

Christoph Motzko, Jörg Klingenberger  
Jan Wöltjen, Daniela Löw

# **Bewertungsmatrix für die Kostenplanung beim Abbruch und Bauen im Bestand**

## **Datenbanksystem zur Analyse und Bewertung in Bezug auf Kosten, Technologien und Dauern**

F 2975

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2016

ISBN 978-3-8167-9624-4

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)

# Bewertungsmatrix für die Kostenplanung beim Abbruch und Bauen im Bestand

Datenbanksystem zur Analyse und Bewertung in Bezug auf Kosten, Technologien und Dauern

Endbericht 2015



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Institut für Baubetrieb

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit

FORSCHUNGSINITIATIVE  
**ZukunftBAU**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Darmstadt Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften Institut für Baubetrieb, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko		<b>Förderkennzeichen:</b> SWD-10.08.18.7-13.21
<b>Kurztitel Vorhabensbezeichnung:</b> Bewertungsmatrix für Abbruchmaßnahmen		
<b>Projektleiter:</b> Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Dr.-Ing. Jörg Klingenberger	<b>Bearbeiter:</b> Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jan Wöltjen Dipl.-Ing. Daniela Löw	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01. Oktober 2013 bis 30. September 2015		
<b>Berichtszeitraum:</b> 01. Oktober 2013 bis 30. September 2015		

## **Präambel**

---

Der vorliegende Endbericht 2015 zum Forschungsprojekt

### **Bewertungsmatrix für die Kostenplanung beim Abbruch und Bauen im Bestand - Datenbanksystem zur Analyse und Bewertung in Bezug auf Kosten, Technologien und Dauern**

wurde vom Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt auf der Grundlage des zurzeit möglichen Kenntnisstandes nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt. Die Ziele des Forschungsprojektes wurden erreicht.

Darmstadt, August 2015

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko

---

## Inhaltsverzeichnis

---

Präambel	I
Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XII
1. Vorbemerkungen	1
1.1. Problemstellung	1
1.2. Zielsetzung	1
1.3. Forschungsansatz und -methodik	1
1.4. Vorgehensweise bei der Projektabwicklung	2
1.5. Aufbau des Endberichts	3
2. Abbildung des Status Quo	5
2.1. Abbruchtechnologie – Stand der Technik	5
2.1.1. Abbruchverfahren	5
2.1.1.1. Literaturrecherche	5
2.1.1.2. Internetrecherche	9
2.1.1.3. Schriftliche Umfrage	15
2.1.1.3.1. Inhaltliche Erläuterung des Fragebogens	17
2.1.1.3.2. Analyse der schriftlichen Umfrage	18
2.1.2. Zusammenfassung aktueller Entwicklungen und Neuerungen	31
2.2. Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen der Abbruchverfahren	32
2.2.1. Trägergerät Hydraulikbagger	32
2.2.1.1. Zusammenhang Dienstgewicht – Kraftstoffverbrauch	34
2.2.1.2. Zusammenhang Dienstgewicht - Losbrech- und Reißkraft	35
2.2.1.3. Zusammenhang Dienstgewicht - Reichweite und Reichhöhe	36
2.2.1.4. Zusammenhang Nennleistung - Maximaler Ölfluss	37
2.2.1.5. Zusammenhang Nennleistung – Lärmemission	38
2.2.2. Anbaugeräte	39
2.2.2.1. Abbruch- und Sortiergreifer	40
2.2.2.2. Hydraulikhammer	41
2.2.2.3. Abbruchzange und –schere	42
2.2.3. Zusammenhang Trägergerät - Anbaugerät	44
2.2.3.1. Ölmengenbedarf	44
2.2.3.2. Erforderliches Dienstgewicht	45
2.3. Rechtliche Rahmenbedingungen von Abbrucharbeiten	47
2.3.1. Hierarchiebezogene Darstellung	47
2.3.2. Prozessbezogene Darstellung	47
3. Kalkulation von Abbrucharbeiten	51

3.1.	Nachkalkulation vorliegender Angebote	51
3.1.1.	Vorgehensweise	51
3.1.1.1.	Projekt 1	54
3.1.1.2.	Projekt 2	55
3.1.1.3.	Untersuchungsobjekt 3	56
3.1.2.	Projektübergreifende Betrachtung	57
3.1.2.1.	Sammelposition „Baustelleneinrichtung“	59
3.1.2.2.	Sammelposition „Gerüste, Schutzmaßnahmen und Krane“	60
3.1.2.3.	Sammelposition „Abbruch Schrottmaterialien“	61
3.1.2.4.	Sammelposition „Abbruch sonstige Baustoffe“	62
3.1.2.5.	Sammelposition „Abbruch mineralische Baustoffe“	63
3.1.2.6.	Sammelposition „Sanierungsarbeiten“	63
3.2.	Datenerhebung: Durchführung von Experteninterviews	65
3.2.1.	Gesprächsleitfaden	65
3.2.2.	Wahl der Experten	65
3.3.	Experteninterviewauswertung	66
3.3.1.	Kostenintensive Prozesse	66
3.3.2.	Modelle zur Preisbildung	68
3.3.3.	Einflussreiche Parameter auf die Preisbildung	69
3.3.3.1.	Projektabhängige Parameter	70
3.3.3.2.	Projektunabhängige Parameter	73
4.	In-Situ-Untersuchungen	76
4.1.	Kriterien der Projektauswahl	76
4.2.	Projektvorstellung	78
4.2.1.	Untersuchungsobjekt 1	79
4.2.1.1.	Objektbeschreibung	79
4.2.1.2.	Zusammensetzung der verbauten Materialien	82
4.2.1.3.	Ablauf der Abbrucharbeiten	83
4.2.2.	Untersuchungsobjekt 2	89
4.2.2.1.	Objektbeschreibung	89
4.2.2.2.	Zusammensetzung der verbauten Materialien	91
4.2.2.3.	Ablauf der Abbrucharbeiten	93
4.2.3.	Untersuchungsobjekt 3	98
4.2.3.1.	Objektbeschreibung	98
4.2.3.2.	Zusammensetzung der verbauten Materialien	100
4.2.3.3.	Ablauf der Abbrucharbeiten	102
4.2.4.	Untersuchungsobjekt 4	107
4.2.4.1.	Objektbeschreibung	107
4.2.4.2.	Zusammensetzung der verbauten Materialien	109
4.2.4.3.	Ablauf der Abbrucharbeiten	110
4.2.5.	Untersuchungsobjekt 5	115

4.2.5.1. Objektbeschreibung	115
4.2.5.2. Zusammensetzung der verbauten Materialien	117
4.2.5.3. Ablauf der Abbrucharbeiten	119
4.2.6. Untersuchungsobjekt 6	122
4.2.6.1. Objektbeschreibung	122
4.2.6.2. Zusammensetzung der verbauten Materialien	128
4.2.6.3. Ablauf der Abbrucharbeiten	129
4.3. Methodik der Arbeitszeitstudien	134
4.3.1. Zielesetzung der Arbeitszeitstudien	134
4.3.2. Arbeitssystem und Kopfbogen	134
4.3.3. Strukturierung der Abläufe	137
4.3.4. Datenerfassungsmethode und Zeitaufnahme	141
4.3.4.1. Zeitaufnahmen mit bis zu zwei Arbeitskräften	141
4.3.4.2. Zeitaufnahmen ab drei Arbeitskräften	142
4.3.5. Zwischenauswertung	144
4.3.6. Bestimmung des Aufwandswertes	147
4.3.6.1. Vorgänge mit fünf oder mehr Aufnahmen	148
4.3.6.2. Vorgänge mit weniger als fünf Aufnahmen	148
4.4. Ergebnisse der Arbeitszeitstudien	153
4.4.1. Untersuchungsobjekt 1	153
4.4.2. Untersuchungsobjekt 2	155
4.4.3. Untersuchungsobjekt 3	156
4.4.4. Untersuchungsobjekt 4	158
4.4.5. Untersuchungsobjekt 5	160
4.4.6. Untersuchungsobjekt 6	162
5. Umsetzung der Ergebnisse: Weiterentwicklung der Bewertungsmatrix	165
5.1. Bewertungsmatrix - Status Quo	165
5.2. Anforderungsanalyse zur Weiterentwicklung der Bewertungsmatrix	168
5.2.1. Festlegung der Inhalte des Pflichtenheft ÖBM	169
5.2.2. Zielbestimmungen	171
5.2.2.1. Musskriterien	171
5.2.2.2. Ausschlusskriterien	171
5.2.3. Produkteinsatz	171
5.2.3.1. Anwendungsbereiche	171
5.2.3.2. Zielgruppen	171
5.2.3.3. Produktumgebung und Betriebsbedingungen	171
5.2.4. Produktfunktionen	172
5.2.4.1. Funktion 1	172
5.2.4.2. Funktion 2	172
5.2.4.3. Funktion 3	172
5.2.4.4. Funktion 4	172

5.2.5.	Produktdaten	172
5.2.6.	Benutzeroberfläche	173
5.2.7.	Qualitätsbestimmungen	173
5.3.	Entwicklung des ökologischen Bewertungsmoduls ÖBM	173
5.3.1.	Datenbanken für Ökobilanzen	173
5.3.1.1.	Datenbanken und Datenverfügbarkeit	173
5.3.1.2.	Identifikation bauspezifischer Datensätze	175
5.3.1.3.	Untersuchungsergebnisse	175
5.3.1.4.	Berechnungsmethodik zur ökologischen Bewertung von Abbruchverfahren	177
5.3.2.	Integration der Berechnungsmethodik in Form des ÖBM	181
5.3.2.1.	Das Ökologische Bewertungsmodul (ÖBM)	181
5.3.2.2.	Modul: Ergebnismodul	182
5.4.	Überarbeitung der Matrix – modulweise Beschreibung	183
5.4.1.	Grundsätzliches	183
5.4.2.	Allgemeines Modul	184
5.4.3.	Prioritätenmodul	185
5.4.4.	Eingabemodul	186
5.4.5.	Verfahrensbewertungsmodul	190
5.4.6.	Kostenbewertungsmodul Industrie	191
5.4.7.	Kostenbewertungsmodul (ehemals KKW)	192
5.4.8.	Zeitbewertungsmodul Industrie	197
5.4.9.	Zeitbewertungsmodul (ehemals KKW)	197
5.4.10.	Ergebnismodul	200
5.4.11.	Aktualisierung bestehender Werte	201
5.5.	Überprüfung Schnittstellengenerierung und Datenbanken	202
5.6.	Globale Testszenarien und Testfälle	203
5.6.1.	Projektdateien	203
5.6.2.	Funktion 1	204
5.6.3.	Funktion 2	205
5.6.4.	Funktion 3	205
5.6.5.	Funktion 4	206
5.7.	Veröffentlichungsform	206
5.8.	Anwendungshilfe Handbuch	207
6.	Fazit	208
6.1.	Zusammenfassung	208
6.2.	Ausblick	211
	Literaturverzeichnis	212
	Anlagenverzeichnis	218

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamttablauf des Forschungsvorhabens .....	3
Abbildung 2: Vorgehensweise bei der schriftlichen Umfrage.....	15
Abbildung 3: Unterteilung der Unternehmen nach der Bauweise der Abbruchobjekte.....	18
Abbildung 4: Anteil der Abbruchprojekte unterteilt nach der Art des Bauwerks .....	19
Abbildung 5: Anteil der Abbruchobjekte unterteilt nach der Höhe.....	19
Abbildung 6: Aufteilung der Unternehmen nach durchschnittlichem Abbruchvolumen .....	20
Abbildung 7: Anteil reiner Abbruchunternehmen.....	20
Abbildung 8: Anteil Pauschal- und Einheitspreisverträge bei Abbruchmaßnahmen .....	21
Abbildung 9: Anteil der verwendeten Trägergeräte für den Abbruch .....	21
Abbildung 10: Anteil nicht angewandeter Abbruchverfahren.....	22
Abbildung 11: Anteil des Einsatzes von Abbruchrobotern .....	23
Abbildung 12: Anteil der Anbaugeräte, die als modern gelten .....	24
Abbildung 13: Anteil der Abbruchgeräte, die als modern gelten .....	25
Abbildung 14: Stellenwert des Einsatzes neuester Abbruchgeräte.....	26
Abbildung 15: Anteil der Baustofftrennung auf der Baustelle .....	27
Abbildung 16: Anwendungshäufigkeit der Maßnahmen gegen Staub .....	27
Abbildung 17: Anteil der Maßnahmen gegen Lärm.....	28
Abbildung 18: Häufigkeit der Maßnahmen gegen Erschütterung.....	29
Abbildung 19: Anteil der Maßnahmen gegen Splitter und Trümmer.....	29
Abbildung 20: Trennung der anfallenden Baustoffe auf der Baustelle.....	30
Abbildung 21: Höhe des Aufwandes zur Erfüllung von Anforderung bezüglich Emissionen .....	30
Abbildung 22: Zusammenhang zwischen Dienstgewicht und Nennleistung von Hydraulikbaggern .....	33
Abbildung 23: Zusammenhang Dienstgewicht - Kraftstoffverbrauch .....	35
Abbildung 24: Zusammenhang Dienstgewicht - Losbrech- und Reißkraft .....	36
Abbildung 25: Zusammenhang Dienstgewicht - Reichweite und Reichhöhe .....	37
Abbildung 26: Zusammenhang Nennleistung - maximaler Ölfluss .....	38
Abbildung 27: Zusammenhang Nennleistung - Lärmemission .....	39
Abbildung 28: Zusammenhang Einsatzgewicht – Schließkraft .....	40
Abbildung 29: Zusammenhang Einsatzgewicht - Einzelschlagenergie .....	41
Abbildung 30: Zusammenhang Einsatzgewicht – Schlagzahl pro Minute .....	42
Abbildung 31: Zusammenhang Einsatzgewicht - Kraftentwicklung .....	43
Abbildung 32: Zusammenhang Einsatzgewicht - Öffnungsweite .....	44
Abbildung 33: Zusammenhang Einsatzgewicht - Ölmengenbedarf.....	45
Abbildung 34: Zusammenhang Einsatzgewicht Anbaugerät - Mindestdienstgewicht Trägergerät .....	46
Abbildung 35: Lageplan Projekt 1 .....	54
Abbildung 36: Übergang zum Gebäude Blickrichtung Osten, Dachansicht und Hauptrohrbrücke Blickrichtung Süden und Stichrohrbrücke Blickrichtung Norden (v.l.n.r.) .....	54
Abbildung 37: Lageplan Projekt 2 .....	55
Abbildung 38: Kopfbau Nordost mit Blickrichtung Südwesten, Abbruch der Spannbetonbinder mit Blickrichtung Nordosten, Trennung von Styropor- und Stahlbetonabfällen (v.l.n.r.) .....	56
Abbildung 39: Lageplan Projekt 3 .....	57
Abbildung 40: Schutzgerüst Westfassade, halbseitige Sperrung Ostseite Blickrichtung Süden, Abbruch des Tragwerks Blickrichtung Südosten (v.l.n.r.).....	57
Abbildung 41: Kostenintensive Sammelpositionen bei Rückbauarbeiten (bezogen auf alle Untersuchungsobjekte) .....	58
Abbildung 42: Einflussgrößen auf die Preisbildung.....	70
Abbildung 43: Untersuchungsobjekt 1 - Blickrichtung Osten und Westen.....	79
Abbildung 44: Traversenfeld, Anschluss Unterzug- Traverse, Anschluss Unterzug- Mittelstütze (v.l.n.r.) .....	80

Abbildung 45: Stahlbetonrampe (l.) mit Tragwerk (m.), Windsteifen (r.) .....	81
Abbildung 46: Schiebetor (l.) und Stahlwellblechwand (r.) .....	81
Abbildung 47: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 1 – relative Darstellung .....	83
Abbildung 48: Untersuchungsobjekt 1 - zeitlicher Ablauf der Abbrucharbeiten .....	83
Abbildung 49: Demontage, Transportvorbereitung und Abtransport der Schutzplanken (v.l.n.r.) .....	84
Abbildung 50: Sicherungsmaßnahmen vor dem Abbruch des Tragwerks .....	85
Abbildung 51: Pressschneiden der Decke .....	85
Abbildung 52: Abbruch oberirdisches Tragwerk - 1. Parkhaushälfte .....	86
Abbildung 53: Trennen (l.), Herausheben (m.) und Umsetzen der Treppenhausbauteile (r.) .....	86
Abbildung 54: Lagerung, Bearbeitung und Verladen der Stahlabfälle (v.l.n.r.) .....	86
Abbildung 55: Reißen der Fundamente (l.) und Bodenplatte (m.); Lösen der Sauberkeitsschicht (r.) .....	87
Abbildung 56: Beschicken des Brechers (l.), Auffangtrichter mit Schwerlastsieb (m.) und Einschwingenbackenbrecher (r.) .....	87
Abbildung 57: Magnetabscheider, Umsetzen des Durchsatzes und Lagerung der Stahlabfälle (v.l.n.r.) .....	88
Abbildung 58: Reißen des Pflasterbelags (l. und m.) und Aufbereitung des Abfälle (r.) .....	88
Abbildung 59: Endzustand Baufeld (l.) und Verfüllung Treppenhaus Nordwest (r.) .....	88
Abbildung 60: Untersuchungsobjekt 2 - Blickrichtung NO und Osten, Lageplan (v.l.n.r.) .....	89
Abbildung 61: Oberirdisches Tragwerk .....	90
Abbildung 62: Schematische Darstellung der Fundamentabmessung .....	90
Abbildung 63: Lüftungsanlage, Medienversorgung .....	91
Abbildung 64: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 2 – relative Darstellung .....	92
Abbildung 65: Zeitlicher Ablauf der Abbrucharbeiten .....	93
Abbildung 66: Details Baustelleneinrichtung .....	94
Abbildung 67: Trennung der unterschiedlichen Materialien .....	94
Abbildung 68: Demontage der Decken .....	95
Abbildung 69: Demontage von Rohrleitungen und Kabeln .....	95
Abbildung 70: Rückbau der Gipskartonwände .....	96
Abbildung 71: Abtransport der Entkernungsmaterialien .....	96
Abbildung 72: Entkernungsarbeiten Dach .....	96
Abbildung 73: Rückbau des oberirdischen Tragwerks .....	97
Abbildung 74: Betrieb der mobilen Aufbereitungsanlage .....	98
Abbildung 75: Rückbau der Fundamente .....	98
Abbildung 76: Untersuchungsobjekt 3 - Blickrichtung SO, NO .....	99
Abbildung 77: Medienversorgung .....	100
Abbildung 78: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 3 – relative Darstellung .....	102
Abbildung 79: Zeitlicher Ablauf der Abbrucharbeiten .....	102
Abbildung 80: Ausbau von Faserzementplatten sowie von Fensterkitt .....	104
Abbildung 81: Dachaufbau respektive Demontage des Dachaufbaus .....	104
Abbildung 82: Abgreifen einer Wand, Scherschneiden eines Riegels, Verladen von Abbruchmaterialien .....	105
Abbildung 83: Abbruch des Versuchsstandes und der Gründungskörper .....	105
Abbildung 84: Stemmen und Pressschneiden der Decken .....	106
Abbildung 85: Stemmen des Blockfundament und der Bodenplatte .....	106
Abbildung 86: Untersuchungsobjekt 4 - Blickrichtung Süden und Norden .....	107
Abbildung 87: Innenausbau der Wohnungen .....	108
Abbildung 88: Technische Gebäudeausrüstung .....	109
Abbildung 89: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 4 nach AVV .....	110
Abbildung 90: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 4 – relative Darstellung .....	110
Abbildung 91: Zeitlicher Ablauf der Abbrucharbeiten .....	111

Abbildung 92: Estrich brechen; Zwischenlagern gebündeltes Styropor, zu entsorgendes Styropor (v. l.)	112
Abbildung 93: Ausbau der Fenster und Abdecken der Dacheindeckung	112
Abbildung 94: Rückbau des oberirdischen Tragwerks	113
Abbildung 95: Rückbau des unterirdischen Tragwerks; Greifen aussortierter Bewehrung (v.l.)	114
Abbildung 96: Ausgebautes Pflaster (l.); Einziehen mit Haken (m.); Einziehen mit Tieflöffel (r.)	114
Abbildung 97: Abladen Sand (l.); Sand in Schichten verteilen (m.); Sand verdichten (r.)	115
Abbildung 98: Untersuchungsobjekt 5 – Blickrichtung Südwesten, Schnitt	116
Abbildung 99: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 1 – relative Darstellung	118
Abbildung 100: Zeitlicher Ablauf der Abbrucharbeiten	119
Abbildung 101: Rückbau des oberirdischen Tragwerks	120
Abbildung 102: Rückbau des Untergeschosses	121
Abbildung 103: Bauschutt aufbereiten und verladen	121
Abbildung 104: Rückbau der Bodenplatte	122
Abbildung 105: Untersuchungsobjekt 5 – Blickrichtung Westen, Norden, Nordwesten	123
Abbildung 106: Gebäudeteil 1 - oberirdisches Tragwerk	123
Abbildung 107: Gebäudeteil 2 - oberirdisches Tragwerk	124
Abbildung 108: Untersuchungsobjekt 6 - oberirdisches Tragwerk	125
Abbildung 109: Unterstützungsstruktur Decken	126
Abbildung 110: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 6 nach AVV	128
Abbildung 111: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 6 – relative Darstellung	129
Abbildung 112: Zeitlicher Ablauf der Abbrucharbeiten	129
Abbildung 113: Entkernungsarbeiten	131
Abbildung 114: Gebäudeteil 1 - Rückbau oberirdisches Tragwerk	131
Abbildung 115: Gebäudeteil 2 und 3 - Rückbau oberirdisches Tragwerk	132
Abbildung 116: Gebäudeteil 4 - Rückbau oberirdisches Tragwerk	132
Abbildung 117: Bauschutttaufbereitung	133
Abbildung 118: Vereinfachte Darstellung der REFA Zeitengliederung	134
Abbildung 119: Arbeitssystem nach REFA	135
Abbildung 120: Kopfbogen für ein Arbeitssystem nach REFA	137
Abbildung 121: Strukturierung von Abläufen bei einem Abbruchprojekt	138
Abbildung 122: Arbeitsablaufbeschreibung für den Rückbau von Untersuchungsobjekt 5	140
Abbildung 123: Zusammensetzung des Aufwandswerts eines Vorgangs anhand der Zeitarten	146
Abbildung 124: Zeitanteile der verwendeten Anbaugeräte in Prozent	154
Abbildung 125: Zeitanteile der angewendeten Abbruchverfahren in Prozent	154
Abbildung 126: Übersicht der prozentualen Verteilung der Zeitartenanteile der Entkernungsarbeiten	155
Abbildung 127: Zeitanteile der verwendeten Anbaugeräte in Prozent	157
Abbildung 128: Zeitanteile der angewendeten Abbruchverfahren in Prozent	157
Abbildung 129: Zeitanteile der verwendeten Anbaugeräte in Prozent	159
Abbildung 130: Zeitanteile der angewendeten Abbruchverfahren in Prozent	159
Abbildung 131: Zeitanteile der verwendeten Anbaugeräte in Prozent	161
Abbildung 132: Zeitanteile der angewendeten Abbruchverfahren in Prozent	161
Abbildung 133: Zeitanteile der verwendeten Anbaugeräte in Prozent	163
Abbildung 134: Zeitanteile der angewendeten Abbruchverfahren in Prozent	164
Abbildung 135: Programmablaufplan der Bewertungsmatrix Status Quo	167
Abbildung 136: Ökologisches Bewertungsmodul	182
Abbildung 137: Eingabemodul mit ausgeblendeten Spalten (Beschreibung) - Stand vorher	186
Abbildung 138: Eingabemodul mit eingeblendeten Spalten (Beschreibung) - Stand nachher	186
Abbildung 139: Beispiel der Verbesserung der Problematik der Berücksichtigung einer doppelten Priorität eines Kriteriums	190

Abbildung 140: Darstellung des entfernten Teils bezüglich einer überflüssigen Unterscheidung nach Bauteilen im Kostenbewertungsmodul. .... 192  
Abbildung 141: Anleitung zum Importieren von XML-Daten nach Excel 2010. .... 202  
Abbildung 142: Übersicht des neuen Ökologischen Bewertungsmoduls ..... 205  
Abbildung 143: Ökologisches Ergebnis der Beispielrechnung anhand Untersuchungsobjekt 1 ..... 206

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht ausgewerteter Fachliteratur zu Abbruchverfahren .....	5
Tabelle 2: Ergebnis der Literaturrecherche zu Abbruchverfahren.....	7
Tabelle 3: Zuordnung der Abbruchgeräte zu den Verfahren nach DIN 18007:2000-05.....	10
Tabelle 4: Liste am Markt verfügbarer Abbruchgeräte mit Angabe der Neuerungen – Teil 1 von 2.....	11
Tabelle 5: Liste am Markt verfügbarer Abbruchgeräte mit Angabe der Neuerungen – Teil 2 von 2.....	12
Tabelle 6: Bereiche für den Einsatz von Abbruchrobotern.....	23
Tabelle 7: Mittelwerte der Geräteklassen .....	33
Tabelle 8: Schema der Kennwertrelationen Trägergerät .....	34
Tabelle 9: Auslastung des Trägergerätes durch Anbaugeräte .....	34
Tabelle 10: Rechtliche Rahmenbedingungen – hierarchiebezogen (Auszug).....	47
Tabelle 11: Rechtliche Rahmenbedingungen – prozessbezogen .....	48
Tabelle 12: Musterleistungsverzeichnis zur Ausschreibung von Abbruchprojekten .....	52
Tabelle 13: Projekt 1 - Preisübersicht für Haupt- und Sammelpositionen.....	52
Tabelle 14: Projekt 1 - Kostenintensive Detailpositionen .....	53
Tabelle 15: Projekt 1 - Kostenintensive Leistungen .....	53
Tabelle 16: Kostenintensive Leistungen der Sammelposition Baustelleneinrichtung .....	59
Tabelle 17: Projektübergreifende Zusammenfassung der Sammelposition Baustelleneinrichtung.....	59
Tabelle 18: Kostenintensive Leistungen (Ausschnitt) der Sammelposition Gerüste, Schutzmaßnahmen und Krane .....	60
Tabelle 19: Projektübergreifende Zusammenfassung der Sammelposition Baustelleneinrichtung.....	60
Tabelle 20: Kostenintensive Leistungen (Ausschnitt) der Sammelposition Abbruch Schrottmaterialien .....	61
Tabelle 21: Preisübersicht Projekt Nr. 2 Detailpositionen Abbruch Schrottmaterialien .....	61
Tabelle 22: Projektübergreifende Zusammenfassung der Sammelposition Abbruch Schrottmaterialien .....	62
Tabelle 23: Projektübergreifende Zusammenfassung der Sammelposition Abbruch sonstige Baustoffe	62
Tabelle 24: Kostenintensive Leistungen (Ausschnitt) der Sammelposition Abbruch sonstige Baustoffe	62
Tabelle 25: Mengenübersicht Detailposition 1.4.1 – Bitumenbahnen mit Isolierung (geschäumter Kunststoff) .....	62
Tabelle 26: Projektübergreifende Zusammenfassung der Sammelposition Abbruch sonstige Baustoffe	63
Tabelle 27: Kostenintensive Leistungen (Ausschnitt) der Sammelposition Abbruch mineralischer Bauschutt .....	63
Tabelle 28: Projektübergreifende Zusammenfassung der Sammelposition Sanierungsarbeiten sowie Arbeiten in kontaminierten Bereichen.....	64
Tabelle 29: Kostenintensive Leistungen (Ausschnitt) der Sammelposition Abbruch mineralischer Bauschutt .....	64
Tabelle 30: Ablauf Experteninterviewauswertung .....	66
Tabelle 31: Kostenanteile einzelner Prozesse .....	67
Tabelle 32: Übersicht prozentuales Verhältnis Personen-, Geräte- Entsorgungskosten.....	68
Tabelle 33: Gliederungsmerkmale der untersuchten Gebäudetypologien.....	76
Tabelle 34: Klassifizierung der Untersuchungsobjekte.....	78
Tabelle 35: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 1 nach AVV .....	82
Tabelle 36: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 2 nach AVV .....	92
Tabelle 37: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 3 nach AVV .....	101
Tabelle 38: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 5 nach AVV .....	117
Tabelle 39: Auszug Zeitaufnahmebogen für Zeitaufnahmen mit bis zu zwei Arbeitskräften .....	143
Tabelle 40: Auszug eines Zeitaufnahmebogens für Arbeitssysteme ab drei Arbeitskräften .....	144
Tabelle 42: Auszug aus Zwischenauswertungsbogen für Zeitaufnahmen mit bis zu zwei Arbeitskräften .....	145

Tabelle 43: Abbruchaufmaß zur Bestimmung der Bezugsmenge.....	147
Tabelle 44: Auswertungsbogen der Einzelzeitaufnahme .....	149
Tabelle 45: Auswertung und Übersicht der Zeitarten .....	150
Tabelle 46: Statistische Auswertung und Kennzahlenermittlung.....	151
Tabelle 47: Auswertung für Vorgänge mit weniger als fünf Aufnahmen .....	151
Tabelle 48: Datenbanken für die Sachbilanz einer Ökobilanz. Stand: Februar 2015 .....	174
Tabelle 49: Bauspezifische Kategorien ausgewählter Datenbanken.....	175
Tabelle 50: Auflistung von Kriterien, deren Beschreibungen überarbeitet wurden.....	187
Tabelle 51: Exemplarische Berechnungssystematik der Änderungen der Kostenkennwerte .....	195
Tabelle 52: Hervorhebung der zu bearbeitenden Kostenkennwerte. ....	196

## Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
$\bar{x}$	arithmetisches Mittel
°C	Grad Celsius (Temperaturangaben)
32. BImSchV	32. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung - 32. BImSchV)
Abb.	Abbildung
AbfAbIV	Abfallablagerungsverordnung
AbfallArbbV	Abfallarbeitsbedingungenverordnung
AbfBeauftrV	Abfall-Beauftragten-Verordnung
AbfVerbrBußV	Abfallverbringungsbußgeldverordnung
AbfVerbrG	Abfallverbringungsgesetz
Abs.	Absatz
ABW	Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung e.V.
ADP	abiotic depletion potential (abiotischer Ressourcenverbrauch)
AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der europäischen Union
AG	Auftraggeber
AK	Arbeitskraft
AltholzV	Altholzverordnung
AN	Auftragnehmer
Anz.	Anzahl
AP	acidification potential (Versauerungspotential)
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
ArbSchZV	Arbeitsschutzzuständigkeitsverordnung
ArbStättV	Arbeitsstättenverordnung
ArbZG	Arbeitszeitgesetz
Art.	Artikel
ASiG	Arbeitssicherheitsgesetz
AT	Arbeitstag, basierend auf einer täglichen Arbeitszeit von acht Stunden
ATV	Allgemeine Technische Vertragsbedingungen
Aufl.	Auflage
ausf.	ausführend
AVV	Abfallverzeichnisverordnung / Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis
AVV Baulärm	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm (Geräuschemissionen)
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffe
B x H	Breite x Höhe
B	Breite
BArBl	Bundesarbeitsblatt
BauGB	Baugesetzbuch
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BaustellV	Baustellenverordnung
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BG BAU	Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BGF	Bruttogrundfläche

BGI	Berufsgenossenschaftliche Informationen
BGR	Berufsgenossenschaftliche Regeln
BGV	Berufsgenossenschaftliche Vorschrift
BImSchG	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)
BioStoffV	Biostoffverordnung
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BNatSchG	Bundes-Naturschutzgesetz
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BRI	Bruttorauminhalt (nach DIN 277)
Bspw.	beispielsweise
BÜ	Bahnübergang
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
cm <sup>3</sup>	Kubikzentimeter
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
d	Dicke
d.h.	das heißt
DafStb	Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau
dB	Dezibel
DepV	Deponieverordnung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DSchG HE	Denkmalschutzgesetz Hessen
DVO-BauGB	Hessische Verordnung zur Durchführung des Baugesetzbuches
e.V.	eingetragener Verein
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EfbV	Entsorgungsfachbetriebsverordnung
EG	Europäische Gemeinschaft
ELCD	European Reference Life Cycle Database
ElektroG	Elektro- und Elektronikgerätegesetz
ELW	Entsorgungsbetriebe der Landeshauptstadt Wiesbaden
EN	Europäische Norm
EP	Eutrophierungspotential (Überdüngungspotential)
EPA	Environmental Protection Agency
eq.	equivalent
et al.	et alii
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
f	festgelegter Vertrauensbereich bei einer Multimomentaufnahme
F	Fortschrittszeit
f.	folgende
f.M.	feste Masse
ff.	fortfolgende
FKZ	Förderkennzeichen
g	Gramm
GaBi	Ganzheitliche Bilanz
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung

GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
Gew.-%	Gewichtsprozent
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung
GG	Grundgesetz
ggf.	gegebenenfalls
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GOK	Geländeoberkante
GPS	Globales Positionsbestimmungssystem
GrwV	Grundwasserverordnung
GWB	Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen
GWP	global warming potential (Treibhauspotential)
h	Stunde(n)
h <sub>A</sub>	Höhe des Abbruchobjektes
HAkrWG	Hessisches Ausführungsgesetz zum Kreislaufwirtschaftsgesetz
HAAltBodSchG	Hessisches Altlasten- und Bodenschutzgesetz
HBO	Hessische Bauordnung
HDW	Hochdruckwasserstrahlen
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
HPPVO	Hessische Prüfberechtigten- und Prüfsachverständigenverordnung
Hrsg.	Herausgeber
Html	Hypertext Markup Language
HUIG	Hessisches Umweltinformationsgesetz
HVA B-StB	Handbuch für die Vergabe und Ausführung von Bauleistungen im Straßen- und Brückenbau
HWG	Hessisches Wassergesetz
i.d.R.	in der Regel
ID	identity (Kennung, hier: eindeutige Identifizierung)
inkl.	inklusive
ISO	Internationale Organisation für Normung
JArbSchG	Jugendarbeitsschutzgesetz
k. A.	keine Angabe
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm
Klasse A IV	Altholzklasse A IV (gemäß Altholzverordnung)
KMF	Künstliche Mineralfasern
kN	Kilonewton
KrW-/AbfG	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz)
KrWG	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG)
kW	Kilowatt
L	Leistungsgrad
l	Liter
l.	links
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LärmVibrationsArbSchV	Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung)
LärmVO	Lärmverordnung der Länder

LasthandhabV	Lasthandhabungsverordnung
LCA	Life Cycle Assessment
$L_{Ex,8h}$	Tages-Lärmexpositionspegel
Lfd.	laufende
LKW	Lastkraftwagen
$L_{pC,peak}$	Spitzenschalldruckpegel
LV	Leistungsverzeichnis
M	Mensch (nach REFA)
m	Meter
m.	Mitte
m/s	Meter pro Sekunde
$m^2$	Quadratmeter
$m^3$	Kubikmeter
MA	ablaufbedingte Unterbrechung beim Menschen (REFA Ablaufart)
max.	maximal
Max.	Maximum
ME	erholungsbedingtes Unterbrechen beim Menschen (REFA Ablaufart)
MH	Haupttätigkeit des Menschen (REFA Ablaufart)
MI	Mensch im Einsatz (REFA Ablaufart)
min	Minuten
Min.	Minimum
mind.	mindestens
MK	Unterbrechung der Tätigkeit beim Menschen (REFA Ablaufart)
ML	Mensch außer Einsatz (REFA Ablaufart)
mm	Millimeter
MMA	Multimomentaufnahme
MMH	Multimomenthäufigkeits-Studie
MN	Nebentätigkeit beim Menschen (REFA Ablaufart)
MP	persönlich bedingte Unterbrechung beim Menschen (REFA Ablaufart)
MR	Betriebsruhe (REFA Ablaufart)
MS	störungsbedingte Unterbrechung beim Menschen
MT	Mensch übt Tätigkeit aus (REFA Ablaufart)
MW	Mauerwerk
MX	nicht erkennbare Tätigkeit beim Menschen (REFA Ablaufart)
MZ	zusätzliche Tätigkeit beim Menschen (REFA Ablaufart)
n	Anzahl
N	Leistungswert
$n'$	erforderlicher Beobachtungsumfang (Anzahl Aufnahmen) einer Multimomentaufnahme
NachwV	Nachweisverordnung
NBVO	Nachweisberechtigten-Verordnung
NE	Nichteisen
NMVOC	Non-Mehtane volatile organic compounds (flüchtige organische Verbindungen)
$NO_x$	Stickoxide
NP	nitrification potential (Eutrophierungspotential)
$n_R$	Anzahl der zusammengehörigen Arbeitssysteme jeder Aufgabe (Multimomentaufnahme)
Nr	Nummer

o. J	ohne Jahresangabe
OG	Obergeschoss
OK	Oberkante
p	prozentualer Anteil der wichtigsten Ablaufart bei einer Multimomentaufnahme
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCBAbfallV	PCB/PCT-Abfallverordnung
PCP	Pentachlorphenol
PCT	Polychlorierte Terphenyle
PE	Peter Eyerer
PET	Polyethylenterephthalat
PO <sub>4</sub>	Phosphate
Pos.	Position
PS	Pressschneiden
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
PSA-BV	PSA-Benutzungsverordnung
PUR	Polyurethane
PVC	Polyvinylchlorid
r.	rechts
RAB	Regeln zum Arbeitsschutz auf Baustellen
RC	Recycling
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V.
REPA	Resource and environmental profile analysis
Richtlinie 2008/98/EG	Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien.
R <sub>T</sub>	Anzahl täglich durchzuführender Rundgänge bei einer Multimomentaufnahme
s	Standardabweichung
S	Statistische Sicherheit
S.	Seite
s.	siehe
SachVBodSchV HE	Sachverständigen-Bodenschutzverordnung Hessen
SiGeKo	Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordinator
T	Auftragszeit
t	Tonne(n), Zeit
t <sub>a</sub>	Ausführungszeit
t <sub>e</sub>	Zeit je Einheit (Aufwandswert)
t <sub>er</sub>	Erholungszeit
t <sub>g</sub>	Grundzeit
TGA	Technische Gebäudeausstattung
t <sub>i</sub>	Ist-Zeit
t <sub>MA</sub>	Zeit aus ablaufbedingtem Unterbrechen
t <sub>ME</sub>	Erholungszeit
t <sub>MH</sub>	Haupttätigkeitszeit
t <sub>MN</sub>	Nebentätigkeitszeit
t <sub>MP</sub>	Zeit aus persönlich bedingtem Unterbrechen

$t_{MS}$	Zeit aus störungsbedingtem Unterbrechen
$t_{MZ}$	Zeit aus einer zusätzlichen Tätigkeit
$t_p$	Persönliche Verteilzeit
$t_r$	Rüstzeit
TRBS	Technische Regeln für Betriebssicherheit
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
$t_s$	Sachliche Verteilzeit
$t_t$	Tätigkeitszeit
TU	Technische Universität
$t_v$	Verteilzeit
$t_w$	Wartezeit
Ü	Übertrag
u.a.	unter anderem
u.	und
USchadG	Umweltschadengesetz
UStatG	Umweltstatistikgesetz
usw.	und so weiter
v	Variationszahl
v.l.	von links
v.l.n.r.	von links nach rechts
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
Verf.	Verfasser
Vgl.	vergleiche
VgV	Vergabeverordnung
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
VOB/A	Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen
VOB/B	Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen
VOB/C	Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen
VOF	Vergabeordnung für freiberufliche Dienstleistungen
VOL/A	Vergabe- und Vertragsordnung für Leistungen - Teil A
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
www	world wide web
$x_i$	bestimmter Wert
Z	Summe aus Übertrag und Gesamtsumme
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
$z_e$	Erholungszeitprozentzuschlag
$z_{er}$	Prozentsatz der Erholungszeit
ZKS	zentrale Koordinationsstelle des Bundes
ZÜSV	Arbeitsschutz-Überwachungsstellenverordnung
$z_v$	Prozentsatz der Verteilzeit
$z_v$	Verteilzeitprozentzuschlag
$\varepsilon$	relativer Vertrauensbereich
$\sigma$	Varianz
$f$	Freiheitsgrad
$t(S; f)$	Faktor zur Bestimmung des relativen Vertrauensbereichs

---

## 1. Vorbemerkungen

---

Das Forschungsvorhaben *Bewertungsmatrix für die Kostenplanung beim Abbruch und Bauen im Bestand – Datenbanksystem zur Analyse und Bewertung in Bezug auf Kosten, Technologien und Dauern* – wurde an der Technischen Universität Darmstadt vom Institut für Baubetrieb, Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, bearbeitet. Der vorliegende Endbericht stellt die Arbeiten des Instituts im Berichtszeitraum 01. Oktober 2013 bis 30. September 2015 dar.

### 1.1. Problemstellung

Der Abbruch von Bauwerken und Bauteilen sowie das Bauen im Bestand stellen eine äußerst komplexe Aufgabe dar, bei der eine Fülle von Randbedingungen und Anforderungen u.a. hinsichtlich Ökonomie, Ökologie und Technik zu berücksichtigen sind. So ist es beispielsweise im Zuge der Kostenplanung des Bauherrn erforderlich, eine möglichst präzise Kostenbestimmung und Ausführungsdauer zu generieren.

### 1.2. Zielsetzung

Das Forschungsprojekt dient der Weiterentwicklung der am Institut für Baubetrieb der TU Darmstadt entwickelten Bewertungsmatrix zur "technischen und ökonomischen Bewertung von Abbruchverfahren im Industriebau". Die Weiterentwicklung dieses Werkzeugs richtet sich zum einen auf die Anwendung bei weiteren Gebäudetypologien außerhalb des Industriebaus und kann zusätzlich auch beim Bauen im Bestand genutzt werden. Zum anderen dient das neue Werkzeug zur transparenten Darstellung bzw. Aufschlüsselung der zu erwartenden Abbruchkosten und Ausführungsdauern. Es werden zusätzlich der neueste Stand der Technik beim Abbruch und die aktuell geltenden rechtlichen Vorschriften mit einbezogen. Analog der Betrachtung der Ausführungsdauern und Kosten sollen die Bestimmung der ökologischen Auswirkungen bestimmter Abbruchverfahren sowie die Gewichtung dieser zueinander erfolgen.

Die Umsetzung erfolgt durch ein EDV-gestütztes Datenbanksystem, welches als Hilfsmittel die Bauherrenseite bei der Bewertung der auftragnehmerseitigen Angebote unterstützen und eine Kosten- und Terminplausibilisierung ermöglichen soll. Analog der Betrachtung der Ausführungsdauern und Kosten soll zudem die Bestimmung der ökologischen Auswirkungen eines jeden Verfahrens sowie die Gewichtung dieser zueinander ermöglicht werden.

### 1.3. Forschungsansatz und -methodik

Inhaltlich sollen zum Erreichen des Projektziels verschiedene Grundlagenuntersuchungen hinsichtlich der geltenden Rechtslage und der gültigen rechtlichen Vorschriften bei Abbrucharbeiten vorgenommen werden.

Weiterhin sollen die derzeit am Markt verfügbaren Abbruchverfahren nach verschiedenen Kriterien wie z.B. die technische Anwendungsmöglichkeit oder Emissionen analysiert, Expertenbefragungen zur Kalkulation geführt und Zeitaufwandswerte von Prozessen beim Abbruch respektive Bauen im Bestand genommen werden.

Um einen Überblick über die Neuerungen hinsichtlich juristischer, technischer und umwelttechnischer Anforderungen geben zu können, findet eine Literaturrecherche zu dem Themenkomplex Abbruch statt. Ferner sind die derzeit am Markt gängigen Abbruchverfahren und -techniken durch Experteninterviews und in Form einer Literaturrecherche abzubilden.

Parallel finden In-Situ-Untersuchungen bei laufenden Projekten statt, bei denen die Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen verschiedener Abbruchverfahren untersucht und analysiert werden. Die Auswahl und Festlegung der Anzahl der gewählten In-Situ-Untersuchungen hinsichtlich geeigneter Projekte findet in Zusammenarbeit mit den im Antrag genannten externen Beteiligten (BASF SE, Krebs+Kiefer Ingenieure GmbH, Schleith GmbH) statt. Hieraus werden Erkenntnisse über zeitintensive Prozesse und kostenintensive Kriterien anhand von Zeitaufwandswerten und Wirkungsgraden der Abbruchverfahren unter den vorherrschenden Randbedingungen der untersuchten Baustellen gewonnen. Anhand einer quantitativen Auswertung von verschiedenen Baustellen können allgemeine Zeitaufwandswerte für Abbrucharbeiten an verschiedenen Bauteilen in Abhängigkeit der Abmessungen, der Bausubstanz, der Höhenlage etc. generiert und Parameter identifiziert werden, die maßgeblich an der Preisbildung bei Abbruchmaßnahmen beteiligt sind.

Einen weiteren Schwerpunkt der Untersuchung stellt die Identifikation kostentreibender Positionen von Abbruchmaßnahmen dar. Aufschluss über die zeit- und kostenintensiven Kriterien sowie die am Markt vorherrschenden Modelle zur Preisbildung bei Abbruchmaßnahmen soll durch die Analyse bzw. Nachkalkulation vorliegender Angebote erreicht werden. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse werden mit Aussagen, die im Rahmen von Experteninterviews ermittelt werden, verglichen. Die Auswahl der Interviewpartner erfolgt ebenfalls gemeinsam mit den im Antrag genannten externen Beteiligten.

Die Zusammen- bzw. Überführung der Ergebnisse der Literaturrecherche, der Experteninterviews sowie der In-Situ-Untersuchungen in die Weiterentwicklung der Bewertungsmatrix bildet die Abschlussphase des Forschungsprojekts. In diesem Kontext soll ebenfalls überprüft werden, inwiefern jedem Abbruchverfahren eine Bewertung hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen zugeordnet werden kann. Insbesondere soll die Möglichkeit der Schnittstellengenerierung zu ökologischen Datenbanken wie beispielsweise die ÖKOBAUDAT untersucht werden.

#### 1.4. Vorgehensweise bei der Projektabwicklung

Insgesamt wird der Bearbeitungsumfang zur Realisierung der zugrunde liegenden Zielsetzung in vier inhaltlich teils aufeinander aufbauende Arbeitspakete aufgeteilt (P1, P2, P4 und P5). Flankierend erfolgt in zwei weiteren Arbeitspaketen (P3 und P6) die Berichterstattung zum Forschungsvorhaben. Inhalt und Methodik der einzelnen Arbeitspakete werden nachfolgend kurz dargestellt. Einen schematischen Überblick zur Gesamtkomposition aller Arbeitspakete respektive des Ablaufs des Forschungsvorhabens gewährt die nachstehende Abbildung 1.

##### **Arbeitspaket 1 (P1): Abbildung des Status Quo der Grundlagen mittels Literaturrecherche**

Im ersten Schritt des Forschungsvorhabens wird mittels einer Literaturrecherche der derzeitige Stand der Technik im Bereich Abbruchtechnologie untersucht. In diesem Zusammenhang sollen die einzelnen Abbruchtechniken unter Beachtung von Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen untereinander verglichen werden. Darüber hinaus wird ein Überblick der geltenden rechtlichen und umweltrechtlichen Belange und Vorschriften im Kontext von Abbrucharbeiten erarbeitet.

##### **Arbeitspaket 2 (P2): Themenschwerpunkt Ökonomie: Ermittlung von Kostenkriterien**

Neben den technischen Grundlagen sollen in Arbeitspaket 2 jene Kriterien ermittelt werden, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Preisbildung und Ausführungsdauer bei Abbrucharbeiten und beim Bauen im Bestand haben. Die Erkenntnisse sollen durch Experteninterviews sowie durch die Nachkalkulation vorliegender Angebote zum Abbruch und Bauen im Bestand gewonnen werden.

**Arbeitspaket 4 (P4): Themenschwerpunkt Zeit: In-Situ-Untersuchungen**

Exemplarisch werden ausgewählte Abbruchprojekte mit dem Arbeitsstudium nach REFA ausgewertet. So sollen Zeitaufwandswerte zu Abbrucharbeiten unter Beachtung der vorherrschenden Randbedingungen ermittelt werden.

**Arbeitspaket 5 (P5): Weiterentwicklung Bewertungsmatrix**

Die gewonnen Ergebnisse und Erkenntnisse werden verknüpft und in der Bewertungsmatrix zusammengeführt. In diesem Kontext soll es ermöglicht werden, jedem Abbruchverfahren eine Bewertung hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen zuzuordnen.

**Arbeitspaket 6 (P6): Zusammenstellung der Ergebnisse, Endbericht**

Zum Abschluss des Forschungsprojektes werden die ermittelten Ergebnisse aufbereitet und für die Veröffentlichung in Form des vorliegenden Endberichts vorbereitet.

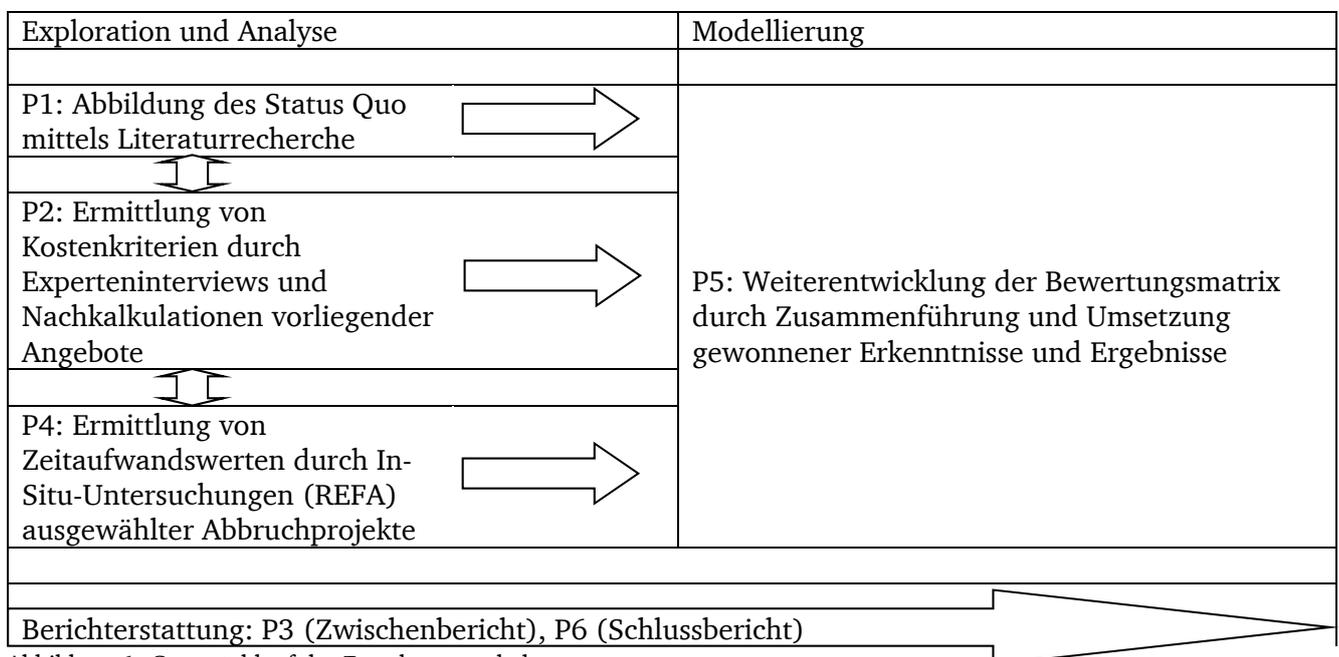


Abbildung 1: Gesamtablauf des Forschungsvorhabens

**1.5. Aufbau des Endberichts**

Der Aufbau des Berichts orientiert sich an den im Rahmen des Projektes gebildeten Arbeitspaketen.

In Kapitel 1 werden einleitend neben der Problemstellung und der Zielsetzung der Forschungsansatz und die Forschungsmethodik sowie die Vorgehensweise bei der Projektabwicklung erläutert. Weiterhin wird der Aufbau des Endberichts dargestellt.

In Kapitel 2 wird der aktuelle Stand der Technik im Bereich Abbruchtechnologie auf Basis der Ergebnisse einer Literaturrecherche, einer Internetrecherche sowie einer schriftlichen Umfrage dargestellt.

Weiterhin werden die Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen im Bereich Abbruchtechnologie untersucht. Aufgrund der Komplexität werden Literatur- und Herstellerangaben analysiert und die generierten Informationen zum Betrieb der Geräte in Form von Kennwerten aufbereitet, grafisch zueinander in Beziehung gesetzt sowie eine Ergebnisinterpretation vorgenommen.

Abschließend erfolgt die Abbildung der geltenden rechtlichen und umweltrechtlichen Belange und Vorschriften im Kontext von Abbrucharbeiten. In einem ersten Schritt werden zunächst systematisch

relevante Vorschriften der verschiedenen Gesetzesebenen – Europäische Ebene, Bundesebene, Länderebene und normative Ebene – untersucht. Die wichtigsten Vorschriften sollen schließlich einzelnen Teilprozessen des Abbruchs zugeordnet werden.

In Kapitel 3 werden auf Grundlage der Nachkalkulation vorliegender Angebote zum Abbruch jene Kriterien ermittelt, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Preisbildung bei Abbrucharbeiten haben. Hierzu stehen detaillierte Leistungsverzeichnisse und Angebotspreisspiegel zu drei Abbruchprojekten zur Verfügung. Es werden auf allen Ebenen der Leistungsverzeichnisse die Kostenträger sowohl projektübergreifend als auch projektspezifisch bestimmt und analysiert.

Zudem werden die theoretischen Grundlagen zur Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Expertengespräche dargestellt. Die Wahl der Experten wird begründet. Anschließend folgt die Auswertung der Expertengespräche. Die ermittelten maßgeblichen Parameter für die Preisbildung werden baubetrieblich kategorisiert und ihre Auswirkungen analysiert. Damit einhergehend werden die Zusammenhänge zwischen den projektspezifischen Randbedingungen und der Abbruchtechnik, den Kosten, der Zeit und den Entsorgungswegen verdeutlicht.

