



Bergische Universität Wuppertal
Interdisziplinäres Zentrum III
Management technischer Prozesse



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

Abschlussbericht

Az: 25780-24/2

gefördert von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus
Dipl.-Ing. Selcuk Nisancioglu
Dipl.-Ing. (FH) Anne Christine Randel

30.09.2011

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

Bearbeitung durch: Bergische Universität Wuppertal
Interdisziplinäres Zentrum III
Management technischer Prozesse

Projektleitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus

Antragstellung: Dipl.-Ing. Selcuk Nisancioglu
Dipl.-Ing. Daniela Wilke

Projektbearbeitung: Dipl.-Ing. Semra Kara
Dipl.-Ing. Selcuk Nisancioglu
Dipl.-Ing. (FH) Anne Christine Randel

Beteiligte Mitarbeiter: Daniel Küppersbusch
Tobias Osterfeld
Carina Ritter

Beteiligte Studierende: Ali El Aamouchi
Carsten Broichhaus
Evgeny Gurov
Lars Hausmann
Christian Pfeifer
Kevin Ries
Oliver Wieczorek

In Zusammenarbeit:



Projektleitung: Mark Hinrichsen
Norbert Ibendahl

Projektförderung:



Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	25780-24/2	Referat	24	Fördersumme	125.000,00 EUR
----	-------------------	---------	-----------	-------------	-----------------------

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

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
30 Monate	01.01.2009	30.06.2011	

Zwischenberichte	30.06.2009	31.12.2009	30.06.2010
------------------	------------	------------	------------

Bewilligungsempfänger	Bergische Universität Wuppertal Interdisziplinäres Zentrum III Management technischer Prozesse	Tel.: 0202 / 439 4191 Fax: 0202 / 439 4314
	Pauluskirchstraße 7 42285 Wuppertal	Projektleitung Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Helmus
		Bearbeiter Dipl.-Ing. S. Kara Dipl.-Ing. S. Nisancioglu Dipl.-Ing. (FH) A. Randel

Kooperationspartner WSW Energie & Wasser AG
Bromberger Str. 39 - 41
42281 Wuppertal

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

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 im Hinblick auf Energieeinsparpotenziale und die in der Bauproduktion eingesetzten Maschinen und energieverbrauchenden Prozesse auf ihren Energieverbrauch überprüft und optimiert werden, um bisher ungenutzte Energieeinsparpotenziale aufzuzeigen und auszuschöpfen.

Ein umweltgerechtes Energie- und Ressourcenmanagement verknüpft den Gedanken des nachhaltigen und umweltschonenden Wirtschaftens mit betriebswirtschaftlich sinnvollem Handeln. Erstmals sollen baubranchenspezifische Möglichkeiten aufgezeigt werden, Energie die während der Bauproduktion verbraucht wird einzusparen bzw. effizienter zu nutzen. Durch direkte, erhebliche Kosteneinsparungen wird die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, die nachhaltige Energiekonzepte verwenden, gestärkt. Somit wird umweltgerechtes Handeln zum Wirtschaftsfaktor und Wettbewerbsvorteil für Unternehmen. Damit werden wichtige wirtschaftliche und ökologische Anreize für Unternehmen geschaffen, sich aktiv an der Schonung der Umweltressourcen und damit auch der Reduktion der CO₂-Ausstöße zu beteiligen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Da die Energieverbräuche auf Baustellen aufgrund teilweise sehr verschiedener Maschinen, Geräte und Bauabläufe stark differieren, muss zwischen Baustellentypen unterschieden werden. Die Zuordnung der Baustellen zu den Clustern erfolgt während einer Erstbegehung der Baustellen, bei der die baustellen-spezifischen Daten (Größe, Art der Baumaßnahme, Besonderheiten) erfasst werden.

In einem zweiten Schritt erfolgt eine energetische Bestandsaufnahme verschiedener Baustellen. Es werden Messeinrichtungen installiert, um die Energieverbräuche aufzuzeichnen. Auf dieser Grundlage können die Energiekosten und CO₂-Emissionen berechnet und die wesentlichen, energieverbrauchenden Prozesse und Maschinen je Cluster identifiziert werden. Parallel hierzu werden weitere Daten durch Befragungen und Experteninterviews erhoben. Zeitgleich mit dieser energetischen Bestandsaufnahme erfolgen die Schwachpunktanalyse und die Identifizierung von Optimierungsmöglichkeiten. Umsetzbare Maßnahmen der Bereiche Technik, Organisation und Personal werden aufgezeigt.

Ergebnisse und Diskussion

In allen drei Clustern konnten detaillierte Energiekennwerte ermittelt werden. Die größten Einsparpotenziale konnten erwartungsgemäß bei Erdbaumaßnahmen und Hochbaumaßnahmen aufgedeckt werden, deswegen wurde dieser Bereich besonders fokussiert.

Prinzipiell existieren Optimierungspotenziale in den Bereichen Technik, Organisation und Personal. Die im Bereich der Technik liegenden Potenziale beziehen sich in erster Linie auf die richtige Auswahl und Dimensionierung der eingesetzten Baumaschinen. Im Fokus heutiger Entwicklungen stehen insbesondere hohe Wirkungsgrade und die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs. Einsparpotenziale von bis zu 25 % sind mit heutiger Technik durchaus realisierbar. Die Baumaschinenindustrie hält Kraftstoffeinsparungen von bis zu 50 % sowie eine Verringerung der CO₂-Emissionen um mehrere Millionen Tonnen pro Jahr für durchaus realistisch, wenn die Technologie vom Markt angenommen wird. Die (richtige) Organisation bildet sowohl in der Arbeitsvorbereitung, als auch in der Ausführungsphase die Basis für eine effiziente Baustellenabwicklung. Baustelleneinrichtung und Bauablaufplanung nehmen Einfluss auf die Arbeitsabläufe und sind damit maßgeblich am Erfolg des Bauvorhabens beteiligt.

Nicht zu vernachlässigen ist die Relevanz des Personals auf der Baustelle. Sensibilisierung, Qualifizierung und Motivation der Mitarbeiter sind wichtige Faktoren, nicht nur, wenn es um den reibungslosen Ablauf eines Bauvorhabens geht. Wie effizient eine Baumaschine auch sein mag, der Einfluss des Maschinenbedieners wird bei modernen Baumaschinen in puncto Kraftstoffverbrauch und Produktivität immer größer. Um diese Potenziale allerdings auszuschöpfen, ist es unabdingbar, dem Personal die praktischen und theoretischen Kenntnisse, die für eine sicherere, effizientere Bedienung von Maschinen benötigt wird, zu vermitteln.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Vorträge

01.12.2011, Essen

Ingenieurkammer Bau – Nachhaltigkeit im Bauwesen

Projektergebnisse Energieeffizienz auf Baustellen

Manfred Helmus

01.09.2011, Essen

Verband der Deutschen Bauindustrie - AK Umwelt-/ Arbeitsschutz und Gefahrgut

Projektergebnisse Energieeffizienz auf Baustellen

Selcuk Nisancioglu und Anne Randel

08.04.2010, TU Wien

21. BBB-Assistententreffen

Energiemanagement auf Baustellen

Selcuk Nisancioglu

03.02.2010, BU Wuppertal

Tag der Forschung im Bauingenieurwesen

Energieeffizienz auf Baustellen

Selcuk Nisancioglu

18.11.2009, Essen

Sitzung des AK Umwelt-/ Arbeitsschutz und Gefahrgut

Energieeffizienz auf Baustellen

Manfred Helmus

Veröffentlichungen

Helmus, M.; Nisancioglu, S.; Randel, A.

Energie- und Ressourcenmanagement in der Bauwirtschaft

Festschrift anlässlich des 60. Geburtstages von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Schach, S. 169ff

Helmus, M.; Nisancioglu, S.; Randel, A.

Energieeffizienz - Ungenutzte Potentiale auf Baustellen

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

Nisancioglu, S.; Randel, A. und Ümit, S.

Energiemanagement auf Baustellen

in: Tagungsband des 21. BBB-Assistententreffens in Wien, 09.04.2010

Technische Universität Wien, Österreich

Fazit

Mehr Effizienz durch bessere Organisation

Die (richtige) Organisation bildet sowohl in der Arbeitsvorbereitung, als auch in der Ausführungsphase die Basis für eine effiziente Baustellenabwicklung. Allerdings kommt es an dieser Schnittstelle zu Fehlern in der Umsetzung. Oft stehen die in der Arbeitsvorbereitung vorgesehenen Maschinen nicht in der notwendigen Anzahl und den notwendigen Eigenschaften zur Verfügung. Regelmäßig werden auch Baustoffe, Materialien und Werkzeuge am Bauhof vergessen, so dass unnötige Fahrten durchgeführt werden die zusätzliche Kraftstoff- und Personalkosten verursachen. Aus ökologischer Sicht besonders fatal sind allerdings unnötig lange Transportstrecken zwischen bspw. Fertigteilerwerk und Baustelle.

Kraftstoffeinsparung und Verringerung der Emissionen durch bessere Technik

Die im Bereich der Technik liegenden Potenziale beziehen sich in erster Linie auf die richtige Auswahl und Dimensionierung der eingesetzten Baumaschinen. Hohe Wirkungsgrade und die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs stehen heute bei der Entwicklung von Baumaschinen und Geräten im Vordergrund. Die Baumaschinenindustrie hält Kraftstoffeinsparungen von bis zu 50% sowie eine Verringerung der CO₂-Emissionen um mehrere Millionen Tonnen pro Jahr für realistisch, wenn die bereits heute angebotene Technologie vom Markt angenommen wird. Demgegenüber steht allerdings, dass es bisher nicht möglich ist, die im Baustellenbetrieb eingesetzten Maschinen bezüglich des Kraftstoffverbrauches zu vergleichen. Dies liegt zum einen an lückenhaften und somit intransparenten Herstellerangaben und zum anderen existiert kein einheitliches Verfahren zur Ermittlung von Baumaschinenverbräuchen. Hier sind die Verbände, Normungsgremien und der Gesetzgeber gefordert, dies zu ändern.

Energieeinsparpotentiale nutzen

Ein großer Einflussfaktor besteht in der Qualifikation des Personals auf der Baustelle. Sensibilisierung, Qualifizierung und Motivation der Mitarbeiter sind wichtige Faktoren; wie effizient eine Baumaschine auch sein mag, der Einfluss des Maschinenbedieners auf Kraftstoffverbrauch und Produktivität wird bei modernen Baumaschinen immer größer.

Inhaltsverzeichnis

I.	Verzeichnis von Bildern und Tabellen	V
II.	Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	VIII
1	Zusammenfassung	XXIII
2	Einleitung	1
3	Grundlagen der Bauwirtschaft	5
3.1	Struktur der Bauwirtschaft	5
3.1.1	Gliederung der Bauunternehmen in Wirtschaftszweige und Größenklassen	5
3.1.2	Größen- und Umsatzstruktur der Unternehmen der Bauwirtschaft	6
3.1.3	Gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Bauwirtschaft	7
3.1.4	Kostenstruktur im Baugewerbe	9
3.2	Besonderheiten der Bauproduktion	10
3.2.1	Einsatzformen bauausführender Unternehmen	10
3.2.2	Organisation im Bauunternehmen	15
3.2.3	Organisation der Baustelle	16
3.3	Zwischenfazit	20
4	Grundlagen der Energienutzung in der Bauwirtschaft.....	21
4.1	Energieeffizienz	21
4.2	Wettbewerbsfähigkeit und Erfolg	22
4.3	Klima- und Umweltschutz	24
4.4	Indikatoren und Bezugsgrößen	24
4.5	Energieverbräuche einzelner Branchen im Vergleich	24
4.6	Energieeffizienz und Nachhaltigkeit als Thema in Bauunternehmen	29
4.6.1	Rolle und Bedeutung von Energieeffizienz	29
4.6.2	Energieproduktivität im Baugewerbe	29
4.6.3	Defizite und Hemmnisse	30
4.7	Nachhaltige Entwicklung in der Bauwirtschaft	31
5	Energienutzung im Erd-, Tief- und Deponiebau	33
5.1	Grundlagen des Erd-, Tief- und Deponiebaus	33
5.1.1	Baumaschinen im Erd-, Tief- und Deponiebau	34
5.2	Energieverbrauchsanalyse Referenzprojekt Deponiebau	38
5.2.1	Übersicht der eingesetzten Baugeräte	40
5.2.2	Methodik der Kraftstoffverbrauchsmessungen	40
5.2.3	Ergebnisse der Prozessanalyse	40
5.2.4	Ergebnisse der Kalkulationsanalyse	41

5.2.5	Zusammenfassung der Kraftstoffverbrauchskennwerte	41
5.2.6	Zusammenfassung der Leistungskennwerte	44
5.3	Energieverbrauchsanalyse Referenzprojekt Erdbau	46
5.3.1	Kraftstoffverbrauchsanalyse	47
5.3.2	Prozessanalyse Aushub	47
5.3.3	Prozessanalyse Umschlagen	48
5.3.4	Prozessanalyse Brechen von Fels	50
5.3.5	Prozessanalyse Verfüllen	51
5.3.6	Prozessanalyse Planierarbeiten	52
5.3.7	Prozessanalyse Erstellen Schotterplanum	52
5.3.8	Prozessanalyse Verdichten	53
5.3.9	Prozessanalyse Verlegen von Kanälen	54
5.3.10	Prozessanalyse Versickerungsbecken	55
5.3.11	Prozessanalyse Abtrag von Bauschutt	56
5.3.12	Prozessanalyse Ausschachten einer Baugrube	56
5.3.13	Zusammenfassung Durchschnittsverbräuche	57
5.4	Optimierungspotenziale Erd-, Tief- und Deponiebau	58
5.4.1	Optimierungspotenziale hinsichtlich der eingesetzten Technik	58
5.4.2	Optimierung hinsichtlich der Organisation	59
5.4.3	Optimierung hinsichtlich des Personals	62
5.4.4	Weitere Optimierungspotenziale	63
6	Energienutzung im Hochbau	65
6.1	Referenzprojekt	65
6.2	Methodik	66
6.2.1	Stromversorgung und Stromliefervertrag	66
6.2.2	Messungen der Stromverbräuche	68
6.2.3	Darstellung des Stromverbrauchs	68
6.2.4	Berichtswesen auf der Baustelle	68
6.2.5	Mögliche Einflussfaktoren	69
6.3	Auswertung und Analyse	69
6.3.1	Beschreibung und Vergleich der Tagesganglinien	69
6.3.2	Kennwerte und maßgebliche Erkenntnisse	71
6.3.3	Verifizierung der Kennwerte durch Vergleichsprojekte	76
6.3.4	Analyse außergewöhnlicher Verbräuche	78
6.3.5	Gesamtbilanz	79
6.4	Zusammenfassung und Optimierungspotenziale	81
7	Energienutzung im Straßenbau	85
7.1	Grundlagen	85
7.1.1	Asphaltmischgut	85
7.1.2	Aufbau der Asphaltbefestigung	86
7.1.3	Transport	86
7.1.4	Einbau des Walzasphalt-Mischgutes	86

7.1.5	Einbaubedingungen	87
7.1.6	Einsatz von Baumaschinen im Asphaltstraßenbau	87
7.1.7	Vorgehensweise und Randbedingungen	89
7.2	Energieverbrauchsanalyse	90
7.2.1	Analyse Abfräsarbeiten	91
7.2.2	Analyse Einbauprozess	91
7.2.3	Analyse Transportprozess	95
7.3	Fazit	96
8	Anreize und Implementierung	97
8.1	Nachhaltigkeitsberichterstattung von Bauunternehmen	97
8.2	Überblick bestehender Nachhaltigkeitszertifikate	100
8.3	Präqualifizierung von Bauunternehmen	100
9	Fazit.....	105
	Quellenverzeichnis.....	109

Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Abb. 2.1: Energieproduktivität im Baugewerbe.....	2
Abb. 2.2: Lücken in der energetischen Lebenszyklusbetrachtung von Immobilien	3
Abb. 3.1: Einteilung von Unternehmen nach Größenklassen.....	6
Abb. 3.2: Verteilung der Bruttowertschöpfung im Baugewerbe 2008	7
Abb. 3.3: Anteil des Baugewerbes an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung	7
Abb. 3.4: Bauinvestitionen preisbereinigt, Veränderung zum Vorjahr in %.....	8
Abb. 3.5: Preisentwicklung im deutschen Hochbau ohne MwSt. (Basis 2005)	8
Abb. 3.6: Umsatzrendite (vor Steuern) und Eigenkapitalquote im Bauhauptgewerbe.....	9
Abb. 3.7: Kostenstruktur für das Baugewerbe 2009	9
Abb. 3.8: Aufbauorganisation in Bauunternehmen als Liniensystem.....	10
Abb. 3.9: Beziehungen bei der gewerkeweisen Vergabe von Bauleistungen.....	11
Abb. 3.10: Beziehungen bei Mitwirkung eines Generalunternehmers	12
Abb. 3.11: Beziehungen bei Mitwirkung eines Totalunternehmers	13
Abb. 3.12: Wechselseitige Beeinflussung der Unternehmensziele	15
Abb. 3.13: Energieproduktivität der Maschinenherstellung und im Baugewerbe	20
Abb. 4.1: Minderungsziele in Mio. t CO ₂ für Deutschland	22
Abb. 4.2: Energiepreisentwicklung in Deutschland	23
Abb. 4.3: Importanteile und Arbeitsintensitäten unterschiedlicher Wertschöpfungsketten .	23
Abb. 4.4: Vergleich der Energieträgeranteile in der chemischen Industrie.....	25
Abb. 4.5: Vergleich der Energieträgeranteile in der Metallindustrie	25
Abb. 4.6: Vergleich der Energieträgeranteile in der Automobilbranche	26
Abb. 4.7: Vergleich der Energieträgeranteile in privaten Haushalten.....	26
Abb. 4.8: Entwicklung des Bruttoproduktionswertes im Baugewerbe.....	27
Abb. 4.9: Vergleich der Energieträgeranteile im Baugewerbe 1995 und 2008	28
Abb. 4.10: Energieproduktivität im Baugewerbe.....	30

Abb. 5.1: Kraftstoff- und Schmierstoffverbrauch von Baumaschinen	38
Abb.5.2: Übersicht der Baufelder Deponie	39
Abb. 5.3: Verbrauchskennwerte der eingesetzten Hydraulikbagger und LKW	42
Abb.5.4: Laden und Einbau des Rekubodens	42
Abb. 5.5: Verbrauchskennwerte der eingesetzten Planiertraupen und Erdbauwalzen	43
Abb. 5.6: Ablassen einer GTD-Rolle, Einbau der Gasdrän- bzw. Auflagerschicht	43
Abb.5.7: Übersicht der kalkulierten und realen Leistungskennwerte – OFA	44
Abb.5.8: Übersicht der kalkulierten und realen Leistungskennwerte – Basisabdichtung	45
Abb.5.9: Übersichtsplan der JVA Wuppertal.....	46
Abb.5.10: Bagger beim Ausheben von Lehmboden.....	47
Abb.5.11: Zusammenfassung der Ergebnisse Aushub	48
Abb.5.12: Beispiel Umschlagen von Bagger auf LKW	48
Abb.5.13: Zusammenfassung der Ergebnisse Umschlagen	49
Abb.5.14: Brechen von Fels auf der Miete der JVA	50
Abb.5.15: Zusammenfassung der Ergebnisse Brechen von Fels.....	50
Abb.5.16: Verfüllen der Fundamente der Haftmauer.....	51
Abb.5.17: Zusammenfassung der Ergebnisse Verfüllen	51
Abb.5.18: Planierung einer Baustraße	52
Abb.5.19: Ergebnis Planierarbeiten	52
Abb.5.20: Erstellen eines Schotterplanums	52
Abb. 5.21: Zusammenfassung der Ergebnisse Erstellung Schotterplanum	53
Abb. 5.22: Verdichten einer Baustraße.....	53
Abb. 5.23: Ergebnis Verdichten.....	53
Abb. 5.24: Kanalverlegung am Sportplatz der JVA.....	54
Abb. 5.25: Zusammenfassung der Ergebnisse Verlegen von Kanälen	54
Abb.5.26: Arbeiten zum Versickerungsbecken hinter der nordwestlichen Haftmauer	55
Abb. 5.27: Zusammenfassung der Ergebnisse Versickerungsbecken	55

Abb. 5.28: Abtrag von Betonresten der ehemaligen Schießwand.....	56
Abb. 5.29: Ergebnis Abtrag von Bauschutt	56
Abb. 5.30: Ausschachten einer Baugrube	56
Abb. 5.31: Ergebnis Ausschachten einer Baugrube	57
Abb. 5.32: Überblick der Durchschnittsverbräuche.....	57
Abb. 5.33: Vorteile GPS	59
Abb. 5.34: Erhöhung des Auslastungsfaktors η	59
Abb. 5.35: Investitionsvergleich für Bagger bei Berücksichtigung der Energiekosten	61
Abb. 5.36: Einsparpotenzial bei Verzicht auf Baustellenzwischentransporte	61
Abb. 6.1: JVA Wuppertal, Neues Thier Areal Dortmund und Tanzende Türme Hamburg	65
Abb. 6.2: Stadtplan Dortmund mit Gelände "Neues Thier Areal"	66
Abb. 6.3: Schematische Darstellung des Stromnetzes.....	67
Abb. 6.4: Tagesganglinie für Trafo 15	68
Abb. 6.5: Überblick der Tagesganglinien aller Messpunkte.....	70
Abb. 6.6: Durchschnittsverbrauch und -kosten.....	71
Abb. 6.7: Antizyklischer Zusammenhang von Stromverbrauch und Temperatur	72
Abb. 6.8: Durchschn. Tagestemperatur und –verbrauch in unterschiedlichen Jahreshälften	73
Abb. 6.9: Einfluss der Bauphasen und der Temperatur auf den Gesamtstromverbrauch	74
Abb. 6.10: Ermittlung des anteilmäßigen Stromverbrauches im NT	74
Abb. 6.11: Durchschnittliche Stundenverbräuche je Tagesperiode	75
Abb. 6.12: Stromanteile nach Anwendungsbereichen 2008	76
Abb. 6.13: Vergleich der Tagesganglinien aller untersuchten Projekte.....	77
Abb. 6.14: Vergleich der jahreszeitenabhängigen Verbrauchswerte	77
Abb. 6.15: Vergleich der Verbrauchsanteile im NT.....	77
Abb. 6.16: Vergleich des Anstieges in der KAZ.....	78
Abb. 6.17: Gesamtbilanz des Stromverbrauches	80
Abb. 6.18: Energie-Monitoring als Bestandteil des Energiemanagements	83

Abb. 7.1: Herstellung und Einbau von Asphaltmischgut.....	85
Abb. 7.2: Einbau von Walzasphalt.....	87
Abb. 7.3: Konstruktiver Aufbau einer Straßenkonstruktion	89
Abb. 7.4: Bauablauf – Herstellung einer Asphaltschicht.....	90
Abb. 7.5: Vergleichsmatrix - Abfräsarbeiten	91
Abb. 7.6: Vergleichsmatrix Erneuerung Asphaltschichten.....	93
Abb. 7.7: Asphaltdeckschicht - Treibstoffverbrauch.....	94
Abb. 7.8: Bauausführung -Projektdatei	95
Abb. 8.1: ProRail Vorteil bei der Vergabe	102

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

Abb.	Abbildung
AfA	Absetzung für Abnutzung
AG	Auftraggeber
AG	Aktiengesellschaft
AGB	Allgemeine Geschäftsbedingungen
AGK	Allgemeine Geschäftskosten
AK	Arbeitskraft
APL	Arbeitsplanung
ASt	Arbeitssteuerung
AV	Arbeitsvorbereitung
BA	Bauabschnitt
BGL	Baugeräteliste
BLB	Bau- und Liegenschaftsbetrieb
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BNA	Bundesnetzagentur
BPM	Bauproduktionsmittel
bspw.	Beispielsweise
BSRP	Baustelleneinrichtungsplan
BTB	Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa

CAT	Caterpillar
CECE	Committee for european construction equipment
DAV	Deutscher Asphaltverband
dB	Dezibel (Einheit für den Schallpegel)
DepV	Deponieverordnung
DEW 21	Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH
DGNB	Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
DRL	Drainagelöffel
EC	Energie-Controlling
EDV	Elektronische Daten Verarbeitung
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EG	Europäische Gemeinschaft
EG	Erdgeschoss
EP	Einheitspreis
EM	Energiemanager/Energiemanagement
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
EN	Europäische Norm
EnEfG	Energie Effizienz Gesetz
EnEV	Energie Einsparverordnung
EnVKG	Energieverbrauchskennzeichnungsgesetz
EnVKV	Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EPD	Environmental Product-Declaration

etc.	et cetera
EU	Europäische Union
EUM	Energie- und Umweltmanagement
EUMS	Energie- und Umweltmanagement Systeme
evt.	Eventuell
EVU	Energieversorgungsunternehmen
f1	Einfluss Grabentiefe
f2	Schwenkwinkleinflussfaktor
f3	Entleerungsgenauigkeitsfaktor
ff.	fort folgend
flg.	Flächig
FTB	Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V.
FTL	Felsstiellöffel
GB	Gesamtbetrag
gem.	gemäß
ggf.	gegebenenfalls
GJ	Giga Joule
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GU	Generalunternehmer
GPL	Grabenprofillöffel
GPS	Global Positioning Service
GRL	Grabenraumlöffel
GSL	Gesteinslöffel
GTD	geosynthetische Tondichtungsbahn
GuV	Gewinn- und Verlustrechnung

GW	Grundwasser
GWh/a	Gigawattstunde pro Jahr
GWP	global warming potential
HC	Kohlenwasserstoff
HRB	Hydrostatisch Regeneratives Bremssystem
HWK	Handwerkskammer
i.d.R.	in der Regel
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaprogramm
IfM	Institut für Mittelstandsforschung
IKEP	Integriertes Klima- und Energieprogramm
inkl.	inklusive
Ing.	Ingenieur
INQA	Initiativkreis Neue Qualität des Bauens
ISO	International Organization for Standardization
i.V.	im Vergleich
i.W.	im Wesentlichen
IZ3	Interdisziplinäres Zentrum III für das Management technischer Prozesse der Bergischen Universität Wuppertal
J	Joule
JVA	Justizvollzugsanstalt
$k_1 (\alpha \cdot \phi)$	Ladefaktor
$k_2 = f_1 f_2 f_3$	Leistungsbeeinflussungsfaktor
KBS	Kreislaufsystem Blechverpackungen Stahl

KDB	Kunststoffdichtungsbahn
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KG	Kostengruppe nach DIN 267
kg	Kilogramm
KMBU	Kleine und mittelständische Bauunternehmen
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
KW	Kilowatt
KW	Kalenderwoche
KWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
L	Liter
LGK	Lohngebundene Kosten
LKW	Lastkraftwagen
LNK	Lohnnebenkosten
LV	Leistungsverzeichnis
LZ	Lastzyklus
m ³	Kubikmeter
mg	Milligramm
Mio. t.	Millionen Tonnen
MJ	Mega Joule
MMK	Mehr-Mulden-Konzept
MOB	Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen auf Fahrbahndecken aus Beton

MSNAR	Merkblatt für Schichtenverbund, Nähte, Anschlüsse und Randausbildung von Verkehrsflächen aus Asphalt
mt	Metertonne
MVAG	Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat
MWh	Megawattstunde
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide
Nr.	Nummer
NRW	Nordrhein-Westfalen
NU	Nachunternehmer
o.ä.	oder ähnlich
OEM	Original Equipment Manufacturer (Originalhersteller)
OFA	Oberflächenabdichtung
o.g.	oben genannt
OG	Obergeschoss
OP	Offene Posten
P	Leistung
PC	Personal Computer
PDA	Personal Digital Assistant (persönlicher digitaler Assistent)
PJ	Peta Joule
PKW	Personenkraftwagen
PLZ	Postleitzahl
Poly.	Polynomische Regressionslinie

Prof.	Professor
PT	Rußpartikel
PU	Polyurethan
Qn	Nutzleistung
QuB	Qualitätsverband umweltbewusster Betriebe
QuH	Qualitätsverband umweltbewusster Handwerksbetriebe
RAS-N	Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS; Teil: Leitfaden für die funktionale Gliederung des Straßennetzes
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung
RL	Rahmenrichtlinie
ROI	Return on Investment
RStO	Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
RWI	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
S.	Seite
s.a.	siehe auch
SI	Système international d'unités
s. Kap.	siehe Kapitel
SKW	Schwerkraftwagen
St	Stundenlohnarbeiten
STLB	Standardleistungsbücher
StVO	Straßenverkehrsordnung
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
Stzg.	Steinzeug

t	Tonne
Tab.	Tabelle
TDK	Turmdrehkran
Tel.	Telefon
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
TJ	Tera Joule
TL Beton-StB	Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton
ts (s)	Spielzeit
TWh	Terawattstunde
u.a.	unter anderem
u.g.	unten genannt
UMA	Umweltmanagement Ansatz
UMS	Umweltmanagement System
UN	United Nations
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
usw.	und so weiter
UTL	Universaltieföffel
u. U.	unter Umständen
u.v.m.	und vieles mehr
V	Volt
VBL	Verbaulöffel
Vfw	GmbH Vereinigung für Wertstoffrecycling GmbH
vgl.	vergleiche

VL	Vereinbarte Leistung
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
vs.	Gegenübergestellt, gegen
W	Watt
Wawi	Warenwirtschaft
WE	Wohneinheit
WFL	Wohnfläche
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WSW	Wuppertaler Stadtwerke
WV Stahl	Wirtschaftsvereinigung Stahl
w/z-Wert	Wasser / Zementwert
z.B.	zum Beispiel
ZL	Zusätzliche Leistung
ZTV Asphalt-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen – Asphaltbauweise
ZTV E-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau
ZTV T-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau
zul.	Zulässig

Glossar

Additive

Additive sind Zusatzstoffe, die es ermöglichen, die Eigenschaften eines Schmieröls nach seinem Verwendungszweck zu beeinflussen. Beeinflusst werden können die chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften.

Baukostenindex

Der BKI gibt für Bauleistungen unterschiedlichen Typs und Standards, Grundlagen für die Kalkulation der anfallenden Baukosten.

Baugewerbe

Das Baugewerbe, auch „Bauwirtschaft“ setzt sich aus dem Bauhauptgewerbe und dem Ausbaugewerbe zusammen. In Folge der Vereinheitlichung von Wirtschaftszweigen auf europäischer Ebene wird das Baugewerbe unter der Kennziffer F in folgende Abteilungen gegliedert:

41 Hochbau

42 Tiefbau

43 Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallationen und sonstiges Ausbaugewerbe

Bauindustrie

Der umgangssprachliche Begriff „Bauindustrie“ wird als Synonym für das „Bauhauptgewerbe“ verwendet.

Bauwirtschaft, Einteilung der

siehe Baugewerbe

Blindleistung

Für die Funktionsweise von vielen elektrischen Verbrauchern wie z. B. elektrische Motoren werden Magnetfelder benötigt. Diese erzeugen eine induktive Blindenergie, welche nicht verbraucht wird, sondern zwischen Generator bzw. Kraftwerk und Verbraucher hin und her pendelt. Hierdurch wird das Stromnetz zusätzlich belastet, da mehr Energie zur Verfügung gestellt werden muss als verbraucht wird. Die Einheit der Blindleistung ist Volt-Ampere reaktive.

Controlling

Die Beherrschung, Lenkung, Steuerung und Regelung von Prozessen innerhalb eines Unternehmens unter wirtschaftlicher Zielsetzung

Eco Construction Site Management

Das „Eco Construction Site Management“ integriert Aspekte des Energie- und Umweltmanagements in den Baubetrieb und verknüpft so den Gedanken des nachhaltigen und umweltschonenden Wirtschaftens mit betriebswirtschaftlich sinnvollem Handeln.

Elektrolyt

Elektrolyten sind in der Lage einen Stromfluss zu ermöglichen.

Endenergie

Siehe Sekundärenergie

Energiecontrolling

Energiecontrolling ermöglicht durch das kontinuierliche Beobachten und vergleichen geeigneter Größen das Erkennen und Korrigieren von übermäßigen Energieverbräuchen und liefert so Ansatzpunkte für Einsparmaßnahmen.

Energieproduktivität

Die Energieproduktivität dient als Maßstab für die Effizienz im Umgang mit den Energieressourcen und wird ausgedrückt als Verhältnis von Bruttoproduktionswert zum Primärenergieverbrauch.

Exergie

Arbeitsfähigkeit

exotherm

Bezeichnet in der Chemie Reaktionen, bei denen Energie an die Umgebung abgegeben wird.

Friction Modifier

Sind Additive zur Minderung der Reibungsverluste in Tribosystemen, welche der Energieeinsparung dienen. Sie werden auch als Reibungsminderer bezeichnet.

Katalysator

Katalysatoren werden zur Beschleunigung oder zur Abbremsung Prozessen zugefügt. Sie sind in der Lage die Aktivierungsenergie zu verändern.

Kinetische Energie

Katalysatoren werden zur Beschleunigung oder zur Abbremsung Prozessen zugefügt. Sie sind in der Lage die Aktivierungsenergie zu verändern.

Nutzenergie

Nutzenergie bezeichnet den Anteil der Endenergie, welcher vom Verbraucher nach Abzug von Verlusten bei der Nutzung zur Verfügung steht.

Ökostrom

Durch die Ökosteuer als Hilfsmittel soll die Umwelt entlastet werden und es sollen zudem neue Arbeitsplätze entstehen. Die Ökosteuer besteht aus drei Elementen, und zwar der Stromsteuer als Verbrauchssteuer, der Aufstockung der Mineralölsteuer sowie der Senkung der Rentenversicherungsbeiträge.

Primärenergie

Primärenergie bezeichnet die in der Natur verfügbaren Energiequellen in Form von Kohle, Erdgas, Erdöl, Wasser, Wind und Solarstrahlung. Einige Primärenergieträger können direkt beim Endverbraucher eingesetzt werden während hingegen andere durch Kraftwerke, Raffinerien usw. in die Sekundärenergie/Endenergie umgewandelt werden müssen. Bei diesen Umwandlungsprozessen entstehen Umwandlungsverluste.

Prozesswärme

Prozesswärme entsteht in gewerblichen und industriellen Produktionsverfahren wie Schmelzen von Metallen, Raffinierung von Erdöl, Wäschereien. In allen Temperaturbereichen wird mit wachsendem Anteil Elektrizität eingesetzt, weil dies unter anderem Vorteile wie eine bessere Wärmedosierung und eine Reduktion des Primärenergiebedarfs mit sich bringt. Bei vielen Prozessen wird meist Abwärme zum Energiesparen zurückgewonnen.

Rüttelflasche

Die Rüttelflasche ist ein Gerät zum Verdichten von Beton. Durch eine Unwucht im Inneren des Metallgehäuses wird die Flasche in Schwingung versetzt. Diese Schwingungen werden an den Beton weitergegeben, wodurch die Betonbestandteile eine dichtere Lagerung einnehmen.

Scheinleistung

Die Scheinleistung ist die Summe aus Wirk- und Blindleistung. Sie wird in der Einheit Volt-Ampere [VA] angegeben.

Schmierstoffe

Schmierstoffe werden nach DIN in die aufgelisteten Gruppen unterteilt. Diese Unterteilung erfolgt in Abhängigkeit der Eigenschaften des jeweiligen Schmiermittels

- Schmieröl:
 - Mineralöle
 - synthetische Flüssigkeiten
- Schmierfette:
 - Fette mit Seifenverdickern
 - Fette mit Nichtseifenverdickern
- Festschmierstoffe:
 - Trockenpulver
 - Gleitlacke
 - Pasten
 - Polymere
- Haftschmierstoffe:
 - Sprühhaftschmierstoffe
 - bitumenhaltige Schmierstoffe
- Emulsionen:
 - Öl-in-Wasser-Emulsionen
 - Wasser-in-Öl-Emulsionen

Sekundärenergie, Endenergie

Sekundärenergie oder Endenergie entsteht durch einen mit Verlusten behafteten Umwandlungsprozess aus der Primärenergie. Hierzu gehören Treibstoffe, Strom, Gas etc.

Synergie

Entsteht durch das Zusammenwirken gleichgerichteter Kräfte in Form von Instrumenten, Ressourcen, Strategien oder Zielen, welche sich in ihrer Kombination gegenseitig positiv beeinflussen.

Technologie

Ein System mit zahlreichen Komponenten die über dessen Effizienz entscheiden. Darunter fallen Gesamtwirkungsgrad, Nebenwirkungen, Sicherheit, Aufbau einer Infrastruktur der Versorgung einschließlich deren Speichermöglichkeit, Kosten der Entwicklung, Betreibung und Nutzung.

Wirkleistung

Bezeichnet einen Anteil der elektrischen Leistung, welche in eine andere Art von Leistung bspw. mechanische-, optische,- oder thermische Leistung umgewandelt werden kann. Die Wirkleistung wird in der Grundeinheit Watt [W] angegeben.

1 Zusammenfassung

Durchgeführte Untersuchungen

Zu den untersuchten Baustellen gehören sowohl Erd-, Tief- und Deponiebaumaßnahmen, als auch Hochbaustellen (Roh- und Ausbaugewerke) und Straßenbaustellen. Die energetische Bestandsaufnahme erfolgt durch die Installation von Messgeräten, die den Stromverbrauch aufzeichnen und speichern. Ebenso wird der Kraftstoffverbrauch von Baumaschinen gemessen und analysiert. Auf dieser Grundlage wird die Identifizierung des Energiebedarfs und der daraus resultierenden CO₂-Emissionen möglich. Zeitgleich mit dieser energetischen Bestandsaufnahme erfolgen die Schwachpunktanalyse und die Identifizierung von Optimierungsmöglichkeiten. Umsetzbare Maßnahmen der Bereiche Technik, Organisation und Personal werden aufgezeigt.

Erzielte Ergebnisse

Erstmals wird der Energieverbrauch einer Baumaßnahme über die gesamte Produktionsphase dargestellt, alle energieverbrauchenden Prozesse werden analysiert und Verbrauchern zugeordnet und somit die Voraussetzung geschaffen, im Rahmen eines Baustellen-Energiemanagements vorhandene Energieeffizienz- und Energieeinsparpotenziale zu identifizieren und auszuschöpfen. Ergänzend werden die Potenziale der Bereiche Technik, Organisation und Personal aufgezeigt und so direkte, auf ihre ökologische Wirksamkeit und ökonomische Effizienz untersuchte Handlungsempfehlungen für Baustellen zur Verfügung gestellt. So kann die bisher bestehende die Lücke in der energetischen Lebenszyklusbetrachtung von Immobilien geschlossen werden.

Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Zum identifizierten Forschungsbedarf gehören zum einen die Entwicklung eines standardisierten Verfahrens für die Ermittlung von Baumaschinenverbräuchen, zum anderen die Entwicklung eines Energiemanagementsystems in Anlehnung an die DIN 16001 für Baustellen. Um die vorhandenen Defizite und Wissenslücken zu schließen, sind Schulungsmodelle für das Baustellenpersonal und Baumaschinenführer und die Entwicklung eines Berufs- und Leistungsbildes „Energie- und Umweltmanager für Baustellen“ geboten.

Kooperationspartner

Wuppertaler Stadtwerke (WSW), Strabag AG, Ed. Züblin AG, bam Deutschland AG, Eurovia Industrie GmbH, Heilit Umwelttechnik GmbH, BMTI Baumaschinentechnik International GmbH, Energie GmbH, Quadrant PHS Deutschland GmbH, Mimberg Spedition Baustoffe GmbH & Co. KG, Amand GmbH & Co. KG, Baugewerbliche Verbände NRW, Berufsförderungswerk der Bauindustrie NRW e.V., Bundesverband der Baumaschinen-, Baugeräte- und Industriemaschinenfirmen e.V.

2 Einleitung

Bearbeitet von Dipl.-Ing. Selcuk Nisancioglu und Dipl.-Ing. (FH) Anne Christine Randel

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 bereits die notwendige Beachtung geschenkt wird, bleibt der Prozess der Bauwerkserstellung bislang unberücksichtigt. Erstmals werden baubranchenspezifische Strategien für die Nutzung dieser Potenziale entwickelt und so die Lücke in der energetischen Lebenszyklusbetrachtung von Immobilien geschlossen.

Der jahrelang andauernde Rückgang der Baunachfrage sowie ausbleibende Investitionen öffentlicher, industrieller und privater Bauherren führten in der Vergangenheit zu einem schonungslosen Verdrängungswettbewerb um die Gunst der Kunden. Zudem bewirken veränderte rechtliche Rahmenbedingungen, die zunehmende Globalisierung bzw. EU-Osterweiterung sowie der rasante technische Wandel und erste Auswirkungen der demografischen Entwicklung der Gesellschaft einen erheblichen Anpassungsdruck auf kleine und mittlere Bauunternehmen (KMBU). Die Folge ist ein anhaltender erbarmungsloser Preis- und Konkurrenzkampf auf dem deutschen Baumarkt. Durch den harten Verdrängungswettbewerb gingen der Bauwirtschaft Fachkräfte und somit das vorhandene Fachwissen verloren. Ebenso wurden wichtige Instrumente der Organisation des Unternehmens wie auch der Baustelle während der Rezession vernachlässigt. Gerade eine gute Organisation ist jedoch grundlegend für ein positives Baustellen- und Unternehmensergebnis. Ein Jahr nach der Finanzkrise ist die konjunkturelle Lage der deutschen Bauwirtschaft noch stabil. Als nachgelagerte Branche wird sie die Auswirkungen der Rezession verzögert spüren. Die Konjunkturpakete der Bundesregierung haben den Einbruch nicht auffangen, bestenfalls nur mildern können. Der Gesamtumsatz im Hoch- und Tiefbau belief sich laut Statistischem Bundesamt im Jahr 2009 auf rund 83,3 Milliarden Euro und ist im Vergleich zum Vorjahr um nominal 4% zurückgegangen.

Sowohl Aspekte der Energie- als auch der Ressourcennutzung sind im Bausektor momentan durch eine untergeordnete Relevanz gekennzeichnet. Unzureichende Rahmenbedingungen und eine zu geringe Nachfrage des Marktes, aber auch das mangelnde Bewusstsein verhinderten bislang eine Fokussierung von Nachhaltigkeitsaspekten im Baubetrieb. Für den Baustellenbetrieb gilt es als weitgehend unmöglich, den Energiebedarf über die Bauphasen 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 Kosten für Energie 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 Energiemanagementsystems. 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 gleichzeitig ökonomische, ökologische und soziale Aspekte berücksichtigen. Die Bauwirtschaft, als eine der Schlüsselindustrien für die Binnenwirtschaft und zugleich einer der größten Wirtschaftszweige in Euro-

pa, spielt hierbei eine bisher völlig vernachlässigte Rolle: Für den Baustellenbetrieb existieren keine ganzheitlichen Untersuchungen zu energiesparenden Bauabläufen und Techniken. Besonders deutlich wird dieses Defizit bei Betrachtung der Entwicklung der Energieproduktivität¹ im Baugewerbe. Die wirtschaftliche Entwicklung im Baugewerbe ist bis zum Jahr 2005 weitgehend rückläufig. Trotz leicht steigender Energieproduktivität seit 2004 ist eine faktische Entkopplung des Bruttoproduktionswerts vom Energieverbrauch im Bausektor nicht festzustellen (vgl. Abb. 2.1). Es fehlt der Bauindustrie bislang am Bewusstsein, dass sich der durch die sinkende Nachfrage entstandene Kostendruck mit einer steigenden Material- oder Energieproduktivität dämpfen ließe.

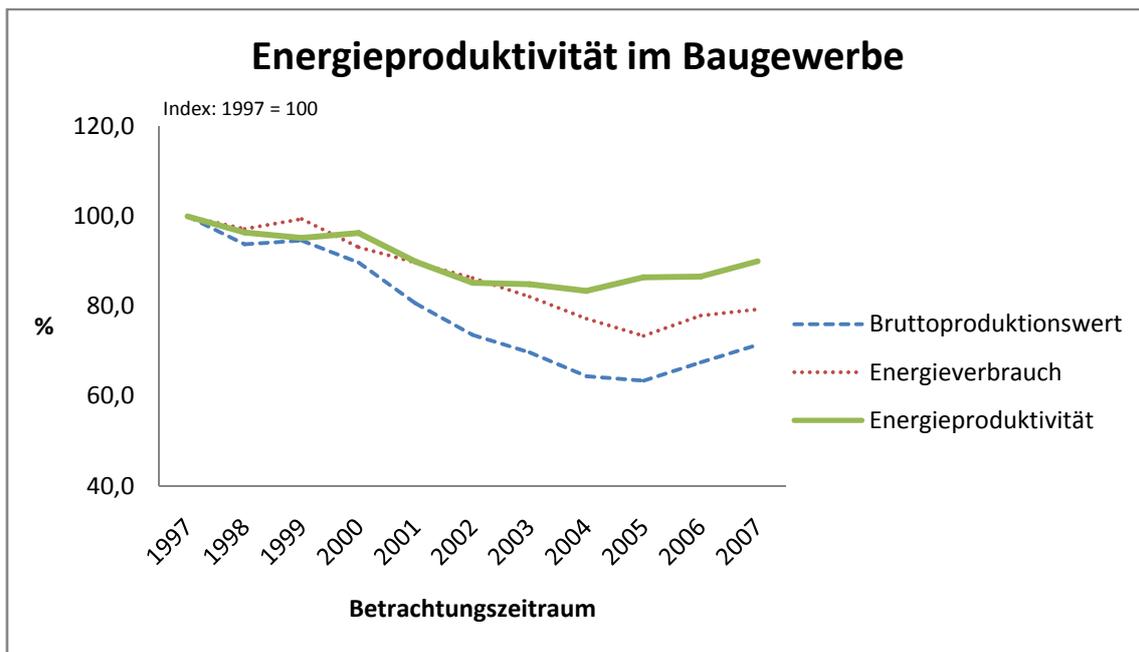


Abb. 2.1: Energieproduktivität im Baugewerbe²

In der Praxis ist oft ein zu nachlässiger Umgang mit Energieressourcen zu beobachten. Dabei geht es nicht nur um das Abschalten der Baustellenbeleuchtung nach Feierabend. Untersuchungen zeigen, dass beispielsweise Leckagen an Druckluftleitungen nicht oder zu spät behoben werden, zu viele Fahrten aufgrund fehlerhafter Logistik gemacht oder veraltete und überdimensionierte Maschinen verwendet werden.

