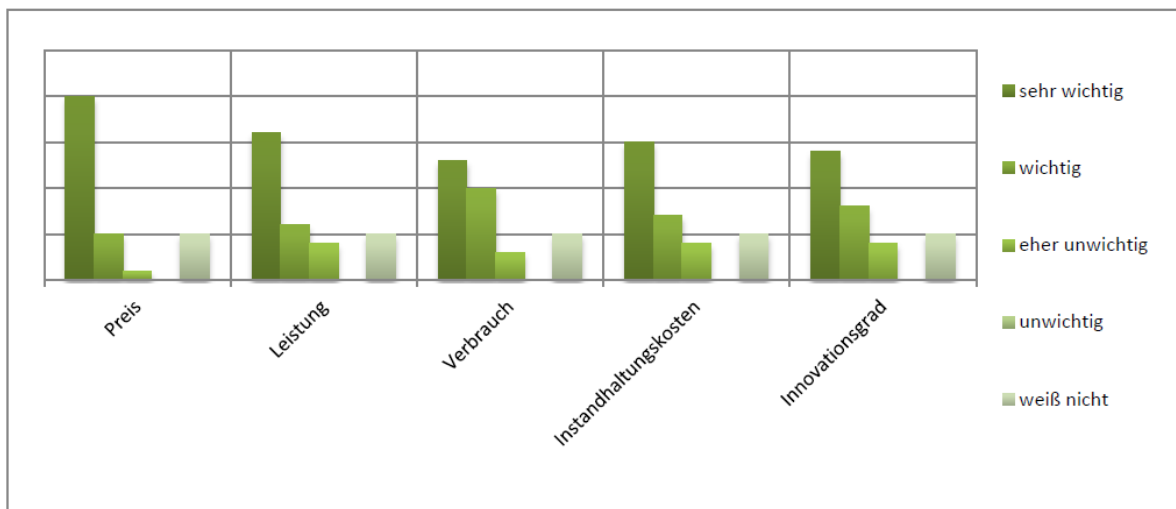


Abb. 7: Entscheidende Kriterien bei der Neuanschaffung von Baumaschinen *

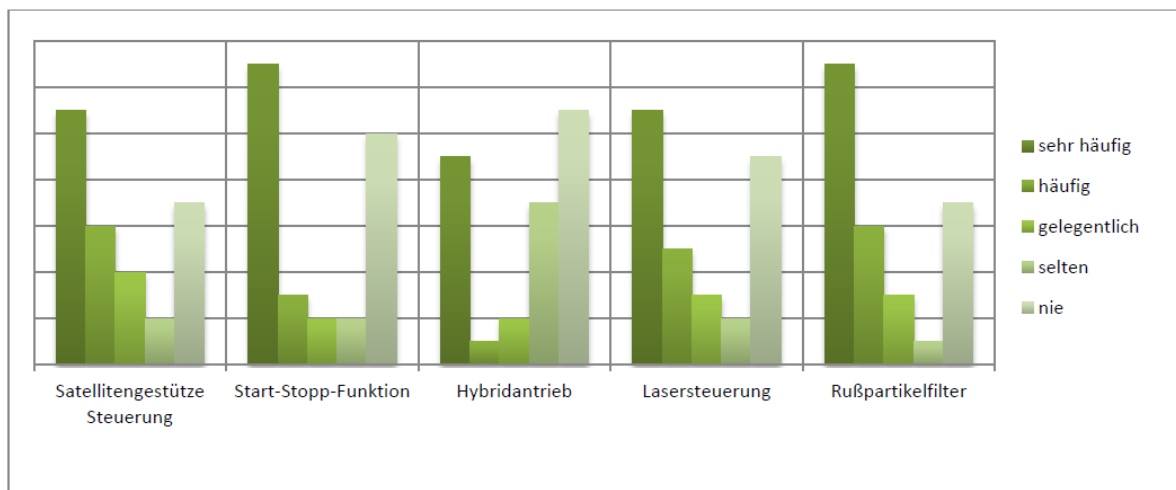


Abb. 8: Prioritäten beim Kauf von Baumaschinen mit modernen Technologien

* Die Ergebnisse der Umfrage wurden bereits teilweise vorveröffentlicht in:
 Helmus, M., Nisancioglu, S., Randel A.: *Energieeffizienz auf Baustellen - Potenziale systematisch nutzen*, in: Bauportal 02/2013, S. 2 ff