In Kapitel 4 des vorliegenden Endberichts werden zunächst die Kriterien zur Projektauswahl der für die In-Situ-Untersuchungen geeigneten Projekte dargestellt. Eine detaillierte Vorstellung der ausgewählten Untersuchungsobjekte erfolgt nachfolgend jeweils anhand einer Objektbeschreibung sowie einer zusammenfassenden Übersicht der Massen an verbauten Stoffen des Untersuchungsobjektes. Die Projektvorstellung respektive die Vorstellung des Ablaufs der Abbrucharbeiten erfolgt in Anlehnung an die Ablaufstruktur für einen selektiven Totalabbruch. Das Ablaufschema, das in grober Form die Einzelschritte der weiteren Analyse nach REFA vorgibt, wird nachfolgend beschrieben. Für die dokumentierten Vorgänge werden die ermittelten Aufwandswerte und Leistungswerte projektübergreifend tabellarisch zusammengestellt. Abschließend werden weitere ausgewählte Ergebnisse bezogen auf verschiedene Untersuchungsobjekte vorgestellt.

In Kapitel 5 werden einführend die zum Verständnis der Bewertungsmatrix erforderlichen Grundlagen erläutert. Zudem wird die Notwendigkeit der Anpassung respektive Weiterentwicklung dargelegt. Auf Grundlage der Erkenntnisse wird ein Pflichtenheft vorgestellt. Ein besonderer Fokus wird auf die anschließende Ausarbeitung einer Methode zur Bewertung einzelner Abbruchverfahren hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen gelegt. Anhand eines Testszenarios wird die Funktionalität der Weiterentwicklung dokumentiert. Das Kapitel schließt mit der Beschreibung der Veröffentlichungsform.

Das letzte Kapitel 6 fasst sämtliche relevante Ergebnisse des vorliegenden Endberichts zusammen. Abschließend wird ein Ausblick auf weitere mögliche Forschungsaktivitäten gegeben.

## 2. Abbildung des Status Quo

**P1 (Literaturrecherche)** unterteilt sich in die drei Arbeitsschwerpunkte P1.1 "Abbruchtechnologie - Stand der Technik", P1.2 "Vergleich Abbruchtechniken - Einsatzmöglichkeiten und Effizienzen (ökologisch, ökonomisch, organisatorisch-technisch)" sowie P1.3: "Rechtliche Rahmenbedingungen - Abbildung der derzeit geltenden rechtlichen und umweltrechtlichen Belange und Vorschriften im Kontext von Abbrucharbeiten".

### 2.1. Abbruchtechnologie – Stand der Technik

In **P1.1** wird gemäß Antrag insbesondere der derzeitige Stand der Technik im Bereich Abbruchtechnologie untersucht. Dazu werden zunächst die Abbruchverfahren gem. DIN 18007:2000-05 „Abbrucharbeiten“ als Grundlage der weiterführenden Untersuchungen betrachtet. Aktuelle Entwicklungen und Neuerungen in verschiedenen Bereichen sowohl bezüglich der Trägergeräte als auch der Anbaugeräte werden gesondert dargestellt.

#### 2.1.1. Abbruchverfahren

Um alle derzeit am Markt verfügbaren Abbruchverfahren bestimmen zu können, erfolgt eine methodische Untersuchung. Als Ausgangspunkt der Untersuchung dient DIN 18007:2000-05 „Abbrucharbeiten“. Diese wurde im Mai 2000 veröffentlicht und definiert die zu jenem Zeitpunkt vorhandenen Abbruchverfahren. Es ist fraglich, ob die Aktualität der genannten Norm dem heutigen Stand der Technik entspricht. Daher erfolgt an dieser Stelle eine aus drei Phasen bestehende methodische Ermittlung aller derzeit am Markt verfügbaren Abbruchverfahren.

Zu Beginn der Untersuchung wird eine Literaturrecherche durchgeführt, um festzustellen welche Abbruchverfahren in der einschlägigen Literatur aufgeführt sind. In der zweiten Phase wird ergänzend eine Internetrecherche vorgenommen. Mit dieser Recherche soll geprüft werden, ob neben den aus einschlägiger Literatur erfassten Verfahren weitere Verfahren identifiziert werden können. Um ein umfassendes Bild der Neuerungen der Abbruchtechnologie darstellen zu können, sowie die Anwendung einzelner Verfahren und Geräte in der Baupraxis zu prüfen, werden die gesammelten Resultate durch Expertenbefragungen ergänzt.

##### 2.1.1.1. Literaturrecherche

Der Vergleich folgender Fachbücher und Dissertationen (siehe Tabelle 1) dient dazu, einen Überblick der in der Fachliteratur definierten Abbruchverfahren zu erhalten.

Tabelle 1: Übersicht ausgewerteter Fachliteratur zu Abbruchverfahren<sup>1</sup>

Nr.	Titel	Art	Verfasser	Erscheinungsjahr	Verlag
1	Abbruch von Massivbauwerken	Fachbuch	Osebold	1981	Rudolf Müller
2	Moderner Abbruch	Dissertation	Albrecht	1981	Bauverlag
3	Schälen, Trennen und Abbrechen von Betonbauteilen	Fachbuch	Linder	1982	Ernst & Sohn
4	Technische Vorschriften für Abbrucharbeiten	Technische Vorschriften	Deutscher Abbruchverband	1987	Beuth

<sup>1</sup> Weitere Angaben sind dem Literaturverzeichnis zu entnehmen.

Nr.	Titel	Art	Verfasser	Erscheinungsjahr	Verlag
5	Umweltgerechter Rückbau und Wiederverwertung mineralischer Baustoffe	Sammelwerk	Eibl und Walther	1996	Beuth
6	Wirtschaftlichkeit kontrollierter Rückbauarbeiten	Dissertation	Silbe	1999	Mensch und Buch
7	Präventive Berücksichtigung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes beim selektiven Abbruch und verwendungsorientierten Rückbau	Schriftreihe für den Arbeitsschutz	Wangler et al.	1999	Wirtschaftsverlag NW
8	Abbruch von Stahlbeton- und Mauerwerksbauten	Dissertation	Büttner	2002	Cuvillier
9	Abbrucharbeiten	Fachbuch	Lippok und Korth	2007	Rudolf Müller
10	Planung bei Abbrucharbeiten	Dissertation	Löhr	2013	Eigenverlag IfBB

In Tabelle 2 wird dargestellt, welche Verfahren in der jeweiligen Fachliteratur aufgeführt werden. Bei dem Vergleich wird vorrangig geprüft, ob die gemäß DIN 18007:2000-05 vorhandenen Abbruchverfahren genannt werden und welche Verfahren darüber hinaus erwähnt werden.

Tabelle 2: Ergebnis der Literaturrecherche zu Abbruchverfahren

Verfahren gem. DIN 18007		Quelle	Osebold	Albrecht	Linder	TV Abbruch- arbeiten	Eib/Walther	Wangler et al.	Silbe	Büttner	Lippok	Löhr
		Jahr	1981	1981	1982	1987	1996	1999	1999	2002	2007	2013
Abgreifen			X	X		X	X	X	X	X	X	X
Einschlagen			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Eindrücken			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Einziehen			Einreißen	Einreißen	X	X	Einreißen	X	X	X	X	X
Reißen					X			X	X	X	X	X
Stemmen			Abtragen mit AH	Meißeln	X	X	Abtragen mit AH	X	X	X	Meißeln	X
Pressschneiden				X		X	Abgreifen	X	X	X	Brechen	X
Scherschneiden				X				X	X	X	X	X
Spalten durch Pressen				Hyd. Sprengen	X	X	Hyd. Sprengen	X	Spalten	X	X	X
Spalten durch Queldrücken						X	Sprengen mit Exp.	X		X	X	X
Demontieren			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sprengen			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bohren (Kern- und Vollbohren)			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sägen			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Brennschneiden mit Autogenbrennern												
Plasmaschneiden												
Brennschneiden mit Sauerstoffkernlanzen			Bohren mit SKL	Brennbohren	X	Trennbohren	X		Brennbohren	X	Kernlanzen	X
Brennschneiden mit Pulverschneidbrennern			X	MPS	X	MPS	X		X	X	X	X
Hochdruckwasserschneiden			X	X	X	X	Hyd. Schneiden		X	X	HDW-Strahlen	X
Abtragen - Fräsen				Abtragen		X	Schälen	X	X	X	X	X
Abtragen - Schleifen										X	X	X
Abtragen - Hochdruckwasserstrahlen						Hochdruckfräsen	Hyd. Schneiden		HDW-Fräsen	X		
<b>Sonstige Verfahren</b>												
Brennschneiden mit Pulverlanzen				X							X	
Schmelzen mit Thermit			X				X					
Bohren mit elektrischen Lichtbögen			X				X				X	
Bohren mit Raketenstrahlbrennern			X				X					
Laserstrahlen			X	X			X					
Elektronenstrahlen			X				X					
Infrarotstrahlen			X				X					
Elektromagnetische Verfahren			X				X					
Aluminothermisches Trennen							X				X	
Ultraschallverfahren			X									
<b>Hauptanwendungsgebiete</b>			teilweise	teilweise		nein	ja		ja	teilweise	ja	nein
<b>Vor- und Nachteile</b>			ja	teilweise		nein	ja		ja	nein	ja	nein
<b>Legende</b> SKL = Sauerstoffkernlanze HDW = Hochdruckwasser Hyd. = Hydraulisch AH = Abbruchhammer MPS = Metallpulver-Schmelzscheiden Exp. = Expansivmittel Verfahren die in der jeweiligen Fachliteratur mit der selben Bezeichnung wie in der DIN 18007 erwähnt werden, sind in dieser Tabelle mit einem Kreuz vermerkt. Verfahren die in der jeweiligen Fachliteratur mit einer anderen Bezeichnung wie in der DIN 18007 erwähnt werden, sind in dieser Tabelle namentlich ausgeschrieben.												
Mechanisch												
Thermisch												
Chemisch												
Hydrodynamisch												
Sonstiges												

Bei dem Vergleich der Abbruchverfahren sind zunächst Unterschiede bezüglich der Bezeichnung festzustellen. Nach DIN 18007:2000-05 wird der Abbruch durch Einleiten von Zugkräften (z.B. mit Hilfe eines Seilzuges) als Einziehen bezeichnet. Albrecht<sup>2</sup>, Osebold<sup>3</sup> und Eibl<sup>4</sup> nennen das Verfahren Einreißen. Das Reißen wird dagegen als das maschinelle Aufbrechen von Bauteilen mit Tieflöffel oder Reißzahn verstanden<sup>5</sup> und wird von den genannten Autoren nicht erwähnt. Das Stemmen nach DIN 18007:2000-05 wird von Osebold<sup>6</sup> und Eibl<sup>7</sup> als Abtragen mit dem Abbruchhammer bezeichnet. Das Spalten durch Pressen wird von Albrecht<sup>8</sup>, Osebold<sup>9</sup> und Eibl<sup>10</sup> hydraulisches Spalten bzw. hydraulisches Sprengen genannt. Ein weiteres Beispiel für die Begriffsunterschiede ist das Brennschneiden mit der Sauerstofflanze; dieses Verfahren wird von mehreren Autoren auch als Brenn- bzw. Trennbohren bezeichnet.

Die unterschiedlichen Bezeichnungen sind darauf zurückzuführen, dass erst seit Mai 2000, mit Veröffentlichung der DIN 18007:2000-05, die Begriffsdefinitionen der Abbruchverfahren für ein einheitliches Verständnis festgelegt wurden. Nach dem Erscheinen der Norm zum Thema Abbrucharbeiten ist größtenteils eine einheitliche Begriffsverwendung für die Abbruchverfahren feststellbar.

Aus der Literaturrecherche geht hervor, dass Osebold bereits 1981 folgende Verfahren aufzählt, die nicht in der DIN 18007:2000-05 definiert werden:<sup>11</sup>

- Schmelzen mit Thermit
- Bohren mit elektrischen Lichtbögen
- Bohren mit Raketenstrahlbrennern
- Laserstrahlen
- Elektronenstrahlen
- Infrarotstrahlen
- Elektromagnetisches Verfahren
- Ultraschallverfahren<sup>12</sup>

Osebold erläutert, dass es sich bei diesen Verfahren um Versuche handelt, die ungeeignet respektive zu kostenintensiv für Abbrucharbeiten sind und daher keine Anwendung in der Praxis finden. Wangler et al.<sup>13</sup> bestätigen dies für elektromagnetische Verfahren sowie für Verfahren mit Lasterstrahltechnik und Ultraschall.<sup>14</sup>

Das Wirkungsprinzip der Hochdruck-Wassertechnik wird 1999 von Wangler et al. als neu in der baupraktischen Anwendung bezeichnet. Wegen der hohen Investitions- und Betriebskosten ist dieses Verfahren, laut den genannten Autoren, nur im geringen Umfang und in speziellen Fällen im Einsatz.<sup>15</sup>

---

<sup>2</sup> Vgl. Albrecht (1981), S. 36.

<sup>3</sup> Vgl. Osebold (1981), S. 66.

<sup>4</sup> Vgl. Eibl (1996), S. 18.

<sup>5</sup> Vgl. DIN 18007:2000-05, S. 2.

<sup>6</sup> Vgl. Osebold (1981), S. 51.

<sup>7</sup> Vgl. Eibl (1996), S. 21.

<sup>8</sup> Vgl. Albrecht (1981), S. 51.

<sup>9</sup> Vgl. Osebold (1981), S. 83.

<sup>10</sup> Vgl. Eibl (1996), S. 34.

<sup>11</sup> Vgl. Osebold (1981), S. 111 ff.

<sup>12</sup> Vgl. Osebold (1981), S. 45 f.

<sup>13</sup> O. Wangler, J. Opitz, K.-D. Rödenack und R. Steinmetzger

<sup>14</sup> Vgl. Wangler et al. (1999), S. 42.

<sup>15</sup> Vgl. Wangler et al. (1999), S. 42 f.

Albrecht<sup>16</sup> zählt neben dem Demontieren auch das Ein- und Ausschwimmen sowie das Ein- und Ausfliegen von Bauteilen auf. Da es sich hierbei um Transportmöglichkeiten handelt und nicht um die primäre Abbruchtätigkeit werden diese Verfahren nicht bei der Zusammenfassung der Abbrucharbeiten aufgeführt.

Bereits 1999 wird von Wangler et al. der Begriff „Roboter“ für ferngesteuerte Abbruchmaschinen erwähnt. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass die Bezeichnung technisch nicht korrekt ist, da wesentliche Eigenschaften eines Roboters wie beispielsweise das eigenständige programmierbare Handeln bei diesen Geräten nicht vorhanden sind.<sup>17</sup> Nachfolgend wird der Begriff „Abbruchroboter“ für ferngesteuerte Mini-Bagger verwendet.

Bei Betrachtung des Erscheinungsjahres der vorhandenen Fachliteratur ist feststellbar, dass es keine einschlägige Literatur gibt, die nach 2007 veröffentlicht wurde und sich nicht an den Abbruchverfahren gemäß DIN 18007:2000-05 orientiert. Somit kann anhand einer Literaturrecherche die Aktualität der beschriebenen Verfahren nicht geprüft werden. Zudem ist unbekannt, welche Abbruchverfahren respektive Abbruchgeräte derzeit auf dem Markt zur Verfügung stehen und ob diese in der Praxis angewendet werden. Zur weiteren Untersuchung erfolgt daher eine Inhaltsanalyse im Internet.

#### **2.1.1.2. Internetrecherche**

Um eine aktuelle Zusammenfassung der am Markt vorhandenen Abbruchverfahren darstellen zu können, ist eine reine Literaturrecherche nicht ausreichend. Aus diesem Grund wird eine Inhaltsanalyse der Produktangebote marktführender Hersteller für Abbruchgeräte durchgeführt. Diese werden den Abbruchverfahren gemäß der DIN 18007:2000-05 zugeordnet, um zu überprüfen, ob die Geräte weiteren Verfahren aus der Abbruchpraxis zugeordnet werden können. Hierfür werden die im Internet angebotenen Abbruchgeräte von 31 Herstellern tabellarisch erfasst (siehe Anlage 1). Daraus folgt die in Tabelle 3 dargestellte Auflistung von zum 08.03.2015 auf dem Markt erhältlichen Abbruchgeräten.

---

<sup>16</sup> Vgl. Albrecht (1981), S. 38.

<sup>17</sup> Vgl. Wangler et al. (1999), S. 43.

Tabelle 3: Zuordnung der Abbruchgeräte zu den Verfahren nach DIN 18007:2000-05<sup>18</sup>

Verfahren nach DIN 18007		Abbruchgerät																
		Abgreifen	Einschlagen	Eindrücken	Einziehen	Reißen	Stemmen	Pressschneiden	Scherschneiden	Spalten durch Pressen	Spalten d. Queldrücken	Demontieren	Sprengen	Bohren	Sägen	Brennschneiden	HDW-Schneiden	Abtragen
<b>Hydraulikbagger mit ...</b>		X	X	X	X	X	X	X	X			X						X
A1	Hydraulikhammer						X											
A2	Abbruchzange/-schere	(X)						X	X									
A3	Pulverisierer	(X)						X										
A4	Schrottschere/Stahlschere	(X)							X									
A5	Abbruchstiel			X	X													
A6	Reißzahn			(X)	(X)	X												
A7	Abbruch-/Sortiergreifer	X		(X)	(X)													
A8	Fräse																	X
A9	Tieföffel		(X)	X	X	X												
A10	Pfahlbrecher							(X)										
A11	Abrissbirne		X															
A12	Kranhaken										X							
A13	Abbruchlöffel	(X)	(X)	X	X	X												
<b>Seilbagger mit ...</b>		X	X					X	X		X							
A2	Abbruchzange/-schere							(X)	(X)									
A7	Abbruch-/Sortiergreifer	X						(X)										
A11	Abrissbirne		X															
A12	Kranhaken										X							
<b>Radlader mit ...</b>				X	X	X	X											
A1	Hydraulikhammer						X											
A15	Ladeschaufel			X	(X)	(X)												
A14	Heckaufreißer				(X)	X												
A15	Abbruchschaufel																	
S6	Seilzug				X													
<b>Abbruch-Roboter mit ...</b>		X					X	X	X									X
R1	Hydraulikhammer						X											
R2	Abbruchzange/-schere	(X)						X	X									
R3	Stahlschere	(X)							X									
R4	Sortiergreifer	X																
R5	Fräse																	X
<b>Weitere Abbruchgeräte</b>																		
S1	Spaltgeräte									X								
S2	Kombischeren (Handgerät)							(X)	X									
S3	Bohrgeräte												X					
S4	Sägen													X				
S6	Geräte mit Wasserstrahl															X	X	
S7	Geräte zum thermischen Trennen														X			
S8	Stanzwerkzeuge							(X)										
S9	Treibladungskartuschen										X							
S10	Quellmittel										X							

<sup>18</sup> In Anlehnung an Büttner (2002), S. 56 (Tabelle 9) erweitert.

Es wird festgestellt, dass alle ermittelten Geräte den Abbruchverfahren nach DIN 18007:2000-05 zugeordnet werden können. Somit bestehen die Neuerungen<sup>19</sup> in der Entwicklung neuer Geräte respektive in der Verbesserung bereits vorhandener Geräte. Daher werden im nächsten Schritt die Geräte auf jene neuen Entwicklungen hin untersucht. Die Feststellung der Neuerungen erfolgt auf Grundlage der Herstellerbeschreibungen. Zudem werden ausgewählte Beiträge zur Fachmesse Bauma<sup>20</sup> auf gerätespezifische Neuerungen untersucht. Des Weiteren werden 44 Ausgaben der Zeitschrift Abbruch aktuell<sup>21</sup> aus den Jahren 2000 bis 2014 gezielt auf neue Produkte und Entwicklungen analysiert. Betrachtet werden Entwicklungen, die seit 2007 stattgefunden haben. Die Ergebnisse der Untersuchung werden in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Liste am Markt verfügbarer Abbruchgeräte mit Angabe der Neuerungen – Teil 1 von 2

Abbruchgeräte		Neuerungen
<b>Trägergeräte</b>		
T1	Hydraulikbagger	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzierter Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß</li> <li>• Hybrid-Technologie</li> <li>• „Adapter“ für 360° Rotation</li> <li>• Schnellwechselsysteme</li> <li>• Wireless-Equipment-Monitoring-System</li> </ul>
T2	Long-Front-Bagger	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigende Reichhöhe bei Long-Front-Baggern</li> <li>• Schnellwechselsystem für Long-Front-Bagger</li> </ul>
T3	Mini-Bagger	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine wesentlichen Neuerungen</li> </ul>
T4	Seilbagger	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine wesentlichen Neuerungen</li> </ul>
T5	Radlader	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine wesentlichen Neuerungen</li> </ul>
T6	Abbruchroboter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine wesentlichen Neuerungen</li> </ul>
T7	Schornstein-Rückbaugerät	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seit 2008 auf dem Markt verfügbar</li> </ul>
<b>Anbaugeräte</b>		
A1	Hydraulikhammer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bio-Schmierstoff für Hydraulikhämmer</li> <li>• Neueste Geräte verfügen im Allgemeinen über hydraulische Schnellwechselsysteme und auswechselbare Verschleißteile.</li> <li>• Neueste Geräte sind lärm- und erschütterungsärmer als die Vorgänger.</li> </ul>
A2	Abbruchzange/-schere	Neueste Geräte verfügen im Allgemeinen über <ul style="list-style-type: none"> <li>• Drehkranz mit 360°-Rotation,</li> <li>• hydraulische Schnellwechselsysteme und</li> <li>• auswechselbare Zähne und Messer.</li> </ul>
	Betonzange/-beißer	
	Multiprozessoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multiprozessor mit vollhydraulisch auswechselbarem „Bionic-Gebiss“</li> </ul>
A3	Pulverisierer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine wesentlichen Neuerungen</li> </ul>

<sup>19</sup> Mit Neuerungen sind Produktentwicklungen seit 2007 gemeint.

<sup>20</sup> Videobeiträge zur Bauma 2007, 2010 und 2013 veröffentlicht durch bauforum24.tv

<sup>21</sup> Fachmagazin des Deutschen Abbruchverbandes e.V.

Tabelle 5: Liste am Markt verfügbarer Abbruchgeräte mit Angabe der Neuerungen – Teil 2 von 2

Abbruchgeräte		Neuerungen
Anbaugeräte		
A4	Schrott-/Stahlschere	Neueste Geräte verfügen im Allgemeinen über <ul style="list-style-type: none"> <li>• Drehkranz mit 360°-Rotation,</li> <li>• hydraulische Schnellwechselsysteme und</li> <li>• auswechselbare Messer.</li> </ul>
A5	Abbruchstiel	• Keine wesentlichen Neuerungen
A6	Reißzahn	• Kombination von Reißzahn und Hydraulikhammer
A7	Abbruch-/Sortiergreifer	• Keine wesentlichen Neuerungen
A8	Fräse	• Keine wesentlichen Neuerungen
A9	Tieflöffel	• Keine wesentlichen Neuerungen
A10	Pfahlbrecher	• Keine wesentlichen Neuerungen
A11	Abrissbirne	• Keine wesentlichen Neuerungen
A12	Kranhaken	• Keine wesentlichen Neuerungen
A13	Abbruchlöffel	• Keine wesentlichen Neuerungen
A14	Heckaufreißer	• Keine wesentlichen Neuerungen
A15	Abbruchschaufel	• Abbruchschaufel für Radlader
Sonstige Abbruchgeräte bzw. Hilfsmittel		
S1	Spaltgeräte	• Keine wesentlichen Neuerungen
S2	Kombischeren (Handgerät)	• Keine wesentlichen Neuerungen
S3	Bohrgeräte	• Keine wesentlichen Neuerungen
S4	Sägen	• Keine wesentlichen Neuerungen
S5	Seilzug	• Keine wesentlichen Neuerungen
S6	Geräte mit Wasserstrahl	• Keine wesentlichen Neuerungen
S7	Geräte zum thermischen Trennen	• Keine wesentlichen Neuerungen
S8	Stanzwerkzeuge	• Abbruch- und Demontagenibbler
H1	Treibladungskartuschen	• NXbursT™ Technologie
H2	Quellmittel	• Keine wesentlichen Neuerungen

Im Folgenden werden die in den Tabellen aufgelisteten Neuerungen beschrieben. Dabei beschränkt sich die Beschreibung auf Entwicklungen, die wesentlich zum Fortschritt der Abbruchtechnologie beitragen.

### T1 - Reduzierter Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß

Um die Betriebskosten für den Anwender so gering wie möglich zu halten, entwickeln die Hersteller von Trägergeräten Motoren mit reduziertem Kraftstoffverbrauch. Exemplarisch wirbt das Unternehmen Komatsu mit einer speziellen Motorenteknologie für Diesel-Motoren, die neben der Kraftstoffersparnis auch den Rußpartikel ausstoß um mehr als 90 % im Vergleich zum Vorgängermodell senkt.<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Vgl. Komatsu (Motorenteknologie)

Über die Abgasnorm wurde mit Stufe Euro IIIB am 1. Januar 2010 für mobile Arbeitsmaschinen zunächst ein Rußpartikelgrenzwert von 0,025 g/kWh festgelegt.<sup>23</sup> Neben den neuen Baggern von Komatsu entsprechen auch neue Bagger anderer Hersteller wie Hitachi den europaweiten Richtlinien und Verordnungen zur Begrenzung von Schadstoffemissionen (Stufe IIIB respektive Stufe IV).<sup>24</sup>

### **T1 - Hybrid-Technologie**

Aufgrund volatiler Rohstoff- respektive Kraftstoffpreise besteht die Nachfrage nach Alternativen zum üblicherweise eingesetzten Bagger mit Diesel-Motor. Das Unternehmen Komatsu stellt seinen ersten Hybrid-Raupenbagger (PC 200-8 Hybridraupenbagger) zur Bauma 2010 vor.<sup>25</sup> Auch weitere Hersteller wie Liebherr, Caterpillar (CAT) und Hitachi bieten Hybridbagger an. Die Geräte werden mit einer erheblichen Kraftstoffersparnis beworben.<sup>26</sup>

### **T1 - Wireless-Equipment-Monitoring-System**

Um das Gerätemanagement für die ausführenden Abbruchunternehmen zu erleichtern, bieten verschiedene Gerätehersteller ein Wireless-Equipment-Monitoring-System (z.B. Unternehmen Komatsu das System Komtrax) an. Das System überwacht verschiedene technische Daten und Betriebsparameter von Motor, Getriebesteuerung und anderen Baggerkomponenten. Mit diesen Daten kann u. a. der Maschinenzustand geprüft werden. Die Daten können per Internet direkt an einen Servicetechniker übermittelt werden, sodass Fehlerdiagnosen und Reparaturen laut Hersteller schnellstmöglich durchgeführt werden können.<sup>27</sup>

### **T1 - Adapter für 360° Rotation**

Für Anbaugeräte, welche nicht mit einem Drehkranz ausgestattet sind, präsentiert die Unternehmensgruppe HKS auf der Bauma 2010 einen Adapter (RotoBox). Mit ihm können Anbaugeräte an Baggern endlos gedreht werden.<sup>28</sup>

### **T2 - Steigende Reichhöhe bei Long-Front-Baggern**

Long-Front-Bagger sind Hydraulikbagger, welche für die Anwendungen in großen Höhen mit langen Auslegersystemen ausgestattet sind. Insbesondere werden sie als Abbruchbagger eingesetzt, da sie den Rückbau höherer Gebäude ermöglichen. Bereits seit 1980 haben sich in Europa viele neue Auslegersysteme für Abbruchbagger durchgesetzt.<sup>29</sup> Zur Bauma 2007 bewarben sämtliche namhafte Baggerhersteller Long-Front-Bagger.<sup>30</sup> Im Zuge der Interrecherche wird festgestellt, dass die Reichhöhe der Hydraulikbagger nach wie vor steigt. Mit dem CAT 5110B ist derzeit ein Abbruch von Gebäuden mit einer Höhe von bis zu 88 m möglich.<sup>31</sup>

### **T2 - Schnellwechselsystem für Long-Front-Bagger**

Das Unternehmen OilQuick brachte 1993 ein vollhydraulisches Schnellwechselsystem auf den Markt. Mit dieser Technik lassen sich Anbaugeräte innerhalb weniger Sekunden von der Fahrerkabine aus an- und abkuppeln.<sup>32</sup> Die neuste Entwicklung von OilQuick in Kooperation mit Kiesel und Hitachi ist ein Schnellwechselsystem für die speziellen Anforderungen auf einer Abbruchbaustelle. Mit dem neuen

---

<sup>23</sup> Vgl. VDMA (2011), S.46.

<sup>24</sup> Vgl. Hitachi (Super-Longfront-Bagger)

<sup>25</sup> Vgl. Komatsu (Hybrid-Technologie)

<sup>26</sup> Vgl. Zeppelin-Cat und Hitachi (Hybridsystem)

<sup>27</sup> Vgl. Komatsu (Komtrax Plus)

<sup>28</sup> Vgl. HKS

<sup>29</sup> Vgl. Lippok (2007): S. 177.

<sup>30</sup> Vgl. Deutscher Abbruchverband, S. 13.

<sup>31</sup> Vgl. Ehlert & Söhne

<sup>32</sup> Vgl. OilQuick (2015 a)

System kann der Wechsel vom Erdbau-Ausleger für bodennahe Abbrucharbeiten zum Long-Front-Ausleger für die Arbeiten in großer Höhe von der Kabine aus durchgeführt werden.<sup>33</sup>

### **T7 – Drive Breaker**

2008 stellte das Unternehmen MB Schornstein & Betonabbruch ein Spezialabbruchgerät vor, mit dem es möglich ist, Industrieschornsteine abzubrechen. Das System besteht aus einer Unterkonstruktion (Auslegerfüße) auf der mittig ein Abbruchroboter platziert ist. Ferngesteuert können Schornsteine mit einem Abbruchhammer oder einer Abbruchzange spiralförmig von oben nach unten abgebrochen werden. Die Neuentwicklung zeichnet sich dadurch aus, dass sich die Maschine aufgrund der an den Auslegerfüßen befindlichen walzenartigen Rollen umlaufend an der Oberkante der Schornsteinwandung weiterbewegen kann.<sup>34</sup>

### **A1 - Bio-Schmierstoff für Hydraulikhämmer**

Das japanische Unternehmen Furukawa Rock Drill (FRD) präsentierte auf der Bauma 2013 einen biologisch abbaubaren Schmierstoff (Sencio White) für Hydraulikhämmer. Dieser Bio-Schmierstoff wurde speziell für Einsatzbereiche entwickelt, bei denen die Vermeidung einer Umweltbelastung durch austretende Schmierstoffe von Bedeutung ist (z.B. bei Abbrucharbeiten in der Nähe von Gewässern).<sup>35</sup>

### **A2 - Multiprozessor mit vollhydraulisch wechselbarem Bionic-Gebiss**

Im Rahmen der Internetrecherche wurde festgestellt, dass sogenannte Multiprozessoren (Abbruchzangen bzw. -scheren mit wechselbarem Gebiss) bereits von einer Vielzahl an Herstellern angeboten werden (siehe Anlage 1). Bislang mussten die Gebisse manuell gewechselt werden. Auf der Bauma 2010 präsentiert die Unternehmensgruppe LST ein von Defracto neu entwickeltes Anbaugerät, den Demolator XMB.<sup>36</sup> Dieser Multiprozessor verfügt über ein vollhydraulisches Gebiss-Wechselsystem, womit es dem Maschinenführer möglich ist, das Gebiss von der Fahrerkabine aus zu wechseln. Eine weitere Neuheit stellt das Bionic-Gebiss dar, mit dem das Anbaugerät ausgestattet werden kann. Dieses Gerät ermöglicht laut Hersteller das Brechen und Pulverisieren von Beton sowie das Kurzschneiden der Bewehrung in einem Arbeitsschritt.<sup>37</sup>

### **A6 - Kombination von Reißzahn und Hydraulikhammer**

In Kooperation mit FRD entwickelte das Unternehmen Grado Cero den Xcentric Ripper. Dieses Anbaugerät ermöglicht neben dem Reißen auch Stemmen und stellt somit eine Kombination aus Reißzahn und Hydraulikhammer dar.<sup>38</sup>

### **A15 - Abbruchschaufel für Radlader**

Radlader werden für den primären Abbruch selten eingesetzt, jedoch sind sie für Beräumungs-, Lade- und grobe Planierarbeiten auf den Abbruchbaustellen unverzichtbar.<sup>39</sup> Das Unternehmen Avant bietet seit 2014 eine Abbruchschaufel mit zwei unabhängig voneinander arbeitenden Schaufelhälften für Radlader an.<sup>40</sup>

### **S8 - Abbruch- und Demontagenibbler**

Eine Alternative zum thermischen Trennen von plattenförmigen Teilen aus Stahl (z.B. Behälter oder Rohre) ist der Nibbler des Unternehmens Trumpf Grünsch AG. Dieses handgeführte Werkzeug trennt

---

<sup>33</sup> Vgl. OilQuick (2015 b)

<sup>34</sup> Vgl. MB Schornstein- und Betonabbruch

<sup>35</sup> Vgl. BauMagazin

<sup>36</sup> Vgl. Bauforum24

<sup>37</sup> Vgl. Defracto

<sup>38</sup> Vgl. XCentric-Ripper

<sup>39</sup> Vgl. Lippok (2007), S. 191.

<sup>40</sup> Vgl. AvantTecno

mit schnell aufeinanderfolgenden Stanzhüben plattenförmige Bauteile. Das Gerät eignet sich besonders in Bereichen, bei denen der Einsatz thermischer Verfahren eingeschränkt ist wie z.B. bei der Demontage von Chemieanlagen oder dem Rückbau im Bereich von Kernkraftanlagen.<sup>41</sup>

### H1 - NXbursT™ Technologie

Eine weitere Neuheit ist das Spalten und Auflockern von Beton mit der NXbursT™ Technologie, welche auf einer nicht-detonierenden chemischen Verbindung basiert. Dafür werden Treibladungskartuschen in Bohrlöcher eingesetzt und gezündet. Durch die Zündung wird eine große Menge an Gas produziert, welche zur Rissbildung im Beton führt.<sup>42</sup>

Anhand der Internetrecherche konnte eine Zusammenfassung der zum 08.03.2015 am Markt erhältlichen Abbruchgeräte erstellt und den Abbruchverfahren zugeordnet werden. Zwar können zahlreiche Neuerungen festgestellt werden, die Geräte lassen sich jedoch den bereits identifizierten Verfahren zuordnen. Hierbei ist zu beachten, dass mit verschiedenen neuentwickelten Anbaugeräten mehrere Abbruchverfahren ausgeführt werden können.

#### 2.1.1.3. Schriftliche Umfrage

Um die Erkenntnisse, die mit der quantitativen Analyse der Hersteller-Webseiten gesammelt wurden, zu bestätigen respektive zu ergänzen, wird eine Umfrage durchgeführt. Dabei soll auch der baupraktische Einsatz verschiedener Verfahren und Geräte geprüft werden. Die Umfrage soll genutzt werden, um einen allgemeinen Eindruck von der Umsetzung der Anforderungen bei Abbrucharbeiten zu erhalten.

Die schriftliche Umfrage erweist sich deutlich umfangreicher als die Literatur- und Internetrecherche. Um ein methodisch strukturiertes Vorgehen zu gewährleisten, wird der Ablauf der Umfrage im Vorfeld geplant. Der Forschungsprozess ist in Abbildung 2 dargestellt.



Abbildung 2: Vorgehensweise bei der schriftlichen Umfrage

#### Schritt 1: Wahl der Datenerhebungsmethode

Datenerhebungsmethoden, die zur Lösung der zuvor skizzierten Aufgabenstellung führen können, sind Umfragen in Form von Interviews oder in Form eines standardisierten Fragebogens. Um in kurzer Zeit möglichst viele vergleichbare Daten zu sammeln und direkt auszuwerten, wurde anstelle der relativ zeitintensiven Experteninterviews eine schriftliche Umfrage in Form von standardisierten Fragebögen gewählt.

#### Schritt 2: Vorbereitung der Umfrage

Im Vorfeld der Untersuchung wurde festgelegt, welche Unternehmen respektive Personen für die Befragung geeignet sind. Ausschlaggebendes Kriterium ist in diesem Kontext die Expertise potentieller Teilnehmer sowohl bezüglich aktueller Abbruchverfahren und -geräte als auch bezüglich deren Anwendung unter Einhaltung technischer und umwelttechnischer Anforderungen. Experten auf diesem

<sup>41</sup> Vgl. Lippok (2007), S. 240.

<sup>42</sup> Vgl. NXbursT

Gebiet sind somit einerseits die Hersteller von Abbruchgeräten, da diese wettbewerbsbedingt gefordert sind, ihre Produkte dem aktuellen Markt anzupassen. Andererseits zählen auch ausführende Abbruchunternehmen aufgrund praktischer Erfahrung zu Experten im Bereich der Anwendung von Abbruchgeräten, insbesondere unter Einhaltung der gegebenen Anforderungen. Somit ergeben sich als Zielgruppen der Befragung zum einen die Hersteller von Abbruchgeräten und zum anderen die ausführenden Abbruchunternehmen. Um die Befragung gezielt durchführen zu können, wurden für jede dieser beiden Zielgruppen anonyme und standardisierte Fragebögen erstellt.

Die Ermittlung der Unternehmen respektive deren Vertreter erfolgte auf Basis der Mitgliedsliste des Deutschen Abbruchverbandes. Dabei werden Gutachter und Planer ausgeschlossen, da diese keine ausführenden Leistungen erbringen. Unternehmen, die sich auf die Sanierung des Abbruchobjektes, auf die Entsorgung der anfallenden Baustoffe oder auf reine Erdarbeiten beschränken, wurden bei der Auswahl der Teilnehmer ebenfalls ausgeschlossen. Um die Ergebnisse nicht zu verfälschen, wurde jeweils nur ein Fragebogen je Unternehmen ausgewertet.

Die Antwortmöglichkeiten sind größtenteils standardisiert. Somit wurden subjektive Empfindungen der befragten Personen vermieden. Zu jeder Frage konnte zusätzlich eine freie Ergänzung hinzugefügt werden. Dadurch bestand die Möglichkeit, neue Erkenntnisse zu sammeln ohne die Vergleichbarkeit der Antworten zu verlieren. Der Inhalt der Fragebögen wird im nächsten Kapitel erläutert.

### **Schritt 3: Durchführung der Umfrage**

Die Fragebögen wurden ohne Voranfragen per E-Mail deutschlandweit am 06.01.2015 an insgesamt 448 ausführende Abbruchunternehmen und am 07.01.2015 an 35 Hersteller von Abbruchgeräten (bzw. deren deutschsprachigen Vertreter) verschickt. Die Unternehmen erhielten eine Rücksendefrist von vier Wochen.

Von den Anfragen wurden 36 bearbeitete Fragebögen von den ausführenden Unternehmen und 6 Fragebögen von den Herstellern innerhalb der festgelegten Frist zurück gesandt. Um die Rücklaufquote bei den Herstellern zu erhöhen, fand eine zusätzliche Kontaktaufnahme per Telefon statt. Daraufhin erfolgten drei weitere positive Rückmeldungen. Zur Auswertung stehen schließlich 36 Fragebögen der Abbruchunternehmen und neun Fragebögen der Hersteller zur Verfügung. Die Rücklaufquote beträgt 8 % bei den ausführenden Unternehmen und knapp 26 % bei den Herstellern von Abbruchgeräten.

Da die Aussagekraft der Antwortbögen der Hersteller nicht ausreichend war, wurden diese für die weitere Auswertung nicht verwendet.

### **Schritt 4: Auswertung und Analyse der Umfrage**

Im Rahmen der Auswertung wurden die Antworten strukturiert gesammelt und dokumentiert (siehe Anlage 2). Dabei wird festgestellt, dass fünf Rücksendungen für die Datenaufnahme ungeeignet sind.<sup>43</sup> Somit stehen für die Analyse 32 Fragebögen zur Verfügung. Um die gesammelten Daten zu visualisieren, werden die Ergebnisse in Schaubilder übertragen. Diese werden mit der Analyse der Ergebnisse in Kapitel 2.1.1.3.2 vorgestellt.

---

<sup>43</sup> Ein Fragebogen ist leer. Vier weitere Fragebögen sind ungeeignet, da die Unternehmen nicht primär Abbrucharbeiten ausführen.

### 2.1.1.3.1. Inhaltliche Erläuterung des Fragebogens

Im Rahmen der Untersuchung wurden zwei Fragebögen für die schriftliche Umfrage erstellt. Da die zu erforschenden Neuerungen der Abbruchtechnologie verschiedene zentrale Aspekte beinhalten, wurden die Fragebögen nach Themenkomplexen unterteilt. Nachfolgend wird der Fragebogen für die ausführenden Unternehmen vorgestellt.

Der erste Teil befasst sich mit **unternehmensbezogenen Informationen**. Hier sollen die Ergebnisse einen Überblick über den Umfang der Abbruchtätigkeiten der befragten Abbruchunternehmen vermitteln.

- 1.01 Welche Bauweisen werden von Ihrem Unternehmen abgebrochen?
- 1.02 Welche Bauwerke werden von Ihrem Unternehmen i.d.R. abgebrochen?
- 1.03 Welches Abbruchvolumen (Bruttorauminhalt bzw. umbauter Raum) wird bei Ihren Projekten in der Regel abgebrochen?
- 1.04 Bieten Sie neben Abbruchleistungen noch andere Leistungen (z.B. Rohbau) an?
- 1.05 Welche Vertrags-Typen werden bei Ihren Abbruch-Projekten i.d.R. vereinbart?

Der zweite Abschnitt bezieht sich auf die **technischen Anforderungen beim Abbruch**. Neben den von den Unternehmen angewendeten Abbruchverfahren wurde hinterfragt, welche Geräte als modern angesehen werden und welche Neuerungen den jeweiligen Unternehmen bekannt sind.

- 2.01. Welche Abbruchverfahren werden bei Ihnen i.d.R. angewendet?
- 2.02. Welche Abbruchverfahren werden von Ihrem Unternehmen nicht angewendet?
- 2.03. Verwenden Sie Abbruchroboter für Ihre Projekte?
- 2.04. Falls Sie Abbruchroboter verwenden, wann kommen diese zum Einsatz?
- 2.05. Welche aktuell auf dem Markt erhältlichen Abbruchgeräte sehen Sie als modern<sup>44</sup> an?
- 2.06. Sind Ihnen Neuerungen bei der Technologie von Abbruchverfahren bekannt? Bzw. sind Ihnen neue Abbruchverfahren oder Abbruchgeräte bekannt, die bereits Anwendung finden oder demnächst angewendet werden sollen?
- 2.07. Welchen Stellenwert hat bei Ihnen der Einsatz von neusten Abbruchgeräten?
- 2.08. Wo sehen Sie Verbesserungspotential bei den Abbruchgeräten?

Im dritten Teil wurden die **umwelttechnischen Anforderungen an den Abbruch** thematisiert. Es sollte identifiziert werden, mit welchen Methoden aktuell die Anforderungen in Bezug auf Emissionen (Staub, Lärm, Erschütterungen, Splitter und Trümmer) erfüllt werden. Zudem sollte ermittelt werden, ob die anfallenden Materialien auf den Baustellen getrennt werden und auf welcher Art die Trennung erfolgt.

- 3.01. Hatten Sie in den letzten 10 Jahren Projekte, bei denen die anfallenden Materialien (Stahl, Glas, Dämmstoffe, etc.) nicht auf der Baustelle vorsortiert wurden?
- 3.02. Wie versuchen Sie hauptsächlich den Anforderungen im Bereich Staub gerecht zu werden?
- 3.03. Wie versuchen Sie hauptsächlich den Anforderungen im Bereich Lärm gerecht zu werden?

---

<sup>44</sup> Modern steht in diesem Kontext äquivalent zu „neuester Stand der Technik“.

- 3.04. Wie versuchen Sie hauptsächlich den Anforderungen im Bereich Erschütterung gerecht zu werden?
- 3.05. Wie versuchen Sie hauptsächlich den Anforderungen im Bereich Splitter und Trümmer gerecht zu werden?
- 3.06. Wie werden bei Ihren Projekten i.d.R. die Baustoffe auf der Baustelle getrennt?
- 3.07. Wie hoch ist i.d.R. der Aufwand, um die folgenden Anforderungen zu erfüllen?

### 2.1.1.3.2. Analyse der schriftlichen Umfrage

Der erste Teil befasst sich mit **unternehmensbezogenen Informationen**. Die nachfolgenden Ergebnisse vermitteln einen Überblick über den Umfang der Abbruchtätigkeiten der befragten Abbruchunternehmen.

#### 1.01. Welche Bauweisen werden von Ihrem Unternehmen abgebrochen?

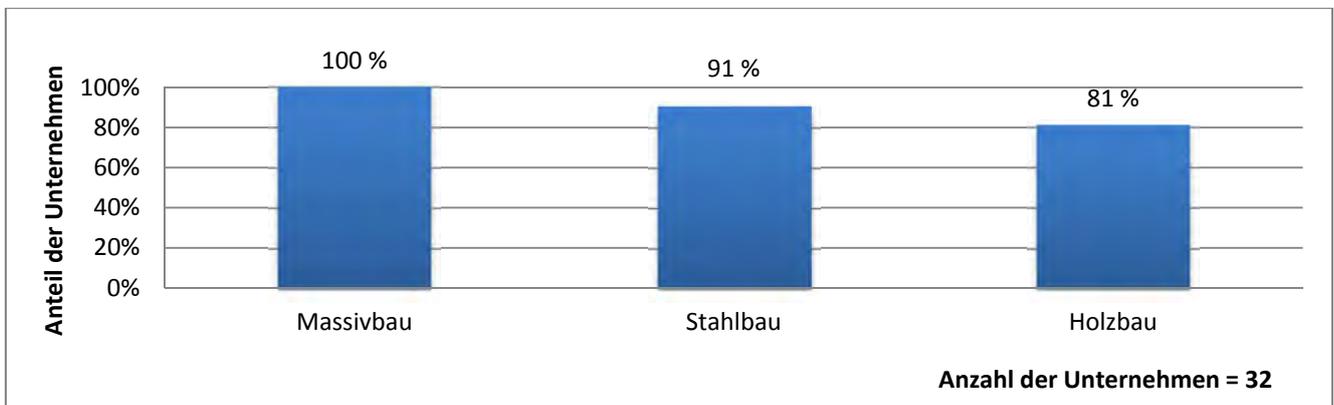


Abbildung 3: Unterteilung der Unternehmen nach der Bauweise der Abbruchobjekte

Anhand der Beantwortung der ersten Frage ist ersichtlich, dass alle befragten Unternehmen Bauwerke in Massivbauweise abbrechen. 29 von 32 Unternehmen führen ebenfalls den Rückbau von Stahlbauwerken durch. Zudem befassen sich 26 von 32 Unternehmen mit dem Rückbau von Holzbauwerken. Das verdeutlicht, dass sich ausführende Abbruchunternehmen selten lediglich auf den Abbruch von Objekten einer Bauweise beschränken. Somit müssen die Unternehmen über entsprechende Gerätschaften verfügen, um projektspezifisch geeignete Abbruchverfahren anwenden zu können.

## 1.02. Welche Bauwerke werden von Ihrem Unternehmen i.d.R. abgebrochen?

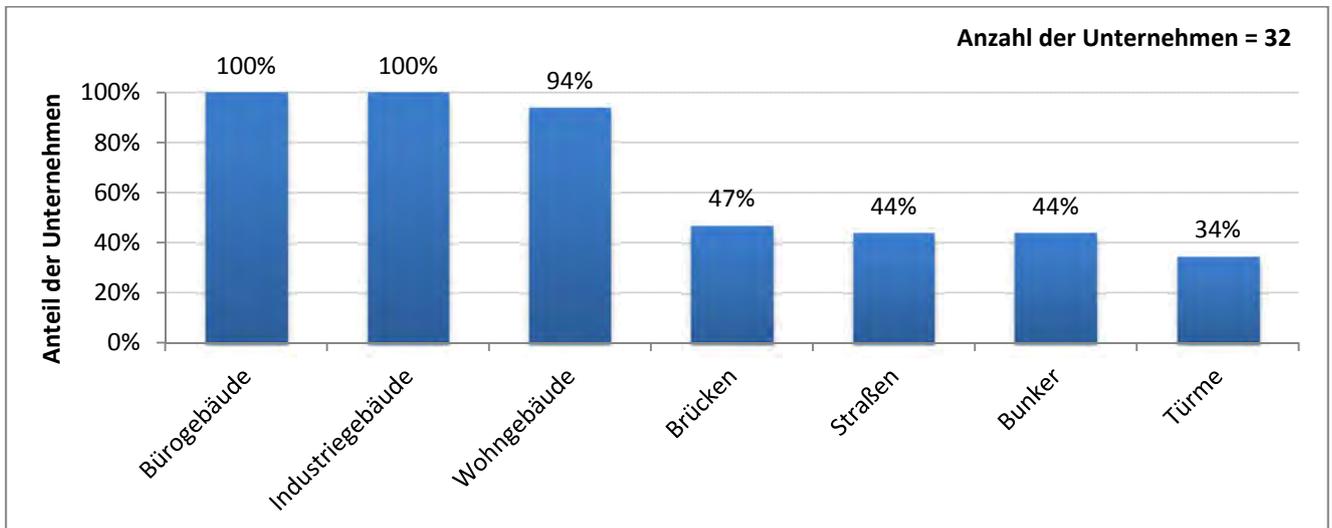


Abbildung 4: Anteil der Abbruchprojekte unterteilt nach der Art des Bauwerks

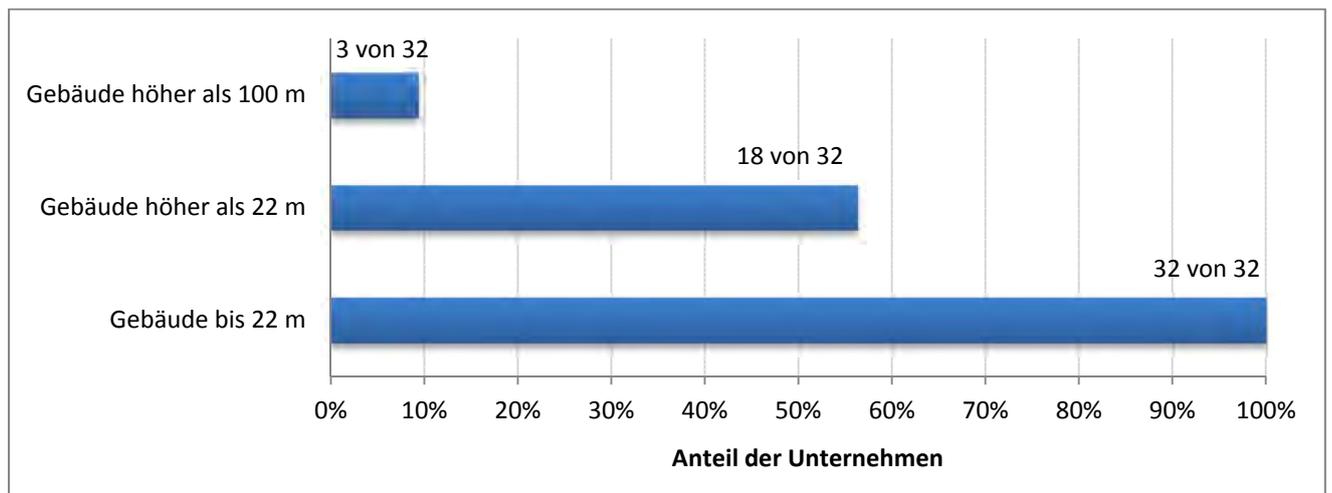


Abbildung 5: Anteil der Abbruchobjekte unterteilt nach der Höhe

Es wird festgestellt, dass nahezu alle befragten Unternehmen sowohl Bürogebäude, Industriegebäude als auch Wohngebäude abbrechen. 34 bis 47 % der Unternehmen übernehmen den Rückbau von Brücken, Bunkern, Straßen und Türmen. Laut Musterbauordnung<sup>45</sup> werden Gebäude, die höher als 22 m sind, als Hochhäuser bezeichnet. Zum Abbruch dieser Gebäude kommen sogenannte „Long-Front-Bagger“ zum Einsatz. 18 von 32 Unternehmen haben angegeben, dass sie Gebäude höher als 22 m abbrechen. Ein Spezialgebiet stellen Gebäude über 100 m dar. Ein Verfahren zum Abbruch von sehr hohen Gebäuden ist das Sprengen. Eine weitere Möglichkeit ist der schrittweise Rückbau der einzelnen Geschosse bis auf eine für den Hydraulikbagger erreichbare Höhe. Laut Umfrage beschäftigen sich drei Unternehmen mit diesem Spezialgebiet.

<sup>45</sup> MBO §2 Abs. 4 Nr. 1.

### 1.03. Welches Abbruchvolumen (Bruttorauminhalt bzw. umbauter Raum) wird bei Ihren Projekten in der Regel abgebrochen?