Eine Untersuchung der kfw-Bankengruppe zu den Hemmnissen und Erfolgsfaktoren von Energieeffizienzmaßnahmen in Unternehmen aus dem Jahr 2005 zeigt, dass Potenziale von der Bauwirtschaft kaum wahrgenommen, bzw. als zu geringfügig eingeschätzt werden. Mehr als die Hälfte der befragten Bauunternehmen sehen keine Energieeinsparmöglichkeiten, ein Drittel schätzt das Einsparpotenzial auf unter 10 % ein. Diese Einordnung beruht hauptsächlich auf der Tatsache, dass in der Bauwirtschaft die Energieeinsparpotenziale der Bauwerks-

¹ Die Energieproduktivität gilt als Maßstab für die Effizienz im Umgang mit den Energieressourcen und wird ausgedrückt durch das Verhältnis des Bruttoproduktionswertes zum Primärenergieverbrauch.

² Vgl.: [StaBA11], eigene Berechnungen

erstellung unbekannt sind.³ In einigen großen Bauunternehmen wird die Thematik in Nachhaltigkeits- und Umweltberichten aufgegriffen. Allerdings gelingt es bislang nicht, konkrete Daten zum Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß im Baubetrieb darzulegen. Vielmehr bleibt der Klimaschutz auf das Bauen und Betreiben von nachhaltigen Gebäuden, die energetische Gebäudesanierung und die Reduzierung der CO₂-Emissionen der unternehmensinternen Fahrzeugflotte beschränkt.⁴ So ist es inkonsequent, energieeffiziente Gebäude zu planen, zu bauen und zu betreiben und dabei die Einsparpotenziale der Bauausführungsphase auszublenden.

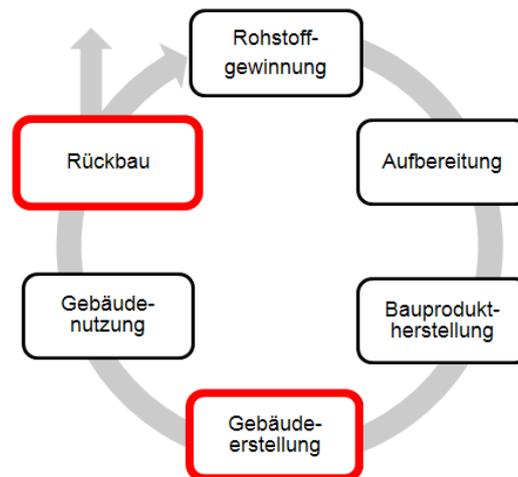


Abb. 2.2: Lücken in der energetischen Lebenszyklusbetrachtung von Immobilien

Erschwert werden diese Bemühungen auch durch fehlende Herstellerangaben zum Kraftstoffverbrauch der Baumaschinen: Der Kraftstoffverbrauch gleichartiger Baumaschinen unterschiedlicher Hersteller kann unter Effizienzaspekten nicht verglichen werden. Ein anerkanntes und standardisiertes Verfahren zur Ermittlung von Baumaschinenverbräuchen könnte für die notwendige Transparenz im Baumaschinensektor sorgen. Vor allem in der Investitionsrechnung bleibt aufgrund dieses Defizites ein wichtiger wirtschaftlicher Aspekt unberücksichtigt. Wie gravierend jedoch die Kraftstoffverbräuche abweichen können, verdeutlicht ein Sachverständigen-Gutachten⁵ zweier Autobetonpumpen. Bei identischen Randbedingungen konnte eine Abweichung des Dieserverbrauchs von 64 % festgestellt werden. Solch schwerwiegende Unterschiede können den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens beeinflussen. Obwohl Baumaschinenhersteller gegenwärtig vermehrt auf neue Technologien setzen, um die Leistung ihrer Baumaschinen zu optimieren und zeitgleich den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren, fehlen transparente Angaben zum Kraftstoffverbrauch; ein energetischer Vergleich der Baumaschinen bleibt somit unmöglich.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Grundlagen zu schaffen, die es ermöglichen sollen, ein umweltgerechtes und nachhaltiges Energie- und Ressourcenmanagement in der Bauwirt-

³ [KFW05]

⁴ Vgl.: [HT09]

⁵ Vgl.: [Mey08]

schaft umzusetzen. Nicht nur steigende Energiepreise, sondern auch die Notwendigkeit, den klimaschädlichen Kohlendioxid-Ausstoß zeitnah zu minimieren, rechtfertigen eine Untersuchung möglicher Energieeinsparpotentiale auf Baustellen. Große Bedeutung kommt hierbei der Identifizierung von Potenzialen für den Baustellenbetrieb zu. Insbesondere die Gestaltung der Bauabläufe und Bauprozesse sowie der Einsatz energieeffizienter Techniken und die Auswahl der entsprechender Bauverfahren unter Berücksichtigung der besonderen Randbedingungen der Baustellenfertigung werden untersucht und bewertet. Durch die Verknüpfung von umweltgerechtem Handeln und nachhaltigem Wirtschaften wird die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, die energieeffiziente Konzepte anwenden, nicht nur gestärkt, sondern auch zum wirtschaftlichen Erfolgsfaktor. Dem Ziel sind Projektschritte untergeordnet, die für eine erfolgreiche Abwicklung des Forschungsvorhabens von tragender Bedeutung sind.

In einem sechsstufigen Programm werden Energiekonzepte zur Steigerung der Energieeffizienz und Reduzierung des CO₂-Ausstoßes für Baustellen entwickelt. Hierzu ist es notwendig, alle Bauproduktionsmittel und Bauprozesse im Hinblick auf den Energieverbrauch zu überprüfen und entsprechende technische, organisatorische und das Personal betreffende Optimierungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Zunächst werden Baustellentypen (Hochbaustellen, Straßenbaustellen, Gebäudesanierungen) zu Clustern zusammengefasst, da es für die jeweiligen Baustellenarten zu differenzierende Energieverbräuche gibt. In einem zweiten Schritt erfolgen eine energetische Bestandsaufnahme verschiedener Baustellen des jeweiligen Baustellenclusters und die Analyse der Schwachpunkte. Anschließend werden Maßnahmen zur Behebung der Schwachstellen entwickelt. Bisher ungenutzte Energieeinsparpotentiale auf Baustellen sollen so ausgeschöpft werden.

3 Grundlagen der Bauwirtschaft

Bearbeitet von Dipl.-Ing. Selcuk Nisancioglu, B.Sc. Tobias Osterfeld und Dipl.-Ing. (FH) Anne Christine Randel

Im folgenden Kapitel werden die Rolle der Bauwirtschaft im gesamtwirtschaftlichen Kontext dargelegt und die besonderen Randbedingungen der Bauproduktion vorgestellt. Weiteres Augenmerk liegt auf den Organisationformen von Baustellen und Bauunternehmen, da diese Randbedingungen maßgebend sind für die systematische Umsetzung von Energieeffizienz- und Energieeinsparmaßnahmen.

Die Produktion in der Bauwirtschaft ist i.d.R. durch die entkoppelte Fertigung von Unikaten an wechselnden Standorten mit wechselnder Belegschaft unter freiem Himmel gekennzeichnet. Die große Herausforderung jedes Bauprojektes besteht somit in der Planung, Organisation und Koordinierung der vollständigen, temporären Produktionsinfrastruktur sowie der gesamten Produktionsmittel und Baustellenbelegschaft, zur richtigen Zeit am richtigen Ort in der notwendigen Menge und Qualität. Diesem Spannungsfeld wird versucht mit speziellen Organisationsformen der Bauausführung zu begegnen.

Die Planung der Fertigung spielt eine entscheidende Rolle, da Produktionsmittel und Arbeitskräfte unter Beachtung der Termintreue und gleichbleibender Qualität möglichst wirtschaftlich eingesetzt werden müssen. Desweiteren findet die Produktion unter den vertraglichen Bedingungen des Bauherrn statt. Die genannten Aspekte machen deutlich, dass der Auftragnehmer oft nur zu einem gewissen Teil Einfluss auf die Art und Weise der auszuführenden Arbeiten hat. Steht das Produkt fest, impliziert es auch seinen Fertigungsprozess. Mit der Fertigungsplanung wird also lediglich versucht die zur notwendigen Ressourcen möglichst wirtschaftlich einzusetzen¹. Für die energetische Betrachtung der Produktion bedeutet das, dass die bisher vernachlässigten Stellschrauben nach besten Möglichkeiten ausgenutzt werden müssen.

3.1 Struktur der Bauwirtschaft

3.1.1 Gliederung der Bauunternehmen in Wirtschaftszweige und Größenklassen

In Folge der Vereinheitlichung von Wirtschaftszweigen auf europäischer Ebene wird das Baugewerbe unter der Kennziffer F in folgende Abteilungen gegliedert:²

41 Hochbau

42 Tiefbau

43 Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallationen und sonstiges Ausbaugewerbe

¹ Vgl. [BB11], S. 2.4

² [StaBA08]

In der aktuellen Wirtschaftszweigsystematik WZ 2008 setzt sich das Baugewerbe (bzw. Bauwirtschaft) aus dem Bauhauptgewerbe und dem Ausbaugewerbe zusammen. Der umgangssprachliche Begriff „Bauindustrie“ wird als Synonym für das Bauhauptgewerbe verwendet.

Dabei werden dem Baugewerbe die Unternehmen mit mehr als 20 Mitarbeitern zugerechnet. Desweiteren werden Unternehmen entweder nach Mitarbeiteranzahl und/oder nach Gesellschaftsform unterschieden: Unternehmen mit weniger als 20 Mitarbeitern werden demnach dem Bauhandwerk, Unternehmen mit mehr als 20 Mitarbeitern der Bauindustrie zugeordnet. Werden Bauunternehmen nach ihrer Gesellschaftsform unterschieden, so werden die kleinen im Ausbau tätigen Betriebe dem Baugewerbe zugeordnet und die größeren im Roh- und Tiefbau tätigen Betriebe der Bauindustrie zugeordnet.

Darüber hinaus werden kleine und mittlere Unternehmen auch als „Mittelstand“ bezeichnet. Für diesen historisch gewachsen Begriff existiert im deutschsprachigen Raum keine klar abgrenzende Definition. Im angelsächsischen Sprachraum hat sich der Begriff „small and medium-sized enterprises“ (SME) etabliert, der seine deutsche Entsprechung in „kleine und mittlere Unternehmen“ (KMU) findet. Unternehmen werden demnach nach Jahresumsatz und Beschäftigtenanzahl wie folgt abgegrenzt:³

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

Abb. 3.1: Einteilung von Unternehmen nach Größenklassen⁴

3.1.2 Größen- und Umsatzstruktur der Unternehmen der Bauwirtschaft

Dieser Definition nach, beträgt der Anteil der KMU an der deutschen Bauwirtschaft 98%. Lediglich 2,0% Bauunternehmen sind den Großunternehmen zu zurechnen.⁵ Für das Jahr 2008 hat das Statistische Bundesamt ermittelt, dass sich der Anteil der klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU) bzw. der Großunternehmen folgendermaßen aufteilt:

³Vgl. [StaBA08a], S. 1

⁴ Auf der Grundlage von: [StaBA08a], S. 1

⁵ Vgl. [StaBA08a], S. 2

	Kleinst- und Kleinunternehmen	Mittlere Unternehmen	Große Unternehmen	Gesamt
Anzahl der Unternehmen	71.913	1.767	146	73.826
Anteil an Gesamtzahl der Unternehmen	97,4%	2,4%	0,2%	
Anzahl der Beschäftigten	467.353	161.195	84.363	712.911
Anteil an Gesamtzahl der Beschäftigten	65,6%	22,6%	11,8%	
Umsatz in Mio. EUR	42.881	26.012	20.116	89.009
Anteil an Gesamtumsatz	48,2%	29,2%	22,6%	
Umsatz je Beschäft. in Tsd. EUR	92	161	238	125

Abb. 3.2: Verteilung der Bruttowertschöpfung im Baugewerbe 2008⁶

Es ist festzustellen, dass Großunternehmen 8 % der in der Bauwirtschaft tätigen Mitarbeiter beschäftigen und 17 % des Umsatzes erwirtschaften.

3.1.3 Gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Bauwirtschaft

Das Baugewerbe erreichte im Jahr 2010 eine Bruttowertschöpfung von etwa 23 Mrd. EURO und lag damit ca. 1% unter dem Vorjahresergebnis. Der Anteil des Baugewerbes an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung betrug Mitte der 1990er Jahre noch rund 7% und befindet sich seitdem im Abwärtstrend. Sie erreichte zuletzt 2010 lediglich einen Anteil von 3,7%.

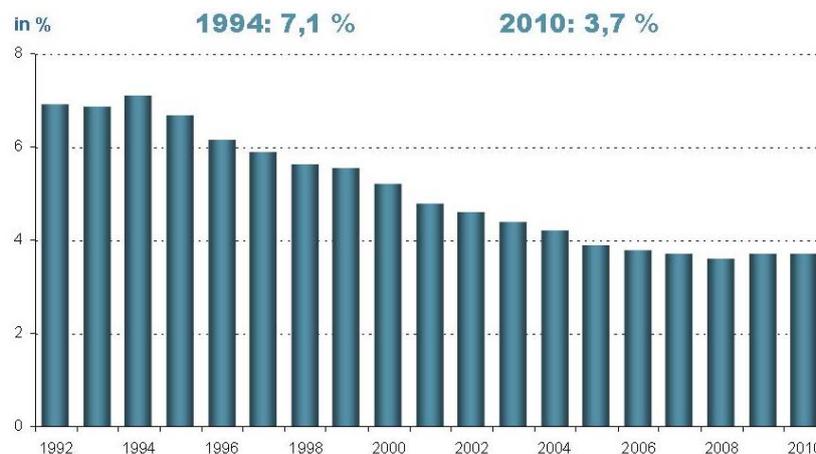


Abb. 3.3: Anteil des Baugewerbes an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung⁷

Im Jahr 2009 lagen die Bauinvestitionen bei 212 Milliarden EURO (reale Basis) und erreichten einen Anteil am Bruttoinlandsprodukt von etwa 9,8%. (preisbereinigt). Dieser Wert hat sich vor allem bedingt durch die Konjunkturpakete der Bundesregierung als Reaktion auf die Finanzkrise, gegenüber dem Vorjahr kaum verändert.

⁶ Auf der Grundlage von: [StaBA08a], S. 3

⁷ in konstanten Preisen, Vgl.: [HaBa11]

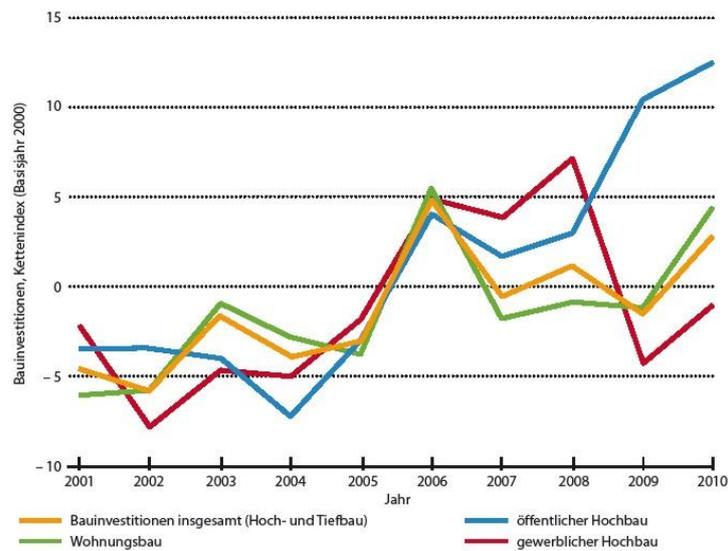


Abb. 3.4: Bauinvestitionen preisbereinigt, Veränderung zum Vorjahr in %.⁸

Bedingt durch steigende Preise für Baumaterialien sind seit dem Jahr 2004 die Preise für Leistungen des Bauhauptgewerbes kontinuierlich gestiegen und lagen im Jahr 2010 allerdings nur um 10 Prozent über dem Preisniveau der Basis von 1995. Die höheren Materialpreise können auf Grund des anhaltend starken Wettbewerbs der Baubranche nicht an die Auftraggeber weitergegeben werden.

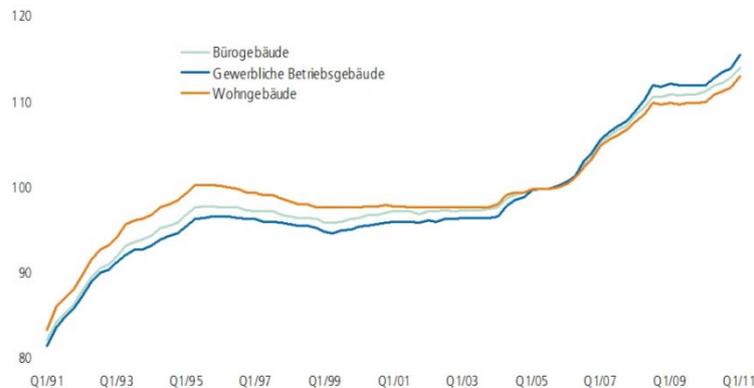


Abb. 3.5: Preisentwicklung im deutschen Hochbau ohne MwSt. (Basis 2005)⁹

Daher fällt die Umsatzrendite von etwa 5 Prozent vergleichsweise niedrig aus. Gleichzeitig konnten die Unternehmen die Eigenkapitalquote erhöhen, was sich positiv das Insolvenzrisiko auswirkt. Die Zahl der Insolvenzen ist somit auch etwa 500 je 10.000 Unternehmen auf 200 zurückgegangen.¹⁰

⁸ [HaBa11]

⁹ [HaBa11]

¹⁰ [HaBa11]

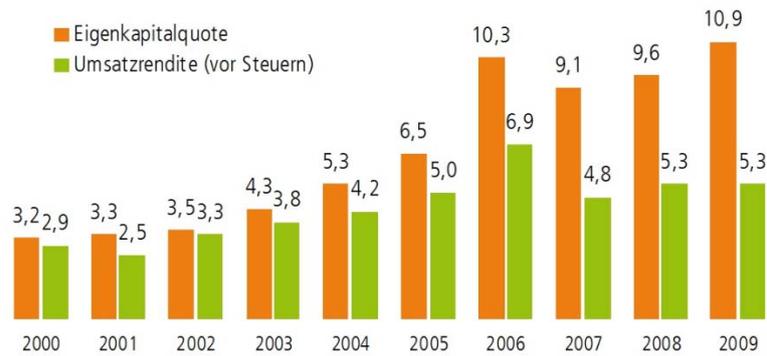


Abb. 3.6: Umsatzrendite (vor Steuern) und Eigenkapitalquote im Bauhauptgewerbe¹¹

3.1.4 Kostenstruktur im Baugewerbe

Auf Grund der Auslagerung von Bauleistungen an Nachunternehmer sind in den vergangenen zehn Jahren die Personalkosten des Bauhauptgewerbes deutlich zurückgegangen. Zuletzt hatten sie etwa ein Viertel am Bruttoproduktionswert. Entsprechend ist eine Erhöhung der Nachunternehmerleistungen zu verzeichnen. Der Anteil der Energiekosten am Bruttoproduktionswert ist seit 1998 von 1,3% auf 2,6% im Jahre 2008 gestiegen.

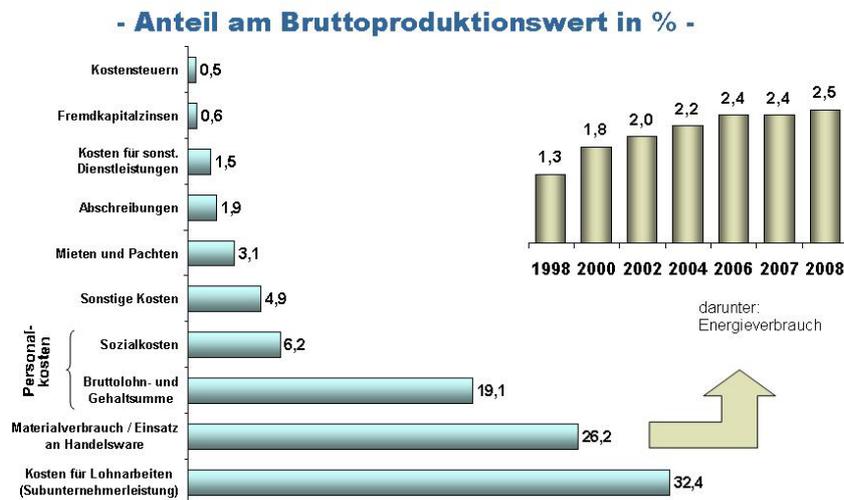


Abb. 3.7: Kostenstruktur für das Baugewerbe 2009¹²

¹¹ [HaBa11]

¹² [HaBa11]

3.2 Besonderheiten der Bauproduktion

Der **Baubetrieb** ist der organisatorische Teil des Bauunternehmens, der direkt mit der Herstellung der Bauwerke befasst ist. Die **Baubetriebliche Aufbauorganisation** beinhaltet Baustellen und stationären Betriebe wie Bauhof, Fertigteilwerk Asphaltmischanlage, etc.

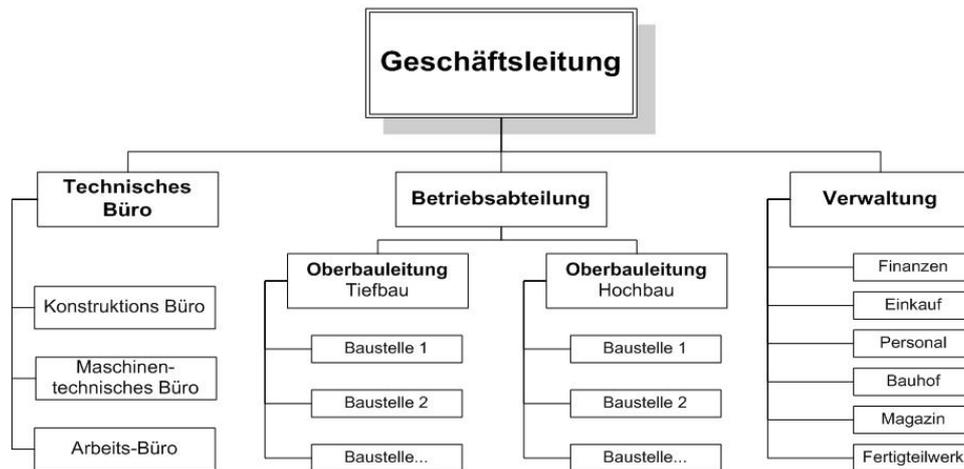


Abb. 3.8: Aufbauorganisation in Bauunternehmen als Liniensystem

Der **Baubetrieb** im Sinne der Ablauforganisation beschreibt die Vorgänge auf der Baustelle und im Gesamtablauf. Der **Baustellenbetrieb** umfasst die Einrichtung, Organisation und den Betrieb der Fertigungsstätten für Bauwerke.

Baubetriebstechnik beinhaltet die Produktionstechnik, Fertigungstechnik und Kalkulation.

Zur **Baubetriebsorganisation** gehört die Ausführungs-, Baustellen- und Arbeitsorganisation.

3.2.1 Einsatzformen bauausführender Unternehmen

Bauleistungen werden nach verschiedenen „Vertragskonstellationen“ vergeben, hinter denen unterschiedliche organisatorische Konzepte bezüglich der Aufteilung bzw. Zusammenfassung von Planungs- und Ausführungsaufgaben auf die in Frage kommenden Vertragspartner der Auftraggeber stehen. Eine erste ordnende Begriffsbildung für die in der Praxis immer vielfältiger gewordenen Formen der Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber- und Auftragnehmer hat erstmals die 1973 vorgelegte „Enquete über die Bauwirtschaft“ gegeben, die im Auftrage des Bundesministeriums für Wirtschaft erstellt wurde. Zwischenzeitlich kam es wieder zu einzelnen Differenzierungen, so dass sich nunmehr folgende Grundtypen für den „Unternehmenseinsatz“ durch den Auftraggeber unterscheiden lassen:

Gewerkeweise Vergabe an Fachunternehmer

Entsprechend einem traditionellen Rollenbild der Bauwerkserstellung, dessen Entwicklung und Einflussnahme über mehrere Jahrhunderte bis zu den Zünften und Handwerkerbünden zurückverfolgt werden kann, ist auch heute noch nach § 4 Nr. 3 VOB/A die gewerkeweise Vergabe an Fachunternehmer die Regel. Die Fachunternehmen führen nur Leistungen in Teilbereichen einer Baumaßnahme (z. B. Mauer- und Beton-, Putz-, Elektro-, Sanitärarbeiten) aus. So vergebene Fachlose sind nicht zwingend identisch mit den Leistungsbereichen der

ATV der VOB/C; sie können ganz oder teilweise einen oder mehrere Leistungsbereiche umfassen.

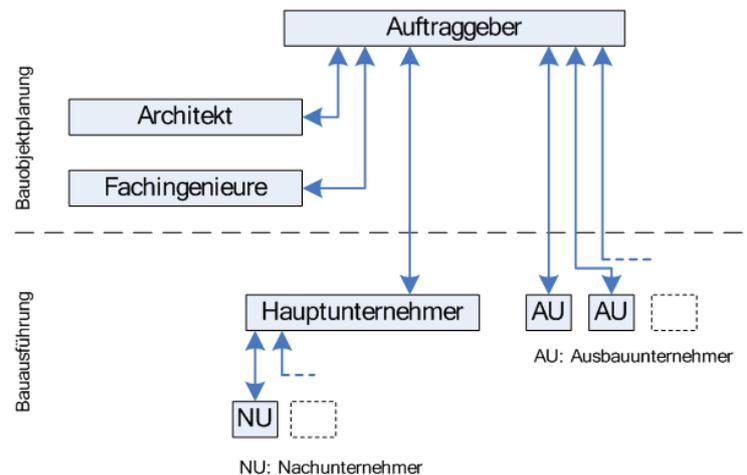


Abb. 3.9: Beziehungen bei der gewerkweisen Vergabe von Bauleistungen

Ein Hauptunternehmer (HU) übernimmt die verantwortliche Ausführung eines Bauauftrages (z. B. der Rohbauarbeiten) und kann Teile der von ihm übernommenen Ausführungsleistungen (z. B. Schalarbeiten) an andere Bauunternehmer weiter vergeben. Der Hauptunternehmer übernimmt dabei die Gewährleistung für die Erfüllung des Vertrages gegenüber dem Bauherrn. Die weiter beauftragten Nachunternehmer (NU) haben hingegen keinerlei vertragliche Bindung zum Bauherrn; d. h. der Nachunternehmer haftet ausschließlich gegenüber seinem Auftraggeber. Da kein direktes Vertragsverhältnis zwischen dem Bauherrn und dem Nachunternehmer besteht, enthalten Nachunternehmerverträge üblicherweise einen Passus, der es dem Bauherrn erlaubt bei Kündigung des Bauvertrages mit dem Hauptunternehmer die bestehenden Nachunternehmerverträge „zu übernehmen“.

Ein Nachunternehmer führt Teile der vom Hauptunternehmer übernommenen Bauleistungen aus, ohne hierfür von einem Bauherrn beauftragt worden zu sein.

Vom Nachunternehmer ist der *Nebenunternehmer* zu unterscheiden, der unter der Leitung des Hauptunternehmers Aufträge zur Erstellung von Leistungsabschnitten übernimmt, die im engen technischen Zusammenhang mit den Leistungen des Hauptunternehmers stehen. Der Hauptunternehmer vergibt Leistungen an Nebenunternehmer im Namen und für Rechnung des Auftraggebers und haftet hierfür ausschließlich im Rahmen der Überwachung der Bauausführung und der Rechnungsprüfung. D. h. der Bauherr bevollmächtigt den Hauptunternehmer, seine Aufsichts- und Weisungspflicht für die Leistungen des Nebenunternehmers zu übernehmen; das Vorhandensein von Sachkenntnis und Erfahrung des Hauptunternehmers im Bezug auf die zu überwachende Leistung ist Voraussetzung für die Bevollmächtigung durch den Bauherrn.

Generalunternehmer (GU)

Ein Generalunternehmer übernimmt den Auftrag zur Erstellung eines gesamten Bauwerks unter Erbringung eigener wesentlicher Bauleistungen – zumeist schlüsselfertig.

Als Generalunternehmen werden solche Unternehmen bezeichnet, die alleinverantwortlich sämtliche Fertigungsleistungen – i. d. R. nach Abschluss der Gestaltungs- und Konstruktionsplanung – des zu erstellenden Objektes übernehmen. Generalunternehmer sind selbst an der Bauausführung beteiligt, indem sie wesentliche Teile der Bauleistung selbst ausführen (meist Rohbauarbeiten: Erd-, Mauer-, Stahlbetonarbeiten) und Teile der übernommenen Bauleistung – insbesondere die Ausbauarbeiten – an Nachunternehmer übertragen.

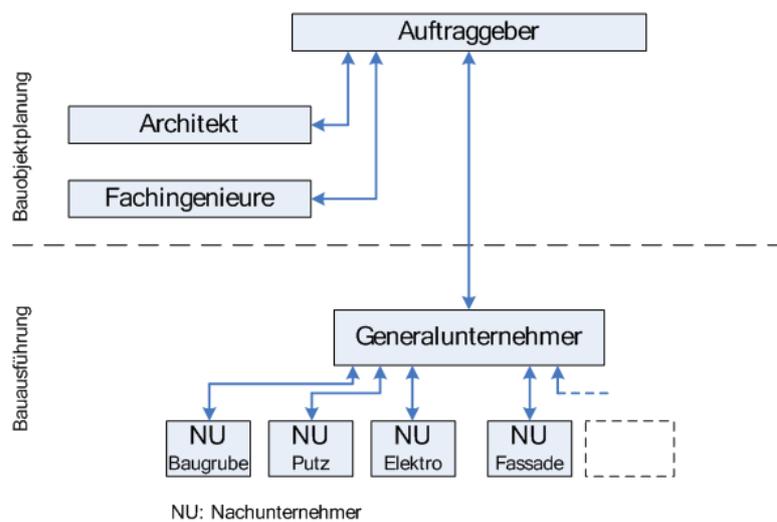


Abb. 3.10: Beziehungen bei Mitwirkung eines Generalunternehmers

Der Generalunternehmer übernimmt die Verantwortung für den gesamten Komplex der Bauwerkserstellung. Er trägt das gesamte technische und wirtschaftliche Risiko der Bauausführung und ist für diese Aufgabe alleiniger Vertragspartner des Bauherrn. Zu seinen Aufgaben zählen insbesondere:

- Rohbauarbeiten mit eigener Personal- und Betriebsmittelkapazität, auch unter Nutzung von Mietkapazitäten
- Vergabe der Ausbauleistungen an Fachunternehmen
- Überwachung der Nachunternehmerleistungen in technischer und qualitativer Sicht
- Technische, wirtschaftliche und zeitliche Koordination aller Leistungen
- zur Einhaltung des vereinbarten Terminplanes
- zur Erzielung einer funktionsfähigen Gesamtanlage
- Erstellung der Ausführungspläne (sofern schlüsselfertig)
- auf der Basis der Ausschreibungs- und Angebotsunterlagen
- in Zusammenarbeit mit den Fachingenieuren und Fachunternehmen
- in laufender Abstimmung mit dem Architekten

Dem Bild des Generalunternehmers auf Seite der Bauausführung entspricht der *Generalplaner* bei der Bauobjektplanung. Der Generalplaner übernimmt die gesamte Planungsleistung in Form aller Architektur- und Ingenieuraufgaben einschließlich der Sonderfachleute für ein gesamtes Bauprojekt – zumeist mit Ausnahme der im bauausführenden Unternehmen notwendigen Planungsleistungen, wie z. B. der Schalungsplanung.

Generalübernehmer (GÜ)

Ein Generalübernehmer übernimmt den Auftrag zur Erstellung eines gesamten – zumeist schlüsselfertigen – Bauwerks ohne Erbringung eigener wesentlicher Bauleistungen.

Vom Generalunternehmer ist der Generalübernehmer zu unterscheiden. Von ihm spricht man, wenn das Aufgabenfeld wegen fehlender Produktionskapazität die Erbringung eigener Bauleistung ausschließt. Er erfüllt zwar gegenüber dem Auftraggeber die gleichen Funktionen wie die Generalunternehmer, jedoch eben ohne die Erbringung wesentlicher eigener Bauleistung. Sein Tätigkeitsfeld umfasst insbesondere die Koordinierung von Nachunternehmern unter Beibehalt der Gesamtverantwortung.

Totalunternehmer (TU)

Ein Totalunternehmer übernimmt den Auftrag zur Planung und Erstellung eines gesamten schlüsselfertigen Bauwerks bei Erbringung eigener wesentlicher Leistungen.

Wenn ein Unternehmer neben der Erbringung wesentlicher Teile der Bauausführung auch Planungsleistungen, einschließlich dem Entwurf und ggf. dem Vorentwurf übernimmt, wird er als Totalunternehmer bezeichnet. Es kommt hier zu einer Zusammenfassung aller Fachplaner und Fachunternehmer bzw. zu einer Vereinigung von Generalplaner und Generalunternehmer unter einer Leitung. Während dieser Typ in Skandinavien und den USA häufig genutzt wird, ist in Deutschland erst in den letzten Jahren eine steigende Nachfrage nach dieser Form des Unternehmenseinsatzes festzustellen, da Auftraggeber oftmals dazu übergehen, Bauleistungen anhand einer funktionalen Leistungsbeschreibung auszuschreiben. (VOB/A: „Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm“). D. h. der Auftraggeber vergibt schon die (Vor-) Entwurfsplanung an den Totalunternehmer, der wie beim Generalunternehmer im Schlüsselfertigbau auch die Ausführungsplanung anfertigt.

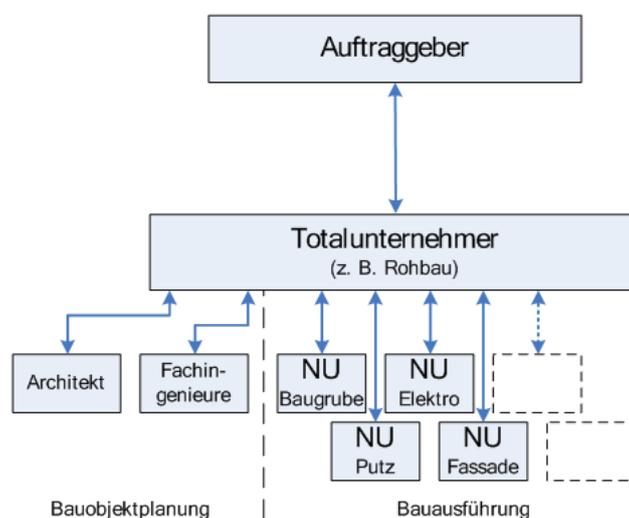


Abb. 3.11: Beziehungen bei Mitwirkung eines Totalunternehmers

Die vollständige Auftragsübernahme geht daher insofern über die Aufgaben des Generalunternehmers hinaus, als dass neben Ausführungsleistungen zusätzlich auch Entwurfsbearbeitung, Planung und Konstruktion in einer Hand vereinigt sind, und zwar entweder mit eigener Planungskapazität oder in vertikaler Kooperation mit Planungsunternehmen.

Dieser geschäftspolitischen Ausrichtung kommt in dem Maße größere Bedeutung zu, als dass die Auftraggeber für Planung und Ausführungen ihrer Bauvorhaben Komplettlösungen bevorzugen.

Es gibt zwei charakteristische Ausprägungen der Totalunternehmerschaft:

a) Objektspezifische Tätigkeit:

Hierbei handelt es sich um Auftragsarbeiten, die der Totalunternehmer nach den individuellen Wünschen des Auftraggebers und unter Berücksichtigung seiner Produktionsgegebenheiten plant und ausführt.

b) Objektneutrale Tätigkeit:

In diesem Fall werden (offene oder geschlossene) Bausysteme (z. B. Fertighäuser, Hallen etc.) angeboten, die auf das Potenzial des Bauunternehmens abgestimmt sind. Das läuft auf eine (objektunabhängige) Produktplanung hinaus, was die Möglichkeiten des Marketings wesentlich erweitern kann, weil es den Weg in den Qualitätswettbewerb öffnet. Diese Unternehmen entwickeln die angebotenen Bauwerkstypen ohne Auftrag und auf eigenes Risiko.

Der Totalunternehmer kann sein Leistungsangebot noch erweitern, z. B. durch Grundstücksbeschaffung und Finanzierungsleistungen („investierender Totalunternehmer“) und beispielsweise auch Bauprojekte entwickeln. Bei der *Projektentwicklung* geht es nach DIEDERICHS darum, „die Faktoren Standort, Projektidee und Kapital so miteinander zu kombinieren, dass einzelwirtschaftlich wettbewerbsfähige (...) sowie gesamtwirtschaftlich sozial- und umweltverträgliche Projekte geschaffen und dauerhaft rentabel genutzt werden können.“ Stark vereinfacht dargestellt, wird ausgehend von einer Projektidee und/oder einem Grundstück ein vermarktungsreifes Nutzungskonzept erarbeitet und im Regelfall, nachdem ein Anker-Nutzer bzw. ein Investor gefunden ist, mit der Projektdurchführung begonnen.

Totalübernehmer (TÜ)

Der Totalübernehmer übernimmt vom Auftraggeber das identische Aufgabenspektrum des Totalunternehmers, delegiert jedoch die Planungs- und Ausführungsleistungen vollständig an Nachunternehmer, wobei aber auch hier die Gesamtverantwortung gegenüber dem Auftraggeber verbleibt.

Im Unterschied zum General- und Totalunternehmer verfügen Übernehmer also nicht über eigene Bauausführungs- und Bauplanungskapazitäten *oder setzen sie im Regelfall nicht ein*, sondern beschränken sich auf Koordinierungs- und Steuerungsfunktionen sowie die Übernahme der Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber.

Während General- und Totalunternehmertätigkeit produktionsorientiert sind, ist die Übernehmertätigkeit handelsorientiert; Übernehmer brauchen, da sie auch die Koordinierungsleistung weiter vergeben könnten, im Prinzip nicht baufachkundig zu sein. Mit der VOB/A ist die Übernehmerschaft nicht vereinbar.

Als Fachunternehmer, als Generalunternehmer oder -übernehmer, als Totalunternehmer oder -übernehmer können nicht nur einzelne Unternehmen tätig werden. Es können sich auch mehrere Unternehmen zu dem Zweck zusammenschließen, gemeinschaftlich Planungs- und/oder Bauleistungen für einen bestimmten Auftrag anzubieten (Bietergemeinschaften) und auszuführen (Arbeitsgemeinschaften). In diesem Sinne sind Bieter- und Arbeitsgemeinschaften auch sog. Unternehmenseinsatzformen.

3.2.2 Organisation im Bauunternehmen

Eine effiziente Organisationsstruktur mit klarer Regelung der Zuständigkeiten bildet die Grundlage für wirtschaftlich erfolgreiches Bauen.

Unternehmensziele: „Unternehmensführung beginnt mit der Festlegung der Unternehmensziele!“ Schon vor vielen Jahren wurde diese von dem amerikanischen Professor und Publizisten für Management Peter F. Drucker aufgestellt. Die einfache Frage nach der Benennung der Unternehmensziele ist jedoch nur sehr schwer zu beantworten.

Das Hauptziel einer Bauunternehmung ist eine marktorientierte Unternehmensentwicklung. Insgesamt können fünf Teilziele formuliert werden, welche sich wechselseitig beeinflussen.

Wettbewerbsziele: Kundenzufriedenheit, Wettbewerbsfähigkeit durch Bauverfahren und Bauprodukte, Wettbewerbsfähigkeit durch qualifizierte und motivierte Mitarbeiter, Wettbewerbsfähigkeit durch Preis-/Leistungsverhältnis

Marktziele: Bauleistung p.a., Marktanteile in % der Branche / der Region, Bewahrung der Unabhängigkeit, Ansehen in der Öffentlichkeit

Ertragsziele: Gewinn in % der Bauleistung, Cash-flow in % der Bauleistung, Rendite in % des eingesetzten Kapitals, Liquidität in % des betriebsnotwendigen Kapitals

Leistungsziele: Leistungsangebot/-breite, Leistungstiefe, Förderung der Mitarbeiter und Sicherung der Arbeitsplätze, Leistungsqualität/-spezialität

Umweltziele: Bauwerke für den Umweltschutz, Umweltfreundliche Baustoffe, Umweltfreundliche Bauweisen, Bau- und Reststoffrecycling

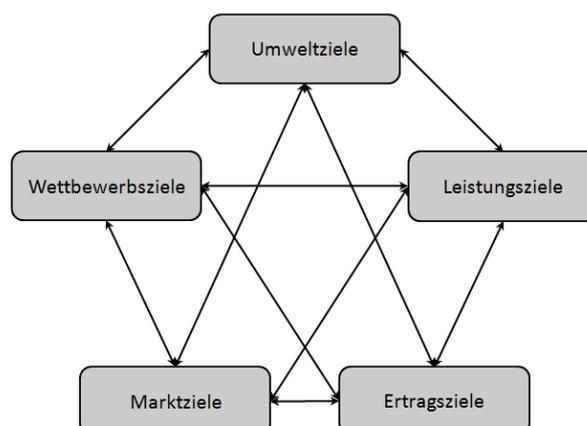


Abb. 3.12: Wechselseitige Beeinflussung der Unternehmensziele

3.2.3 Organisation der Baustelle

Die Arbeitsvorbereitung nimmt in Bauunternehmen oft eine untergeordnete Rolle ein, obwohl gerade in dieser Phase der Auftragsabwicklung viele Möglichkeiten zur effizienten Steuerung des Bauablaufs bestehen. Erhebliche Optimierungspotenziale in wirtschaftlicher, organisatorischer und sicherheitstechnischer Hinsicht werden so nicht erschlossen. Gerade wirtschaftliche Effekte sollten für viele Unternehmen Anreiz genug sein, sich intensiver mit Energieeffizienz und Energieeinsparpotenzialen auf Baustellen auseinanderzusetzen.

Angebotserstellung

Ein Angebot ist eine Willenserklärung an eine andere Person. Nimmt diese andere Person das Angebot an, dann kommt ein Vertrag zustande. Der Bieter erklärt verbindlich, dass er die vom Auftraggeber geforderte Leistung zu den angebotenen Preisen erbringen will. Eine nachträgliche Änderung der Preise ist nicht mehr zulässig. Ein gut durchdachtes Angebot ist somit die wichtigste Grundlage für eine erfolgreiche Auftragsbearbeitung. Anhand eines Angebotes wird nicht nur über eine Zu- oder Absage entschieden, sondern auch der gesamte Bauablauf ist sowohl wirtschaftlich als auch organisatorisch davon abhängig.

Arbeitsvorbereitung (AV)

Ziel der Arbeitsvorbereitung ist eine möglichst umfassende Vorbereitung aller Belange während der Auftragsabwicklung. Wirtschaftliche, organisatorische und sicherheitstechnische Anliegen werden im Vorfeld der Produktion in die Planung der Fertigungsmaßnahme einbezogen. Ausgangspunkt dabei ist zunächst die Ermittlung von Arbeitszeiten, in denen Arbeitsaufgaben zu verrichten sind. Dazu bedarf es umfassender Analysen verschiedenster Einflüsse, die auf Mensch und Betriebsmittel während des Arbeitsablaufes einwirken. Die beobachteten bzw. ermittelten Daten bieten schließlich verlässliche Anhaltspunkte für die Gestaltung von Arbeitssystemen.

Die Baustellenorganisation (insbesondere die Arbeitsvorbereitung) ist somit die Gesamtheit aller Maßnahmen der methodischen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung mit dem Ziel, ein Optimum an Aufwand und Arbeitsergebnis zu erreichen. Sie umfasst die langfristige Planung der Produktion (Qualitätssicherung, Kosten-, Finanzierungs-, Verfahren-, Materialplanung) bis zur kurzfristigen Steuerung des Fertigungsablaufes. Sie begleitet die Produktion auftragsübergreifend, versucht Synergien zu erkennen und diese Potenziale im Unternehmen zu erschließen.

Elemente der AV sind die **Informationsbeschaffung**, **Arbeitsplanung** und **Arbeitssteuerung**. Nachfolgend werden die einzelnen Elemente vorgestellt und deren bestimmende Aufgaben erläutert.

Informationsbeschaffung

Eine umfassende Baustellenorganisation basiert auf den richtigen Informationen über alle den Auftrag betreffenden Belange. Daten über das Produktionsgut, wie beispielsweise zu verwendende Materialien, Termine, Produktionsbedingungen und an der Produktion beteiligte Personen, müssen unmittelbar zu Beginn der Arbeitsvorbereitung vorliegen, um die notwendigen Schritte für eine wirtschaftlich erfolgreiche Auftragsbearbeitung einleiten zu können. Dabei können insbesondere terminliche Vorgaben den Aufwand der AV erheblich

beeinflussen. Ein enger Terminplan erfordert aufgrund fehlender Zeitpuffer eine gründlichere Vorbereitung einer reibungslosen Fertigung.

Insofern müssen mit Beginn der Arbeitsplanung alle für die Fertigung relevanten Informationen übersichtlich aufbereitet für die Beteiligten vorliegen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Daten zu jeder Zeit aktuell sind, was besonders bei Änderungen in der Konstruktion immense Auswirkungen auf Aspekte der AV haben kann. Neben der erstmaligen Informationsbeschaffung zu Beginn der Bearbeitung müssen gleichzeitig auch standardisierte Abläufe für notwendige Aktualisierungen geschaffen werden.

Ergänzend dazu liefern Erkenntnisse aus der Bewertung und Analyse bereits abgeschlossener Aufträge wichtige Anhaltspunkte zur effizienteren Gestaltung der Produktionsprozesse im Hinblick auf energieeffizientes und somit wirtschaftliches Arbeiten.

Arbeitsplanung (APL)

Die Arbeitsplanung beschäftigt sich mit Kernaufgaben der Arbeitsvorbereitung. Hier werden die Grundlagen für eine reibungslose Produktion geschaffen. Mit Auswertung der gesammelten Informationen über Produktionsgut, Fertigungsbedingungen und Erfahrungswerten aus vorangegangenen Aufträgen wird das weitere Vorgehen in der APL maßgeblich bestimmt. Zu den Bestandteilen der Arbeitsplanung gehören:

Termin- und Ablaufplanung. Festlegung von Fristen für Produktionsabschnitte bzw. Fertigstellung des Produktes.

Wahl der Produktionsverfahren. Es kann beispielsweise notwendig sein, kostenintensivere Produktionsverfahren zu wählen, um die Einhaltung existierender Fristen zu gewährleisten.

Einsatz- und Kapazitätsplanung von Personal, Geräten, Material und Fertigungsstätten auf Grundlage des zuvor ermittelten Bedarfs.

Umfassende Planungsdokumentation zur Nachvollziehbarkeit getroffener Entscheidungen und als Grundlage für die Arbeitssteuerung und spätere Bearbeitung von Neu- bzw. Folgeaufträgen. Unterlagenverwaltung und -bereitstellung.

Betriebsstättenplanung unter der Maßgabe, produktives und sicheres Arbeiten zu gewährleisten. Sicherstellung der Lagerhaltung und des Materialflusses, durch Gestaltung der Produktionsstätte.

Kostenplanung. Vor- und Nachkalkulation von Aufträgen zur Kontrolle der internen Kalkulationssätze. Investitionsrechnungen zur Prüfung, ob eine Anschaffung neuer Betriebsmittel sinnvoll ist.

Neben der Planung der Produktion müssen in der Arbeitsplanung die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, auf kurzfristige Änderungen, z. B. in der Planung, bei Problemen in der Fertigung oder bei Materialengpässen, durch gezielte Maßnahmen steuernd einzuwirken. Die Umsetzung und Überwachung dieser Maßnahmen wird durch die Arbeitssteuerung begleitet.

Arbeitssteuerung (ASt)

Die Arbeitssteuerung ist dafür zuständig, auf veränderte Randbedingungen mittels Veranlassung von planmäßigen Korrekturen steuernd auf die Produktion einzuwirken. Eine der Arbeitsplanung entsprechende Auftragsabwicklung muss jederzeit sichergestellt sein. Ein Einschreiten durch die ASt kann beispielsweise bei Qualitätsschwierigkeiten, zeitlichem Verzug bei der Fertigung, bei durch Krankheit bedingtem Personalmangel oder bei Leistungsdefiziten erforderlich sein. Hier gilt es zunächst, Probleme durch ständige Überwachung der Fertigungsprozesse frühzeitig zu erkennen und schließlich zur Sicherung der Ziele zeitnah geeignete Maßnahmen anzuordnen.

Zweck der Arbeitssteuerung ist die Sicherstellung einer möglichst reibungslosen Produktion auch bei unvorhersehbaren Schwierigkeiten.

Gesamtbearbeitungsphase

Die Gesamtbearbeitungsphase beinhaltet sowohl die Bauplanung wie auch die Bauausführung und damit die Baudurchführung. Besonders in dieser Phase kommt es auf eine gute Organisation im Bereich Durchführung und Personaleinsatz zur Reduktion der unternehmerischen Risiken an. Fehler in der Bauplanung lassen sich jetzt nur noch mit hohem finanziellen Risiko beheben. Unerlässlich in dieser Phase, ist auch eine regelmäßige Kontrolle der Bauleistungen.

Innovationen

Gerade für kleinere Unternehmen, die sich keine eigene Forschungs- und Entwicklungsabteilung leisten können, ist es sehr wichtig, die Entwicklung und Einführung von neuen Produkten oder Verfahren zu beobachten, um auch weiterhin den Stand der Technik gewährleisten und die damit einhergehenden Vorteile insbesondere im Bereich der Energiekosten nutzen zu können.

Merkmale der Arbeitsvorbereitung in der Stationären Industrie

Die Arbeitsvorbereitung in stationären Industriebetrieben fungiert als Bindeglied zwischen der Konstruktion und der Produktion, d. h. sie stellt einen eigenständigen Unternehmensbereich dar. Die Zusammenarbeit der einzelnen Bereiche kann durch eine straffe Organisation und die Nutzung gemeinsamer Instrumente, z. B. einheitlicher Softwarelösungen, gefördert und gesteuert werden.

In stationären Industriebetrieben werden Produkte vielfach in Serien- bzw. Massenfertigung hergestellt. Die Fertigungsstätten und damit auch die einzelnen Arbeitssysteme können in einem Initialschritt vor Produktionsbeginn eingerichtet und im Hinblick auf wirtschaftliches Arbeiten ausgerichtet werden. Damit verbunden sind auch die Sicherstellung des planmäßigen Materialflusses, eine möglichst optimale Ausnutzung der vorhandenen Betriebsmittel und die Schaffung eines optimierten Fertigungsablaufs. Einflüsse von außen, wie z. B. Witterungsschwankungen und Verkehr, sind i. d. R. nicht zu berücksichtigen.

Insbesondere im Bereich der Arbeitssteuerung sind stationäre Industriebetriebe im Vorteil. Die Überwachung der Fertigung kann anhand standardisierter Verfahren und Abläufe geplant und durchgeführt werden, so dass die Verfolgung der Produktionsziele jederzeit durch das Eingreifen der verantwortlichen Mitarbeiter sichergestellt ist.

Merkmale der Arbeitsvorbereitung in der Bauwirtschaft

Im Gegensatz zur stationären Industrie werden in der Bauwirtschaft in Einzelfertigung Prototypen hergestellt. Die Planung des Bauwerks wird i. d. R. von einem vom Bauherrn betrauten Planer bzw. Fachplaner vorgenommen. Es existiert eine Entkoppelung von Planung und Fertigung. Die Beauftragung der ausführenden Unternehmen erfolgt erst nach Fertigstellung der Planung, vielfach sogar erst nach Beendigung der Ausführungsplanung. Jedoch können gerade in der Planungsphase die Belange der Arbeitsvorbereitung im Hinblick auf die Wahl der Bauverfahren und damit direkt auch der Einsatz von Personal, Material und Geräte maßgeblich beeinflusst werden. Die AV in der Bauwirtschaft ist also kein internes Bindeglied zwischen Konstruktion und Produktion, sondern vielmehr Instrument zur Umsetzung fremder Vorgaben. Das Ideal einer Integration von Planung und Fertigung wie es in der stationären Industrie vorzufinden ist, muss auch das Ziel der Bauwirtschaft sein. Erkenntnisse der AV fließen selten in zukünftige Planungsphasen ein. In diesem Fall stellt die Schnittstelle zwischen Bauherr/Planer auf der einen Seite und den ausführenden Unternehmen auf der anderen, eine anscheinend unüberwindbare Hürde dar. Weiter erschwerend ist, dass sogar nach Auftragserteilung noch Änderungen in der Planung seitens der Bauherren/Planer vorgenommen werden, die einen unmittelbaren Einfluss auf die AV der Bauunternehmen haben.

Durch ständig wechselnde Fertigungsstandorte bzw. Baustellen sind in der AV bei jedem Auftrag vollkommen unterschiedliche Randbedingungen zu beachten, die durch unbeständige Witterung oftmals zusätzlich unvorhersehbar beeinflusst werden. Erschwerend für die AV ist zudem, dass in nahezu allen Bauphasen mehrere Unternehmen gleichzeitig auf der Baustelle tätig sind und die daraus resultierende Schnittstellenproblematik in der Bauausführung ein besonderes Vorgehen in der AV erzwingt. Der Einsatz eines Koordinators nach Baustellenverordnung (BaustellV) wird für den Bauherrn verpflichtend. Der Koordinator plant und koordiniert die Arbeit von Unternehmen auf Baustellen, Minimierung von gemeinsamen Gefährdungen durch gegenseitige Behinderung der Arbeitsabläufe. Anweisungen des Koordinators sind zu berücksichtigen, was wiederum vorbereitende Maßnahmen beeinflussen kann. Daraus ist ersichtlich, dass eine einmalige intensive Betrachtung und anschließende Planung der Arbeitssysteme aufgrund der ständig wechselnden äußeren Einflüsse nicht möglich ist. Vielmehr müsste bei jeder Baumaßnahme eine Analyse der einzelnen Arbeitssysteme erfolgen und diese im Zuge der Veränderungen im Bauprozess kontinuierlich hinterfragt werden, was jedoch vollkommen unrealistisch ist.

Die klassische Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen beschäftigt sich mit Kosten und Terminen sowie deren Einhaltung in der Ausführungsphase. Ziel ist die Realisierung dieser Vorgaben des Auftraggebers hinsichtlich Fristen und Ausführungsqualität bei möglichst geringen Kosten bzw. maximaler Wirtschaftlichkeit. Umweltaspekte nehmen nur eine sporadische Rolle in der AV ein und gehen vielfach im Tagesgeschäft unter. Jedoch lassen sich genau zu diesem frühen Zeitpunkt der Auftragsbearbeitung, wirkungsvolle Maßnahmen initiieren. Die Beeinflussbarkeit des Energieverbrauchs nimmt mit dem Baufortschritt erheblich ab. Es besteht die Gefahr, dass auf wechselnde Randbedingungen nur noch reagiert wird, anstatt diese bereits im Vorfeld zu erkennen und Maßnahmen einzuleiten.

Genau hier setzt eine umfassende und gewissenhafte Arbeitsvorbereitung an. Dabei muss es Ziel der Unternehmen sein, eine Baumaßnahme so akribisch vorzubereiten, dass die Arbeitsprozesse vor Baubeginn detailliert feststehen. Auf bereits angesprochene kurzfristige Ände-

rungen, kann so durch gezielte Korrekturen steuernd eingewirkt werden. Wichtiger Bestandteil in diesem Zusammenhang ist beispielsweise die Baustelleneinrichtungsplanung, da hier die Funktion der Fertigungsstätte „Baustelle“ im Voraus festgelegt werden können.

3.3 Zwischenfazit

Neben der wirtschaftlichen Relevanz kommt der Bauwirtschaft für die Realisierung einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland eine entscheidende Bedeutung zu. Gebäudebestand und umgebende Infrastruktur nehmen einen großen Anteil an Ressourcen in Anspruch. Baustoffauswahl, Energieverbrauch und Kosten sind eng aneinander.

Der Rückgang der Baunachfrage sowie ausbleibende Investitionen öffentlicher und privater Bauherren führten in der Vergangenheit zu einem schonungslosen Verdrängungswettbewerb um die Gunst der Kunden. Erstmals seit 1998 lag die Baunachfrage im Jahr 2006 wieder über dem Niveau des Vorjahres. Der durch die rückläufige Auftragslage entstandene Kostendruck im Bausektor führte in den letzten zehn Jahren zu einer kontinuierlichen Steigerung der Arbeitsproduktivität. Die Energieproduktivität, betrachtet als das Verhältnis des Bruttoproduktionswertes zum Energieverbrauch hingegen stagniert. Dies wird besonders deutlich im Vergleich mit der Maschinenherstellung, die seit 1996 die Energieproduktivität kontinuierlich steigern konnte.

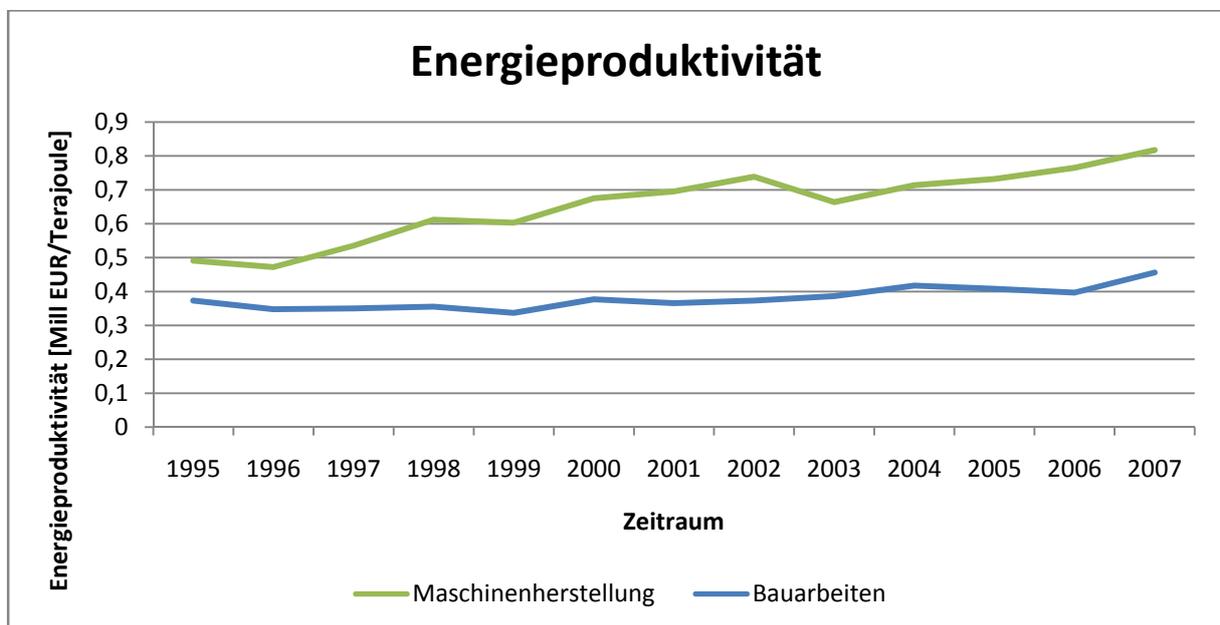


Abb. 3.13: Energieproduktivität der Maschinenherstellung und im Baugewerbe¹³

¹³ Eigene Berechnungen auf Grundlage von [StaBA10b]

4 Grundlagen der Energienutzung in der Bauwirtschaft

Bearbeitet von Dipl.-Ing. Selcuk Nisancioglu, B.Sc. Tobias Osterfeld und Dipl.-Ing. (FH) Anne Christine Randel

Die Steigerung der Energieeffizienz steht momentan weit oben auf der politischen Agenda in Deutschland. Bis zum Jahr 2020 wird von der Bundesregierung eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 40 Prozent gegenüber 1990 angestrebt. Der Sektor Bauen und Wohnen trägt maßgeblich zum Ausstoß an Treibhausgasen bei, in erster Linie über den Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser im Gebäudebereich. Aber auch die Energienutzung in der Bauwirtschaft, die im Folgenden fokussiert wird, bedarf einer differenzierten Analyse. In diesem Zusammenhang wird der Energiebedarf der Bauwirtschaft im Vergleich mit anderen Branchen dargelegt und insbesondere der Umgang mit dieser Thematik untersucht.

4.1 Energieeffizienz

Die Effizienz, welche auch als Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit bezeichnet werden kann, beschreibt im Allgemeinen das Verhältnis zwischen Einsatz und Wirkung. Hinter dem Begriff Energieeffizienz verbirgt sich demnach der rationale Einsatz von Energie. Die Europäische Union definiert Energieeffizienz wie folgt:

„Energieeffizienz ist das Verhältnis von Ertrag an Leistung, Dienstleistungen, Waren oder Energie zu Energieeinsatz“¹

Nicht zu verwechseln sind die Begriffe Energiesparen und Energieeffizienz. Eine Erhöhung der Energieeffizienz kann zwar eine Einsparung an Energie beinhalten, eine alleinige Energieeinsparung hingegen, sei es durch Verzicht oder Substitution, kann im Umkehrschluss nicht mit einer gesteigerten Effizienz gleichgesetzt werden.

Deutschland hat sich verpflichtet, die Emission von Treibhausgasen, insbesondere Kohlendioxid, bezogen auf das Jahr 1990 um 21 % zu reduzieren. Im Jahr 2009 konnte das Ziel um 8 Prozentpunkte übertroffen werden, was vor allem auf die Wirtschaftskrise zurückzuführen ist. Das Bundeswirtschaftsministerium geht davon aus, dass die „kostengünstigen“ Minderungspotenziale bereits ausgeschöpft sind.² Eine weitere Reduzierung des CO₂-Ausstoßes, der vor allem auf den Energiebedarf und -verbrauch zurückzuführen ist, verlangt 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, um die Reduktion der Treibhausgase 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 Energie-

¹ [EU06]

² [BMWi10], S. 45

effizienz zu verzeichnen. Dies betrifft neben dem Einsatz verbesserter Dämmsysteme auch den Bereich der Heizungs- und Energieversorgungssysteme. Besonders hohe Einsparungen können durch die energetische Sanierung von Bestandsimmobilien erreicht werden.

Die derzeit relevanten, rechtlichen Anforderungen im Bereich Energieeffizienz sind die Europäische Gebäuderichtlinie, das Energieeinspargesetz und die darauf beruhende Energieeinsparverordnung sowie die Ökodesign-Richtlinie. Zu mehr Umwelt- und Klimaschutz führen diese rechtlichen Restriktionen höchstwahrscheinlich nicht. Vielmehr können die gesetzten Ziele durch freiwillige Maßnahmen, die Sensibilisierung aller Beteiligten und nicht zuletzt durch eine langfristige Sichtweise erreicht werden.

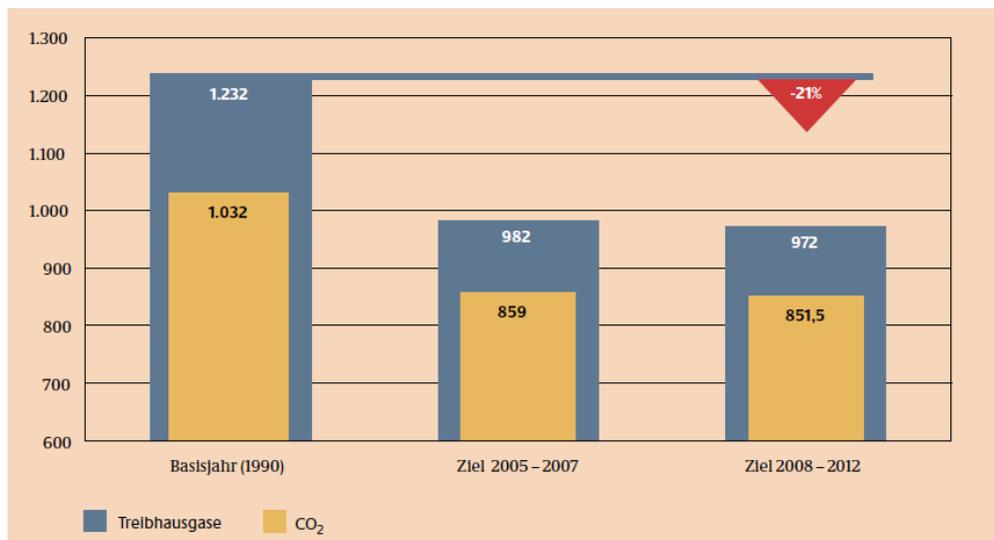


Abb. 4.1: Minderungsziele in Mio. t CO₂ für Deutschland³

Der Anteil des Baugewerbes an den bundesweiten CO₂-Emissionen lag im Jahr 2008 bei etwa 7,9 Mio. t/Jahr. Das entspricht etwa dem dreifachen Anteil der Luftverkehrsemissionen oder der Summe der Emissionen des Maschinen-, Kraftwagen- und Fahrzeugbaus.⁴

Um die Effizienz des Energieeinsatzes zu ermitteln, muss diese auf sämtlichen Ebenen eines Unternehmens 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, d. h. eine Identifizierung weiterer Energieeinsparpotenziale und die Sensibilisierung und Schulung des betreffenden Personals.

4.2 Wettbewerbsfähigkeit und Erfolg

Eine Steigerung der Energieeffizienz macht sich in jedem Unternehmen bemerkbar. Sei es durch sinkende Energiekosten, oder durch eine höhere Versorgungssicherheit. Deutschland ist in hohem Maße von Importen abhängig, der Anteil importierter Energieträger liegt der-

³ [BMWi10]

⁴ [StaBA11a]

zeit bei über 70 %.⁵ Die Zunahme der Energieträgerimporte erhöht die Abhängigkeit von Preis- und Mengenschwankungen auf dem Weltmarkt. Die Energiepreisentwicklung der letzten Jahre (siehe Abb. 4.2) verdeutlicht das Kostenrisiko umso mehr. Effizienzmaßnahmen verknüpfen ein umweltgerechtes Energiemanagement mit nachhaltigem Wirtschaften und werden zum Wettbewerbsvorteil für Unternehmen.



Abb. 4.2: Energiepreisentwicklung in Deutschland⁶

Bei einem sehr geringen Importanteil von unter 10 % weist beispielsweise die Bauwirtschaft zugleich eine hohe Arbeitsintensität auf (siehe Abb. 4.3). Zusätzliche Investitionen in Energieeffizienz tragen zur inländischen Wertschöpfung bei und leisten somit einen positiven, volkswirtschaftlichen Beitrag.⁷

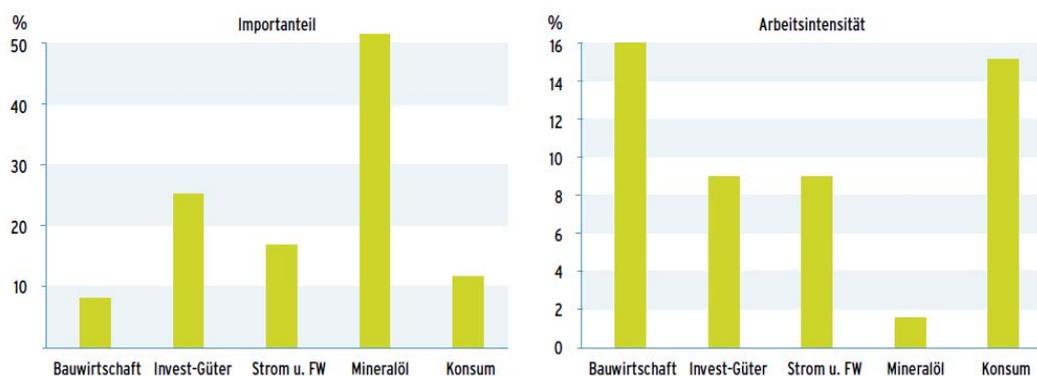


Abb. 4.3: Importanteile und Arbeitsintensitäten unterschiedlicher Wertschöpfungsketten⁸

⁵ [BMWi10], S. 15

⁶ [EANRW10]

⁷ [Peh10], S. 12

⁸ [BMU08]

4.3 Klima- und Umweltschutz

Der Energieverbrauch ist unmittelbar mit Klima- und Umweltschutzaspekten verbunden. Das wichtigste Mittel, das Klima zu schonen, ist eine effizientere Verwendung von Energie. Bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Energieträgern wird Kohlendioxid freigesetzt. Dieses Kohlendioxid trägt wesentlich zum anthropogenen Treibhauseffekt und Klimawandel bei. Eine Vielzahl wissenschaftlicher Studien belegen die Klimaänderungen, die sich vor allem in einer gestiegenen, mittleren Temperatur, einer Erhöhung des Meeresspiegels und Extremwetterereignissen widerspiegeln. 87 % der Treibhausgasemissionen sind auf Kohlendioxid zurückzuführen.⁹

4.4 Indikatoren und Bezugsgrößen

Um den Energieverbrauch und die daraus resultierende Energieeffizienz zu veranschaulichen, müssen Indikatoren und Bezugsgrößen definiert werden. Im Sektor Industrie und Gewerbe werden zumeist Leistungsgrößen wie der Bruttoproduktionswert und die Bruttowertschöpfung als Bezugsgröße für die Energieeffizienz gewählt. Im Baugewerbe erscheinen Leistungsgrößen wie Auftragssumme, umbauter Raum, Geschossfläche sinnvoll, um den Einsatz von Energieträgern zur Bauleistung ins Verhältnis zu setzen. Dabei ist die Verfügbarkeit von qualitativ und quantitativ ausreichend genauen Daten und Kennwerten ausschlaggebend.

4.5 Energieverbräuche einzelner Branchen im Vergleich

Zur Einordnung der Energieverbräuche im Baugewerbe, werden die Verbräuche einzelner Branchen nebeneinander dargestellt. Es werden die Jahre 1995 und 2008 betrachtet, um eine Entwicklung und Veränderung abschätzen zu können. Untersucht wurden unterschiedliche Produktionsbereiche von Industrie und Gewerbe sowie die privaten Haushalte. Als größte Verbraucher von Energie wurden für den hiesigen Vergleich die Produktionsbereiche Herstellung von chemischen Erzeugnissen und Herstellung von Metallen und Halbzeugen gewählt. Mit einem Anteil von zusammen etwa 10,0 % in beiden Jahren am Energieverbrauch aller Produktionsbereiche und der privaten Haushalte (nach VGR-Konzept¹⁰), werden sie nur noch von den privaten Haushalten selbst mit einem Anteil von 17,0 % übertroffen sowie der Herstellung von Kokerei- und Mineralölerzeugnissen und der Erzeugung und Verteilung von Energie, die mit jeweils ca. 25,0 % den größten Anteil an der gesamten verwendeten Energie haben. Hinzu kommt die Automobilbranche, oder genauer die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen mit 0,5 %¹¹. Diese wird als Beispiel der stationären Industrie gerne dem Baugewerbe gegenübergestellt, welches im nächsten Unterkapitel näher betrachtet wird.

Energieträger der chemischen Industrie

⁹ [UBA11]

¹⁰ Vgl. [StaBA10a], S. 10; VGR-Konzept: Einschließlich Endenergieverbrauch sowie Umwandlungseinsatz, Eigenverbrauch und nichtenergetischer Verbrauch der Umwandlungsbereiche und Bunkersaldo

¹¹ Vgl. [StaBA10a], Tabelle 3.2.2.3

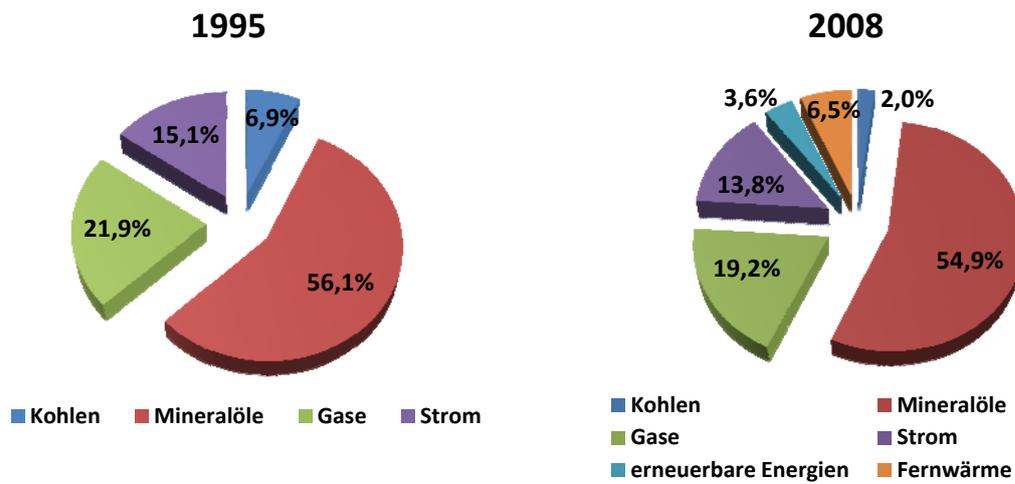


Abb. 4.4: Vergleich der Energieträgeranteile in der chemischen Industrie¹²

Energieträger der Metallindustrie

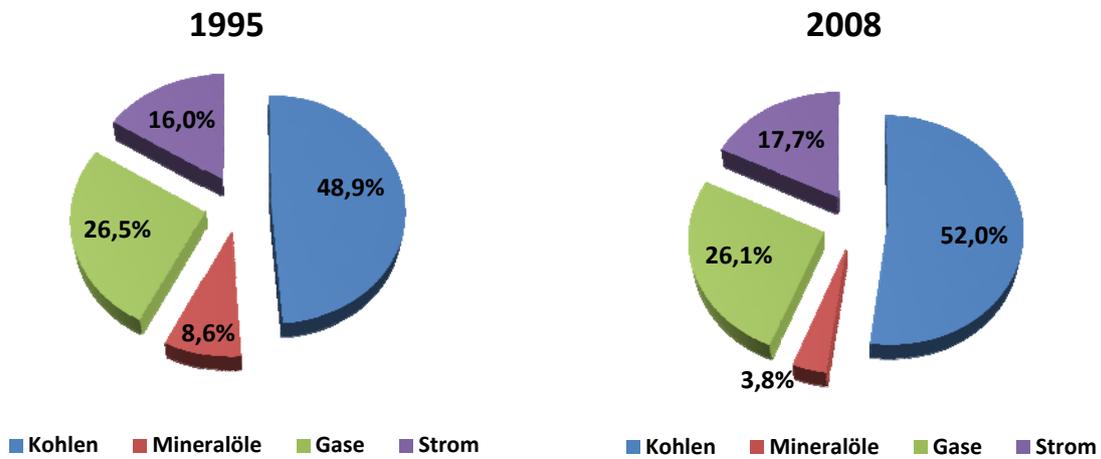


Abb. 4.5: Vergleich der Energieträgeranteile in der Metallindustrie¹³

¹² Vgl. [StaBA10a], Tabelle 3.2.3.1 u. Tabelle 3.2.3.6

¹³ ebd.

Energieträger der Automobilbranche

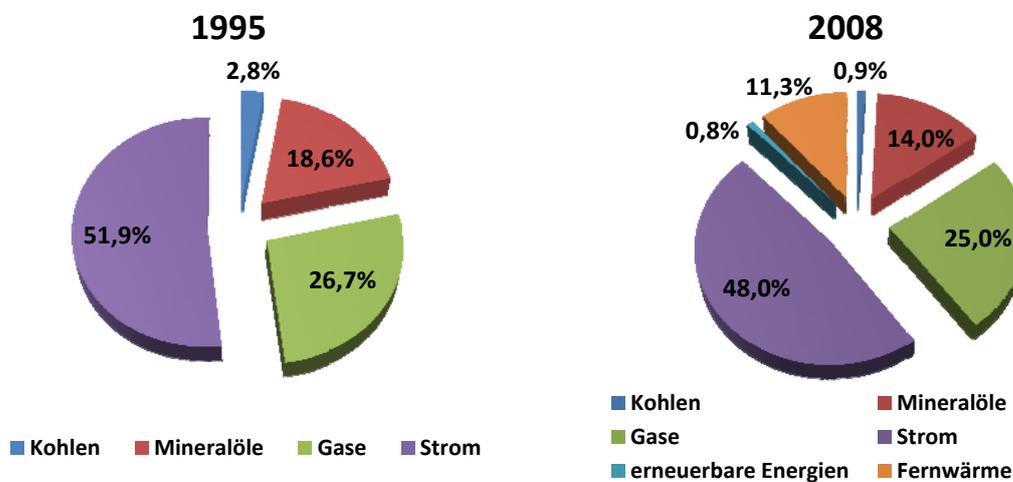


Abb. 4.6: Vergleich der Energieträgeranteile in der Automobilbranche¹⁴

Energieträger der privaten Haushalte

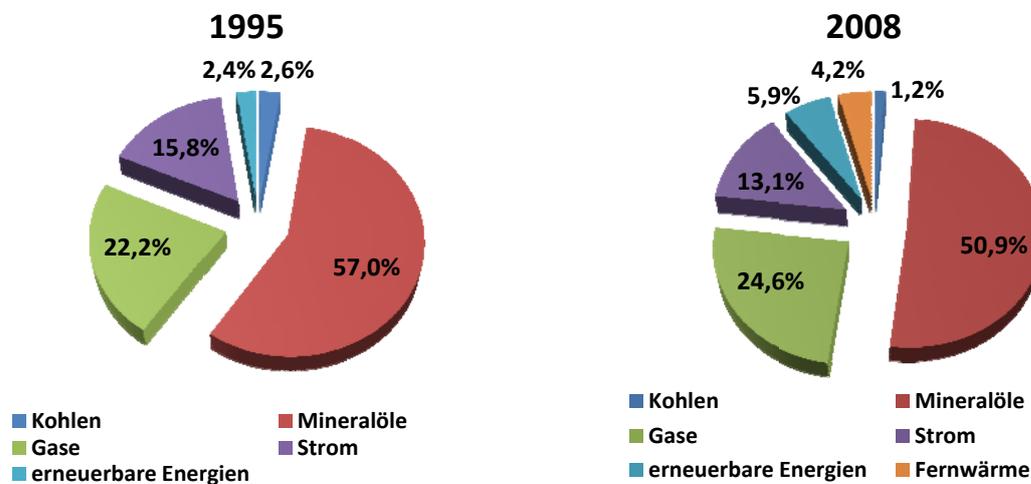


Abb. 4.7: Vergleich der Energieträgeranteile in privaten Haushalten¹⁵

Auffällig ist, dass alle Bereiche einen Hauptenergieträger haben, dessen Anteil jeweils um 50,0 % liegt. In der chemischen Industrie sowie bei den privaten Haushalten sind die Hauptenergieträger die Mineralöle. Bei den privaten Haushalten ist dies besonders durch die Heizöle und die Kraftstoffe für den motorisierten Individualverkehr bedingt. In der Metallindustrie werden vor allem Stein- und Braunkohlen benötigt. Deren Anteil ist von 1995 bis 2008 sogar noch gestiegen. In den hier gewählten Beispielen ist elektrischer Strom nur in der Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen der Energieträger Nummer Eins. Eine auf-

¹⁴ Vgl. [StaBA10a], Tabelle 3.2.3.1 u. Tabelle 3.2.3.6

¹⁵ ebd.

fällige Entwicklung ist, dass in den meisten Branchen eine Diversifikation stattgefunden hat. Erneuerbare Energien und weitere alternative Energieträger sind hinzu gekommen. Diese haben zumeist Anteile des Hauptenergieträgers übernommen. Abgesehen von der Automobilherstellung liegt der Anteil von elektrischem Strom in den verschiedenen Bereichen bei ca. 15 %.

Energieverbräuche im Baugewerbe

Da der Begriff Bauindustrie neben der Bezeichnung Baugewerbe häufig Anwendung findet, besteht die Gefahr, sie dem Sektor Industrie zuzuordnen. In der amtlichen Statistik gehört das Baugewerbe jedoch eindeutig zu dem Sektor GHD. Dessen Anteil am Endenergieverbrauch ist bis zum Jahr 2009 auf ca. 15,0 % gesunken (s. Abb. 2-4). Auch der Anteil verwendeter Energie der Produktionsbereiche und privaten Haushalte nach Definition des vorigen Abschnittes (s. VGR-Konzept, Kapitel 2.3.2) ist für den Produktionsbereich Bauarbeiten in dem Zeitraum 1995 bis 2008 von 1,3 % auf 0,9 % zurückgegangen¹⁶. Dies entspricht einem Rückgang von etwa 30,0 %. Allerdings muss diese Entwicklung vor dem Hintergrund gesehen werden, dass auch der Bruttoproduktionswert des Baugewerbes in diesem Zeitraum um 30,0 % gesunken ist. Dies sowie die nachstehenden Zahlen zeigen, dass das Baugewerbe mit seiner Bedeutung für den Energieverbrauch nicht mit den besonders energie- bzw. stromintensiven Produktionsbereichen aus der Industrie gleichgesetzt werden kann. Es hat im betrachteten Zeitraum jedoch trotz sinkender absoluter Verbrauchszahlen bezogen auf den Bruttoproduktionswert auch nicht an Energieeffizienz gewonnen.

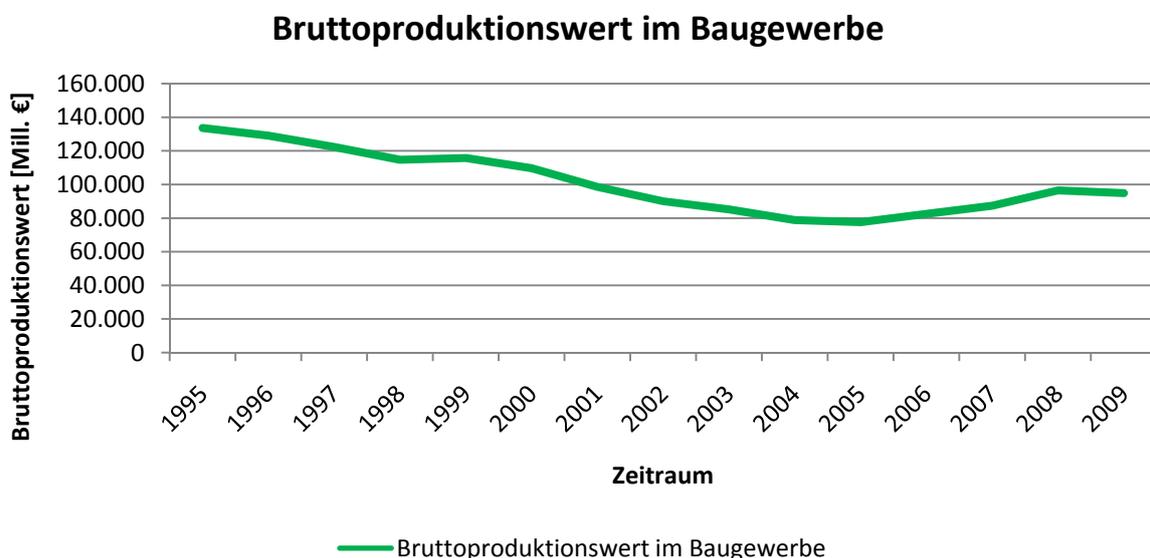


Abb. 4.8: Entwicklung des Bruttoproduktionswertes im Baugewerbe¹⁷

¹⁶ Vgl. [StaBA10a], Tabelle 3.2.2.3

¹⁷ [gen11]

Energieträger des Baugewerbes

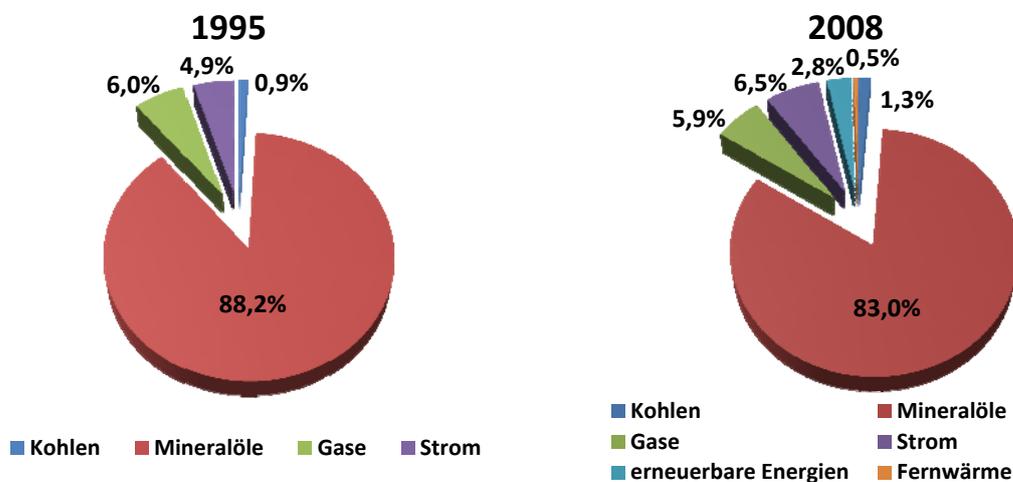


Abb. 4.9: Vergleich der Energieträgeranteile im Baugewerbe 1995 und 2008¹⁸

Die Verteilung der Energieträger im Baugewerbe zeigt ein ähnliches Bild wie in den zuvor untersuchten Bereichen. Auch hier gibt es einen Hauptenergieträger, der mit einem Anteil von über 80,0 % deutlich hervorsteht. Dies sind die Mineralöle, welche vor allem in Form von Dieselkraftstoffen, Heizöl und anderen Mineralölprodukten verwendet werden. Auch hier hat im letzten Jahrzehnt eine Diversifikation stattgefunden, die den Anteil des Hauptenergieträgers etwas abmindert. Der elektrische Strom macht nur einen verhältnismäßig kleinen Teil der verbrauchten Energie aus. Im betrachteten Zeitraum ist dieser jedoch um ein Viertel gegenüber dem Anfangswert gestiegen. Eine Steigerung des Anteils an elektrischer Energie ist unter anderem dem Anstieg an elektrisch betriebenen Informations- und Kommunikationsmitteln, wie Computern, Servern und Großrechnern, zuzuschreiben. Nach einem Forschungsbericht des Fraunhofer Institutes und der TU München zum Thema „Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006“, ergibt sich, dass zum Zeitpunkt der Befragung die Baubetriebe zu über 90,0 % mit Rechnern und entsprechendem Zubehör ausgerüstet waren¹⁹.

Der Rückgang der Menge verbrauchter Energie bei gleichzeitigem Rückgang der Bruttonerzeugungsleistung um jeweils 30,0 % von 1995 bis 2008 zeigen, dass die Energieeffizienz in den letzten Jahren im Baugewerbe keinesfalls gestiegen ist. Dazu hat der elektrische Strom als Energieträger an Bedeutung gewonnen. Die Analyse des Stromverbrauches einer Baumaßnahme mit Hilfe des EM ist also durchaus gerechtfertigt.

¹⁸ Vgl. [StaBA10a], Tabelle 3.2.3.1 u. Tabelle 3.2.3.6

¹⁹ Vgl. [EVGHD09], S. 88

4.6 Energieeffizienz und Nachhaltigkeit als Thema in Bauunternehmen

4.6.1 Rolle und Bedeutung von Energieeffizienz

Die Frage der Rolle und Bedeutung von Energieeffizienz hängt unmittelbar mit dem Energiekostenanteil im Unternehmen zusammen. Allgemein gilt: Je höher die Energiekosten sind, desto höher ist auch die Bereitschaft, sich mit Themen wie Energiesparen und Energieeffizienz auseinanderzusetzen. Ein weiteres Indiz für das Bewusstsein ist das Vorhandensein von qualifiziertem Personal, welches sich mit Energiefragen beschäftigt. Dies ist in Bauunternehmen, unabhängig von der Unternehmensgröße, selten der Fall. Die Branche weist einen vergleichsweise geringen Kenntnisstand hinsichtlich der Energiekosten auf.²⁰ Die Hemmnisstruktur ist nachwievor unverändert. Es mangelt in erster Linie an Know-how, personellen Ressourcen und finanziellem Kapital für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen.²¹ Dabei setzen Energieeinsparmaßnahmen keine oder kaum Investitionen voraus und sind vergleichsweise einfach umzusetzen. Voraussetzung für eine Energieeinsparung ist allerdings die Identifizierung und Kenntnis der relevanten Energieverbraucher im Unternehmen bzw. im Betrieb.

4.6.2 Energieproduktivität im Baugewerbe

Die Energieintensität im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) konnte im Zeitraum 1990 - 2009 bezogen auf die Zahl der Beschäftigten um 30 % gesenkt werden. Bezogen auf die Bruttowertschöpfung fiel die Energieverbrauchsreduzierung noch deutlicher aus.²² Das Baugewerbe kann mit dieser Entwicklung nicht Schritt halten. Die wirtschaftliche Entwicklung im Baugewerbe ist bis zum Jahr 2005 weitgehend rückläufig. Trotz leicht steigender Energieproduktivität seit 2002 ist eine faktische Entkopplung des Bruttoproduktionswerts vom Energieverbrauch im Bausektor nicht festzustellen (vgl. Abb. 4.10). Es fehlt der Bauindustrie bislang am Bewusstsein, dass sich der durch die sinkende Nachfrage entstandene Kostendruck mit einer steigenden Material- oder Energieproduktivität dämpfen ließe. Nach wie vor steht fatalerweise die Senkung der Personalkosten mit den bekannten Konsequenzen im Vordergrund. Eine Entkopplung des Energieverbrauchs kann nur realisiert werden, wenn die Energieeffizienzsteigerung dauerhaft höher ist, als das Wirtschaftswachstum.