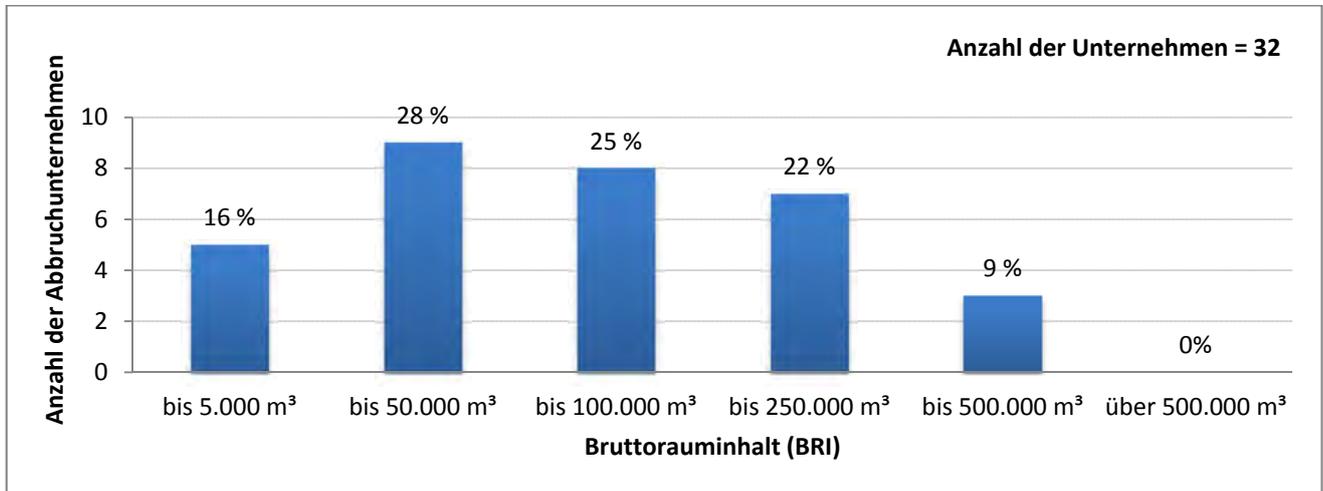


Abbildung 6: Aufteilung der Unternehmen nach durchschnittlichem Abbruchvolumen

Um einen Eindruck vom Umfang der Projektgröße einer Abbruchmaßnahme zu erhalten, kann die Betrachtung des Abbruchvolumens herangezogen werden. Anhand des durchschnittlichen Abbruchvolumens der Abbruchobjekte kann auf die durchschnittliche Projektgröße eines Unternehmens zurückgeschlossen werden. So ist feststellbar, dass sich von den befragten Abbruchunternehmen nur fünf Unternehmen (16 %) ausschließlich mit Kleinprojekten bis 5.000 m³ BRI beschäftigen. Mittlere Projekte von 5.000 bis 100.000 m³ BRI werden von 17 Unternehmen (53 %) und Großprojekte über 100.000 m³ BRI von 10 Unternehmen (31 %) abgewickelt.

### 1.04. Bieten Sie neben Abbruchleistungen noch andere Leistungen (z.B. Rohbau) an?

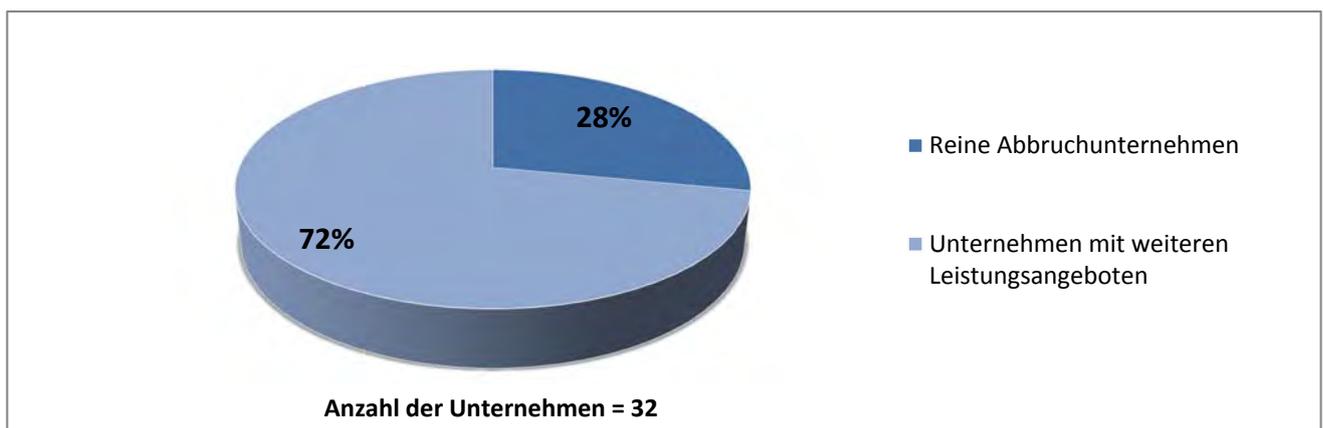


Abbildung 7: Anteil reiner Abbruchunternehmen

Von den 32 befragten Unternehmen bieten neun Unternehmen nur Abbruchleistungen (inkl. Entkernung) an. Die restlichen Unternehmen führen neben den Abbrucharbeiten auch andere Leistungen aus wie z.B. Sanierung, Entsorgung, Erdarbeiten und Tiefbau.

### 1.05. Welche Vertrags-Typen werden bei Ihren Abbruch-Projekten in der Regel vereinbart?

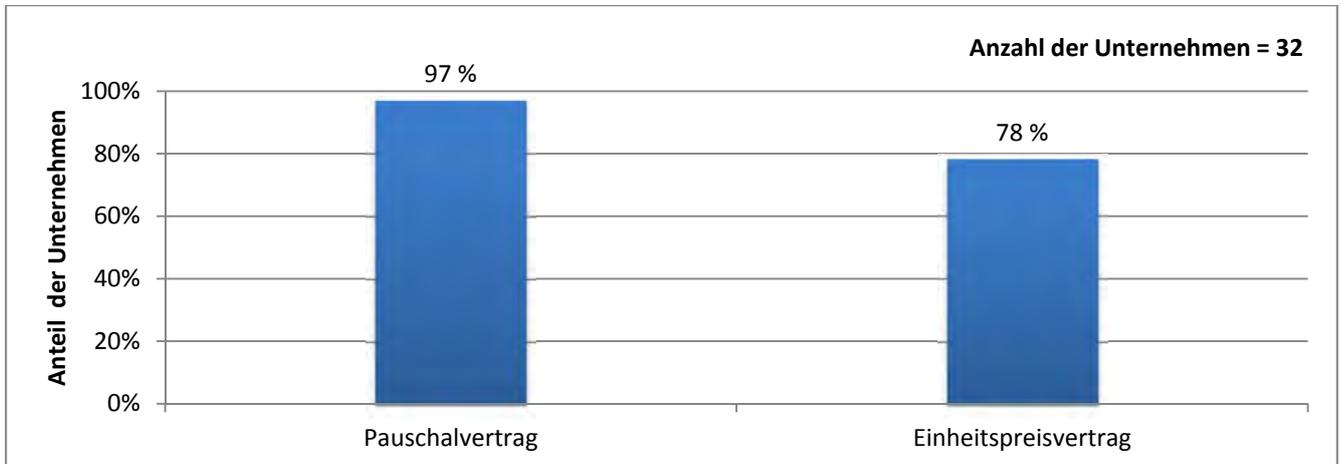


Abbildung 8: Anteil Pauschal- und Einheitspreisverträge bei Abbruchmaßnahmen

Laut Umfrage erfolgt die Vergabe der Projekte bei 78 % (25 von 32 Unternehmen) der Befragten sowohl pauschal als auch mit Einheitspreisen. 19 % (6 von 32 Unternehmen) schließen ausschließlich Pauschalverträge ab. Somit wird festgestellt, dass Abbruchprojekte nicht nur pauschal vergeben werden.

Der zweite Abschnitt des Fragebogens bezieht sich auf die **technischen Anforderungen beim Abbruch**. Neben den angewendeten Abbruchverfahren der Unternehmen wird hinterfragt, welche Geräte als modern angesehen werden und welche Neuerungen den jeweiligen Unternehmen bekannt sind.

### 2.01. Welche Geräte werden bei Ihnen in der Regel eingesetzt?

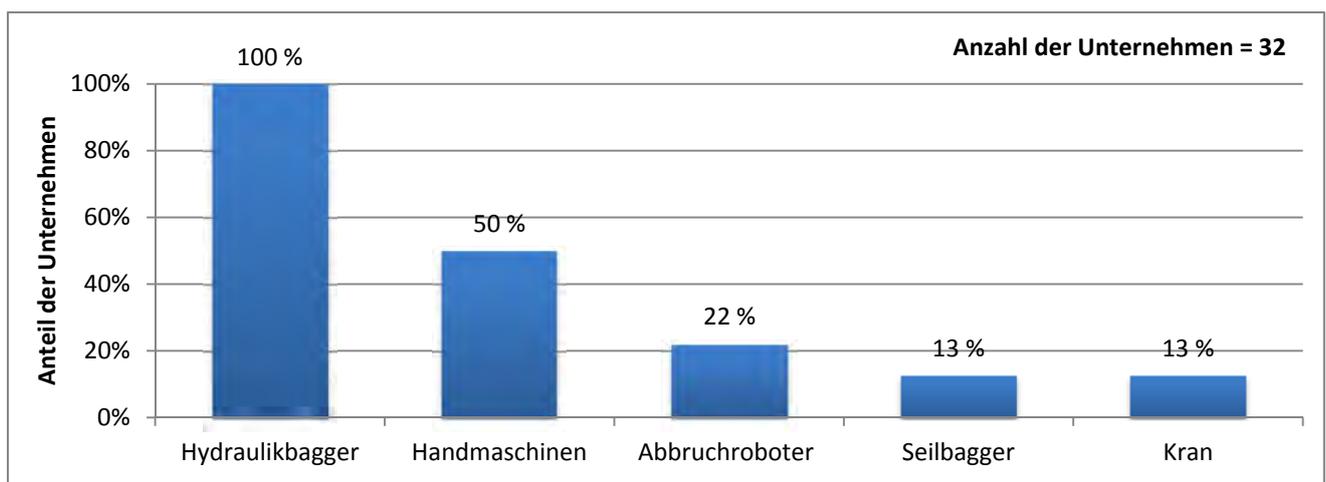


Abbildung 9: Anteil der verwendeten Trägergeräte für den Abbruch

Die grafische Auswertung zu Frage 2.01. veranschaulicht, welche Trägergeräte die befragten Abbruchunternehmen verwenden. Alle Unternehmen geben an, dass sie den Hydraulikbagger verwenden. 50 % aller befragten Unternehmen verwenden zusätzlich Handmaschinen für den

Abbruch. Bereits 22 % besitzen Abbruchroboter und jeweils 13 % arbeiten neben dem Hydraulikbagger auch mit Seilbaggern und Kran. Somit ist ersichtlich, dass der Hydraulikbagger einen sehr hohen Stellenwert im Abbruch einnimmt. Lippok gibt an, dass 2005 die Anwendungshäufigkeit von Hydraulikbaggern bei 83 % lag.<sup>46</sup> Daraus und unter Betrachtung der festgestellten Neuerungen im Rahmen der Internetrecherche (vgl. Kapitel 2.1.1.2) lässt sich schließen, dass besonders bei der Entwicklung von Hydraulikbaggern viele Neuerungen umgesetzt werden, um die Geräte an die Anforderungen beim Abbruch noch besser anzupassen.

## 2.02. Welche Abbruchverfahren werden von Ihrem Unternehmen nicht angewendet?

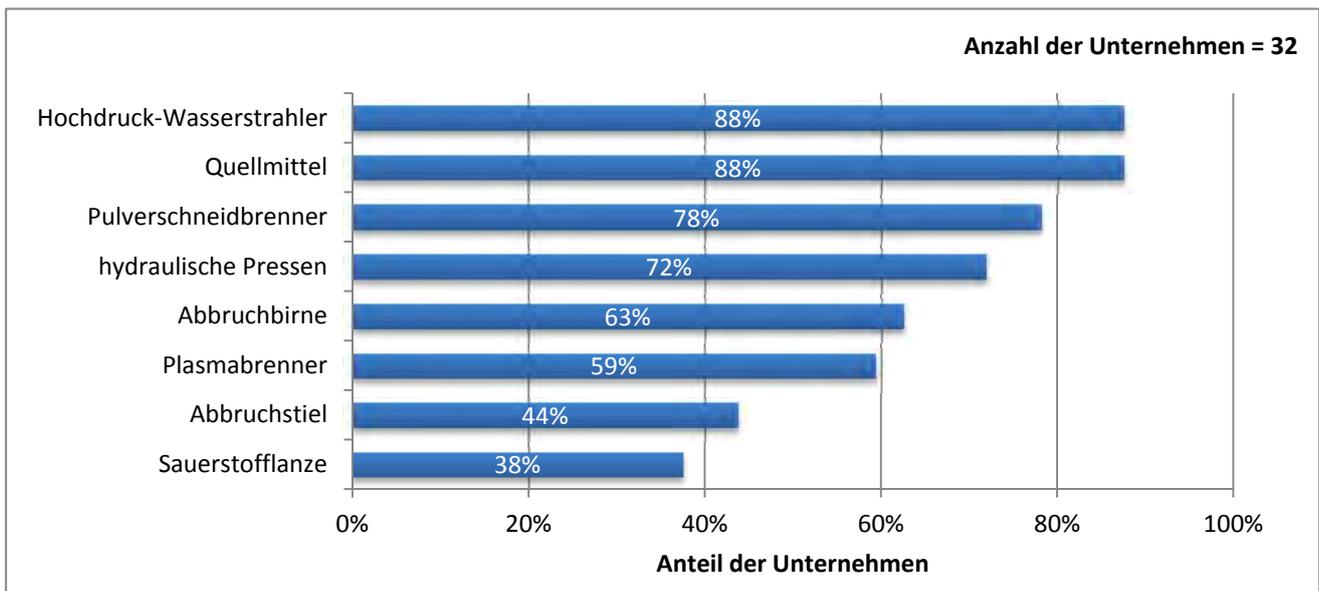


Abbildung 10: Anteil nicht angewendeter Abbruchverfahren

Durch Beantwortung der Fragestellung 2.02 soll aufgezeigt werden, welche Abbruchverfahren in der Baupraxis selten respektive nicht angewendet werden. Es ist ersichtlich, dass das Spalten mittels Quellmittel sowie das Hochdruck-Wasserstrahl-Verfahren jeweils nur von vier Unternehmen angewendet werden. Auf Basis der Umfrageergebnisse kann die 1999 von Wangler et al. getroffene Aussage (vgl. Kapitel 2.1.1.1), dass die Verfahren mit Hochdruck-Wasserstrahlen nur in geringem Umfang und für spezielle Fälle eingesetzt werden, nach wie vor als gültig angesehen werden. Eine vergleichbare Situation herrscht bei der Anwendung von Quellmitteln.

Beim Schneidbrennen ist festzustellen, dass die Pulverschneidbrenner mit 22 % von einem geringen Anteil der befragten Unternehmen zum Abbruch verwendet werden. Danach folgt das Plasmabrennen mit einem Anteil von 41 %. Die Umfrage ergibt, dass 20 Unternehmen (62 %) auch mit Sauerstoffkernlanzen arbeiten. Somit ist dies, abgesehen von der Anwendung klassischer Autogenbrenner<sup>47</sup>, das am häufigsten angewendete Verfahren beim Brennschneiden.

<sup>46</sup> Vgl. Lippok (2007), S. 351 (Tabelle 4.1).

<sup>47</sup> Das Brennschneiden mit dem Autogenbrenner stand bei der Antwortmöglichkeit nicht zur Auswahl. Dieses Verfahren wird als allgemein gängig angesehen. Bei den Antwortmöglichkeiten standen nur Verfahren zur Auswahl, welche vermuten lassen, dass diese in der Praxis nicht mehr angewendet werden.

Der Anteil jener Unternehmen, welche den Abbruch mit Abrissbirnen nicht ausschließen, beträgt 37 %. 12 Unternehmen geben an, derzeit Abrissbirnen zu verwenden. Im Rahmen der Internetrecherche konnten keine Hersteller ermittelt werden, die derzeit Abrissbirnen anbieten (vgl. Anhang 1). Dies schließt jedoch das Angebot von gebrauchten Abrissbirnen nicht aus. Zudem produzieren einige große Abbruchunternehmen ihre Anbaugeräte teilweise selbst. Somit zählt auch der Abbruch mit Abrissbirnen zu den derzeit am Markt verfügbaren Abbruchverfahren.

### 2.03. Seit wann verwenden Sie Abbruchroboter für Ihre Projekte?

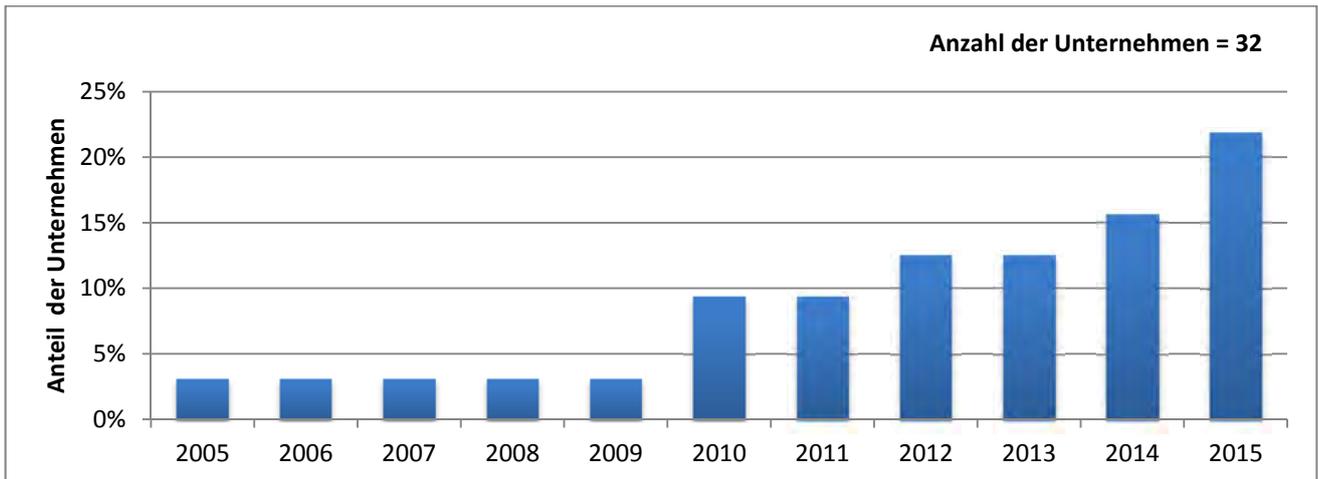


Abbildung 11: Anteil des Einsatzes von Abbruchrobotern

Die Verwendung von Abbruchrobotern ist, wie in Abbildung 11 dargestellt, innerhalb von sechs Jahren (2009 bis 2015) um das Sechsfache gestiegen. Demnach lässt sich vermuten, dass mit den steigenden Anforderungen beim Abbruch auch die Anzahl der Einsätze von Abbruchrobotern steigt. Um dies zu plausibilisieren wären jedoch weitere Untersuchungen erforderlich.

### 2.04. Sofern Sie Abbruchroboter verwenden, wann kommen diese zum Einsatz?

Tabelle 6: Bereiche für den Einsatz von Abbruchrobotern

Rangfolge	Begründung
1	Beengte Platzverhältnisse
2	Hohe Gebäude
3	Kontaminierte Bereiche
4	Einsturz- / Absturzgefahr

Laut Angabe der befragten Unternehmen kommen Abbruchroboter hauptsächlich bei beengten Verhältnissen im Gebäude zum Einsatz. Auch bei hohen Gebäuden, die nicht mit Hydraulikbaggern abgebrochen werden können, werden Abbruchroboter verwendet. Ein weiteres Einsatzkriterium ist die Arbeitssicherheit. Daher werden Abbruchroboter auch bei Einsturz- oder Absturzgefahr sowie in kontaminierten Bereichen eingesetzt.

## 2.05. Welche aktuell auf dem Markt erhältlichen Abbruchgeräte sehen Sie als modern<sup>48</sup> an?

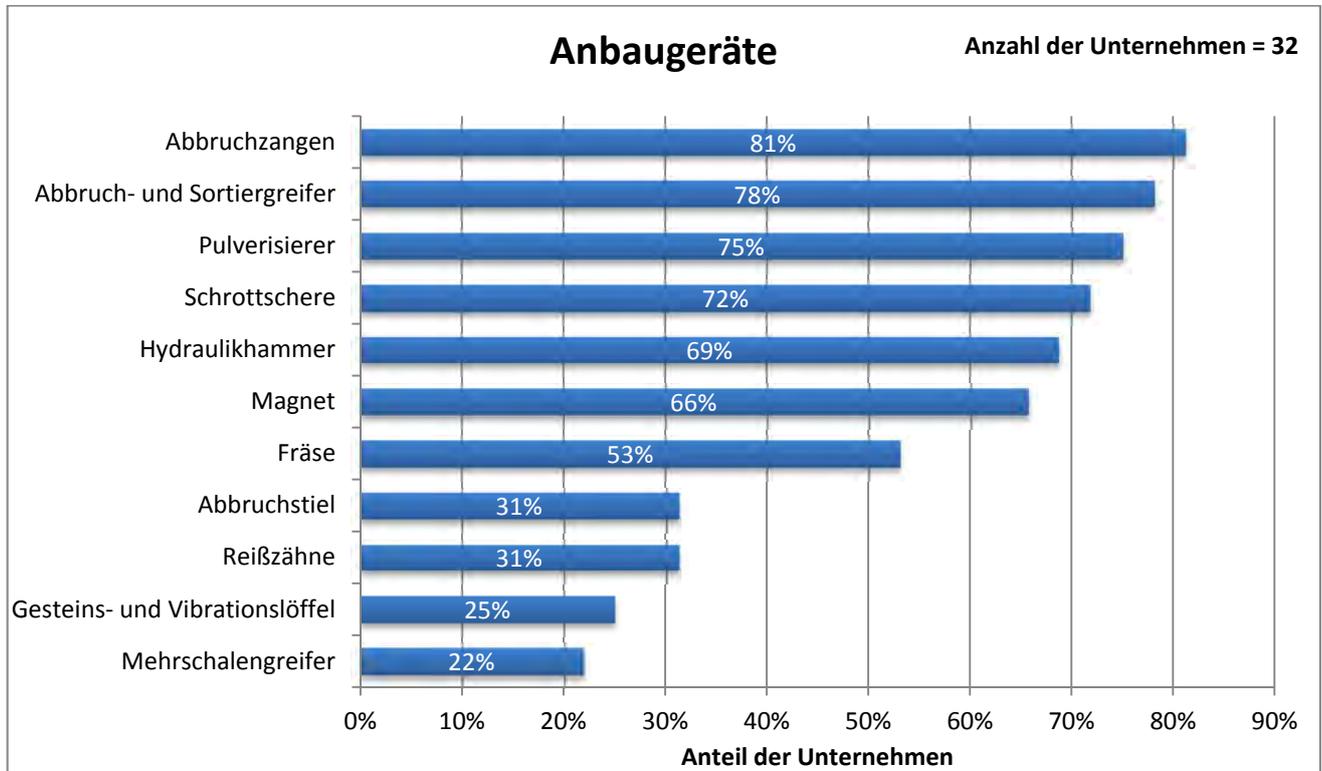


Abbildung 12: Anteil der Anbaugeräte, die als modern gelten

Die Umfrage ergibt, dass die derzeit am Markt erhältlichen Abbruchzangen als modernste Anbaugeräte für den Abbruch angesehen werden. Darauf folgen die Abbruch- und Sortiergreifer sowie Pulverisierer.

<sup>48</sup> „Modern“ ist in diesem Kontext äquivalent zu „neuester Stand der Technik“.

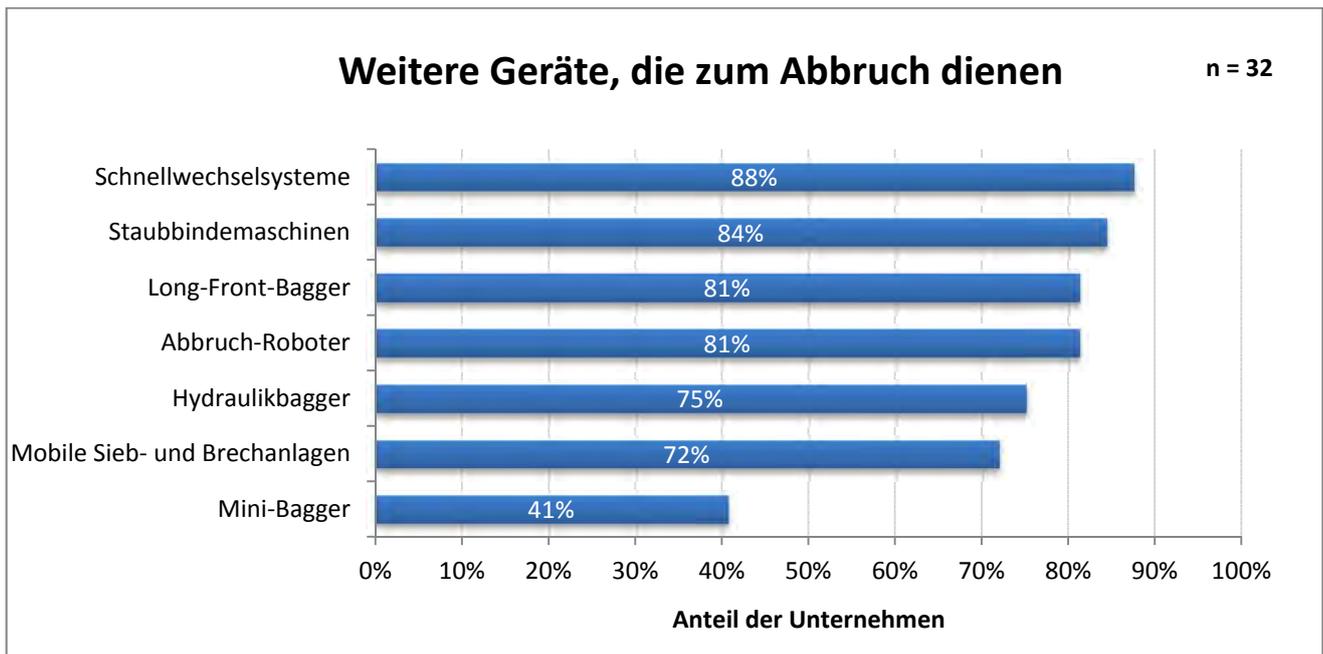


Abbildung 13: Anteil der Abbruchgeräte, die als modern gelten

Fast alle befragten Abbruchunternehmen sehen Schnellwechselsysteme (28 von 32 Unternehmen) sowie Staubbindemaschinen (27 von 32 Unternehmen) als modern an. Auch Long-Front-Bagger und Abbruchroboter gelten mit jeweils einem Anteil von 81 % bei allen Befragten als modern. Es folgen Hydraulikbagger (24 von 32 Unternehmen) und mobile Sieb- und Brechanlagen (23 von 32 Unternehmen). Lediglich 13 Unternehmen sehen den Mini-Bagger als modern an.

#### 2.06. Sind Ihnen Neuerungen bei der Technologie von Abbruchverfahren bekannt? Bzw. sind Ihnen neue Abbruchverfahren oder Abbruchgeräte bekannt, die bereits Anwendung finden oder demnächst angewendet werden sollen?

Von 32 Unternehmen geben nur vier an, dass ihnen neue Abbruchverfahren oder Abbruchgeräte bekannt sind. Hierbei werden der „teleskopierbare Long-Front-Bagger“, der „teleskopierbare Abbruchstiel“ und die „Schneidradfräse“ genannt. Im Rahmen der Internetrecherche wird festgestellt, dass diese Geräte bereits seit längerem erhältlich sind. Sie werden daher vom Grundsatz her nicht zu den Neuerungen der Abbruchtechnologie gezählt.

Weitere der in Kapitel 2.1.1.2 identifizierten Neuerungen werden von keinem Befragten genannt.

#### 2.07. Welchen Stellenwert hat bei Ihnen der Einsatz von neuesten Abbruchgeräten?

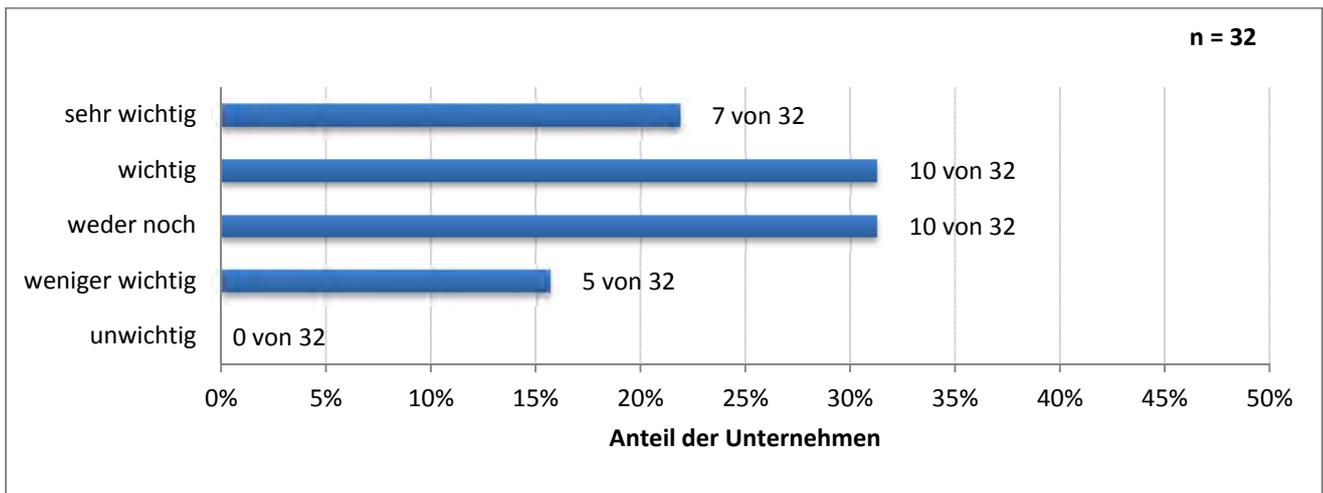


Abbildung 14: Stellenwert des Einsatzes neuester Abbruchgeräte

Anhand der Grafik ist erkennbar, dass der Einsatz von neuesten Abbruchgeräten im Durchschnitt für die Unternehmen zwar notwendig, jedoch nicht essenziell ist. Daraus lässt sich schließen, dass viele Unternehmen es nicht für sinnvoll erachten, stets die neuesten Abbruchgeräte zu beschaffen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass bestimmte Abbruchleistungen auch mit älterem Gerät in vergleichbarer Qualität und Wirtschaftlichkeit erbracht werden können.

## 2.08. Wo sehen Sie Verbesserungspotential bei den Abbruchgeräten?

Die am häufigsten genannten Aspekte für das Verbesserungspotential bei Anbaugeräten sind die Reduzierung von Lärm, die Verbesserung der Staubbindung sowie die Verringerung von Verschleiß. Bezüglich der Trägergeräte werden die Reduzierung des Kraftstoffverbrauches und die Optimierung von alternativen Antrieben wie Elektro oder Hybrid genannt.

Im dritten Teil des Fragebogens werden die **umwelttechnischen Anforderungen an den Abbruch** thematisiert. Anhand der nachfolgend dargestellten Ergebnisse soll herausgearbeitet werden, mit welchen Methoden aktuell die Anforderungen in Bezug auf Emissionen (Staub, Lärm, Erschütterungen, Splitter und Trümmer) erfüllt werden. Zudem soll ermittelt werden, ob die anfallenden Materialien auf den Baustellen getrennt werden und auf welche Art die Trennung erfolgt.

## 3.01. Haben Sie in den letzten 10 Jahren Projekte abgeschlossen, bei denen die anfallenden Materialien (Stahl, Glas, Dämmstoffe, etc.) nicht auf der Baustelle vorsortiert wurden?

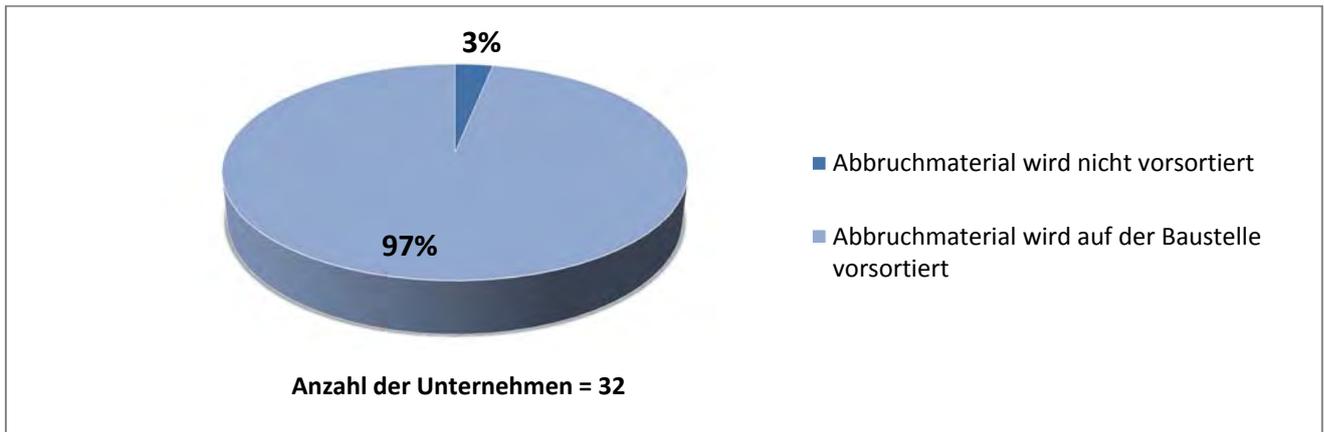


Abbildung 15: Anteil der Baustofftrennung auf der Baustelle

Seit 1996 sollen mit Einführung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (zum 01.06.2012 durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz ersetzt) u.a. mineralische Baustoffe aus Abbruchmaßnahmen möglichst vollständig und auf hohem Qualitätsniveau verwertet werden. Die anfallenden Abbruchmaterialien werden i.d.R. direkt auf der Baustelle vorsortiert, um somit eine effektive und wirtschaftliche Abfallverwertung zu gewährleisten<sup>49</sup>. Bis auf ein Unternehmen geben alle befragten Unternehmen an, in den letzten zehn Jahren bei allen Abbruchprojekten die anfallenden Materialien bereits auf der Baustelle vorsortiert zu haben.

### 3.02. Wie versuchen Sie hauptsächlich den Anforderungen im Bereich Staub gerecht zu werden?

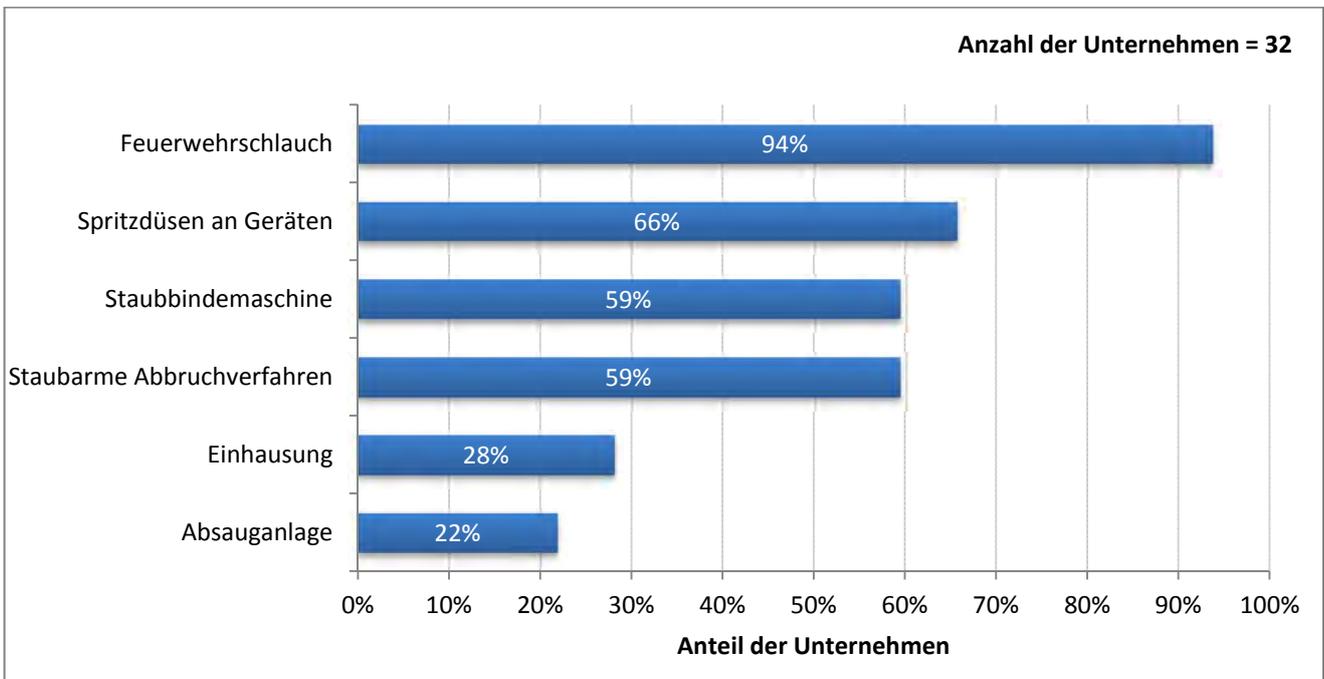


Abbildung 16: Anwendungshäufigkeit der Maßnahmen gegen Staub

<sup>49</sup> Die Entsorgungskosten für vorsortierte Abfälle sind erheblich geringer.

Das Vermeiden respektive Verringern der Staubeentwicklung während der Abbrucharbeiten stellt regelmäßig eine hohe Herausforderung dar. Fast alle befragten Unternehmen (30 von 32) verwenden hierfür den Feuerwehrschauch. Mit Spritzdüsen ausgestattete Abbruchgeräte werden von 21 Unternehmen und Staubbindemaschinen von 19 Unternehmen verwendet. Dies zeigt, dass bereits mehr als die Hälfte der Abbruchunternehmen versucht, mit modernen Geräten die entsprechenden Anforderungen zu erfüllen. Einhausungen und Absauganlagen werden der Umfrage zufolge nur von wenigen Unternehmen eingesetzt.

### 3.03. Wie versuchen Sie hauptsächlich den Anforderungen im Bereich Lärm gerecht zu werden?

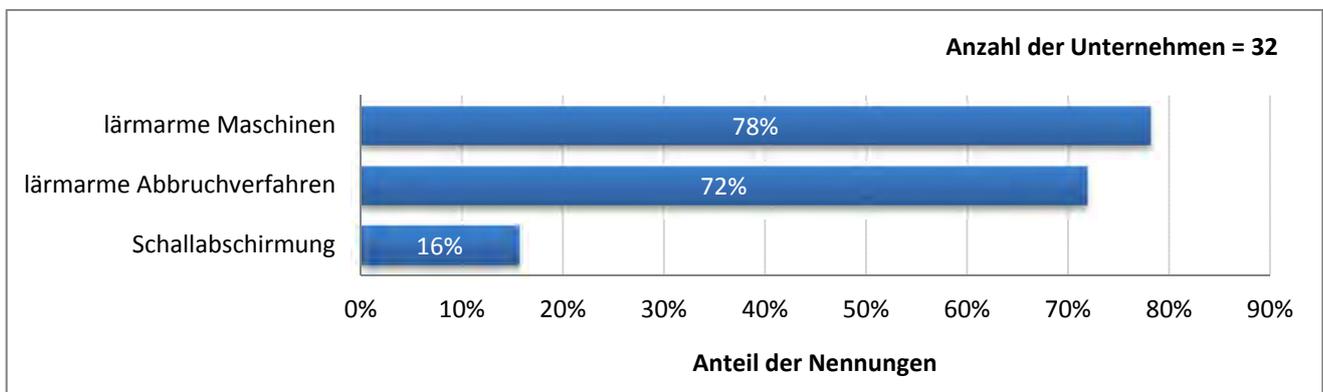


Abbildung 17: Anteil der Maßnahmen gegen Lärm

Aus Abbildung 17 ist ersichtlich, dass hauptsächlich mit lärmmilden Maschinen und Abbruchverfahren versucht wird, die Anforderungen im Bereich Lärm zu erfüllen. Eine Schallabschirmung (z.B. mit Hilfe temporärer Schallwände) wird nur von fünf Unternehmen genutzt. Zudem gibt ein Unternehmen an, dass durch Verlagerung der Arbeitszeiten versucht wird, die Anforderungen im Bereich Lärm zu erfüllen.<sup>50</sup>

### 3.04. Wie versuchen Sie hauptsächlich den Anforderungen im Bereich Erschütterung gerecht zu werden?

<sup>50</sup> Die Verlagerung von Arbeitszeiten wird nicht in der Grafik dargestellt, da dies das Ergebnis verfälschen würde.

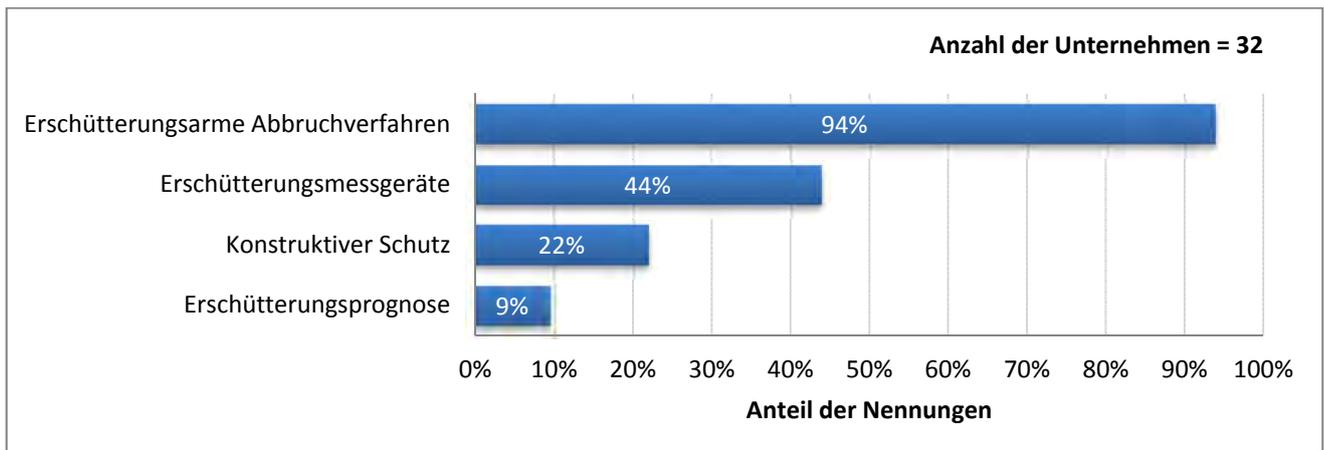


Abbildung 18: Häufigkeit der Maßnahmen gegen Erschütterung

Erschütterungen werden überwiegend durch erschütterungsarme Abbruchverfahren verhindert. Zudem verwenden 14 Unternehmen Erschütterungsmessgeräte, sieben Unternehmen konstruktive Schutzvorrichtungen und nur drei Unternehmen erstellen vorab Erschütterungsprognosen.

### 3.05. Wie versuchen Sie hauptsächlich den Anforderungen im Bereich Splitter und Trümmer gerecht zu werden?

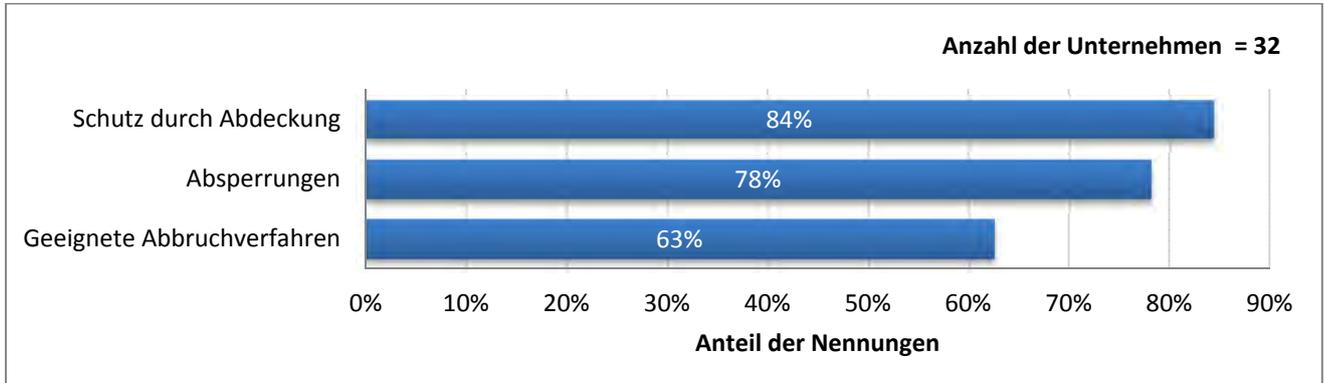


Abbildung 19: Anteil der Maßnahmen gegen Splitter und Trümmer

Zur Vermeidung von Schäden durch Splitter und Trümmer geben 27 von 32 Unternehmen an, Abdeckungen zum Schutz zu verwenden. Hierzu zählen Splitterschutzvorhänge, die an Mobilkränen oder Gerüsten befestigt werden. 25 von 32 Unternehmen geben an, dass bei einigen Projekten eine Absperrung zum Schutz vor Splintern und Trümmern ausreicht. Zudem versuchen 20 von 32 Unternehmen mit geeigneten Abbruchverfahren, den Anforderungen gerecht zu werden.

### 3.06. Wie werden bei Ihren Projekten i.d.R. die Baustoffe auf der Baustelle getrennt?

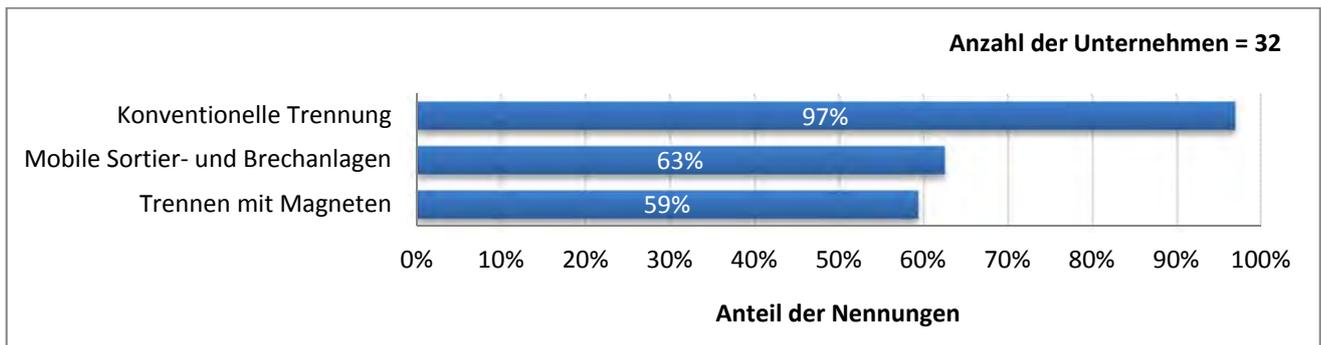


Abbildung 20: Trennung der anfallenden Baustoffe auf der Baustelle

Anhand Abbildung 20 ist erkennbar, dass die beim Abbruch anfallenden Baustoffe hauptsächlich per Hand oder mit geeigneten Anbaugeräten (Abbruch- und Sortiergreifer, Pulverisierer etc.) getrennt werden. Mehr als die Hälfte der befragten Abbruchunternehmen verwenden zudem mobile Sortier- und Brechanlagen (20 von 32 Unternehmen) sowie Anbaumagnete (19 von 32 Unternehmen).

### 3.07. Wie hoch ist i.d.R. der Aufwand, um die folgenden Anforderungen zu erfüllen?

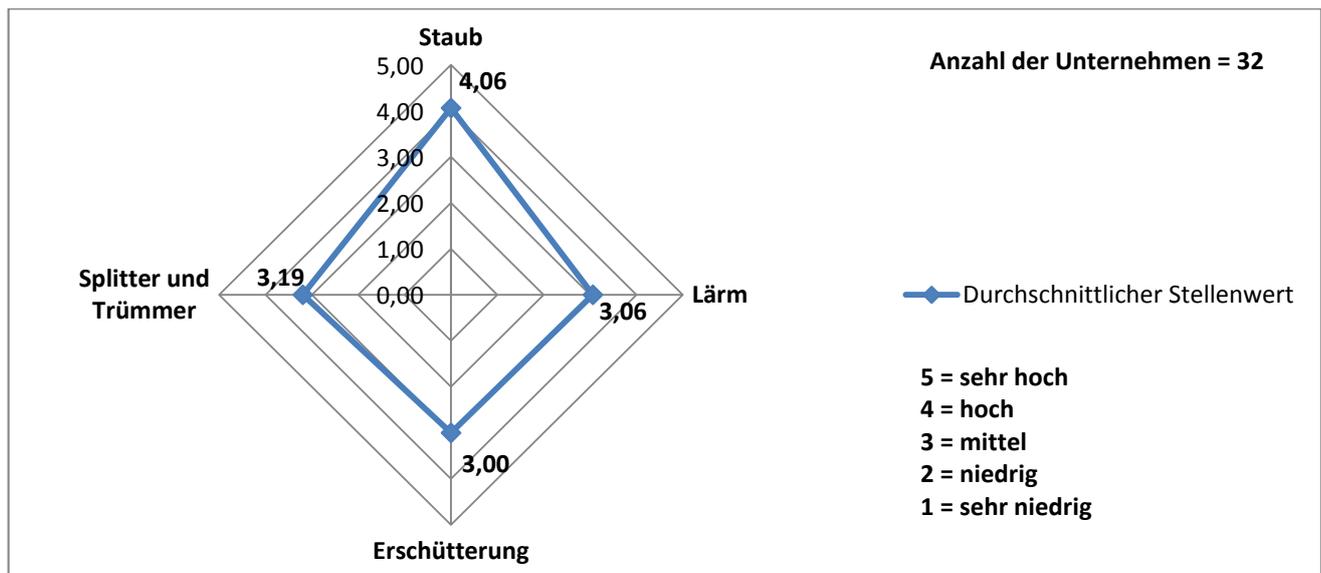


Abbildung 21: Höhe des Aufwandes zur Erfüllung von Anforderung bezüglich Emissionen

Die Ergebnisse zeigen, dass aus Sicht der ausführenden Unternehmen der Aufwand zur Einhaltung der Anforderungen bei Emissionen im Bereich Staub am höchsten eingestuft wird. Im Durchschnitt wird angegeben, dass der Aufwand zur Staubvermeidung respektive zur Verringerung der Staubentwicklung „hoch“ ist. Der Aufwand für das Einhalten der Anforderungen im Bereich Lärm, Erschütterung sowie Splitter und Trümmer wird durchschnittlich als „mittel“ eingestuft.

Als Ergebnis der vorangegangenen Arbeitsschritte werden die derzeit am Markt verfügbaren Abbruchverfahren zusammenfassend betrachtet, mit dem Ziel, die Neuerungen hinsichtlich technischer und umwelttechnischer Anforderungen aufzuzeigen.

## 2.1.2. Zusammenfassung aktueller Entwicklungen und Neuerungen

Um die derzeit am Markt vorhandenen Abbruchverfahren zu ermitteln, wurde eine Literaturrecherche und darauf aufbauend eine Internetrecherche durchgeführt. Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit den Definitionen der DIN 18007:2000-05 alle derzeit auf dem Markt verfügbaren Abbruchverfahren abgedeckt sind. Die Neuerungen im Bereich der Träger- und Anbaugeräte beziehen sich primär auf die Weiterentwicklung der Abbruchgeräte. Hierzu zählen insbesondere die Hybrid-Technologie bei Hydraulikbaggern, die Schnellwechselsysteme für Long-Front-Bagger, der Multiprozessor Demolator XMB mit vollhydraulisch wechselbarem Gebiss, der Xcentric Ripper (Kombination aus Reißzahn und Hydraulikhammer), der DriveBreaker (Spezialabbruchgerät zum Rückbau von Schornsteinen) und die Treibladungskartuschen mit der NXburst™ Technologie.

Um zu prüfen, in welchem Ausmaße die angebotenen Geräte und Verfahren in der Praxis angewendet werden, wurde eine Umfrage erstellt. Die Methode des standardisierten Fragebogens hat sich im Laufe der Untersuchung als geeignet erwiesen, da in vorgesehener Zeit Daten gesammelt und im Anschluss verglichen werden konnten.

Die Ergebnisse der Umfrage werden nachfolgend aus technischer Sicht zusammenfassend dargelegt: Der Einsatz von Hydraulikbaggern hat eine sehr hohe Bedeutung bei Abbrucharbeiten. Verfahren mit Hochdruck-Wasserstrahlern sowie dem Spalten mit Quellmitteln kommen nur in geringem Umfang und nur in speziellen Fällen zum Einsatz. Des Weiteren wird festgestellt, dass die Einsatzhäufigkeit von Abbruchrobotern steigt. Diese werden hauptsächlich bei beengten Verhältnissen im Gebäude eingesetzt. Als das modernste Anbaugerät werden die aktuell am Markt erhältlichen Abbruchzangen angesehen. Der Einsatz neuester Abbruchgeräte ist im Durchschnitt für die Unternehmen zwar wichtig, jedoch können bestimmte Abbruchleistungen auch mit älteren Geräten erbracht werden. Die im Rahmen der Internetrecherche ermittelten Neuerungen werden von den Befragten nicht in vollem Umfang genannt.