²⁰ [Prognos10], S. 17

²¹ [Prognos10], S. 55

²² [BMWi10], S. 31

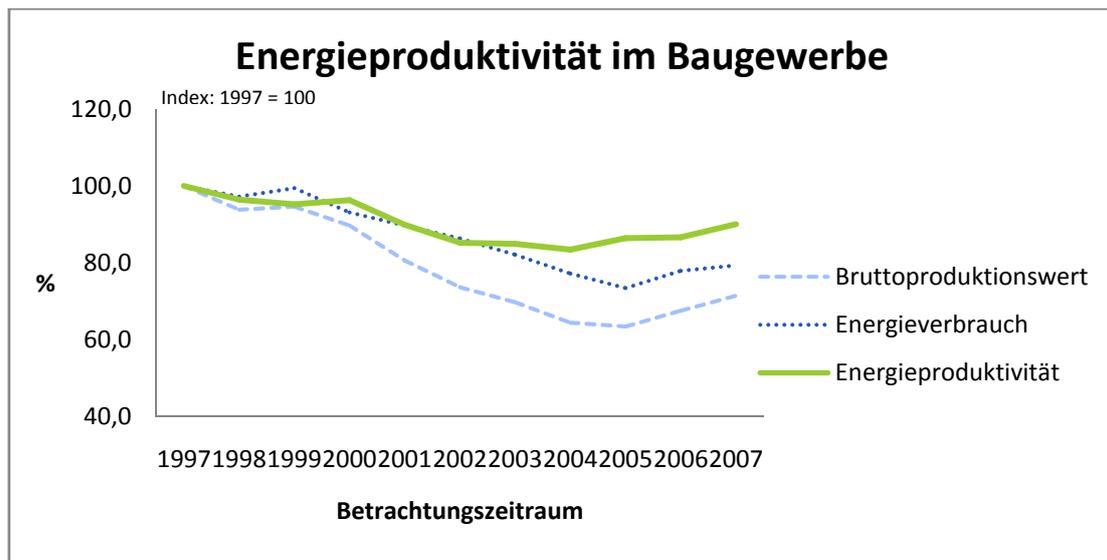


Abb. 4.10: Energieproduktivität im Baugewerbe²³

4.6.3 Defizite und Hemmnisse

Unausgeschöpfte Potenziale sind in der Bauwirtschaft keine Seltenheit. Energieeffizienz und Energieeinsparung haben vor allem in der Bauausführungsphase einen untergeordneten Stellenwert. Angesichts sich verändernder Märkte und wirtschaftlicher Krisen haben andere Maßnahmen im Kerngeschäft von Unternehmen Priorität.²⁴ Für den Baustellenbetrieb gilt es als weitgehend unmöglich, den Energiebedarf über die Bauphasen 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 Kosten für Energie 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 Energiemanagementsystems. Die Wirtschaftlichkeit einer Effizienzmaßnahme bietet scheinbar nicht genug Anreiz, Potenziale auszuschöpfen und alte Denkmuster aufzugeben. Zu den Hauptgründen für die Nicht-Ausschöpfung vorhandener Potenziale zählen, nicht nur in der Bauwirtschaft, vor allem:

- Fehlende Motivation und Information
- Finanzielle Restriktionen
- Kosten-Nutzen-Dilemma
- Fehlende personelle Ressourcen.²⁵

²³ Vgl. [StaBA10]

²⁴ [Peh10], S. 37

²⁵ Vgl. [Peh10], S. 38

Es ist demnach häufig ein nicht genutztes Potenzial mit ebenso ungenutzten CO₂-Einsparungen aufzudecken.

4.7 Nachhaltige Entwicklung in der Bauwirtschaft

Das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung, welches nun endlich auf der Tagesordnung vieler (Bau-)Unternehmen angekommen zu sein scheint, spiegelt sich in der immer beliebter werdenden Nachhaltigkeits- und Umweltberichterstattung wider. Nachhaltigkeit liegt im Trend – auch Bauunternehmen haben diesen Begriff mittlerweile für sich entdeckt. Dabei ist das Thema nicht neu, die Wahrnehmung und vor allem die Auseinandersetzung mit der Thematik erfährt jedoch eine Wiederbelebung. Aber reicht der Bau von „grünen Gebäuden“ und Windkraftanlagen aus, um als nachhaltiges Bauunternehmen zu gelten? Eine kurzfristige Sichtweise, die Lebenszyklusaspekte ausklammert, kann nicht zielführend sein. Um den Strukturwandel in Richtung Ressourcen sparende, nachhaltige Wirtschaftsweise in Gang zu bringen, ist eine deutliche Reduzierung der Energie- und Stoffströme, sowohl von Seite der Produzenten, als auch der Konsumenten unumgänglich. Der soziale, technologische und wirtschaftliche Wandel zwingt den Bausektor, sich auf die neuen Ansprüche, wie zum Beispiel Green-Building-Zertifikate, einzustellen und Produkte und Geschäftsfelder dementsprechend anzupassen. Konnte sich der Sektor bis vor wenigen Jahren noch auf wirtschaftlich gesicherte Absatzmärkte verlassen, so ist er heutzutage mit einer ganz neuen Wettbewerbssituation konfrontiert.

In einigen großen Bauunternehmen wird die Thematik in Nachhaltigkeits- und Umweltberichten aufgegriffen. Allerdings gelingt es bislang nicht, konkrete Daten zum Energie- und Ressourcenverbrauch sowie zum CO₂-Ausstoß im Baubetrieb zu erfassen und darzulegen. Vielmehr bleibt der Klimaschutz auf das Bauen von nachhaltigen Gebäuden, die energetische Gebäudesanierung und die Reduzierung der CO₂-Emissionen der unternehmensinternen Fahrzeugflotte beschränkt.²⁶ So ist es inkonsequent, energieeffiziente Gebäude zu planen und zu bauen und dabei die Einsparpotenziale in den vorgelagerten Prozessstufen auszublenken, zumal die größte Einflussmöglichkeit hinsichtlich des Energieverbrauches und damit einhergehenden Klimaschutzes allein beim Nutzer liegt. Nachhaltiges Bauen wird vielfach auf eine verbesserte Dämmung von Gebäuden und die technischen Lösungsmöglichkeiten zur Energieeinsparung reduziert. Es werden damit jedoch lediglich bauliche Voraussetzungen geschaffen, Heizenergie in der Nutzungsphase einzusparen. Die tatsächlichen Betriebs- und Folgekosten der „grünen Bauweise“ bleiben meist im Dunkeln. Gesellschaftliche Veränderungen, zunehmender Wohlstand und höhere Wohnansprüche sorgen zudem für einen stetig steigenden Pro-Kopf-Wohnflächenverbrauch, der die Heizenergieeinsparungen in der Nutzungsphase teilweise wieder aufhebt.²⁷

²⁶ Vgl. [HT09]

²⁷ [JCS05], S. 108 ff

5 Energienutzung im Erd-, Tief- und Deponiebau

Bearbeitet von M. Sc. Carsten Broichhaus, Dipl.-Ing. Selcuk Nisancioglu, Dipl.-Ing. (FH) Anne Christine Randel und Dipl.-Ing. Kevin Ries

Alle bisherigen Betrachtungen und Untersuchungen hinsichtlich Energieeffizienz im Bausektor beziehen sich auf die längste Lebenszyklusphase von Bauwerken – die Nutzungsphase. Die Erstellung eines Bauwerks und damit der Bauprozess selbst ist bisher weitgehend unerforscht. Dies betrifft die gesamte Bandbreite von Bauprozessen für jegliche Art von Bauleistungen, was eine Untersuchung möglicher Energieeinsparpotenziale und Effizienzsteigerungen in diesen Bereichen längst überfällig macht. Im Bauprozess werden insbesondere durch maschinenintensive Leistungen große Mengen an Energie verbraucht. Um den Bauprozess hinsichtlich seiner Energieeinsparpotenziale zu untersuchen, wird das Augenmerk zunächst auf die Prozesse des Erd-, Tief- und Deponiebaus gelegt um Optimierungspotenziale aufzuzeigen. Um einen ganzheitlichen Überblick zu erhalten wurden eine kleine Baumaßnahme eines kleinen Bauunternehmens, eine mittelgroße Maßnahme eines mittelständischen Unternehmens und schließlich eine große Erdbaumaßnahme eines großen Unternehmens untersucht.

5.1 Grundlagen des Erd-, Tief- und Deponiebaus

Erdbauleistungen umfassen im Allgemeinen das Lösen und Laden oder das Verteilen, Einbauen und Verdichten von Böden, Fels oder anderen Baustoffen wie beispielsweise Schotter, Kies oder Recycling-Material zur Modellierung des Geländes oder zum Erstellen von Bauwerken im Bereich des gewachsenen Bodens. Diese Leistungen oder Teile davon treten in irgendeiner Form bei fast allen Baumaßnahmen auf. Im Folgenden sind einige Beispiele für Erdbauleistungen aufgelistet:

- Aushub von Baugruben zur Bauwerksgründung oder von Gräben für den Kanal- und Rohrleitungsbau
- Baufeldfreimachung oder flächiger Bodenabtrag bzw. -auftrag für spätere Bauwerkserstellung
- Erstellen von Dämmen, An- oder Einschnitten durch Abtrag bzw. Auftrag im Verkehrswegebau
- Einbau von Böden zur Deponiebasis- oder Oberflächenabdichtung

Allen Erdbauleistungen gemein ist ein hoher Maschineneinsatz, da das Bewegen großer Erdmassen oder erdähnlicher Baustoffe nur durch diesen wirtschaftlich zu realisieren ist. Der Einsatz großer Erdbaugeräte muss sorgfältig geplant und bei Bedarf optimiert werden, um einen möglichst hohen Ausnutzungsgrad der Maschinen zu erreichen. Dadurch kann zum wirtschaftlichen Erfolg einer Maßnahme beigetragen werden.¹

Der Deponiebau ist ein gesonderter Bereich des Erdbaus. Hierbei kommen viele unterschiedliche Erdbauleistungen zum Tragen. Außerdem hat hier das Erstellen von Abdichtungssystemen

¹ Vgl. [WIT09] S. 1

men einen hohen Stellenwert. Es kann sich um die Abdichtung der Deponiebasis (bei Neuerichtung einer Deponie) oder um die Abdichtung der Oberfläche (zur Versiegelung einer Deponie) handeln.

5.1.1 Baumaschinen im Erd-, Tief- und Deponiebau

Zunächst werden einige Erdbaugeräte vorgestellt, um ihre grundlegenden Eigenschaften aufzuzeigen und einen Überblick über die Vielzahl von Baugrößen und Einsatzmöglichkeiten zu verschaffen. Weiterhin werden Aspekte vorgestellt, die die Leistung der Maschinen beeinflussen können. Die erbrachte Leistung einer Baumaschine bildet in Verbindung mit dem korrespondierenden Kraftstoffverbrauch einen Grad der Energieeffizienz.

Hydraulikbagger

Der Hydraulikbagger ist das universell einsetzbare Erdbaugerät, welches sich gleichermaßen zum Lösen, Laden, Verteilen und Profilieren eignet. Durch den Anbau von Vibrationsplatten kann der Hydraulikbagger auch für die Verdichtung kleiner Flächen eingesetzt werden. Weiterhin werden Hydraulikbagger als Universalhebezeuge auf Baustellen eingesetzt und können als Trägergerät für Bohr- oder Rammgeräte dienen. Hydraulikbagger können abhängig vom Einsatzgebiet stark unterschiedliche Baugrößen haben. Diese reichen von Minibaggern mit 2,0 t Einsatzgewicht und 5,0 kW Leistung² 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.³

Im Erd- und Deponiebau kommen in der Regel Hydraulikbagger mit Einsatzgewichten zwischen 20 t und 60 t zum Einsatz. Kleinere Maschinen werden z. B. im Straßen oder Rohrleitungsbau für Baggerarbeiten mit geringen Massenbewegungen eingesetzt. Das Fahrwerk der Bagger wird als Rad- (Mobilbagger) oder Kettenfahrwerk (Raupenbagger), selten auch als Schreitwerk ausgebildet. Die Vorteile des Mobilbaggers mit Radfahrwerk liegen in der erhöhten Beweglichkeit des Baggers. Es ist ein schneller Wechsel des Einsatzortes durch eine höhere Fahrgeschwindigkeit (bis 25 km/h⁴) möglich. Diese Bagger werden überwiegend für den Kanal- und Straßenbau eingesetzt. Im Erdbau wirken sich die schlechte Standsicherheit sowie die schlechte Steigfähigkeit (vor allem auf nassem Untergrund) negativ aus. Hier spielen Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerken ihre Stärken aus. Das Fahrwerk ist deutlich robuster, steigfähiger und standsicherer und eignet sich daher auch zum Befahren von schwerem Gelände.

Eine ganze Reihe verschiedener Anbaugeräte und Werkzeuge ermöglichen einen sehr vielseitigen Einsatz von Hydraulikbaggern. Für reine Baggerarbeiten werden verschiedene Arten von Schaufeln und Greifern eingesetzt.

Die Leistung eines Hydraulikbaggers wird im Baubetrieb durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Hierbei ist vor allen Dingen die Planung und logistische Abstimmung des Geräteeinsatzes zu nennen. Da in der Regel Gerätegruppen zum Lösen, Laden, Transportieren, Einbauen und Verdichten eingesetzt werden, müssen die beteiligten Geräte leistungsmäßig aufeinander abgestimmt werden. Neben der genauen Planung und Abstimmung spielen

² Vgl. [GAR09] S. 50

³ [BUY11] S. 1

⁴ Vgl. [HOF06] S. 609

auch die Eigenschaften des Bodens eine wichtige Rolle. Hier ist zunächst der zum Lösen erforderliche Aufwand zu nennen, welcher nach DIN 18300 der VOB Teil C sieben Bodenklassen definiert:

- Bodenklasse 1: Oberboden
- Bodenklasse 2: Fließende Bodenarten
- Bodenklasse 3: Leicht lösbare Bodenarten
- Bodenklasse 4: Mittelschwer lösbare Bodenarten
- Bodenklasse 5: Schwer lösbare Bodenarten
- Bodenklasse 6: Leicht lösbarer Fels und vergleichbare Bodenarten
- Bodenklasse 7: Schwer lösbarer Fels

Abhängig von den zu lösenden Bodenarten muss ein passendes Grabgefäß ausgewählt werden. Weiterhin spielt die Zeitspanne, die der Bagger zum Beladen des Transportfahrzeugs benötigt, eine entscheidende Rolle. Die Ladezeit wiederum hängt von der Schnitthöhe oder -tiefe, dem Schwenkwinkel, dem Verhältnis zwischen Löffelinhalt und Transportmulde sowie der Stellung des Transportgeräts zum Bagger ab. Wird die Schnitthöhe oder -tiefe zu groß, so kann die Grabkraft des Baggers nicht optimal ausgenutzt werden. Daher sollten Hydraulikbagger möglichst nur drei Viertel der maximal möglichen Stellung des Grabgefäßes ausnutzen. Der Schwenkwinkel des Baggers sollte selbstverständlich immer möglichst klein gehalten werden, um die Ladezeit zu verkürzen. Dabei resultiert aus einer Halbierung des Schwenkwinkels von 90° auf 45° eine um etwa 10 % kürzere Ladezeit. Das Verhältnis von Löffelinhalt zum Inhalt der Transportmulde sollte für einen wirtschaftlichen Ladebetrieb bei 1:5 bis 1:7 liegen.

Zuletzt spielt der Maschinenbediener eine Rolle. Während bei guten Fahrern 100 % Leistung möglich ist, erreichen weniger geübte Bediener lediglich 70 %. Kommen schlechte Randbedingungen und geringes Können des Fahrers zusammen, kann der Wirkungsgrad einer Baustelle sogar auf die Hälfte der theoretischen Leistung absinken.⁵

Planiertrauben

Planiertrauben gehören zu den Flachbaggern. Sie werden zum Lösen, Transportieren und Einbauen von Böden eingesetzt. Dabei sind sie insbesondere für große Auf- und Abtragsflächen geeignet. Beim Bodentransport gelten Entfernungen bis etwa 50 m als wirtschaftlich.⁶ Für größere Transportentfernungen sollten Zwischentransporte mit Radfahrwerk durchgeführt werden, wobei zu beachten ist, dass in dem Fall noch weitere Geräte eingesetzt werden müssen.

Die Baugrößen von Planiertrauben liegen zwischen 7 und 100 Tonnen. Dabei werden in der Regel nur die Geräte bis 50 Tonnen im Straßen- und Erdbau eingesetzt. Abhängig von den Einsatzbedingungen und der Gerätegröße können unterschiedliche Schilde sinnvoll eingesetzt werden. Zur Bewegung großer Massen sind Schilde mit hoher Kapazität erforderlich. Für den Planiereinsatz ist weniger die Schildkapazität, sondern vielmehr die Schildbreite

⁵ Vgl. [GAR09] S. 55

⁶ Vgl. [KÖN08] S. 132

maßgebend. Neben einigen Misch- und Sonderformen werden im Wesentlichen drei unterschiedliche Schildtypen unterschieden:

- S-Schild: Dieses Schild ist für das Abschieben vor Kopf geeignet. Die Schildenden sind schmal nach vorne abgewinkelt oder besitzen Seitenbleche. Dadurch wird die Schildkapazität vergrößert.
- U-Schild: Durch die breit nach vorne abgewinkelten Schildflügel handelt es sich um die Schildform mit der größten Kapazität. Sie kommen vor allem bei Großgeräten zum Einsatz, wenn Schüttgüter und lose Böden bewegt werden müssen.
- A-Schild: Das A-Schild ist durch seine geringe Höhe bei großer Breite vor allem zum Planieren geeignet. Es ist ebenfalls zum seitlichen abschieben zweckmäßig, da die Schildenden nicht abgewinkelt sind.⁷

Neben den verschiedenen Schilden an der Front sind auch am Heck unterschiedliche Anbauteile möglich. Hierzu zählen zunächst die Heckaufreißer, welche mit einem oder mehreren Zähnen ausgestattet sein können. Außerdem können Seilwinden als Anbauteile genutzt werden.

Weiterhin ist es möglich, Planiertrauen mit Maschinensteuerungssystemen auszustatten, welche eine Effizienzsteigerung im Einsatz ermöglichen. In der Regel werden zur Maschinensteuerung dreidimensionale Systeme mit GPS- oder Totalstation-Unterstützung eingesetzt. Auf Grundlage eines digitalen Geländemodells (DGM) werden dem Fahrer alle wichtigen Daten auf einem Display im Fahrerhaus angezeigt. Da der Maschinenstandort laufend erfasst wird, können über einen Soll-Ist Abgleich mit dem DGM die jeweiligen Auf- bzw. Abtragsdaten ermittelt werden. Abweichungen können entweder manuell oder mit Hilfe automatischer Schildsteuerung ausgeglichen werden. Mit Totalstation-Unterstützung wird eine Genauigkeit von ± 3 bis 5 mm erreicht. Mittels GPS ist eine Exaktheit von ± 20 bis 30 mm möglich.⁸

Wie bei den Hydraulikbaggern wird die Leistung der Planiertrauen durch die Klasse des anstehenden Bodens beeinflusst. Zudem spielt die Fahrgeschwindigkeit des Kettendozers eine Rolle. Dies gilt sowohl für die Schubgeschwindigkeit, als auch für die Rückfahrgeschwindigkeit oder den Richtungswechsel. Außerdem nehmen der Bedienfaktor, Pausenzeiten, die Witterungseinflüsse und das Gefälle des Geländes Einfluss auf die erreichbare Leistung des Gerätes.

Verdichtungsgeräte

Zur Verdichtung steht eine Vielzahl verschiedener Geräte zur Verfügung. Es sind handgeführte Vibrationsplatten, Stämpfer, verschiedene Arten von Walzen, Tiefenrüttler usw. erhältlich. Die folgende Betrachtung für den Erdbau beschränkt sich auf Walzenzüge.

⁷ Vgl. [HOF06] S. 624

⁸ Vgl. [KÖN08] S. 161

Walzenzüge

Während die bisher vorgestellten Geräte verschiedene Erdbauleistungen erbringen können, sind Walzenzüge nur für das Verdichten von Böden geeignet. Die Verdichtung wird entweder statisch durch das Eigengewicht des Gerätes oder dynamisch durch zusätzliche Vibration erreicht. Die Vibration wird mit Hilfe einer exzentrisch angebrachten Masse in der Bandage erzeugt. In der Regel sind mehrere Frequenzen einstellbar, um den Anforderungen der verschiedenen Gegebenheiten Rechnung zu tragen. Die Baugrößen von Erdbauwalzen liegen bei 3-25 t, wobei die Motorleistung zwischen 33 kW und 150 kW liegt.

Bei Walzenzügen spielt neben Faktoren wie der Fähigkeit des Bedieners, der Fahrgeschwindigkeit oder der Topographie die Art des Bodens die maßgebliche Rolle für die erreichbare Leistung. Von der Bodenart hängen die möglichen Einbaustärken der einzelnen Lagen sowie die Anzahl der Übergänge ab.

Transportgeräte

Die Einrichtung einer Baustelle sowie der Erdbau selbst erfordern in der Regel eine umfangreiche logistische Planung, um ein Projekt wirtschaftlich und energieeffizient abzuwickeln. Neben der An- bzw. Ablieferung von Baustoffen sind häufig auch Baustellentransporte erforderlich. Bei geringen Transportentfernungen werden diese mit Raupen oder anderen Geräten durchgeführt. Für größere Transportentfernungen ist es sinnvoll Lastkraftwagen (LKW) oder Schwerlastkraftwagen (SKW) einzusetzen.

Lastkraftwagen (LKW)

LKW sind dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Straßenzulassung besitzen und daher sowohl zur An- und Ablieferung von Baustoffen über öffentliche Straßen als auch für Baustellentransporte eingesetzt werden können. Es ist zu beachten, dass bei Schüttgütern, wie sie im Baubetrieb üblich sind, das maximale Transportvolumen des LKW häufig nicht ausgenutzt werden kann. Aufgrund der Dichte der Baustoffe (z. B. Bodenaushub mit $1,7 \text{ t/m}^3$) ist das Gewicht der Ladung hier der limitierende Faktor. Ein Sattelzug mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 40 t kann demnach nur mit etwa 16 m^3 Material beladen werden.

Schwerlastkraftwagen (SKW)

Schwerlastkraftwagen sind aufgrund ihrer Überbreite und des hohen Gesamtgewichts nicht für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassen. Es sind zwei Bauweisen zu unterscheiden, die knickgelenkten SKW und die achsgelenkten SKW. Knickgelenkte SKW besitzen ein Dreh- und Kippgelenk zwischen Vorder- und Hinterwagen. Somit kann sich das Fahrwerk sehr gut an das Gelände anpassen und hält ständigen Bodenkontakt. Sie zeichnen sich daher durch sehr gute Geländegängigkeit aus.

Kraftstoffverbrauch und CO₂-Ausstoß von Baumaschinen

Baumaschinen werden im Allgemeinen mit Dieselmotoren betrieben. Der Verbrauch schwankt dabei in Abhängigkeit der Einsatzbedingungen sehr stark und kann in der Regel nicht ohne weiteres angegeben werden. In der Praxis hat sich das Abschätzen des Verbrauchs über die Motorleistung durchgesetzt. Die so ermittelten Werte werden in der Kalkulation berücksichtigt. Die folgende Tabelle liefert einen Überblick für den Kraftstoffverbrauch der bisher vorgestellten Baumaschinen. Der Verbrauch an Schmierstoffen ist zusätzlich als Prozentsatz der Kraftstoffkosten angegeben.

Gerätetyp	Kraftstoffverbrauch [l/kWh]	Schmierstoffe
Bagger	0,15 – 0,18	10 – 12 %
Raupen	0,15 – 0,18	10 – 12 %
Walzen	0,15 – 0,18	10 – 12 %
LKW/SKW	0,12 – 0,14 (Straße) 0,16 – 0,19 (Baustelle)	10 – 12 %

Abb. 5.1: Kraftstoff- und Schmierstoffverbrauch von Baumaschinen⁹

Dabei ist zu beachten, dass diese Werte auf eine hohe Auslastung des Gerätes bezogen sind. In der Praxis wird der angegebene Verbrauch in der Regel durch den Kalkulator abgemindert, indem er die Auslastung des Gerätes abschätzt. Nach Expertenmeinung kann der Verbrauch einer Baumaschine mit 0,1 l/kWh abgeschätzt werden.¹⁰

5.2 Energieverbrauchsanalyse Referenzprojekt Deponiebau

Um die Prozesse des Erd- bzw. Deponiebaus praxisnah zu erfassen, wird im Folgenden eine Deponiebaumaßnahme untersucht. Bei der Baumaßnahme wird im Altteil der Deponie, in dem die Ablagerungsphase bereits abgeschlossen ist, eine Oberflächenabdichtung zur Versiegelung hergestellt. Zum Anderen 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. Die wesentlichen Bestandteile der Altteilabdichtung bilden die nachfolgend aufgeführten Leistungen:¹¹

- 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).
- Liefern und Einbau des Abdichtungssystems, dass 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.

⁹ Vgl. [HOF06] S. 606

¹⁰ [KOE11]

¹¹ Vgl. [DÜL10]

- Einbau einer Rekultivierungsschicht mit anschließender Raseneinsaat als abschließende Schicht des Deponiekörpers.
- Außerdem gehören das Erstellen von Rohrleitungssystemen zur Gas- bzw. Wasserdrainage, Randmulden und Sohlschalen sowie die Fertigstellung von Betriebswegen zum Leistungsumfang.
- Weiterhin wird ein Regenrückhaltebecken zur kontrollierten Abgabe der Oberflächenentwässerung in den Vorfluter gebaut. Da dieser Bereich zum Zeitpunkt der Untersuchungen bereits vollständig abgeschlossen ist, wird er im Rahmen der Arbeit nicht weiter betrachtet.



Abb.5.2: Übersicht der Baufelder Deponie¹²

Der Bereich der Basisabdichtung weist eine etwa rechteckige Grundform auf und hat eine Fläche von ca. 35.000 m². Die wesentlichen Bestandteile der Erstellung des Neuteils der Deponie sind im Folgenden aufgeführt:¹³

- Bau eines Randdamms der die neue Ablagerungsstätte umschließt. Er wird im Wesentlichen aus dem Material gebaut, dass in der Fläche abgetragen wird.
- Verlegung von Rohrleitungen und Schächten zur Entwässerung im Bereich des Randdamms.
- 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 Schutzvlies auf dem Abdichtungssystem und Aufbringen einer Flächendrainage.

¹² Darstellung: Google Maps

¹³ Vgl. [DBV10]

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

5.2.1 Übersicht der eingesetzten Baugeräte

Zur Ausführung der angeführten Leistungen werden Hydraulikbagger, Planierraupen, Walzen, LKW und einige andere Geräte eingesetzt. Insgesamt kommen auf der Baustelle 6 Hydraulikbagger in Baugrößen zwischen 19 t und 35 t zum Einsatz. Es handelt sich ausschließlich um Bagger mit Raupenfahrwerken, wobei ein Langarmbagger vorhanden ist. Während des Beobachtungszeitraums sind insgesamt 4 Planierraupen im Einsatz. Die Anzahl der eingesetzten Transportgeräte variiert in Abhängigkeit der Erfordernisse auf der Baustelle tageweise. In der Regel sind mindestens zwei und maximal fünf Transportgeräte im Einsatz. Die Fahrzeuge sind in Ihren Eigenschaften nicht direkt den LKW oder SKW zuzuordnen. Es sind 3-Achser mit außerordentlich hohem Transportvolumen, die ausschließlich für Baustellentransporte zugelassen sind. Für Überführungsfahrten ist die Straßenzulassung jedoch erhältlich. Auf der Baustelle werden zwei verschiedene Walzen eingesetzt. Dabei handelt es sich jeweils um Erdbauwalzen.

5.2.2 Methodik der Kraftstoffverbrauchsmessungen

Die Baustelle wird regelmäßig jeden zweiten Tag mit Dieselmotorkraftstoff versorgt. Der Tankwagen betankt 2 Vorratsbehälter und die für das Tankfahrzeug zugänglichen Baumaschinen. Das Fass ist mit einem digitalen Zählwerk ausgestattet. Ein weiteres Tankfass (im Folgenden Fass 1 genannt) ist im Bereich der Baustelleneinrichtung für AG und AN im Zufahrtsbereich der Baustelle aufgestellt. Es wird genutzt, um die übrigen Geräte je nach Bedarf mit Kraftstoff zu versorgen. Dieses Fass besitzt kein Zählwerk. Eine genaue Dokumentation des Verbrauchs ebenfalls kann hier jedoch über die angegebene Pumpleistung von 55 l/min erfolgen. Die Erfassung des gesamten Dieserverbrauchs der Maßnahme kann über die Auswertung der Lieferscheine bzw. Rechnungen erfolgen. Aufgrund der beschriebenen Randbedingungen ist die Zuordnung zu einzelnen Geräten hingegen komplexer und kann nur mit Hilfe einer Dokumentation der Tankmengen einzelner Geräte durchgeführt werden. Schwieriger ist die Zuordnung des Verbrauchs zu einzelnen Positionen. Dies kann im Allgemeinen nur dann erfolgen, wenn die beteiligten Geräte über einen Zeitraum von mindestens einem Tankintervall an dieser einen Position arbeiten.

Zur Messung des Verbrauchs in der Praxis wird die Betankung der Geräte über einen Zeitraum von etwa 6 Wochen dokumentiert. Auf dieser Grundlage kann die Detaillierung und Zuordnung der Verbräuche erfolgen. Da die Messungen für verschiedene Geräte unterschiedliche Besonderheiten aufweisen, werden diese nachfolgend kurz erläutert.

5.2.3 Ergebnisse der Prozessanalyse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Prozessanalyse zusammenfassend dargestellt. Außerdem wird der CO₂-Ausstoß der Baumaßnahme für die betrachteten Positionen ausgewertet.

5.2.4 Ergebnisse der Kalkulationsanalyse

Durch die Analyse der Kalkulation und den Abgleich mit den Beobachtungen auf der Baustelle wird festgestellt, dass häufig andere Gerätegrößen oder Gerätearten auf den Baustellen zum Einsatz kommen als ursprünglich laut Kalkulation vorgesehen. Dadurch entstehen vielfach Abweichungen, welche Leistung und Kraftstoffverbrauch beeinflussen. Mit steigender Anzahl der Geräte einer Gerätegruppe werden die Einflüsse zunehmend komplexer.

Weiterhin fällt auf, dass die Gerätegröße für verschiedene Leistungen selten variiert wird. So hat der Kalkulator z. B. bei der Kalkulation des Auftrags zur OFA durchweg mit einer Baugröße der Planierraupe (175 kW) für alle den Raupeneinsatz betreffenden Leistungen gerechnet. Für den Einbau der Rekultivierungsschicht darf jedoch nur eine Planierraupe mit einem Einsatzgewicht von bis zu 10,0 t (68 kW) eingesetzt werden. Wird dies in der Kalkulation berücksichtigt und eine kleinere Baugröße angesetzt, so ergeben sich geringere Gerätekosten, die die Angebotssumme schmälern können.

5.2.5 Zusammenfassung der Kraftstoffverbrauchskennwerte

Die in der Kalkulation gewählten Ansätze werden auf Grundlage der Motorleistung bestimmt. Dabei wird der Kraftstoffbedarf mit einem abgeschätzten Faktor abgemindert. Die daraus entstehenden Verbrauchskennwerte liegen für die Bagger, Planierraupen und Walzen in der Regel bei 0,11-0,12 l/kWh. Stellenweise treten auch geringere Werte auf. Hierzu zählen der Wert für die Hilfestellung des Baggers für das Verlegen der Geokunststoffe (0,08 l/kWh) sowie der geschätzte Verbrauch der Planierraupe im Bereich der Basisabdichtung (0,09 l/kWh). Der Verbrauch der LKW sticht mit einem Wert von 0,14 l/kWh als höchster Ansatz besonders hervor.

In der Praxis schwanken die Werte zwischen 0,02 l/kWh und 0,19 l/kWh. Interessant ist hierbei, dass der Verbrauch der LKW in der Praxis den günstigsten Verbrauchskennwert liefert. Des Weiteren ergibt sich für die Cat D6R mit 149 kW Motorleistung der höchste Verbrauchskennwert zu 0,19 l/kWh. Die Abschätzung der Verbrauchskennwerte weicht teilweise extrem von den Werten aus der Praxis ab. Insbesondere bei den LKW lässt sich durch den Ansatz der ermittelten Werte eine höhere Kalkulationssicherheit erzielen. Vorausgesetzt, dass andere Bauunternehmen ähnlich kalkulieren, kann sogar ein Wettbewerbsvorteil bei der Vergabe erreicht werden.

Die ermittelten Verbrauchskennwerte werden in der folgenden Abbildung zusammenfassend aufgeführt. Dabei werden auch die Verbrauchskennwerte, der nicht in der Prozessanalyse vorkommenden Geräte (Cat 320CL und Cat D6M LGP) angegeben.

Gerät	V_h [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	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. 5.3: Verbrauchskennwerte der eingesetzten Hydraulikbagger und LKW

Anhand der Kennwerte in l/kWh sind die gemessenen Daten vergleichbar. Es fällt auf, dass der Verbrauch der Bagger CAT 320 Cl und Terex 225LC am höchsten ausfällt. Besonders sparsam sind die Bagger Kobellko SK200 sowie New Holland E245B. Die beiden übrigen Geräte JCB JS200 und Hitachi ZX350LCN bilden das Mittelfeld. Tendenziell zeichnet sich hier ab, dass es zwischen den verschiedenen Herstellern von Baugeräten große Unterschiede hinsichtlich des Verbrauchs gibt.

Für die LKW werden keine gravierenden Schwankungen des Verbrauchs der drei betrachteten Fahrzeuge festgestellt. Der Kraftstoffbedarf ist niedrig.



Abb.5.4: Laden und Einbau des Rekubodens

Gerät	V_h [l/h]	V_{kWh} [l/kWh]	Tätigkeit
Planiererraupen			
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. 5.5: Verbrauchskennwerte der eingesetzten Planiererraupen und Erdbauwalzen

Die Abbildung 5.5 zeigt die Kennwerte der eingesetzten Planiererraupen und Erdbauwalzen. Auch bei den Planiererraupen treten, obwohl die Geräte alle von einem Hersteller stammen, massive Unterschiede in den Verbrauchskennwerten auf. Dies ist den unterschiedlichen Baugrößen sowie der unterschiedlichen Auslastung der Maschinen geschuldet. Insbesondere in Bezug auf die Cat D6R LGP wäre der Vergleich des Verbrauchs zu ähnlichen Produkten anderer Hersteller interessant, da hier der Verbrauchskennwert mit 0,19 l/kWh verhältnismäßig hoch ausfällt.

Für die beiden Erdbauwalzen liegen die Kennwerte auf einem ähnlichen Niveau. Es handelt sich, abgesehen von den Bandagen, um die gleichen Maschinen. Der Einfluss der Bandage auf den Kraftstoffverbrauch ist offensichtlich gering.



Abb. 5.6: Ablassen einer GTD-Rolle, Einbau der Gasdrän- bzw. Auflagerschicht

5.2.6 Zusammenfassung der Leistungskennwerte

In Bezug auf die angesetzten Leistungskennwerte ist zu sagen, dass sie häufig von den kalkulierten Ansätzen abweichen. Dabei liegt der kalkulierte Leistungsansatz meistens unterhalb der auf der Baustelle erreichten Leistung. Dies ist insofern positiv zu bewerten, als das die Unterschätzung der Leistung in wirtschaftlicher Hinsicht auf der sicheren Seite liegt. Wird der Leistungsansatz hingegen unterschätzt, kann dies negative Auswirkungen auf den wirtschaftlichen Erfolg des Projekts haben.

Es ist allerdings zu beachten, dass die mit Hilfe der Prozessbeobachtungen ermittelten Leistungskennwerte eine Momentaufnahme darstellen, während die Maschinen durchweg an der Wertschöpfung beteiligt sind. Hierbei fehlen ablaufbedingte Stillstandszeiten, die bspw. zum Wechsel zwischen zwei Leistungen, für Abstimmung mit der örtlichen Bauleitung oder zum Tanken benötigt werden.

Im Hinblick auf den Kraftstoffverbrauch gilt, dass die Überschätzung der Kosten hier auf der sicheren Seite liegt. Liegt der kalkulierte Verbrauchskennwert unterhalb des tatsächlichen Verbrauchs kann auch dadurch der wirtschaftliche Erfolg gefährdet werden.

Kommen beide Effekte, also die Überschätzung der Leistung sowie die Unterschätzung des Kraftstoffverbrauchs zusammen, stellt das den schlechtesten Fall dar, da die realen Gerätekosten die kalkulierten Ansätze übersteigen. Abb.5.7 zeigt eine Übersicht der kalkulierten (Soll) und der realen (Ist) Kennwerte der OFA.

Position	Leistung L		Verbrauch V_h		V/ME	
	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist
1.2.60 Gasdränschicht	60 m ³ /h	92,7 m ³ /h	75,64 l/h	43,4 l/h	1,26 l/m ³	0,47 l/m ³
1.2.80 Auflagerschicht						
1.3.40 GTD	227,5 m ² /h	210,0 m ² /h	12,0 l/h	9,4 l/h	0,05 l/m ²	0,045 l/m ²
1.3.100 KDB						
1.4.10 Kunststoff-Dränelement						
1.4.90 Geogitter	60 m ³ /h	111,4 m ³ /h	71,36 l/h	30,3 l/h	1,19 l/m ³	0,27 l/m ³
1.6.10 Unterboden einb.						
1.6.40 Oberboden einb.						

Abb.5.7: Übersicht der kalkulierten und realen Leistungskennwerte – OFA

Der wirtschaftliche Erfolg wird dadurch begünstigt, dass die Kraftstoffverbrauchskennwerte auf der sicheren Seite liegend abgeschätzt wurden. Auch die Leistungsansätze für die Gasdrän- und Auflagerschicht sowie für den Rekuboden liegen auf der sicheren Seite. Für die Geokunststoffe liegt eine leichte Überschätzung der Leistung vor. Die realen Verbrauchskennwert je Mengeneinheit liegen durchweg unterhalb der Annahmen aus der Kalkulation.

Position	L		V _n [l/h]		V/ME	
	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist
1.2.80 Bodenabtrag u. Direkteinbau	125,0 m ³ /h	86,2 m ³ /h	44,07 l/h	106,47 l/h	0,35 l/m ³	0,95 l/m ³
1.2.80 Bodenabtrag u. Einbau mit Zwischentransport	125,0 m ³ /h	158,6 m ³ /h	106,47 l/h	104,6 l/h	0,85 l/m ³	0,66 l/m ³
1.2.90 Zulage Bkl. 6	106,25 m ³ /h	925,7 m ³ /h	19,2 l/h	40,5 l/h	0,18 l/m ³	0,04 l/m ³
1.2.150 Aushub Entwässerungskanäle	25,0 m ³ /h	48,9 m ³ /h	19,2 l/h	25,1 l/h	0,77 l/m ³	0,51 l/m ³
1.2.200 Sandbettung	15,0 m ³ /h	12,3 m ³ /h	19,2 l/h	25,1 l/h	1,28 l/m ³	2,0 l/m ³
2.3.40/60 Mineralische Dichtung	100 m ² /h	70 m ² /h	44,07 l/h	38,1 l/h	0,44 l/m ²	0,54 l/m ²
2.4.70/100 Flächendränge	50 m ³ /h	21,6 m ³ /h	34,8 l/h	10,8 l/h	0,70 l/m ³	0,5 l/m ³

Abb.5.8: Übersicht der kalkulierten und realen Leistungskennwerte – Basisabdichtung

Im Hinblick auf die Leistung wurde eine Reihe von Ansätzen überschätzt. Besonders hervorzuheben sind die Pos. 1.2.80 (Bodenabtrag und Direkteinbau) und 1.2.200 (Sandbettung), da hierbei außerdem der Kraftstoffverbrauch unterschätzt wurde. Im Hinblick auf den wirtschaftlichen Erfolg können insbesondere die Leistungen der Pos. 1.2.80 einen negativen Effekt haben, da es sich um eine der Schlüsselpositionen des Auftrags handelt.

5.3 Energieverbrauchsanalyse Referenzprojekt Erdbau

Der Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW Düsseldorf (BLB) baut für das Justizministerium NRW in Wuppertal-Ronsdorf eine Justizvollzugsanstalt (JVA) des geschlossenen Vollzuges mit 510 Haftplätzen¹⁴. Dabei handelt es sich um 310 Plätze für den Vollzug von Jugendstrafen, sowie 200 für den Vollzug von Untersuchungshaft junger Gefangener. Das dafür zur Verfügung stehende Areal befindet sich an der Parkstraße im Stadtteil Ronsdorf der Stadt Wuppertal hinter der ehemaligen Standortverwaltung und wurde zuvor von der Bundeswehr genutzt. Der Plan dazu (Abb.5.9) sieht neben zwei Doppelhaftkreuzen mit allen dazugehörigen Nutzungen für Bildung, Freizeit und einem medizinischen Praxisbereich, drei Werkhallen, eine Sporthalle, eine KFZ-Halle, ein Verwaltungsgebäude inklusive Technik, ein Aufnahme-/Besuchsgebäude, sowie eine Küche vor. Außerdem sollen den Inhaftierten ein sogenanntes Haus der Begegnung sowie ein Kulturzentrum zur Verfügung stehen. Das ganze Gelände der JVA wird von einer Umwehrungsmauer von dem umliegenden Wald abgegrenzt, die jeweils innen und außen umfahren werden kann. Auf den un bebauten Flächen werden Freianlagen und ein Sportplatz für die Inhaftierten realisiert. Innerhalb der JVA trennen Sicherheits- und Ordnungszäune die relevanten Teilbereiche voneinander ab.

Die einzige Zugangsmöglichkeit zur JVA ist die Pforte. Neben der Pforte befindet sich das Verwaltungsgebäude. Alle Gebäude, außer der KFZ-Halle, der JVA sind durch die allseits umschlossenen Verbindungsgänge verbunden.

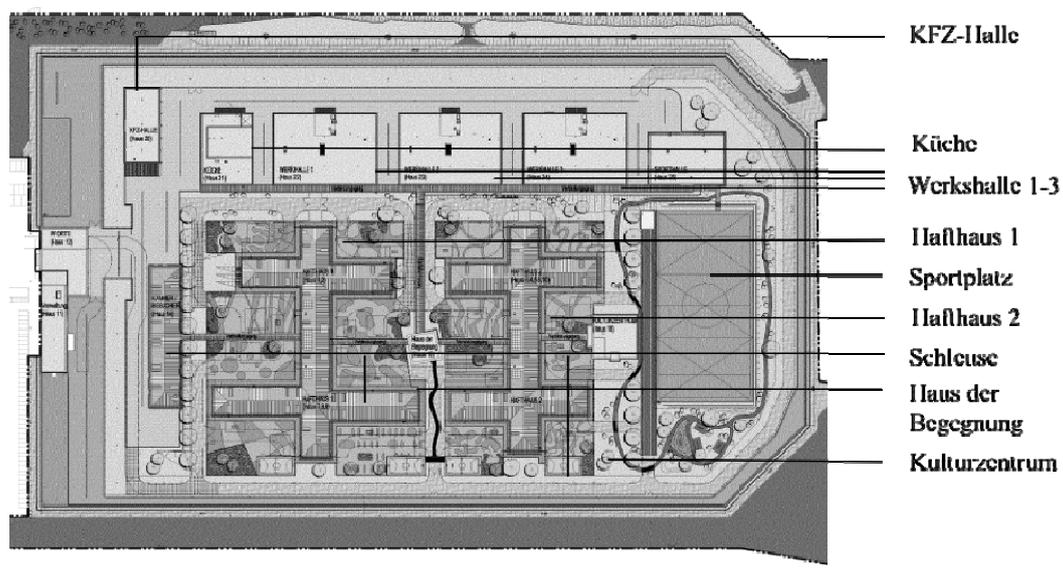


Abb.5.9: Übersichtsplan der JVA Wuppertal¹⁵

Die JVA Wuppertal-Ronsdorf bildet den nordöstlichen Abschluss des Bebauungsplans für das neue Entwicklungsgebiet oberhalb der Parkstraße. Erschlossen wird das Gelände über die

¹⁴ [Zueblin09]

¹⁵ Lageplan JVA

einzigste Zufahrt im Südwesten des Grundstücks. Hier befindet sich der dazugehörige Parkplatz. Die Haftmauer, die sich um die Anstalt erstreckt, schließt direkt an das Verwaltungs- und Technikgebäude im Südosten des Geländes an. Die nördliche und östliche Ecke der Mauer sind abgewinkelt. Innerhalb der Mauer lässt sich die Anordnung der Gebäude in zwei Bereiche gliedern:

- Der nordwestliche Teil mit der KFZ-Halle, der Küche, den Werkhallen und der Sporthalle reihen sich als kompakte Blöcke parallel zur Außenmauer auf.
- Der südöstliche Teil ist insbesondere von den zwei Doppelhaftkreuzen geprägt, die als jeweils zwei kreuzende Riegel ausgebildet sind.

Das Besucher- und Aufnahmegebäude befindet sich zwischen dem ersten Doppelhaftkreuz und dem Verwaltungsgebäude inklusive Technik. Zwischen den beiden Doppelhaftkreuzen liegt das Haus der Begegnung mit der Bibliothek. Das Kulturzentrum liegt hinter dem zweiten. Das gesamte Areal der JVA ist rechtwinklig und in einer Gitternetzstruktur ausgebildet.

5.3.1 Kraftstoffverbrauchsanalyse

Mit Hilfe der Beobachtungen auf der Baustelle der Justizvollzugsanstalt in Wuppertal sollen Richtwerte ermittelt werden, die als Ansatz für die Kalkulation und als Vergleichswerte für die Beurteilung der Leistung von Maschinenführern auf der Baustelle verwendet werden können. Alle Werte beruhen auf Beobachtung der Maschinenleistung und den dazugehörigen Tankwerten auf der Baustelle JVA Wuppertal. Die einzelnen Arbeiten werden hier nach Prozessen zusammengefasst. Jede Maschine (außer LKW), die an dem jeweiligen Vorgang beteiligt gewesen ist, wird separat erfasst und ihre Leistung pro l Diesel ausgewiesen.

5.3.2 Prozessanalyse Aushub



Abb.5.10: Bagger beim Ausheben von Lehmboden

Leistung	Gerät	Ausrüstung	Menge in m ³	Verbrauch in l	Kraftstoffverbrauch in l/m ³
Abtrag Bodenklasse 1-2	Bagger CAT 345 D	UTL 2,8 m ³	2.500,0	424,89	0,17
Abtrag Bodenklasse 3-5	Bagger CAT 345 D	UTL 2,8 m ³	2.150,0	424,89	0,20
Abtrag Bodenklasse 6-7	Bagger CAT 345 D	UTL 2,8 m ³	1.500,0	424,89	0,28

Abb.5.11: Zusammenfassung der Ergebnisse Aushub

Die Abbildung 5.11 fasst die ermittelten Werte für den Prozess „Aushub“ zusammen. Dabei muss zwischen den drei dort genannten Bodenklassen unterschieden werden. Je nach Art des auszuhebenden Materials arbeitet der Bagger CAT 345 D unterschiedlich effizient. Je höher die Bodenklasse desto aufwendiger ist die Gewinnung des Materials. Der wesentlich erhöhte Kraftstoffverbrauch ab Bodenklasse 6 ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass das felsige Gestein nicht mehr einfach mit einem Schwenk des Baggers aus der Baugrube ausgehoben werden kann, sondern oftmals erst mit Hilfe des Löffels ausgehebelt werden muss. Außerdem sorgt das grobe Gestein dafür, dass pro Löffelladung weniger Volumen des Erdrreiches gewonnen werden kann.

5.3.3 Prozessanalyse Umschlagen



Abb.5.12: Beispiel Umschlagen von Bagger auf LKW

Nummer	Gerät	Ausrüstung	Menge in m ³	Verbrauch in l	Kraftstoffverbrauch in l/m ³
1	Bagger CAT 345 D	UTL 2,8 m ³	1460,0	256,5	0,18
2	Bagger CAT 435 D	UTL 2,8 m ³	2.489,4	449,3	0,18
3	Bagger CAT 325	UTL 1,25 m ³	1.080,0	174,3	0,16
4	Bagger CAT 320	DRL	510,0	154,3	0,30
5	Radlader Volvo L40	Ladeschaufel 1 m ³	837,2	30,0	0,04

Abb.5.13: Zusammenfassung der Ergebnisse Umschlagen

Beim Umschlagen nimmt der jeweilige Bagger mit dem Löffel Erdreich auf, schwenkt und belädt einen LKW. In Abb.5.13 sind die Beobachtungen mehrerer solcher Vorgänge mit unterschiedlichen beteiligten Bagger/Radladern aufgeführt.

Die ersten beiden Vorgänge beschreiben den Abtrag einer Miete zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Von der Miete aus hat der Bagger die Möglichkeit aus erhöhter Position die LKW zu beladen. Hier ist mit einem Schwenkbereich zwischen Miete und LKW von 180° gearbeitet worden. Da unterschiedliche Materialien in dieser Miete aufgeschüttet worden sind und die LKW auch nicht alle das gleiche gefördert haben, ist der Bagger gezwungen gewesen zwischen den LKW mehrmals innerhalb der Miete umsetzen (vgl. Prozessbeobachtungen). Die LKW fahren Material für andere Baustellen. Auch deshalb kommt es zu längeren Stillstandzeiten für den jeweiligen Bagger, da es aufgrund des Verkehrs außerhalb der Baustelle zu Verzögerungen kommt. Ein anderer Zeitfaktor, der hier eine Rolle spielt, ist die Organisation des Quittierens der Abholscheine zwischen den Maschinenführern und den LKW-Fahrern. Dazu benötigen beide pro LKW zwischen ein und zwei Minuten. Die Analyse von zwei unabhängigen aber ähnlichen Vorgängen zeigt hier exakt die gleiche Effizienz. Die Bagger verbrauchen jeweils 0,18 Liter Diesel pro umgeschlagenen Kubikmeter Erdstoff.

Die Arbeiten zu unter 3 aufgeführten Werten haben auf einem leicht geneigten Hang stattgefunden. Dabei stehen Bagger und LKW auf einer Höhe und der LKW wird mit einem Schwenk von 180° mit Mutterboden beladen. Die Arbeiten des Baggers werden durch die Hanglage nicht beeinflusst, lediglich das Rangieren des LKW ist erschwert und verlängert so die Wechselzeit der einzelnen LKW (+ 33%). Die erhöhte Effizienz (0,16 l/m³) im Vergleich zu Punkt 1 und 2 (0,18l/m³) erklärt sich dadurch, dass die LKW ständig zur Verfügung gestanden haben, da sie nur baustellenintern Material umgelagert haben.

Der Bagger CAT 320 unter Punkt 4 hat Felsgestein der Bodenklasse 6-7 verladen. Hierbei wird der LKW in einem Schwenkbereich von 90° befüllt. Der hohe Kraftstoffverbrauch unterstützt die aus der Beobachtung hervorgegangene Vermutung, dass hier das falsche Arbeitsgerät verwendet worden ist. Der für den Aushub von Kanalgräben konzipierte Drainagelöffel kann für die Arbeiten mit groben Gestein nicht effizient eingesetzt werden. Zu diesem Fehleinsatz ist es gekommen, da die zuvor ausgeführten Kanalarbeiten von genau diesem Bagger durchgeführt worden sind und im Anschluss daran weder die Maschine noch das Arbeitsgerät gewechselt worden sind. Der Radlader unter Punkt 5 hat einen LKW mit Schotter

beladen. Dabei stehen der LKW neben dem Schotterhaufen und der Beladevorgang gliederte sich in drei Schritte:

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 kann dann durch Vorfahren und Abkippen des Schotters beladen werden.

Der Radlader zeichnet sich durch einen sehr geringen Kraftstoffverbrauch aus und scheint unter Umweltgesichtspunkten die ideale Maschine für diese Arbeiten (Verladen von Schotter) zu sein.

5.3.4 Prozessanalyse Brechen von Fels

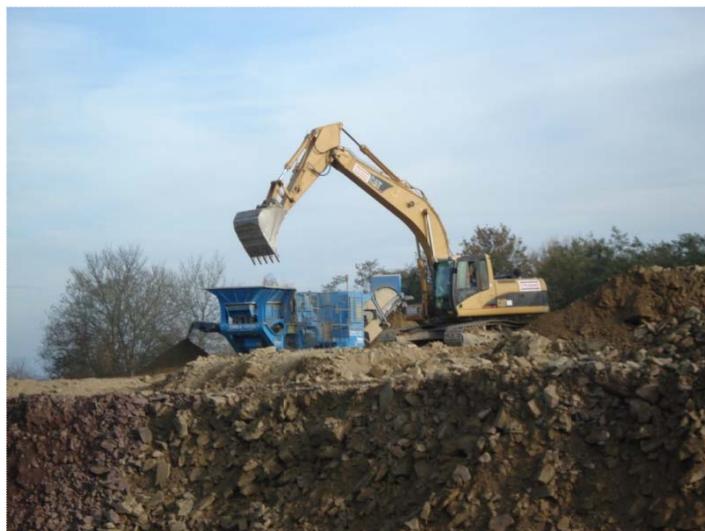


Abb.5.14: Brechen von Fels auf der Miete der JVA

Gerät	Ausrüstung	Menge in m ³	Verbrauch in l	Kraftstoffverbrauch in 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.5.15: Zusammenfassung der Ergebnisse Brechen von Fels

Um die Lagerflächen auf der Baustelle frei zu bekommen, kann es erforderlich sein, sich der jeweiligen Nachfrage nach Baumaterialien zu unterwerfen und die Korngröße von vorhande-

nem Material zu verändern. Zu diesem Zweck befüllt ein Bagger die Brechanlage, die das Erdgestein in die geforderte Korngröße zerkleinert. Hier arbeitet der Bagger in einem Schwenkbereich von 180°, in dem er das aufgeschüttete Gestein in die Brechanlage befördert (siehe Abb.5.14). Da dieser Vorgang beide Maschinen zwingend erfordert, erscheint die Betrachtung des Gesamtverbrauchs pro verarbeitetem Kubikmeter Gestein sinnvoll. Zusammen benötigten der Bagger und die Brechanlage 0,31 l/m³.

5.3.5 Prozessanalyse Verfüllen



Abb.5.16: Verfüllen der Fundamente der Haftmauer

Nummer	Gerät	Ausrüstung	Menge in m ³	Verbrauch in l	Kraftstoffverbrauch in l/m ³
1	Bagger CAT 308 D CR	UTL 0,8 m ³	330,0	62,40	0,19
2	Bagger CAT323	UTL 1,25 m ³	450,0	97,00	0,22
3	Bagger CAT 308 D CR	UTL 0,8 m ³	369,2	54,44	0,15

Abb.5.17: Zusammenfassung der Ergebnisse Verfüllen

In allen drei aufgeführten Fällen sind Fundamente angefüllt worden. Dazu wird darauf geachtet, dass die Böschungskante erhalten bleibt und das Fundament nicht beschädigt wird. In den ersten beiden Fällen wurde das Fundament mit Lehm Boden angefüllt, was die Kraftstoffverbräuche vergleichbar macht. Als Ergebnis ist somit festzuhalten, dass Der Bagger CAT 308 D CR diese Art Arbeit effizienter als der Bagger CAT 323 verrichten kann. Das letzte Wertepaar gibt das Verfüllen der obersten Schicht mit Mutterboden wieder.

5.3.6 Prozessanalyse Planierarbeiten



Abb.5.18: Planierung einer Baustraße

Gerät	Ausrüstung	Menge in m ³	Verbrauch in l	Kraftstoffverbrauch in l/m ³
Raupe CAT D6 N	Brustschild	4.202,1	522,3	0,12

Abb.5.19: Ergebnis Planierarbeiten

Die Planieraupe hat einen Brustschild verwendet und eine Böschung aus Mutterboden über drei Tage planiert. Die planierte Grundfläche war 18 m x 333,5 m und wurde auf einer Stärke von 0,7m verteilt.

5.3.7 Prozessanalyse Erstellen Schotterplanum



Abb.5.20: Erstellen eines Schotterplanums

Nummer	Gerät	Ausrüstung	Menge m ³	Verbrauch l	Kraftstoffverbrauch l/m ³
1	Radlader Volvo L40	-	150	22,15	0,15
2	Minibagger Kubota KX 161	UTL 0,6 m ³	187,5	20,00	0,11
3	Minibagger Kubota KX 161	UTL 0,6 m ³	272,7	31,30	0,11

Abb. 5.21: Zusammenfassung der Ergebnisse Erstellung Schotterplanum

Im ersten Fall ist ein Schotterplanum mit einer Stärke von ca. 10cm für eine Grundleitung verfüllt worden. Die Ladeschaufel des Radladers hat eine Kapazität von 1m³. Der Radlader hat bei diesem Arbeitsprozess den Schotter angeliefert und so in die Baugrube gekippt, dass nur noch wenig durch die beiden Facharbeiter in der Baugrube nachgebessert werden musste. Fall 2 und 3 beschreiben den gleichen Arbeitsprozess nur zu anderen Beobachtungszeitpunkten. Hierbei wurde ein Schotterplanum für die Bodenplatte einer Werkshalle erstellt.

5.3.8 Prozessanalyse Verdichten



Abb. 5.22: Verdichten einer Baustraße

Gerät	Ausrüstung	Menge m ²	Verbrauch l	Kraftstoffverbrauch l/m ²
Walzenzug CS 76	-	8.333,3	161,64	0,02

Abb. 5.23: Ergebnis Verdichten

Der Walzenzug hat eine aus Schotter bestehende temporäre Baustraße verdichtet (siehe Abb. 5.22). Diese ist an jeder Stelle zweimal von der Walze vor und zurück überrollt worden, damit der gewünschte Dichtheitsgrad erreicht werden konnte. Die zugehörigen Verbrauchsmengen zeigt Abb. 5.23.

5.3.9 Prozessanalyse Verlegen von Kanälen



Abb. 5.24: Kanalverlegung am Sportplatz der JVA

Nummer	Gerät	Ausrüstung	Menge in m ³	Verbrauch in l	Kraftstoffverbrauch in l/m ³
1	Bagger EW 140	DRL	472,5	150,00	0,32
2	Bagger EW 140	UTL	125,0	48,70	0,39
3	Bagger CAT 320	UTL	173,3	141,00	0,81
4	Radlader Volvo L40	-	156,3	22,15	0,14

Abb. 5.25: Zusammenfassung der Ergebnisse Verlegen von Kanälen

In Punkt 1 und 2 von Abb. 5.25 ist ein Kanal für die Grundwasserleitung der Sporthalle verlegt worden. Da das Gelände hier um einiges höher liegt, als das der Hafthäuser, ist eine ca. drei Meter tiefe Baugrube ausgeschachtet worden. Zum Schutz der Baugrube müssen daher die Wände mittels eines Gleitschienenverbau gesichert werden. Da diese Schiene für jeden Abschnitt neu versetzt werden muss, der Einsatz der Grabenwalze Zeit in Anspruch nimmt und insgesamt einfach die Komplexität dieser Arbeiten sehr hoch ist, ist der Kraftstoffverbrauch nicht mit dem in den anderen Prozessen zu vergleichen.

Der Kanal ist direkt am Fundament verlegt worden, daher kann der CAT nur mit einem Drainagelöffel ausgerüstet werden. Da der CAT 320 es mit Felsgestein der Bodenklasse 6-7 zu tun hat, muss er an seine Leistungsgrenze gehen um die Arbeiten zu verrichten, was unter Effizienzkriterien nicht vorteilhaft erscheint. Dieses Beispiel zeigt die Bedeutung des Kalkulationszuschlags für Aushübe der Bodenklasse 6-7 in der Angebotskalkulation.

Der Radlader hat beim Verlegen nur die Aufgabe des Legens der Rohrstücke in die Baugrube und des anschließenden Verfüllens derselben. Da er weder bei dem Aushub noch bei den

Verdichtungsarbeiten anwesend gewesen ist, konnte er seinen Teilbereich effizient erfüllen, was auch der Kraftstoffverbrauch von $0,14 \text{ l/m}^3$ zeigt.

5.3.10 Prozessanalyse Versickerungsbecken



Abb.5.26: Arbeiten zum Versickerungsbecken hinter der nordwestlichen Haftmauer

Leistung	Gerät	Ausrüstung	Menge in m^3/m^2	Verbrauch in l	Kraftstoffverbrauch in l/m^3 o. l/m^2
Aushub (m^3)	Bagger CAT 320	UTL 1,2 m^3	1.600	304	0,19
Planum u. Winkelstützen setzen (m^2)	Bagger CAT 320	GRL	3.300	297	0,09
L-Steine setzen (m^2)	Bagger CAT 320	GRL	620	86,8	0,14
Schottereinbau (m^2)	Radlader Volvo L40	-	1.200	48	0,04

Abb. 5.27: Zusammenfassung der Ergebnisse Versickerungsbecken

Die hier aufgeführten Arbeiten spiegeln nur einen Teilbereich der zur Erstellung eines Versickerungsbeckens notwendigen Tätigkeiten wider. Die Einrichtung eines solchen Versickerungsbeckens erfordert viele kleinere Arbeiten.

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.

Der Bagger (Abb. 5.27) hat für die Arbeiten zwei verschiedene Arbeitsgeräte verwendet. Für den Aushub ist ein Universaltieflöffel und für die weiteren Tätigkeiten eine Grabenräumschaufel benutzt worden. Für den Einbau von Schotter ist ein Radlader verwendet worden, was sich positiv auf den Gesamtkraftstoffverbrauch des Prozesses auswirkt.

5.3.11 Prozessanalyse Abtrag von Bauschutt



Abb. 5.28: Abtrag von Betonresten der ehemaligen Schießwand

Gerät	Ausrüstung	Menge in m ³	Verbrauch in l	Kraftstoffverbrauch in l/m ³
Bagger CAT 325	UTL 1,2 m ³	5.250	1.515,6	0,29

Abb. 5.29: Ergebnis Abtrag von Bauschutt

Der CAT 325 war mit einen 1,2m³ Universallöffel ausgerüstet. Da der Bauschutt unterschiedlichste Strukturen bzw. Größen hat, ist es nicht möglich eine optimale Löffelfüllmenge zu erreichen. Außerdem muss der Maschinenführer mehrmals ansetzen um das Material schließlich aufzunehmen. Dies erklärt auch den relativ hohen Kraftstoffverbrauch von 0,29 Litern pro Kubikmeter Bauschutt (Abb. 5.29).

5.3.12 Prozessanalyse Ausschachten einer Baugrube



Abb. 5.30: Ausschachten einer Baugrube

Gerät	Ausrüstung	Menge m ³	Verbrauch l	Kraftstoffverbrauch l/m ³
Bagger CAT 304	UTL 0,8 m ³	1.350,5	208,7	0,15

Abb. 5.31: Ergebnis Ausschachten einer Baugrube

Der Bagger hat als Ausrüstung einen 0,8m³ Universallöffel. Er hat am Rand der Baugrube gestanden und Material der Bodenklasse 3-5 ausgeschachtet (vgl. Abb. 5.30), das er im 90°-Winkel neben sich abgeladen hat. Aufgrund der ständigen Höhenkontrolle steht der Bagger bei diesen Arbeiten oftmals still und wartet auf die Anweisungen des Facharbeiters. Auch deshalb wird für diese Arbeiten ein kleinerer Bagger benutzt als für „normale“ Aushubarbeiten ohne Höhenkontrolle. Da der Bagger frei abladen kann, kann er sehr effizient und schnell die Baugrube ausheben.

5.3.13 Zusammenfassung Durchschnittsverbräuche

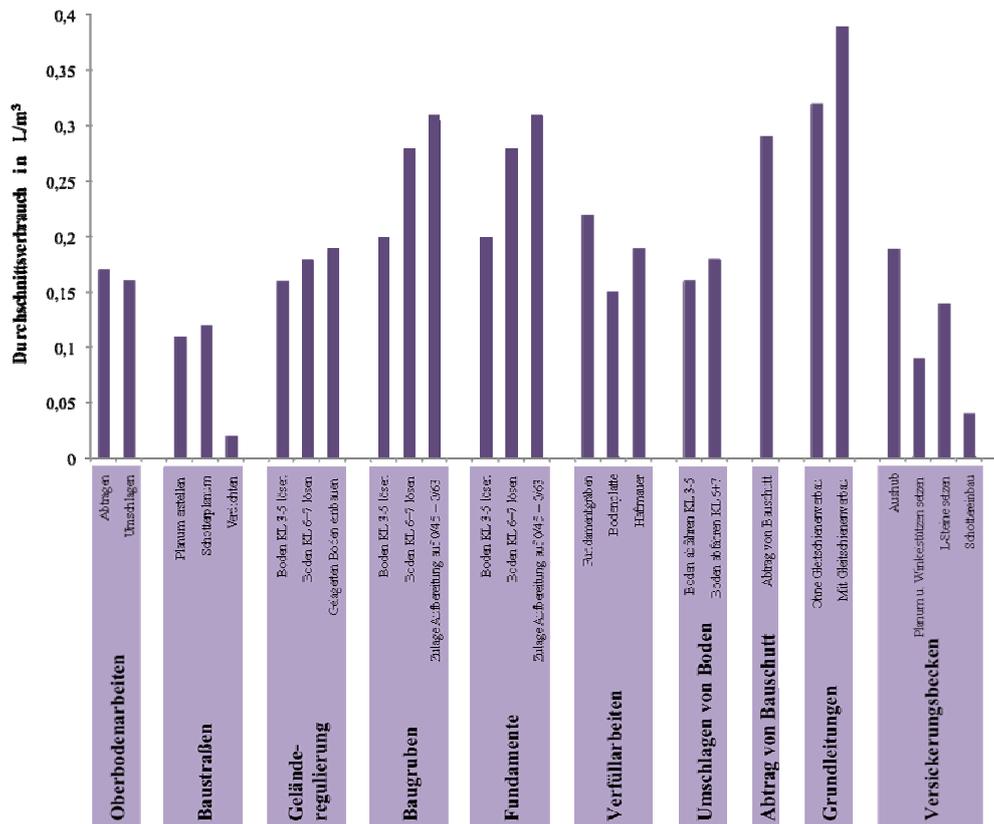


Abb. 5.32: Überblick der Durchschnittsverbräuche

5.4 Optimierungspotenziale Erd-, Tief- und Deponiebau

Aus den gesammelten Daten der Prozessbeobachtungen lassen sich unterschiedliche Lösungsansätze herausfiltern. Ein wichtiger Aspekt ist die Sensibilisierung der Mitarbeiter. Außerdem kann mit Hilfe 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 liegen die Potenziale in den Bereichen Technik, Organisation und Personal. Dementsprechend ist das folgende Kapitel strukturiert.

5.4.1 Optimierungspotenziale hinsichtlich der eingesetzten Technik

Auswahl der richtigen Gerätegröße und -gruppe

Während der Prozessanalyse konnte festgestellt werden, dass die Auswahl unterschiedlicher Baugrößen einen großen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch hat. Dabei ist hinsichtlich der Energieeffizienz unter den gegebenen Randbedingungen die kleinere Baugröße vorzuziehen. Dieser Effekt lässt sich natürlich nicht durch den Einsatz immer kleinerer Baugrößen beliebig steigern. Es kommt vielmehr darauf an, die Baugröße auf den vorgesehenen Einsatz abzustimmen. Großgeräte, wie beispielsweise der Hydraulikbagger der 35 t Klasse (Hitachi ZX350LCN), sollten generell nur dann eingesetzt werden, wenn eine hohe Auslastung vorhanden ist, wenn die Leistung pro Stunde die maßgebliche Rolle spielt oder hohe Grabkräfte erforderlich sind.

Des Weiteren spielt die Auswahl der richtigen Gerätegruppe eine wesentliche Rolle in Bezug auf den Kraftstoffverbrauch. Dies wird anhand des Vergleichs der Gerätegruppen für die Umprofilierungsarbeiten deutlich. Hier wird festgestellt, dass die Gerätegruppe mit Zwischentransporten ein wesentlich besseres Verhältnis zwischen verbrauchtem Kraftstoff und erbrachter Leistung bietet, obwohl eine höhere Geräteanzahl eingesetzt wird und gleichzeitig die Transportentfernungen höher ausfallen.

Ein weiterer Punkt, der in diesem Zusammenhang noch hervorgehoben werden muss, ist die Auswahl des Geräteherstellers. Aus den ermittelten Verbrauchskennwerte der Geräte geht hervor, dass diese stark variieren. Daher kann auch die Auswahl bestimmter Geräte von verschiedenen Herstellern den Energieverbrauch in Bauunternehmen maßgeblich reduzieren. Da bezüglich des Verbrauchs keine Markttransparenz herrscht, muss der Bauunternehmer entweder durch eigene Tests oder die Dokumentation des Verbrauchs verbrauchsarme Maschinen identifizieren. Der Gesetzgeber ist in der Pflicht, die Angabe von Verbrauchskennwerten durch die Hersteller zu verlangen. Dazu ist eine einheitliche und genormte Verbrauchsermittlung erforderlich.

Einsatz neuer Technologien

Durch den Einsatz moderner Technik kann die Energieeffizienz von Baustellen erhöht werden. Hierzu zählt bspw. der Einsatz von Hybridmaschinen, die bisher ungenutzte Potenziale ausschöpfen, indem sie mit Energierückgewinnungssystemen ausgestattet werden. Außer-

dem sollen alle größeren Baumaschinen mit leistungsfähigen Bordcomputern ausgerüstet werden, die das Auslesen von Kraftstoffverbrauchsdaten ermöglichen und so die Identifizierung sparsamerer Geräte sowie die Ermittlung von Kennwerten unterstützen. Zudem sollte darauf geachtet werden, dass die Maschinen über verschiedene Betriebsmoden verfügen. So kann die Leistung des Gerätes auf die schwankende Auslastung im Baubetrieb angepasst und der Energieeinsatz reduziert werden.

Während der Erdbauphase der JVA wurden zwei gleiche Raupentypen (CAT D6) für die Arbeiten verwendet. Der Unterschied zwischen ihnen liegt darin, dass eines der Geräte mit GPS ausgerüstet ist. Das GPS dient dazu, dem Geräteführer auf einem Display die Geländehöhen anzuzeigen. Mit Hilfe dieser Technik kann der Maschinenführer das Schild optimal einstellen. Diese Funktion verkürzt die Produktionszeit des Planums, da die Raupe nicht ständig neu ansetzen muss. Ohne GPS muss ständig die gewünschte Höhe per Laser erfasst und korrigiert werden. Beide Raupen haben „Fels aus BF 1 Mitte geladen, in BF 2 und 3 eingebaut. Das Gerät ohne GPS hat 188,5l und das Gerät mit GPS 147,9l Diesel verbraucht, was einer Einsparung von 21,5% entspricht. Hinzu kommt noch der Zeitvorteil.

Leistung	Verbrauch CAT D6 N in l	Verbrauch CAT D6 GPS in l	Ersparnis in %
Fels laden und verbauen	188,5	147,9	21,5
Fels laden und verbauen	100,8	65,5	35,0

Abb. 5.33: Vorteile GPS

5.4.2 Optimierung hinsichtlich der Organisation

Steigerung des Auslastungsgrades η der Hydraulikbagger

Während der Prozessbeobachtungen fällt auf, dass der Auslastungsgrad η der Hydraulikbagger mit Werten um 0,4 bis 0,6 recht niedrig ausfällt. Daher wird vorgeschlagen, den Auslastungsgrad der Bagger durch ein weiteres Transportgerät zu steigern. Die Auswirkung dieses Aspekts soll im Folgenden anhand eines Beispiels für den Hydraulikbagger New Holland E245B dargestellt werden. Es wird die Leistung beim Laden von Rekultivierungsboden betrachtet. Die Daten liefern die Prozessbeobachtungen vom 10.05.2011 mit 2 LKW und vom 12.05.2011 mit 3 LKW. Die Gegenüberstellung der relevanten Daten ist in folgender Tabelle dargestellt.

Datum	Gerät	η_{Bagger}	L [m ³ /h]	V _h [l/h]	V/ME [l/m ³]
10.05.2011	New Holland E245B 2 LKW	0,39	116,6	11,8 + 2* 5,4	0,194
12.05.2011	New Holland E245B 3 LKW	0,56	172,4	13,2 + 3*5,4	0,170

Abb. 5.34: Erhöhung des Auslastungsfaktors η

Um dem höheren Kraftstoffbedarf durch die erhöhte Auslastung Rechnung zu tragen, wird hierfür der maximal gemessene Verbrauchskennwert des Baggers mit 13,8 l/h angesetzt. Für das Laden mit 2 LKW wird der ermittelte Durchschnittswert von 11,8 l/h berücksichtigt. Die Auswirkung der Steigerung von η kann mit Hilfe des Verbrauchs pro Mengeneinheit bewertet werden. Dieser liegt für die höhere Auslastung von $\eta = 0,56$ etwa 9 % unterhalb der Kennzahl für $\eta = 0,39$. Obwohl ein weiteres Gerät eingesetzt wird, kann die Leistung mit einem geringeren Kraftstoffverbrauch erbracht werden. Die Steigerung des Auslastungsgrades ist demnach eine wirkungsvolle Maßnahme zur Steigerung der Energieeffizienz auf Baustellen.

Im Rahmen solcher Maßnahmen ist allerdings zu beachten, dass der Auslastungsgrad nicht beliebig gesteigert werden kann. Zum einen ist für den Bagger ab einem gewissen Grad die maximale Ladeleistung erreicht. Zum anderen kann der gesteigerte Einsatz zu Problemen im Bauablauf führen. Gerade im Hinblick auf den Transport des Rekultivierungsbodens zur Einbaustelle an der OFA ist aufgrund der beengten Platzverhältnisse zu sagen, dass bereits der Einsatz von 4 LKW zu Wartezeiten an der Kippstelle führen kann.

Optimierung der Tankrythmen

Auch im Hinblick auf die Betankung der Fahrzeuge sind Einsparpotentiale vorhanden. Bei den untersuchten Baumaßnahmen erfolgt die Anlieferung des Kraftstoffs immer während des Baustellenbetriebs. Dadurch kommt es zu Unterbrechungen der Arbeitsabläufe, die die Leistung negativ beeinflussen und weitere Stillstandszeiten treten auf. Eine Optimierung des Tankprozesses kann dann erfolgen, wenn die Anlieferung vor oder nach der eigentlichen Betriebszeit durchgeführt wird. Die Maschinen sollten an einem Punkt konzentriert abgestellt werden, damit der Vorgang optimal durchgeführt werden kann.

Anhand der abgegebenen Mengen bei der Betankung wird außerdem festgestellt, dass die Geräte teilweise auch dann betankt werden, wenn lediglich 25 % des vorhandenen Tankvolumens verbraucht sind. Dies stellt eine ineffiziente Anordnung der Tankintervalle dar, da es zu vermehrten Arbeitsunterbrechungen führt.

Einführung einer Kraftstoffverbrauchsdocumentation

Die Einführung einer Kraftstoffverbrauchsdocumentation gehört zu den Maßnahmen, die mittelfristig eine Erhöhung der Energieeffizienz zur Folge haben kann:

Für die Kalkulation können gesicherte Kennwerte für den Kraftstoffverbrauch ermittelt werden. Dies ist notwendig, da den bisher angewendeten Werten teilweise die Genauigkeit fehlt. Somit kann die Kalkulationssicherheit erhöht werden.

Weiterhin können die Verbrauchskennwerte bei den Investitionsentscheidungen angewendet werden. Da die Energiekosten weiter ansteigen, können sie aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht ausgeblendet werden. Zur Veranschaulichung dient das folgende Rechenbeispiel für einen Hydraulikbagger. Es liegen die folgenden Annahmen zu Grunde:

Betriebsstunden während des Lebenszyklus	7.500 h
Durchschnittlicher Kraftstoffbedarf Bagger A	0,12 l/kWh
Durchschnittlicher Kraftstoffbedarf Bagger B	0,10 l/kWh
Motorleistung	130 kW
Mittlerer Kraftstoffpreis	1,25 €/l
Die gesamten Kraftstoffkosten Bagger A während der Betriebszeit ergeben sich zu	
$7.500 \text{ h} * 0,12 \text{ l/kWh} * 130 \text{ kW} * 1,25 \text{ €/l} = 146.250 \text{ €}$	
Die gesamten Kraftstoffkosten Bagger B während der Betriebszeit ergeben sich zu	
$7.500 \text{ h} * 0,10 \text{ l/kWh} * 130 \text{ kW} * 1,25 \text{ €/l} = 121.875 \text{ €}$	
Kostenvorteil der Investition Bagger B	
24.375 €	

Abb. 5.35: Investitionsvergleich für Bagger bei Berücksichtigung der Energiekosten

Die verbrauchsärmere Maschine B hat im vorgestellten Beispiel einen Kostenvorteil von ca. 25.000 €, der für die Investitionsentscheidung berücksichtigt werden muss.

Ein weiterer positiver Effekt der Dokumentation kann die Sensibilisierung der Mitarbeiter für den ressourcenschonenden Energieeinsatz sein, da dem Aspekt des Kraftstoffverbrauchs mehr Aufmerksamkeit zukommt. Eine Verstärkung dieses Effekts kann durch das Einbeziehen der Mitarbeiter in die Dokumentation erreicht werden.

Neben den bisher angesprochenen Aspekten, ist die Ermittlung des eigenen Verbrauchs auch ein erster Schritt um eine CO₂-Footprint für Bauprojekte durchzuführen. Sofern sich der Trend der Ökobilanzierung und Zertifizierung auch in Deutschland weiter durchsetzt, können die national operierenden Firmen mit Hilfe der Kenntnis der eigenen Emissionen nachhaltig ihre Wettbewerbsfähigkeit stärken. Für international tätige Konzerne ist die Ökobilanzierung definitiv erforderlich.

Vermeidung von Baustellentransporten

Die Anlieferung von Baustoffen erfolgt bei der vorliegenden Maßnahme entweder direkt zum Einbauort oder zu Zwischenlagern, die einen späteren Baustellentransport erfordern. Im Hinblick auf eine wirtschaftlich und energetisch effiziente Bauausführung ist die Anlieferung zum Einbauort eindeutig vorzuziehen. Dadurch kann die gesamte Gerätegruppe, die zum Laden und Transportieren des Materials eingesetzt wird, eingespart werden. Der Schlüssel zur Einsparung von CO₂ liegt hier in der sorgfältigen Abstimmung der Zulieferlogistik. Am Beispiel der Erstellung der Gasdrän- bzw. Auflagerschicht (Pos. 1.2.60 bzw. 80 OFA) werden die möglichen Einsparungen für den Fall, das keine Baustellentransporte erforderlich sind ermittelt.

Kraftstoffbedarf für Zwischentransporte	V/ME = 0,26 l/m ³
LV-Menge Pos. 1.2.60 Gasdränschicht	21.000 m ³
LV-Menge Pos. 1.2.80 Auflagerschicht	9.000 m ³
$0,26 \text{ l/m}^3 * (21.000 \text{ m}^3 + 9.000 \text{ m}^3) = 5.460 \text{ l}$	

Abb. 5.36: Einsparpotenzial bei Verzicht auf Baustellenzwischentransporte

Durch die Vermeidung von Baustellentransporten können so 5.460 l Kraftstoff und etwa 14 t CO₂ eingespart werden. Dennoch sollte auf Materiallager nicht gänzlich verzichtet werden. Sie können als Puffer dienen um Schwankungen in der Zulieferlogistik auszugleichen und so den Stillstand auf der Baustelle vermeiden. Für die Kapazität der Materiallager gilt, so klein wie möglich und so groß wie nötig.

Verbesserung der Prozessorganisation

Die Arbeitsvorbereitung ist ein wichtiger Prozess, den jede Baustelle durchläuft. In dieser Phase wird geplant, wie die Ausführung der Arbeiten einzelner Gewerke auszusehen haben, um später einen optimalen Ablauf zu gewährleisten. Da diese Konzepte in einer frühen Bauphase entwickelt werden und dabei nicht alle äußeren Einflüsse mit einbezogen werden können, muss dieses Organisationsschema während der Bauausführung gegebenenfalls überarbeitet werden. Ein Ansatzpunkt dabei ist für den auf der Baustelle tätigen Bauleiter die Optimierung der eingesetzten Bagger. Es kann vorkommen, dass zum Beispiel aufgrund der schlechten Wetterlage kein Erdstoff auf andere Baustellen umgelagert werden kann. Laut Planung ist z.B. ein Bagger CAT 345 D eingeteilt, der auch bei geringem Leistungsaufwand ca. 250l pro Tag verbraucht. Sollte wie beschrieben die Situation eintreten, dass kein Erdstoff auf andere Baustellen umgeschlagen wird, ist die einzige Aufgabe, die der Bagger nun erfüllt, das Umschlagen auf LKW für den baustelleninternen Einbau. Da der Bagger für diesen Einsatz einen Leistungsüberschuss hat, ist ein effizientes Arbeiten nicht mehr möglich. Als mögliche Lösung kann überprüft werden, ob ein kleineres Gerät auf der Baustelle verfügbar ist um die Aufgabe des CAT 345 D zu übernehmen. Ein mögliches Ablösegerät ist der Bagger CAT 325. Dieser Bagger verbraucht unter Volleistung 170l pro Tag und könnte den CAT 345 D ablösen. Eine Randbedingung dabei ist, dass der Bagger CAT 325 bereits auf der Baustelle ist, da der Transport des Ersatzgerätes auf die Baustelle mittels Tieflader die eingesparten Kosten übertreffen würde. Dies soll nur ein Beispiel für effiziente Anpassung der Arbeitsorganisation an äußere Gegebenheiten sein.

5.4.3 Optimierung hinsichtlich des Personals

Sensibilisierung des Baustellenpersonals

Die Maschinenführer müssen für den energieeffizienten Umgang mit den Maschinen sensibilisiert werden, da aktuell kaum auf den Kraftstoffverbrauch geachtet wird. Dies kann direkt durch Schulungen der gewerblichen Mitarbeiter oder indirekt durch die Schulung der Bauleiter und Poliere erfolgen. Es ist wichtig, dass die Baumaschinenführer die Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz verschiedener Maschinen kennenlernen. So kennen z. B. nicht alle Bediener des Hitachi ZX350LCN die Möglichkeit, die verschiedenen Moden anzuwenden. Dies ist jedoch wichtig, um die vorhandenen Potentiale voll auszuschöpfen. Weiterhin muss die Verbesserung der Prozessorganisation vorangetrieben werden. Hier kann auch das individuelle Verhalten der Baugeräteführer einen positiven Effekt haben.

In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll, im Betrieb eine Art Energiebeauftragten zu benennen, der die Sensibilisierung der Mitarbeiter vorantreibt und Erkenntnisse bzgl. einer energieeffizienten Arbeitsgestaltung bündelt. Zudem sollte eine laufende Kontrolle der Maßnahmen erfolgen. Ebenso ist es denkbar, ganze Arbeitsgruppen zu bilden, die gemeinsam Maßnahmen für eine Steigerung der Energieeffizienz entwickeln. Hierbei ist es unbedingt erforderlich, die gewerblichen Mitarbeiter in die Teams zu integrieren.

Verhalten bei Stillstandszeiten

Die Prozessbeobachtungen zeigen, dass die Maschinen teilweise sehr hohe Stillstandszeiten aufweisen. Die Motoren der Baumaschinen laufen überwiegend. Da aber viele Prozesse auch längere Stillstandszeiten der Maschinen verlangen, wie zum Beispiel das Umschlagen der Miete, bei dem es durch den ständigen Wechsel der LKW auch zu Stillstandszeiten von durchschnittlich fünf Minuten kommt, die aber auch im Falle von schlecht geplanten Intervallen oder anderen Einflüssen sich bis zu mehreren Stunden ausdehnen können. Nach den gewonnen Erkenntnissen, kann der Anteil der Stillstandszeiten eines Baggers an der Gesamtlaufzeit mit durchschnittlich 30 % angesetzt werden.

Zwar entwickeln Maschinenbauer bereits kraftstoffeffizientere Baumaschinen, jedoch ist hier nach Aussage der Maschinenführer auf den beobachteten Baustellen noch weiterer Handlungsbedarf. Viele Erdbaugeräte besitzen eine elektronische Motorsteuerung, die sowohl die Motorleistung drosseln soll, als auch einen sogenannten Öko-Modus besitzen. Dieser reduziert automatisch die Motorleistung auf 50% (Stufe 5 der zehn Motorleistungsstufen) und ist für kurze Stillstandszeiten ausgelegt. Der Öko-Modus schränkt allerdings nach Meinung der Arbeiter die Leistung der Maschine dermaßen ein, dass kein effizientes Arbeiten mehr möglich wird und sie diese Motoreinstellung nicht wählen. Hierbei ist zu beachten, dass auch diese Handlungsweisen der Arbeiter auf Unwissenheit und ungenügende Kenntnisse zurückzuführen ist.

Die Prozessbeobachtungen zeigen jedoch, dass regelmäßig auch Standzeiten vorkommen, die über kurze Zeiträume hinausgehen. Hier ist insbesondere an das Verhalten der Baugeräteführer von Bedeutung, die für die Nutzung der Einsparpotentiale sensibilisiert werden müssen. Hier sind Schulungen der Baumaschinenführer sinnvoll. Das größte Hemmnis stellt die ständig wechselnde Belegschaft auf Baustellen dar. Dabei werden oftmals nicht komplette Kolonnen ersetzt sondern nur einzelne Mitglieder, so dass wieder eine heterogene Zusammensetzung der Arbeitsgruppe in Bezug auf geschult oder nicht geschult entsteht.

5.4.4 Weitere Optimierungspotenziale

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen konnten weitere Optimierungsmöglichkeiten identifiziert werden. Sie beziehen sich zum Einen auf die Planung und zum Anderen auf die Kalkulation.

Preisgleitklausel für Dieselkraftstoff

Bei den vorliegenden Maßnahmen wird der Kraftstoffpreis zum Zeitpunkt der Angebotskalkulation festgelegt und bleibt über die gesamte Ausführungsdauer bestehen. Für die OFA beträgt der Dieselpreis 0,95 €/l (Kalkulationszeitpunkt Februar 2010), für den Bereich der Basisabdichtung 1,00 €/l (Kalkulationszeitpunkt Oktober 2010). Während der Beobachtungszeitraum wird der Kraftstoff zu Preisen zwischen 1,19 €/l (Mai 2011) und 1,28 €/l (April 2011) angekauft. Das Unternehmen zahlt also zwischen 19 % und 33 % höhere Energiekosten, als in der ursprünglichen Kalkulation berücksichtigt wurde. Da das Risiko hier allein beim Auftragnehmer liegt, sollte dieses Ungleichgewicht mit Hilfe einer Preisgleitklausel für den Dieselkraftstoff ausgeglichen werden. Bei einem kalkulatorischen Wagnis und Gewinn-Ansatz von zwei Prozent können entsprechende Preissteigerungen dramatische Auswirkungen auf den Erfolg von Bauunternehmen haben.

Planung der Abdichtungssysteme

Zuletzt soll noch auf ein Optimierungspotential hingewiesen werden, dass letztlich nur während der Planung von Deponien beeinflusst werden kann. Es zeigt sich, dass die Abdichtungssysteme der OFA, welche mit Hilfe von GTD und KDB realisiert werden, einen deutlich geringeren Kraftstoffbedarf von jeweils $0,045 \text{ l/m}^2$ aufweisen als Dichtungssysteme die mit Hilfe einer mineralischen Dichtung erstellt werden ($0,54 \text{ l/m}^2$). Daher sollten Deponieabdichtungen, sofern die technischen Anforderungen es zulassen, mit Hilfe von Geokunststoffen hergestellt werden. Somit können die durch den Bau entstehenden CO_2 -Emissionen erheblich reduziert werden.

6 Energienutzung im Hochbau

Bearbeitet von Dipl.-Ing. Selcuk Nisancioglu, B. Sc. Tobias Osterfeld und Dipl.-Ing. (FH) Anne Christine Randel

Eine Großbaustelle vor Augen, scheinen zunächst die Baumaschinen mit ihren leistungsstarken Dieselmotoren alleiniger Produzent von Treibhausgasen zu sein. Doch neben dem Bestreben, durch verbrauchsärmere Baumaschinen Kraftstoff zu sparen und durch Partikelfilter den Ausstoß schädlicher Teilchen in den Abgasen zu minimieren, sollte auch das Einsparen elektrischer Energie nicht vernachlässigt werden. Das Bemühen, elektrische Energie zu sparen, kann in Anbetracht weiter steigender Strompreise bei Bauprojekten auch zum wirtschaftlichen Erfolg beitragen. Zu diesem Zweck ist eine Analyse notwendig, um herauszufinden, zu welcher Bauphase, wie viel Strom von welchen Verbrauchern verbraucht wird. Hierzu wurden im Rahmen des Forschungsprojektes drei Großbaumaßnahmen über die gesamte Bauzeit dokumentiert und ausgewertet. Bei den Baumaßnahmen handelt es sich um den Neubau der JVA Wuppertal, die Tanzenden Türme in Hamburg und das Neue Thier Areal Dortmund. Anhand der zuletzt genannten Baumaßnahme konnte auch die Sanierung im Rahmen des „Bauen im Bestand“ untersucht werden. Hier zeigte sich allerdings, dass die Energieverbräuche analog zur Ausbauphase einer Neubaumaßnahme auftreten. Die Untersuchungen in den folgenden Kapiteln sind in die Abschnitte Messung, Aufbereitung und Auswertung gegliedert. Hierbei liegt der Fokus der Analysen auf der Baumaßnahme Neues Thier Areal Dortmund und wird abschließend mit dem Strombedarf der zwei anderen Baustellen verglichen.



Abb. 6.1: JVA Wuppertal, Neues Thier Areal Dortmund und Tanzende Türme Hamburg¹

6.1 Referenzprojekt

Das Projekt „Neues Thier Areal Dortmund“ ist eine Einkaufsgalerie in der Dortmunder Innenstadt. Es verfügt über eine Fläche von ca. 33000 m² und soll einmal 150 Fachgeschäfte für Handel und Dienstleistung beherbergen und zusätzlich Raum für Gastronomie bereitstellen². Es liegt etwa einen halben Kilometer südlich des Dortmunder Hauptbahnhofs, umschlossen von den Straßen Westenhellweg und Martinstraße im Nord-Westen sowie Hoher Wall und Hövelstraße im Süd-Osten.

¹ Quelle: Züblin AG

² Vgl. [ECE1]

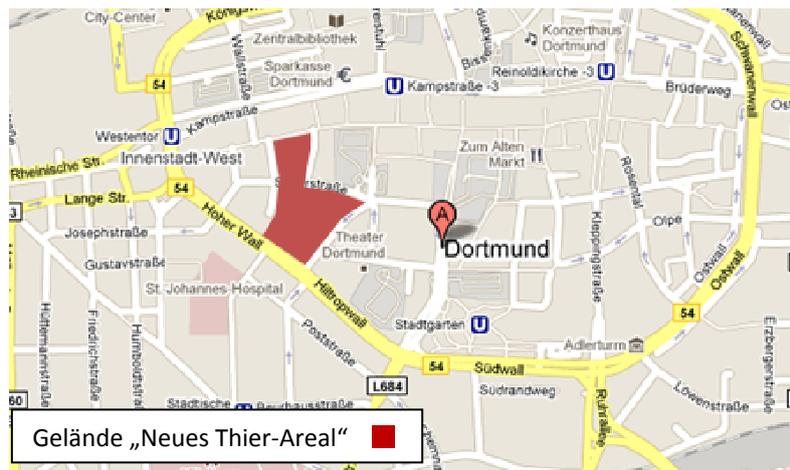


Abb. 6.2: Stadtplan Dortmund mit Gelände "Neues Thier Areal"³

Dieses Areal beinhaltet das Gelände der ehemaligen „Thier-Brauerei“, welche Namensgeber für die Galerie ist. Die Gebäude der Brauerei wurden im Zuge der Baumaßnahmen abgerissen. Auch die „Hövels Hausbrauerei“ befindet sich auf dem Gelände an der Kreuzung Hoher Wall, Hövelstraße. Diese wurde in die Galerie integriert und ist nun Teil des gastronomischen Angebotes. Ein Teil der Fassade des „Berlet Hauses“, ein traditionsreiches Dortmunder Kaufhaus, wurde ebenfalls in die neue Architektur eingegliedert. So soll gewährleistet werden, dass sich der Neubau harmonisch in seine Umgebung einfügt. Einen Wiedererkennungswert erlangt die Galerie durch das sogenannte „Haus im Haus“. Dies ist ein in sich abgeschlossener Teil des Einkaufszentrums mit dreieckförmigem Grundriss, umgeben von den Galerien des Haupthauses (s.). Kalkuliert wurde mit einem Ferneinzugsgebiet von ca. drei Mio. Einwohnern. Die Galerie mit einem Investitionsvolumen von 270 Mio. Euro wird im September 2011 eröffnet⁴.