In Bezug auf ökologische Anforderungen ergeben sich die nachfolgenden Erkenntnisse: Das Abbruchmaterial wird in fast allen Fällen bereits auf der Baustelle vorsortiert. Somit ist eine effektive Abfallverwertung möglich. Zur Vermeidung von Staub kommen überwiegend Feuerwehrschräume zum Einsatz. Lärmemissionen werden hauptsächlich durch lärmarme Maschinen und Abbruchverfahren eingeschränkt. Die Wahl des Abbruchverfahrens spielt zudem eine entscheidende Rolle bei der Vermeidung von Erschütterungen. Zum Schutz vor Splittern und Trümmern werden überwiegend Abdeckungen verwendet. Die Umfrage ergibt, dass aus Sicht der befragten Unternehmen der Aufwand zur Einhaltung der Anforderungen bei Emissionen im Bereich Staub am höchsten ist.

## 2.2. Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen der Abbruchverfahren

In **PI.2** werden gemäß Antrag die Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen im Bereich Abbruchtechnologie untersucht. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Kapitel 2.1 werden die Hydraulikbagger als am häufigsten genutzte Trägergeräte mit den entsprechenden Ausrüstungen und Anbaugeräten allgemein und hinsichtlich der damit einhergehenden Abbruchverfahren beschrieben.

### 2.2.1. Trägergerät Hydraulikbagger

Zur Beschreibung der im Rahmen der verschiedenen Abbruchverfahren häufig eingesetzten Trägergeräte wurden Literatur- und Herstellerangaben analysiert und die generierten Informationen zum Betrieb der Geräte anschließend in Form von Kennwerten aufbereitet und grafisch zueinander in Beziehung gesetzt. Der Fokus lag auf maschinellen Abbruchverfahren und damit dem Trägersystem des Hydraulikbaggers.<sup>51</sup> Die recherchierten Daten entstammen vorwiegend Datenblättern verschiedener Hersteller zu deren Standard- und Spezialausführungen der Trägergeräte. Der Auswahl an technischen Kenngrößen in der Literatur folgend<sup>52</sup> werden das Dienstgewicht und die Nennleistung als technische Bezugsgrößen festgelegt.

Unter dem Dienstgewicht (auch als Betriebsgewicht, Baggergewicht oder Baggerklasse bezeichnet) wird das Gewicht des Trägergerätes in voller einsatzbereiter Arbeitsausrüstung, inklusive Betriebs- und Schmierstoffen sowie Maschinenführer, verstanden.<sup>53</sup>

Die Nennleistung repräsentiert die Motorleistung, welche der Hydraulikbagger generieren kann. Zur Abbildung unterschiedlicher Dienstgewichte gleichartiger Baggermodelle, resultierend aus vielfältigen Ausstattungsvarianten, wird jeweils eine untere und obere Gewichtsgrenze ermittelt und anschließend daraus das mittlere Betriebsgewicht jedes Modelles gebildet. Weiterhin wurden zur besseren Übersicht und Vergleichbarkeit der Dienstgewichte zehn Geräteklassen (I-X) festgelegt. Jede Geräteklasse deckt dabei jeweils eine bestimmte Dienstgewichtsspanne ab. Da das Dienstgewicht des Trägergerätes für die Standsicherheit besonders bei Abbruchausführungen mit hohen Auslegern eine große Rolle spielt, wird mit steigendem Dienstgewicht auch die Spanne der einzelnen Klassen kontinuierlich erweitert. Mit steigendem Gewicht zunehmende Schwankungen durch Ausstattung und Ballastierung werden so berücksichtigt.

<sup>51</sup> Nachweis der Einsatzhäufigkeit in Kapitel 2.1.1.3.2.

<sup>52</sup> s. beispielsweise Baugeräteliste 2001, S. D14, König (2014), S.96.

<sup>53</sup> Vgl. Lippok (2007), S.171.

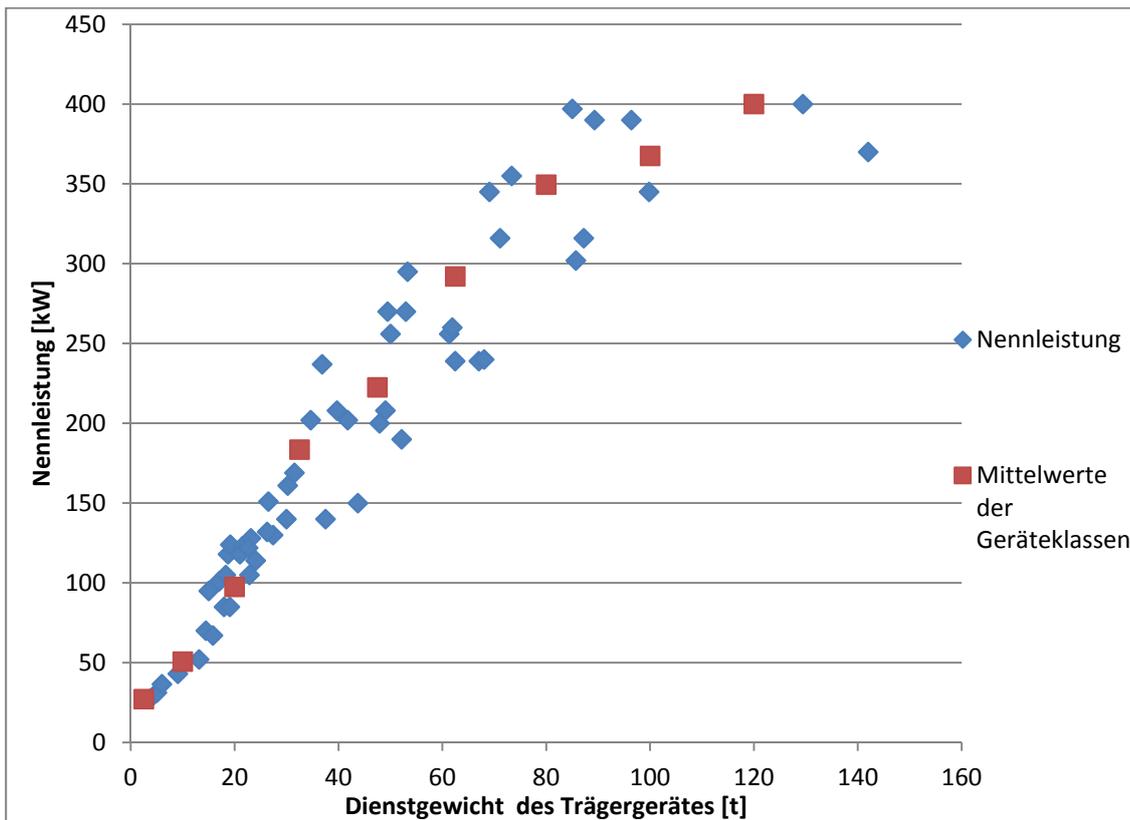


Abbildung 22: Zusammenhang zwischen Dienstgewicht und Nennleistung von Hydraulikbaggern

Festzustellen ist, dass bis zu einem Dienstgewicht von ca. 80 t respektive Geräteklasse VIII der Zusammenhang beider Kennwerte nahezu linear ist. Ab zuvor genannter Grenze nimmt die Nennleistung nur noch gering zu, das Dienstgewicht steigt aber weiterhin an. Dies lässt sich damit begründen, dass die Nennleistung ab einer bestimmten Grenze (ca. 400 kW) ausreichend ist, um alle Funktionen auch bei größeren Anbaugeräten effektiv betreiben zu können. Das Dienstgewicht steigt proportional stärker als die Nennleistung, da bei hohen Abbruchauslegern die Standsicherheit durch den Anbau von zusätzlichen Gegengewichten zu gewährleisten ist. Im Kontext des Einsatzes hoher Abbruchausleger ist somit nicht die Leistung der limitierende Faktor, sondern vielmehr das Dienstgewicht und die dadurch bedingten Eigenschaften. Die Mittelwerte der einzelnen Geräteklassen sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Mittelwerte der Geräteklassen

Geräteklasse	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Dienstgewicht [t]	≥0,5 <5	≥5 <15	≥15 <25	≥25 <40	≥40 <55	≥55 <70	≥70 <90	≥90 <110	≥110 <130	>130
Mittleres Dienstgewicht [t]	2,50	10,00	20,00	32,50	47,50	62,50	80,00	100,00	120,00	-
Mittlere Nennleistung [kW]	27,10	50,60	97,50	183,50	222,50	292,00	349,50	367,50	370,00	-

Zur weiteren Analyse der Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen werden die zuvor dargestellten Bezugsgrößen gemäß nachfolgendem Schema (siehe Tabelle 8) zu den Kennwerten Kraftstoffverbrauch, Losbrech- und Reißkraft, Reichweite und Reichhöhe, maximaler Ölfluss und Lärmemission in Verbindung gesetzt. Die vorgenannten Erläuterungen sollen schließlich durch die Interpretation der Zusammenhänge ergänzt werden. So sollen über die in der Fachöffentlichkeit

diskutierten Details hinaus weitere Hinweise zur Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen geliefert werden.

Tabelle 8: Schema der Kennwertrelationen Trägergerät

Kennwert\Bezugsgröße	Dienstgewicht	Nennleistung
Kraftstoffverbrauch	X	
Losbrech- und Reißkraft	X	
Reichweite und Reichhöhe	X	
Maximaler Ölfluss		X
Lärmemission		X

### 2.2.1.1. Zusammenhang Dienstgewicht – Kraftstoffverbrauch

Die Menge an Kraftstoff, welche die Trägergeräte pro Stunde [l/h] verbrauchen, soll als ein Kennwert herangezogen werden. Da die tatsächlichen Verbrauchswerte vom Fahrverhalten des Maschinenführers sowie den projektspezifischen Randbedingungen beeinflusst werden, werden die zur Analyse herangezogenen Werte überwiegend aus Herstellerangaben gewonnen. Üblicherweise wird der Kraftstoffverbrauch mit dem Dienstgewicht in Zusammenhang gesetzt. Dabei wird im Allgemeinen zwischen drei Stufen der einsatzbezogenen Geräteauslastung unterschieden. Diese werden nachfolgend mit light duty, middle duty und heavy duty bezeichnet.<sup>54</sup> Diese Unterteilung wird nachfolgend beibehalten. Die für den Einsatz der in Kapitel 2.1.1 vorgestellten Abbruchverfahren zu verwendenden Anbaugeräte lassen sich analog der Übersicht in nachfolgender Tabelle jenen Auslastungsstufen zuordnen.

Tabelle 9: Auslastung des Trägergerätes durch Anbaugeräte

Auslastungsstufe	Light duty	Middle duty	Heavy duty
Anbaugerät	Abbruchstiel	Abbruchzangen und -scheren	Tieflöffel (schwere Bodenklassen)
	Reißzahn	Hydraulikhammer	
	Abrissbirne	Tieflöffel (leichte Bodenklassen)	
		Sortiergreifer	

Hierbei wird deutlich, dass sich die hauptsächlich bei Abbrucharbeiten genutzten Anbaugeräte in der mittleren Auslastungsstufe middle duty befinden. Dies liegt darin begründet, dass während der Betriebsphase in den wenigsten Fällen alle Hydraulikkreisläufe gleichzeitig bedient werden müssen. Vergleichsweise werden im Kontext von Erdbauarbeiten beim Einsatz des Tieflöffels zeitgleich alle Auslegerzylinder sowie unmittelbar nach dem Lösen des Bodens der Schwenkkreislauf beansprucht. Bei Abbrucharbeiten hingegen finden kaum simultane Abläufe statt. Vielmehr wird zunächst das Anbaugerät in Position gebracht und dann betrieben. Etwa werden beim Stemmen mit einem Hydraulikhammer weder der Kreislauf zum Schwenken des Oberwagens noch die Kreisläufe zum Bewegen der Auslegerzylinder beansprucht.

Der Zusammenhang Dienstgewicht - Kraftstoffverbrauch ist in nachstehender Grafik auf Grundlage der ermittelten Daten dargestellt.

<sup>54</sup> Caterpillar (2014), S.7-7 ff.

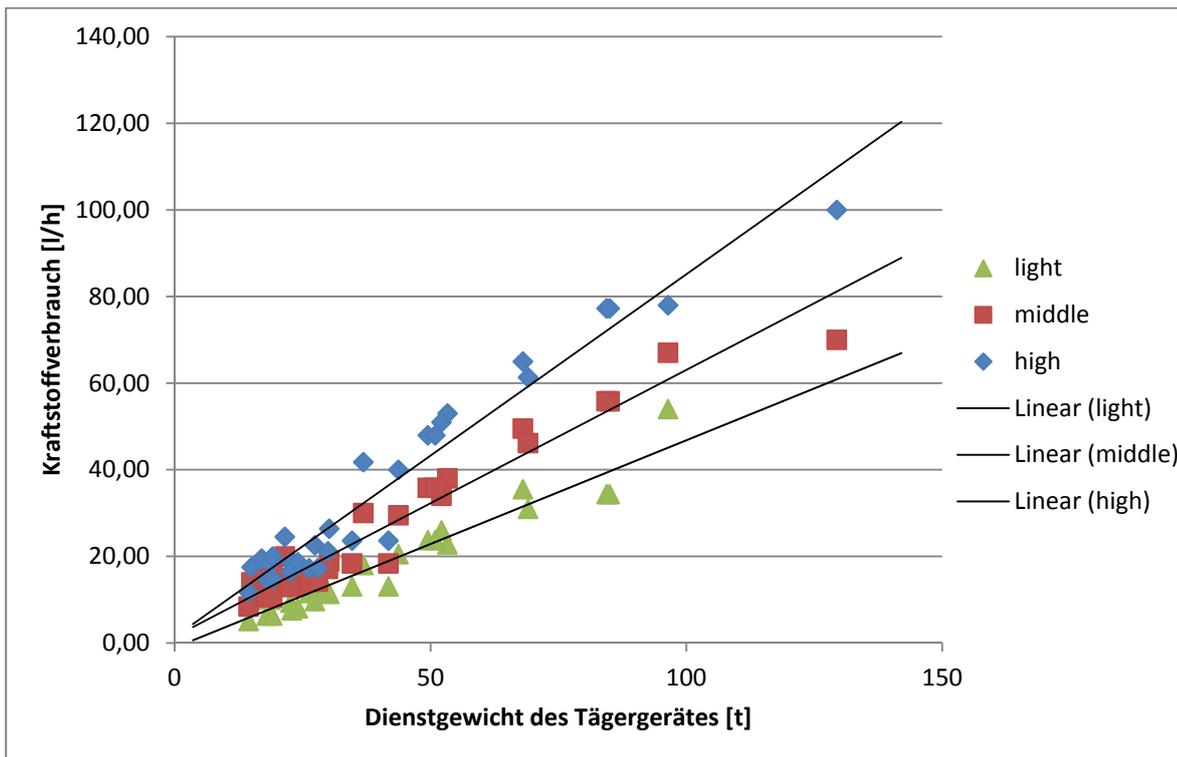


Abbildung 23: Zusammenhang Dienstgewicht - Kraftstoffverbrauch

Anschaulich wird, dass der Kraftstoffverbrauch mit steigendem Dienstgewicht annähernd linear zunimmt. Hinzukommend lässt sich erkennen, dass insbesondere im Bereich der kleinen Geräteklassen die Unterschiede zwischen den drei Auslastungsstufen gering sind. Dies ändert sich mit steigendem Dienstgewicht deutlich bis hin zu einer deutlichen Disparität. Ab einem Dienstgewicht des Trägergeräts von ca. 100 t kann durchgängig von keiner light duty Auslastung mehr ausgegangen werden. Vielmehr werden Geräte der entsprechenden Größe in der middle duty respektive heavy duty Auslastungsstufe betrieben.

### 2.2.1.2. Zusammenhang Dienstgewicht - Losbrech- und Reißkraft

Die am Tieflöffel auftretenden Kräfte können in Relation zum Dienstgewicht des Trägergeräts gesetzt werden. Dies ist einerseits die über den Löffelzylinder an der Zahnspitze erzielte, als Losbrechkraft bezeichnete Kraft. Andererseits die als Reißkraft bezeichnete, über den Stielzylinder an der Zahnspitze erzeugte Kraft. Üblicherweise ist die Losbrechkraft aufgrund des Krafteinleitungspunktes größer als die Reißkraft.<sup>55</sup> Die hier zur Losbrech- und Reißkraft ermittelten Werte stellen stets die maximal erreichbaren Kräfte dar. Diese werden durch die Wahl eines optimal auf das Anbaugerät abgestimmten, zumeist kürzeren Auslegers erreicht. Da die Losbrech- und Reißkräfte sowohl für Abbrucharbeiten in großer Höhe als auch im Kontext des Einsatzes von Tieflöffel und Reißzahn in Bodennähe von Bedeutung sind, stellen die Werte aus Sicht des Verfassers einen geeigneten Kennwert zur Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen dar. Der Zusammenhang Dienstgewicht - Losbrech- und Reißkraft ist in nachstehender Abbildung 24 auf Grundlage der ermittelten Daten dargestellt.

<sup>55</sup> Vgl. König (2014), S.102 f.

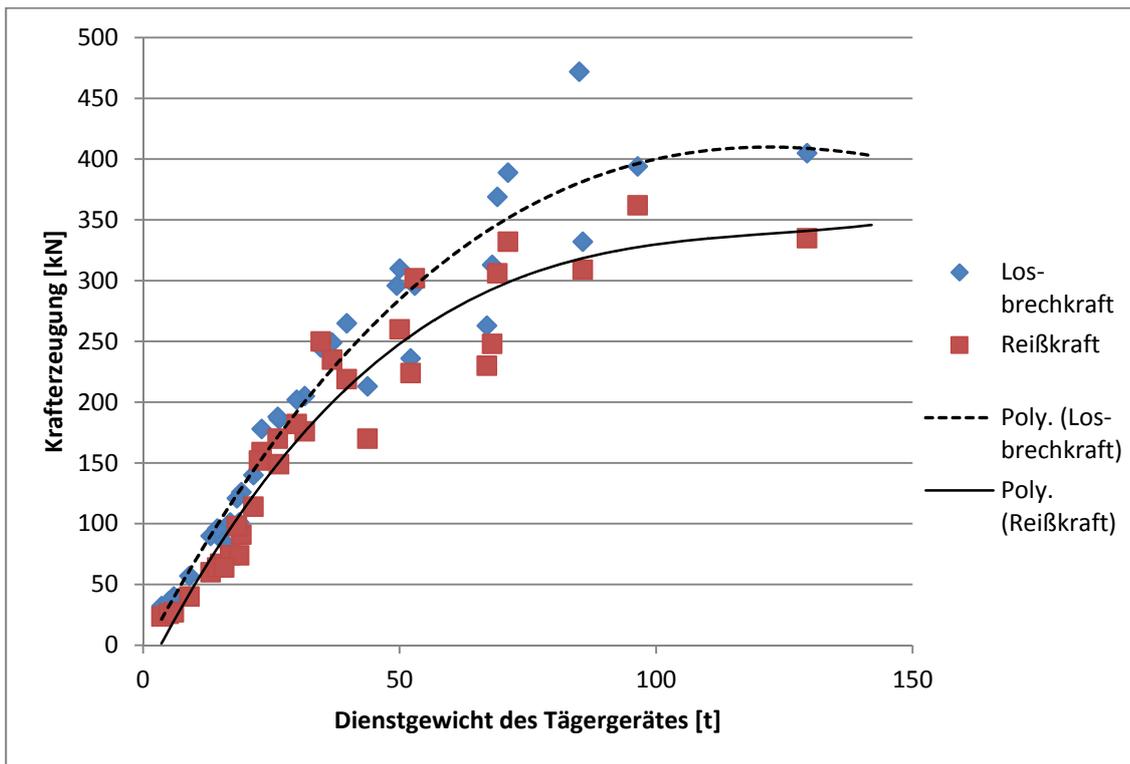


Abbildung 24: Zusammenhang Dienstgewicht - Losbrech- und Reißkraft

Es wird deutlich, dass sich die beiden Kräfte nicht stark unterscheiden, obgleich die Losbrechkraft als die stets größere Kraft identifiziert werden kann. Weiterhin ist in den Geräteklassen I bis V ein nahezu linearer Anstieg der Kräfte festzustellen. Die besagten Kräfte steigen also mit steigendem Dienstgewicht der Trägergeräte ebenfalls an. Im Umkehrschluss erscheint dieser Zusammenhang sachlogisch: So muss das Dienstgewicht des Trägergerätes entsprechend groß sein, um den am Ausleger ausgeübten Kräften entgegenzuwirken und somit die Standsicherheit der Gerätekombination zu gewährleisten.

### 2.2.1.3. Zusammenhang Dienstgewicht - Reichweite und Reichhöhe

Neben den am Anbaugerät auftretenden Kräften sind die den Arbeitsbereich des Trägergerätes kennzeichnenden Größen Reichweite und Reichhöhe weitere Kennwerte zur Charakterisierung der Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen. Als Reichweite wird die maximale Reichweite auf Bodenebene, als Reichhöhe wird der maximale vertikale Abstand des Anbaugerätes von der Standebene der Maschine bezeichnet. Der Zusammenhang der Größen Dienstgewicht - Reichweite und Reichhöhe ist in nachstehender Grafik auf Grundlage der ermittelten Daten dargestellt.

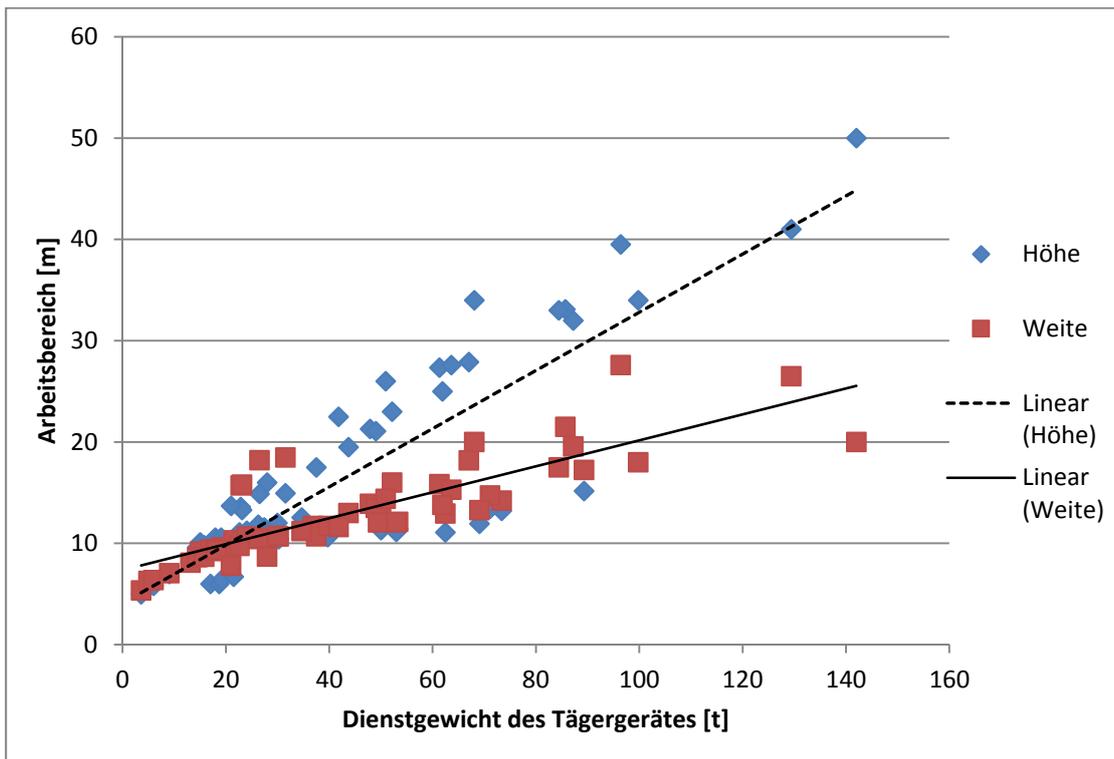


Abbildung 25: Zusammenhang Dienstgewicht - Reichweite und Reichhöhe

Grundsätzlich steigen die Reichweite und Reichhöhe mit steigendem Dienstgewicht des Trägergerätes an. Es ist weiterhin zu erkennen, dass beide Geraden unterschiedliche Verläufe annehmen: Die Reichweite weist im Vergleich zur Reichhöhe über alle Geräteklassen eine geringere Steigung auf. Ursache hierfür ist, dass eine Erhöhung der Reichweite mit einer Vergrößerung des Gegengewichtes in Form eines höheren Dienstgewichtes einhergeht. Weiterhin lässt sich feststellen, dass die Reichweite nicht proportional mit dem Dienstgewicht des Trägergerätes steigt sondern sich einem Maximalwert nähert. Auch die Reichhöhe steigt annähernd linear mit dem Dienstgewicht des Trägergerätes an.

#### 2.2.1.4. Zusammenhang Nennleistung - Maximaler Ölfluss

Die Leistungsübertragung erfolgt bei Hydraulikbaggern im Fahrtriebstrang und der Arbeitsausrüstung respektive den Anbaugeräten über Hydrostatik, mit deren Unterstützung einfach Linearbewegungen mit sehr hohen Kräften erzeugt werden können. Das Hydrauliksystem überträgt, steuert und regelt den Leistungsfluss des Hydraulikbaggers. Allen Varianten hydraulischer Schaltungen ist unabhängig der Ausführungsvariante gemein, dass eine Pumpe den Öl-Volumenstrom bereitstellt, woraufhin sich der Druck lastabhängig einstellt. In diesem Kontext stellt der Wirkungsgrad des Hydrauliksystems in Form dessen maximalen Ölflusses respektive der maximalen Pumpenleistung einen weiteren Kennwert zur Beurteilung von Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen dar.<sup>56</sup> Hinweise, welche Zusammenhänge hinsichtlich der Nennleistung des Trägergerätes sowie des maximalen Ölflusses bestehen, enthält Abbildung 26. Es ist zu beachten, dass sich die ermittelten Werte oft aus der Summe der jeweiligen Pumpenleistungen für die einzelnen Hauptfunktionen zusammensetzen.

<sup>56</sup> Zu Hydrauliksystemen in Baggern s. Schwab (2014), S.14 ff.

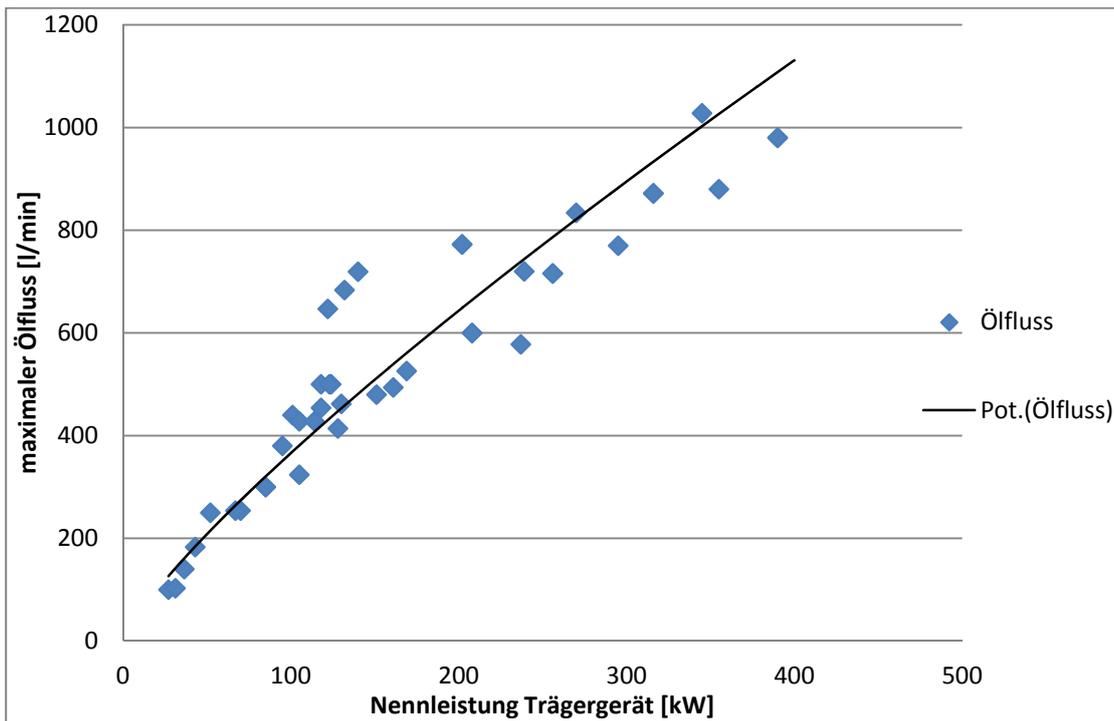


Abbildung 26: Zusammenhang Nennleistung - maximaler Ölfluss

Erkennbar ist ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen den beiden Kennwerten: Mit zunehmender Nennleistung des Trägergerätes steigt der maximale Ölfluss. Weiters lässt sich auch im Bereich der Geräteklassen VI bis X keine Obergrenze des maximalen Ölflusses ausdeuten.

### 2.2.1.5. Zusammenhang Nennleistung – Lärmemission

Während des Betriebes des Trägergerätes werden von dessen schwingenden Körpern als Schallquelle in der umgebenden Luft Schwingungen erzeugt. Somit ist den meisten Abbruchverfahren respektive dem Einsatz der verfahrensspezifischen Geräte gemein, dass diese mit einer Schallemission einhergehen. Von diesen Schallemissionen können sowohl für die Beschäftigten als auch für die Umwelt Gefährdungen, beispielsweise durch eine Beeinträchtigung des Hörvermögens respektive einer sonstigen mittelbaren oder unmittelbaren Gefährdung von Sicherheit und Gesundheit, ausgehen.<sup>57</sup> Wenngleich sich der Gesamtpegel aus mehreren Einzelquellen mit individuellen Einzelpegeln zusammensetzt, ist bei einer Vielzahl von Abbruchverfahren die Schallabstrahlung des Baggers die dominierende Größe und damit von erheblicher Bedeutung.<sup>58</sup> Seitens des Gesetzgebers sind daher sowohl für die Lärmexposition des Maschinenführers innerhalb der Fahrerkabine als auch für die auf die nähere Umwelt einwirkenden Schallmissionen Grenzwerte festgelegt worden.<sup>59</sup>

Der Zusammenhang Nennleistung - Lärmemission ist in nachstehender Grafik auf Grundlage der ermittelten Daten dargestellt. Die dargestellten Kennwerte stellen zum einen den Schalldruckpegel am Führerstand  $L_{WA}$  des Trägergerätes sowie die Schallabstrahlung der Maschine  $L_{PA}$  unter normativ festgelegten Prüfbedingungen dar.

<sup>57</sup> Zu Lärm bei Abbrucharbeiten s. Kummer (1998), S.172 ff.

<sup>58</sup> Vgl. Kummer (1998), S.174.

<sup>59</sup> LärmVibrationsArbSchV, Abschnitt 3

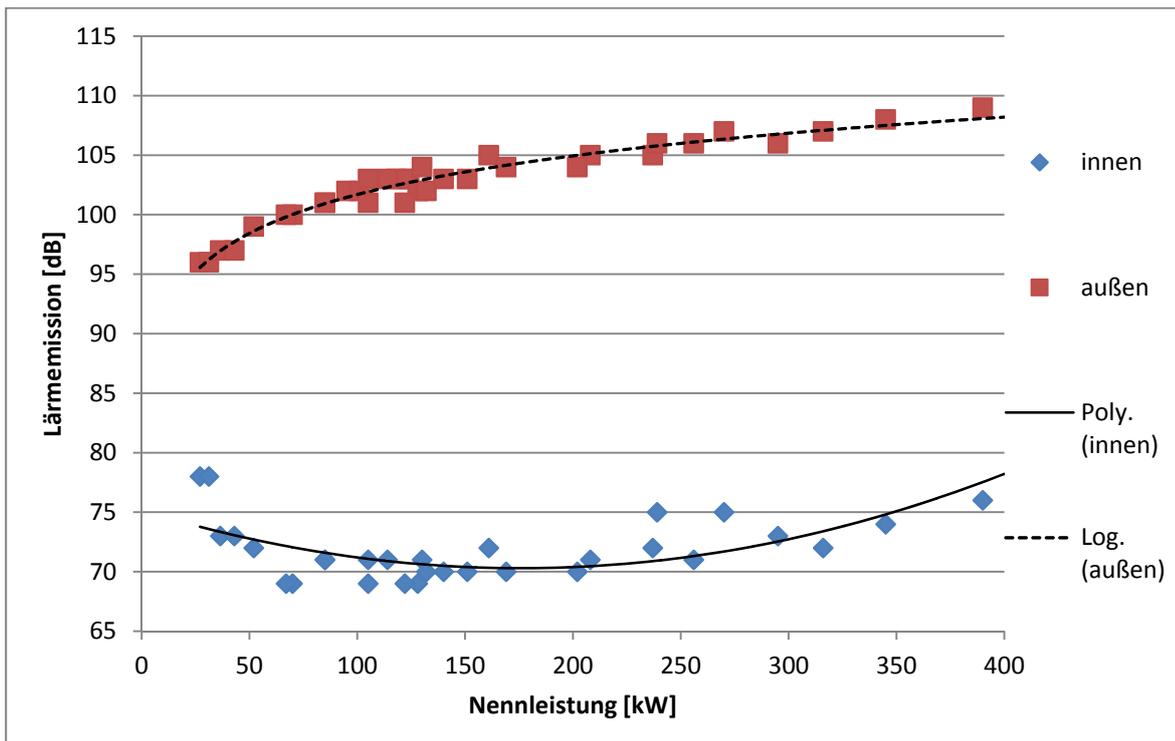


Abbildung 27: Zusammenhang Nennleistung - Lärmemission

Schallwellen unterliegen ausbreitungsbeeinflussenden Faktoren (Entfernung, Dämpfung etc.), weshalb die tatsächlichen Schallimmissionswerte unter praktischen Einsatzbedingungen möglicherweise marginal abweichen. Dennoch lassen die recherchierten Kennwerte einen Zusammenhang zwischen der Nennleistung der Trägergeräte und der Lärmemission erkennen. Hinsichtlich des Schalldruckpegels am Führerstand des Trägergeräts ist erkennbar, dass die Kennwerte ab Geräteklasse V nur geringfügig voneinander abweichen. Bei Geräten geringerer Leistung hingegen sind die Werte deutlich höher und fallen somit aus dem Trend heraus. Dies kann auf die mitunter sehr kompakte Bauweise der Trägergeräte der entsprechenden Geräteklasse zurückgeführt werden. Durch diese ist die Distanz zur Schallquelle auf ein Minimum reduziert bei gleichzeitig bauartbedingter minimaler Schallkapselung. Eine Schalldämmung wird bei den Trägergeräten innen durch eine geschlossene und mit schallabsorbierenden Stoffen ausgekleidete Fahrerkabine erreicht. Dies erklärt die deutlich geringeren Werte im Vergleich zu jenen Werten, welche die Schallabstrahlung im Außenbereich repräsentieren. Hier lässt sich ein zunächst steiler und ab Geräteklasse III flacher werdender Verlauf der zugehörigen Kennwerte identifizieren. Die Werte variieren dabei von 95 dB in Geräteklasse II bis 110 dB in Geräteklasse X. Es ist zu beachten, dass ein Anstieg des Schallpegels um 10 dB in der menschlichen Wahrnehmung eine Verdopplung der empfundenen Lautstärke zur Folge hat. Schallschutzmaßnahmen gewinnen somit insbesondere bei Arbeiten in sensiblen Bereichen an Bedeutung.

### 2.2.2. Anbaugeräte

Zur Beschreibung der im Rahmen der verschiedenen Abbruchverfahren häufig eingesetzten Anbaugeräte werden Literatur- und Herstellerangaben analysiert und die generierten Informationen zum Betrieb der Geräte anschließend in Form von Kennwerten aufbereitet und grafisch zueinander in Beziehung gesetzt. Der Fokus lag auf maschinellen Abbruchverfahren und damit auf mit dem zuvor analysierten Trägersystem des Hydraulikbaggers kompatiblen Anbaugeräten.<sup>60</sup> Die recherchierten Daten entstammen vorwiegend Datenblättern verschiedener Hersteller zu deren Standard- und

<sup>60</sup> Nachweis der Einsatzhäufigkeit in Kapitel 2.1.1.3.2

Spezialausführungen der Anbaugeräte. Der Auswahl an technischen Kenngrößen in der Literatur folgend<sup>61</sup> wurde das Einsatzgewicht der Anbaugeräte als technische Bezugsgröße festgelegt. Weiterhin ermöglichte diese Festlegung im Nachgang das Herstellen eines Zusammenhangs mit dem Trägergerät. Unter dem Einsatzgewicht wird das Gewicht des Anbaugerätes in voller einsatzbereiter Arbeitsausrüstung, inklusive Betriebs- und Schmierstoffen, verstanden.<sup>62</sup>

Weitere mögliche Kenngrößen zur Charakterisierung der Anbaugeräte sind der Ölbedarf, das erforderliche Dienstgewicht des Trägergerätes, die Schließkraft, die Öffnungsweite, der Nenninhalt und die Art der Schalen. Auf den oben genannten Zusammenhang von Einsatzgewicht, Ölbedarf und erforderlichem Dienstgewicht des Trägergerätes wird in Kapitel 2.2.3 im Anschluss an die Analyse der einzelnen Anbaugeräte gesondert eingegangen.

### 2.2.2.1. Abbruch- und Sortiergreifer

Der zum gezielten Abbrechen, Sortieren, Verladen, Komprimieren sowie Sieben von Material eingesetzte Abbruch- und Sortiergreifer besteht aus mechanisch oder hydraulisch bewegbaren Greiferschalen. Als Kenngröße, welche in Bezug zum Einsatzgewicht gesetzt wird, wird die Schließkraft herangezogen. Diese repräsentiert jene Kraft an den Schneidkanten, welche vor dem Abgreifen zum Trennen der jeweiligen Materialien aufgebracht werden kann.

Der Zusammenhang Einsatzgewicht - Schließkraft ist in nachstehender Grafik auf Grundlage der ermittelten Daten dargestellt.

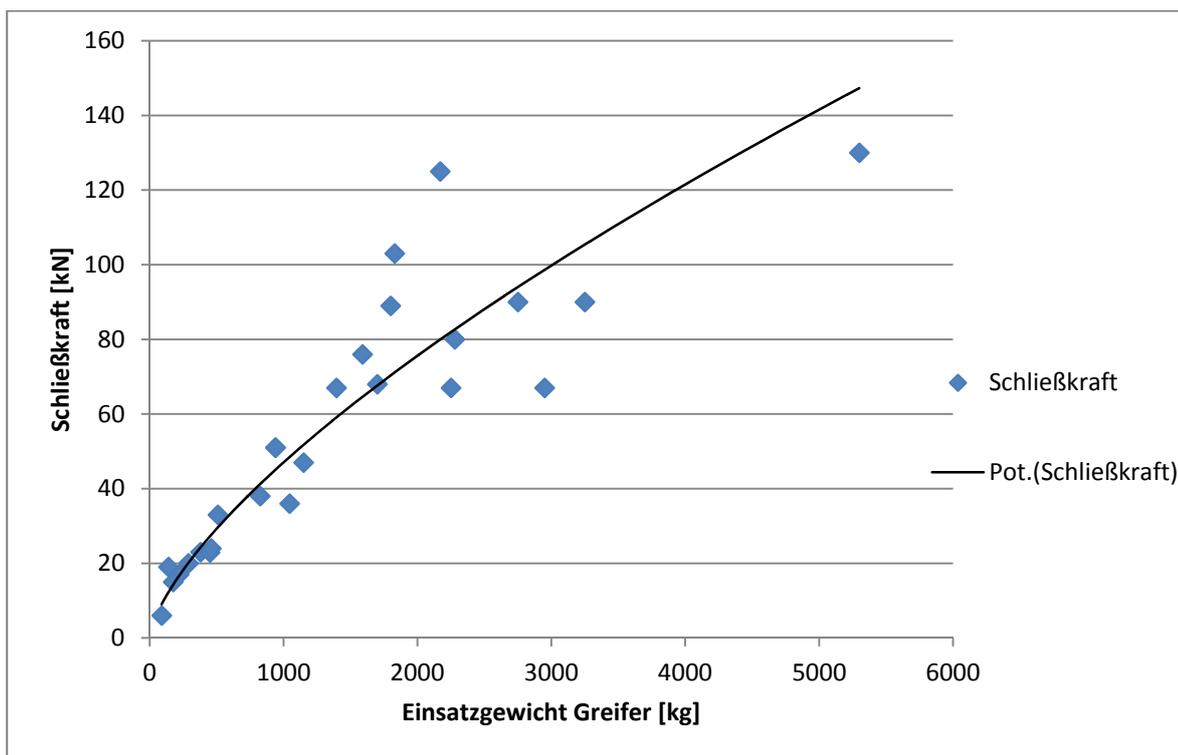


Abbildung 28: Zusammenhang Einsatzgewicht – Schließkraft

Anschaulich wird, dass die Schließkraft bei steigendem Einsatzgewicht in den unteren Gewichtsklassen bis ca. 1 t annähernd linear zunimmt. Dies ändert sich mit steigendem Dienstgewicht bis hin zu einer

<sup>61</sup> s. beispielsweise BGL D14 (Büttner S.26), König (2014), S.96.

<sup>62</sup> Vgl. Lippok (2007), S.171.

deutlichen Disparität bezogen auf die Schließkraft innerhalb einzelner Einsatzgewichtsklassen. Zurückzuführen ist dies auf die herstellerübergreifend verschiedenen Systeme<sup>63</sup> zur Kraftentwicklung.

### 2.2.2.2. Hydraulikhammer

Der zum Brechen von Material eingesetzte Hydraulikhammer besteht aus einem Schlagwerk, einem verschiedenartig beschaffenen Meisel als Einsteckwerkzeug sowie einem nach unten verzögerten Gehäuse mit lärm- und vibrationsdämmender Funktion.

Der Hydraulikhammer lässt sich anhand von Einsatzgewicht, Ölbedarf, erforderlichem Dienstgewicht des Trägergerätes, Einzelschlagenergie und Schlagzahl charakterisieren.

Als Kenngröße, welche in Bezug zum Einsatzgewicht gesetzt wird, wird hier zunächst die Einzelschlagenergie herangezogen. Diese repräsentiert jene - durch den im Trägergerät erzeugten Hydrauliköl Druck produzierte - Energie, welche pro Einzelschlag über den Meisel in das zu brechende Material eingeleitet wird.

Der Zusammenhang Einsatzgewicht - Einzelschlagenergie ist in nachstehender Abbildung auf Grundlage der ermittelten Daten dargestellt.

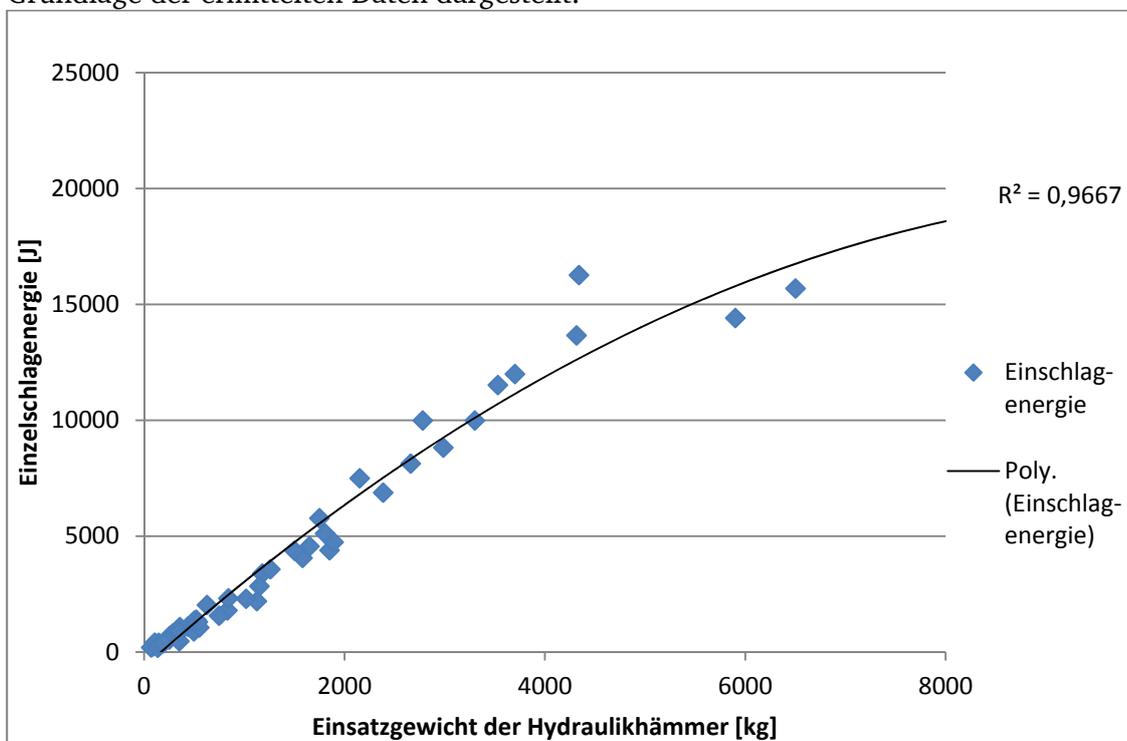


Abbildung 29: Zusammenhang Einsatzgewicht - Einzelschlagenergie

Erkennbar ist ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen den beiden Kennwerten: Mit zunehmendem Einsatzgewicht des Anbaugerätes steigt die erzeugte Einzelschlagenergie.

Neben der Einzelschlagenergie ist die Schlagzahl von Relevanz. Diese repräsentiert die maximale Anzahl an Einzelschlägen pro Zeiteinheit. In nachfolgender Abbildung wird der Zusammenhang Einsatzgewicht – Einzelschlagenergie pro Minute auf Grundlage der ermittelten Daten dargestellt.

<sup>63</sup> Verbaut werden zylinderlose Antriebssysteme bis hin zu unterschiedlich angeordneten, auf Greifarme wirkende Hydraulikzylinder.

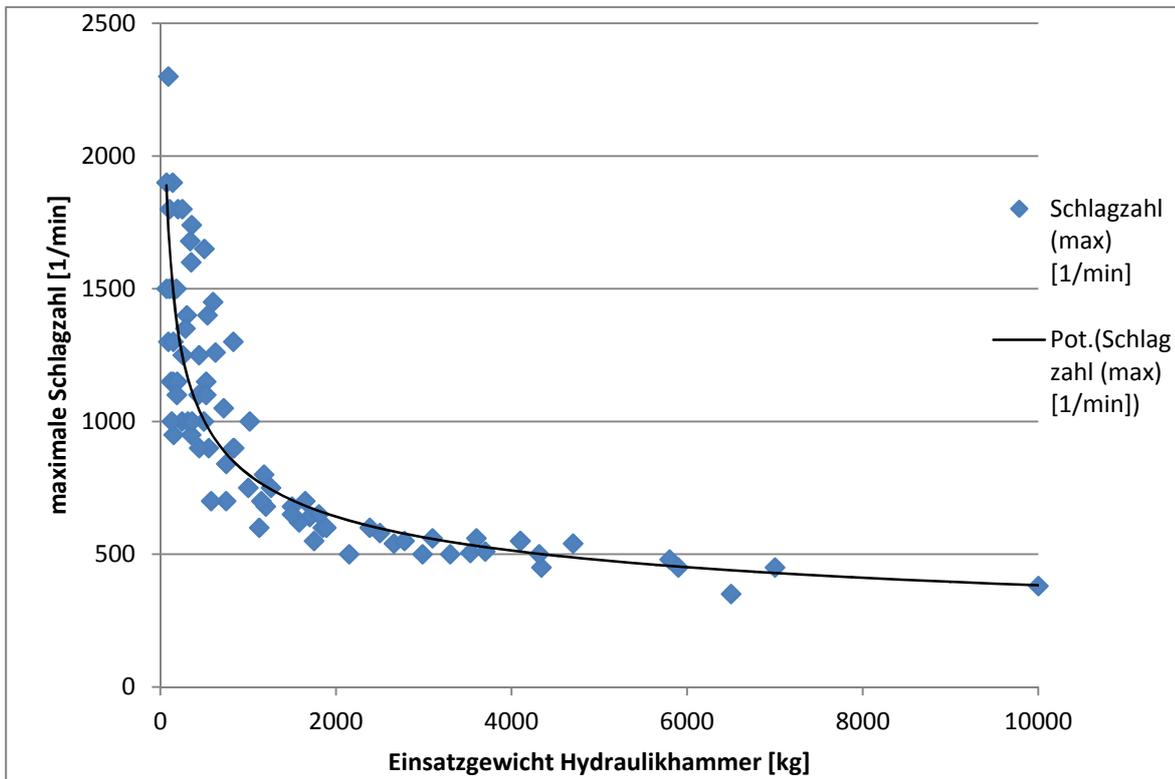


Abbildung 30: Zusammenhang Einsatzgewicht – Schlagzahl pro Minute

Anschaulich wird, dass die Schlagzahl in den unteren Gewichtsklassen deutlich höher ist als in den schwereren Klassen: Bis zu einem Einsatzgewicht der Anbaugeräte von ca. 2000 kg fällt der Verlauf der die durchschnittliche Schlagzahl repräsentierenden Regressionsfunktion sehr steil ab, die Schlagzahl reduziert sich somit stark. Hinzukommend lässt sich erkennen, dass insbesondere im Bereich der Einsatzgewichte ab 2000 kg die Varianz der Schlagzahl gering ist. Wenn auch weiter abnehmend beträgt diese rund 500 Schläge pro Minute.

Verknüpft man die Erkenntnisse aus der Abbildung 29 und der Abbildung 30 ist festzustellen, dass Hydraulikhämmer mit geringem Einsatzgewicht Schläge mit einer hohen Schlagzahl, allerdings mit einer geringen Einzelschlagenergie erzeugen. Steigt hingegen das Einsatzgewicht der Hydraulikhämmer, so erzeugen diese Schläge mit hoher Einzelschlagenergie, jedoch bei deutlich niedrigerer Schlagzahl. Dies lässt den Rückschluss zu, dass sich auch Anbaugeräte mit geringem Einsatzgewicht zur Sekundärzerkleinerung eignen, da dort regelmäßig eine hohe Schlagzahl erforderlich ist.

### 2.2.2.3. Abbruchzange und –schere

Die zum Primärabbruch sowie zum Pulverisieren bereits abgebrochener Materialien eingesetzte Abbruchzange und –schere besteht aus einer Stahlschneide sowie Stahlzähnen. Die Abbruchzange und -schere wird anhand von Einsatzgewicht, Ölbedarf, erforderlichem Dienstgewicht des Trägergerätes, Kraftentwicklung und Öffnungsweite charakterisiert.

Als Kenngröße, welche in Bezug zum Einsatzgewicht gesetzt wird, wird hier zunächst die Kraftentwicklung herangezogen. Diese repräsentiert jene – durch den im Trägergerät erzeugten Hydrauliköldruck produzierte – Schnittkraft respektive Brechkraft, welche an der Stahlschneide respektive den Stahlzähnen auf das zu zerteilende Material wirkt.

Der Zusammenhang Einsatzgewicht - Kraftentwicklung ist in nachstehender Abbildung auf Grundlage der ermittelten Daten dargestellt.

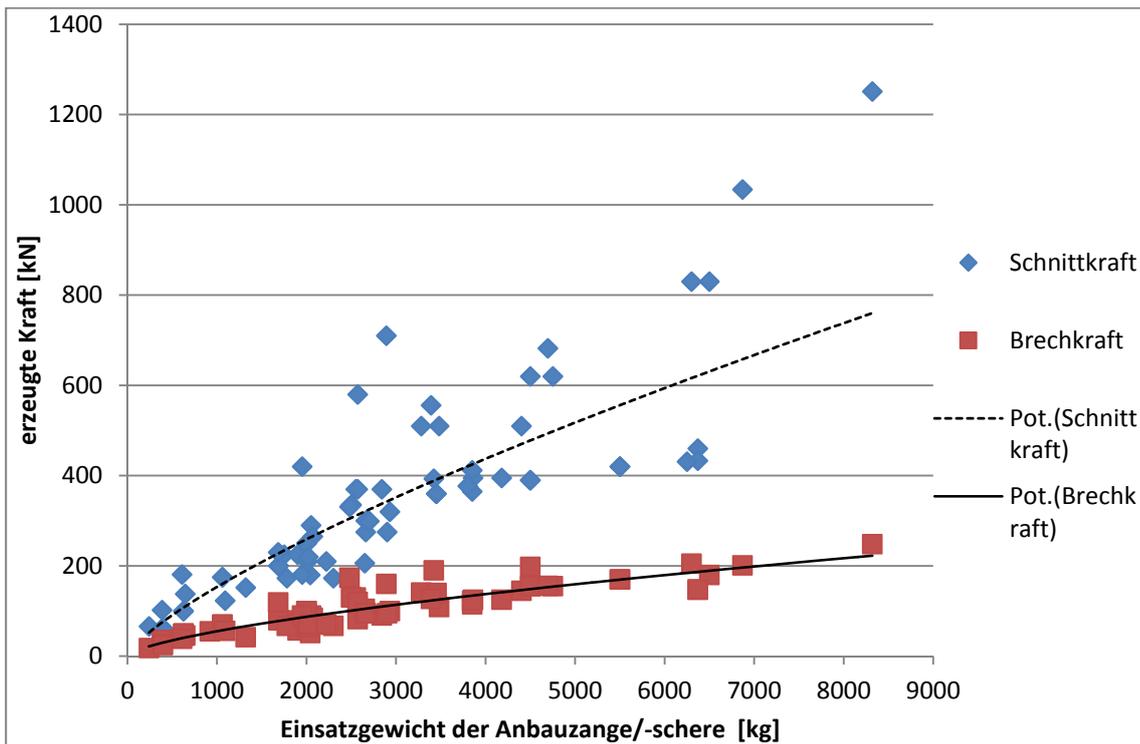


Abbildung 31: Zusammenhang Einsatzgewicht - Kraftentwicklung

Zunächst ist ersichtlich, dass die Brechkraft der Abbruchzangen und -scheren geringer ist als die Schnittkraft. Anschaulich wird auch, dass die Brechkraft mit steigendem Einsatzgewicht der Abbruchzangen und -scheren annähernd linear zunimmt. Weiters lässt sich erkennen, dass die Streuung der Werte unabhängig der Einsatzgewichtsklasse gering ist.