6.2 Methodik

Im ersten Schritt werden die notwendigen Informationen definiert. Die Stromversorgung und besonders der Stromliefervertrag bilden eine wichtige Datengrundlage, da dieser Auskunft über die anfallenden Kosten pro Verbrauchseinheit gibt. Die Messung der Stromverbräuche ist der essentielle Teil. Es ist der Ausgangspunkt für alle weiteren Untersuchungsschritte. Das Bautagebuch, als Informationsquelle für alle verbrauchsrelevanten Vorgänge auf der Baustelle, liefert ebenfalls wichtige Daten zur späteren Auswertung.

6.2.1 Stromversorgung und Stromliefervertrag

Auf allen Baustellen ab einer gewissen Größe gibt es elektrische Betriebs- und Verbrauchsmittel. Die Verbrauchsmittel wandeln die elektrische Energie in Wärme, Licht, oder mechanische Energie um. Als Betriebsmittel bezeichnet man Generatoren, Transformatoren, Leitungen usw., die dem Gebrauch dieser Energie dienen⁵. In unserem Fall gibt es zwei Transformatoren (Trafo 15 und Trafo 20), die als Speisepunkt fungieren. Ein Speisepunkt ist die

³ Quelle: google maps 2011

⁴ Vgl. [ECE1]

⁵ Vgl. [ElBau79], S.21

Schnittstelle zwischen der Stromquelle, also dem Verteilernetz des Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmens (EVU), und der Baustellenanlage⁶. Das EVU in Dortmund ist die Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH (DEW21). Auch die klassischen Baustromverteiler sind Speisepunkte. Hier sind sie jedoch nicht die direkte Schnittstelle zur Stromquelle, sondern sind an die Transformatoren angeschlossen. Im unteren Schema sind als Beispiel für elektrische Verbrauchsmittel die Krane auf der Baustelle angedeutet. Ob diese nun direkt an die Transformatoren oder über die Baustromverteiler an diese angeschlossen sind, spielt nur eine untergeordnete Rolle. Dies gilt prinzipiell für alle Verbrauchsmittel, da der Stromverbrauch über die Transformatoren ermittelt wird. Es gilt also nur zu untersuchen, welche Verbraucher über welchen Transformator ihre Energie beziehen. Das Verwaltungsgebäude wird separat betrachtet, da es selbst an das Verteilernetz angeschlossen ist. Die numerische Bezeichnung der Krane und Baufelder, sowie deren Lage ist authentisch zur Baustellensituation. Auch die Anbindung an die Transformatoren wurde wie dargestellt auf der Baustelle gewählt. So kann über die Zuordnung der Baufelder und Krane zu den Transformatoren auch eine Zuordnung der energieverbrauchenden Prozesse innerhalb der Baufelder zu den Verbrauchsdaten der Transformatoren stattfinden.

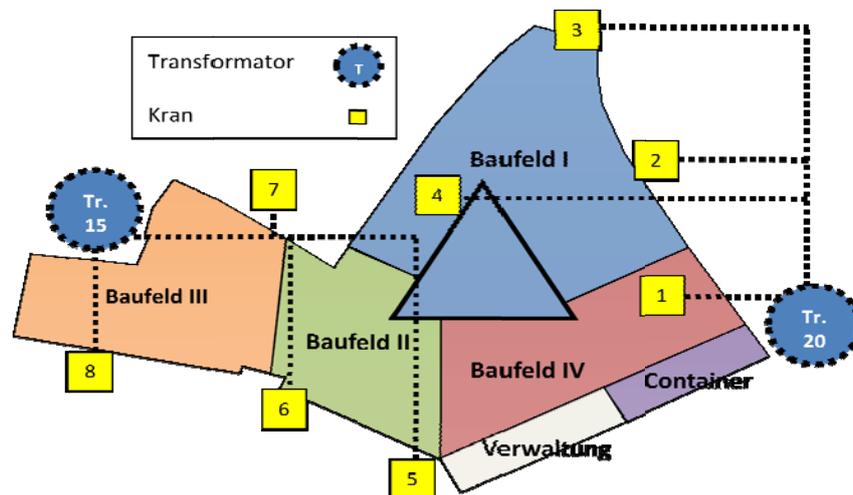


Abb. 6.3: Schematische Darstellung des Stromnetzes

Das Entgelt für die Stromlieferung aus dem Niederspannungsnetz, errechnet sich pro Verbrauchsstelle über die gemessene Leistung mal Zeiteinheit und Verbrauchspreis sowie weiteren Gebühren. In Dortmund gibt es insgesamt drei Verbrauchsstellen, zwei Trafos und das Verwaltungsgebäude. Das Entgelt setzt sich wie folgt zusammen:

- Grundpreis je Verbrauchsstelle und Monat [€/Monat]
- Verbrauchspreis für gelieferte elektrische Wirkarbeit [ct/kWh]
- Blindarbeitspreis für gelieferte kapazitative Blindarbeit [ct/kvarh]
- KWKG-Aufschlag und EEG-Umlage [ct/kWh]
- Strom- und Umsatzsteuer [ct/kWh] bzw. 19,0 %

⁶ Vgl. [ElBau79], S.25

6.2.2 Messungen der Stromverbräuche

Nach den Stromlieferbedingungen für Sondervertragskunden der DEW21 wird die gelieferte Elektrizität durch geeichte Messeinrichtungen gemäß §21b des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) festgestellt. Im Allgemeinen erhält der Stromlieferant die Ablesedaten für seine Abrechnung vom Netzbetreiber oder Messstellenbetreiber. Die Ablesung soll zum Zwecke der Kontrolle vom Anbieter wie auch vom Kunden vor Ort an der Verbrauchsstelle vorgenommen werden können. Im Regelfall übermittelt jedoch eine elektronische Messeinrichtung in einem festgelegten Zeitintervall kontinuierlich die Ablesedaten, welche auch als Lastgangdaten bezeichnet werden. Bei den untersuchten Messungen werden viertelstündlich die Ergebnisse der Leistungsmessung übermittelt. Das Ergebnis in Watt bzw. Kilowatt gibt also an, wie viel elektrische Arbeit in 15 Min. geleistet wurde. Mit den vorhandenen Daten lassen sich nicht nur die Stromverbräuche analysieren, sondern auch die vorhandenen Leistungsspitzen. Ziel sollte es immer sein, diese zu minimieren bzw. einen gleichmäßigen Lastgang zu erreichen. Hohe Leistungs- oder Lastspitzen bedeuten eine hohe Belastung des Netzes und damit auch höhere Preise für den Verbraucher.

6.2.3 Darstellung des Stromverbrauchs

In Anbetracht der Dauer einer Baumaßnahme dieser Größenordnung von knapp zwei Jahren ergibt sich eine große Datenmenge. Die Zeitreihe der Stromverbrauchsdaten wird als Berechnungsgrundlage herangezogen, ist jedoch selbst für das Erkennen einer Entwicklung oder herausstechender Werte ungeeignet. Daher wird der Stromverbrauch graphisch über die Zeit aufgetragen. Diese Darstellung wird als Tagesganglinie bezeichnet. Der Verlauf des Graphen ermöglicht eine schnelle Aussage über Perioden mit niedrigen oder hohen Verbräuchen der jeweiligen Verbrauchsstelle. Auch eventuelle Maxima oder Minima können so schnell identifiziert werden.

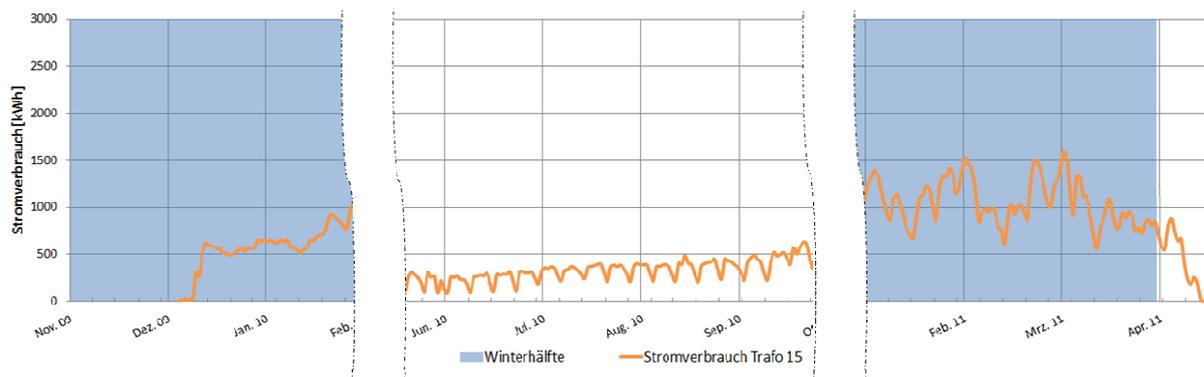


Abb. 6.4: Tagesganglinie für Trafo 15

6.2.4 Berichtswesen auf der Baustelle

Die Erfassung aller verbrauchsrelevanten Faktoren auf der Baustelle ist von wesentlicher Bedeutung. Das Baustellenberichtswesen dient dem innerbetrieblichen Informationsaustausch. Dabei geht es um Informationen, die von der Baustelle für die Unternehmung bereitgestellt werden. Es handelt sich im Wesentlichen um Ist-Daten, die mit den vorgegebenen Soll-Daten verglichen werden können. Dazu zählen die Tagesberichte mit Stunden- und Leistungsnachweisen für Personal und Geräte, die Beschreibung der Witterungsverhältnisse

sowie Materiallieferungen, oder die Anzeige von Behinderungen. Nach Möglichkeit soll so ein lückenloses Bild des Ist-Geschehens auf der Baustelle entstehen.⁷ Allerdings wird in der Praxis das Berichtswesen oft nicht so lückenlos geführt, wie es für eine detaillierte Analyse erforderlich ist.

6.2.5 Mögliche Einflussfaktoren

Ohne bereits näher auf die gewonnenen Kennwerte wie Stromkosten oder Verlauf des Stromverbrauches einzugehen, wird die Zeitreihe der Verbräuche durch weitere tagestypische Daten ergänzt. Zu allererst sind das die Werte der mittleren Tagestemperatur. Sind die Angaben bezüglich der Temperatur und Witterungsverhältnisse aus dem Baustellenberichtswesen unvollständig können über Internetportale die erforderlichen Daten bezogen werden. Eine mögliche Abhängigkeit des Stromverbrauches von der Temperatur wird erwartungsgemäß nicht derart stark sein, dass eine Veränderung über wenige Grad Celsius eine merkliche Entwicklung des Verbrauchs in die korrespondierende Richtung bewirkt. Sollte ein Einfluss der Temperatur auf den Stromverbrauch bestehen, so wird dieser in einem längeren Zeitintervall zu erkennen sein. Die Temperaturentwicklung stellt ein Maß für die witterungsbedingte Abhängigkeit des Stromverbrauches dar.

Neben diesem äußeren Einfluss auf die Nutzung von Verbrauchern gibt es innere steuerbare Faktoren. Dazu zählt vor allem die Verbrauchsintensität auszuführender Arbeiten die wiederum von mehreren Faktoren abhängig ist. Um zunächst eine Orientierung über die aktuelle Bauphase und damit über die Art der anstehenden Arbeiten zu schaffen ist es zweckmäßig einen vereinfachten Bauablaufplan in das Datenblatt einzuarbeiten. Dies geschieht ebenfalls in der Tabelle der Verbrauchsdaten mit einer Markierung der spezifischen Bauphasen sowie in Form eines Balkendiagramms zum Vergleich mit den Tagesganglinien. Zunächst geht es darum zu erkennen, ob eine Bauphase mit den ihr zugeordneten Stromverbräuchen hervorsticht. Im Wesentlichen zeigt der eingearbeitete Bauablaufplan den Beginn und das Ende der Bauphase Rohbau für die einzelnen Baufelder und deren Baufortschritt von der Gründung bis zu den Obergeschossen sowie den Beginn und das Ende der Ausbauphase. So wie die Darstellung der auszuführenden Arbeiten kann auch der Einsatz besonders verbrauchsintensiver Baugeräte über einen abgegrenzten Zeitraum hervorgehoben werden.

6.3 Auswertung und Analyse

6.3.1 Beschreibung und Vergleich der Tagesganglinien

Die rein qualitative Beschreibung der Tagesganglinien entspricht dem ersten Schritt der Auswertung. Sie dient dem groben Vergleich der drei Verbrauchsstellen, dem Erkennen des normalen, sich wiederholenden Verbrauchprofils sowie zur Erfassung auffälliger Abweichungen gegenüber dem gewöhnlichen Gang. Die Aufzeichnung der Daten beginnt am 9.11.2009 mit der Verbrauchsstelle Verwaltungsgebäude. Es folgt Trafo 20 am 13.11. und Trafo 15 am 11.12.2009. Das Verwaltungsgebäude stellt mit seinen vergleichsweise geringen Verbräuchen eine Ausnahme dar und wird daher separat beschrieben. Die Verläufe der Graphen der beiden Trafos hingegen ähneln sich sowohl in langen Perioden, als auch in speziellen kurzen

⁷ Vgl. [BBAZ07], S. 65

Zeitintervallen. Zur besseren Gegenüberstellung wird für alle Graphen Sonntag, der 8.11.2009, als minimaler Wert auf der X-Achse gewählt. Das Hauptintervall entspricht sieben Tagen, also von Sonntag bis Sonntag. Die Aufzeichnungen enden für alle Verbrauchsstellen am 15.04.2011. Dieses Datum markiert nicht das Ende der Bautätigkeit und damit das Ende des Stromverbrauches. Jedoch wurde zu diesem Zeitpunkt eine Umstellung der Speisepunkte vorgenommen, sodass Verbrauchsdaten für die Trafos lediglich bis zu diesem Termin vorliegen. Die Betrachtung wird daher auf den oben beschriebenen Zeitraum begrenzt. In großen Teilen ist ein zinnenartiger Verlauf zu erkennen. Dieser entspricht einem nahezu konstanten werktäglichen Verbrauch und einem Rückgang am arbeitsfreien Sonntag. Diesem Schema folgt Trafo 15 in den ersten sechs Wochen der Aufzeichnung zunächst nicht. Für beide Trafos gilt es jedoch ca. ab Januar 2010 bis Mitte November des gleichen Jahres. Neben der Ähnlichkeit der Tagesganglinien ist qualitativ zu erkennen, dass der Verbrauch von Trafo 20 über dem Doppelten des Verbrauches von Trafo 15 liegt. Ab dem Ende des 3. Quartals 2010 ist ein deutlicher Anstieg des Verbrauchs auszumachen. Der Verlauf speziell des Trafos 20 ist nicht mehr näherungsweise konstant über die Woche. Einzelne tägliche Verbrauchsspitzen geben dem Verbrauchsgraphen eine zackenartige Gestalt. Gut zu erkennen ist für beide Verbrauchsstellen, dass sich ihre Maxima in den letzten fünf Wochen des Jahres 2010 befinden. Im Jahr 2011 bleibt der Verbrauch auf einem höheren Niveau als in den vorangegangenen Monaten.

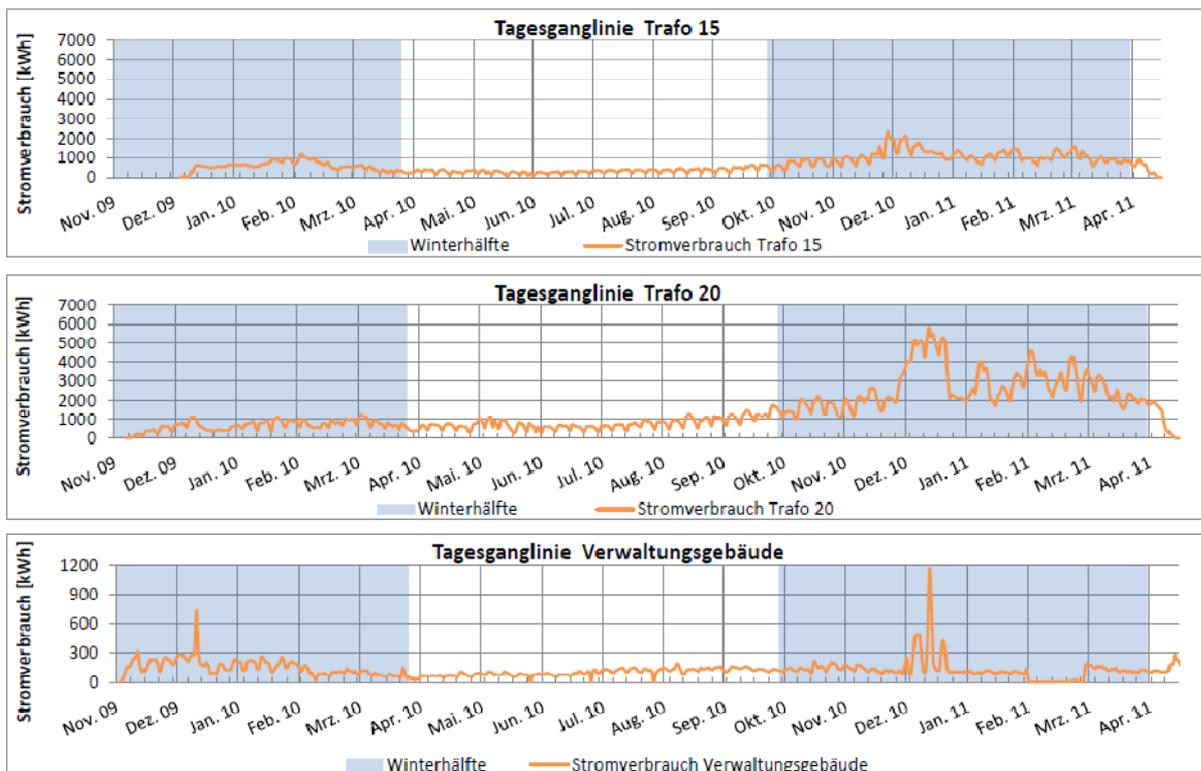


Abb. 6.5: Überblick der Tagesganglinien aller Messpunkte

Die Tagesganglinie des Verwaltungsgebäudes zeigt derweil eine andere Charakteristik. Der Verbrauch bleibt weitestgehend konstant mit einem etwas höheren Niveau in den Wintermonaten. Der geringere sonntägliche Verbrauch ist weniger ausgeprägt, als bei den zuvor beschriebenen Verbrauchsstellen. Einzelne Datenpunkte jeweils Mitte Dezember der Jahre

2009 und 2010 stechen besonders hervor. Hier ist der Verbrauch an einzelnen Tagen um ein Vielfaches erhöht. Eine weitere Auffälligkeit zeigt sich im Februar des Jahres 2011. Der Verbrauch sinkt auf ein Minimum und bleibt nahezu konstant auf diesem Niveau bis Anfang März des gleichen Jahres.

6.3.2 Kennwerte und maßgebliche Erkenntnisse

Kennwertbildung

Die qualitative Beschreibung wird nun zahlenmäßig erfasst. Zur Bildung von Kennwerten werden die Möglichkeiten des Tabellenkalkulationsprogramms genutzt, Datenreihen analytisch zu verarbeiten. Die gebildeten Werte Formen die eigentliche Grundlage für eine Analyse und Auswertung, da sie mit anderen ähnlichen Werten verglichen und bewertet werden können. Nachfolgend werden Kennwerte sowohl für die einzelnen Verbrauchsstellen, als auch für die gesamte Baustelle erzeugt. Dies ermöglicht es, die Zusammensetzung des gesamten Verbrauches zu erfassen und die Werte der gesamten Baumaßnahme als Vergleichswert für andere Projekte heranzuziehen.

	Trafo 15	Trafo 20	Verwaltungsgebäude	Gesamt
Durchschnittlicher täglicher Verbrauch [kWh/d]	664	1407	130	2.149
Durschnittliche tägliche Kosten [€/d]	108,-	209,-	25,-	334,-
Durchschnittlicher monatlicher Verbrauch [kWh/M]	19.168	40.581	3.915	62.600
Durchschnittliche monatliche Kosten [€/M]	3.128,-	6.517,-	860,-	10.331,-

Abb. 6.6: Durchschnittsverbauch und -kosten

Die Durchschnittswerte bestätigen die qualitativen Beobachtungen bezüglich der Verhältnisse untereinander. So ist der Verbrauch von Trafo 20 in etwa doppelt so hoch wie der Verbrauch des Trafos 15, wohingegen das Verwaltungsgebäude etwa ein Viertel der Menge dieses Einspeisepunktes verbraucht.

Der gesamte durchschnittliche tägliche Verbrauch entspricht nicht der Addition der drei Einzelwerte. Er entstammt aus dem Datenblatt mit den aufaddierten täglichen Verbrauchswerten und berücksichtigt nicht den unterschiedlichen Beginn der Aufzeichnung der Verbrauchsstellen. Alle Verbrauchsstellen werden auf die gleiche Beobachtungsperiode normiert, sodass genau genommen besonders die Anteile des Trafos 15 aufgrund der verlängerten Periode zu klein werden. Gleiches gilt auch für die gesamten durchschnittlichen Monatswerte. Trotzdem wird diese Art der Darstellung gewählt, da auf diese Weise die gesamte Baustelle als einzelne Verbrauchsstelle verstanden und untersucht wird. Der Unterschied der so ermittelten Gesamtwerte gegenüber der einfachen Addition der Einzelwerte beträgt weniger als 2,5 %. Die durchschnittlichen monatlichen Kosten ergeben sich aus dem Mittelwert der tatsächlichen Bruttokosten je Monat. Die durchschnittlichen täglichen Kosten werden mit dem Bruttostrompreis pro Kilowattstunde ermittelt, der sich mittels Division der jeweiligen Gesamtkosten und den Gesamtverbräuchen berechnen lässt. Für die einzelnen Speisepunkte ergeben sich für die Bruttostrompreise unterschiedliche Werte, da zum einen für die

Trafos und das Verwaltungsgebäude unterschiedliche Tarife veranschlagt werden und zum anderen die Gesamtkosten durch den Anteil an verbrauchtem Blindstrom variieren. Die gemittelten monatlichen Kosten können ebenso aus den Rechnungen des EVU ermittelt werden. Die selbsttätig berechneten Werte liefern jedoch zum einen ein Kontrollinstrument und können zum anderen als unternehmensspezifischer Kalkulationsfaktor in den Arbeitsbereich der Vorplanung integriert werden.

Temperatureinfluss

Das Bilden von Mittelwerten ist insofern hilfreich, da es eine Prognose ermöglicht. Es können bspw. die Stromkosten einer kommenden Periode grob abgeschätzt oder als Zielwert zur Unterschreitung in ein Management-System einbezogen werden. undefiniert bleiben jedoch die Perioden mit vom Durchschnitt abweichenden Verbräuchen und die Gründe dafür. Die bloße Betrachtung eindimensionaler Absolutwerte ist also nicht ausreichend, um die Verbrauchsursachen zu erkennen. Der Verlauf der mittleren Temperatur als möglicher Einflussfaktor über die Zeit wird hier daher näher betrachtet. In der qualitativen Beschreibung wurde bereits erwähnt, dass es Perioden mit größeren und kleineren Verbrauchswerten gibt. Dies wird deutlich bei der Betrachtung der Tagesganglinie von Trafo 20, der ab November 2010 Verbräuche deutlich über den Durchschnittswerten aufweist. Gleiches gilt für Trafo 15, der diese Auffälligkeit ebenfalls in den Wintermonaten zu Beginn der Aufzeichnung zeigt. Betrachtet man die Graphen des Temperaturverlaufes und des gesamten Stromverbrauches ist qualitativ ein Zusammenhang erkennbar. Dieser bestätigt die Vermutung, dass bei sinkenden Temperaturen der Stromverbrauch ansteigt. Die Unterstellung einer direkten linearen Beziehung der beiden Größen, die durch eine Korrelationsrechnung bestätigt werden könnte, ist aufgrund der häufigen Abweichungen der Verläufe von ihren statistischen Mitteln nicht zweckmäßig. Darüber hinaus ist die Temperatur nicht der einzige Einflussfaktor auf den Stromverbrauch, sodass der statistisch belegte kausale Zusammenhang ein falsches Bild vermitteln würde. Ein direkter Vergleich der beiden Ganglinien in einem Graphen und insbesondere derer Trendlinien verdeutlicht die antizyklische Beziehung der beiden Größen hinreichend.

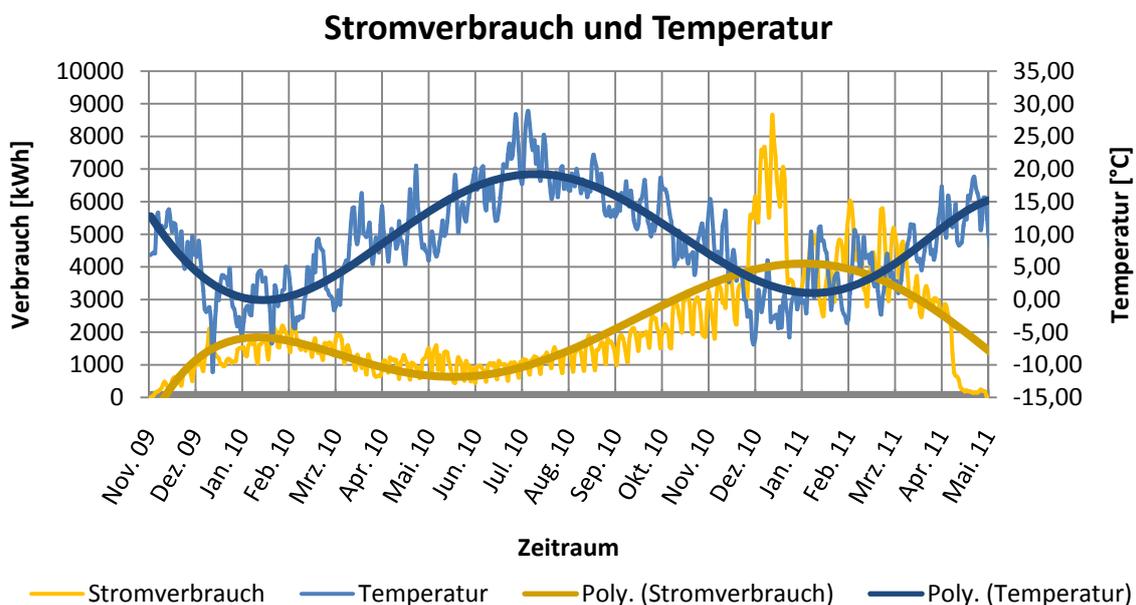


Abb. 6.7: Antizyklischer Zusammenhang von Stromverbrauch und Temperatur

Um die Beziehung der beiden Größen näherungsweise zu quantifizieren, werden für die gesamte Baustelle jahreszeitliche Mittelwerte gebildet. Dazu wird das Jahr in eine Sommer- und eine Winterhälfte geteilt. Die Sommerhälfte entspricht dem Zeitraum von Anfang April bis Ende September. Die übrigen Monate bilden die Winterhälfte oder auch Heizperiode.

Sommerhälfte 2010		Winterhälfte 2010	
durchn. Temperatur [°C]	durchn. tägl. Verbrauch [kWh/d]	durchn. Temperatur [°C]	durchn. tägl. Verbrauch [kWh/d]
15,4	1189	4,4	2557

Abb. 6.8: Durchschn. Tagestemperatur und –verbrauch in unterschiedlichen Jahreshälften

Diese Gegenüberstellung verdeutlicht den Zusammenhang von Jahreszeit und Stromverbrauch. In der Winterhälfte mit einer durchschnittlichen Temperatur von unter 5,0 °C ist der Verbrauch mehr als doppelt so hoch wie in der Sommerhälfte. In dieser liegt die durchschnittliche Temperatur mit etwa 15,0 °C dreimal höher als in der Winterhälfte. Ob der jahreszeitliche Zusammenhang jedoch ausschließlich temperaturbedingt ist, kann nur durch die Identifizierung von Verbrauchern geschehen, die vermehrt aufgrund der niedrigen Temperaturen eingesetzt werden und letztlich zu einem erhöhten Stromverbrauch führen. Dies können z.B. elektrisch betriebene Heizeinrichtungen in den Unterkunftsräumen oder Heizlüfter auf der Baustelle sein. Eine Antwort darauf gibt das Berichtswesen des Projektes.

Einfluss des Baufortschrittes und der Arbeitsgeräte

Im Dezember 2010 gab es einen erhöhten Einsatz von Heizlüftern auf der Baustelle. In diesem Monat lag die Durchschnittstemperatur mit -1,4 °C unter dem Gefrierpunkt und der entsprechende Verbrauch bei 5756 kWh. Dies bestätigt den indirekten Zusammenhang zwischen Temperatur und Stromverbrauch. Um für spezielle Arbeiten, besonders mit hydraulischen Bindemitteln, die notwendigen Temperaturen zu schaffen müssen die für das Heizen notwendigen Voraussetzungen gegeben sein. Der Rohbau war Ende 2010 in großen Teilen soweit abgeschlossen, dass genügend umbauter Raum zur Verfügung stand, der beheizt werden konnte. Gleichzeitig bestand durch die vermehrt in Erscheinung tretenden Ausbaugewerke der Bedarf, höhere Temperaturen zu erzeugen. Der gestiegene Verbrauch durch die Nutzung von Heizgeräten ist also ebenfalls auf den Baufortschritt zurückzuführen. Um diesen Zusammenhang zu erkennen, erweist sich die bereits erwähnte Darstellung der Bauphasen in einem vereinfachten Balkenplan als zweckmäßig.

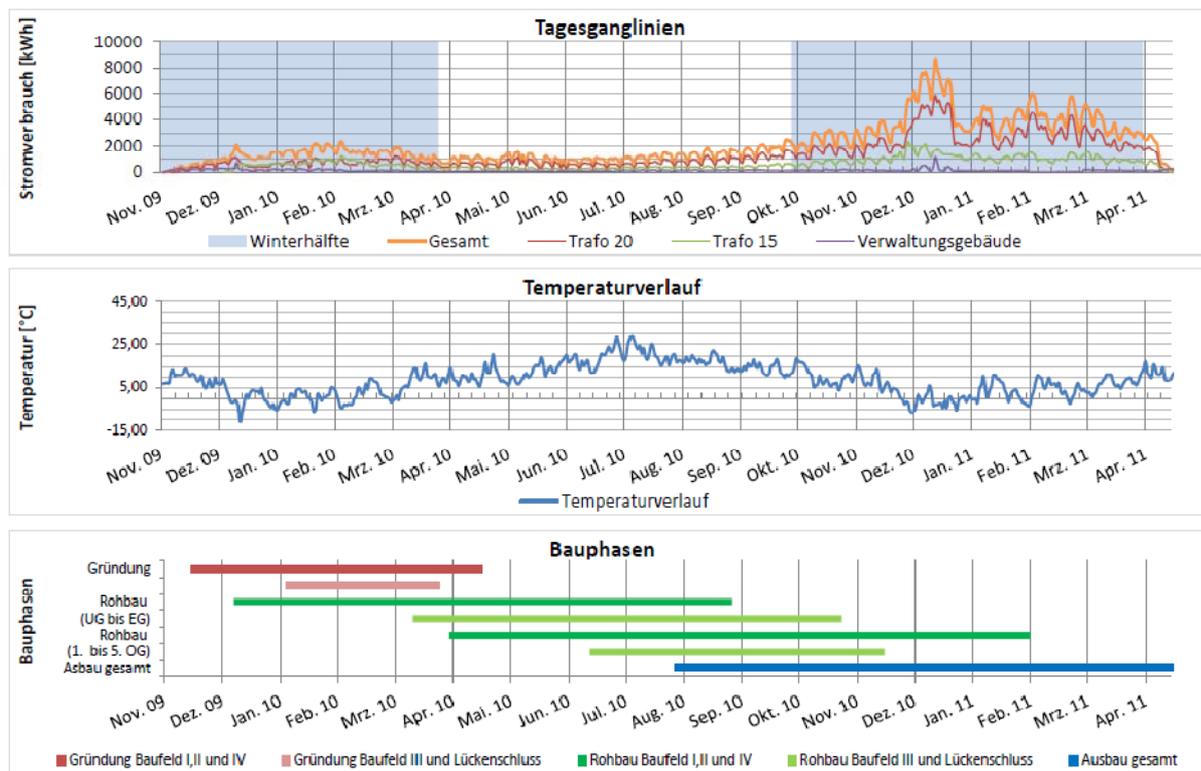


Abb. 6.9: Einfluss der Bauphasen und der Temperatur auf den Gesamtstromverbrauch

Der bisher untersuchte Einfluss auf den Stromverbrauch konnte mit dem Einsatz energieintensiver Geräte der Baustelleneinrichtung nachvollzogen werden. Nach wie vor unbekannt ist dahingegen der Einfluss der elektrisch betriebenen Arbeitsgeräte, wie Hebezeuge oder Kleinmaschinen. Zu diesem Zweck werden die Verbräuche in den Tages- und Nachtzeiten bzw. dem HT und NT näher beleuchtet. Für einen Monat wird nun durchschnittlich der Anteil am verbrauchten Strom im Nebentarif zum gesamten mittleren monatlichen Verbrauch bestimmt.

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

Abb. 6.10: Ermittlung des anteilmäßigen Stromverbrauches im NT

Der Anteil des im NT verbrauchten Stroms am gesamten Stromverbrauch liegt in etwa bei 29,0 %. Die Schaltzeit des NTs von 22:00 bis 06:00 Uhr entspricht einem Drittel Tag. In 33,3 % der vorhandenen Tagesstunden werden demnach mindestens 29,0 % des Tagesbedarfs ver-

braucht. Der Stromverbrauch im NT liegt nur 4,0 % unterhalb des Verbrauches im HT, der auch die gewöhnliche Kernarbeitszeit beinhaltet. Dies lässt vermuten, dass die zusätzlichen stromverbrauchenden Prozesse während der Arbeitszeit einen verhältnismäßig geringen Einfluss auf den gesamten Stromverbrauch haben.

Die Kernarbeitszeit (KAZ) wird hier von 07:00 bis 16:00 definiert. Die übrigen Stunden des Tages entsprechen der arbeitsfreien Zeit (AFZ). Die Mittelwerte der sich einstellenden Verbräuche werden auf ihre Dauer bezogen. Somit ergibt sich der durchschnittliche Stundenverbrauch in der KAZ und in der AFZ.

Durchschn. Stundenverbräuche je Tagesperiode [kWh]	Trafo 15	Trafo 20	Verwaltungsgebäude
Gesamter Tag	27,7	58,6	3,13
KAZ	31,4	66,4	4,54
AFZ	25,4	54,0	2,28
Anstieg des Stundenverbrauchs in der KAZ gegenüber der AFZ	23,8 %	23,1 %	98,8 %

Abb. 6.11: Durchschnittliche Stundenverbräuche je Tagesperiode

Wie sich zeigt ist der Verbrauch, gemessen an den Trafos, in der Arbeitszeit nur etwa ein Viertel größer als in den arbeitsfreien Tag- und Nachtstunden. Demgegenüber steht die Auswertung für das Verwaltungsgebäude, das von den eigentlichen Bauprozessen des Neubaus entkoppelt ist und mit der Beherrschung der Bauleitung eher als Bürobetrieb beschrieben werden kann. Hinzu kommen Baumaßnahmen im Bestand. Hier beträgt der Anstieg des Stromverbrauches während der Arbeitszeit fast 100,0 %. Dies bekräftigt die Vermutung, dass die eigentlichen Arbeitsprozesse der Baustelle einen geringeren Einfluss auf den Stromverbrauch, haben als sich erwarten lässt. Entscheidend sind die Verbraucher, die Tag und Nacht elektrische Energie nutzen. Auf der Baustelle sind dies vor allem die Beleuchtungseinrichtungen.

Diese Erkenntnis erlaubt es, die Überlegungen zu einer Energieeffizienzsteigerung und damit einer Verbrauchreduzierung weitestgehend auf eben diese Verbraucher zu fokussieren. Sofern der Anteil des Verbrauchs im NT weiterhin um die 30,0 % liegt und der Anstieg in der KAZ 50,0 % nicht übersteigt, können die Verbräuche der Baumaschinen und -Geräte, die nur tagsüber elektrische Energie beziehen und verbrauchen, vernachlässigt werden. Entscheidend ist die Energieeffizienz der Baustelleneinrichtung (BE), wie Heizanlagen und Beleuchtung.

Ein weiteres Indiz für diese Hypothese liefern die Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) in deren Auftrag der Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der Technischen Universität München und das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI) im Jahr 2008 Anwendungsbilanzen des Stromverbrauches für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und das verarbeitende Gewerbe der Industrie erstellt haben. Die Ergebnisse werden in Abb. 6.12 dargestellt.

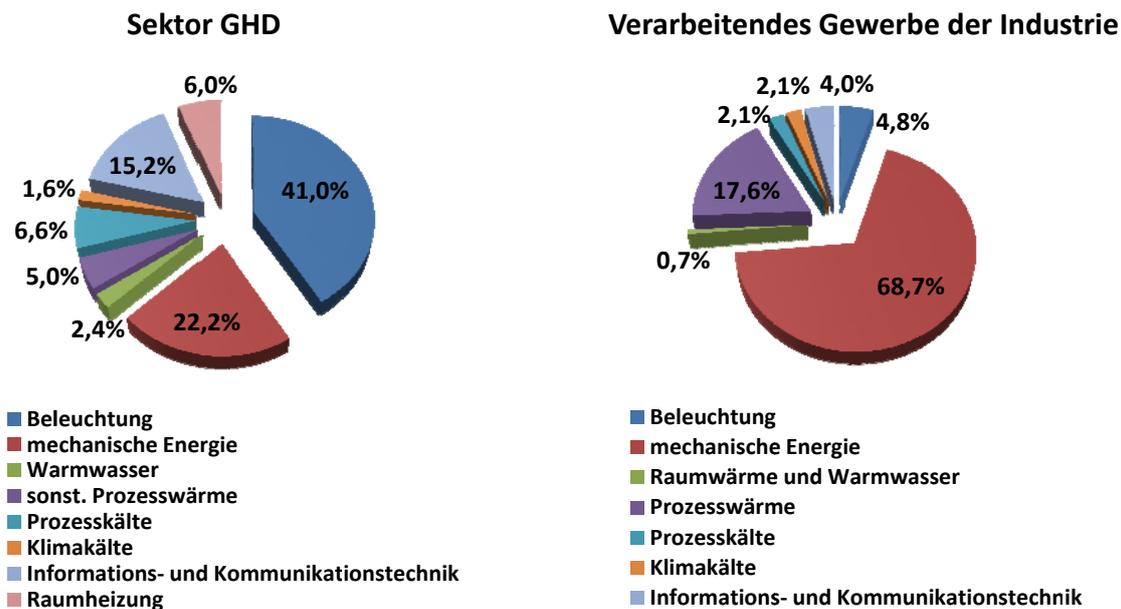


Abb. 6.12: Stromanteile nach Anwendungsbereichen 2008⁸⁹

In dieser Gegenüberstellung wird ersichtlich, dass im Sektor GHD, zu dem das Baugewerbe gezählt wird, die Anteile besonders für Beleuchtung und Informations- und Kommunikationstechnik mit über 50,0 % vergleichsweise hoch sind. In Anbetracht der Tatsache, dass der hier ausgewiesene Anteil für mechanische Energie über 20,0 % ausmacht, der auf der Baustelle weitestgehend von Kraftstoffen gedeckt wird, ist davon auszugehen, dass der Anteil anderer Anwendungsbereiche bspw. für die Raumheizung im Baugewerbe noch deutlich höher einzuschätzen ist. Die übrigen Anteile dieser speziellen Branche können ebenfalls nicht mit den Werten des gesamten Sektors gleichgesetzt werden. Trotzdem unterstützt der Trend zur geringeren Bedeutung der Prozessenergie im Sektor des Baugewerbes die Behauptung, dass der Stromverbrauch auf der Baustelle weniger von den Arbeitsprozessen selbst abhängig ist.

6.3.3 Verifizierung der Kennwerte durch Vergleichsprojekte

Um die gewonnenen Kenntnisse zu überprüfen, werden die Kennwerte des Projektes „Neues Thier-Areal Dortmund“ mit weiteren Projekten verglichen. Es liegen Daten zweier weiterer Hochbaustellen vor, die in gleicher Weise wie zuvor beschrieben verarbeitet und ausgewertet werden. Dies ist die Baustelle der Justizvollzugsanstalt (JVA) in Wuppertal-Ronsdorf sowie das Projekt „Tanzende Türme“ in Hamburg-St. Pauli. Ohne detailliert auf die Besonderheiten und Unterschiede der Projekte einzugehen werden hier die ermittelten Kennwerte vergleichend dargestellt.

⁸ Vgl. [AGEB1]

⁹ Vgl. [AGEB2]

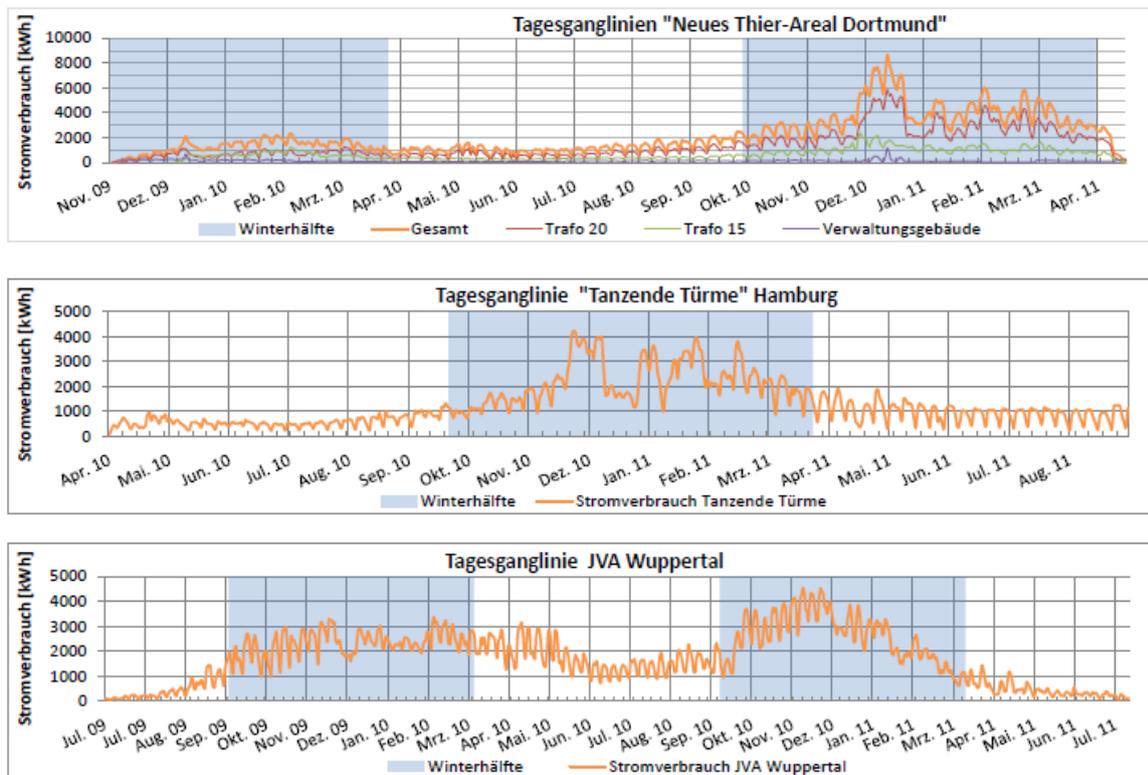


Abb. 6.13: Vergleich der Tagesganglinien aller untersuchten Projekte

Projekt	Sommerhälfte 2010		Winterhälfte 2010	
	durchn. Temperatur [°C]	durchn. tägl. Verbrauch [kWh/d]	durchn. Temperatur [°C]	durchn. tägl. Verbrauch [kWh/d]
Neues Thier-Areal Dortmund	15,4	1189	4,4	2557
Tanzende Türme Hamburg	14,9	580	3,0	2180
JVA Wuppertal	16,3	1024	5,0	2468

Abb. 6.14: Vergleich der jahreszeitenabhängigen Verbrauchswerte

	Neues Thier-Areal Dortmund	Tanzende Türme Hamburg	JVA Wuppertal
Durchschnittlicher monatlicher Verbrauch [kWh/M]	62.600	39.827	55.779
Durchschnittlicher monatlicher Verbrauch im HT [kWh/M]	44.339	29.459	40.447
Durchschnittlicher monatlicher Verbrauch im NT [kWh/M]	18.260	10.368	15.332
Anteil des Verbrauchs im NT zum gesamten Verbrauch	29,2 %	26,0%	27,5%

Abb. 6.15: Vergleich der Verbrauchsanteile im NT

Durchschn. Stundenverbräuche je Tagesperiode [kWh]	Trafo 15	Trafo 20	Tanzende Türme Hamburg	JVA Wuppertal
Gesamter Tag	27,7	58,6	52,4	71,5
KAZ	31,4	66,4	67,6	83,3
AFZ	25,4	54,0	43,3	64,3
Anstieg des Stundenverbrauchs in der KAZ gegenüber der AFZ	23,8 %	23,1 %	56,3 %	29,5 %

Abb. 6.16: Vergleich des Anstieges in der KAZ

Es zeigt sich, dass die zuvor beschriebenen Zusammenhänge weitestgehend bestätigt werden. Die geringe Durchschnittstemperatur in der Winterhälfte steht stets in Zusammenhang mit einem erhöhten Stromverbrauch (s. Abb. 6.14). Der Einfluss der Faktoren Temperatur und Baufortschritt kann durch die Auswertung der Vergleichsprojekte konkretisiert werden. Die Projekte beginnen in unterschiedlichen Monaten. Hier zeigt sich der jahreszeitliche Einfluss durch die größeren Verbräuche bei Beginn der Baumaßnahme im Winter verglichen mit den Verbräuchen bei Baubeginn im Sommer. Der Baufortschritt bzw. die Bauphase als Einflussfaktor auf den Stromverbrauch bleibt zudem bestehen. Deutlich wird dies bei dem Vergleich aufeinanderfolgender Winterphasen mit erhöhten Verbräuchen einer Baumaßnahme. Bei der Tagesganglinie der JVA ist zu erkennen, dass in der zweiten Kälteperiode Ende 2010 bis Anfang 2011 bei sogar mildereren Temperaturen als in den Wintermonaten 2009 bis 2010 der Stromverbrauch dennoch größer ist. Dies hat mit der weitestgehend abgeschlossenen Rohbauphase und der bereits begonnenen Ausbauphase bzw. den damit in Verbindung stehenden Faktoren zu tun, die im vorhergehenden Abschnitt zusammengefasst wurden.

Der Verbrauchsanteil im NT liegt bei den Vergleichsprojekten etwas unter dem für Dortmund ermittelten Wert (s. Abb. 6.15). Besonders für die Baustelle in Hamburg bedeutet dies auch einen größeren Stromverbrauchszuwachs in der KAZ (s. Abb. 6.16). Der Einfluss der am Tag ausgeführten Arbeitsprozesse ist demnach höher einzuschätzen. Trotzdem macht er nachwievor nicht den dominierenden Anteil aus. Die Verbraucher der Baustelleneinrichtung, die permanent über den gesamten Tag elektrische Energie benötigen, machen also auch bei diesen Projekten den maßgeblichen Anteil aus.

6.3.4 Analyse außergewöhnlicher Verbräuche

Neben der Gesamtbetrachtung mit Durchschnittswerten, ist bei Auffälligkeiten, wie außergewöhnlichen Maxima in den Tagesganglinien, auch eine Betrachtung der Stundenganglinie sinnvoll. Besonders hohe Verbräuche an einzelnen Tagen implizieren eine temporär hohe Belastung für das Stromnetz. Solche Leistungsauslässe ziehen erhöhte Kosten für den Bezieher nach sich und sind daher zu vermeiden.

Auffällige Verbrauchsspitzen können insbesondere bei der Ganglinie des Verwaltungsgebäudes ausgemacht werden. Die vergleichsweise konstanten, sehr viel kleineren Verbrauchswerte vor und nach den Maxima lassen nicht auf einen kontinuierlichen, jahreszeitlich bedingten Anstieg schließen. Da sich diese Auslässe auf einzelne Tage beschränken, ist es zweckmäßig, sie in einem separaten Graphen Stundenweise aufzutragen. So kann ggf. beantwortet werden, ob sich die großen Verbräuche auf eine bestimmte Tageszeit reduzieren. Dies wiederum ermöglicht es, die verantwortlichen Verbraucher auszumachen, sofern im

Berichtswesen entsprechende Informationen zu finden sind. Insbesondere die Stundenganglinie vom 16.12. bis zum 18.12.2009 lässt erkennen, dass sich die Verbrauchsspitzen auf wenige Stunden reduzieren. Nach intensiver Recherche ließ sich im Nachhinein nicht aufklären, was die Ursache für die auffälligen Verbrauchsspitzen jeweils im Monat Dezember war. Die Tatsache, dass das Verwaltungsgebäude hauptsächlich die Bauleitung und andere Verwaltungen der am Bau Beteiligten beherbergt und als mögliche Stromverbraucher in erster Linie Einrichtungen der Informations- und Kommunikationstechnik sowie die Beleuchtung in Frage kommen, spricht ebenfalls gegen die Plausibilität dieser Messwerte. Bringen die Nachforschungen keine Erkenntnisse ist zu prüfen, ob ggf. ein Mess- oder Berechnungsfehler vorliegt.

Indizien für einen Berechnungsfehler auf Seiten der DEW 21 liegen für das Verwaltungsgebäude für Februar 2011 vor. Bei der Betrachtung der Tagesganglinie lassen sich für diesen Monat außergewöhnlich niedrige Verbräuche erkennen. Die übermittelten Werte des EVUs im Stammbblatt für diese Verbrauchsstelle sprechen für einen „Komma-Fehler“. Die Vergrößerung der Werte um eine 10-er Potenz passt die Verbrauchswerte betragsmäßig an den vorangegangenen und nachfolgenden Monat an, sodass ein nahezu konstanter Verlauf die Folge ist. Können auffällige Abweichungen in den Ganglinien nicht erklärt werden, muss das EVU in die Nachforschungen involviert werden. Im ärgsten Fall handelt es sich um einen Messfehler, der unabhängig zu wessen Lasten er auftritt, in beiderseitigem Interesse beseitigt werden muss. Hier wird die Kontrollfunktion des Energie-Monitorings für Unternehmen ersichtlich, die auf Beobachtungen und Messungen Dritter angewiesen sind. Ohne die Aufbereitung der Daten in der hier dargestellten Art und Weise, sind eventuelle Messfehler nicht zu erkennen. Da während der Baumaßnahme eine Kontrolle nicht stattfand, ist davon auszugehen, dass besonders die Messungen der außergewöhnlich großen Lastspitzen im Verwaltungsgebäude zu höheren und ggf. falschen Kosten geführt haben.

6.3.5 Gesamtbilanz

Als Gesamtbilanz versteht sich die Zusammenstellung der Summe aller Stromverbräuche und -kosten sowie deren anteilige Zusammensetzung für das gesamte Projekt. Die in Tabelle 3-8 dargestellte Gesamtbilanz für das Projekt „Neues Thier-Areal-Dortmund“ berücksichtigt die Tarife des Stromlieferungsvertrages inklusive deren Änderungen von Beginn der Aufzeichnungen am 09.11.2009 bis zum 15.04.2011. Werden die Daten regelmäßig aktualisiert, ergeben sich aus dieser Übersicht die notwendigen Werte für eine Stichtagsbeobachtung zur Kontrolle im Sinne des Energiemanagements. Weicht der Verbrauch bzw. die Kosten zu einem bestimmten Zeitpunkt von dem vorgegebenen Zielwert ab, so kann steuernd in den Prozess eingegriffen werden. Für eine grobe Überprüfung sind die Werte „Stromverbrauch gesamt“ und „Stromkosten gesamt brutto“ zunächst gut geeignet. Die nähere Betrachtung der einzelnen Anteile ist ein erster Analyseschritt.

Darüber hinaus können Aussagen über charakteristische Kenngrößen, wie die Energieeffizienz und die ökologische Relevanz, getroffen werden. Wird bspw. der gesamte Stromverbrauch in das Verhältnis zu den geleisteten Arbeitsstunden gebracht ergibt dies die energetische Ausnutzung der Arbeitsprozesse. Nach dem ökonomischen Minimalprinzip sollte dieser Wert gering sein, um mit kleinstmöglichem Einsatz das gewünschte Resultat zu erzielen. Eine solche Kennzahl kann ebenfalls zur Zielwertkontrolle eingesetzt werden.

Der ökologische Einfluss des Stromverbrauches der Baumaßnahme wird bewertet, indem der Verbrauch in die Menge an ausgestoßenem CO₂ übersetzt wird, die bei der Erzeugung der Strommenge anfällt. Das Umweltbundesamt schätzt, dass für das Jahr 2010 der CO₂-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix bei 563 g/kWh liegt¹⁰. Für die Baustelle in Dortmund ergibt sich damit für den Betrachtungszeitraum eine Menge an ausgestoßenem Kohlendioxid zum Zwecke der Stromerzeugung von 634,38 t. Die Tatsache, dass der Energiebedarf im Baugewerbe 2008 zu über 80,0 % von Mineralölen gedeckt wurde spricht ebenfalls dafür, dass die stromerzeugungsbedingten CO₂-Emissionen in der Bilanz der von nachgeordneter Bedeutung sind.

Für das Bauunternehmen ist meist die wirtschaftliche Relevanz der wichtigste Indikator um Steuerungsbedarf zu erkennen. Um diese zu beurteilen, müssen die gesamten Bruttostromkosten von Beginn der Baumaßnahme bis zu ihrer Fertigstellung bekannt sein. Da die Verbrauchsdaten der beiden Trafos nur bis zum 15.04.2011 vorliegen wird der Stromverbrauch bzw. die Stromkosten bis zur Inbetriebnahme der Galerie Mitte September mit Hilfe der monatlichen Durchschnittswerte hochgerechnet.

Datum: 15.09.2011		
Stromverbrauch gesamt	1.126.792,51 kWh	Anteil am Stromverbrauch gesamt bzw. an Nettokosten
davon Stromverbrauch im HT	798.104,95 kWh	70,8 %
davon Stromverbrauch im NT	328.687,56 kWh	29,2 %
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%
Stromkosten gesamt netto	141.825,41 €	100,00%
Stromsteuer	13.134,87 €	
USt auf Netto + Stromsteuer	29.442,45 €	
Stromkosten gesamt brutto	175.275,84 €	

Abb. 6.17: Gesamtbilanz des Stromverbrauches

¹⁰ [UBA10]

6.4 Zusammenfassung und Optimierungspotenziale

Im Zuge der Analyse konnten projektspezifische Kennzahlen, Einflussfaktoren sowie maßgeblichen Verbraucher zur Reduzierung der Kosten und CO₂-Emissionen identifiziert werden.

Die erforderlichen Planungswerte bilden die Kennzahlen zu den täglichen bzw. monatlichen Verbräuchen und Kosten. Diese werden als Bewegungszahlen bezeichnet, deren Wert sich auf einen entsprechenden Berichtszeitraum bezieht¹¹. Das Bilden einer Kennzahl als Verhältniszahl, die aus der Vergangenheitsbetrachtung erschlossen wird, erleichtert die Planung und Zieldefinition mit Zukunftsbezug. Dieses Vorgehen ermöglicht Management- und Controlling-Prozesse. Die Verhältniszahl setzt zwei Größen in Bezug, wie z.B. die Litermenge Schälöl pro Quadratmeter Schalung. Eine mögliche Verhältniszahl zur Vorschätzung und Planung des Stromverbrauchs, die keine zeitliche Bezugsgröße hat, ist im Wesentlichen abhängig von den folgenden Faktoren:

- Jahreszeit (Temperatur)
- Art und Umfang der ständigen Verbraucher (Beleuchtung)
- Bauphase (Fortschritt des Rohbaus)
- Außergewöhnliche, stromintensive Baumaßnahmen

Die Ermittlung eines Wertes der Verhältniszahl, die bspw. den Stromverbrauch pro Quadratmeter fertigen Rohbaus wiedergeben soll, ist aufgrund der nicht linearen Verhältnisse dieser Faktoren unpraktisch. Daher müssen die Bewegungszahlen als Planungsgrundlage ausreichen.

Die genau ermittelten monatlichen Kosten für die einzelnen Verbrauchsstellen liefern das Instrument zur Kontrolle der entstandenen Stromkosten, also den Rechnungen des Energieversorgers. Darüber hinaus sind die Tagesganglinien von Bedeutung. Mit ihrer Hilfe können die gewöhnlichen zyklischen Schwankungen, wie auch außergewöhnliche Messungen ausgemacht werden. Eine Plausibilitätskontrolle, z.B. mit der Betrachtung der Stundenganglinie, stellt ein weiteres Kontrollinstrument dar.

Die nach Sommer- und Winterhälfte getrennt aufgeführten Verbrauchswerte, identifizieren die Jahreszeit bzw. die Temperatur als ersten wichtigen Einflussfaktor. Die Bauphase, die wiederum abhängig vom Baufortschritt das Ausnutzen der Heizperiode beeinflusst, wird ebenfalls als entscheidende Größe erkannt. Dieses Ergebnis macht alle elektrisch betriebenen Einrichtungen zum Beheizen der Baustelle als maßgebliche Verbraucher aus. Das Benennen der Verbraucher ist entscheidend, um die Reduzierung der Stromverbräuche und damit der -Kosten, zu realisieren. Die Beobachtung der hohen Verbrauchsanteile in den Nachtstunden und den vergleichsweise geringen Anstieg während der Arbeitszeit, grenzt den entscheidenden Verbraucherkreis weiter ein. Somit gehören die Arbeitsgeräte des Tages nicht dazu. Wohl aber u.a. die Baustellenbeleuchtung die Tag und Nacht in Betrieb ist. Hier muss angesetzt werden, um die Kosten für elektrische Energie zu senken. Die genaue Erfassung der Verbraucher die wiederum in Handlungsvorgaben bspw. zur effizienteren Planung und Umsetzung der BE-Installationen mündet, wäre allerdings Aufgabe Energiemanage-

¹¹ Vgl. [BBAZ07], S. 172

ments für Baustellen. Das Ziel des größeren wirtschaftlichen Erfolges kann je nach Ausnutzung dieses Potentials ebenfalls erreicht werden.

Die weitestgehende Entkopplung der Verbrauchswerte von den spezifischen Bauprozessen verringert die Abhängigkeit von dem oft lückenhaften Berichtswesen. Die Identifizierung von Arbeitstagen mit langen Laufzeiten der elektrisch betriebenen Baugeräte unter Volllast kann entfallen. Damit sind auch die Stoffströme als Indikator für arbeits- und geräteintensive Perioden von marginaler Bedeutung.

Energie-Monitoring für elektrischen Strom

Die Umsetzung eines Energie-Monitorings für den Verbrauch elektrischen Stroms ist weniger aufwendig als sich vermuten lässt. Die Lastgangdaten, die Auskunft über den zeitlichen Verlauf des Verbrauches geben, werden als Grundlage für die Rechnungsstellung des Stromanbieters herangezogen. Diese sind demnach vorhanden und brauchen lediglich vom Bezieher angefordert werden, was zum Teil über Online-Portale möglich ist.

Mit einem Tabellenkalkulationsprogramm können entsprechende Zeitreihen erstellt und bspw. der tägliche Stromverbrauch über die Bauzeit auftragen werden. Auch eine genauere Analyse über die stündlichen Verbräuche ist möglich. So lässt sich eine Aussage über die Verbräuche in Tages- und Nachtzeiten treffen. Koppelt man die ermittelten Daten mit den Tarifen des Stromanbieters, so erhält man die Kosten pro Zeiteinheit. Diese genauen Verbrauchs- und Kostenzahlen sind bei anderen Energieträgern ungleich schwieriger zu ermitteln. Für die Analyse des Dieselverbrauchs müsste z.B. der Füllstand des Tanks zu Beginn und am Ende des Arbeitstages einer jeden Kraftstoffbetriebenen Baumaschine notiert werden. Selbst mit diesem Aufwand ergibt sich lediglich ein Tagesmittelwert, der keine Aussage über den genauen Zeitpunkt von Verbrauchsspitzen zulässt.

Ergänzt man weitere Daten zu den Verbrauchswerten wie die mittlere Tagestemperatur, Stoffströme, Art der ausgeführten Arbeiten oder Baufortschritt so können ggf. Zusammenhänge erkannt und genutzt werden. Man erhält außerdem einen ständig aktuellen Verbrauchs- und Kostenstand, indem man deren jeweilige Werte pro Zeiteinheit bis zum gewünschten Termin aufsummiert. Auch Werte wie durchschnittliche monatliche Kosten, oder etwaige Verbrauchsmaxima können mit einfachen Mitteln erzeugt werden.

Die Stellung des Energie-Monitorings als Teilaufgabe der „Prüfung“ und damit als Bestandteil des Managementregelkreises, bzw. konkret des Energiemanagements, wird mit nachstehender Graphik veranschaulicht. Auch die Hauptaufgaben und Vorgehensweise des Energie-Monitoring werden hier vereinfacht wiedergegeben.

Das Energie-Monitoring birgt für eine Bauunternehmung mannigfaltige Vorteile. Durch die Identifizierung entscheidender Verbraucher, können Maßnahmen zur Verbrauchs- und Kostenreduzierung getroffen werden. Diese haben wiederum einen positiven wirtschaftlichen wie ökologischen Effekt für die Unternehmung. Wie sich aktuell u.a. bei der Durchführung großer Infrastrukturprojekte zeigt, gewinnt das Ringen um die Belange der Umwelt weiter an ökonomischer Relevanz. Desweiteren stärkt der entstandene Wissenszuwachs auf dem Gebiet der Energieverbräuche die Unternehmen bei der Kontrolle der EVU.

In einem nächsten Schritt muss das Energie-Monitoring auf alle verwendeten Energieträger ausgeweitet werden. Dies ermöglicht ein umfassendes Energiemanagement der Baustelle,

mit dessen Hilfe konkrete Maßnahmen zur Verbrauchsreduzierung eingeleitet werden können.

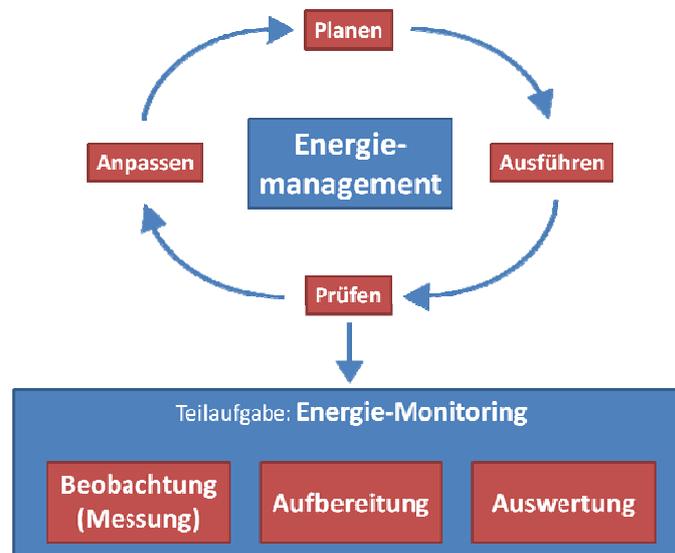


Abb. 6.18: Energie-Monitoring als Bestandteil des Energiemanagements

All dies kann ein einzelner Mitarbeiter nach einmaliger Erstellung eines Layouts neben seiner sonstigen Tätigkeit leisten. Das Einpflegen der Daten kann bspw. wöchentlich erfolgen. Um sinnvolle Ergebnisse zu erhalten ist es daher von großer Bedeutung auch das sonstige Berichtswesen zu pflegen. Dadurch werden u.U. weitere Mitarbeiter indirekt für diese Problematik sensibilisiert. Setzt sich das Unternehmen eigene Sparziele und werden sowohl diese, als auch der Umstand der Kontrolle allen Mitarbeitern mitgeteilt, kann auch die notwendige Akzeptanz unter den gewerblichen Mitarbeitern erreicht werden. Nach loser Gliederung können sich durch das Energie-Monitoring folgende Effekte und Vorteile ergeben:

- Kontrolle der entstandenen Energiekosten
- Identifizierung unnötiger Verbräuche
- Reduzierung der Stromkosten
- Sensibilisierung der Mitarbeiter für ökologische Aspekte
- Reduzierung der CO₂-Emissionen
- Verbesserung des Images
- Größerer wirtschaftlicher Erfolg

7 Energienutzung im Straßenbau

Bearbeitet von Dipl.-Ing. Semra Kara, Dipl.-Ing. Selcuk Nisancioglu, B.Sc. Tobias Osterfeld und Dipl.-Ing. (FH) Anne Christine Randel

Gegenstand dieses Kapitels ist die Ermittlung von Energieverbrauchswerten aus realen Straßenbauprojekten. Durch eine Aufschlüsselung des Bauablaufes können Energiekennwerte ermittelt werden und Randbedingungen, welche sich auf den Energieverbrauch auswirken, definiert werden.

Der Aufbau und die Herstellung einer asphaltierten Straße gliedern sich wie folgt:

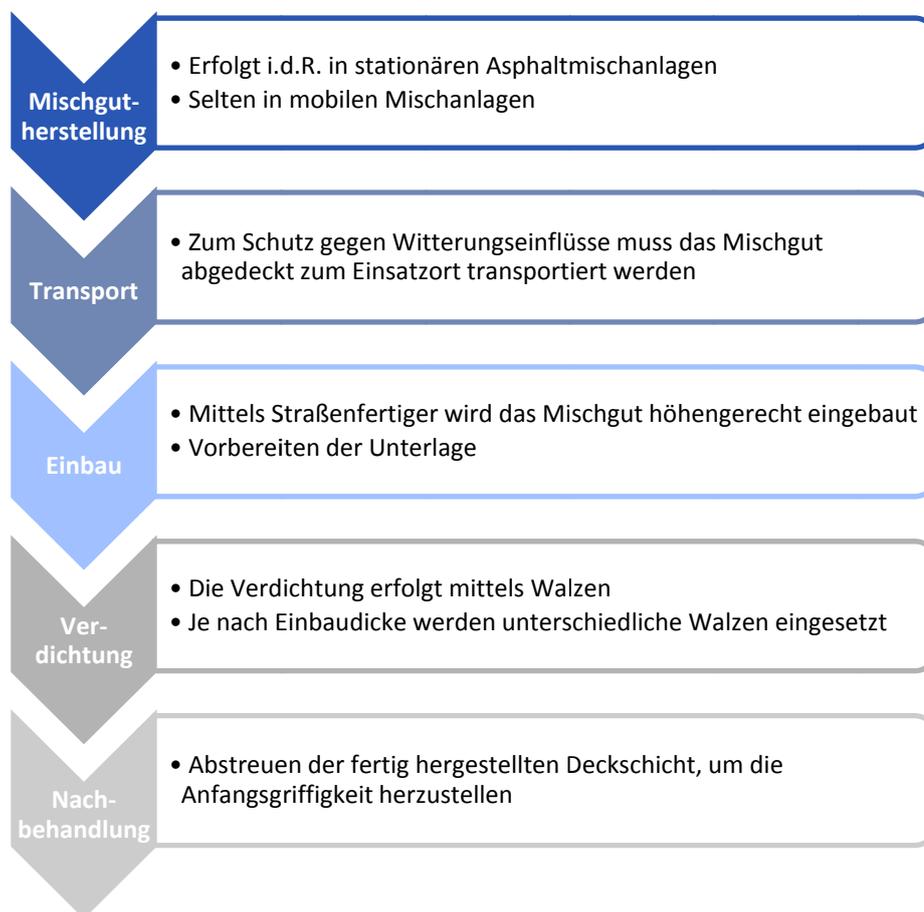


Abb. 7.1: Herstellung und Einbau von Asphaltmischgut

7.1 Grundlagen

7.1.1 Asphaltmischgut

Asphalt ist ein Gemisch aus Bitumen, Gesteinskörnung, Füller und gegebenenfalls weiteren Zusatzstoffen.¹ Durch Variation dieser Komponenten können unterschiedliche Eigenschaften erzeugt werden und an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden. Die Anforderun-

¹ [Krass05] S. 115

gen an das Mischgut sind auf die späteren Beanspruchungen durch Verkehr und Witterung (bei sommerlichen und winterlichen Temperaturen) abzustimmen. Die Herstellung des Asphaltmischgutes findet in der Regel in einer stationären Mischanlage statt. Die geographische Lage des Asphaltmischwerkes ist von hoher Bedeutung, um einerseits Zugang zu den notwendigen Rohstoffen zu haben und andererseits die Lieferzeit zur Baustelle kurz zu halten. Bei größeren Straßenbauvorhaben kommen in seltenen Fällen mobile Asphaltmischanlagen zum Einsatz.²

7.1.2 Aufbau der Asphaltbefestigung

Die Asphaltbefestigung besteht aus der Asphalttragschicht, -binderschicht und -deckschicht und liegt auf einer Frostschuttschicht. Jede Schicht besitzt eine individuelle Funktion und trägt entsprechend ihrer Dicke und Lage zum Tragverhalten der Gesamtkonstruktion bei.

7.1.3 Transport

Das Asphaltmischgut wird aus stationären Mischanlagen bezogen. Der Transport des Mischgutes zur Einbaustelle erfolgt mit Hinterkipper-LKWs. Zum Schutz gegen die Abkühlung und Bitumenerhärtung infolge von Fahrtwind oder Niederschlag wird das heiße Mischgut direkt nach dem Verladen mit Planen abgedeckt.

7.1.4 Einbau des Walzasphalt-Mischgutes

Der Einbau des Asphaltmischgutes erfolgt mit einem Straßenfertiger. Das zur Baustelle heiß gelieferte Mischgut wird vom LKW kontinuierlich in den Materialkübel entladen. Aus dem Kübel wird das Mischgut über die Transportbänder zur Einbaubohle gefördert und mit einer Verteilerschnecke über die gesamte Einbaubreite querverteilt. Das höhengerechte Abgleichen der eingebauten Schicht sowie der Unebenheitsausgleich erfolgt durch die Einbaubohle, welche das Mischgut beim Verlegen abstreift und dadurch eine Vorverdichtung hervorruft.³ Um eine gleichmäßige Verdichtung und Ebenheit zu erzielen, ist es vorteilhaft, das Mischgut in konstanter Geschwindigkeit einzubauen und den Fertiger nicht zum Stillstand zu bringen. Daher sollten Transport- und Einbauleistung aufeinander abgestimmt werden. Unmittelbar nach dem Einbau des Asphaltmischgutes beginnen die Verdichtungsarbeiten. Dabei muss die Schicht eine Temperatur von $>125^{\circ}\text{C}$ vorweisen, um einen guten Schichtenverbund herzustellen.⁴ Der erste Walzübergang erfolgt mit statischen Walzen. Die darauffolgenden Walzübergänge zur Hauptverdichtung können mit statischen oder dynamischen Walzen durchgeführt werden. Bei den Walzentypen werden die statische Dreiradwalze, Gummiradwalze sowie die Tandemwalze unterschieden.

² [Hutsch98] S. 168

³ [Krass05] S. 195

⁴ [Krass05] S. 195

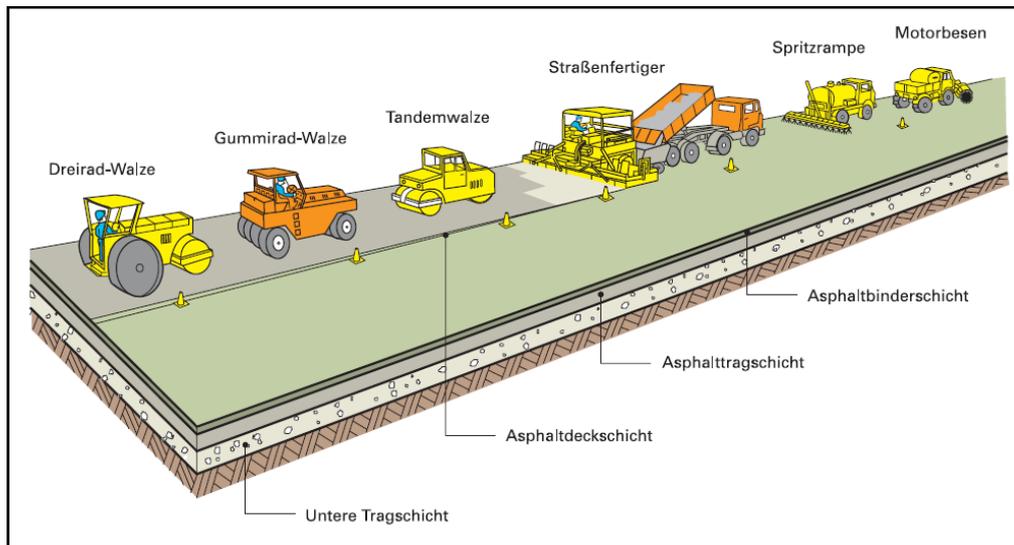


Abb. 7.2: Einbau von Walzasphalt⁵

7.1.5 Einbaubedingungen

Der qualitativ einwandfreie Einbau von Asphaltsschichten erfolgt unter Berücksichtigung der Unterlage und den Witterungsverhältnissen. Im Hinblick auf die gleichmäßige Schichtdicke und Verdichtung der Schichten, erfordert der Einbau zunächst eine standfeste, tragfähige, profilgerechte und ebene Unterlage. Zudem müssen günstige Einbaubedingungen bezüglich der Witterung und insbesondere der Temperatur vorherrschen. Die Bauausführung bei kühler Witterung hat zur Folge, dass die Unterlage dem Mischgut ein Teil seiner Wärme entzieht, wodurch die Voraussetzungen für eine qualitätsgerechte Walzverdichtung und einen Schichtenverbund erheblich beeinträchtigt werden.

7.1.6 Einsatz von Baumaschinen im Asphaltstraßenbau

Zu den wichtigsten Baumaschinen auf der Baustelle gehören Straßenfertiger und Walzen. Aufgrund ihrer technischen Ausstattung sind sie für die unterschiedlichsten Anwendungen geeignet. Im Folgenden werden die Funktionen und Eigenschaften der Baumaschinen erläutert.

Straßenfertiger

Straßenfertiger bestehen aus einer Antriebsmaschine mit Fahrwerk und einer Verteiler- und Einbaueinheit. Sie können mit Raupen- oder Räderfahrwerken ausgestattet sein. Fertiger mit Raupenfahrwerk eignen sich für wenig tragfähigen Untergrund. Radfertiger hingegen erhöhen aufgrund ihres Fahrwerkes die Beweglichkeit und Fahrgeschwindigkeit und somit die Flexibilität des Einsatzes. Die Straßenfertiger werden unterschieden in Groß- und Kleinfertiger. Das Grundgerät weist eine Breite von maximal 2,50 m auf und entspricht somit beim Transport der Straßenverkehrsordnung.

⁵ [Ch09]

Walzen

Im Asphaltstraßenbau werden je nach Anwendungsbereich verschiedene Walzen eingesetzt. Neben ihrem Gewicht und der Breite der Bandagen unterscheiden sich Walzen durch ihre Verdichtungswirkung. In der Regel können die Walzentypen wie folgt unterteilt werden:

- Statische Dreiradwalze

Die Verdichtung des Mischgutes erfolgt allein durch das Eigengewicht der Walze. Um die statische Last zu erhöhen, werden die Walzenkörper bzw. Ladebehälter mit Wasser gefüllt. Das Wasser dient zeitgleich für die Berieselung der Bandagen, um ein Ankleben des frischen Asphaltmischgutes zu verhindern. Statische Dreiradwalzen haben eine geringe Tiefenwirkung aber erreichen eine sehr gute Ebenheit. Sie besitzen drei Antriebsräder und werden für die Hauptverdichtung sowie für das Walzen von Nähten eingesetzt. Ihr Dienstgewicht beträgt in der Regel 8 bis 15 Tonnen.⁶

- Statische Tandemwalze

Die statische Tandemwalze besitzt zwei Bandagen, wobei die eine angetrieben und die andere gesteuert wird. Die Verdichtungswirkung wird wie bei der Dreiradwalze mit Wasserbelastungstanks gesteuert. Auch hier liegt das bevorzugte Einsatzgebiet bei der Hauptverdichtung und dem Walzen von Arbeitsnähten. Das Dienstgewicht beträgt 6 bis 12 Tonnen.⁷

- Tandemwalze mit Vibration

Diese Walze ist vom Prinzip her ähnlich wie die statische Tandemwalze, jedoch verfügt sie sowohl über eine statische, als auch über eine dynamische Verdichtungswirkung. Je nach Frequenz und Amplitude ist die Vibration regelbar und auch während der Fahrt abschaltbar. Durch die Zusammenwirkung von Druck und Vibration erfolgt die Verdichtung überwiegend in vertikaler Richtung. Die Steuerung ohne Vibration kommt zum Einsatz, um niedrig vorverdichtetes Asphaltmischgut anzudrücken oder die Deckschicht zu bügeln. Mit Vibration hingegen erfolgt die Hauptverdichtung, insbesondere bei dicken Asphalttragschichten und standfest zusammengesetzten Asphaltdeck- und Asphaltbinderschichten. Ihr ist ein Dienstgewicht von etwa 2 bis 15 Tonnen zuzuordnen.⁸

- Gummiradwalze

Die Gummiradwalze ist mit 7 bis 11 Gummirädern bestückt. Um gleiche Gewichte auf die Räder zu übertragen, können diese auf Lücke fahren und sind dementsprechend pendelnd und hydraulisch gestützt. Bei einem Walzengewicht von 10 bis 35 Tonnen eignet sich diese Walze für die Vorprofilierung, die Hauptverdichtung bei nicht schwer verdichtbarem Mischgut und für den Oberflächenschluss bei Deckschichten.

- Platten und Stampfer

⁶ [Hutsch98] S. 127

⁷ [Hutsch98] S. 128

⁸ [Hutsch98] S. 128

Platten und Stampfer eignen sich für sehr kleine Baustellen oder Flickstellen. Sie werden per Hand geführt und weisen ein Dienstgewicht von 40 bis 200 kg auf.⁹

7.1.7 Vorgehensweise und Randbedingungen

Der konstruktive Aufbau einer Straße setzt sich aus dem Untergrund, dem Unterbau und dem Oberbau zusammen. Die Herstellung des Untergrundes / Unterbaus zählt zu den Erdarbeiten, der Oberbau hingegen umfasst den Einbau der einzelnen Befestigungsschichten (Frostschuttschicht, Trag-, Binder- und Deckschicht).

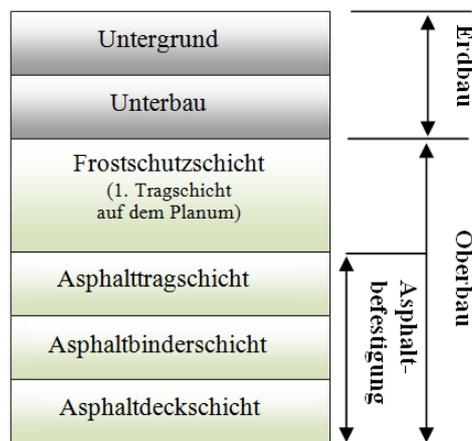


Abb. 7.3: Konstruktiver Aufbau einer Straßenkonstruktion

Der Einbau der einzelnen Asphaltsschichten erfolgt durch den Einsatz von Straßenfertiger und Walze. Diese Baumaschinen sind während des Herstellungsprozesses permanent im Einsatz und werden mit Diesel angetrieben. Hinzu kommt ein geringer Wasserbedarf, da die Bandagen der Walzen mit Wasser besprüht werden, damit das Mischgut während des Walzvorganges nicht an der Bandage haftet.

Ferner ist der Mischguttransport bezüglich des Energieverbrauches zu untersuchen, da während des Einbaus der Straßenfertiger kontinuierlich mit Mischgut versorgt werden muss, damit der Einbauprozess nicht unterbrochen wird. Der Transport des Mischgutes erfolgt vom Asphaltmischwerk zum Einsatzort mit einem LKW, welcher ebenfalls mit Diesel angetrieben wird. Demnach stellt der Dieselverbrauch die Hauptkomponente des Energieverbrauches dar und wird in der Einheit „Liter“ angegeben.

Der Ablauf für die Herstellung der einzelnen Asphaltsschichten, wie der Trag-, Binder- und Deckschicht, ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Die Herstellung einer Asphaltsschicht lässt sich in zwei Arbeitsprozesse unterteilen:

⁹ [Hutsch98] S. 130

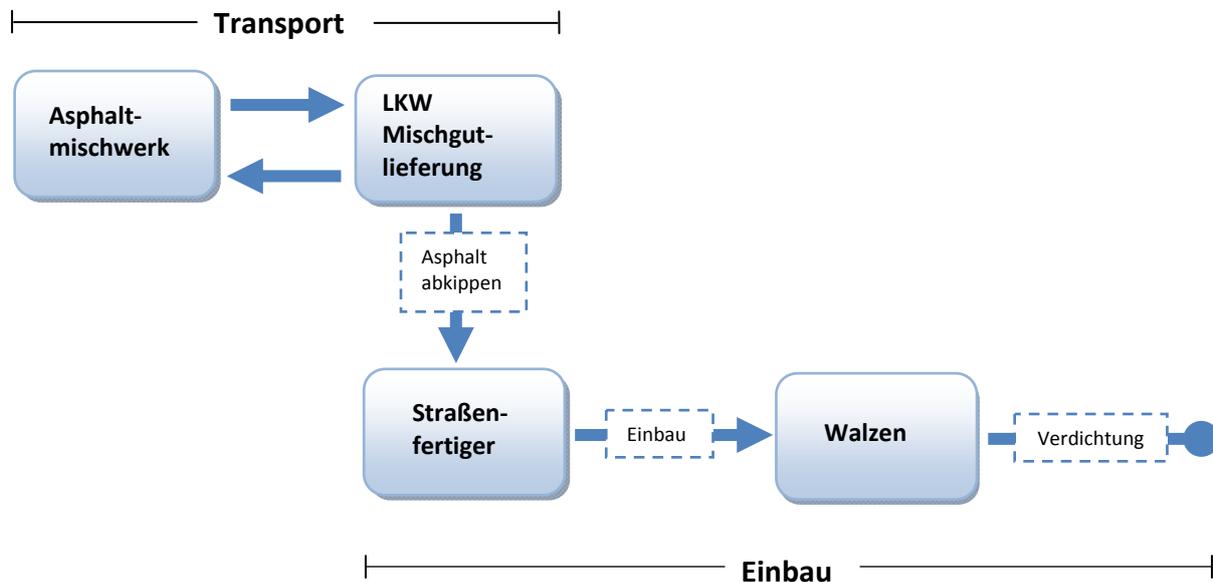


Abb. 7.4: Bauablauf – Herstellung einer Asphaltmischschicht

im Hinblick auf den Transport des Mischgutes, ist für den Treibstoffverbrauch die Strecke [km] zwischen dem Mischwerk und dem Einsatzort von Bedeutung. Je nach Einbaumenge [t] ändert sich die Anzahl der Fahrten zum Einsatzort. Da der LKW aufgrund seiner Nutzlast nur eine begrenzte Menge an Mischgut zum Einsatzort befördern kann, ist es sinnvoll, die Häufigkeit der zu fahrenden Touren in Betracht zu ziehen, um daraus den Verbrauch in Abhängigkeit der insgesamt gefahrenen Strecke zu ermitteln. Eine plausible Einheit zum Energieverbrauch stellt demnach der Treibstoffverbrauch des LKWs in Abhängigkeit der insgesamt gefahrenen Strecke dar, da diese Größen auf den zu untersuchenden Baustellen erfasst werden können.

Der Einbau der einzelnen Schichten erfolgt durch den Einsatz des Straßenfertigers und der Walzen. Das Mischgut wird vom Straßenfertiger in erforderlicher Dicke eingebaut und anschließend mit Walzen verdichtet. Der für diesen Vorgang benötigte Treibstoff ist in erster Linie von der Größe der Fläche, das heißt von der Länge und Breite der zu bebauenden Straße, abhängig. Für den Straßenfertiger entsteht bezüglich der Einbaudicke kein Mehrverbrauch, da die Einbaubohle des Fertigers sich auf die gewünschte Höhe einstellen lässt. Unterschiedlich wirkt sich die Einbaudicke der Schichten auf den Verdichtungsprozess durch die Walzen aus. Trag-, Binder- und Deckschichten benötigen aufgrund ihrer Zusammensetzung (grob- oder feinkörnig) und der Dicke unterschiedlich häufige Walzübergänge, um den geforderten Verdichtungsgrad zu erreichen. Eine sinnvolle Einheit für diesen Prozess stellt der Treibstoffverbrauch des Straßenfertigers und der Walzen pro Einbaufläche [l/m^2] dar.

7.2 Energieverbrauchsanalyse

Im Rahmen des Forschungsprojektes werden acht Straßenbauprojekte bezüglich ihres Energieverbrauches analysiert. Dabei handelt es sich um sieben Sanierungsmaßnahmen sowie um eine Neubaumaßnahme. Der Umfang dieser Maßnahmen variiert zwischen 945 m^2 bis über 6.000 m^2 zu erneuernder Fläche. Bei drei Straßenbaustellen werden lediglich die Abfrä-

sarbeiten analysiert, bei den restlichen fünf Straßenbaustellen steht bei der Analyse die Erneuerung der oberen Asphaltsschichten im Vordergrund.

Für die Analyse und Bewertung werden die ermittelten Verbrauchsdaten zunächst auf eine Bezugsgröße (l/m^2 , l/t , l/km) umgerechnet. Die Vergleichstabellen zeigen im Folgenden sämtliche Verbrauchswerte und bauspezifische Daten für alle acht untersuchten Straßenbauprojekte auf.

7.2.1 Analyse Abfräsarbeiten

Bei den untersuchten Abfräsarbeiten unterscheiden sich nicht nur die Ausbaumenge und zu erneuernde Fläche, sondern auch die Breite der Fräswalze. Dieser Unterschied macht sich im Dieserverbrauch bemerkbar, die größere Fräse weist einen höheren Treibstoffverbrauch auf (Vgl. Projekt 1 und 2). Des Weiteren lässt sich feststellen, dass je breiter die Fräse und größer die Ausbautiefe ist, desto höher ist der Treibstoffverbrauch (Vgl. Projekt 1, 2 und 3). Bei allen Abfräsarbeiten wurde eine Fräse desselben Herstellers benutzt, eine herstellerbedingte Abweichung des Treibstoffverbrauches ist also auszuschließen.

Projekte		Projekt 1	Projekt 2	Projekt 3
		Projekt 1	Projekt 2	Projekt 3
Abfräsarbeiten	Einbaufläche [m^2]	3050	2930	1317
	Ausbautiefe [m]	0,1	0,1	0,3
	Ausbaumenge [t]	1150	1190	958
	Breite der Fräswalze [m]	1,5	2,2	1,5
	Treibstoffverbrauch [l]	150	190	170
	Treibstoffverbrauch pro Ausbaumenge [l/t]	0,13	0,16	0,18
	Treibstoffverbrauch pro Einbaufläche [l/m^2]	0,05	0,06	0,13

Abb. 7.5: Vergleichsmatrix - Abfräsarbeiten

7.2.2 Analyse Einbauprozess

In der nachfolgenden Tabelle sind Ergebnisse nach den einzelnen Asphaltsschichten differenziert. Für die Asphaltdeckschicht konnte bei allen fünf untersuchten Baustellen ein Verbrauchswert ermittelt werden. Im Vergleich dazu liegen sowohl für die Asphalttragschicht als auch für die Asphaltbinderschicht lediglich für zwei der fünf Projekte Ergebnisse vor. Dies ist darin begründet, dass bei den Sanierungsmaßnahmen stets die Asphaltdeckschicht betroffen ist, die darunterliegenden Schichten jedoch nur bei tiefergehenden Beschädigung mit zum Sanierungsumfang gehören. Für eine Analyse der Asphalttrag- und Asphaltbinderschicht ist die Grundgesamtheit der verwertbaren Untersuchungsergebnisse nicht ausreichend. Zudem liegen bei Projekt 7 keine separate Ermittlung der Verbrauchswerte für die Trag- und Binder-

schicht vor. Die angegebenen Verbrauchswerte stellen demnach den Gesamtverbrauch beider Schichten dar. Daher werden im Folgenden ausschließlich die Ergebnisse der Asphaltdeckschicht berücksichtigt.

Projektdaten		Projekte				
		Projekt 4	Projekt 5	Projekt 6	Projekt 7	Projekt 8
Asphaltdeckschicht	Einbaufläche [m ²]	945	3394	5391	5420	6176
	Einbaudicke [cm]	4	4	4	4	3,5
	Einbaumenge [to]	108	342	503	538	595
	Anzahl der LKW-Fahrten	8	12	38	20	22
	Transportstrecke insgesamt [km]	216	384	988	920	880
	Treibstoffverbrauch- Transport [l]	86	174	394	410	396
	Treibstoffverbrauch- Transport [l/km]	0,40	0,45	0,40	0,45	0,45
	Treibstoffverbrauch- Einbau [l]	210	220	655	366	700
	Treibstoffverbrauch- Einbauprozess [l/m ²]	0,22	0,10	0,12	0,10	0,11
Asphaltbinderschicht	Einbaufläche [m ²]	-	3405	-	1111	-
	Einbaudicke [cm]	-	4	-	4	-
	Einbaumenge [to]	-	475	-	118	-
	Anzahl der LKW-Fahrten	-	18	-	5	-
	Transportstrecke insgesamt [km]	-	576	-	230	-
	Treibstoffverbrauch- Transport [l]	-	260	-	104	-
	Treibstoffverbrauch- Transport [l/km]	-	0,45	-	0,45	-
	Treibstoffverbrauch- Einbau [l]	-	405	-	165 ¹⁾	-
	Treibstoffverbrauch- Einbauprozess [l/m ²]	-	0,12	-	0,10 ¹⁾	-
Asphalttragschicht	Einbaufläche [m ²]	-	-	-	613	6176
	Einbaudicke [cm]	-	-	-	10	8,5
	Einbaumenge [to]	-	-	-	147	1222
	Anzahl der LKW-Fahrten	-	-	-	5	45
	Transportstrecke insgesamt [km]	-	-	-	230	1800
	Treibstoffverbrauch- Transport [l]	-	-	-	104	810
	Treibstoffverbrauch- Transport [l/km]	-	-	-	0,45	0,45
	Treibstoffverbrauch- Einbau [l]	-	-	-	165 ¹⁾	560
	Treibstoffverbrauch- Einbauprozess [l/m ²]	-	-	-	0,10 ¹⁾	0,10

1) Der Treibstoffverbrauch, welcher beim Einbauprozess entstanden ist, konnte nicht für die Asphalttrag- und Asphaltbinderschicht separat ermittelt werden. Die angegebenen Werte stellen den Gesamtverbrauch beider Schichten dar.