Der Verlauf der Regressionsfunktion der Schnittkraftgeraden lässt sich ebenfalls als annähernd linear beschreiben, während deren Steigung deutlich größer ist. Die Streuung der Werte nimmt dabei ebenfalls, insbesondere ab den mittleren Einsatzgewichtsklassen, zu. Dies ist auf die Vielzahl an verfügbaren Modellen für unterschiedlichste Arbeitsaufgaben<sup>64</sup> zurückzuführen, welche in der Kategorie Abbruchzangen und -scheren zusammengefasst wurden.

Neben der Kraftentwicklung ist die Öffnungsweite der Abbruchzangen und -scheren von Relevanz. Diese repräsentiert die maximale Maulöffnung zwischen den Pulverisiererzähnen. In nachfolgender Abbildung 32 wird der Zusammenhang Einsatzgewicht – Öffnungsweite in mm auf Grundlage der ermittelten Daten dargestellt.

<sup>64</sup> Vgl. hierzu exemplarisch Deutscher Abbruchverband (2015), S.298 ff.

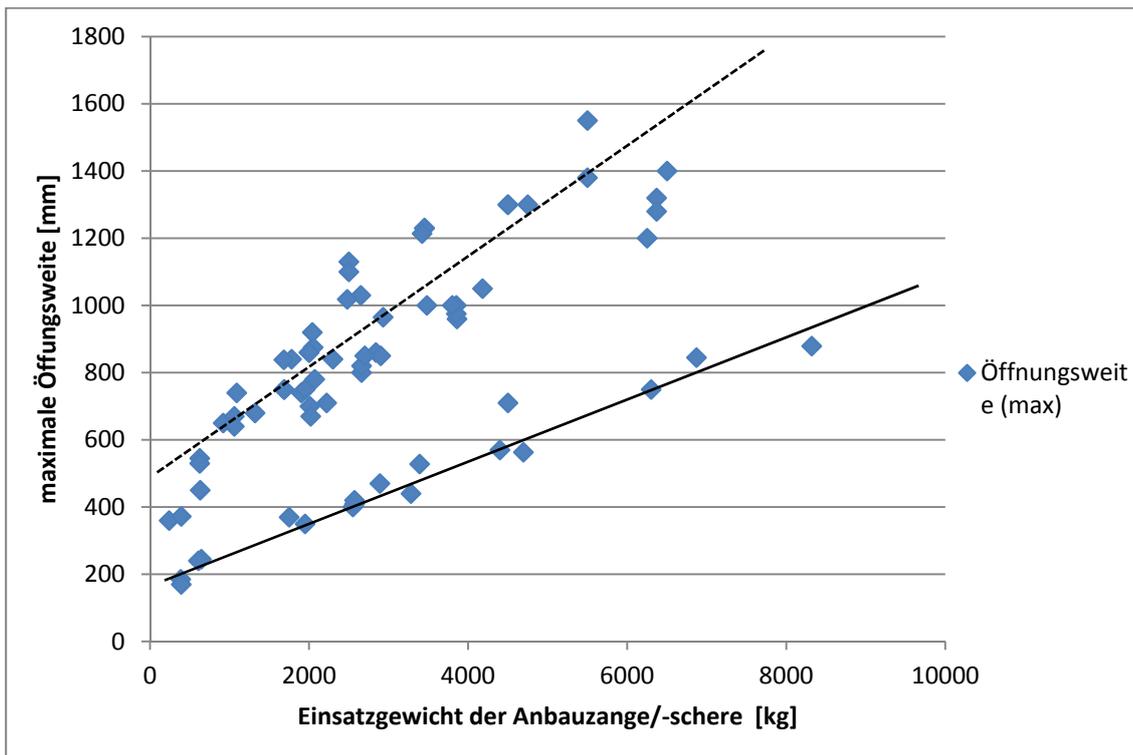


Abbildung 32: Zusammenhang Einsatzgewicht - Öffnungsweite

Die dargestellten Werte lassen sich in zwei Gruppen selektieren respektive sind zwei trendartige Verläufe auszudeuten. Im unteren Bereich steigt die Öffnungsweite linear mit dem Einsatzgewicht an. Dies ist auf die Eigenschaften der abzubrechenden Materialien zurückzuführen; zur Trennung von Stahlbauteilen sind aufgrund der üblicherweise geringeren Bauteilabmessungen als von Stahlbetonbauteilen geringere Öffnungsweiten ausreichend. Die geringe Steigung der unteren Trendlinie ist somit charakteristisch für Stahl- und Schrottscheren während die obere Trendlinie alle weiteren Abbruchzangen und -scheren repräsentiert. Hier nimmt die Öffnungsweite mit dem Anstieg des Einsatzgewichtes stärker zu. Neben einer entsprechend deutlich größeren Steigung ist auch die Streuung der Werte innerhalb der einzelnen Gewichtsklassen deutlich höher. Dies ist auf die oben erwähnte Vielzahl an verfügbaren Modellen für unterschiedlichste Arbeitsaufgaben zurückzuführen.

### 2.2.3. Zusammenhang Trägergerät - Anbaugerät

Zur Ermittlung des Einflusses der Anbaugeräte auf die Trägergeräte werden die zuvor gewonnenen Ergebnisse kombiniert. Durch Analyse des Zusammenhangs geräteübergreifender Kenngrößen von Träger- und Anbaugeräten sollen die wechselseitigen Einflüsse verdeutlicht werden. Für die Anbaugeräte werden hierzu die Kenngrößen Einsatzgewicht und Ölmengebedarf sowie für die Trägergeräte die Kenngrößen maximale Pumpenleistung und Dienstgewicht herangezogen, da sich diese Kennwerte im Wesentlichen gegenseitig bedingen.

#### 2.2.3.1. Ölmengebedarf

Neben den zuvor dargestellten Kenngrößen stellt der Ölmengebedarf anbaugeräteübergreifend eine weitere Kenngröße zur Auswahl eines geeigneten Trägergerätes dar. Die Leistungsmerkmale des Trägergerätes, in diesem Zusammenhang die maximale Pumpenleistung<sup>65</sup>, müssen zur optimalen Ausnutzung der theoretischen Leistung beider Geräte den Mindestleistungsanforderungen des

<sup>65</sup> Siehe Kapitel 2.2.1.4

Anbaugerätes entsprechen. In nachfolgender Abbildung 33 wird zunächst der Zusammenhang Einsatzgewicht – Ölmengebedarf in l/min auf Grundlage der ermittelten Daten dargestellt.

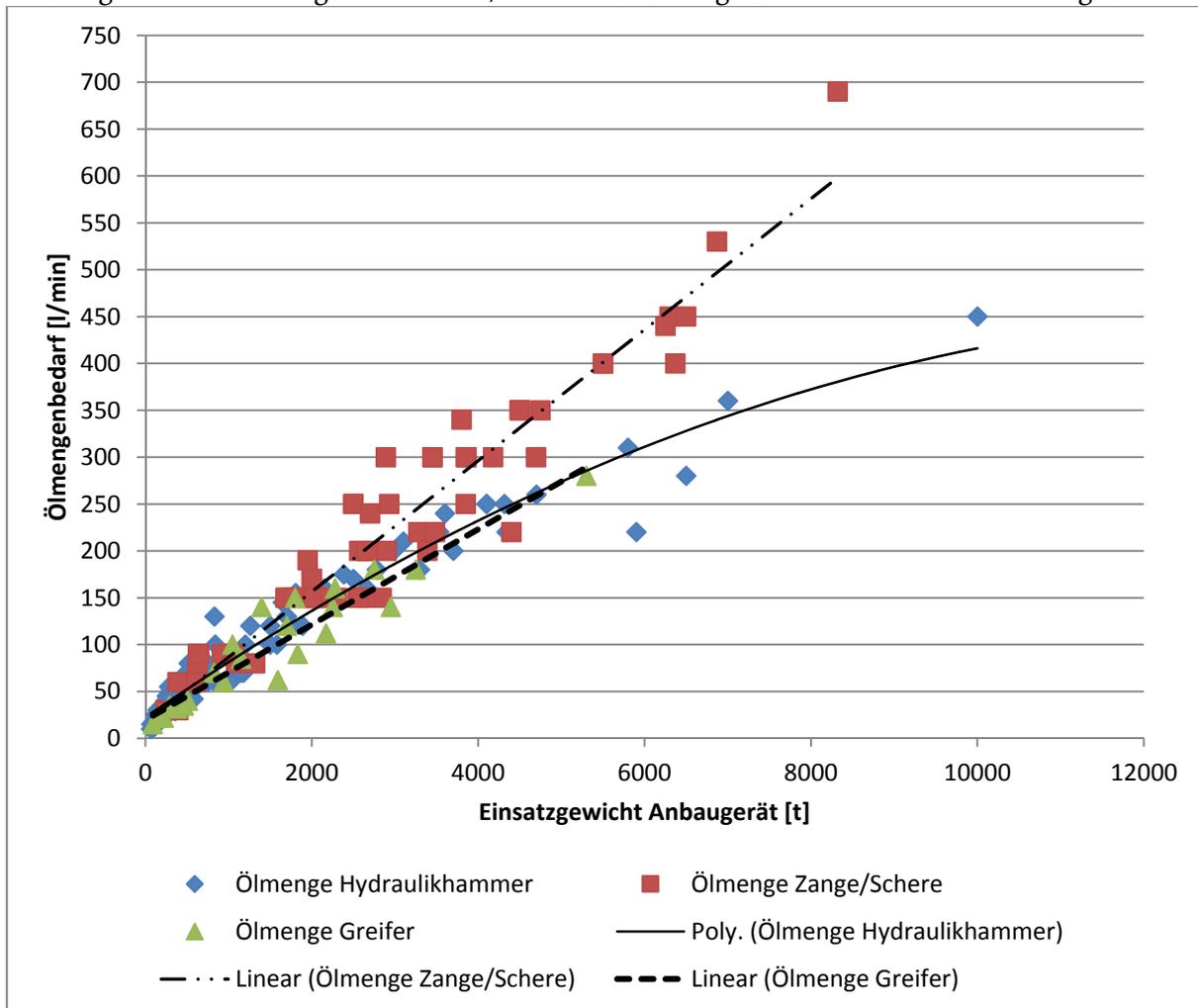


Abbildung 33: Zusammenhang Einsatzgewicht - Ölmengebedarf

Erkennbar ist, dass mit einer Zunahme des Einsatzgewichtes der unterschiedlichen Anbaugeräte der Ölmengebedarf je Anbaugerät annähernd linear ansteigt. Dabei ist der Verlauf der Funktion, welche den Zusammenhang der beiden Größen von Abbruch- und Sortiergreifern sowie von Hydraulikhämmern darstellt, flacher als der Verlauf der Regressionsfunktion bezogen auf Abbruchzangen und -scheren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei Abbruchzangen und -scheren im Vergleich zum Hydraulikhammer größere und mehr Hydraulikzylinder bedient werden müssen. Den wesentlichen Unterschied zu Abbruch- und Sortiergreifern stellen die aufgrund des unterschiedlichen Primäreinsatzzweckes kleiner dimensionierten Hydraulikzylinder dar.<sup>66</sup>

### 2.2.3.2. Erforderliches Dienstgewicht

Das individuelle Einsatzgewicht des Anbaugerätes erfordert für einen effizienten Betrieb der Gerätekombination zudem ein Mindestdienstgewicht des Trägergerätes. Der Zusammenhang Einsatzgewicht Anbaugerät - Mindestdienstgewicht Trägergerät ist in nachstehender Abbildung auf Grundlage der ermittelten Daten für die zuvor beschriebenen Anbaugeräte dargestellt.

<sup>66</sup> Siehe Kapitel 2.2.2.1 i.V.m. Kapitel 2.2.2.3

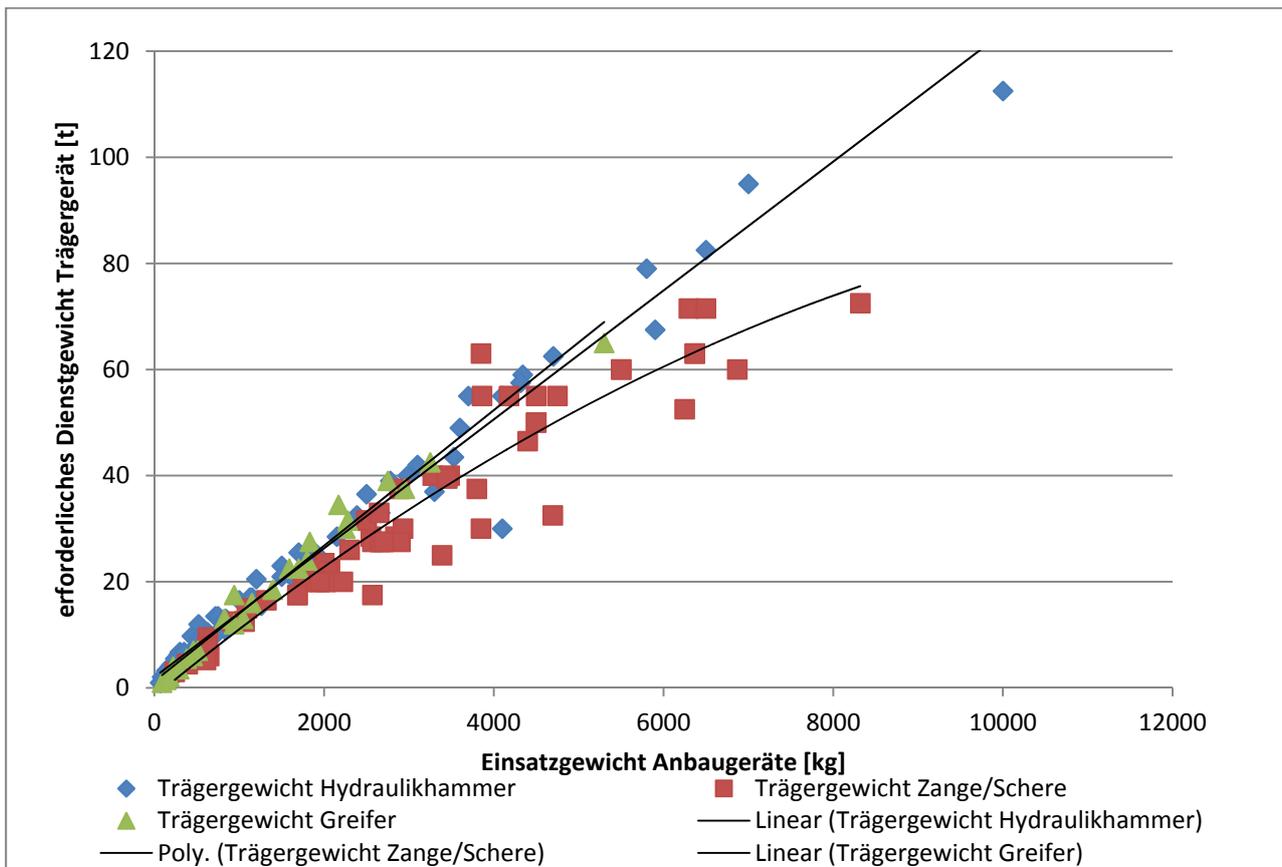


Abbildung 34: Zusammenhang Einsatzgewicht Anbaugerät - Mindestdienstgewicht Trägergerät

Anhand der dargestellten Werte lässt sich feststellen, dass die Zunahme der Einsatzgewichte der Anbaugeräte eine Vergrößerung der Dienstgewichte der Trägergeräte zur Folge hat. Während der annähernd lineare Zusammenhang der Mindestdienstgewichte für Abbruch- und Sortiergreifer dem Verlauf der Trendlinie für Hydraulikhämmer ähnelt, weist die Regressionsfunktion der Mindestdienstgewichte für Abbruchzangen und -scheren eine geringere Steigung auf. Die Verwendung schwerer Abbruchzangen und -scheren erfordert somit ein geringeres Mindestdienstgewicht der Trägergeräte als der Betrieb von vergleichbar schweren Hydraulikhämmern.

### 2.3. Rechtliche Rahmenbedingungen von Abbrucharbeiten

Ziel von **PI.3** ist die Abbildung der geltenden rechtlichen und umweltrechtlichen Belange und Vorschriften im Kontext von Abbrucharbeiten. In einem ersten Schritt werden daher zunächst systematisch alle Vorschriften der verschiedenen Gesetzesebenen – Europäische Ebene, Bundesebene, Länderebene und normative Ebene – untersucht. Die wichtigsten Vorschriften sollen schließlich einzelnen Teilprozessen des Abbruchs zugeordnet werden.

#### 2.3.1. Hierarchiebezogene Darstellung

Die rechtlichen Rahmenbedingungen wurden untersucht. Dabei erfolgte eine Abgrenzung nach den einleitend erwähnten gesetzlichen Ebenen. Der Fokus liegt auf den Bereichen Arbeitsschutz-, Bau-, Umwelt- und Abfallrecht. Aus den Erkenntnissen wurde eine Tabelle entwickelt, in der alle Vorschriften in hierarchischer Ordnung aufgeführt sind. Ein Auszug ist Tabelle 10 zu entnehmen. Die vollständige hierarchieebenenbezogene Darstellung ist in Anlage 3 dargelegt.

Tabelle 10: Rechtliche Rahmenbedingungen – hierarchiebezogen (Auszug)

	Arbeitsschutzrecht		Baurecht		Umweltrecht		Abfallrecht	
	Vorschrift	Inhalt	Vorschrift	Inhalt	Vorschrift	Inhalt	Vorschrift	Inhalt
Europäische Ebene	Verordnung (EG) Nr. 1488/94	Festlegung von allgemeinen Grundsätzen für die Bewertung der von Abfällen ausgehenden Risiken für Mensch und Umwelt.	Richtlinie 2010/75/EU	Induzieremissionen (unregulierte Vermeldung und Veränderung der Umwelverschmutzung)	Verordnung (EG) Nr. 66/2010	EU-Umweltzeichen	Verordnung (EU) Nr. 660/2014	Verbotung von Abfällen
	Richtlinie 2013/35/EU	Minderungsmaßnahmen zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen.	Richtlinie 2007/66/EG	Verbesserung der Wirksamkeit der Nachprüfungsverfahren bezüglich der Vergabe öffentlicher Aufträge	Richtlinie 2014/52/EU	Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten	Verordnung (EU) Nr. 715/2013	Kriterien zur Festlegung, wann bestimmte Arten von Kupfererz nicht mehr als Abfall anzusehen sind
	Richtlinie 2011/70/Euratom	Gemeinschaftsmaßnahmen für die Verantwortung und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle	Richtlinie 2004/18/EG	Koordinierung der Verfahren zur Vergabe öffentlicher Baufträge, Lieferaufträge und Dienstleistungsaufträge	Richtlinie 2013/39/EU	Persistent Stoffe im Bereich der Wasserpolitik	Verordnung (EU) Nr. 255/2013	Verbotung von Abfällen
	Richtlinie 2009/148/EG	Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Arbeit am Arbeitsplatz	Richtlinie 2003/35/EG	Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Ausarbeitung bestimmter umweltbezogener Pläne und Programme und zur Änderung der Richtlinien 85/337/DWG und 96/61/EG des Rates in Bezug auf die	Richtlinie 2011/76/EU	Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge	Verordnung (EU) Nr. 661/2011	Ausfuhr von bestimmten Abfällen, die zur Verwertung bestimmt sind, in bestimmte Nicht- OECD Staaten
	Richtlinie 2009/142/EG	Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen von Gasverbrauchsrichtungen			Richtlinie 2008/1/EG	Inzidiere Vermeidung und Verminderung der Umwelverschmutzung	Verordnung (EU) Nr. 333/2011	Kriterien zur Festlegung, wann bestimmte Arten von Schrott nicht mehr als Abfall anzusehen sind
	Richtlinie 2009/104/EG	Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Benutzung von Arbeitsmitteln durch Arbeitnehmer bei der Arbeit			Richtlinie 2005/98/EG	Ausgleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltschädliche Gerätschaften von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen	Verordnung (EG) Nr. 1418/2007	Ausfuhr von bestimmten Abfällen, die zur Verwertung bestimmt sind, in bestimmte Staaten, für die der OECD Beschlüsse über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung von Abfällen nicht gilt
	Richtlinie 2007/30/EG	Vereinfachung und Rationalisierung der Bereiche über die praktische Durchführung			Richtlinie 2004/35/EG	Umwelthaftung zur Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden	Verordnung (EG) Nr. 1013/2006	Verbotung von Abfällen
	Richtlinie 2003/10/EG	Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkung (Lärm)			Richtlinie 2001/42/EG	Prüfung der Umweltauswirkung bestimmter Pläne und Programme	Verordnung (EG) Nr. 1488/94	Festlegung von Grundsätzen für die Bewertung der von Abfällen ausgehenden Risiken für Mensch und Umwelt

#### 2.3.2. Prozessbezogene Darstellung

Das Ergebnis bezogen auf die Prozessschritte Abbruchvorbereitung, Abbruchdurchführung und Entsorgung ist in nachfolgender Tabelle 11 dargelegt.

Tabelle 11: Rechtliche Rahmenbedingungen – prozessbezogen

Prozessschritt	Vorschrift*	Bezug zum Abbruchprozess	
1. Abbruchvorbereitung	1.0 Bauherr (AG)	HBO BGR 128 Checkliste Deutscher Abbruchverband	Grundpflichten des Bauherrn Aufgaben des Bauherrn in kontaminierten Bereichen vorbereitende Aufgaben des Bauherrn
	1.1 Planer	HBO VOF, VOL/A HOAI JAfBSchG	Grundpflichten des Planers Grundsätze bei der Vergabe öffentlicher Aufträge Berechnung der Entgelte des Planers Beschäftigungsverbote für Jugendliche
	1.2 Objektbesichtigung	HBO Checkliste Deutscher Abbruchverband	Beteiligung von geeignetem Fachpersonal grobe Beurteilung des Ist-Zustand
	1.3 Ermittlung von Altlasten	HBO BGR 128 BBodSchG, BBodSchV, HAAltBodSchG	Abschätzung potentieller Gefährdungen Beteiligung von geeignetem Fachpersonal Durchführung erforderlicher Untersuchungen und Maßnahmen
	1.4 Erfassung der Umgebungsbedingungen	BioStoffV, GefStoffV, SachVBodSchV Asbest-Richtlinie, TRGS 519	Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen notwendige Maßnahmen bei Rückständen von Asbest
	1.5 Erstellung Rückbaukonzept	HBO, BGV BBodSchG, Asbest-Richtlinie  DIN 18007, DIN 18459, DIN 18299, DIN 4123  HBO, NBVO BGV BImSchG, BImSchV TA Lärm, TA Luft, AVV Baulärm Asbest-Richtlinie, TRGS 519	Erfassung der Umgebungsbedingungen Schutzmaßnahmen  Vorschriften bei der Planung, Durchführung und Entsorgung der Rückbauarbeiten  Vermeidung von Lärm und Standsicherheitsnachweise Abbruchanweisung Anforderungen an Immissionen Immissionsgrenzwerte Anforderungen im Umgang mit Asbest
	1.6 Erstellung Entsorgungskonzept	KrWG NachwV DepV StVO GewAbfV BImSchG, BImSchV	Grundsätze der Entsorgungsplanung Nachweis entsorgungspflichtiger Abfälle Vorschriften für die Deponierung von Abfällen Verschmutzung öffentlicher Straßen Anforderungen an den Umgang mit Abfällen genehmigungsbedürftige Anlagen

		Asbest-Richtlinie, TRGS 519, PCBAbfallV	Anforderungen an gefährliche Abfälle
1.7 Erstellung Schutzkonzept		ArbSchG, ASiG, BGB, SGB	Maßnahmen, Grundsätze und Pflichten für den Arbeitsschutz
		ArbStättV	Schaffung von Sicherheitsstandards
		BaustellV	Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordinator
		BetrSichV	Vorschriften zur Bereitstellung und Benutzung von Arbeitsmitteln auf der Baustelle
		LärmVibrationsArbSchV	Schutz vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen
		GefStoffV, Asbest-Richtlinie	Anforderungen und Maßnahmen bei Gefahrstoffen/Asbest
		UVV, FAb, TRBS, TRGS, BGV, BGI, BGR, DIN 4420	Regeln zur Unfallverhütung und den Betrieb von Baustellen
		HBO, BauGB	Genehmigungsbedürftigkeit und -umfang
		ENatG, BNatSchG, WHG	Vorschriften bei Eingriff in die Natur und das Grundwasser
		HAaltBodSchG DIN 18299, SprengG DschG HE	Anforderungen bei schädlichen Bodenveränderungen Kampfmitteluntersuchungen Denkmalschutz
1.8 Genehmigung		VOB, BGB, VgV	Allgemeine Bestimmungen zur Vergabe und zu Vertragsbedingungen von öffentlichen Aufträgen
		GWB	Grundsätze zu Vergabeverfahren
		DIN 18459, DIN 18299	Hinweise für das Aufstellen der Leistungsbeschreibung
2. Abbruch- durchführung	2.1 Vorbereitende Maßnahmen	BaustellV, BGR	behördliche Vorankündigung
		HBO	personelle Anforderungen
		PSA-BV, ArbSchG, DIN 4420/4	Arbeitsschutz
		ArbStättV, BGV	Baustellenordnung
		BGR, TRGS 519	Betriebsanweisung
	2.2 Baustelleneinrichtung	VOB	Mindestangaben im Baustelleneinrichtungsplan
		ArbStättV, ArbSchG	Anforderungen an die Arbeitsstätten und Unterkünfte
		BaustellV	Schutz von Nachbarn und Anliegern
		MBO, HBO	Anforderungen an die Baustelleneinrichtung
		BGG BetrSichV WHG	Verkehrssicherungspflicht Anforderungen an die Arbeitsmittel Abwasserbeseitigung

		BlmSchG	vermeidbare Umwelteinwirkungen
		DepV	Vorschriften für die Deponierung von Abfällen
		BGV	Kennzeichnungspflichten
		BGR 128, TRGS 500	Anforderungen bei kontaminierten Bereichen
	2.4 Prozessbegleitende Maßnahmen	BetrSichV, ProdSG	Anforderungen an die Verwendung von Geräten und Maschinen
		HBO	Kontroll- und Koordinierungspflichten
		BGR, TRLV, BGI, LärmVibrationsArbSchV	persönliche Schutzausrüstung
		ArbStättV	Mängelbeseitigung
3. Entsorgung	3.1 Separierung des Abbruchmaterials	KrWG	Vermischungsverbot
		BlmSchG, BImSchV, HBO, TA Luft	Vorschriften im Umgang mit Aufbereitungsanlagen
		AVV	Klassifizierung der Abfälle
		GewAbfV, AltholzV, ElektroG	Anforderungen an Abfallfraktionen
	3.2 Verwertung und Beseitigung des Abbruchmaterials	KrWG, AbfVerbrG	Abfallhierarchie und Grundsätze für die Verwertung und Beseitigung
		GewAbfV	Vorschriften beim Einsatz von Vorbehandlungsanlagen
		AltholzV	Verwertung von Altholz
		ElektroG	Verwertung von Elektronikgeräten
		NachwV	Nachweispflicht
		PCBAbfallV, TRGS 519	Vorschriften für die Entsorgung von PCB Abfall und Asbest
	3.3 Deponierung des Abbruchmaterials	DepV, BImSchV	Anforderungen an die Ablagerung von Abfällen
		BBodSchG, WHG	Schutz der Umwelt und des Grundwassers
		TRGS	Deponierung von Asbest
	3.4 Abschluss	HBO, KrWG	Anzeigen und Nachweispflichten
		VOB/B	Abnahme, Mängel und Haftung
		BGG, VOB/B	Vergütung, Abschlagszahlungen und Schlussrechnung
* auf Landesebene werden die Vorschriften für das Bundesland Hessen betrachtet			

### 3. Kalkulation von Abbrucharbeiten

**P2 (Kosten)** unterteilt sich in die 3 Arbeitsschwerpunkte: P2.1 "Nachkalkulation vorliegender Angebote", P2.2 "Durchführung von Experteninterviews" und P2.3 "Auswertung der Ergebnisse der Experteninterviews".

#### 3.1. Nachkalkulation vorliegender Angebote

Ziel von **P2.1** ist es, durch Nachkalkulation vorliegender Angebote zum Abbruch jene Kriterien zu ermitteln, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Preisbildung bei Abbrucharbeiten haben. Hierzu stehen detaillierte Leistungsverzeichnisse und Angebotspreisspiegel zu drei Abbruchprojekten zur Verfügung:

- Projekt 1 umfasst 118 Detailpositionen, jeweils von sieben Unternehmen bepreist,
- Projekt 2 beinhaltet 73 Detailpositionen, ebenfalls von sieben Unternehmen bepreist und
- Projekt 3 enthält 96 Detailpositionen und das Angebot des ausführenden Unternehmens.

Bauherr respektive Auftraggeber ist ein in Deutschland ansässiges Chemieunternehmen. Die Leistungsverzeichnisse wurden auf Grundlage eines internen Muster-LV erstellt. Bei den Projekten handelt es sich um den Abbruch von zwei Produktionshallen (Projekt Nr. 1 und Projekt Nr. 3) und einer Lagerhalle (Projekt Nr. 2).

Die Besonderheit der Abbruchobjekte ergibt sich durch die Möglichkeit einer isolierten Betrachtung der Abbruchkosten. Der Bauherr betreibt eigene Recyclinghöfe direkt auf dem Unternehmensgelände, so dass die Anbieter keine Entsorgungsgebühren zu entrichten haben. Somit ist eine Berücksichtigung der schwankenden, regional abhängigen Entsorgungskosten für tiefergehende Analysen nicht erforderlich.

##### 3.1.1. Vorgehensweise

Den Schwerpunkt der Untersuchung stellt die Identifikation kostentreibender Positionen dar. Hierbei sollen auf allen Ebenen der Leistungsverzeichnisse die Kostenträger sowohl projektübergreifend als auch projektspezifisch bestimmt und analysiert werden.

Die zu untersuchenden Leistungsverzeichnisse gliedern sich in folgende Ebenen:

- Ebene 0      Arbeitsaufgabe: Komplettabbruch (Pos. 0)
- Ebene 1      Hauptpositionen (z. B. Pos. 1, 2, 3, 4),
- Ebene 2      Sammelpositionen (z. B. Pos. 1.1, 1.2, 1.3 usw.),
- Ebene 3      Detailpositionen (z. B. Pos. 1.1.1, 1.1.2 usw.).

Vor Bestimmung der kostenintensiven Kriterien sind zur Vergleichbarkeit der Projekte einzelne Teil- und Detailpositionen zusammengefasst worden. Eine Übersicht der Haupt- und Sammelpositionen analog des zuvor erwähnten Musterleistungsverzeichnisses kann nachfolgender Tabelle 12 entnommen werden.

Zusammenfassung der Hauptpositionen		
OZ./Pos.	Titel der Position	Kurzbeschreibung
0	Komplettabbruch	Gesamtleistung des Auftragnehmers
1	Abbruch, Demontage und Entsorgung	Zusammenfassung aller Leistungen zum allgemeinen Rückbau von Bauwerken
1.1	Baustelleneinrichtung	Leistungen zum Einrichten und Betreiben der Baustelle
1.2	Gerüste, Schutzmaßnahmen und Krane	Aufbau und Vorhaltung von Gerüsten, Einrichtung von Schutzmaßnahmen zur Nichtbeeinträchtigung der Umwelt, Leistungen i.V.m. Hebezeugen und Transporten

Zusammenfassung der Hauptpositionen		
OZ./Pos.	Titel der Position	Kurzbeschreibung
1.3	Abbruch Schrottmaterialien	Abbruch wertbringender und zum Recycling geeigneter Baustoffe (insb. Eisen und Nichteisenmetalle)
1.4	Abbruch sonstiger Baustoffe	Abbruch von Baustoffen, welche bei Entkernungsprozessen anfallen
1.5	Mineralischer Bauschutt	Abbruch von mineralischen Bauabfällen (Stahlbeton, Mauerwerk usw.)
1.6	Verfüllung mit internem RC Material	Einsatz von Recycling-Baustoffen zur Wiederverfüllung mit unternehmensinternem Material
1.7	Verfüllung mit externem RC Material	Einsatz von Recycling-Baustoffen zur Wiederverfüllung mit unternehmensexternem Material
1.8	Verunreinigtes Material	Rückbau von verunreinigten, aber nicht gefährlichen Bauteilen
2	Bergen	Zusammenfassung aller Leistungen zum Bergen von Anlagen- und Maschinenteilen (Industriebauwerke)
2.1	Bergen von Apparaten und Anlagen	Abbruch von besonderen Anlagenteilen und Geräten zur Produktion
3	Sanierungsarbeiten	Zusammenfassung aller Leistungen betreffend der Schadstoffsanierung
3.1	Sanierungsarbeiten sowie Arbeiten in kontaminierten Bereichen	Vorgelagerte Arbeiten zum Ausbau gefährlicher Baustoffe
4	Projektspezifische Positionen	Zusammenfassung aller Leistungen die nur im jeweiligen Projekt Leistungen von besonderer Art und Umfang darstellen
4.1	Projektspezifische Positionen	Leistungen projektspezifischer Art (z. B. Bauwerksabhängige Leistungen)

Tabelle 12: Musterleistungsverzeichnis zur Ausschreibung von Abbruchprojekten<sup>67</sup>

Es sei darauf hingewiesen, dass für die Identifikation kostentreibender Positionen grundsätzlich eine unbereinigte Darstellung erfolgt. Abweichend in der Relation sehr niedrige oder sehr hohe Angebote der Bieter werden somit mitberücksichtigt, um ein reales Abbild der Praxis zu gewährleisten.

Zunächst wurde für jedes einzelne Projekt eine Gesamtpreisübersicht mit den Haupt- und Sammelpositionen erstellt (siehe exemplarisch für Projekt 1 Tabelle 13). Diese sind einer festen Ordnungszahl, Leistungsbeschreibung und dem vom Unternehmen (U1 bis U7) angebotenen Preis zugeordnet worden.

Tabelle 13: Projekt 1 - Preisübersicht für Haupt- und Sammelpositionen

Pos.	Leistungsbezeichnung	Projekt 1						
		U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
0	<b>Komplettabbruch</b>	2.084.731,50	2.092.093,77	2.300.301,03	2.824.160,00	2.983.597,00	3.443.677,50	3.532.586,40
1	<b>Abbruch, Demontage und Verschrottung</b>	1.670.006,50	1.855.955,23	1.925.607,03	2.446.390,00	2.690.972,00	2.269.177,50	3.019.642,40
1.1	Baustelleneinrichtung	111.150,00	368.635,90	236.203,00	72.900,00	64.000,00	152.800,00	197.160,00
1.2	Gerüste, Schutzmaßnahmen und Krane	206.200,00	322.192,31	264.417,34	197.200,00	365.000,00	629.500,00	404.550,00
1.3	Abbruch Schrottmaterialien	185.315,00	420.281,76	503.213,84	910.950,00	691.895,00	819.050,00	1.036.857,00
1.4	Abbruch sonstige Baustoffe	228.942,50	290.251,19	303.744,45	443.770,00	582.652,00	297.377,50	523.125,00
1.5	Abbruch Mineralischer Bauschutt	680.565,00	351.681,55	490.293,60	583.980,00	815.190,00	265.935,00	468.329,40
1.6	Verfüllung mit internem RC Material	59,00	271,30	98,50	240,00	85,00	115,00	465,00
1.8	Verunreinigtes Material	257.775,00	102.641,22	127.636,30	237.350,00	172.150,00	104.400,00	399.156,00
2	<b>Bergen</b>	7.755,00	9.025,60	28.072,50	21.440,00	9.640,00	11.200,00	27.156,00
2.1	Bergen von Apparaten und Anlagen	7.755,00	9.025,60	28.072,50	21.440,00	9.640,00	11.200,00	27.156,00
3	<b>Sanierungsarbeiten</b>	240.470,00	171.082,04	232.854,00	231.050,00	169.085,00	975.900,00	336.288,00
3.1	Sanierungsarbeiten sowie Arbeiten in kontaminiertem Bereichen	240.470,00	171.082,04	232.854,00	231.050,00	169.085,00	975.900,00	336.288,00
4	<b>Projektspezifische Positionen</b>	166.500,00	56.030,90	113.767,50	125.280,00	113.900,00	187.400,00	139.500,00
4.1	Verbindungsstege demontieren	166.500,00	56.030,90	113.767,50	125.280,00	113.900,00	187.400,00	139.500,00

<sup>67</sup> basierend auf den untersuchten Projekten

Im Anschluss daran sind die Anteile der Sammelpositionen am gebotenen Gesamtbetrag des jeweiligen Unternehmens bestimmt worden (Tabelle 14). Zur Veranschaulichung sind kostenintensive Positionen (Rot- und Orangetöne), weniger kostenintensive Positionen (Gelbtöne) und kostengünstige Positionen (Grüntöne) farblich hervorgehoben worden.

Tabelle 14: Projekt 1 - Kostenintensive Detailpositionen

Projekt 1		U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
Pos.	Leistungsbezeichnung	Anteile [%]						
<b>1.1</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1.1.1	Baustelle einrichten	67,48	12,38	43,79	50,75	46,88	52,36	47,17
1.1.2	Baustelle vorhalten	10,35	80,52	9,17	17,83	22,66	18,32	18,87
1.1.3	Aufrechterhaltung des Verkehrs	5,85	0,60	4,17	5,21	0,78	8,05	4,72
1.1.4	Staubniederschlagung	4,05	0,11	10,43	6,58	3,91	10,73	4,72
1.1.5	Bauzaun einrichten und vorhalten	3,15	1,34	4,13	8,23	1,95	2,36	4,72
1.1.6	Tagesunterkunft einrichten	1,89	0,50	6,26	0,00	1,25	3,66	4,72
1.1.7	Tagesunterkunft vorhalten	1,08	0,89	6,26	0,00	7,81	0,33	4,72
1.1.8	WC- und Waschanlagen einrichten	1,62	0,19	5,00	1,65	1,95	3,08	4,72
1.1.9	WC- und Waschanlagen vorhalten	1,35	0,22	3,34	5,35	11,72	0,33	2,36
1.1.10	Baustromverteilerschrank	2,16	2,01	2,09	1,92	0,55	0,20	2,36
1.1.11	Trenntrafo mit Baumstrom-Unterverteilung	0,81	1,22	4,59	0,00	0,39	0,20	0,47
1.1.12	Sicherstellung der Alarmierung	0,22	0,03	0,79	2,47	0,16	0,39	0,47

Darüber hinaus sind unternehmensübergreifend Minimum, Maximum, Median und der Durchschnitt zu jeder Sammelposition berechnet worden (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Projekt 1 - Kostenintensive Leistungen

Projekt 1		Minimum [%]	Maximum [%]	Median [%]	Durchschnitt [%]
Pos.	Leistungsbezeichnung				
<b>0</b>	<b>Komplettabbruch</b>	Anteile [%]			
1.1	Baustelleneinrichtung	2,15	17,62	5,33	6,85
1.2	Gerüste, Schutzmaßnahmen und Krane	6,98	18,28	11,49	12,25
1.3	Abbruch Schrottmaterialien	8,89	32,26	23,19	22,78
1.4	Abbruch sonstige Baustoffe	8,64	19,53	13,87	13,82
1.5	Abbruch Mineralischer Bauschutt	7,72	32,65	20,68	19,96
1.6	Verfüllung mit internem RC Material	0,00	0,01	0,00	0,01
1.8	Verunreinigtes Material	3,03	12,36	5,77	7,33
2.1	Bergen von Apparaten und Anlagen	0,32	1,22	0,43	0,60
3.1	Sanierungsarbeiten sowie Arbeiten in kontaminiertem Bereichen	5,67	28,34	9,52	11,65
4.1	Verbindungsstege demontieren	2,68	7,99	4,44	4,75

In einem nächsten Schritt sind die ermittelten Werte projektübergreifend verglichen worden. Dazu sind für die Projekte 1 bis 3 die prozentualen Durchschnittswerte am Gesamtpreis gemittelt worden. Weiterhin sind Minima, Maxima und die Spannen der Werte dokumentiert worden. Diese Verfahrensweise ist ebenfalls für die Detailebenen der Leistungsverzeichnisse übernommen worden.

Für weitere Detailanalysen sind Einzelpositionen mit Ordnungszahl und Leistungsbeschreibung aufgelistet. Für jedes Projekt sind dazu die Mengen und abgerechneten Leistungseinheiten mitaufgeführt. Weiterhin sind die gebotenen Gesamtbeträge und Einheitspreise für die Detailpositionen angegeben. Für statistische Zwecke sind in einem Box-Plot Diagramm statistisch relevante Größen (Quantile 1 bis 3, Minimum und Maximum) dargestellt.<sup>68</sup>

Auf Basis der Datengrundlage werden nachfolgend zunächst die Projekte vorgestellt.

<sup>68</sup> Das Formular zur Bestimmung von Kostenkennwerten und Kostenanalysen von Detailpositionen ist Anlage 4 zu entnehmen

### 3.1.1.1. Projekt 1

Beim ersten zu untersuchenden Abbruchobjekt handelt es sich um eine ehemalige Kunststofffabrik (Herstellung von Polystyrol). Es liegt eine Stahlkonstruktion mit Mauerwerks- und Stahlbetonausfachung vor. Die Fassade besteht aus Trapezblechkonstruktionen und Asbestzementplatten. Die Baustelle wird durch Straßen, Zufahrten, Rohrbrücken und ein angrenzendes Tanklager sehr stark eingeschränkt (siehe Abbildung 35). Neben der eigentlichen Produktionshalle sind die Verbindungsstege zu weiteren Gebäuden und Stichrohrbrücken (ausgenommen Verbindungsrohrbrücke zum Tanklager) abzubauen. Vom Rückbau ebenfalls ausgeschlossen ist die Hauptrohrbrücke, welche in besonderem Maße zu schützen ist. Aufgrund der Aufrechterhaltung des Verkehrs und des Betriebs weiterer, umgebener Produktionshallen sind gesonderte Maßnahmen gegen Staubniederschlag durch den Auftragnehmer zu berücksichtigen.

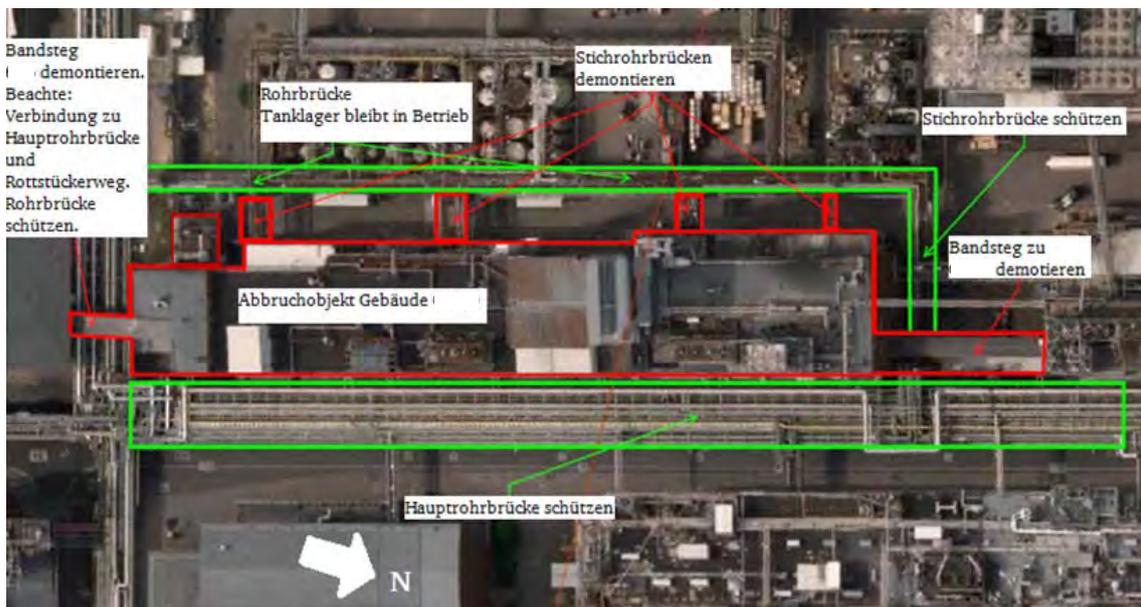


Abbildung 35: Lageplan Projekt 1

Die Gebäudehöhe beläuft sich im Schnitt auf ca. 25 m über der Geländeoberkante (GOK), erreicht aber an einer Stelle 50,5 m über GOK. Die Untergeschosse des Bauwerks reichen bis auf 5,5 m unter GOK. Weitere Flächenmaße oder die Raummaße (z. B. BRI) lagen dem Verfasser nicht vor und waren auch indirekt nicht bestimmbar.

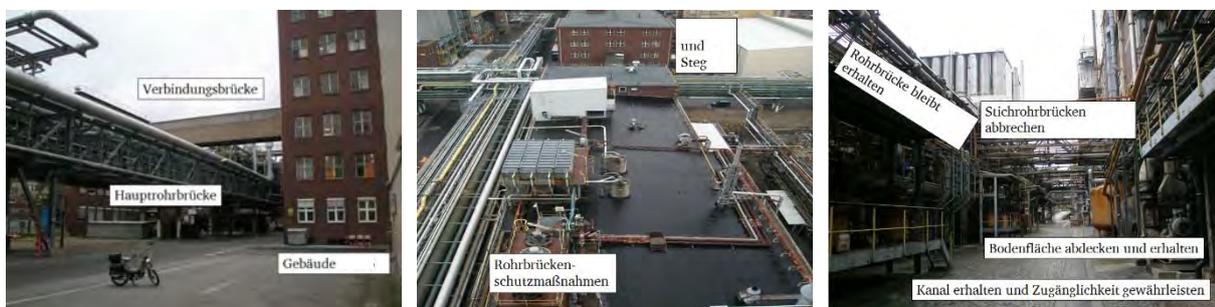


Abbildung 36: Übergang zum Gebäude Blickrichtung Osten, Dachansicht und Hauptrohrbrücke Blickrichtung Süden und Stichrohrbrücke Blickrichtung Norden (v.l.n.r.)

Als Schadstoffe konnten PAK, PCB, Asbest und produktionsbedingte Restabfälle in Anlagenteilen festgestellt werden. Zu der Abbruchmasse zählen überschlägig

- 3200 t Stahl (davon 600 t Anlagenteilen),
- 2550 m<sup>3</sup> Stahlbeton (zusätzlich 850 m<sup>3</sup> verunreinigt),
- 4000 m<sup>3</sup> Mauerwerk (zusätzlich 550 m<sup>3</sup> verunreinigt),
- 110 t Holz (davon 60 t Holz der Klasse IV) sowie
- schadstoffbehaftete Dichtungen, Brandschutzklappen (Asbest), PCP und PAK Bauteile.

Zu Beginn des Abbruchs wurden kontaminierte Bauteile zurückgebaut und die Abfälle auf dem Werksgelände entsorgt. In direkten Bereichen der Rohrbrücken sind nur Handabbrüche durchgeführt worden. Nach der Entkernung des Bauwerks sollten vor dem Tragwerksrückbau alle Decken bzw. Böden feldweise mittels Kleingeräten abgebrochen werden. Der Rückbau des Tragwerks erfolgte mit Großgerät (Longfront-Abbruchbagger und Anbaugeräten).

### 3.1.1.2. Projekt 2

Bei dem zweiten zu untersuchenden Abbruchobjekt handelt es sich um eine ehemalige Lagerhalle, welche im Jahr 1964 errichtet wurde. An den Enden der Halle befinden sich zwei Kopfbauten mit Büros, Sanitärräumen und HLS-Anlagen. Der Bruttorauminhalt beläuft sich auf ca. 79.000 m<sup>3</sup> (BGF ca. 245 m x 65 m).



Abbildung 37: Lageplan Projekt 2<sup>69</sup>

Bei der Lagerhalle handelt es sich um einen Stahlbetonfertigtbau, bestehend aus Stahlbetonstützen und im Abstand von 7,5 m quer gespannten Spannbetonbindern, welche bis zu sieben Meter über die Wände auskragen. Die Außenachsen sind über vorgehängte Stahlbeton-Wandplatten (Sandwich mit Styropor-Kerndämmung) ausgesteift. Das Flachdach ist in Bimsbeton und der Aufbau des Daches bereichsweise in Stahltrapezplatten ausgeführt. Da die Tragfähigkeit des Daches daher nicht mehr in vollem Umfang gegeben war, waren bei Dacharbeiten zusätzlich Absturzsicherungen zu installieren.

Der Kopfbau im Südwesten ist kein eigenständiges Gebäude, sondern ist Bestandteil der Lagerhallenkonstruktion mit einer Wand- und Deckenausfachung. Die Raumeinheiten sind überwiegend durch Ständerwände geteilt. Die Geschossdecke besteht aus Stahlunterzügen mit

<sup>69</sup> In Anlehnung an Google-Maps (2015 a), Zugriff am 16.08.2015 überarbeitet.

eingeleigten Holzbalken. Über die Außenachsen steifen Stahlbeton-Wandplatten (Sandwichbauweise mit Styropordämmung) die Konstruktion aus.

Im Nordosten besteht der Kopfbau aus Stahlbetonbauteilen (Bodenplatte, Decken) und Mauerwerk aus Kalkstein. Die Gründung ist auf Streifen- und Einzelfundamenten erfolgt. Die Außenwände sind in Skelettbauweise ausgeführt, bestehend aus Stahlbetonstützen und vorgehängte Stahlbetonplatten (Sandwichbauweise mit Styropordämmung).

Als Schadstoffe konnten schadstoffbehaftete Dichtungen und Isolierungen (Asbest), Fugen und Bodenbeschichtungen (PAK, PCB) festgestellt werden. Zu der Abbruchmasse zählen überschlägig

- 250 t Stahl,
- 1130 m<sup>3</sup> Stahlbeton,
- 380 m<sup>3</sup> Stahlbetonsandwichelemente,
- 810 m<sup>3</sup> Bimsbeton,
- 620 m<sup>3</sup> Mauerwerk,
- ca. 16.000 m<sup>2</sup> Dachisolierung (Bitumenbahnen und Folienbeläge).

Vor Beginn des Rückbaus mit Großgerät wurde eine Schadstoffsanierung durchgeführt; im Anschluss sind alle technischen Einrichtungen entkernt worden. Weiterhin wurde beim Abbruch der Sandwichelemente das Styropor vom Bauschutt getrennt (siehe Abbildung 38). Zudem wurde beim Rückbau die Bodenplatte für einen Neubau erhalten.



Abbildung 38: Kopfbau Nordost mit Blickrichtung Südwesten, Abbruch der Spannbetonbinder mit Blickrichtung Nordosten, Trennung von Styropor- und Stahlbetonabfällen (v.l.n.r.)

### 3.1.1.3. Untersuchungsobjekt 3

Bei dem dritten zu untersuchenden Abbruchobjekt handelt es sich um eine ehemalige Textilfarbenfabrik, welche im Jahr 1901 errichtet wurde. Im Laufe der Jahre ist das Gebäude sowohl flächenmäßig (1952 bis 1955, Neuerrichtung) als auch höhenmäßig (1997, Aufstockung um zwei Stockwerke auf +25,3 m GOK) erweitert worden. Seit dem Jahr 2008 ist das Gebäude nicht mehr genutzt worden. Neben der vierstöckigen Produktionshalle befinden sich Sozial-, Technik- und Büroräume in dem Gebäude. Der BRI beläuft sich auf ca. 36.000 m<sup>3</sup>.

Analog zu Untersuchungsobjekt Nr. 1 ist die Verkehrslage als schwierig einzustufen. Nördlich des Gebäudes verläuft eine mit LKW- und Busverkehr stark befahrene Straße, welche nur an Wochenenden kurzzeitig gesperrt werden kann. An der Westseite des Gebäudes befindet sich ein stillgelegtes Tanklager mit angrenzendem Schienenverkehr. Östlich des Abbruchobjekts kann die Straße halbseitig gesperrt werden. An der Südseite ist eine Abstellfläche für Mulden vorhanden.



Abbildung 39: Lageplan Projekt 3

Für den Rückbau von Rohrleitungen und Apparaten wurde eine Spülstelle in der Nähe des Tanklagers eingerichtet. Besonders zu beachten ist der zerstörungsfreie Rückbau der Rohrleitungen, Behälter und Filter, um eine Nachreinigung zu gewährleisten. Für den Rückbau der Westfassade war zudem ein mit Holz beplanktes Schutzgerüst aufzustellen (siehe Abbildung 40). Nach der Entkernung erfolgte der Tragwerksabbruch mit Großgeräten.



Abbildung 40: Schutzgerüst Westfassade, halbseitige Sperrung Ostseite Blickrichtung Süden, Abbruch des Tragwerks Blickrichtung Südosten (v.l.n.r.)

Als Schadstoffe konnten schadstoffbehaftete Dichtungen und Isolierungen (Asbest), Fugen und Bodenbeschichtungen (PAK, PCB) festgestellt werden. Zu der Abbruchmasse zählen überschlägig

- 1370 t Stahl,
- 1200 m<sup>3</sup> Stahlbeton (davon 250 m<sup>3</sup> durch Handabbruch),
- 2100 m<sup>3</sup> Mauerwerk (davon 450 m<sup>3</sup> durch Handabbruch),
- 6700 m<sup>2</sup> Säurefliesenbeläge.