Abb. 7.6: Vergleichsmatrix Erneuerung Asphaltschichten

Die einzelnen Untersuchungen der Straßenbauprojekte haben gezeigt, dass die Bauausführung von verschiedenen Randbedingungen abhängig ist. Diese lassen sich wie folgt unterteilen:

- Straßenverkehr
- Straßeneinbauten
- Straßenprofil

Der Straßenverkehr hat einen entscheidenden Einfluss auf die Bauausführung, da dieser während der Baumaßnahme aufrecht erhalten werden muss. Dementsprechend erfolgt der Asphalteinbau ein- oder mehrbahnig. Die Straßeneinbauten werden per Hand freigelegt und an die Höhe der Deckschicht angepasst. Daher ist dem Handeinbau eine große Bedeutung zuzuordnen. Bei diesem Vorgang wird der Einsatz des Straßenfertigers unterbrochen bis der Handeinbau an den Straßeneinbauten vollständig erfolgt ist. Das Mischgut muss sehr schnell und sorgfältig eingebaut werden, um Temperaturverluste zu vermeiden.

Eine weitere Randbedingung, welche aus der Untersuchung des Projektes 6 hervorgeht, ist das Straßenprofil. Die untersuchte Hauptverkehrsstraße weist unterschiedliche Fahrbahnbreiten auf. Der Wechsel der Fahrbahnbreiten findet in einer Kurve statt. Im Bereich der Kurve wird das Mischgut teilweise per Hand eingebaut, um eine Schnittkante für eine weitere Bahn herzustellen. Während des Arbeitsprozesses ist der Straßenfertiger zwar nicht im Einsatz aber weiterhin in Betrieb.

Projektvergleich

In Bezug auf den Einbau der Asphaltdeckschicht stellt sich ein Verbrauchswert zwischen 0,10 und 0,22 l/m² ein.

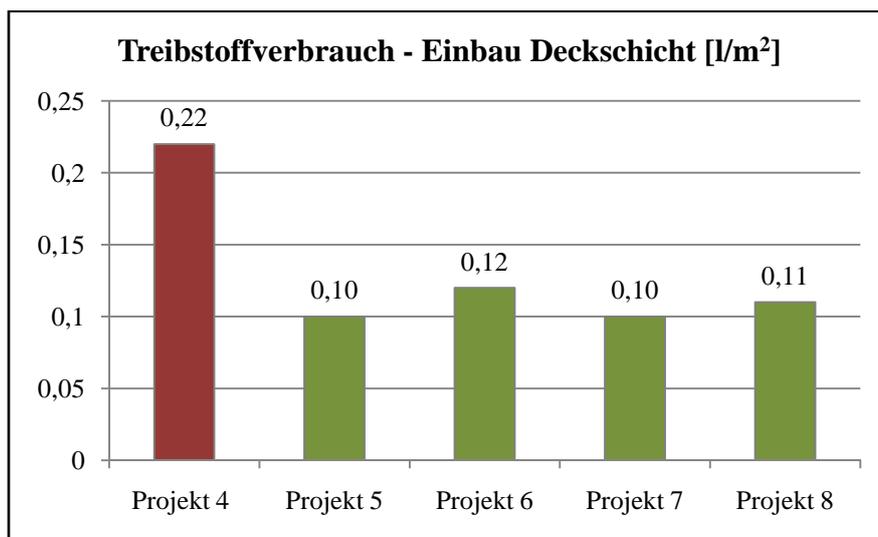


Abb. 7.7: Asphaltdeckschicht - Treibstoffverbrauch

Bei den Projekten 5 bis 8 variiert dieser zwischen 0,10 und 0,12 l/m², wohingegen der Verbrauchswert bei Projekt 4 deutlich aus dem Rahmen fällt. Bei diesem Projekt wird die Deckschicht einer Hauptverkehrsstraße auf 945 m² saniert. Die Bauausführung unterliegt dem Straßenverkehr, weshalb der Einbau zweibahnig erfolgt. Zudem sind in der Fahrbahn Stra-

ßeinbauten vorhanden, welche manuell umbaut werden. Trotz der kleineren Einbaufläche und dergleichen Bauausführung ergibt sich ein Verbrauchswert von $0,22 \text{ l/m}^2$. Die Ursache der Differenz lässt sich weder durch die Bauausführung noch aus den bisher gewonnenen Erkenntnissen erklären. Im Folgenden werden die Projekte 5-8 weiter analysiert.

Aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen während der Baumaßnahmen unterscheiden sich die Projekte 5 und 6 von den Projekten 7 und 8 hinsichtlich ihrer Bauausführung.

Projekte	Projekt 5	Projekt 6	Projekt 7	Projekt 8
Bauausführung				
Einbaufläche [m^2]	3394	5391	5420	6176
Einbau – Anzahl der Bahnen	2	2 - 3	1	1
Straßeneinbauten im Einbaubereich	ca. 40	ca. 100	-	-
Treibstoffverbrauch [l/m^2]	0,10	0,12	0,10	0,11

Abb. 7.8: Bauausführung -Projekt Daten

Neben der unterschiedlichen Bauausführung weisen alle vier Projekte zudem verschiedene Einbauflächen auf, jedoch liegen die Verbrauchswerte sehr nahe beieinander. In Bezug auf den Treibstoffverbrauch ist die Einbaufläche zwar entscheidend, aber nicht allgemein ausschlaggebend. Denn je größer die zu bebauende Fläche ist, desto mehr Mischgut muss eingebaut und verdichtet werden.

Der Mehrverbrauch bei Projekt 6 ist auf die Bauausführung zurückzuführen. Die Baumaßnahme unterliegt dem Straßenverkehr, weshalb der Einbau des Mischgutes mehrbahnig erfolgt. Aufgrund der zahlreichen Straßeneinbauten ist die maschinelle Herstellung nicht möglich, so dass ein Einbau von Hand notwendig ist. Im Vergleich dazu erfolgt der Einbau bei Projekt 7 in einer Bahn. Außerdem sind keine Straßeneinbauten vorhanden, wodurch der Handeinbau kaum erforderlich ist.

Die Bauausführung bei Projekt 6 ist im Vergleich zu Projekt 7 aufwendiger, denn der mehrbahnige Einbau erhöht den Arbeitsaufwand während der Bauausführung. Außerdem wird der Einbauprozess aufgrund der Straßeneinbauten unterbrochen. Die Kolonnenarbeiter sind in erster Linie mit der Fertigstellung der Einbauten beschäftigt. Während dessen ist der Straßenfertiger im Stillstand weiterhin in Betrieb, was sich dann auf den Treibstoffverbrauch auswirkt. Aufgrund dieser Randbedingungen und dem daraus resultierenden Arbeitsaufwand entsteht bei diesem Projekt ein Mehrverbrauch von 20 % im Vergleich zu Projekt 7.

Auswertung

Die Arbeitsprozesse im Straßenbau sind bei jedem Projekt identisch und zugleich unabhängig davon, ob die Bauausführung aufgrund der gegebenen Randbedingungen variiert. Die aufeinanderfolgenden Prozesse Transport, Einbau und Verdichtung sind klar strukturiert und optimal aufeinander abgestimmt.

7.2.3 Analyse Transportprozess

Im Hinblick auf den Transportprozess ergibt sich ein Verbrauchswert zwischen $0,40$ und $0,45 \text{ l/km}$. Die unterschiedlichen Werte sind auf die Sattelzugmaschinen zurückzuführen.

Bei allen untersuchten Projekten wird das Mischgut aus den umliegenden Mischwerken bezogen, die Transportwege variieren zwischen 13 und 23 km. Im Hinblick auf einen einwandfreien Bauablauf ist der Transportweg ein entscheidendes Kriterium, da Transport- und Einbauleistung aufeinander abgestimmt werden müssen. Bei zu langen Transportwegen erhöht sich das Risiko, dass die Sattelzugmaschinen beispielsweise durch einen Verkehrsstau behindert werden können. Dies wirkt sich nicht nur auf den Treibstoffverbrauch aus, sondern auch auf den Bauablauf. Verspätete Anlieferungen des Mischgutes haben zur Folge, dass die Einbauleistung (t/h) nicht eingehalten werden kann. Dies wiederum führt zu einer längeren Bauzeit, wodurch die Personal-, Geräte-, Energiekosten etc. steigen. Außerdem bewirken lange Transportwege, insbesondere in den kühleren Jahreszeiten, dass das Mischgut an Temperatur verliert und sich nicht mehr gut verdichten lässt. Darunter leidet dementsprechend die Einbauqualität.

7.3 Fazit

Ziel war es, Energieverbrauchswerte für den Einbau von Asphalt im Straßenbau zu ermitteln, auszuwerten und auf ihre Übertragbarkeit auf andere Straßenbaustellen zu überprüfen.

In erster Linie war es notwendig, die Einbaumethodik zu untersuchen, um erste Erkenntnisse über den Bauablauf sowie über die Bauprozesse und die dafür benötigten Baumaschinen zu gewinnen. Durch die Aufschlüsselung des Bauablaufes in Arbeitsprozesse Transport und Einbau konnte ein Indikator zur Bestimmung des Energieverbrauches ermittelt werden.

Auf dieser Grundlage wurde eine Energieverbrauchsanalyse, sowohl für den Einbau-, als auch für den Transportprozess durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass die Randbedingungen zu einem Mehrverbrauch von etwa 20 % führen können. Der Verbrauchswert tendiert zwischen 0,10 und 0,12 l/m².

Beim Transportprozess ist der Treibstoffverbrauch in erster Linie von der Art der Sattelzugmaschine abhängig, deren Energieverbrauchswerte liegen zwischen 0,40 und 0,45 l/km.

8 Anreize und Implementierung

Bearbeitet von M.Sc. Carsten Broichhaus, Dipl.-Ing. Selcuk Nisancioglu und Dipl.-Ing. (FH) Anne Christine Randel

Unter Effizienz wird im Allgemeinen die Erreichung eines definierten Zieles unter möglichst geringem Mitteleinsatz verstanden. In Bezug auf den Bauprozess ist das vorgegebene Ziel, also die Fertigstellung eines Bauobjektes (Straße, Gebäude, Deponie usw.), in der Regel durch das Leistungsverzeichnis und die Pläne eindeutig definiert. Der Auftragnehmer wird also unter Anwendung des Minimalprinzips mit dem geringsten möglichen Mitteleinsatz den Auftrag ausführen. Es wird deutlich, dass die Auftragsabwicklung sowohl ökonomische als auch ökologische Effizienz erfordert, denn Kostenreduktion ist hier gleichbedeutend mit der Reduktion des Energieverbrauchs.

8.1 Nachhaltigkeitsberichterstattung von Bauunternehmen

Energieeffizienz, Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung sind, vor allem in der Bauindustrie, eng miteinander verknüpft. Dabei vereint der Begriff Nachhaltigkeit sowohl ökologische, ökonomische als auch soziale Aspekte. Im Folgenden werden die ökologischen Aspekte aus Sicht der Bauwirtschaft (hier: Strabag SE und Hochtief AG) zusammengefasst.

Strabag SE Nachhaltigkeitsbericht 2010

Die Berichterstattung der Strabag SE orientiert sich an den GRI-Richtlinien (Global Reporting Initiative), die Indikatoren zu den drei Säulen der Nachhaltigkeit vorgeben. Drei Möglichkeiten, aktiv zum Umweltschutz beizutragen, bestehen laut Strabag

- durch durchdachte Bauprojekte,
- durch innovative Produkte und Geschäftsbereiche,
- durch aktives Handeln des Einzelnen.¹

Ziel der Strabag ist es, Bauwerke zu erstellen, die sowohl während des Bauprozesses, als auch des Betriebes wenige Emissionen verursachen. Dies gilt ebenso für den Gebäudebestand und deren Sanierung. Um neue Bauwerke unter ökologischen Gesichtspunkten vergleichbar zu machen, werden Kennzahlen definiert und Mitarbeiter der Strabag zu Auditoren ausgebildet. Als Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) treibt die Strabag nach eigenen Angaben eine nachhaltige Bauweise voran. 7 Bauprojekte, die sich an den Nachhaltigkeitskriterien der DGNB bzw. der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (ÖGNI) orientieren, sind momentan in Bau bzw. im Zertifizierungsprozess. Auch im Bereich Straßenbau werden Nachhaltigkeitsaspekte integriert. So wurde im Sommer 2010 als erste Autobahnkonzession im skandinavischen Bereich der Bau und Betrieb des Autobahnstückes M51 zwischen Kliplev und Sønderborg nach der Umweltmanagementnorm ISO 14001:2009 und nach der OHSAS 18001:2007

¹ Vgl. [Stra10], S. 23 ff

zertifiziert. Durch die Wiederverwendung von Bodenmaterial können 1,8 Mio. Lkw-Kilometer eingespart werden und eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 20 % erreicht werden.²

Durch die Erschließung neuer Geschäftsbereiche, z. B. die Zentrale Technik und die Strabag Umwelttechnik, können fachbereichsübergreifende Technologien, Prozesse und Produkte erarbeitet werden. Aber auch der aktive Beitrag der Mitarbeiter zum Umwelt- und Klimaschutz wird im Nachhaltigkeitsbericht besonders betont. Im Fokus steht hierbei die Abfallentsorgung auf der Baustelle und zum Teil auch der Wasserverbrauch bei der Betonproduktion.³

Um die CO₂-Emissionen der Konzernprozesse und -produkte zu senken, müssen die Emissionsquellen zunächst identifiziert werden. Dieses Ziel wird von der Strabag mit Hilfe einer Ökobilanzierung realisiert, die sich am Greenhouse Gas Protocol orientiert. Es soll ermittelt werden, wie viel Treibstoff und Elektrizität verbraucht wurden und wie viel Abfall und Abwasser produziert wurden.⁴

Zu den formulierten Zielen für die Zukunft gehören u. a.

- die Installierung einer unternehmensübergreifenden Koordinationsstelle für Umweltmanagement
- die Stärkung des Umweltbewusstseins bei allen Mitarbeitern durch Schulungen
- die Verringerung der Emissionen und Abfallmengen auf Baustellen
- die Erweiterung der Parameter der internen Ausschreibungskriterien um ökologische Faktoren.⁵

Hochtief Nachhaltigkeitsbericht 2009

Hochtief hat in seinen Leitlinien das klare Bekenntnis zu nachhaltigem Handeln festgeschrieben. Nachhaltigkeit bildet einen bedeutenden Teil des operativen Geschäfts. Die Strategie von Hochtief ist es, den gesamten Lebenszyklus von Infrastrukturprojekten, Immobilien und Anlagen zu begleiten. Dieser ganzheitliche Ansatz schafft beste Voraussetzungen für nachhaltiges Handeln.

Im September 2007 wurde Hochtief als einziger deutscher Baudienstleister in die Dow Jones Sustainability Indizes (DJSI) aufgenommen. In den DJSI sind ausschließlich Unternehmen vertreten, die neben finanziellen auch ökologische und soziale Kriterien berücksichtigen und dokumentieren.

Hochtief nutzt ein Verfahren namens ViCon (Virtual Design and Construction). Das Verfahren ermöglicht es, jedes Projekt zunächst in allen Dimensionen digital zu erstellen. Mit dem virtuellen Planen lassen sich Risiken reduzieren und Schnittstellen optimieren. Detailliert geplante Bauabläufe minimieren den Energieverbrauch auf den Baustellen, gleichzeitig

² [Stra10], S. 24 ff

³ [Stra10], S. 31 ff

⁴ [Stra10], S. 33 ff

⁵ [Stra10], S. 64

tragen sie dazu bei, Ressourcen zu schonen, Lärmbelästigungen zu vermeiden und die Arbeitssicherheit zu verbessern. ViCon soll zukünftig auch zur Nachhaltigkeitsanalyse eingesetzt werden. Die im Modell gesammelten Gebäudedaten werden genutzt, um CO₂-Emissionen oder den Material- und Energieverbrauch zu berechnen. Die baubegleitende Erfassung der tatsächlich verwendeten Materialien und Bauwerkskomponenten ermöglicht eine projektspezifische Überwachung der Nachhaltigkeitsziele. Damit entsteht der sogenannte „4D-Eco-Footprint“.⁶

Hochtief veröffentlicht Kennzahlen zum Strom- und Treibstoffverbrauch sowie zu den Emissionen von Treibhausgasen in den Unternehmenseinheiten in Deutschland, Europa und Australien. Die deutschen und europäischen Daten wurden auf Basis der stoffspezifischen Kostenarten unter der Annahme mittlerer Preise ermittelt.⁷ Eine weitergehende Analyse der Verbrauchskennzahlen findet nicht statt. Laut Hochtief lassen die Kennzahlen wenige Rückschlüsse auf die tatsächliche Leistung für den Klimaschutz zu. Eine Verbesserung der Datenqualität bei der CO₂-Berichterstattung wird für den Zeitraum 2009 – 2011 angestrebt.

Über das Tochterunternehmen Streif Baulogistik werden Baustelleneinrichtung, Bauabwicklung und -abläufe optimiert und so Kosten gesenkt. Weitere Energieeinsparpotenziale werden auf den Baustellen durch innovative Büro-, Unterkunfts- und Sanitärcontainer erreicht. Sie sparen bis zu 35 % Energie im Vergleich zu Konkurrenzmodellen.

Im Themenfeld Ressourcenschutz werden vor allem Aspekte des Abfallmanagements thematisiert. Bei Projekten, wo viel Erdaushub anfällt, wird der angefallene Abfall vor Ort aufbereitet und wiederverwertet oder bei anderen Projekten eingesetzt. Bei Green-Building-Projekten werden bis zu 95 % der Bauabfälle wiederverwertet.

Zu den übergeordneten Zielen für die Zukunft von Hochtief gehören u. a.:

- Steigerung der Beteiligung weltweit am nachhaltigen Bauen
- Entwicklung neuer nachhaltiger Produkte und Dienstleistungen entlang des Lebenszyklus'
- CO₂-Emissionen senken
- Verbesserung der Datenqualität bei der CO₂-Berichterstattung
- Reduzierung der Abfallmengen und Erhöhung der Recyclingquote
- Vermeidung von Umweltschäden durch Stärkung des Bewusstseins für Ressourcenschutz
- Minimierung und Wiederverwendung von Aushub- und Ausbruchmaterialien.⁸

⁶ [HTN09], S. 19

⁷ [HTN09], S. 40

⁸ [HTN09], S. 27 ff

8.2 Überblick bestehender Nachhaltigkeitszertifikate

Um die Nachhaltigkeitsperformance von Gebäuden zu bewerten, wurden weltweit Bewertungssysteme eingeführt. Sie ermöglichen eine Einstufung der Gebäudequalität und Umweltverträglichkeit. Anhand von verschiedenen Kriterien, die mehreren Kategorien zugeordnet werden können, werden Immobilien in Bezug auf ihre Nachhaltigkeit geprüft und bewertet. Die Themengebiete sowie deren Gewichtung und Genauigkeit variieren dabei in den vorhandenen Bewertungssystemen. „Building Research Establishment Environmental Assessment Method“ (BREEAM) ist das älteste Zertifizierungssystem für nachhaltiges Bauen. Es stammt aus Großbritannien und wurde dort 1990 vom „United Kingdom Green Building Council“ (UKGBC) eingeführt. Im Jahr 1998 folgte die USA mit dem „Leadership in Energy and Environmental Design“ (LEED), herausgegeben vom „United States Green Building Council“ (USGBC). Im Jahr 2007 wurde die „Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e. V.“ (DGNB) gegründet, die im Januar 2009 das „Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ einführte. Das Gütesiegel gliedert sich in Gebäude- und Standortqualität. Die Gebäudequalität wird mithilfe von 43 Kriterien in den folgenden fünf Hauptkriteriengruppen bestimmt:

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

Aspekte der Energieeffizienz bei der Bauwerkserstellung, die der Prozessqualität zuzuordnen wären, finden noch keine explizite Berücksichtigung im deutschen Gütesiegel für nachhaltiges Bauen.

8.3 Präqualifizierung von Bauunternehmen

Zukünftig ist mit einer Forderung nach einer Ökobilanzierung für Bauprojekte zu erwarten. In diesem Zusammenhang kann beispielsweise das CO₂-Zertifizierungssystem der Niederländischen Schienennetz-Managementgesellschaft „ProRail“ genannt werden. Hierbei erhalten Unternehmen bei der Auftragsvergabe Vorteile, wenn sie sich mit den eigenen CO₂-Emissionen auseinandersetzen und diese reduzieren. Die Unternehmen werden dabei in ein Zertifizierungsschema (CO₂ Performance Ladder) eingestuft. Insgesamt sind 6 Stufen von 0 bis 5 definiert, wobei die fünfte Stufe den höchsten Vergabevorteil bietet. Die genaue Definition der Anforderungen ist im Folgenden aufgeführt.⁹

Stufe 0:

Das Unternehmen besitzt keine oder geringe Kenntnis der eigenen CO₂ Emissionen und zeigt keine Ambitionen diese zu verringern.

⁹ Vgl. [PRO09] S. 3

Stufe 1:

Das Unternehmen kennt die wichtigsten Energieflüsse und untersucht Möglichkeiten den eigenen Verbrauch zu vermindern. Weiterhin wird die Strategie zur Verbrauchsminderung intern kommuniziert und die vorhandenen Klimaschutzinitiativen im betreffenden Sektor sind bekannt.

Stufe 2:

Der eigene Energieverbrauch ist bekannt und es bestehen Ambitionen den Energieverbrauch zu vermindern. Die Strategie bzgl. der Verbrauchsminderung unterscheidet zwischen der Reduzierung des Energieverbrauchs, der Nutzung grüner Elektrizität und der Nutzung von Biokraftstoffen. Die genannten Aspekte werden zumindest intern kommuniziert und es wird an einer branchenspezifischen Klimaschutzinitiative teilgenommen.

Stufe 3:

Das Unternehmen berichtet über die eigenen CO₂ Emissionen auf Grundlage von Scope 1 und 2 in Verbindung mit ISO 14064-1¹⁰ und formuliert quantitative Ziele für die Reduzierung der Emissionen. Diese Ziele werden sowohl intern als auch extern kommuniziert und es liegt die aktive Teilnahme in einer branchenbezogenen Klimaschutzinitiative vor.

Stufe 4:

Das Unternehmen besitzt eine CO₂-Inventur auf Grundlage von Scope 1, 2 und 3 und hat quantitative Zielsetzungen zu Reduzierung der Emissionen auf Basis von Scope 1, 2 und 3. Über den Stand der Zielerreichung wird regelmäßig berichtet. Es findet ein Austausch mit der Regierung oder Nichtregierungsorganisationen über Emissionsminderungsstrategien statt und es werden branchenspezifische Projekte zur CO₂ Reduzierung durchgeführt.

Stufe 5:

Das Unternehmen fordert die CO₂-Inventur, auch von den direkten Partnern, ein. Weiterhin wird die Emissionsminderung auf Grundlage von Scope 1, 2 und 3 durchgeführt. Das Monitoring der betreffenden Prozesse ist in den Planungs- und Kontrollzyklus integriert. Das Unternehmen verpflichtet sich öffentlich zur CO₂-Reduktion im Rahmen einer Regierungs- oder Nichtregierungsinitiative. Es nimmt aktiv an der Entwicklung branchenweiter Klimaschutzprogramme teil und arbeitet mit der Regierung oder anderen Organisationen zusammen.

Die im Zertifizierungsschema angegebenen Stufen Scope 1, 2 und 3 beziehen sich auf die Herkunft der im Zusammenhang mit dem Unternehmen entstehenden Treibhausgase. Sie haben folgende Bedeutung:

- Scope 1: Direkte Emissionen aus Verbrennung, Herstellprozessen und flüchtigen Stoffen.
- Scope 2: Indirekte Emissionen aus Bezügen von Elektrizität und Wärme.

¹⁰ ISO 14064-1 Greenhouse Gases – Part 1: Specifications with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals

- Scope 3: Indirekte Emissionen aus Geschäfts- und Pendlerverkehr, ausgelagerten Aktivitäten, Produktnutzungen, Rohstoffen und Abfällen.¹¹

Es wird deutlich, dass die Unternehmen weit über die eigene Emissionserfassung hinaus Daten erheben müssen, um eine hohe Stufe im Zertifizierungsschema erreichen zu können. Die Belohnung für den damit verbundenen Aufwand besteht in Form des Vorteils bei der Auftragsvergabe. ProRail sieht dabei die in Abb. 8.1 abgebildete Staffelung vor.

Zertifizierungsstufe	Fiktiver Preisnachlass
5	10,0 %
4	7,0 %
3	4,0 %
2	2,0 %
1	1,0 %
0	0,0 %

Abb. 8.1: ProRail Vorteil bei der Vergabe¹²

Wird ein Unternehmen bspw. nach Stufe 3 zertifiziert, so wird das Angebot dieses Unternehmens bei der Vergabe mit einem Preisnachlass von 4 % auf die Angebotssumme bewertet und hat somit eine größere Chance den Zuschlag zu bekommen.

Auf europäischer Ebene sind vergleichbare Anstrengungen auch in England zu finden. Hier stellt die Crossrail Ltd., die hauptsächlich für die Entwicklung des Schienenverkehrs im Großraum London verantwortlich ist, an die beteiligten Bauunternehmen bestimmte Anforderungen an den Umgang mit dem eigenen Energieverbrauch. Dazu zählen ein Monitoring des Energieverbrauchs, definierte Zielsetzungen zur Reduktion des Energieverbrauchs sowie die Entwicklung von Möglichkeiten zur Verbrauchsreduktion.¹³

In einer Gesellschaft in der das ökologische Bewusstsein immer mehr an Bedeutung gewinnt und sich dies auch politisch niederschlägt, kann in Zukunft die Energieeffizienz von Unternehmen durchaus über die Auftragserteilung entscheiden¹⁴. Dies zeigt sich ganz konkret an einer Initiative aus Großbritannien mit dem Titel „Carbon Disclosure Project“. Diese gemeinnützige Organisation veröffentlicht in regelmäßigen Abständen die CO₂-Bilanzen von teilnehmenden Unternehmen und deren Pläne zur Reduzierung klimaschädlicher Emissionen. Vertreten sind dort Global Player wie Air France-KLM, Dell, PepsiCo oder Philips¹⁵. Diese Unternehmen sind bestrebt, auch an ihre Zulieferer höhere

¹¹ Vgl. [SQS08] S. 2

¹² [PRO09] S. 9

¹³ Vgl. [CRO11]

¹⁴ Vgl. [ZeitBlog10]

¹⁵ Vgl. [CDP11]

Anforderungen bezogen auf Klimaschutzbestrebungen zu stellen. Auf freiwilliger Basis konnten so von anfänglich 235 beteiligten Unternehmen im Jahr 2003 die Daten von 3050 Unternehmen im Jahr 2010 untersucht und veröffentlicht werden¹⁶.

Darüber hinaus werden Unternehmen gesetzlich verpflichtet, sich an Grenzwerte zu halten. Besonders gilt dies für Großemittenten seit Einführung des europäischen Emissionshandels. Dies könnte sich in Zukunft zur Erreichung ambitionierter Klimaziele auch auf andere Industriezweige ausweiten. Doch ob nun gesetzlich verpflichtet oder nicht, für den öffentlichen wie privaten Auftraggeber wird bei der Vergabe von Bauprojekten neben der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit, die Energieeffizienz immer wichtiger. Gelingt es nicht, die Produktion und den Betriebsablauf klimafreundlich zu gestalten, schwinden zunächst die öffentliche Reputation und schließlich die Auftragsbestände.

¹⁶ Vgl. [CDPSCR11]

9 Fazit

Die Bauwirtschaft ist geprägt von kleinen- und mittelständischen Bauunternehmen (KMBU). Vor dem Hintergrund der angespannten wirtschaftlichen Situation vieler Bauunternehmen führt der ruinöse Preiswettbewerb zu mangelhafter Bauausführung, nachlässigem Umgang mit Ressourcen und in der Konsequenz zu wirtschaftlichem Misserfolg. Wirtschaftliches Arbeiten unter Berücksichtigung der Umweltauswirkungen muss allerdings auch unter diesen erschwerten Rahmenbedingungen möglich sein. Allerdings fehlen den KMBU in der Regel die Strukturen, die Kapazitäten und die Zeit, um neben dem operativen Geschäft die eigene Organisations- und Ablaufplanung zu hinterfragen und Defizite im Umgang insbesondere mit der Ressource Energie aufzudecken und zu beheben. Darüber hinaus ist der aktuelle Stand möglicher Einsparpotenziale in KMBU unbekannt.

Aufgrund der zunehmenden Verknappung und der Endlichkeit fossiler Brennstoffe sind weltweit starke Energiepreissteigerungen zu beobachten, die durch die Liberalisierung der Energiebinnenmärkte bestenfalls abgemildert wurden. Um in Zukunft gleichzeitig kostengünstig und umweltschonend bauen zu können, müssen zum einen die Bauabläufe und zum anderen die eingesetzten Baumaschinen im Hinblick auf Einsparpotenziale und energieverbrauchende Prozesse beleuchtet werden. Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes gewonnen Erkenntnisse müssen in eine Systematik für Baustellen einfließen, das ein Energie- und Umweltmanagement in den Baubetrieb integriert und so den Gedanken des nachhaltigen und umweltschonenden Wirtschaftens mit betriebswirtschaftlich sinnvollem Handeln verknüpft. Neben Marketing- und Imagevorteilen, die ein bewusster Umgang mit Energie und Umwelt mit sich bringt, wird durch direkte, erhebliche Kosteneinsparungen die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen gestärkt. Somit wird umweltgerechtes Handeln zum Wirtschaftsfaktor und Wettbewerbsvorteil für Unternehmen.

Als Ergebnis dieses Forschungsprojektes werden Potenziale aufgezeigt, die systematisch mit technischen, organisatorischen und personellen Maßnahmen auf Baustellen erschlossen werden müssen. Der Fokus liegt hierbei insbesondere auf den maschinenintensiven Arbeiten, deren Energiekostenanteil bei bis zu 15 Prozent liegen kann. Aber auch der Stromverbrauch, der überwiegend aus dem Unterhalt der Baustelleneinrichtung resultiert, birgt ein vielversprechendes Einsparpotenzial. Diese können überwiegend mittels nichtinvestiver Maßnahmen wie verbesserter Organisation und Sensibilisierung des Personals erschlossen werden.

Auch im Hinblick auf das erwachende Verantwortungsbewusstsein der Auftraggeber und vor dem Hintergrund der Entwicklungen in den Niederlanden (ProRail) und UK (CrossRail) ist davon auszugehen, dass sich ähnliche Anreizsysteme mittelfristig auch in Deutschland durchsetzen werden.

Allerdings zeigt die Untersuchung, dass dem Thema Energieeffizienz in der Baubranche lediglich eine untergeordnete Rolle zukommt. Für das Management energieintensiver Prozesse sind 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. Auch hier zeigt sich, dass hinsichtlich des

Energieverbrauchs große Unterschiede für verschiedene Geräte und Gerätegruppen bestehen. Eine Anpassung laufender Baustellenprozesse erfolgt wenn überhaupt nur dann, wenn die Bauleistungen stark vom Soll abweichen. Energieeinsparpotenziale durch angepasste Bauabläufe werden jedoch nicht ausgeschöpft. Dieses mangelnde Bewusstsein spiegelt sich auch im Verhalten der Baugeräteführer wieder. Die fehlende Sensibilität im Umgang mit Ressourcen zeigt sich auch beim Stromverbrauch: Zu den Hauptverbrauchern gehören die Beleuchtung und Beheizung der Baustelle und die Baucontainer, die nach Baustellenschluss unnötigerweise weiter in Betrieb bleiben. Der Einfluss von Kleingeräten in der Ausbauphase trägt nur gering zum Gesamtstromverbrauch bei.

Aufgrund der geschilderten Umstände kann eine ganze Reihe von Ansätzen zur energetischen Optimierung von Bauprozessen und deren Management genannt werden. Die Potenziale diesbezüglich bleiben jedoch weiter ungenutzt. Um dies zu ändern, muss zunächst ein Monitoring des Kraftstoffverbrauchs eingeführt werden. Nur wenn der Verbrauch gemessen wird, können effiziente Maschinen und Prozesse identifiziert werden. Idealerweise kann so eine große Datengrundlage für den Kraftstoffverbrauch geschaffen und diese mit den erbrachten Leistungen gekoppelt werden. Auf dieser Basis können Kalkulation und Arbeitsvorbereitung unterstützt und Bauprozesse mit einem geringen Energieeinsatz geplant werden.

Außerdem ist eine Sensibilisierung der die gewerblichen Mitarbeiter für das Thema unabdingbar, da große Einsparpotenziale bereits durch eine Verhaltensanpassung ausgeschöpft werden können.

Weiterhin muss Transparenz am Baugerätemarkt hinsichtlich des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen geschaffen werden. Das setzt die einheitliche Ermittlung von Energieverbräuchen auf Grundlage von genormten Verfahren voraus.

Letztendlich müssen weitere Anreize für Bauunternehmen geschaffen werden, sich aktiv an der Schonung von Ressourcen zu beteiligen. Dies kann z. B. mit Hilfe von Vergabevorteilen, wie bei ProRail in den Niederlanden geschehen. Denn nur wenn die Unternehmen auch einen wirtschaftlichen Vorteil erkennen, werden sie sich verstärkt auf die Reduzierung des Energieverbrauchs und damit des CO₂-Ausstosses konzentrieren.

Ausblick

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.“¹

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

Um das Thema der Energieeffizienz in angemessener Weise in allen Phasen der Bauproduktion zu berücksichtigen, bedarf es eines Energiemanagements für Baustellen. Große Baukonzerne formulieren bereits firmeninterne Umwelt- oder Nachhaltigkeitsziele. In anderen Wirtschaftszweigen, in denen Herstellungsprozesse hohe Umweltbelastungen nach sich ziehen und die Energie- und Ressourcenverbräuche einen wichtigen wirtschaftlichen Faktor bilden, befasst man sich intensiv mit Energiemanagementsystemen. Auch Bauunternehmen steht es offen, sich im Rahmen von Zertifizierungen, die im Wesentlichen auf die Regelungen in DIN EN 16001 und ISO 14001 fußen, zu qualifizieren.

Weiteres Vorgehen

Für die Verbreitung der Forschungsergebnisse ist folgendes in Vorbereitung:

- Weitere Vorträge und Publikationen in Fachzeitschriften
- Veröffentlichung des Forschungsberichts als Fachbuch
- Entwicklung eines Energiemanagements für Baustellen/Bauunternehmen
- Entwicklung einer Vorlesungsreihe „Energie- und Umweltmanagement im Bauwesen“ für den Masterstudiengang Bauingenieurwesen an der BU Wuppertal
- Bundesweiter Fachkongress „Energieeffizienz auf Baustellen“ in Zusammenarbeit mit dem Verband der deutschen Bauindustrie
- Bau-Innovationskongress an der Bergischen Universität Wuppertal (Frühjahr 2012)
- Entwicklung von Schulungen für Baumaschinenführer in Kooperation mit dem Berufsförderungswerk der Bauindustrie auf europäischer Ebene mit Partnern aus den Niederlanden, Frankreich, Bulgarien und Spanien (EU-Forschungsantrag wurde bereits eingereicht)
- Entwicklung definierter Lastzyklen und Messmethoden für die Energieverbrauchsermittlung von Baumaschinen (Skizze wurde bereits eingereicht beim DIN e.V.)
- Ausdehnung des Fokus auf Ressourceneffizienz in der Bauwirtschaft (Forschungsantrag eingereicht bei Zukunft Bau / BBR)
- Entwicklung einer Handlungshilfe „Die energieeffiziente Baustelle“ im Rahmen von inqa bauen (Initiative Neue Qualität des Bauens)
- Unternehmensinterne Workshops

Quellenverzeichnis

- [AGEB1] ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN E.V. (2011): Anwendungsbilanzen: IfE - Einzelbericht Gewerbe, Handel, Dienstleistungen 2008, <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=255> Stand: 20.08.2011
- [AGEB2] ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN E.V. (2011): Anwendungsbilanzen: ISI - Einzelbericht Industrie 2008, <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=255> Stand: 15.08.2011
- [BBAZ07] BRÜSSE, W.: Baubetrieb von A bis Z. Köln: Werner Verlag, 2007
- [BB11] WEBER, A., WEBER, O. et. al.: Vorlesungsskript Baubetrieb, Bergische Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, Wuppertal, 2011
- [BMU08] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2008): Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/studie_klimadeutschland.pdf Stand: 29.03.2011
- [BMW10] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2010): Energie in Deutschland – Trends und Hintergründe zur Energieversorgung, <http://www.bmwi.de/Dateien/Energieportal/PDF/energie-in-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>
- [Broi11] BROICHHAUS, CARSTEN: Analyse der Energieeinsparpotenziale bei Erdbaumaßnahmen und Maßnahmenentwicklung zur Erhöhung der Energieeffizienz auf Baustellen, Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, Bergische Universität Wuppertal, August 2011
- [BUY11] Bucyrus International Inc. (2011) – RH400 Specifications <http://www.bucyrus.com> (Stand: 25.03.11)
- [CDP11] CARBON DISCLOSURE PROJECT (2011): <https://www.cdproject.net/en-US/Results/Pages/overview.aspx> Stand: 12.08.2011
- [CDPSCR11] ATKEARNEY (2011): Carbon Disclosure Project - Supply Chain Report 2011, <https://www.cdproject.net/CDPResults/CDP-2011-Supply-Chain-Report.pdf> Stand: 12.08.2011
- [Ch09] www.christiani.de/pdf/70789_inhalt.pdf, Letzter Zugriff: 23.06.2009

-
- [CRO11] Crossrail Ltd. (2001) – Carbon Footprint
<http://www.crossrail.co.uk/delivering/environment/managing-environment/carbon-footprint> (Stand: 13.07.2011)
- [DBV10] Deponiebetriebsgesellschaft Velbert mbH (2010) Öffentliche Ausschreibung der Errichtung einer Basisabdichtung Bauabschnitt 1 auf der Deponie Plöger Steinbruch – Erweiterung West
- [DGNB09] DGNB, Das deutsche Gütesiegel nachhaltiges Bauen (2009)
(http://www.dgnb.de/fileadmin/downloads/DGNBSystembeschreibung_de_44S_20091217_ohneblatt.pdf) Letzter Zugriff: 27.12.09
- [DIN267] DIN 267: Kosten im Hochbau
- [DIN277] DIN 277: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau
- [DIN18196] DIN 18196 (Juni 2006) Erd- und Grundbau, Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke; ICS 93.020
- [DIN18300] DIN 18300 (Oktober 2006) VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen, (ATV), Erdarbeiten; ICS 91.010.20
- [DÜL10] Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH (2010)
Baubeschreibung – Altteil der Deponie Plöger Steinbruch in Velbert
Oberflächenabdichtung und Entgasung, 1. Bauabschnitt
- [EANRW10] Energiepreise in Deutschland im Vergleich,
<http://www.energieagentur.nrw.de/infografik/grafik.asp?RubrikID=3131>.
Stand: 15.09.2011
- [ECE1] ECE (2011): Informationsbroschüre “Neues Thier-Areal Dortmund”,
http://www.ece.de/shared/media/downloads/1735_de.pdf Stand: 19.08.2011
- [EIAa09] EL AAMOUCI, ALI: Untersuchung zur Energieeffizienz von Bauproduktionsmitteln, Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, Bergische Universität Wuppertal, März 2009
- [EIBau79] HÖSEL, A.: Elektroinstallation auf Baustellen. München: 3. Auflage, Richard Pflaum Verlag KG, 1979

- [ER04] EYERER, P. und REINHARDT, H.-W.: *Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden*, Birkhäuser Verlag, 2004
- [EU06] 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
- [EVGHD09] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE (BMWi) UND BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU): *Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006. -Abschlussbericht*
- [GAR09] Garstka, B. (2009) Skriptum zur Vorlesungsreihe Bauproduktionsmittel Sommersemester 2009 Teil 3, Bergische Universität Wuppertal
- [gen11] STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND (2011): Genesis Online-Datenbank, https://www-genesis.destatis.de/genesis/online;jsessionid=BC6C69B21760340AE83A0E64864F7B66.tomcat_GO_2_2?operation=abruftabelleBearbeiten&levelindex=2&leveli=1315476469559&auswahloperation=abruftabelleAuspraegungAuswaebru&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&selectiselect=44200-0002&auswahltext=%23SWZ03S6-WZ-45&werteabruf=Werteabruf Stand: 10.09.2011
- [HaBa11] HAUPTVERBAND DER DEUTSCHEN BAUINDUSTRIE E.V., 2011, <http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/statistik>
- [Hutsch98] HUTSCHENREUTHER, J. und WÖRNER, T.: *Asphalt im Straßenbau*, Verlag für Bauwesen, 1998
- [Hof06] HOFFMANN, M. (Herausgeber): *Zahlentafeln für den Baubetrieb*, Teubner Verlag, 7. Auflage, 2006
- [HOTI07] HOCHTIEF Nachhaltigkeitsbericht 2007. KLIMASCHÜTZEN. Aus Visionen Werte schaffen.
- [HT09] Hochtief AG, Grüne Schätze – Mehrwert durch nachhaltige Immobilien (2009). http://www.hochtief.de/hochtief/data/pdf/HT_GreenBuilding_de.pdf
- [HTN09] Hochtief AG, Nachhaltigkeitsbericht 2009. <http://www.berichte.hochtief.de/nb09/0.jhtml>, Stand: 6.10.2010

-
- [JCS05] JÖRISSSEN, J. / COENEN, R. / STELZER, V. (2005): Zukunftsfähiges Wohnen und Bauen. Herausforderungen, Defizite, Strategien, edition sigma, Berlin
- [KFW05] KFW-BANKENGRUPPE, Befragung zu den Hemmnissen und Erfolgsfaktoren von Energieeffizienz in Unternehmen, 2005
- [KOE11] Interview mit Dipl.-Ing. S. Körbel (BMTI Baumaschinentechnik International GmbH, Köln) am 10.03.2011
- [Kön08] KÖNIG, H. (2008), Maschinen im Baubetrieb - Grundlagen und Anwendungen, 2. erweiterte Aufl. Vieweg + Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden
- [Kön96] KÖNIG, H.: *Maschinen im Baubetrieb, Grundlagen und Einsatzbereiche*, Bauverlag, 1996
- [Krass05] KRASS, K. und STRAUBE, E.: *Straßenbau und Straßenerhaltung, Ein Handbuch für Studium und Praxis*, Erich Schmidt Verlag, 2005
- [Mey08] MEYER, K. Frappierende Unterschiede beim Dieserverbrauch von Baumaschinen, Attnang-Puchheim, Österreich, 2008
- [Peh10] PEHNT, M.: *Energieeffizienz – Ein Lehr- und Handbuch*, Springer Verlag, Heidelberg, 2010
- [PRO09] ProRail (2009) – Taking care for less CO2 <http://www.prorail.nl> (Stand: 18.03.11)
- [Prognos10] Prognos AG (2010): Rolle und Bedeutung von Energieeffizienz und Energiedienstleistungen in KMU, im Auftrag der KfW Bankengruppe
- [Ries10] RIES, KEVIN: Analyse der energieverbrauchenden Prozesse von Erdbaumaßnahmen am Beispiel „Neubau der JVA- Wuppertal“, Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, Bergische Universität Wuppertal, Februar 2010
- [StaBA08] STATISTISCHES BUNDESAMT (2008), Systematik der Wirtschaftszweige WZ 2008
- [StaBA08a] STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.): Kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland, in: STATmagazin, Wiesbaden, 14.08.2008

-
- [StaBA10] STATISTISCHES BUNDESAMT (2010), Energieverbrauch: Deutschland, Jahre, Produktionsbereiche (Code: 85131-0001), GENESIS-Online Datenbank, eigene Berechnungen
- [StaBA10a] STATISTISCHES BUNDESAMT (2010), Umweltnutzung und Wirtschaft – Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen, Teil 2: Energie, Rohstoffe
- [StaBA10b] STATISTISCHES BUNDESAMT (2010), Produzierendes Gewerbe, Kostenstruktur der Unternehmen im Baugewerbe, Fachserie 4, Reihe 5.3
- [StaBA11] STATISTISCHES BUNDESAMT (2011), Energieverbrauch und Bruttoproduktionswert im Baugewerbe, Genesis-Online Datenbank 85131-0001 und 44200-0002, Stand 28.03.2011
- [StaBA11a] STATISTISCHES BUNDESAMT (2011), Luftemissionen: Deutschland, Jahre, Luftemissionsart, Produktionsbereiche <http://www.destatis.de>, Stand: 24.02.2011
- [SQS08] SQS – Schweizerische Vereinigung für Qualitäts- und Management-Systeme (2008) – Treibhausgasinventar ISO 14064-1 und Klima-Labels: Klimaschutz macht vor Unternehmen nicht halt <http://www.sqs.ch> (Stand: 20.06.11)
- [STRA10] STRABAG SE (2010) Nachhaltigkeitsbericht 2010 – Entdecken Sie unsere Nachhaltigkeit
- [UBA10] UMWELTBUNDESAMT (2011): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix, <http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf> Stand: 01.09.2011
- [UBA11] Umweltbundesamt, Daten zur Umwelt, CO₂-Emissionen nach Quellkategorien, (<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2842>, Stand: 01.04.2011)
- [Ümit09] ÜMIT, PAKIZE SEMRA: Analyse von energieverbrauchenden Prozessen bei der Asphaltbauweise, Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, Bergische Universität Wuppertal, Oktober 2009
- [WIT09] WITT, K. (2009) Grundbau – Taschenbuch – Teil 2: Geotechnische Verfahren, Ernst und Sohn Verlag, Berlin

- [ZeitBlog10] ZEIT ONLINE (2011): Grüne Geschäfte – CO2-Bilanz entscheidet über den Auftrag, <http://blog.zeit.de/gruenegeschaeft/2010/02/01/co2-bilanz-entscheidet-uber-den-auftrag/> Stand: 10.08.2011
- [Zueblin09] http://www3.zueblin.de/databases/internet/_public/content.nsf/web/DE-ZUEBLIN.DE-PRESSE%20-%20NEWS-AKTUELLZ%-C3%BCblin%20und%20BAM%20erstellen%20schl%C3%BCselfertigen%20Neubau%20der%20JVA%20WuppertalRonsdorf#?men1=undefined&men2=undefined&sid=undefined&h=undefined Letzter Zugriff: 14.12.09