### 3.1.2. Projektübergreifende Betrachtung

Die kostenintensivste Position stellt der Abbruch der sonstigen Baustoffe dar. Hohe Kosten werden ebenfalls durch den Abbruch mineralischer Bauabfälle und Schrottmaterialien (18,7 % bzw. 16,6 %) verursacht. 11,7 % entfallen dabei auf Gerüste, Schutzmaßnahmen und Krane. Die Schadstoffsanierung macht einen Anteil von 8,4 % aus. Die Anteile für die Baustelleneinrichtung, projektspezifische Sonderpositionen und verunreinigtes Material (vornehmlich Anlagenteile aus

Produktionsstätten, nur Projekt 1 und 3) belaufen sich auf ca. 6 %. Ein sehr geringer Anteil entfällt auf die Positionen der Verfüllung mit unternehmensinternen Recycling-Baustoffen und das Bergen von Apparaten und Anlagen.

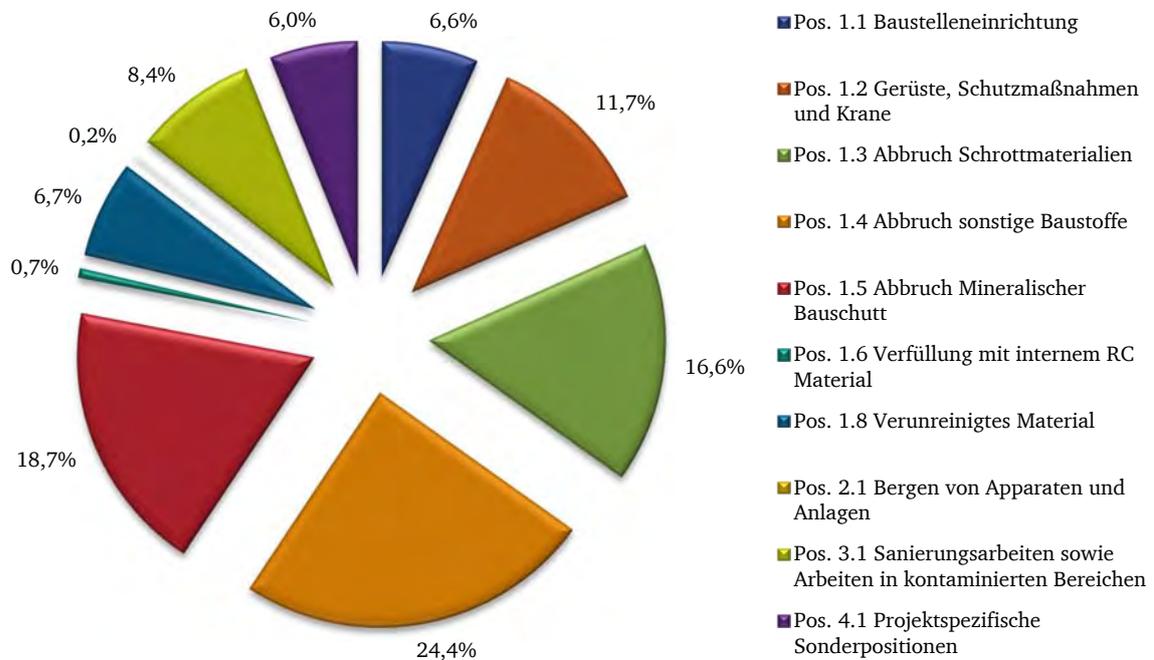


Abbildung 41: Kostenintensive Sammelpositionen bei Rückbauarbeiten (bezogen auf alle Untersuchungsobjekte)

Aufgrund ihrer verhältnismäßig hohen Gewichtung werden folgende Positionen einer quantitativen Untersuchung unterzogen:

- Pos. 1.1 Baustelleneinrichtung,
- Pos. 1.2 Gerüste, Schutzmaßnahmen und Krane,
- Pos. 1.3 Abbruch Schrottmaterialien,
- Pos. 1.4 Abbruch sonstiger Baustoffe,
- Pos. 1.5 Abbruch Mineralischer Bauschutt und
- Pos. 3.1 Sanierungsarbeiten sowie Arbeiten in kontaminierten Bereichen.

Nicht weiter analysiert werden aufgrund der Projektspezifikation, geringen Kostengewichtung oder nicht vorhandenen Daten zu allen drei Projekten die Positionen:

- Pos. 1.6 Verfüllung mit internem RC Material,
- Pos. 1.8 Verunreinigtes Material,
- Pos. 2.1 Bergen von Apparaten und Anlagen sowie
- Pos. 4.1 Projektspezifische Positionen.

### 3.1.2.1. Sammelposition „Baustelleneinrichtung“

Projekte		1	2	3	Gesamt			
Pos.	Leistungsbezeichnung				Ø [%]	Min. [%]	Max. [%]	Δ [%]
1.1	Baustelleneinrichtung	Durchschnittswerte [%]			Ø [%]	Min. [%]	Max. [%]	Δ [%]
1.1.1	Baustelle einrichten	45,83	48,93	56,99	50,58	45,83	56,99	11,16
1.1.2	Baustelleneinrichtung vorhalten	25,39	8,59	5,88	13,29	5,88	25,39	19,51
1.1.3	Aufrechterhaltung des Verkehrs	4,20	2,83	3,68	3,57	2,83	4,20	1,36
1.1.4	Staubniederschlagung	5,79	8,49	3,86	6,05	3,86	8,49	4,63
1.1.5	Bauzaun einrichten und vorhalten	3,70	11,29	4,60	6,53	3,70	11,29	7,60
1.1.6	Tagesunterkunft einrichten	2,61	4,27	1,56	2,81	1,56	4,27	2,71
1.1.7	Tagesunterkunft vorhalten	3,01	3,05	11,76	5,94	3,01	11,76	8,75
1.1.8	WC- und Waschanlagen einrichten	2,60	3,55	0,63	2,26	0,63	3,55	2,93
1.1.9	WC- und Waschanlagen vorhalten	3,52	4,79	6,43	4,91	3,52	6,43	2,91
1.1.10	Baustromverteilerschrank	1,61	1,58	3,86	2,35	1,58	3,86	2,28
1.1.11	Trenntrafo mit Baustrom-Unterverteilung	1,10	1,82	0,22	1,05	0,22	1,82	1,60
1.1.12	Sicherstellung der Alarmierung	0,65	0,80	0,53	0,66	0,53	0,80	0,27

Tabelle 16: Kostenintensive Leistungen der Sammelposition Baustelleneinrichtung

Die Detailpositionen sind bei allen drei Projekten jeweils pauschal bepreist worden. Im Schnitt entfallen 51 % des Sammelpositionspreises auf die Baustelleneinrichtung und 13 % auf die Vorhaltung (Pos. 1.1.1 und Pos. 1.1.2). Die verhältnismäßig hohen Abweichungen beim Vorhalten der Baustelleneinrichtung könnten nach Ansicht des Verfassers auf die unterschiedliche Projektdauern zurückzuführen sein.

Die abbruchspezifischen Positionen Aufrechterhaltung des Verkehrs (Pos. 1.1.3) und Staubniederschlagung (Pos. 1.1.4) belaufen sich gemeinsam auf 10 % der Baustelleneinrichtungspreise. Die Sicherungsmaßnahmen zur Erhaltung vom Verkehr sind stark von der Lage der Baustelle abhängig. Die Untersuchungsobjekte Nr. 1 und Nr. 3 liegen im Vergleich zu Objekt Nr. 2 in einem stark befahrenen Gebiet und sind von Nachbarbebauungen umgeben. Deshalb ergeben sich anteilig höhere Preise. Für eine erste Schätzung könnten für Sicherungsmaßnahmen deshalb 10 % der Baustelleneinrichtungspreise als Basiswert angenommen werden.

Positionen zur Errichtung und Vorhaltung von Tagesunterkünften, Sanitäreinrichtungen, Bauzäunen und Stromversorgung (Pos. 1.1.5 - 1.1.11) belaufen sich auf etwa 26 % der Baustelleneinrichtungspreise und sollten bei der Kostenaufstellung durch den Bauherrn keine Schwierigkeit darstellen, weil diese Positionen auch bei gängigen Bauvorhaben benötigt werden.

Die Position Sicherstellung der Alarmierung (Pos. 1.5.12) ist eine Sonderposition des Bauherrn und sieht eine Ausstattung des Auftragnehmers mit Mobiltelefonen vor, um bei einem Erfordernis die unternehmensinterne Feuerwehr zu kontaktieren. Für Preisbetrachtungen spielt diese Position aber keine Rolle.

Projekte		1	2	3	Gesamt			
Pos.	Leistungsbezeichnung				Ø [%]	Min. [%]	Max. [%]	Δ [%]
0	Komplettabbruch	Anteilige Durchschnittswerte am Gesamtpreis [%]			Ø [%]	Min. [%]	Max. [%]	Δ [%]
1.1	Baustelleneinrichtung	6,85	6,25	6,71	6,60	6,25	6,85	0,61

Tabelle 17: Projektübergreifende Zusammenfassung der Sammelposition Baustelleneinrichtung

In der projektübergreifenden Gesamtbetrachtung (siehe Tabelle 31) sind 6,6 % des Gesamtpreises für die Baustelleneinrichtung als ein sehr robuster Wert einzuschätzen. Trotz unterschiedlicher Bauwerksarten (eine Lagerhalle bzw. zwei Produktionsstätten), Bruttorauminhalte, Verkehrslagen usw. beträgt die Spanne der Werte nur 0,61 %. Aus der Analyse der Experteninterviews der Erhebung<sup>70</sup> von Steffen/Wöltjen entfallen durchschnittlich 7,9 % der Gesamtkosten der Auftragnehmer auf die Baustelleneinrichtung. Deshalb ist für den Bauherrn eine Ansetzung von 5-7 % der Gesamtangebotssumme des Abbruchvorhabens als realistische Größe für eine Kostenplanung anzusehen.

### 3.1.2.2. Sammelposition „Gerüste, Schutzmaßnahmen und Krane“

Die Detailpositionen sind bei allen drei Projekten jeweils pauschal bepreist worden. Die Position Sicherungsarbeiten Dacharbeiten (Pos. 1.2.9) ist nur bei Projekt Nr. 2 durchgeführt worden. Die maßgeblichen Kostentreiber sind die Maßnahmen zur Herrichtung der Gerüste (Pos. 1.2.1) und die Aufwendungen für Krane und Transporte (Pos. 1.2.8). Jedoch weisen diese auch erhebliche Spannen auf. Diese stellen ein Indiz für die starke projektspezifische Abhängigkeit dar. Für weitere Untersuchungen wäre es nach Ansicht der Verfasser zumindest für die Position Gerüste für Abbruch- und Demontearbeiten (der relative Anteil<sup>71</sup> am Gesamtpreis entspricht 4,85 %) empfehlenswert, tiefergehende Untersuchungen zu führen, ob Abhängigkeiten bzgl. der Fassadenflächen und Bruttorauminhalte oder der sonstigen potentiellen Einflüssen bestehen.

Projekte		1	2	3	Gesamt			
Pos.	Leistungsbezeichnung	Durchschnittswerte [%]			Ø [%]	Min. [%]	Max. [%]	Δ [%]
1.2	Gerüste, Schutzmaßnahmen und Krane							
1.2.1	Gerüste für Abbruch- und Demontearbeiten	48,02	18,17	57,97	41,39	18,17	57,97	39,80
1.2.8	Krane und Transporte	26,59	21,94	37,14	28,56	21,94	37,14	15,19
1.2.9	Sicherungsmaßnahmen Dacharbeiten	0,00	46,67	0,00	15,56	0,00	46,67	46,67

Tabelle 18: Kostenintensive Leistungen (Ausschnitt) der Sammelposition Gerüste, Schutzmaßnahmen und Krane

Jedoch ist wie bei der Baustelleneinrichtung zu sehen, dass projektübergreifend die prozentualen Anteile am Gesamtpreis zwischen 9 und 14 % als relativ konstant angesehen werden können (siehe Tabelle 33) und zumindest für eine Kostenschätzung als ausreichend erscheinen. Direkte Bezüge zur Bauwerksart konnten nicht ermittelt werden. Die verbliebenden Positionen werden wegen der zu geringen Gewichtung nicht weiter analysiert.

Projekte		1	2	3	Gesamt			
Pos.	Leistungsbezeichnung	Anteilige Durchschnittswerte am Gesamtpreis [%]			Ø [%]	Min. [%]	Max. [%]	Δ [%]
0	Komplettabbruch							
1.2	Gerüste, Schutzmaßnahmen und Krane	12,25	13,87	9,00	11,71	9,00	13,87	4,87

Tabelle 19: Projektübergreifende Zusammenfassung der Sammelposition Baustelleneinrichtung

<sup>70</sup> Hinweis: In der Erhebung sind Entsorgungskosten berücksichtigt worden. Deshalb sind die prozentualen Anteile dementsprechend angepasst worden.

<sup>71</sup> Berechnung: Relativer Anteil = ØSammelposition \* ØDetailposition = 11,71 % \* 41,39 % = 4,85 %

### 3.1.2.3. Sammelposition „Abbruch Schrottmaterialien“

Alle 23 Detailpositionen sind mit Tonnen-Einheitspreisen ausgeschrieben und bepreist worden. Die Positionen setzen sich vornehmlich aus dem Abbruch von Eisen und Nichteisenmetallen zusammen. Die tragenden Kostenpositionen der Hauptpositionen sind nachfolgend dargestellt (siehe Tabelle 20).

Projekte		1	2	3	Gesamt			
Pos.	Leistungsbezeichnung	Durchschnittswerte [%]			Ø [%]	Min. [%]	Max. [%]	Δ [%]
1.3	Abbruch Schrottmaterialien							
1.3.1	Fe-Schrott	32,99	38,32	56,50	42,60	32,99	56,50	23,51
1.3.4	Fe-Blechschrött	16,79	23,74	9,64	16,72	9,64	23,74	14,10
1.3.16	Kabelschrott	4,19	16,36	2,83	7,79	2,83	16,36	13,52

Tabelle 20: Kostenintensive Leistungen (Ausschnitt) der Sammelposition Abbruch Schrottmaterialien

Unabhängig von der Bauwerksart und der Mengen (von 170 t bis 1.576 t) vertritt die Position Fe-Schrott (Pos. 1.3.1) mit 42,6 % schwerpunktmäßig die höchsten Kostenanteile. Die Position umfasst alle tragenden Konstruktionen (z. B. Stahlträger), Anlagenteile, Bewehrung usw. vom Abbrechen bis zum Entladen der Abfälle auf dem Recyclinghof des Auftraggebers. Diverse Blecharten, Türen und Lüftungskanäle (Pos. 1.3.4) nehmen ebenfalls mit 16,7 % eine tragende Rolle ein. Die Position Kabelschrott (Pos. 1.3.5) kann zwar kostentreibend sein, weil es aufwendig ist, die Wertstoffe vom Isoliermaterial zu trennen, aber im vorliegenden Fall wird der Eindruck verfälscht. Projekt Nr. 2 (22 t Kabelschrott) weist sogar eine geringere Masse als Projekt Nr. 3 (25 t Kabelschrott) auf. Der hohe Durchschnittsanteil wird aufgrund des Bieters Nr. 7 unverhältnismäßig verfälscht (siehe Tabelle 21). Es bleibt daher festzuhalten, dass die kostentreibenden Positionen den Abbruch der Eisenmetalle darstellen.

Projekt 2		U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
Pos.	Leistungsbezeichnung	Preis [€]						
1.3	Abbruch Schrottmaterialien	14.632,75	8.655,88	48.160,00	30.824,97	45.820,00	62.810,00	103.737,50
1.3.1	Fe-Schrott	4.768,50	4.551,24	20.400,00	8.603,70	18.700,00	20.400,00	41.012,50
1.3.2	Fe-Behälter- und Apparateschrott	701,25	539,66	2.400,00	4.227,30	2.550,00	3.450,00	5.790,00
1.3.3	Fe-Rohrschrott	935,00	359,77	6.500,00	1.254,30	2.400,00	12.000,00	3.860,00
1.3.4	Fe-Blechschrött	2.805,00	2.057,95	7.500,00	8.069,40	14.400,00	17.400,00	23.160,00
1.3.11	VA-Schrott	93,50	34,44	350,00	430,51	200,00	300,00	965,00
1.3.15	Aluminiumschrott	187,00	68,89	1.000,00	1.343,08	740,00	860,00	1.930,00
1.3.16	Kabelschrott	4.114,00	732,39	8.800,00	4.988,94	5.720,00	6.600,00	21.230,00
1.3.18	Motorenschrott	46,75	26,50	62,50	329,31	135,00	150,00	482,50
1.3.19	Pumpenschrott	46,75	63,34	62,50	279,18	155,00	150,00	482,50
1.3.20	Ventile, Schieber, M & R verschrotten	841,50	133,02	435,00	686,61	540,00	900,00	2.895,00
1.3.21	Gusschrott	93,50	88,68	650,00	612,64	280,00	600,00	1.930,00

Tabelle 21: Preisübersicht Projekt Nr. 2 Detailpositionen Abbruch Schrottmaterialien

Bei projektübergreifender Betrachtungsweise (siehe Tabelle 22) lässt sich ein Zusammenhang zwischen den Bauwerksarten feststellen. Die Position fällt bei den Projekten Nr. 1 und Nr. 3 (Produktionsstätten) mit ca. 22 % deutlich schwerer ins Gewicht als Projekt Nr. 2 (Lagerhalle). Die Lagerhalle ist ein Hallenbau in Stahlbetonfertigteiltbauweise und weist im Vergleich zu den anderen Projekten (Stahlskelettbauten mit Mauerwerk bzw. Stahlbetonausfachungen) nur sehr geringe Stahlmengen<sup>72</sup> auf. Somit fällt in Stahlbetonbauwerken der Anteil an Schrottmaterialien geringer aus.

<sup>72</sup> Die Stahlabfälle belaufen sich für Projekt Nr. 1: 250 t, Projekt Nr. 2: 3200 t und Projekt Nr. 3: 1370 t.

Projekte		1	2	3	Gesamt			
Pos.	Leistungsbezeichnung	Anteilige Durchschnittswerte am Gesamtpreis [%]			Ø [%]	Min. [%]	Max. [%]	Δ [%]
0	Komplettabbruch							
1.3	Abbruch Schrottmaterialien	22,78	5,22	21,78	16,59	5,22	22,78	17,55

Tabelle 22: Projektübergreifende Zusammenfassung der Sammelposition Abbruch Schrottmaterialien

### 3.1.2.4. Sammelposition „Abbruch sonstige Baustoffe“

In dieser Sammelposition werden diejenigen Baustoffe abgedeckt, welche im Verlauf des Entkernungsprozesses (Abbruch mit Kleinwerkzeug oder –gerät) zurückgebaut werden. Die Detailpositionen sind mit diversen Maßeinheiten detailliert ausgeschrieben worden. Mit ca. 24 % der Gesamtkosten (im Projektschnitt) stellt die Sammelposition den Kostentreiber mit der größten Tragweite beim Rückbau dar (siehe Tabelle 23).

Projekte		1	2	3	Gesamt			
Pos.	Leistungsbezeichnung	Anteilige Durchschnittswerte am Gesamtpreis [%]			Ø [%]	Min. [%]	Max. [%]	Δ [%]
0	Komplettabbruch							
1.4	Abbruch sonstige Baustoffe	13,82	37,97	21,39	24,39	13,82	37,97	24,15

Tabelle 23: Projektübergreifende Zusammenfassung der Sammelposition Abbruch sonstige Baustoffe

Grundsätzlich ist auffallend, dass der Rückbau von isolierfähigen Baustoffen sich sehr stark auf die Kosten auswirkt (siehe Tabelle 24).

Projekte		1	2	3	Gesamt			
Pos.	Leistungsbezeichnung	Durchschnittswerte [%]			Ø [%]	Min. [%]	Max. [%]	Δ [%]
1.4	Abbruch sonstige Baustoffe							
1.4.1	Bitumenbahnen mit Isolierung (geschäumter Kunststoff)	6,98	52,14	4,26	21,13	4,26	52,14	47,88
1.4.3	Säurefliesenbeläge	0,23	0,00	27,07	9,10	0,00	27,07	27,07
1.4.5	Folienbeläge aus Dachisolierungen	0,00	14,22	0,00	4,74	0,00	14,22	14,22
1.4.6	Folien unter Bodenbelägen (schwarz, bitumenhaltig)	1,08	0,27	15,47	5,61	0,27	15,47	15,20
1.4.14	Isolierung	36,54	9,85	16,27	20,89	9,85	36,54	26,68

Tabelle 24: Kostenintensive Leistungen (Ausschnitt) der Sammelposition Abbruch sonstige Baustoffe

Nach Ansicht der Verfasser könnte dies auf drei Gründe zurückzuführen sein:

- Es sind große Mengen bzw. Flächen von Hand zurückzubauen (siehe Tabelle 25) .
- Strenge Regularien durch den Gesetzgeber an die Trennung von Abfällen führen zu arbeitsintensiven Tätigkeiten (z. B. Zurechtschneiden der Abfälle und fachgerechtes Verpacken).
- Die Annahmebedingungen können sich ebenfalls negativ auf die Arbeitsleistung auswirken (z. B. Begrenzung der maximalen Liefermengen).

Pos. 1.4.1 - Bitumenbahnen mit Isolierung (Geschäumter Kunststoff)	Projekt Nr. 1	Projekt Nr. 2	Projekt Nr. 3
Menge	2.800,000	16.100,000	1.055,000
Leistungseinheit	m <sup>2</sup>		

Tabelle 25: Mengenübersicht Detailposition 1.4.1 – Bitumenbahnen mit Isolierung (geschäumter Kunststoff)

### 3.1.2.5. Sammelposition „Abbruch mineralische Baustoffe“

Die Sammelposition beinhaltet den Rückbau aller mineralischen Bauabfälle. Bei Projekten Nr. 1 und Nr. 3 handelt es sich um Produktionshallen in Stahlskelettbauweise mit Mauerwerk- bzw. Stahlbetonausfachungen und bei Projekt Nr. 2 handelt es sich um eine Lagerhalle in Stahlbetonfertigteiltbauweise. Baustoffe des Tragwerks machen mit ca. 19 % einen erheblichen Anteil des Gesamtpreises aus (siehe Tabelle 26).

Projekte		1	2	3	Gesamt			
Pos.	Leistungsbezeichnung							
0	Komplettabbruch	Anteilige Durchschnittswerte am Gesamtpreis [%]			Ø [%]	Min. [%]	Max. [%]	Δ [%]
1.5	Abbruch mineralischer Bauschutt	19,96	14,87	21,33	18,72	14,87	21,33	6,46

Tabelle 26: Projektübergreifende Zusammenfassung der Sammelposition Abbruch sonstige Baustoffe

Besonders hervorzuheben ist der Abbruch von Stahlbeton und Mauerwerk (siehe Tabelle 27). Diese beiden Baustoffe sowie Stahl stellen regelmäßig den größten Anteil der verbauten Materialien dar.<sup>73</sup> Deshalb ist es erforderlich, nicht nur die Abbrüche mit Großgeräten, sondern auch Handabbrüche zu berücksichtigen. Es handelt sich hierbei um sehr arbeitsintensiven Vorgänge, welche zumeist Anwendung finden, wenn Einschränkungen vorliegen. Im Falle von Projekt Nr. 2 haben die großzügigen Platzverhältnisse dazu geführt, dass keine Handabbrüche durchgeführt werden mussten.

Projekte		1	2	3	Gesamt			
Pos.	Leistungsbezeichnung							
1.5	Abbruch mineralischer Bauschutt	Durchschnittswerte [%]			Ø [%]	Min. [%]	Max. [%]	Δ [%]
1.5.2	Stahlbetonmaschinenabbruch	30,82	46,37	11,04	29,41	11,04	46,37	35,34
1.5.3	Stahlbetonabbruch von Hand o. Kleingerät	2,88	0,00	17,35	6,74	0,00	17,35	17,35
1.5.4	Mauerwerksmaschinenabbruch	19,16	13,95	19,09	17,40	13,95	19,16	5,21
1.5.5	Mauerwerkabbruch von Hand o. Kleingerät	23,77	0,00	26,03	16,60	0,00	26,03	26,03

Tabelle 27: Kostenintensive Leistungen (Ausschnitt) der Sammelposition Abbruch mineralischer Bauschutt

### 3.1.2.6. Sammelposition „Sanierungsarbeiten“

In Folge der Einführung des KrWG und der damit verschärften Anforderungen an die Trennung von gefährlichen Abfällen haben Sanierungsarbeiten einen hohen Stellenwert bei Rückbaumaßnahmen. Zudem ist ein hoher Aufwand an Schutzmaßnahmen für die Arbeitskräfte und Umwelt zu realisieren. Eine Pauschalisierung der Sanierungsarbeiten ist nahezu unmöglich, weil hierbei nicht nur das Baujahr des Bauwerks maßgeblich ist, sondern auch die Nutzungs- und Umbauhistorie eine tragende Rolle einnimmt. Im vorliegenden Fall schwanken die anteiligen Durchschnittswerte zwischen 5,71 % und 11,65 % des Gesamtpreises (siehe Tabelle 28).

<sup>73</sup> Siehe Kapitel 4.2.

Projekte		1	2	3	Gesamt			
Pos.	Leistungsbezeichnung				Anteilige Durchschnittswerte am Gesamtpreis [%]			Ø [%]
0	Komplettabbruch							
3.1	Sanierungsarbeiten sowie Arbeiten in kontaminierten Bereichen	11,65	7,78	5,71	8,38	5,71	11,65	5,93

Tabelle 28: Projektübergreifende Zusammenfassung der Sammelposition Sanierungsarbeiten sowie Arbeiten in kontaminierten Bereichen

Vergleichbare Schlüsse (vgl. Sammelposition Baustelleneinrichtung) können für die Detailpositionen Baustelleneinrichtung für Sanierung (Pos. 3.1.1) und Abschottung mit Unterkonstruktion sowie Gerüste (Pos. 3.1.2) gezogen werden. Die spezielle Baustelleneinrichtung erfährt geringe Schwankungen und erreicht im Schnitt ca. 7 % der Kosten der Sammelposition. Die Abschottung ist ebenfalls nur prozentual abschätzbar und hängt zu sehr von den Randbedingungen der Baustelle und der abzuschottenden Flächen ab.

Die häufigsten anzutreffenden Schadstoffe in den Bauwerken waren Asbest, PCP und PAK. Dennoch handelt es sich bei der Entfernung der Schadstoffe um Tätigkeiten, welche nicht bauwerksspezifisch sein müssen.

Projekte		1	2	3	Gesamt			
Pos.	Leistungsbezeichnung				Durchschnittswerte [%]			Ø [%]
3.1	Sanierungsarbeiten sowie Arbeiten in kontaminierten Bereichen							
3.1.1	Baustelleneinrichtung für Sanierung	5,26	8,71	6,91	6,96	5,26	8,71	3,44
3.1.2	Abschottung mit UK sowie Gerüste	14,00	7,57	9,28	10,29	7,57	14,00	6,43
3.1.4-2	Dichtungen aus unterschiedlichen Asbestmaterialien	24,83	0,00	0,00	8,28	0,00	24,83	24,83
3.1.14-2	PCP-, PAK-haltige Fugen sanieren	0,00	60,26	0,00	20,09	0,00	60,26	60,26
3.1.16	PCP-haltigen Deckenanstrich demontieren	0,00	0,00	50,08	16,69	0,00	50,08	50,08

Tabelle 29: Kostenintensive Leistungen (Ausschnitt) der Sammelposition Abbruch mineralischer Bauschutt

### 3.2. Datenerhebung: Durchführung von Experteninterviews

P2.2 baut maßgeblich auf die in P2.1 ermittelten Untersuchungsergebnisse auf. Durch die anstehende Datenerhebung mittels Experteninterviews in P2.2 soll untersucht werden, ob die in Ziffer 3.1 ermittelten Einflussgrößen ausreichend abgebildet wurden oder ggf. angepasst werden müssen.

#### 3.2.1. Gesprächsleitfaden

Zunächst wurde ein Gesprächsleitfaden entwickelt und inhaltlich mit dem als weitere beteiligte Forschungseinrichtung am Projekt beteiligten Partner Schleith GmbH in einem ersten Testgespräch („Pretest“) plausibilisiert.

Hinsichtlich des Themenkomplexes Kosten liegt der Fokus auf der Vorgehensweise bei der Kalkulation von Abbruchmaßnahmen. Ziel ist die Analyse von Modellen zur Preisbildung. Es wurde hinterfragt:

- Wie und nach welchen Gesichtspunkten die befragten Unternehmen ihre Kalkulation aufstellen?
- Welche sind die einflussreichsten Faktoren auf die Preisbildung?
- Wie ist die Verteilung der Gesamtkosten auf Personal-, Geräte- und Entsorgungskosten zu gewichten?

Sofern vorhanden, sollen zudem Kostenkennwerte ermittelt werden.

Zur Erfassung dieses Themenkomplexes wurden Fragen, welche eine offene Antwort ermöglichen, ergänzt durch standardisierte Fragen mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten mittels Tabellen entwickelt. In diesem Kontext wurden die fünf Stufen Vorplanung und Baustellenabwicklung, Baustelleneinrichtung, Entkernung, Abbruch und Entsorgung unterschieden. Es galt, die Gesamtkosten prozentual auf diese Stufen zu verteilen und falls vorab im Gespräch noch nicht benannt, die jeweiligen Ursachen für die Kostenentstehung zu benennen. Grundlage für diese Einschätzung ist ein fiktives Abbruchprojekt<sup>74</sup>.

Zur Erfassung von Kostenkennwerten sollen in einer tabellarischen Abfrage die Abbruchverfahren nach DIN 18007:2000-05 in Abhängigkeit des Bauteils, der Konstruktion und des Baustoffs mit Kostenkennwerten hinterlegt werden.

#### 3.2.2. Wahl der Experten

In ihrer Funktion als Experte prägen die Gesprächspartner maßgeblich das Ergebnis der Untersuchungsreihe. Aus diesem Grund fällt die Wahl gezielt nur auf Abbruchunternehmen, da sie als qualifizierte Fachleute in dem zu untersuchenden Themengebiet gelten.

Eine offizielle Auflistung aller Unternehmen für Abbrucharbeiten in Deutschland existiert nicht. Das statistische Bundesamt führt in seinen Untersuchungen über das Baugewerbe 1.751 Betriebe für Abbrucharbeiten mit 12.741 Mitarbeitern (Wirtschaftszweig-Nummer 43.11: Abbrucharbeiten).<sup>75</sup> Grundlage für die Suche qualifizierter und für die Befragung geeigneter Unternehmen stellt daher das Mitgliederverzeichnis des Verbandes der deutschen Abbruchunternehmen dar. Die Geschäftsführung des Deutschen Abbruchverbandes schätzt die Gesamtheit aller Abbruchunternehmen in Deutschland auf 1.200-1.300 Betriebe mit insgesamt ca. 9.000-10.000 Beschäftigten.<sup>76</sup> 80-85% der größten und qualifizierten Unternehmen seien Mitglieder im Deutschen Abbruchverband.

<sup>74</sup> hier: Ein mittelgroßes Bürogebäude, welches keine Schadstoffbelastung aufweist und bei dem keine außergewöhnlichen Randbedingungen zu berücksichtigen sind.

<sup>75</sup> [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/BaugewerbeStruktur/PersonenUmsatzBaugewerbe2040510147004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/BaugewerbeStruktur/PersonenUmsatzBaugewerbe2040510147004.pdf?__blob=publicationFile)

<sup>76</sup> vgl. Telefonat Hr. Pocha (Geschäftsführer des Deutschen Abbruchverbandes) – Fr. Steffen bezüglich der prozentualen Zusammensetzung der Mitglieder im Deutschen Abbruchverband sowie der Gesamtheit aller Abbruchunternehmen in Deutschland vom 12.03.2015 um 10:03 Uhr.

Die Identifikation möglicher unternehmensinterner Experten respektive Gesprächspartner erfolgte anhand der Kriterien:

1. Gesprächspartner verfügt über die relevanten Informationen
2. Gesprächspartner ist am ehesten in der Lage, präzise Informationen zu geben
3. Gesprächspartner ist am ehesten bereit, Informationen zu geben
4. Gesprächspartner ist verfügbar<sup>77</sup>

Die Interviewanfragen erfolgten in Absprache mit dem Beratergremium an 64 ausgewählte Unternehmen deutschlandweit. Eine anonymisierte und abstrahierte Übersicht der final ausgewählten Experten ergänzt um unternehmensspezifische Informationen ist dem Anhang zu entnehmen<sup>78</sup>. Die Gespräche fanden statt im Zeitraum von September 2014 bis November 2014.

### 3.3. Experteninterviewauswertung

In **P2.3** erfolgt die Experteninterviewauswertung. Es wird hier überprüft, inwiefern eine vergleichende Untersuchung einzelner Einflussgrößen durchgeführt werden kann. Die Inhaltsanalyse erfolgte anhand des nachfolgend abgebildeten Ablaufschemas, das in grober Form die Einzelschritte der Analyse vorgibt (siehe Tabelle 30: Ablauf Experteninterviewauswertung).

Arbeitsschritt	Beschreibung
1. Paraphrasierung	Gliederung in einzelne Textabschnitte; textgetreue Wiedergabe des Inhalts anhand thematischer Einheiten mit eigenen Worten
2. Thematisches Ordnen	Stichworte und Überschriften finden; thematisches Sortieren von einzelnen Textsegmenten in Terminologie des Befragten; nah am Text bleiben
3. Thematischer Vergleich	Vergleich der Textpassagen zwischen verschiedenen Interviews; Überschriften vereinheitlichen; thematische Kategorien gem. Gesprächsleitfaden bilden; nah am Text bleiben
4. Konzeptualisierung	Vergleich der Kategorien mit dem eigenen Wissen/Erfahrungen aus dem Feld; in wissenschaftliche Sprache umformulieren; interpretieren, werten; Verallgemeinerbarkeit bleibt noch auf das Material beschränkt
5. Theoretische Generalisierung	Einbeziehung entsprechender Theorien; einzelne Themen werden in ihren theoretischen Zusammenhang gebracht; interpretieren, werten; eigene Termini benutzen

Tabelle 30: Ablauf Experteninterviewauswertung

#### 3.3.1. Kostenintensive Prozesse

Betrachtet man die Gesamtkosten einer durchschnittlichen mittelgroßen Abbruchmaßnahme, ohne besondere Einschränkungen, so lassen sich die Kosten, gemäß der Ergebnisauswertung, prozentual auf

<sup>77</sup> Gläser et al. (2009), S.117.

<sup>78</sup> Siehe Anlage 6

die fünf Prozessschritte Vorplanung und Baustellenabwicklung, Baustelleneinrichtung, Entkernung, Abbruch und Entsorgung wie folgt verteilen:

Tabelle 31: Kostenanteile einzelner Prozesse

Prozesse	Häufigkeit			
	von	bis	Mittelwert	Median
Vorplanung & Baustellenabwicklung	0%	18%	6%	5%
Baustelleneinrichtung	2%	10%	5%	5%
Entkernung	10%	25%	16%	15%
Abbruch	20%	60%	36%	35%
Entsorgung	20%	60%	37%	34%

Die in Tabelle 31 dargestellten Werte bilden die von den Experten genannte Bandbreite ab. Der Mittelwert dient hier als vergleichbare Größe zu der Darstellung der Bandbreite. Zudem wird auch der Median als zentrale Größe aller gegebenen Antworten aufgezeigt. Dieser ist gegenüber Extremwerten einzelner Expertenmeinungen unempfindlich und stellt den mittleren Wert der gegebenen Antworten dar.

In der Auswertung zeigen der Mittelwert und Median große Korrelation. Extremwerte wurden somit sowohl im kleinen als auch im großen Wertebereich genannt. Daraus lässt sich bereits an dieser Stelle ableiten, dass die Unternehmen unterschiedliche Kostenansätze und -verteilungen sowie Kalkulationsschemata bei der Preisbildung ansetzen.

Im Rahmen der Nachkalkulation (siehe Kapitel 3.1.2.4) ist mit 24 % ein nahezu übereinstimmender Wert für den Prozess der Entkernung ermittelt worden<sup>79</sup>.

Die Unterschiede lassen sich für die fünf Teilprozesse wie folgt begründen:

Unternehmen 5 misst der **Vorplanung & Baustellenabwicklung** 0 % der Gesamtkosten zu. Die Tätigkeiten, wie Datenerfassung und Erstellung von Konzepten werden von einem Fachmann erstellt, der über die Zuschlagssätze der allgemeinen Geschäftskosten in der Kalkulation mitberücksichtigt wird. Die administrativen Tätigkeiten werden hier nicht den einzelnen Baustellen zugeschrieben. Unternehmen 9 hingegen bewertet die Vorplanung mit einer hohen Wichtigkeit und beschreibt es als arbeitsintensivste Tätigkeit des Bauleiters. Laut der Expertenmeinung beeinflusst die Arbeitsvorbereitung den gesamten Abbruchfortschritt, wodurch hier hohe Lohnkosten anfallen. Dies betont auch Unternehmen 9: „Wenn der Bauleiter den Abbruch sorgfältig vorbereitet, dann steckt er hier seine Hauptzeit hinein.“

Es zeigt sich, dass die Unternehmen ihre Kosten und die zu erbringenden Leistungen unterschiedlich ansetzen und in differenzierter Weise in der Kalkulation einbringen.

Die Kosten der **Baustelleneinrichtung** besitzen eine Abhängigkeit insbesondere vom gewählten Abbruchverfahren, der eingesetzten Geräte in Anzahl und Größe sowie der erforderlichen Baustellensicherungsmaßnahmen. Der auf diesen Teilprozess bezogene Kostenblock wird somit maßgeblich durch die Geräte beeinflusst. Er ist bezogen auf die Kosten der gesamten Abbruchmaßnahme jedoch eher von nachrangiger Bedeutung.

<sup>79</sup> Nach Bereinigung der Zahlen um den Prozess der Entsorgung entspricht die Entkernung 25,4 % der Gesamtkosten

Pauschal gültige Kostenansätze können für diese Position von den Experten nicht genannt werden. Diese sind projektspezifisch und entsprechend der Geräte und Baustelleneinrichtungsgegenstände zu ermitteln.

Die **Entkernungsarbeiten** sind regelmäßig personalintensiv und bestimmen sich durch den Grad der Entkernungsarbeiten sowie die Dauer und Anzahl der benötigten Arbeitskräfte.

Die Kosten für den reinen **Abbruch** und die anschließende **Entsorgung** bewerten die Experten meist zusammen mit 70-80 % der Gesamtkosten. In diesen Positionen sind die meisten der in Abbildung 42 dargestellten maßgeblichen Parameter auf die Preisbildung enthalten.

Beim Abbruch fallen überwiegend Kosten für die Geräte sowie für das benötigte Personal an. Die Entsorgungskosten bestimmen sich nach Art des Baustoffes, der abgebrochenen Menge und der Entsorgungsmöglichkeit.

In Anlehnung an die Abfrage des prozentualen Verhältnisses von Personal-, Geräte- und Entsorgungskosten bezogen auf die Kosten der gesamten Abbruchmaßnahme lassen sich deckungsgleiche Antworten feststellen und auswerten.

Tabelle 32: Übersicht prozentuales Verhältnis Personen-, Geräte- Entsorgungskosten

<b>Häufigkeit</b>	von	bis	Mittelwert	Median
<b>Prozesse</b>				
Personalkosten	10%	33%	24,5%	25%
Gerätekosten	25%	60%	39%	40%
Entsorgungskosten	10%	50%	36,5%	40%

Die Personalkosten sind in der Vorplanung & Baustellenabwicklung, der Entkernung sowie zu kleineren Teilen in dem Prozess des Abbruchs enthalten.

Die Gerätekosten schlagen sich in der Baustelleneinrichtung, zu kleinen Teilen in der Entkernung und mit höchstem Anteil im reinen Abbruch nieder.

Die Entsorgungskosten von durchschnittlich 36,5 % decken sich mit den Auswertungen von durchschnittlich 37,0 % der Kosten für die Entsorgung (siehe Tabelle 31).

### 3.3.2. Modelle zur Preisbildung

Voraussetzung für eine zielgerichtete Kalkulation ist das Abklären und Aufschlüsseln der vorliegenden Randbedingungen. Den benötigten Kenntnisstand erlangen die Kalkulatoren durch die Baustellenbesichtigung, das Vor-Ort-Aufmaß, Pläne und die Baubeschreibung respektive durch das vom Auftraggeber erstellte Leistungsverzeichnis, falls vorhanden.

Bei der Mehrheit der befragten Unternehmen werden die im Rahmen der Bestandsaufnahme ermittelten Mengen mit Kostenkennwerten verrechnet. Je nach Komplexität der Maßnahme werden die Kostenkennwerte mit Zuschlagssätzen multipliziert. Deren Höhe hängt von der jeweiligen Randbedingung, dem eingesetzten Gerät und der Erfahrung des Kalkulators ab.

In früheren Studien des Institut für Baubetrieb der TU Darmstadt sind bereits anhand von drei Fallbeispielen entsprechende Bandbreiten ermittelt worden<sup>80</sup>.

Es zeigt sich, dass die jeweiligen Randbedingungen projektspezifisch identifiziert und entsprechend ihrer Ausprägung bewertet werden müssen. Ein allgemeingültiger Wert über die Höhe der Zuschlagssätze lässt sich pauschal nicht ableiten.

<sup>80</sup> In Anlehnung an Löhr (2014), S.260.

Um die berechneten Kosten zu verifizieren, werden entweder der Zeitaufwand gegengerechnet und/oder die Kosten durch Erfahrung mittels bereits abgeschlossener Projekte verglichen. Zeitaufwandswerte lassen sich durch REFA-Aufnahmen generieren. Anhand von Nachkalkulationen werden die Kosten- und Aufwandswerte bei den Unternehmen verifiziert und aktualisiert. Es gibt jedoch auch Unternehmen, welche die reinen Abbruchkosten nur nach dem zeitlichen Aufwand kalkulieren. Anhand der ermittelten Menge und des vorgesehenen Abbruchgerätes wird die voraussichtliche Abbruchdauer für die Maßnahme rechnerisch ermittelt. Die Lohn- und Gerätekosten werden für diese Zeit in der Kalkulation hinterlegt. Die Aufwandswerte werden entsprechend der Randbedingungen angepasst.

Es zeigt sich, dass eine große Bandbreite verschiedener Modellrechnungen in der Praxis angewendet wird. Aufgrund der einzelnen, projektspezifischen Randbedingungen sind die angesetzten Kennwerte stets zu plausibilisieren und dem Einzelfall anzupassen.

Die unterschiedlichen Vorgehensweisen für die Berechnung der reinen Abbruchkosten bergen verschiedene Risiken. Die Kalkulation nur über den zeitlichen Aufwand ist, laut Aussagen mehrerer Experten, schneller und einfacher, jedoch mit einem hohen Risiko für das Unternehmen behaftet. Die genaue Abbruchdauer sei vorab nur schwer einzuschätzen, da nicht immer Pläne und genaue Informationen über die Bauwerkskonstruktion vorliegen.

Die Kalkulation über die feste Masse auf Grundlage der eigens ermittelten Mengen wird deshalb von der Mehrzahl der Experten befürwortet.

Die Kosten für die Entsorgung, Entkernung und Schadstoffsanierung werden jeweils separat kalkuliert und mit den berechneten Kosten für den Abbruch verrechnet.

Die Gesamtkosten werden mit Zuschlägen für allgemeine Geschäftskosten sowie Wagnis und Gewinn versehen und schließlich auf die im LV angegebenen Einheitspositionen aufgeteilt.

Weiterhin wird betont, dass eine Vielzahl der beauftragten Angebote trotz anfänglich ausgeschriebener Einheitspositionen pauschaliert wird. Inwiefern dies Auswirkungen auf die Kalkulation hat und welche weiteren Faktoren maßgeblich die Preisbildung beeinflussen, werden im Folgenden erläutert.

### **3.3.3. Einflussreiche Parameter auf die Preisbildung**

Die von den befragten Unternehmen genannten Einflussgrößen auf die Preisbildung sind nach baubetrieblichen Gesichtspunkten kategorisiert, in Einflussgruppen geordnet und in nachfolgender Abbildung 42 dargestellt.

Als Einflussgrößen auf die Preisbildung lassen sich projektabhängige und projektunabhängige Parameter identifizieren.

Zu den projektabhängigen Parametern zählen das abzubrechende Bauwerk, die Lage der Baustelle und die anschließenden Entsorgungswege des Abbruchmaterials.

Zu den projektunabhängigen Parametern zählen der Auftraggeber, die rechtlichen Einflüsse, innerbetriebliche Faktoren des Abbruchunternehmens sowie die vorherrschende Marktsituation.

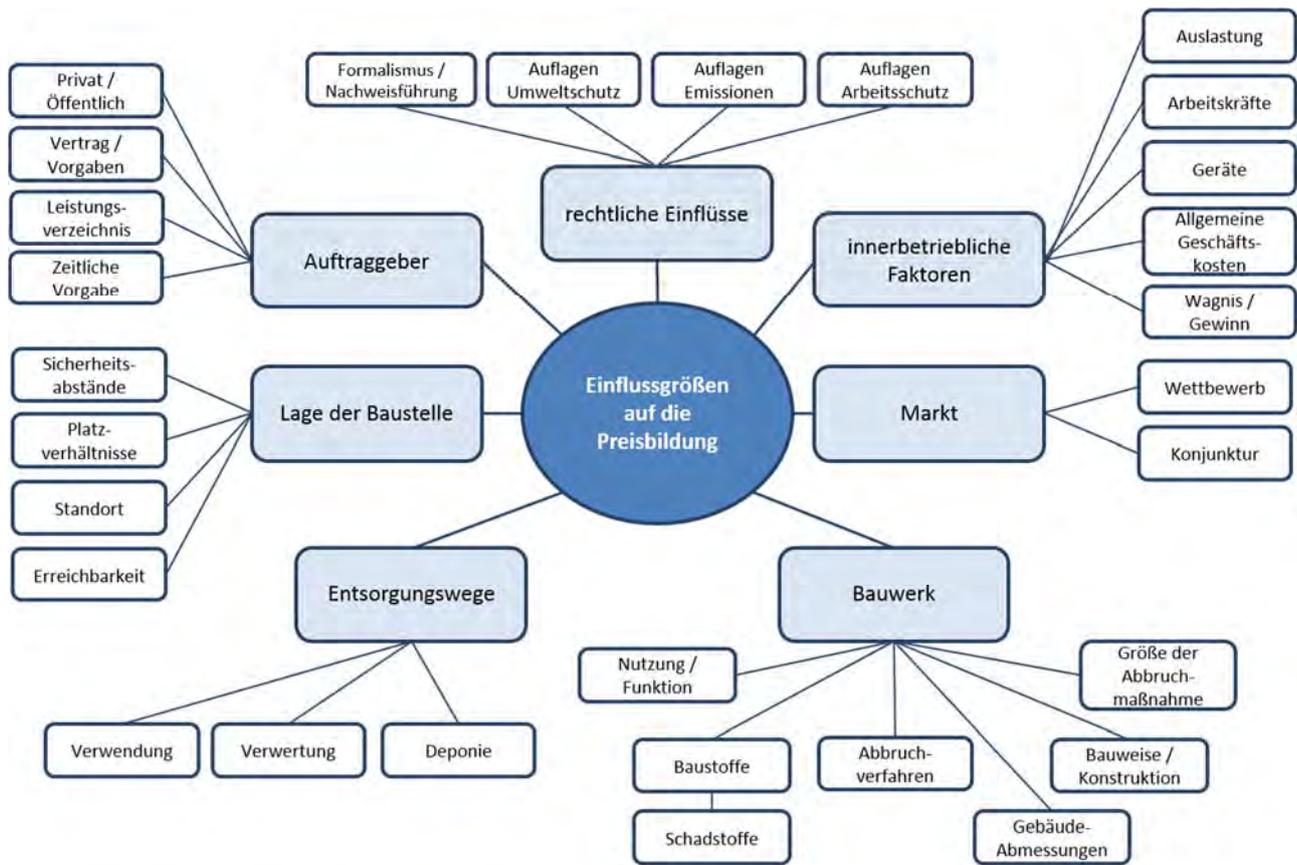


Abbildung 42: Einflussgrößen auf die Preisbildung<sup>81</sup>

Inwiefern die oben dargestellten Parameter direkt oder indirekt Einfluss auf die Preisbildung haben und welche gegenseitigen Verknüpfungen zwischen den einzelnen Parametern bestehen, wird nachfolgend dargelegt.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird auf die grafische Darstellung der Beziehungen zwischen den einzelnen Parametern verzichtet.

### 3.3.3.1. Projektabhängige Parameter

- **Bauwerk**

Um das Gebäude sicher abzurechnen und die Standfestigkeit während der Abbrucharbeiten sicherzustellen, müssen dem Unternehmen vor Abbruchbeginn die statische Konstruktion des Abbruchobjektes und die Bauweise bekannt sein. Alle erforderlichen sicherheitstechnischen Angaben haben dem Abbruchunternehmer vorzuliegen und sind von ihm für die Durchführung im Zuge der Arbeitsvorbereitung aufzuarbeiten. Rückbau-, Entsorgungs- und Schutzkonzepte werden auf dieser Basis erstellt.

Ferner sollten für eine effiziente Abbruchplanung genaue Kenntnisse über die verbauten Materialien, die Zusammensetzung der Baustoffe und eventuelle Schadstoffbelastungen vorliegen. Hier wird dem Auftraggeber die Pflicht zugewiesen, dem Abbruchunternehmen die relevanten Unterlagen zur Verfügung zu stellen. Er hat alle Anbieter auf den gleichen Kenntnisstand zu bringen, sodass vergleichbare Angebote abgegeben werden können. Nähere Ausführungen folgen unter *Auftraggeber*.

<sup>81</sup> Eigene Darstellung gemäß Auswertung der geführten Experteninterviews.

In Abhängigkeit der **Baustoffe** sind unterschiedliche Abbruchverfahren und geeignete Anbaugeräte auszuwählen. Eventuell ist eine Kombination mehrerer Verfahren und Geräte für den Abbruch erforderlich. Als Beispiel ist hier ein erhöhter Bewehrungsgrad zu nennen. Das Trennen von stärkeren Bewehrungsseisen ist zeitaufwendiger und verlangsamt den Abbruchfortschritt. Größere Scheren oder Brennschneidverfahren können / müssen alternativ ausgewählt werden.

Zudem ergeben sich in Abhängigkeit der vorliegenden Baustoffe unterschiedliche Vorarbeiten und anschließende Entsorgungsmöglichkeiten.

Nicht-mineralische Baustoffe sind vorab im Zuge der Entrümpelung und Entkernung von den mineralischen Stoffen zu trennen. Diese Tätigkeiten veranschlagen zusätzliche Zeit und personelle Ressourcen. Im ungünstigen Fall muss zusätzlich noch eine Schadstoffsanierung durchgeführt werden, indem Gefahrenstoffe ausgebaut werden, um die Mineralik reinzuhalten. Die Arbeitskräfte müssen je nach vorhandener Kontamination arbeitsrechtliche Schutzmaßnahmen einleiten, siehe *Auflagen Arbeitsschutz*. Dadurch kann der Arbeitsfortschritt aufgehalten werden, was wiederum Zeit und zusätzliche Kosten für die Arbeitsausrüstung verursacht.

Ferner können die ausgebauten Stoffe nicht recycelt werden, sondern müssen an entsprechende Verwerter weitergegeben werden. Der Transport sowie die Entsorgung verursachen weitere Kosten. Aus den in Tabelle 31 dargestellten prozentualen Angaben der Kostenverteilung zeigt sich, dass die Entsorgungskosten einen hohen Anteil der Gesamtkosten mit ca. 37 % ausmachen. Aus diesem Grund spielt die Art und Menge der verbauten Stoffe sowie deren Kenntnis eine große Rolle für die Kalkulation.

Die **Größe der Abbruchmaßnahme** beeinflusst die Wahl der Trägergeräte bei konstanten Ressourcen. Die Abbruchdauer ist im Einzelfall abhängig von der Unternehmensauslastung und der zeitlichen Vorgabe des Auftraggebers.

Wenn das Unternehmen zu der angesetzten Zeit keine volle Auslastung der Arbeitskräfte und Geräte in anderen Projekten aufweist, kann das Trägergerät kleiner gewählt werden, damit die Vorhaltekosten geringer gehalten und die Abbruchdauer länger angesetzt werden.

Ist von dem Auftraggeber jedoch eine zeitliche Vorgabe vertraglich vorgeschrieben, hat der Abbruchunternehmer mit entsprechend dimensionierten Gerätekombinationen zu arbeiten. Neben höheren Vorhaltekosten sind höhere Fixkosten für die Baustelleneinrichtung und den Transport der Geräte zu kalkulieren. Gegebenenfalls sind zusätzliche Geräte anzumieten. Die Höhe dieser Kosten wird wiederum von der aktuellen *Marktkonjunktur* bestimmt.

Die Gerätekosten verursachen, wie oben die Auswertung in Tabelle 31 zeigt, im Median 40 % der Abbruchkosten. Es zeigt sich, dass das Vorhalten von größerem Gerät sowie einer stärkeren Geräteanzahl maßgeblichen Einfluss auf die Gesamtkosten hat.

Die **Gebäudeabmessungen** beeinflussen das einzusetzende Trägergerät. Für Abbrüche in der Höhe von 15-40 m sind Longfrontbagger und für Arbeiten über diese Höhe hinaus sind ferngesteuerte Roboter einzusetzen.<sup>82</sup> Das Gebäude muss auf diese Weise bis auf eine für den Bagger erreichbare Höhe herunter gebrochen werden. Die durch zusätzliche Geräte verursachten Kosten sind entsprechend ihrer Einsatzzeit zu kalkulieren.

Aus den Expertengesprächen geht hervor, dass der Longfrontbagger mit ca. 130-150 % der Kosten, verglichen mit einem normalen Hydraulikbagger, anzusetzen ist. Weiterhin ist es für die Kalkulation von Vorteil, die Abmessungen der Bauteile zu kennen, da diese das Anbaugerät und die anzusetzende Zeit bedingen.

Nicht nur die Arbeiten in der Höhe, sondern auch der Abbruch der unterirdischen Tragkonstruktion erhöhen regelmäßig die anfallenden Kosten. Sobald Geschosse unterhalb der Geländeoberkante freizulegen und abzubrechen sind, ist entsprechendes Gerät für die erforderlichen Erdarbeiten vorzuhalten.

---

<sup>82</sup> Vgl. Lippok et al. (2007), S. 352.

Aufgrund der Einzigartigkeit jeden Bauwerks ist das **Abbruchverfahren** an dieses mit seinen projektspezifischen Randbedingungen flexibel anzupassen. Es ist jeweils zu klären, ob standardmäßige Arbeiten ausgeführt werden können, die von allen Beteiligten schnell und sicher beherrscht werden, oder ob spezielle Anpassungen, Veränderungen und Zusatzmaßnahmen nötig sind, die das Abbruchverfahren zwar optimieren, jedoch mit höheren Kosten einhergehen.

Je nach Komplexität der Maßnahme ist das entsprechende Verfahren im Zuge der Arbeitskalkulation zu bestimmen.

Weiterhin sind der Transport der Trägergeräte sowie im Einzelfall notwendige Zusatzmaßnahmen wie Straßensperrungen zu kalkulieren. Zusätzlich können Hilfsgeräte benötigt werden wie beispielsweise Baukrane falls Bauteile demontiert und herausgehoben werden müssen. Weiterhin sind Subunternehmer für solche Leistungen in der Kalkulation zu berücksichtigen, die das Unternehmen selbst nicht ausführt respektive an Nachunternehmer vergibt.

Die Kenntnis über **Nutzung / Funktion** des abzubrechenden Objektes hat besonders beim Teilabbruch oder Abbruch im Bestand große Relevanz. Gegebenenfalls sind Einschränkungen bei der Wahl des Abbruchverfahrens oder aufwendige Zusatzmaßnahmen zu berücksichtigen.

- **Lage der Baustelle**

Das Kriterium Standort beschreibt die geographische Lage der Baustelle. Dieser Parameter bedingt das Abbruchverfahren und das einzusetzende Gerät mit. Unterschiedliche rechtliche Vorschriften wie z.B. die Einhaltung von Sicherheitsabständen oder der Emissionsrichtwerte müssen besonders innerstädtisch beachtet werden. Dies kann die An- und Abfahrt der LKWs für die Entsorgung und die Anwendung bestimmter Verfahren einschränken respektive Zusatzmaßnahmen erfordern. Sollten aufgrund der beengten Platzverhältnisse nur kleine Geräte einsetzbar oder nur der Handabbruch möglich sein, spiegelt sich dies in erhöhten Personal- und Gerätekosten aufgrund längerer Abbruchdauer wider.

Die Erreichbarkeit der Baustelle ist für die Logistik maßgebend. Die Beschaffenheit der verkehrlichen Situation hin zur Baustelle kann die Möglichkeiten der Gerätegröße einschränken. Die Andienbarkeit kann somit entscheidender Faktor für die Verfahrensauswahl sein.

Weiterhin spielt die Entfernung der Baustelle zum Fuhrpark des Abbruchunternehmens auf der einen Seite und zu den Entsorgungsstätten auf der anderen Seite eine Rolle in Bezug auf die Transportkosten. Jedoch wird diesem Faktor von den Experten eine niedrige Gewichtung zugesprochen.

Je nach vorliegenden Randbedingungen können weitere Kosten für die Anmietung von Nachbarflächen anfallen. Dieser Faktor nimmt eher eine untergeordnete Rolle ein.

- **Entsorgungswege**

Wie bereits ausgeführt wurde, ergeben die Experteninterviews, dass die Entsorgungskosten rund 37 % der Gesamtkosten verursachen. Die Entsorgungswege werden daher gesondert beschrieben und nicht nur als Unterpunkt des Bauwerks gewertet.

In Abhängigkeit der verbauten Werkstoffe und ihrer sortenreinen Trennung beim Abbruch resultieren unterschiedliche Möglichkeiten der Entsorgung.

Die Demontage und **Wiederverwendung** von Bauteilen ist laut Expertenmeinung nur in wenigen Fällen wirtschaftlich. Für das Verladen demontierter Teile können weitere Geräte erforderlich werden. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis ist vorab zu prüfen.

Der mineralische Bauschutt wird vom Großteil der Unternehmen in eigenen Aufbereitungsanlagen recycelt und weiter verkauft. In der Kalkulation werden hier meist geringere Entsorgungskosten angesetzt. Qualität, Homogenität und Menge der Mineralik sind entscheidende Faktoren für die Höhe der Kostenkennwerte.

Nicht-mineralische Stoffe, die ebenfalls wieder verwertet werden können, müssen sortenrein getrennt, verladen und entsorgt werden. Entsprechend ihrer Menge, Qualität und der aktuellen Marktlage sind die Entsorgungskosten detailliert zu ermitteln und kalkulatorisch zu integrieren. Schadstoffe sowie alle belasteten / gefährlichen Stoffe sind, sofern sie keiner Verwertung zuzuordnen sind, auf **Deponien** zu entsorgen. Anfallende Kosten sind zu berücksichtigen. Die Zuordnungen der Entsorgungswege haben somit großen Einfluss auf die Preisbildung.

### 3.3.3.2. Projektunabhängige Parameter

- **Auftraggeber**

Das Abbruchunternehmen schließt mit dem Auftraggeber einen **Vertrag** und schuldet die werkvertragliche Leistung eines sach- und fachgerechten Abbruchs sowie das Einhalten aller vorgegebenen Randbedingungen und Fristen.

Die **Randbedingungen und Auflagen** des Auftraggebers können den Abbruch beispielsweise dahingehend einschränken, dass spezielle Verfahren ausgeschlossen werden, die Arbeitszeit beschränkt vorgegeben ist oder die Maßnahme bis zu einem bestimmten Zeitpunkt abgeschlossen sein muss. Diese Vorgaben haben direkten Einfluss auf die Wahl des Abbruchverfahrens und damit auf die anfallenden Kosten.

Die zeitliche Vorgabe kann, in Abhängigkeit der Unternehmensauslastung, weiterhin über die Durchführbarkeit innerhalb des Unternehmens entscheiden. Die vorgesehenen personellen und maschinellen Ressourcen müssen für die veranschlagte Dauer verfügbar und einsatzbereit sein. Gemäß der Interviewauswertungen ist die Verfügbarkeit bestimmter Fachkräfte von hoher Bedeutung.

Aus den Expertengesprächen geht hervor, dass eine sehr große Bandbreite unterschiedlichster **Leistungsbeschreibungen** für den Gebäudeabbruch vorliegt.

Häufig werden Abbrüche pauschal ausgeschrieben. Die Angebotsunterlagen erhalten üblicherweise die Angabe, das Gebäude abzureißen und das Material zu entsorgen einschließlich aller dazu erforderlichen Leistungen. Darin inkludiert sind die Kosten für die vorherige Entrümpelung, Entkernung und Schadstoffsanierung, des reinen Gebäudeabbruchs sowie der Entsorgung. Die Mengenermittlung und Erfassung von Störstellen werden durch Ortsbesichtigungen auf das Abbruchunternehmen übertragen.

Andererseits sehen sich einige Experten auch mit sehr detaillierten Leistungsbeschreibungen konfrontiert, in der jedes einzelne Einbauteil wie Waschtisch oder Steckdose separat aufgelistet und in der Leistungsposition beschrieben wird. Die Abbruchunternehmen geben an, diese Positionen aufgrund des damit verbundenen Arbeitsaufwandes im Einzelnen nicht bepreisen zu können, wenn sie die Kalkulation wirtschaftlich aufstellen und zudem wettbewerbsfähig bleiben wollen.

Es zeigt sich, dass die Detailtiefe der Ausführungsunterlagen sehr stark voneinander abweicht. Die Experten geben an, dass ein gutes Mittelmaß aus den bisher angewandten Methoden für beide Seiten, für den Auftraggeber und den Auftragnehmer, vorteilhaft wäre.

Der Umfang der Leistungsbeschreibung ist sinnvoll und abhängig vom Projekt zu wählen.

Der öffentliche Auftraggeber ist bei der Beschreibung der Abbruchmaßnahme an §7 VOB/A gehalten. Die Leistung ist, gemäß §7 (1) VOB/A, eindeutig und erschöpfend zu beschreiben, so dass alle Bewerber sie im gleichen Sinn verstehen und ihre Preise sicher und ohne umfangreiche Vorarbeiten berechnen können. Ferner sind, gemäß §7 (2) VOB/A, alle beeinflussenden Umstände festzustellen und in den Vergabeunterlagen anzugeben, um eine einwandfreie Preisermittlung zu ermöglichen. Diese Vorgaben sollten nach Meinung der Experten auch für private Auftraggeber gelten. Planunterlagen sind bereitzustellen und Gutachten anzufertigen, um den Auftragnehmern alle bekannten Störstellen mitzuteilen. Ortsbesichtigungen werden vom Auftraggeber meist vorausgesetzt, jedoch dienen diese auch der internen Kalkulation und Absicherung des Auftragnehmers.

Die befragten Unternehmen betonen die Relevanz, dass sich der Auftraggeber auch selbst mit dem Abbruch beschäftigt und diesen nicht nur pauschal ausschreibt. Er soll die Risiken und Schwierigkeiten einschätzen und verstehen können, um eine sinnvolle Durchführungsdauer vorzugeben.

Weiterhin ist bei der Preisbildung noch der Unterschied zwischen **öffentlichen und privaten Auftraggebern** zu berücksichtigen.

- **Innerbetriebliche Faktoren**

Innerbetriebliche Faktoren zählen zu den projektunabhängigen Parametern. Sie wirken sich auf die Preisbildung durch Zuschläge sowie Lohn- und Gerätekosten aus.

Je nach herrschender Marktsituation, Auftragslage und **Auslastung** des Unternehmens werden gezielt Zuschlagssätze auf die ermittelten Kosten veranschlagt. In Phasen, in denen das Unternehmen nicht ausgelastet ist und Aufträge generieren muss, werden die Preise kostendeckend und wettbewerbsfähig kalkuliert. Sobald das Unternehmen aber eine gute Auslastung vorweisen und sich gezielt Aufträge aussuchen kann, werden die Zuschlagssätze für die Preisbildung entsprechend erhöht. Es zeigt sich in der Praxis, dass je nach Auftragslage und Auslastung des Unternehmens unterschiedliche Preisnachlässe oder Zuschlagssätze erhoben werden.

Die **Allgemeinen Geschäftskosten** werden über Zuschlagssätze abgerechnet und auf die einzelnen Positionen verteilt. Die Zuschlagssätze für individuelles Projektrisiko sowie Wagnis und Gewinn werden der jeweiligen Marktsituation angepasst.

Das **Personal** und die Vorhaltung der **Geräte** beeinflussen das Abbruchverfahren und sind maßgebliche Faktoren bei der Kalkulation. Je nach Komplexität des Abbruchprojektes und Qualifikation einzelner Mitarbeiter werden diese für bestimmte Tätigkeiten ausgewählt. An deren Leistung und Qualitäten werden die Abbruchverfahren angelehnt bzw. abgeändert.

Aus der Qualität, Qualifikation und Arbeitsleistung setzen sich die Lohnkosten der Mitarbeiter zusammen. Weiterbildungen im Bereich der Schadstoffsanierung, Arbeiten in kontaminierten Bereichen oder dem Führen von größeren Trägergeräten erhöhen die Qualifikation der Mitarbeiter und damit auch deren Forderungen an eine höhere Vergütung. Diese Faktoren zeichnen sich in der Kalkulation ab. Jedoch erlangen Unternehmen durch Weiterbildungen der Mitarbeiter und spezielle Nachweise neue Möglichkeiten, Aufträge zu generieren um Arbeiten in speziellen Bereichen durchführen zu dürfen. Besonders im Bereich der Schadstoffsanierung sind die Weiterbildungen und Zertifikate Grundvoraussetzung für die Auftragserteilung.

Die Personalkosten haben mit einem Anteil von rund 25 % einen starken Einfluss auf die Gesamtkosten.

Der eigene Fuhrpark des Unternehmens ist richtungsweisend für die Komplexität, Größe und Anzahl der durchzuführenden Projekte. Die Geräte müssen ständig ausgelastet sein, um die anfallenden Vorhalte-, Wartungs- und Reparaturkosten projektbezogen verbuchen zu können. Andernfalls müssen bei Ausfall oder Stillstand von Geräten diese Kosten anderweitig unternehmensintern verrechnet werden. Müssen zusätzliche Geräte für spezielle Abbruchprojekte angemietet werden, fallen weitere Miet- und Betriebskosten in der Kalkulation an.

Innerbetrieblich ist stets für eine dauerhafte Auslastung der Mitarbeiter und einen kontinuierlichen Einsatz der Geräte zu sorgen. Die Akquise, die Kalkulation und die Abbruchdurchführung in Abhängigkeit der Mitarbeiter und Geräte sind eng miteinander verknüpft und bedingen einander.

- **Markt**

Der Markt ist als weitere Einflussgröße auf die Preisbildung zu nennen. Je nach Wettbewerb-Situation kann hier indirekt auf die Preisbildung eingewirkt werden.

Der konventionelle Abbruch mit Gerät wird nach Meinung der befragten Experten von allen Unternehmen in vergleichbarer Qualität ausgeführt. Durch die technischen Neuerungen und die immer leistungsfähigeren Anbaugeräte unterscheiden sich die Ausführungsqualitäten zwischen den Unternehmen kaum noch voneinander. Bei standardmäßigen Abbruchmaßnahmen nehmen der Wettbewerb und damit der Preiskampf immer weiter zu.

Je nach Auftragsvergabe, ob nachträgliche Preisnachlässe zulässig sind oder diese bereits im Vorhinein in den Angebotspreis einkalkuliert werden müssen, sind die meisten Unternehmen dazu angehalten, kostendeckend und gleichzeitig wettbewerbsfähig zu kalkulieren. Jedoch geben fünf der befragten Unternehmen an, an öffentlichen Ausschreibungen nicht mehr teilzunehmen, da bei dem teilweise niedrigen Preisniveau eine Mindest-Qualität nicht zu halten sei.

Weiterhin beeinflusst nach Ansicht der Experten die Konjunktur die Preisbildung. Mit schwankender Konjunktur sind die fremdbestimmten Preise von den Unternehmen nur schwer vorabzuschätzen und gehen als Unsicherheitsfaktor in die Kalkulation ein. Dies betrifft insbesondere Mietpreise für Abbruchgeräte sowie die Verkaufserlöse metallischer Baustoffe. Auch die Bereitschaft zur Projektinitiierung und somit zur Vergabe und Auftragserteilung von Abbrucharbeiten ist stark konjunkturabhängig.

- **Rechtliche Einflüsse**

Hinsichtlich der rechtlichen Einflüsse wurden von den Experten Auflagen des Arbeitsschutzes, Auflagen bedingt durch Emissionen, Auflagen aus dem Umweltschutz und der Formalismus als risikobehaftete Größen der Kalkulation genannt.

Als kostentreibende Faktoren bei dem Arbeitsschutz nennen die Experten vorrangig die Sicherheitsmaßnahmen bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen. Diese sind in der TRGS 524 festgeschrieben. Diverse Sicherheitsmaßnahmen nehmen aus Sicht der Experten einige Zeit in Anspruch, in der keine produktive Leistung durch den Mitarbeiter erbracht werden kann. Weiterhin betonen die Betroffenen, dass mit der vielschichten Schutzkleidung nur verlangsamt und erschwert die Arbeit durchgeführt werden kann. Die Schutzkleidung kann die Arbeitskräfte in ihrer Beweglichkeit einschränken.

Die hier entstehenden Kosten setzen sich aus der Materialbeschaffung für Schutzmaßnahmen, der Mitarbeiterfortbildung sowie den erhöhten Lohnstunden aufgrund verringerter Leistung zusammen.

Auflagen zur Verminderung von **Emissionen** können Verfahren ausschließen oder zusätzliche Maßnahmen erfordern. Die Zusatzmaßnahmen verursachen weitere Kosten und beeinflussen damit die Kalkulation.

Als Auflagen aus dem **Umweltschutz** werden von den Abbruchunternehmen Sicherungsmaßnahmen für den Schutz der Flora und Fauna genannt. Sowohl die Sicherungsmaßnahmen als auch unvorhersehbare Unterbrechungen stellen eine risikobehaftete Größe der Kalkulation dar.

Der **Formalismus** und die **Nachweisführung** über die Entsorgungswege sind in den letzten Jahren nach Ansicht der Experten verschärft worden. Für die komplexen administrativen Tätigkeiten sind meist weitere Fachkräfte erforderlich. Es fallen weitere Lohnkosten an, die zumeist über die Allgemeinen Geschäftskosten verrechnet werden. Dieser Faktor bedingt nur einen geringen Prozentsatz der Kosten, jedoch stellt er für viele kleinere Unternehmen eine große Herausforderung dar.

## 4. In-Situ-Untersuchungen

**P4 (In-Situ-Untersuchungen)** unterteilt sich in die 4 Arbeitsschwerpunkte P4.1 "Auswahl von Abbruchprojekten", P4.2 "Auswahl von Bauen-im-Bestand-Projekten", P4.3 "In-Situ-Untersuchungen" sowie P4.4 "Auswertung der REFA-Aufnahmen".

### 4.1. Kriterien der Projektauswahl

Bedingt durch die unterschiedliche Nutzung der Gebäude und die verschiedenen Bauweisen ist der Bestand an Gebäuden hinsichtlich der funktionalen, gestalterischen und konstruktiven Eigenschaften sehr heterogen. Besonders im Bereich der Nichtwohngebäude ist eine Vielzahl an unterschiedlichen Gebäudearten mit jeweils sehr spezifischen Funktionen und damit gestalterischen und konstruktiven Ausbildungen anzutreffen, die beispielsweise aus dem Produktionsprozess, den Lager- und Produktionseigenschaften oder der Arbeitsplatzgestaltung abgeleitet sind.<sup>83</sup> Ziel von **P4.1** und **P4.2** ist es daher, zunächst für die im Antrag beschriebenen Zwecke geeignete Projekte zu identifizieren. In diesem Zusammenhang sollte ein Projekt-Portfolio generiert werden, das möglichst Projekte enthält, die typisch für derzeit abzubrechende Gebäude sind.

Die Auswahl der analysierten Projekte erfolgte anhand verschiedener Kriterien. Hierzu wurden zunächst ausgewählte Gebäudetypologien<sup>84</sup> auf ihre Gliederungsmerkmale hin untersucht. Das Ergebnis ist nachfolgender Tabelle 33 zu entnehmen.

Tabelle 33: Gliederungsmerkmale der untersuchten Gebäudetypologien

Gliederungsmerkmale der Gebäudetypologien									
	Nutzung/ Funktion	Art des Produktions- prozesses /Lager- bedingungen	Wirtschafts- zweig/ Institutionelle Zugehörigkeit	Dauer- haftigkeit	Nutzungs- qualität/ Standard	Baualters- klasse	Gebäudemaße/ Geschossigkeit/ Fläche-Volumen- Verhältnis	Bauweise/ Bauart/ Bauteile	Energie- bedarf
Systematik der Bauwerke	x		x	x	x				
Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude	x	x				x	x		x
Typologie des Industriebaus		x							
Bauwerkszuordnungskatalog der Bauministerkonferenz	x	x	x		x		x		
Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland	x		x			x	x	x	
Sachwertverfahren	x	x			x		x	x	

x: Gliederungsmerkmal ist in Typologie anzutreffen

In einem nächsten Schritt wurden die ermittelten Gliederungsmerkmale auf ihre Eignung als Kriterium zur Projektauswahl geprüft.

Die **Nutzung und Funktion** des Gebäudes stellt bei der Mehrheit der untersuchten Typologien die oberste Gliederungsebene dar. Die Gestaltung von Büro-, Produktions-, Lager- und technischen Gebäuden ist von den verschiedensten Anforderungen bspw. bezüglich Arbeitsplatzgestaltung, Raumbedingungen und Flächengrößen bestimmt, sodass die Zuordnung eines Gebäudes zu den verschiedenen Nutzungen im Allgemeinen relativ eindeutig vorzunehmen ist. In den untersuchten Typologien sind u.a. Unterscheidungen zwischen Wohngebäuden, Büro- und Verwaltungsgebäuden, Produktionsgebäuden, Lagergebäuden und technischen Konstruktionen getroffen.

<sup>83</sup> Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011), S.16.

<sup>84</sup> Nähere Angaben zu den genannten Typologien sind dem Literaturverzeichnis zu entnehmen.

Diese fünf Nutzungen sollen auch durch die ausgewählten Projekte abgedeckt werden, da sie die unterschiedlichen technischen Konstruktionen, die aufgrund ihrer besonderen Funktion auch eine besondere Gestalt aufweisen, widerspiegeln.<sup>85</sup>

Des Weiteren trennen die untersuchten Typologien die Produktionsgebäude nach **Art des Produktionsprozesses** in leichte Produktion und Montage, in den Typologien „Werkstattgebäude“, „Leichte Produktion und Montage“ oder „Betriebs- und Werkstätten“ genannt, und die mittlere und schwere Produktion und Montage, bspw. „Fabrikgebäude“, „Massenproduktion und Schwere Produktion“ oder „Industrielle Produktionsgebäude“ genannt. Diese Trennung soll bei der Projektauswahl berücksichtigt werden, da die Unterschiede annahmegemäß primär in der Gebäudegröße zu finden sind.

Aufgrund der erwartungsgemäß geringeren Komplexität sollte ein auszuwählendes Produktionsgebäude ursprünglich der leichten Produktion und Montage dienen.

Die in den bestehenden Typologien anzutreffenden Gliederungsmerkmale **Bauweise, Bauart und Energiebedarf** beschreiben nur Teilaspekte des Gebäudes. So bezieht sich die Bauweise auf die Konstruktion und Baustoffe des Tragwerks, ohne jedoch Aussagen zur technischen Gebäudeausrüstung, Fassade oder zum Innenausbau zu beinhalten. Das Gliederungsmerkmal Bauart beinhaltet mit Aussagen zur Entstehungsweise auch wichtige Informationen zum Rückbau. Eine Kombination von den möglichen Bauweisen und Bauarten mit dem Grad der technischen Gebäudeausrüstung und sonstigen relevanten Merkmalen wie Fassade- und Fensterausbildungen würde jedoch eine Vielzahl von Gebäudetypen ergeben, deren Abdeckung durch entsprechende Untersuchungsobjekte im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht möglich wäre. Der Energiebedarf beschreibt lediglich die thermische Qualität der Gebäudehülle und die Effizienz der technischen Gebäudeausrüstung, ohne auf die verwendeten Baustoffe einzugehen.

Daher wird mit dem Standard ein übergreifendes Kriterium ausgewählt, welches Rückschlüsse auf die Ausbildung der relevanten Bauteile zulässt. Durch die Standardfestlegung, die häufig durch die Kostenrahmen bestimmt ist, ist ein übergreifendes Merkmal gefunden, welches bei der Auswahl vieler verschiedener Bauteile beachtet ist. Die Standardfestlegung im Zuge der Normalherstellungskostenermittlung ordnet fünf Standards jeweils Bauteile mit unterschiedlichen Ausführungsarten zu. Ein hoher Standard, der aus dem Produktionsprozess, den Lagerbedingungen oder dem erwarteten Qualitätsstandard für Nutzer, Eigentümer und repräsentative Zwecke resultiert, spiegelt sich beispielsweise bei den Bürogebäuden in der rohstoffintensiven Ausbildung der Fassade mit Elementen aus Kupfer- oder Eloxalblech, einer Vorhangfassade aus Glas, einer Dachdeckung aus Kupfer, einer Deckenvertäfelung aus Metall und einem hohen Grad an technischer Gebäudeausstattung wider,<sup>86</sup> während ein niedriger Standard weniger rohstoffintensiv ist. Um Probleme der Zuordnung und Abgrenzung zu vermeiden, werden lediglich zwei verschiedene Standards je Gebäudenutzungsart definiert. Zum einen der einfache und mittlere Standard und zum anderen der gehobene Standard. Dadurch sollte in der Mehrheit der Fälle eine einfache, deutliche Zuordnung ermöglicht werden. Aufgrund der erwartungsgemäß geringeren Komplexität sollten die auszuwählenden Gebäude einfachem und mittlerem Standard entsprechen.

Eine Zugehörigkeit zu einem **Wirtschaftszweig** oder einer staatlichen Institution ist aufgrund einer unklaren Datengrundlage als Auswahlkriterium nicht berücksichtigt.

Jene Merkmale, welche die **Größe eines Gebäudes** betreffen, wie die Brutto- oder Nettogrundfläche, das Volumen oder die Geschossigkeit werden nicht direkt als Auswahlkriterium herangezogen. Die

<sup>85</sup> Verkehrsgebäude stellen somit keine eigene Nutzungsart dar. Verkehrsgebäude wie Garagen oder Parkhäuser können aber in einer Typologie mit ausschließlich den vier o.g. Nutzungen den Lagergebäuden zugeordnet werden.

<sup>86</sup> Vgl. SW-RL, S.26 f.

Auswirkung dieser zwei Merkmale auf die Projektdauer ist jedoch indirekt zu berücksichtigen. So ist bei konstantem Geräteeinsatz und steigender Größe eines Gebäudes mit einer längeren Abbruchdauer zu rechnen. In diesem Zusammenhang war die Ausführung der für eine begleitende Auswertung geeigneten Abbrucharbeiten innerhalb der Projektlaufzeit daher das maßgebliche Auswahlkriterium.

Die Auswahl von Gebäuden anhand in verschiedenen Typologien definierter **Baualtersklassen**<sup>87</sup> ist ein naheliegendes Kriterium, da bestehende Bauwerke verschiedener Baujahre im Allgemeinen starke Unterschiede bezüglich Konstruktion, Baustoffen und Gestaltung aufweisen, jedoch Bauwerke aus einer Baualtersklasse charakteristische Gemeinsamkeiten erkennen lassen. Die Abdeckung von Baualtersklassen für die Auswahl der Untersuchungsobjekte scheint jedoch nur in begrenztem Umfang sinnvoll zu sein. Zum einen existierten zu gleichen Zeitpunkten unterschiedlichste Bauweisen und verschiedenste Ausführungsarten eines Bauteils. Eine Auswahl an Objekten nach Baualtersklassen als alleinigem Gliederungsmerkmal ist daher nur bedingt aussagekräftig. Zum anderen ist die Abgrenzung der Baualtersklassen sehr schwierig. Eine Trennung zwischen grundsätzlichen Bauweisen und Konstruktionen exemplarisch untersuchter Bauteile zeigt sich in den 1960er-Jahren. Dies gilt jedoch nur, solange der Bestand nicht in den relevanten Bauteilen modernisiert ist. Vereinfachend sind im Folgenden alle Gebäude, die vor 1960 gebaut sind, den einfachen Standards zugeordnet, solange eine Modernisierung keine andere Einordnung erforderlich macht. Insgesamt unterscheiden sich die Bautechniken und Baustoffe seit den 1970er Jahren im Allgemeinen nicht von jenen in den heutigen Konstruktionen, außer in den wesentlich geringeren Dämmstärken, da die Mehrheit der Baumaterialien und Konstruktionen zu diesem Zeitpunkt bereits entwickelt ist.<sup>88</sup>

Um ein möglichst breites Spektrum an Baualtersklassen abzubilden, sollten die auszuwählenden Gebäude wenigstens sowohl der Baualtersklasse vor 1960 als auch der Baualtersklasse ab 1970 entstammen.

Zur Auswahl der Abbruchobjekte wurden somit zusammenfassend folgende Kriterien herangezogen:

- Nutzung / Funktion: Es handelt sich um ein Wohngebäude, Büro- und Verwaltungsgebäude, Produktionsgebäude, Lagergebäude oder eine technische Konstruktion.
- Art des Produktionsprozesses / Lagerbedingungen: Sofern es sich um ein Produktionsgebäude handelt, sollte dies ursprünglich der leichten Produktion und Montage dienen.
- Bauweise / Bauart / Bauteile des Gebäudes entsprechen einfachem und mittlerem Standard.
- Baualtersklasse: Es sind sowohl Gebäude der Baualtersklasse vor 1960 als auch der Baualtersklasse ab 1970 vertreten.
- Gebäudemaße / Fläche-Volumen-Verhältnis / Geschossigkeit: Die Abbrucharbeiten werden planmäßig innerhalb der Projektlaufzeit abgeschlossen.

#### 4.2. Projektvorstellung

Nachfolgende Tabelle enthält die für die In-Situ-Untersuchungen ausgewählten Objekte. Die Klassifizierung erfolgte anhand der zuvor gewählten Kriterien.

Tabelle 34: Klassifizierung der Untersuchungsobjekte

Untersuchungsobjekt - Nr.	Nutzung/Funktion	Art des Produktionsprozesses	Standard	Baualtersklasse
1	Lagergebäude	Verkehrsgebäude	Einfach	Ab 1970 (Baujahr 1970)

<sup>87</sup> Siehe z.B. Gierra et al. (1994) oder Statistisches Bundesamt (1978)

<sup>88</sup> Vgl. Giebeler et al. (2008), S.191 ff.

Untersuchungs- objekt - Nr.	Nutzung/Funktion	Art des Produktionsprozesses	Standard	Baualtersklasse
2	Bürogebäude	./.	Mittel	Vor 1960 (Baujahr 1952 / 1957)
3	Produktionsgebäude	leichte Produktion und Montage	Einfach	Vor 1960 (Baujahr 1952)
4	Wohngebäude	./.	Mittel	Ab 1970 (Baujahr 1981)
5	Technische Konstruktion	./.	Mittel	Ab 1970 (Baujahr 1996)
6	Lagergebäude	./.	Mittel	Vor 1960 (Baujahr 1939 / 1953)

Die detaillierte Vorstellung der in Tabelle 34 genannten Untersuchungsobjekte erfolgt nachfolgend jeweils anhand einer Objektbeschreibung sowie einer zusammenfassenden Übersicht der Massen an verbauten Stoffen des Untersuchungsobjektes. Die Projektvorstellung respektive die Vorstellung des Ablaufs der Abbrucharbeiten erfolgt in Anlehnung an die Ablaufstruktur für einen selektiven Totalabbruch.<sup>89</sup>

## 4.2.1. Untersuchungsobjekt 1

### 4.2.1.1. Objektbeschreibung

Bei dem Untersuchungsobjekt 1 handelt es sich um ein 1970 errichtetes offenstehendes Zweiebenen-Parkdeck (145 Stellplätze). Die Nutzung des Parkdecks beschränkte sich auf das Abstellen von PKW für das Personal eines Büro- und Verwaltungsgebäudes. Die Nutzungsdauer des Abbruchobjektes beläuft sich auf 44 Jahre.

Südlich des Parkdecks, getrennt durch eine Stützmauer, befindet sich ein Büro- und Verwaltungsgebäude.

Westlich des Parkdecks ist eine abgeböschte Grünfläche mit einigen Bäumen vorzufinden.

Nördlich grenzen unmittelbar ein Wertstoffzentrum und ein Hochleistungsrechenzentrum an, in welchem sich eine hochsensible, erschütterungsempfindliche Rechnerarchitektur zum Betrieb eines Universitätsnetzwerks befindet.



Abbildung 43: Untersuchungsobjekt 1 - Blickrichtung Osten und Westen

Im Osten verläuft eine während der Arbeitszeiten durchgängig befahrene Zufahrtsstraße zum Universitätscampus.

<sup>89</sup> Vgl. Bilitewski (1993), S. 20 ff. und Schröder (2013), S. 6 f. und Silbe (1999), S. 23 ff.

Das Parkdeck ist 52,5 Meter lang und 32 Meter breit und erstreckt sich über zwei Ebenen. Der Bruttorauminhalt (BRI) beziffert sich auf ca. 5.272 m<sup>3</sup>. In Längsrichtung ist das Parkdeck in 19 Regeldeckenfelder unterteilt, welche eine Länge von 32 Meter und eine Breite von 2,5 Meter aufweisen. Der Deckenabschnitt über der Parkhauseinfahrt ist fünf Meter breit und ebenfalls 32 Meter lang.

Das obere Parkdeck ist über eine außenverlaufende bepflasterte Rampe mit dem PKW zu erreichen. Fußgänger gelangen über zwei Treppenaufgänge zum Parkdeck. Ebenso besteht eine direkte Verbindung vom Büro- und Verwaltungsgebäude zum Parkdeck aufgrund einer Aussparung an der südlichen Seite des Oberdecks.

Der Lastabtrag der Decke erfolgt über Unterzüge. Die aufgenommenen Lasten werden an Außen- und Mittelstützen weitergeleitet. Die Kräfte werden von dort aus über Streifenfundamente in das Erdreich eingeleitet. Die Bodenplatte liegt direkt auf dem Erdreich und den Streifenfundamenten auf.

### Oberirdisches Tragwerk

Die Decke ist aus Systemfertigteilplatten (8 m x 2,5 m, d = 10cm) in Stahlbetonbauweise gefertigt. Der Beton entspricht der Betonfestigkeitsklasse B 450<sup>90</sup> (C 30/37) und ist mit einer Mattenbewehrung (Ø 6 mm) ausgeführt. Diese ist mittels Schlaufen über Kopfbolzendübel der Unterzüge verankert. Die Deckenplatten liegen auf den Verbundträgern auf und die Fugen sind mit einem B 300<sup>91</sup> (C 16/20) Ort beton ausgefüllt.<sup>92</sup>

Die Unterzüge sind 16 Meter lang und entsprechen IPE 450 Stahlprofilen mit verschweißten Kopfbolzendübel. Diese sind mittels Anschlussblechen über 3,9 Meter langen HEA Außenstützen und 2,675 Meter langen Mittelstützen verschweißt und verschraubt (3 x M 24 Schrauben). Eine Besonderheit stellt die Einfahrt in das untere Parkdeck dar. Dieses Feld ist fünf Meter breit und der Lastabtrag wird zusätzlich durch über Winkelbleche verschraubte Traversen erreicht (Abbildung 44).



Abbildung 44: Traversenfeld, Anschluss Unterzug-Traverse, Anschluss Unterzug- Mittelstütze (v.l.n.r.)

Die 8 Meter breite Stahlbetonrampe wird über vier IPE 330 Stahlunterzüge abgetragen. Diese sind ebenfalls über angeschweißte Anschlussbleche an HEA 180 Stützen angeschlossen und mit dem Rampenlager verschraubt.

<sup>90</sup> B 450 ist eine Bezeichnung für Betonfestigkeitsklassen zu Zeiten der ehemaligen DDR. Die heutige dementsprechende Betongüte ist C30/37. (Vgl. Ingenieurbüro Süß (2010), Zugriff am 3. Juni 2014 und Schnell/Loch (2009), S. 54 f.)

<sup>91</sup> Vgl. Schnell/Loch (2009), S. 54 f.

<sup>92</sup> Hessische Landesstelle für Baustatik (1970), Abschnitt Statische Berechnung S. 21.



Abbildung 45: Stahlbetonrampe (l.) mit Tragwerk (m.), Windsteifen (r.)

Die Aussteifung der Parkdecks (s. Abbildung 46) erfolgt über zehn diagonal angeordnete Windsteifen (U 100). Diese sind über die Längs- und Querachsen des Parkdecks paarweise verteilt.

### Gründungskörper

Die Außen- und Mittelstützen sind jeweils über Fußplatten und zwei verschraubbare Ankerbauteile mit den Streifenfundamenten verbunden. Diese Streifenfundamente aus Stahlbeton verlaufen entlang der Längsachsen des Parkdecks. Die außenverlaufenden Fundamente sind 30 cm breit und weisen eine Höhe von 85 cm auf. Das mittlere Streifenfundament ist dagegen 55 cm breit und 85 cm hoch. Die Zug- und Druckkräfte werden über eine Längs- bzw. Querkraftbewehrung aufgenommen. Auf den Fundamenten liegt die 20 cm dicke Stahlbetonbodenplatte auf. Unter der Bodenplatte ist zudem eine Feuchtigkeitssperre (Kunststoffolie) angebracht.

### Raumauskleidende Elemente

An der südwestlichen und nordwestlichen Gebäudeecke befinden sich die Treppenhäuser. Während das südwestliche Treppenhaus vollständig aus Stahlbauteilen besteht, ist das nordwestliche Treppenhaus aus Stahl- und Betonbauteilen zusammengesetzt. Entlang des Parkdecks sind Schutzplanken und Handläufe angeordnet, welche im Norden und Süden an Schutzplankenpfosten verschraubt sind. An den Längsachsen sind diese an den Außenstützen des Tragwerks durch Schraubenverbindungen fixiert. Im unteren Parkdeck ist ein aus Stahlblechen gefertigtes Schiebeter vorzufinden. Dieses grenzt einen abgetrennten Bereich ein, welcher zusätzlich von einer Stahlwellblechwand umgeben ist. Dort ist die Unterverteilung der Elektrotechnik vorzufinden.



Abbildung 46: Schiebeter (l.) und Stahlwellblechwand (r.)

### Technische Gebäudeausrüstung

Die Entwässerung des Parkdecks erfolgt über die zur Mittelachse geneigten Deckenplatten (ca. 3 ‰ Neigung). Über eine Gitterrostabdeckung fließt das Regenwasser durch eine an der Decke

montierte Stahlentwässerungsrinne. Von dort aus wird das Wasser über drei Gusseisenfallrohre in die Kanalisation abgeführt. Darüber hinaus wurden auf dem Baufeld acht Straßenabläufe gesichtet.

Parallel zum Parkdeck verläuft ein Starkstromkabel unter dem bepflasterten Teil der Rampe. Direkt unter der Stahlbetonrampe befindet sich in dem abgetrennten Bereich ein Wandschrank mit der Unterverteilung. Von dort aus verlaufen PVC-isolierte Elektroleitungen durch Stahlrohre zu den 22 in Kunststoffwannen eingekleideten Endverbrauchern (Leuchtstoffröhren).

#### 4.2.1.2. Zusammensetzung der verbauten Materialien

Basierend auf den Ergebnissen einer ebenfalls durchgeführten maßlichen Bestandsaufnahme wird nachfolgend eine zusammenfassende Übersicht der Massen an verbauten Stoffen des Objektes (siehe Tabelle 35) dargestellt. Sie ist gegliedert in:

1. Mineralische Baustoffe
2. Organische Baustoffe
3. Metalle (in der nachfolgenden grafischen Darstellung einzeln aufgeführt)
4. Schadstoffe (Asbest, Quecksilber, KMF usw., welche gesondert behandelt werden müssen).

Diese sind wiederum in einzelne Baustoffpositionen unterteilt. Die Positionen werden mit Gewicht, der Baustoffbezeichnung und der Schlüsselcodierung nach der AVV aufgeführt.

Tabelle 35: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 1 nach AVV

Pos.	Baustoff	Gewicht [t]	AVV-Schlüssel
1	Mineralische Baustoffe	1498,691	
1.1	Beton	1498,691	17 01 01
2	Organische Baustoffe	0,412	
2.1	Kunststoffe	0,412	17 02 03
3	Metalle	90,810	
3.1	Eisen	3,047	17 04 05
3.2	Kupfer	0,004	17 04 01
3.3	Stahl	90,766	17 04 05
3.4	Zink	0,044	17 04 04
4	Schadstoffe	0,004	
4.1	Quecksilber	0,004	20 01 21 <sup>*93</sup>
Gesamt		1589,917	

Entkernungselemente stellen einen Anteil von 1,3 Gew.-% der Gesamtmasse dar. Zur weiteren Analyse werden die verbauten Baustoffe zusätzlich relativ dargestellt.

<sup>93</sup> AVV: 20 01 21\* - Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle

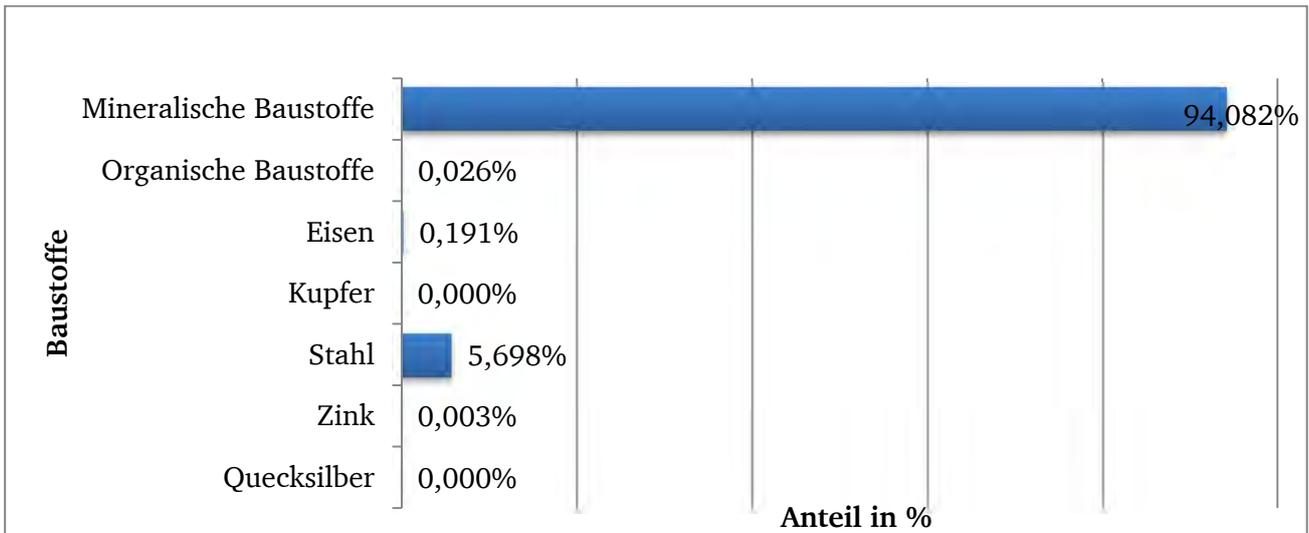


Abbildung 47: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 1 – relative Darstellung

Bedingt durch das oberirdische Tragwerk und die Gründungskörper sind die überwiegend eingesetzten Baustoffe Beton und Stahl. Eisen, Kunststoffe, Zink, Kupfer und Quecksilber stellen nur einen sehr geringen Anteil der Gesamtmasse dar. Aus der Abbildung lässt sich ebenfalls schließen, dass Abfallbewirtschaftungsprozesse der Stahlbeton- und Stahlbauteile verhältnismäßig länger dauern.

#### 4.2.1.3. Ablauf der Abbrucharbeiten

Die Dauer der Abbrucharbeiten an Untersuchungsobjekt 1 belief sich auf 18 Arbeitstage (siehe Abbildung 48). Davon entfielen

- 2 Tage auf die Entkernung des Bauwerks,
- 5 Tage auf den Rückbau des oberirdischen Tragwerkes,
- 6 Tage auf den Rückbau der Gründungskörper,
- 3 Tage auf die Aufbereitung der Stahlbetonabfälle und
- 2 Tage auf die Herstellung des Endzustandes.

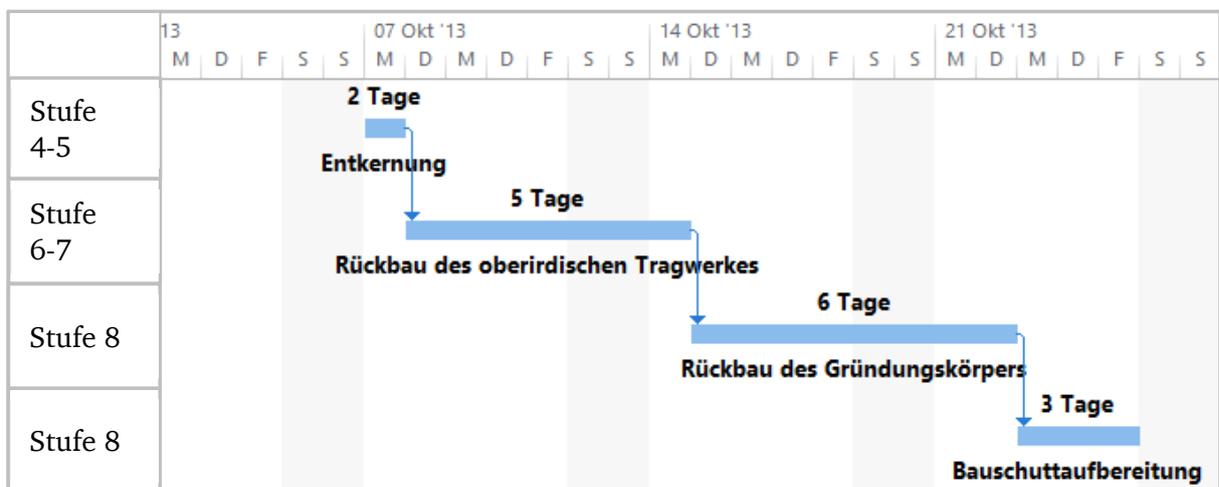


Abbildung 48: Untersuchungsobjekt 1 - zeitlicher Ablauf der Abbrucharbeiten

Der Ablauf soll anhand des Stufenmodells<sup>94</sup> veranschaulicht werden.

- Stufe 1 Bestandsaufnahme

Auf Basis der Bestandsaufnahme sind die Abbruchverfahren (siehe Stufe 4 bis 9) ausgewählt worden. Als potentieller Gefahrstoff wurde lediglich Quecksilber in Leuchtstoffröhren festgestellt.

- Stufe 2 Baustelleneinrichtung und Einrichten von Lagerplätzen

Die Bauzäune sind bereits eine Woche vor Abbruchbeginn vom Generalunternehmer aufgestellt worden. Ebenso hat dieser die Einrichtung der Sanitäreinrichtung übernommen. Es bedurfte keiner Notwendigkeit, Abfallcontainer aufzustellen, weil sich die zu entsorgenden Abfälle (ausgenommen Beton- und Stahlabfälle) nur auf ca. 1,5 Tonnen belaufen.

- Stufe 3 Entrümpelung

Eine Entrümpelung hat aus Mangel an mobilen Einrichtungsgegenständen nicht stattgefunden.

- Stufe 4 und 5 Entkernung der raumauskleidenden Elemente und technischen Gebäudeausstattung

Am ersten Tag der Entkernungsarbeiten wurde die Elektrotechnik mit Kleinwerkzeug demontiert. Die aufkommenden Abfälle wurden gesondert in Plastiksäcken gesammelt und nachträglich auf dem unternehmensinternen Gelände sortiert (u.a. Trennung der Leiterisolierung). Am späteren Nachmittag ist die Demontierung der Handläufe und Schutzplanken an der Nord- und Ostseite des Parkdecks erfolgt. Am zweiten Tag wurden die verbliebenen Handläufe und Schutzplanken von vier Arbeitskräften demontiert. Nachmittags wurde das Stahlschiebetor zurückgebaut. Die Abfälle aus der Entkernung wurden am Vorabend verladen und abtransportiert.



Abbildung 49: Demontage, Transportvorbereitung und Abtransport der Schutzplanken (v.l.n.r.)

Weitere Metallabfälle (Entwässerungsrinne, Fallrohre) wurden nicht selektiv zurückgebaut. Diese sollten konventionell mit dem oberirdischen Tragwerk abgebrochen, auf dem Baufeld vorsortiert und zusammen mit den Stahlabfällen abgefahren werden. Da das Tragwerk wegen der Platzverhältnisse nur von der südlichen Seite abgebrochen werden konnte, ist der Rückbau der Treppenhäuser zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt.

<sup>94</sup> Siehe hierzu auch Kapitel 4.3.3

- Stufe 6 Rückbau der Gebäudehülle

Ein Rückbau der Gebäudehülle hat nicht stattgefunden, weil es sich um ein offenstehendes Parkdeck ohne Fassade handelt.

- Stufe 7 Rückbau des Oberirdischen Tragwerks

Zur Vermeidung eines unkontrollierten Abstürzens der Stahlträger wurden Sicherungsmaßnahmen getroffen. Dazu wurden provisorische Deckenstützen unter den Unterzügen der Traversenfelder aufgestellt. Zusätzlich wurden Altreifen gestapelt, um bei Bedarf den Aufschlag zu dämpfen und aufkommende Erschütterungen zu minimieren.



Abbildung 50: Sicherungsmaßnahmen vor dem Abbruch des Tragwerks

Der allgemeine Abbruchablauf gliederte sich in zwei Stufen. Die erste Stufe bestand im Pressschneiden der Deckenfelder mit Hydraulikbagger und mit Abbruchkombizange. Die Deckenfelder wurden bis zu einer Tiefe von 9 Metern abgebrochen (siehe Abbildung 51).



Abbildung 51: Pressschneiden der Decke

Nachdem alle Deckenfelder einer Parkdeckhälfte teilweise abgebrochen wurden, wurde im Anschluss daran mit Hydraulikbaggern und Kombiabbruchzange bzw. Abbruchgreifer gemeinsam das Traversenfeld abgebrochen. Die Stahlbetondecken wurden dabei bis zur Entwässerungsrinne geschnitten. Anschließend wurden diese mit der Abbruchkombizange auf Höhe der Mittelstütze schergeschnitten. Der freistehende Stahlrahmen wurde durch einen Bagger (mit Abbruchgreifer) fixiert. Schließlich wurde der Unterzug mit der Außenstütze gemeinsam umgelegt. Die Stütze wurde mit dem Abbruchgreifer meist durch Abgreifen, Ein- oder Umdrücken vom Unterzug getrennt. Während das nächste Deckenfeld durch den Bagger mit der Abbruchkombizange abgebrochen wurde, wurden die Stahlabfälle im nördlichen Baufeld durch den zweiten Bagger vorsortiert und auf Halde gesetzt.



Abbildung 52: Abbruch oberirdisches Tragwerk - 1. Parkhaushälfte

Der Abbruch der zweiten Parkhaushälfte verlief in ähnlicher Art und Weise. Jedoch wurden die Unterzüge nach dem Pressschneiden der Decke nicht mehr schergeschnitten, sondern der gesamte Stahlrahmen von beiden Baggern umgelegt. Zusätzlich zu den Abfallsortiermaßnahmen wurde das nordwestliche Treppenhaus vom Baggerführer mit dem Abbruchgreifer abgegriffen.

Vor Abbruch des letzten Deckenfeldes wurde das südwestliche Treppenhaus demontiert. Die Verbindungen wurden von vier Arbeitskräften mit Kleinwerkzeug und Trennschleifer vom Deckenfeld und der angrenzenden Stützmauer gelöst. An die Treppenhausteile und einen Hydraulikbagger wurden Strangketten befestigt. Die Treppenhauskonstruktion wurde abschließend angehoben und an anderer Stelle umgesetzt. Dieses wurde erst nach dem Rückbau der Gründungskörper verladen und abtransportiert (siehe Abbildung 53).



Abbildung 53: Trennen (l.), Herausheben (m.) und Umsetzen der Treppenhausbauteile (r.)

Die Stahlabfälle des Tragwerks wurden nahe der ursprünglichen Einfahrt des unteren Parkdecks gesammelt. Im Zuge des Rückbaus der Gründungskörper wurden diese transportfertig mit einer Kombistahlschere geschnitten und zur weiteren Verwertung in Abrollcontainern verladen.



Abbildung 54: Lagerung, Bearbeitung und Verladen der Stahlabfälle (v.l.n.r.)

- Stufe 8 Rückbau der Gründungskörper

Zu Beginn des Rückbaus der Gründungskörper wurden die Fundamente bzw. Bodenplatte mit Bagger und Tieflöffel aufgerissen. An den ersten zwei Tagen wurden die Abfälle dem Arbeitsbereich des zweiten Baggers übergeben und die Sauberkeitsschicht der Bodenplatte (Kunststoffolie) wurde von selbigem mit dem Abbruchgreifer gelöst. Die Abfälle wurden dann auf eine Miete umgesetzt. Währenddessen erfolgte das Lösen der Folie für die Dauer eines Arbeitstages durch eine weitere Arbeitskraft von Hand. Ebenso wurde es erforderlich, die Miete nach und nach umzusetzen, um die Fundamente und Bodenplatte vollständig zurückzubauen. Am vierten und fünften Arbeitstag wurde der gesamte Rückbau nur von einem Bagger bewerkstelligt, weil der zweite Bagger mit dem nachträglichen Zerkleinern der Stahlbetonabfälle beschäftigt war. Diese wurden in den folgenden drei Arbeitstagen direkt auf dem Baufeld aufbereitet.



Abbildung 55: Reißen der Fundamente (l.) und Bodenplatte (m.); Lösen der Sauberkeitsschicht (r.)

Hierzu wurde eine mobile Aufbereitungsanlage angeliefert. Nach dem Aufbau und der Inbetriebnahme wurde diese unter dem Einsatz von Hydraulikbagger und Tieflöffel beschickt. Das Abbruchmaterial wurde dazu in einen Aufgabetrichter mit einem Schwerlastsieb aufgegeben. Dieses Rüttelsieb wird von Motoren angetrieben, um nicht durchläufiges Abbruchmaterial zu dem Backenbrecher zu fördern. Der Brecher wiederum besteht aus einer unbeweglichen und beweglichen Stahlplatte. Letztere wird von einem Motor angetrieben und führt sinusförmige Schwingungen aus, die zum Bruch des Materials führen (siehe Abbildung 56).



Abbildung 56: Beschicken des Brechers (l.), Auffangtrichter mit Schwerlastsieb (m.) und Einschwingenbackenbrecher (r.)

Das gebrochene Material wird mit dem gesiebten Material auf einem Förderband an einem rotierenden Dauermagneten vorbeigeführt, welcher die magnetischen Metalle (z.B. Bewehrung) abscheidet. Der vollständig aufbereitete Durchsatz wird abschließend von einem weiteren Hydraulikbagger und Tieflöffel auf eine Miete umgesetzt. Die getrennten Stahlabfälle wurden am nordwestlichen Rand des Baufeldes gelagert. Zu einem späteren Zeitpunkt wurden diese in Abfallcontainer verladen und abtransportiert.



Abbildung 57: Magnetabscheider, Umsetzen des Durchsatzes und Lagerung der Stahlabfälle (v.l.n.r.)

Der Rückbau der Zufahrtsrampe erfolgte parallel zur Aufbereitung der Stahlbetonabfälle. Hierzu wurde der Pflasterbelag von einem Hydraulikbagger und Tieflöffel gerissen. Nach Beendigung der Aufbereitungsmaßnahmen der Stahlbetonabfälle wurde die Aufbereitungsanlage aus Platzgründen an die ehemalige Einfahrt des unteren Parkdecks gefahren. Dort wurden die Pflasterabfälle aufbereitet (siehe Abbildung 58).



Abbildung 58: Reißen des Pflasterbelags (l. und m.) und Aufbereitung des Abfälle (r.)

- Stufe 9                    Endzustand herstellen

Die aufbereiteten Pflastersteine wurden auf eine Miete umgesetzt. Außerdem wurden die Treppenhäuser vollständig verfüllt und ein Planum mit Hydraulikbagger und mit Tieflöffel hergestellt (siehe Abbildung 59). Abschließend wurden die Großgeräte und die mobile Aufbereitungsanlage gereinigt und abtransportiert.



Abbildung 59: Endzustand Baufeld (l.) und Verfüllung Treppenhäuser Nordwest (r.)

- Stufe 10                    Potentieller Neubau

Die nachfolgenden Erdbauarbeiten für ein neues Parkhaus wurden von dem gleichen Abbruchunternehmer durchgeführt. Diese Arbeiten waren nicht Gegenstand der Untersuchung.

## 4.2.2. Untersuchungsobjekt 2

### 4.2.2.1. Objektbeschreibung

Bei dem Untersuchungsobjekt 2 handelt es sich um ein in den Jahren 1952 (Nordflügel) und 1957 als Erweiterungsbau (Südwestflügel) errichtetes Bürogebäude. Die Nutzung des Gebäudes beschränkte sich auf Verwaltungstätigkeiten sowie in einzelnen Bereichen Pharmaforschung durch das Personal eines Industrieparks. Die Nutzungsdauer des Abbruchobjektes beläuft sich auf 53 Jahre.

Südlich des Bürogebäudes verläuft eine durchgängig befahrene Verkehrsstraße des Industrieparks, getrennt durch eine Grünfläche.

Westlich des Bürogebäudes ist eine Parkfläche vorzufinden. Die Parkfläche dient dem Abstellen von PKW für das Personal des Untersuchungsobjekts sowie des westlich an den Parkplatz angrenzenden Bürogebäudes. Die Parkfläche wird somit in der westlichen Hälfte weiter genutzt.

Nördlich des Bürogebäudes sind eine schmale abgeböschte Grünfläche mit einigen Bäumen sowie eine durchgängig befahrene Verkehrsstraße des Industrieparks vorzufinden.

Im Osten befindet sich ebenfalls eine geböschte Grünfläche mit einigen Bäumen.

Weiterhin grenzen sowohl im Süden als auch im Osten unmittelbar sensible Infrastrukturleitungen zum Betrieb des Industrieparks an (siehe Abbildung 60).



Abbildung 60: Untersuchungsobjekt 2 - Blickrichtung NO und Osten, Lageplan (v.l.n.r.)

Der Hauptflügel des Bürogebäudes ist 75,0 Meter lang und 18,5 Meter breit, der Erweiterungsbau ist 18,6 Meter lang und 20,0 Meter breit. Das Gebäude erstreckt sich auf der gesamten Grundfläche über fünf Etagen. Die einzelnen Etagen haben folgende Höhen:

Kellergeschoss:	3,94 m
Erdgeschoss:	4,50 m
1. – 2. Obergeschoss:	4,50 m
3. Obergeschoss:	4,55 m
Dachgeschoss:	3,54 m (Firstachse Satteldach)

Der Bruttorauminhalt (BRI) beziffert sich auf ca. 37.000 m<sup>3</sup>.

Das Gebäude ist über eine außenverlaufende, bepfasterte sowie in Teilbereichen asphaltierte Zuwegung zu erreichen. Fußgänger gelangen über drei Eingänge an der Ost- sowie an der Westseite in das Gebäude. Es besteht somit eine direkte Verbindung vom Bürogebäude zur Parkfläche.

## Oberirdisches Tragwerk

Das Gebäude ist in Massivbauweise (Stahlbetonskelettkonstruktion, Ausfachung aus Mauerwerk) errichtet worden. Die Aussteifung des Gebäudes erfolgt über 3 Kerne (Treppenhäuser) und in Längsrichtung durch die Außenwand aus Mauerwerk. In Querrichtung erfolgt die Aussteifung über Stahlbetonrahmentragwerke (Baustahl ST37, Stahlbeton B225, Stampfbeton B160). Die Geschosdecken bestehen aus 15 cm Stahlbeton (Hauptgebäude) sowie 17 cm Stahlbeton (Erweiterungsbau). Die Außenwände bestehen aus hartgebranntem Klinkermauerwerk. Die innere Erschließung erfolgt über 3 Treppenhaus- und 2 Aufzugskerne.

Die Eindeckung des Flachdaches besteht aus Bimsbetonstegdielen mit Dachpappe auf Stahlpfetten (Belag Dachpappe, 3 cm Kork, Bimsbetonstegdielen 8,5 cm,  $L = 5,38/2 = 2,69$  m, Dachbinder  $L = 8,00$  m + 2,50 m + 8,00 m, I – 24 Profil mit Aussteifung in der Feldmitte gegen Biegedrillknicken, Unterzug unter den Zwischenbindern I – 24 Profil,  $L = 5,38$  m).



Abbildung 61: Oberirdisches Tragwerk

## Gründungskörper

Bei der Herstellung des Gebäudes wurden Einzelfundamente mit einer Fundament- respektive Bodenplatte kombiniert. Die Dicke der Bodenplatte (Kellerboden) beträgt 20 cm und ist auf 54 Blockfundamente gegründet. Je Blockfundament sind monolithisch die Stützen der aufgehenden Geschosse angeschlossen. Die Stützen bilden mit den Unterzügen ein Rahmentragwerk und dienen zur Lastabtragung der Deckenbelastung und der Lasten der Wände in den Untergrund. Die Fundamente der Außenwände sind bis 2,3 m tief in den Untergrund eingebunden. Fundamente im Gebäudeinneren binden bis 2,5 m in den Untergrund und im Bereich der Außentreppen bis 3,5 m in den Untergrund ein. Es wird von einer Gründung der Fundamente auf natürlichem Boden ausgegangen. Die Fundament- respektive Bodenplatte dient zur Übertragung der Verkehrslasten sowie als Gründung für Bauwerksteile, die nicht zur Lastübertragung ausgelegt sind. Die folgende Abbildung verdeutlicht schematisch die Gründung des Bauwerks:

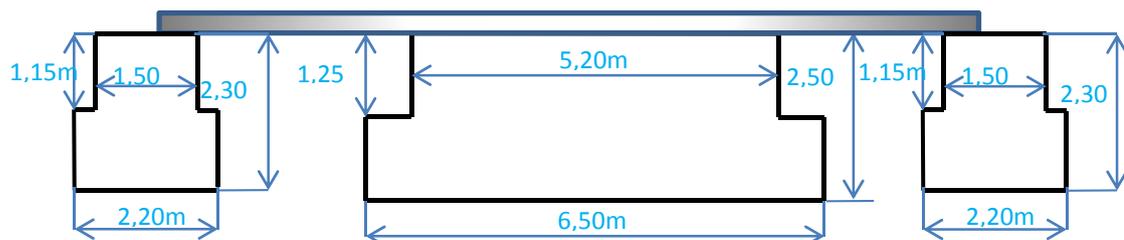


Abbildung 62: Schematische Darstellung der Fundamentabmessung

## Raumauskleidende Elemente

Nichttragende Innenwände bestehen aus verschiedenen Materialien wie Ziegelmauerwerk, Porenbeton, Bims sowie aus Gipskartonständerwänden. Die Fußböden sind in Teilbereichen gefliest und sonst mit PVC – Belägen belegt. Die Decken sind im gesamten Gebäude großflächig abgehängt. Überwiegend in Plattenform sind auf einer abgehängten Deckenkonstruktion KMF – Platten liegend verlegt. Weiterhin sind im Dachgeschoss des Hauptflügels des Bürogebäudes unterhalb der Bimsstegplatten Holzwolleleichtbauplatten angebracht.

Im Gebäude wurden 101 Brandschutztüren aus Stahl verbaut. Die 2-fach verglasten Fenster besitzen einen Alurahmen sowie drei verschiedene Größen.

## Technische Gebäudeausrüstung

Die Entwässerung des Bürogebäudes erfolgt über die nach außen geneigten Deckenplatten (ca. 7 ‰ Neigung). Über eine Dachrinne fließt das Regenwasser zu verschiedenen Einlauftrichtern. Von dort aus wird das Wasser über 12 Kupferfallrohre in die Kanalisation abgeführt.

Im unteren Geschoss befindet sich die zentrale Gebäudeheizung, auf dem Dach die Lüftungsanlage. Weiterhin sind 3 Aufzüge im Gebäude verbaut. Von der Hauptverteilung, welche sich ebenfalls im unteren Geschoss befindet, verlaufen PVC-isolierte Elektroleitungen zu den auf jedem Stockwerk angeordneten Unterverteilungen und von dort zu den Büroräumen (jeweils 8 Kabel pro Raum à 12 Meter entlang der Wand verlegt). Diese mit Kabelbindern verbundenen Kabelbündel, liegen auf Kabelkanälen.

Weiterhin sind zur Versorgung der als Labor genutzten Flächen mit verschiedenen Medien Edelstahl-Rohre an einem Trägersystem mit Rohrschellen verankert (20 mm Durchmesser unisoliert sowie 140 mm Durchmesser isoliert).



Abbildung 63: Lüftungsanlage, Medienversorgung

### 4.2.2.2. Zusammensetzung der verbauten Materialien

Basierend auf den Ergebnissen einer durchgeführten maßlichen Bestandsaufnahme wird nachfolgend eine zusammenfassende Übersicht der Massen an verbauten Stoffen des Objektes (siehe Tabelle 36 ) dargestellt. Sie ist gegliedert in:

1. Mineralische Baustoffe
2. Organische Baustoffe
3. Metalle (in der nachfolgenden grafischen Darstellung einzeln aufgeführt)
4. Schadstoffe (Asbest, Quecksilber, KMF usw., welche gesondert behandelt werden müssen).

Diese sind wiederum in einzelne Baustoffpositionen unterteilt. Die Positionen werden mit Gewicht, der Baustoffbezeichnung und der Schlüsselcodierung nach der AVV aufgeführt.

Tabelle 36: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 2 nach AVV

Pos.	Baustoff	Gewicht [t]	AVV-Schlüssel
1	Mineralische Baustoffe	13448,100	
1.1	Beton	12149,000	17 01 01
1.2	Glas	4,100	17 02 02
1.3	Sand/Kies	765,000	01 04 08
1.4	Ziegel	530,000	17 01 02
2	Organische Baustoffe	73,500	
2.1	Holz	73,500	17 03 01
3	Metalle	179,820	
3.1	Aluminium	18,000	17 04 02
3.2	Kupfer	13,350	17 04 01
3.3	Stahl	146,67	17 04 05
3.4	Zink	1,800	17 04 04
4	Schadstoffe	24,600	
4.1	Asbest	3,800	17 06 05
4.2	KMF	20,800	17 06 03
<b>Gesamt</b>		<b>13726,020</b>	

Entkernungselemente stellen einen Anteil von 6 Gew.-% der Gesamtmasse dar. Zur weiteren Analyse werden die verbauten Baustoffe zusätzlich relativ dargestellt.

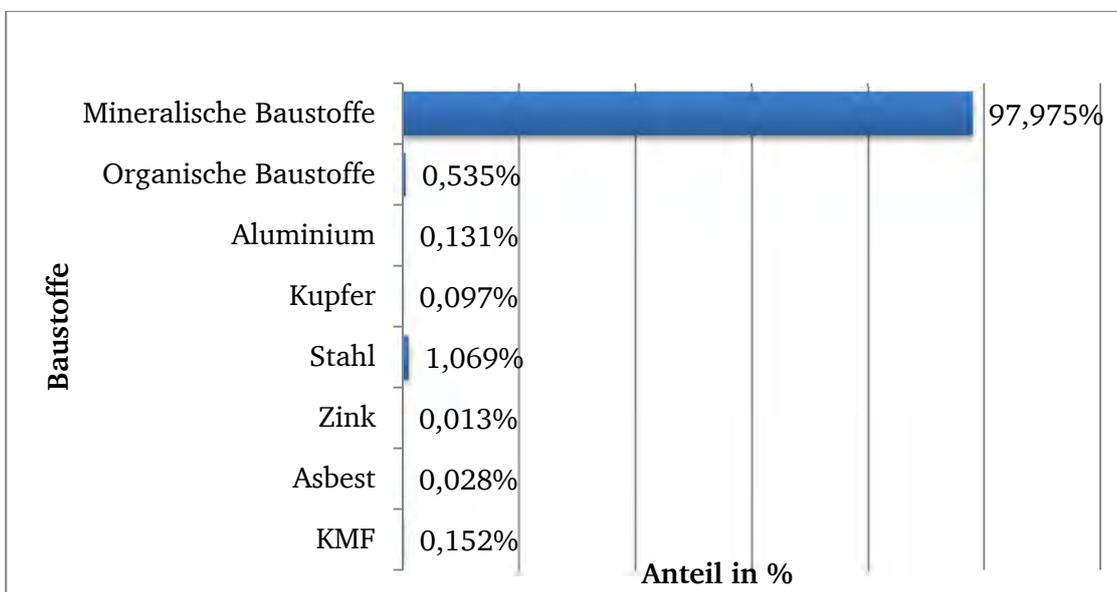


Abbildung 64: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 2 – relative Darstellung

Bedingt durch das oberirdische Tragwerk und die Gründungskörper sind die überwiegend eingesetzten Baustoffe Beton, Mauerwerk und Stahl. Metalle wie Aluminium, Zink und Kupfer stellen nur einen sehr geringen Anteil der Gesamtmasse dar. Aus der Abbildung lässt sich ebenfalls schließen, dass Abfallbewirtschaftungsprozesse mineralischen Baustoffe verhältnismäßig länger dauern.

### 4.2.2.3. Ablauf der Abbrucharbeiten

Die Dauer der Abbrucharbeiten an Untersuchungsobjekt 2 belief sich auf 112 Arbeitstage (s. Abbildung 54). Davon entfielen

- 14 Tage auf die Entrümpelung des Bauwerks,
- 38 Tage auf die Entkernung des Bauwerks,
- 33 Tage auf den Rückbau des oberirdischen Tragwerkes,
- 24 Tage auf den Rückbau der Gründungskörper,
- 3 Tage auf die Aufbereitung der Stahlbetonabfälle.

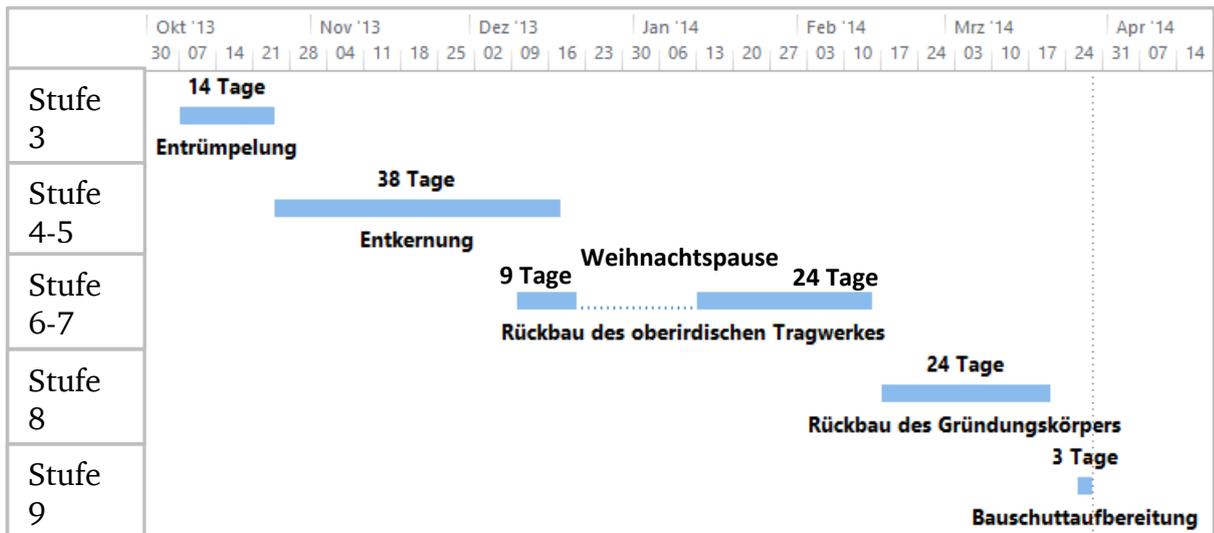


Abbildung 65: Zeitlicher Ablauf der Abbrucharbeiten

Der Ablauf der begleiteten Arbeiten soll anhand des Stufenmodells<sup>95</sup> veranschaulicht werden.

- Stufe 1 Bestandsaufnahme

Auf Basis der Bestandsaufnahme sind die Abbruchverfahren (s. Stufe 4 bis 9) ausgewählt worden. Es wurden zudem im Gebäude potentielle Gefahrstoffe festgestellt. Die Untersuchung der Korkdämmung in den Kühlerräumen zeigte eine deutliche Überschreitung der Richtwerte, wodurch eine Separierung zwingend notwendig ist und die Tätigkeiten als Arbeiten im kontaminierten Bereich einzustufen sind. Die potentiellen PCB-haltigen Kleinkondensatoren in Leuchtstofflampen sollten zerstörungsfrei ausgebaut und entsorgt werden. Weiterhin wurden asbesthaltige Fensterbänke, asbesthaltige NH – Sicherungen sowie Spritzasbest im Estrich festgestellt. Darüber hinaus wurde KMF in abgehängten Decken und Mineralwolle zur Isolierung der Rohre.

- Stufe 2 Baustelleneinrichtung und Einrichten von Lagerplätzen

Die Bauzäune sind bereits vor Abbruchbeginn vom Generalunternehmer aufgestellt worden. Ebenso hat dieser die Einrichtung der Sanitäreinrichtung übernommen. Für die Arbeiten im Dachbereich wurde ein Schutzgerüst angeliefert, mit einem Autokran auf das Dach gehoben und aufgebaut. Für Materialien, welche im Rahmen der Entkernung anfielen, wurden entsprechende Mulden vorgesehen und hierfür eine Bereitstellungsfläche eingerichtet. Insgesamt standen 4 Container (30 – 46 m<sup>3</sup>) zur Separierung

<sup>95</sup> Siehe hierzu auch Kapitel 4.3.3

der Baustoffe zur Verfügung. Eine Trennung zwischen den Metallsorten fand nicht statt. Demzufolge werden Aluminium, Kupferkabel und Stahl respektive Edelstahl in einem Container (30 m<sup>3</sup>) gesammelt, seitens des ausführenden Unternehmens separiert und verwertet. Weiterhin wurden Schutzmaßnahmen an der benachbarten Medien-Infrastruktur (Einhausung) sowie eine Prallsand-Aufschüttung (0,5 m) der asphaltierten Parkflächen vorgenommen. Zudem wurde das Gebäude von den Versorgungsnetzen (Gas, Wasser und Strom) getrennt.



Abbildung 66: Details Baustelleneinrichtung

- Stufe 3                    Entrümpelung

Im Rahmen der Entrümpelung wurden im gesamten Gebäude lose Teile (Möbiliar, Holzeinbauten, Türen) demontiert. Bei der Demontage des Möbiliars fallen dementsprechend Holzteile, Kunststoffteile sowie Metallteile an, die getrennt und vorsortiert werden müssen. Die hierzu verwendeten Werkzeuge sind Vorschlaghammer, Brecheisen und Akkuschauber. Für den Transport der Holz-, Kunststoff- und Metallteile zu den Containern werden Schubkarren verwendet (siehe Abbildung XY). Die Arbeiten wurden von einer Kolonne mit sechs Arbeitskräften durchgeführt. Drei Arbeitskräfte führten die Demontearbeiten durch, drei Arbeitskräfte transportierten diese mit Schubkarren oder manuell zu den entsprechenden Containern.



Abbildung 67: Trennung der unterschiedlichen Materialien

- Stufe 4 und 5    Entkernung    der    raumauskleidenden    Elemente    und    technischen    Gebäudeausstattung

Zunächst fand die Demontage des Bodenbelags statt. Hier waren hauptsächlich PVC-Böden (ca. 1.300 m<sup>2</sup>) und Teppichböden (ca. 180 m<sup>2</sup>) zu entfernen. Als Werkzeuge dienten Stielspachtel oder Schaufel. Der Abtransport zu den Containern findet wieder per Schubkarren oder manuell statt.

Zur manuellen Demontage der liegend verlegten Deckenverkleidungen wurde eine Leiter als Hilfsgerät verwendet. Die Platten wurden einzeln manuell entnommen und luftdicht verpackt. Die abgehängte Deckenkonstruktion wurde durch Trennen von vorab definierten Verankerungen kontrolliert herabgelassen. Die Arbeiten wurden mit zwei Arbeitskräften durchgeführt.

Da es sich bei der Demontage der Holzwolleleichtbauplatten im Dachgeschoss um ständige Arbeiten auf einer Höhe über 0,5 m Höhe handelte, war die Verwendung eines Gerüsts erforderlich. Zwei Arbeitskräfte lösten zunächst von dem Gerüst aus die Putzschicht und schließlich die Holzwolleleichtbauplatten von der Decke. Eine weitere Arbeitskraft trennte anschließend die Materialien (z.B. Putzträger aus Streckmetall). Die verwendeten Werkzeuge waren Brecheisen, Hammer, Schaufel und Stielspachtel.



Abbildung 68: Demontage der Decken

Die Demontage der Rohrleitungen (Medienversorgung sowie Lüftungsanlage) und Kabel fand ebenfalls vom Gerüst aus statt. Als Werkzeuge kamen ein Trennschleifer sowie ein Cuttermesser, zur Demontage der Kabel ein Trennschleifer sowie ein Bolzenschneider zum Einsatz.



Abbildung 69: Demontage von Rohrleitungen und Kabeln

Weitere Metallabfälle (Entwässerungsrinne, Fallrohre) wurden im Rahmen der Entkernungsarbeiten nicht selektiv zurückgebaut. Diese sollten konventionell mit dem oberirdischen Tragwerk abgebrochen, auf dem Baufeld vorsortiert und zusammen mit den Stahlabfällen abgefahren werden.

Die Zwischenwände aus Gipskarton sowie Porenbeton wurden im Rahmen der Entkernungsarbeiten ebenfalls zurückgebaut und aus dem Gebäude verbracht.

Die Entfernung der Gipskartonwände erfolgte händisch. Die Arbeiten wurden mit drei Arbeitskräften ausgeführt. Zwei Arbeitskräfte lösten die Rigipsplatte, zogen die Dämmung ab und demontierten die Ständerprofile. Eine dritte Arbeitskraft beseitigte in gewissen Zeitabständen die Materialien. Zur Verwendung kamen Werkzeuge wie Spitzhacke, Vorschlaghammer und Brecheisen.



Abbildung 70: Rückbau der Gipskartonwände

Zum Rückbau der Porenbetonwände wurde von 2 Arbeitskräften von einem Gerüst aus die Wand von der Unterkante der Decke gelöst. Anschließend wurde das freistehende Wandelement kontrolliert gekippt. Als Werkzeug diente ein Vorschlaghammer. Zudem wurde der Estrich mit einem Elektrohammer durch 5 Arbeitskräfte aufgestemmt und, sofern vorhanden, eine bituminöse Beschichtung separiert.

Der Transport der Abbruchmaterialien erfolgte durch 2 weitere Arbeitskräfte mittels Schubkarre zu einer Schuttmulde, welche von einem Autokran bereitgehalten wurde.



Abbildung 71: Abtransport der Entkernungsmaterialien

In einem nächsten Schritt erfolgte die Demontage der Fenster.

Weiterhin wurde die mehrlagige Bitumenbahn sowie die darunter befindliche Korkdämmung auf dem Dach entfernt. Hierzu wurde diese zunächst mittels eines Schneidegeräts und manuell mit Äxten eingeschnitten und schließlich abgelöst.



Abbildung 72: Entkernungsarbeiten Dach

Insgesamt waren 11 Arbeitskräfte auf dem Dach beschäftigt. Drei Arbeitskräfte entfernten die Isolierung der Maschinenanlage auf dem Dach. Die Materialien wurden in flexible Schüttgutbehälter verpackt und in einen per Autokran auf das Dach gehobenen 30m<sup>3</sup> Container verladen.

- Stufe 6 Rückbau der Gebäudehülle

Ein weiterer Rückbau der Gebäudehülle hat nicht stattgefunden, da es sich aufgrund des Klinkermauerwerkes um ein Gebäude ohne weitere Fassade handelt.

- Stufe 7 Rückbau des Oberirdischen Tragwerks

Der allgemeine Abbruchablauf gliederte sich in zwei sich wiederholende Stufen. Die erste Stufe bestand im geschossweisen Abbruch eines Taktes á 2 Gebäudeachsen. Zunächst erfolgte das Pressschneiden der Deckenfelder von einem Hydraulikbagger mit Longfront-Hydraulikbagger (24 m) und Abbruchkombizange über zwei Achsen sowie dem Eindringen und Pressschneiden der Mauerwerkswände. Schließlich wurde der Unterzug mit der Außenstütze gemeinsam auf das darunter befindliche Deckenfeld umgelegt. Die abgebrochenen Gebäudeteile wurden schließlich kontrolliert auf das Prallbett abgelassen. Nachdem das unterste Deckenfeld durch den Baggerführer mit der Abbruchkombizange abgebrochen wurde, wurden in einer zweiten Stufe die Abbruchabfälle durch einen zweiten Hydraulikbagger (Löffelinhalt 4,5m<sup>3</sup>) vorsortiert und auf Halde gesetzt.



Abbildung 73: Rückbau des oberirdischen Tragwerks

Nachdem der Bauschutt nachträglich zerkleinert wurde, ist dieser auf einen nahegelegenen Recyclingplatz transportiert worden. Aufgrund der geringen Distanz von Baustelle zum Recyclinghof (500 m) konnte die Arbeit von 2 Muldenkippern ausgeführt werden. Zur weiteren Aufbereitung und Separierung wurden zwei mobile Aufbereitungsanlagen verwendet. Diese wurden unter dem Einsatz von Hydraulikbagger mit Tieflöffel beschickt. Das Abbruchmaterial wurde dazu in einen Aufgabetrichter mit einem Schwerlastsieb aufgegeben. Dieses Rüttelsieb wird von Motoren angetrieben, um nicht durchläufiges Abbruchmaterial zu dem Backenbrecher zu fördern. Der Brecher wiederum besteht aus einer unbeweglichen und beweglichen Stahlplatte. Letztere wird von einem Motor angetrieben und führt sinusförmige Schwingungen aus, die zum Bruch des Materials führen. Das gebrochene Material wird mit dem gesiebten Material auf einem Förderband an einem rotierenden Dauermagneten vorbeigeführt, welcher die magnetischen Metalle (z.B. Bewehrung) abscheidet. Der vollständig aufbereitete Durchsatz wird abschließend von einer weiteren Sortieranlage in vorgegebene Körnungen klassiert und einem Hydraulikbagger mit Tieflöffel auf eine Miete umgesetzt.



Abbildung 74: Betrieb der mobilen Aufbereitungsanlage

- Stufe 8 Rückbau der Gründungskörper

Zu Beginn des Rückbaus der Gründungskörper wurden die Fundamente bzw. Bodenplatte durch einen Hydraulikbagger mit Hydraulikhammer aufgebrochen und schließlich durch einen weiteren Hydraulikbagger mit Abbruchlöffel gelöst. Die Stahlbetonteile wurden auf eine Miete umgesetzt, welche nach und nach umzusetzen war, um die Fundamente und Bodenplatte vollständig zurückzubauen. Die nachträgliche Zerkleinerung und Aufbereitung des Abbruchmaterials erfolgte analog dem Rückbau des oberirdischen Tragwerks.



Abbildung 75: Rückbau der Fundamente

- Stufe 9 Endzustand herstellen

Die aus dem Gebäudeabbruch stammenden Baustellenabfälle wurden unter dem Abfallschlüssel 170904 als Baumischabfälle entsorgt. Die entstandene Baugrube wurde vollständig verfüllt und ein Planum mittels Hydraulikbagger mit Tieflöffel hergestellt. Abschließend wurden die Großgeräte und die mobile Aufbereitungsanlage gereinigt und abtransportiert.

- Stufe 10 Potentieller Neubau

Die nachfolgenden Arbeiten waren nicht Gegenstand der Untersuchung.

### 4.2.3. Untersuchungsobjekt 3

#### 4.2.3.1. Objektbeschreibung

Bei dem Untersuchungsobjekt 3 handelt es sich um eine 1952 erbaute, in Teilbereichen unterkellerte Versuchs- und Maschinenhalle. Nach Sanierungsmaßnahmen wurde das Objekt seit 1998 als

studentisches Veranstaltungszentrum genutzt. Die Nutzungsdauer des Abbruchobjektes beläuft sich auf 61 Jahre.

Südlich des Hallengebäudes verläuft eine durchgängig befahrene öffentliche Verkehrsstraße, getrennt durch eine Grünfläche sowie einen asphaltierten Fußweg.

Westlich des Wohngebäudes verläuft ebenfalls eine durchgängig befahrene Straße, getrennt durch einen Grünstreifen sowie einen gepflasterten Fußweg.

Nördlich des Wohngebäudes ist eine Parkfläche vorzufinden. Die Parkfläche dient dem Abstellen von PKW für das Personal des Untersuchungsobjekts sowie des östlich an den Parkplatz angrenzenden Bürogebäudes. Weiterhin befindet sich unmittelbar an die Parkfläche angrenzend eine Andienungsstraße für ein benachbartes Mensengebäude einer Hochschule. Diese wird somit weiter genutzt.

Östlich grenzt das Abbruchobjekt unmittelbar an ein benachbartes Bürogebäude an.



Abbildung 76: Untersuchungsjekt 3 - Blickrichtung SO, NO

Die eingeschossige Hallenkonstruktion ist im nördlichen Teil der Halle (Anbau) unterkellert. Die Unterkellerung umfasst ein Kellergeschoss und die darunterliegenden Gründungsbauteile. Das Gebäude weist einen orthogonalen Grundriss mit einer Länge von 39,8 m und einer Breite von 22,5 m auf. Die Gebäudehöhe beträgt 8,5 m bzw. 5,9 m über Geländeoberkante. Der Bruttorauminhalt (BRI) beziffert sich auf ca. 6.500 m<sup>3</sup>.

Das Gebäude ist über eine gepflasterte Zufahrt sowohl fußläufig als auch mit dem PKW zu erreichen. Man gelangt über drei Eingänge an der Süd- sowie an der Nordseite in das Gebäude.

Die Bodenplatte liegt direkt auf dem Erdreich und den Streifenfundamenten sowie einem massiven Blockfundament auf. Die Dachkonstruktion ist im südlichen Hallenteil (Maschinenhalle) als Satteldach und im Bereich des Anbaus als Pultdach ausgebildet.

### **Oberirdisches Tragwerk**

Das oberirdische Tragwerk besteht aus sieben zweischiffigen Vollwand-Rahmen und ist in Stahlbauweise erstellt. Das Gebäude weist in Längsrichtung drei Hauptachsen auf. Die Rahmen verlaufen quer zu Gebäudehauptachsen. Der Achsabstand der Querachsen beträgt jeweils ca. 6,7 m. Die Rahmenstützen und Binder sind aus I 400 Profilen gefertigt. Die Stützhöhe beträgt in der Maschinenhalle 8,0 m. In der äußeren Stützenreihe des Anbaus beträgt sie 5,2 m. Die Aussteifung der Rahmen erfolgt in der Binderebene über die Rahmentragwirkung. In Gebäudelängsrichtung werden die Rahmen über eine Einspannung der Stützen in den Fundamenten bzw. den Sockelwänden aussteift. Zwischen den Bindern verlaufen I 160 Profile, die als Pfetten der Dachkonstruktion

wirken.

### Unterirdisches Tragwerk und Gründungskörper

Unterhalb des Anbaus befindet sich ein Kellergeschoss mit einer Raumhöhe von 3,1 m. Der Zugang erfolgt über eine Treppe im Gebäude sowie eine Außentreppe. Die Kellerdecke ist aus Stahlbeton und schließt bündig mit der Bodenplatte der Maschinenhalle ab. Unterhalb der Decke verlaufen parallel zu den Hauptachsen Unterzüge aus Stahlbeton. Die Kelleraußenwände bestehen ebenfalls aus Stahlbeton, innenliegende Wände aus Ziegelmauerwerk.

Die Bodenplatten der Maschinenhalle und der Unterkellerung bestehen aus Stahlbeton und haben eine Stärke von 15 cm bzw. 18 cm. In der Maschinenhalle befindet sich unterhalb der Bodenplatte ein massives Blockfundament mit den ungefähren Abmessungen 17,5/6,0/1,5 m (L/B/H). Unterhalb der Bodenplatte des Kellers verlaufen in den Rahmenachsen Streifenfundamente aus Stahlbeton. Die Kelleraußenwände sind ebenfalls auf Streifenfundamenten gelagert. Die ungefähren Abmessungen der Streifenfundamente in den Rahmenachsen betragen 10,0/0,6/0,4 m (L/B/H).

### Technische Gebäudeausrüstung

Der Großteil der Technischen Anlagen ist im Kellergeschoss untergebracht. Dort befinden sich eine Hebeanlage, ein Hauptverteiler, mehrere Unterverteiler sowie Abzweigkästen und Verteilerkomponenten. Die Sanitär- und Telekommunikationsanlagen sowie Einbruch- und Brandmeldeanlage sind ebenfalls dort installiert. Durch das Gebäude verlaufen Leitungen für Stark- und Schwachstromkabel, EDV-Kabel, Trink- und Schmutzwasserleitungen sowie Pumpendruck- und Heizungsrohrleitungen. Darüber hinaus befinden sich im gesamten Gebäude Fluchtweg- und Sicherheitslichtanlagen, Leuchtmittel, Installationsgeräte, Schalter und Steckdosen. Die Dachentwässerung erfolgt über Regenrinnen und Fallrohre.

Des Weiteren befindet sich in der Maschinenhalle eine stillgelegte Krananlage. Die Krananlage besteht aus Kranstützen, einer Kranbahn sowie einer Kranbrücke. Die Kranstützen und die Kranbahn bestehen aus Stahlprofilen. Die Kranstützen sind z.T. mit den Rahmenstützen verbunden oder freistehend.

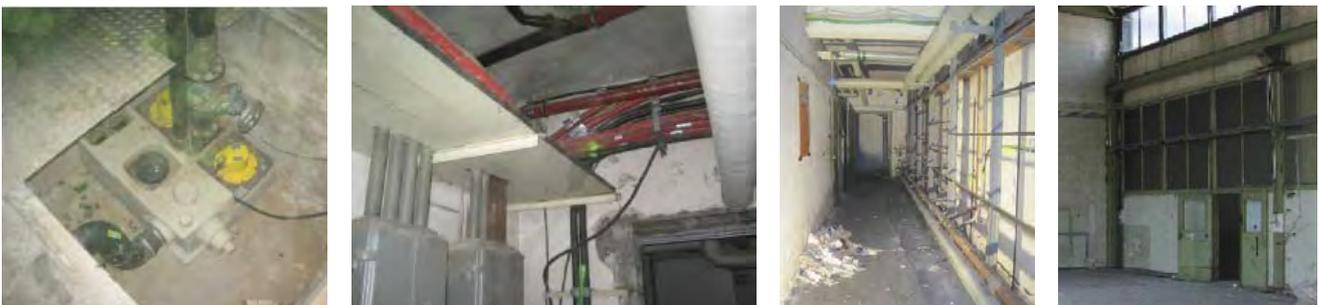


Abbildung 77: Medienversorgung

#### 4.2.3.2. Zusammensetzung der verbauten Materialien

Basierend auf den Ergebnissen einer durchgeführten maßlichen Bestandsaufnahme wird nachfolgend eine zusammenfassende Übersicht der Massen an verbauten Stoffen des Objektes (siehe Tabelle 37) dargestellt. Sie ist gegliedert in:

1. Mineralische Baustoffe
2. Organische Baustoffe
3. Metalle (in der nachfolgenden grafischen Darstellung einzeln aufgeführt)
4. Schadstoffe (Asbest, Quecksilber, KMF usw., welche gesondert behandelt werden müssen).

Diese sind wiederum in einzelne Baustoffpositionen unterteilt. Die Positionen werden mit Gewicht, der Baustoffbezeichnung und der Schlüsselcodierung nach der AVV aufgeführt.

Tabelle 37: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 3 nach AVV

Pos.	Baustoff	Gewicht [t]	AVV-Schlüssel
<b>1</b>	<b>Mineralische Baustoffe</b>	<b>2186,710</b>	
1.1	Beton	1810,490	17 01 01
1.2	Estrich	87,720	17 01 07
1.3	Glas	10,610	17 02 02
1.4	Mauerwerk	137,870	17 01 07
1.5	Ziegel	140,020	17 01 02
<b>2</b>	<b>Organische Baustoffe</b>	<b>3,241</b>	
2.1	Holz	0,150	17 02 01
2.2	Kunststoff	3,091	17 02 03
<b>3</b>	<b>Metalle</b>	<b>123,499</b>	
3.1	Aluminium	0,585	17 04 02
3.2	Gusseisen	1,857	17 04 05
3.3	Kupfer	1,586	17 04 01
3.4	Stahl	119,218	17 04 07
3.5	Zink	0,252	17 04 04
<b>4</b>	<b>Schadstoffe</b>	<b>4,160</b>	
4.1	Asbest	1,020	17 06 05
4.2	Dämmung	1,440	17 02 03
4.3	KMF	1,700	17 06 03
<b>Gesamt</b>		<b>2317,610</b>	

Entkernungselemente stellen einen Anteil von 1 Gew.-% an der Gesamtmasse dar. Zur weiteren Analyse werden die verbauten Baustoffe zusätzlich relativ dargestellt.

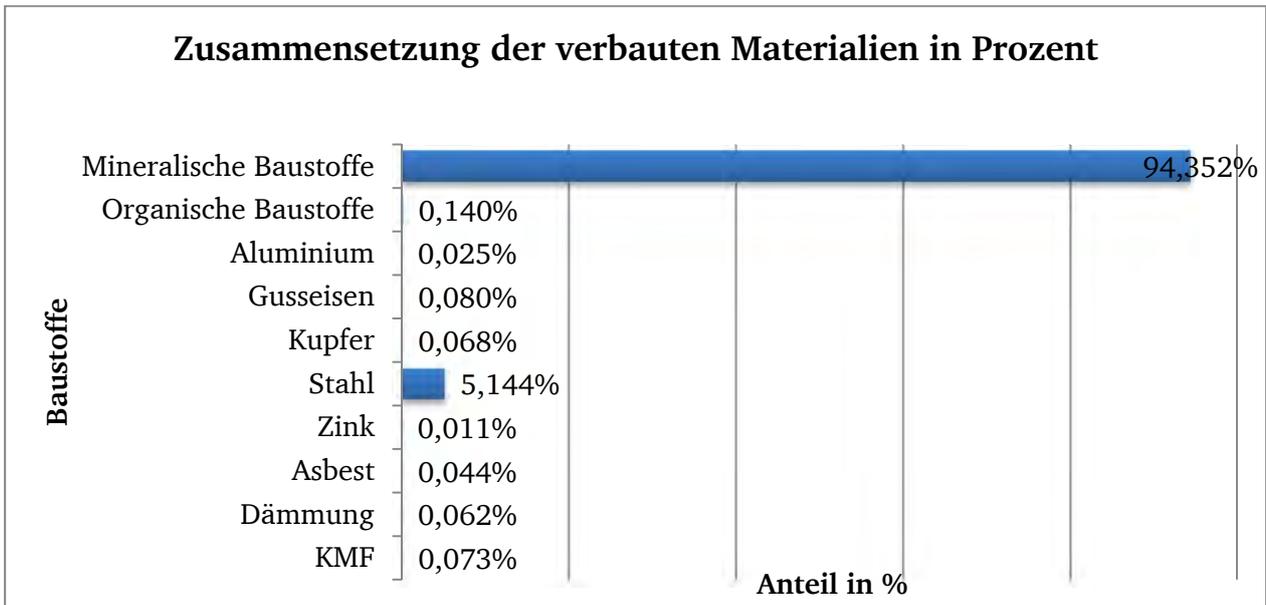


Abbildung 78: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 3 – relative Darstellung

Bedingt durch das oberirdische sowie unterirdische Tragwerk, den Versuchsstand und die Gründungkörper sind die überwiegend eingesetzten Baustoffe Beton und Stahl. Metalle wie Aluminium, Zink und Kupfer stellen nur einen sehr geringen Anteil der Gesamtmasse dar. Aus der Abbildung lässt sich ebenfalls schließen, dass Abfallbewirtschaftungsprozesse der mineralischen Baustoffe verhältnismäßig länger dauern.

#### 4.2.3.3. Ablauf der Abbrucharbeiten

Die Dauer der Abbrucharbeiten an Untersuchungsobjekt 3 belief sich auf 31 Arbeitstage (siehe Abbildung 79). Davon entfielen

- 7 Tage auf die Entkernung des Bauwerks,
- 10 Tage auf den Rückbau des oberirdischen Tragwerkes,
- 6 Tage auf den Rückbau erster Gründungkörper,
- 8 Tage auf den Rückbau des unterirdischen Tragwerkes und weiterer Gründungkörper.

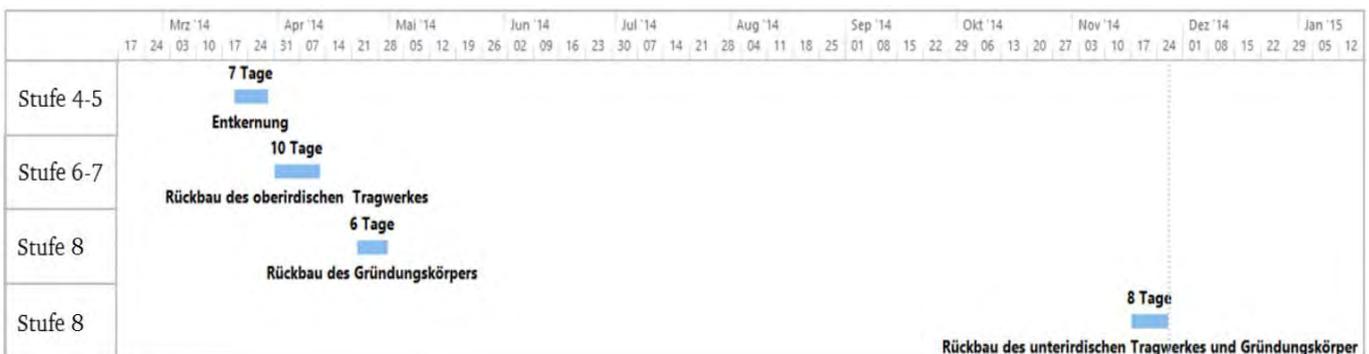


Abbildung 79: Zeitlicher Ablauf der Abbrucharbeiten

Der Ablauf soll anhand des bereits erläuterten Stufenmodells<sup>96</sup> veranschaulicht werden.

<sup>96</sup> Siehe Kapitel 4.2

- Stufe 1 Bestandsaufnahme

Auf Basis der Bestandsaufnahme sind vorwiegend emissionsarme Abbruchverfahren (s. Stufe 4 bis 9) ausgewählt worden. Es wurden im Gebäude potentielle Gefahrstoffe festgestellt.

Es waren asbesthaltige Faserzementplatten in der Außenverkleidung, Fugenmasse und Fensterkitt, die PCB enthalten, sowie Rohrummantelungen und Abdichtungselemente mit Anteilen an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) verbaut. In der Dämmung der Wasser-, Fernwärme- und Heizungsleitungen sowie hinter der Außenverkleidung sind KMF-haltige Produkte vorhanden. Darüber hinaus ist der Bodenbelag der oberirdischen Bodenplatte bzw. der Kellerdecke des Anbaus mit dem Zuordnungswert Z2 nach LAGA eingestuft.

- Stufe 2 Baustelleneinrichtung und Einrichten von Lagerplätzen

Zu Beginn des Projekts fand der Aufbau der Baustelleneinrichtung statt. Das Baufeld wurde zur Sicherung der Baustelle mit einem Bauzaun aus Gitterelementen eingezäunt. Im südlichen Bereich des Objektes wurde ein dichtschießender Bauzaun aus Holzelementen aufgestellt, um Fußgänger vor herabfallendem Abbruchmaterial zu schützen. Des Weiteren wurden ein Baucontainer, ein Container für Abbruchabfälle und eine mobile Toilettenkabine aufgestellt sowie Strom- und Wasseranschlüsse eingerichtet. Infolge der getrennten Ausschreibung der beiden Abbruchabschnitte wurden die Container nach Beendigung der Arbeiten im ersten Abschnitt geräumt. Zu Beginn des zweiten Abschnitts wurde erneut ein Container für das Personal aufgestellt. Das Aufstellen der Baustelleneinrichtung erfolgte an einem Arbeitstag. Zudem wurde das Gebäude von den Versorgungsnetzen (Gas, Wasser und Strom) getrennt.

- Stufe 3 Entrümpelung

Eine Entrümpelung hat aus Mangel an mobilen Einrichtungsgegenständen nicht stattgefunden.

- Stufe 4 und 5 Entkernung der raumauskleidenden Elemente und technischen Gebäudeausstattung

Die Arbeiten wurden von vier Arbeitskräften in Handarbeit durchgeführt. Zur Verwendung kamen Werkzeuge wie Spitzhacke, Vorschlaghammer und Brecheisen. Zunächst wurden Medienleitungen gesichert, freigeschaltet und entleert. Im Kellergeschoss wurden technische Anlagen, Türen und Fenster sowie sanitäre Anlagen und Trennwände aus Spanverbundplatten ausgebaut. Weitere unbelastete raumauskleidende Bauteile und Elemente der technischen Gebäudeausrüstung verblieben zunächst an der jeweiligen Einbaustelle und wurden im Zuge des Abbruchs des oberirdischen Tragwerks beseitigt.

Zeitgleich zu den Entkernungsarbeiten fand der Ausbau schadstoffbelasteter Bauteile statt. Ein Subunternehmen bestehend aus vier Arbeitskräften demontierte die asbesthaltige Außenverkleidung und verpackte das Abbruchmaterial in Plattensäcke. Des Weiteren wurden Stahlrahmen der Fensterflächen im Gebäudeinneren ausgebaut und ebenfalls in Plattensäcken versiegelt. Der Ausbau der Stahlrahmen fand unter Zuhilfenahme eines Hubwagens statt. Die Rahmenelemente wurden mit elektrischen Winkelschleifern voneinander getrennt und mit einer Seilwinde abgelassen. Anschließend wurde der Hubwagen zur Demontage von Leuchtstoffröhren eingesetzt. Die Rohrummantelungen im Kellergeschoss wurden händisch beseitigt.



Abbildung 80: Ausbau von Faserzementplatten sowie von Fensterkitt

Im Zuge der Demontage des Dachaufbaus wurde auf der Westseite ein Baugerüst aufgestellt. Im Anschluss wurde der Dachaufbau schichtweise ausgebaut. Die Beseitigung des Materials erfolgte über einen Teleskoplader. Das Gerüst wurde nach Abschluss der Dacharbeiten wieder entfernt.



Abbildung 81: Dachaufbau respektive Demontage des Dachaufbaus

Der in Stufe 1 beschriebene Bodenbelag verblieb bis zum Abbruch der Bodenplatte.

- Stufe 6 Rückbau der Gebäudehülle

Der Rückbau der Gebäudehülle erfolgte im Zuge der Abbrucharbeiten des ober- und unterirdischen Tragwerks.

- Stufe 7 Rückbau des Oberirdischen Tragwerks

Der Geräteführer wurde bei der Arbeit von bis zu drei Arbeitskräften unterstützt. Die Anzahl der Hilfskräfte war hierbei abhängig von der jeweiligen Arbeitsaufgabe sowie von der Verfügbarkeit der Arbeitskräfte. Für Arbeiten, bei denen Staubemissionen auftreten, wurde jedoch immer mindestens eine Arbeitskraft eingesetzt, die das Bauteil oder das Abbruchmaterial bewässerte. Außerhalb dieser Hilfstätigkeiten verrichteten die Arbeitskräfte lediglich zusätzliche Arbeiten, die für die Abbrucharbeiten nur geringfügig von Bedeutung waren.

Zu Beginn des ersten Abschnitts wurde zunächst der südliche Teil der Halle abgebrochen. Die Giebelwand auf der Westseite wurde mit einem Sortiergreifer abgegriffen bzw. eingedrückt. Der Abbruch der Gebäudehülle und des Rahmentragwerks erfolgte von West nach Ost. Der Baggerführer trennte mit der Abbruchzange zunächst den Binder von der außenliegenden Rahmenstütze und scherte diesen dann mittig ab. Anschließend wurden die Pfetten zwischen den Bindern ebenfalls mit der Abbruchzange abgetrennt. Die auf den Pfetten liegenden Trapezbleche wurden mit dem Sortiergreifer oder der Abbruchzange abgegriffen. Fensterflächen wurden mit der Abbruchzange abgegriffen oder schergeschnitten und umgelegt. Zwischen den Rahmenstützen befindliche Ausfachungen wurden nicht explizit abgebrochen, sondern fielen während des Abbruchs der Fensterflächen in sich zusammen.



Abbildung 82: Abgreifen einer Wand, Scherschneiden eines Riegels, Verladen von Abbruchmaterialien

Zum Abbruch der innenliegenden Krananlage wurden die Kranstützen und die Kranbahn mittels Abbruchzange abgetrennt. Die Kranbrücke wurde im Verlauf der Tätigkeiten abgegriffen. Im Anschluss wurde die nun freistehende Rahmenstütze mit der Abbruchzange eingezogen. Diese Tätigkeiten wiederholten sich feldweise bis zum angrenzenden Gebäude. Im Anschluss wurde der südliche Hallenteil zunächst von der Gebäudemitte ausgehend mit dem gleichen Vorgehen abgebrochen. Das anfallende Abbruchmaterial wurde fortlaufend sortiert und zeitnah zur Entsorgung in LKW geladen wird.

Im Anschluss an den Abbruch des oberirdischen Hallentragwerks wurde der Versuchsstand abgebrochen. Der Abbruch des Versuchsstandes umfasste neben dem Rückbau der Wände und Decken auch den Abbruch der Bodenplatte.

Im Zuge dieser Tätigkeiten wurde der Hydraulikbagger gegen ein kettenbereiftes gewechselt. Darüber hinaus wurden größer dimensionierte Anbaugeräte eingesetzt. Beim Abbruch des Versuchsstandes wurden die Decken und Wände im Wechsel gestemmt und pressgeschnitten. Im Anschluss daran wurde die Bodenplatte gestemmt. Während dieser Tätigkeiten wurden die jeweiligen Bauteile von einer Arbeitskraft bewässert um Staubemissionen zu binden. Analog zum Abbruch des oberirdischen Tragwerks wurde das anfallende Abbruchmaterial mit dem Bagger fortlaufend aufbereitet, sortiert und in LKW geladen. Darüber hinaus wurden vereinzelt kleinere Bauteile von dem Baggerführer und dem Hilfsarbeiter händisch aufgenommen.



Abbildung 83: Abbruch des Versuchsstandes und der Gründungskörper

- Stufe 8 Rückbau des unterirdischen Tragwerks und der Gründungskörper

Der Abbruch des Kellergeschosses erfolgte feldweise von West nach Ost. Die Kellerdecke wurde zwischen den Unterzügen abwechselnd mit dem Abbruchmeißel gestemmt und mit der Abbruchzange zerkleinert. Anschließend wurden die Unterzüge ebenfalls gestemmt und pressgeschnitten. Die innenliegenden Wände aus Ziegelmauerwerk wurden mit den jeweiligen Anbaugeräten gestemmt, eingezogen oder pressgeschnitten. Die außenliegenden Wände auf der Südseite wurden ablaufbedingt zunächst nur im oberen Drittel gestemmt und pressgeschnitten.



Abbildung 84: Stemmen und Pressschneiden der Decken

Das abgebrochene Material wurde zunächst zur Südseite hin angehäuft um eine befahrbare Böschung zu erstellen. Im Anschluss wurde das Abbruchmaterial gegen die Außenwand auf der Ostseite gehäuft, um die Standsicherheit bei der Herstellung des Verbaus zu gewährleisten. Im Verlauf der Herstellung einer Trägerbohlwand wurden die Außenwände fast vollständig beseitigt. Nach Abschluss der Verbauarbeiten wurde das Abbruchmaterial beseitigt und die noch bestehenden Wände wurden gestemmt und pressgeschnitten.

Das Stemmen des noch vorhandenen Bodenbelags erfolgte mittels Tieflöffel und Abbruchhammer. Die beiden Bagger arbeiteten gegenläufig entlang der Bodenplatte. Das anfallende Abbruchmaterial wurde zusammengehäuft und durch den Kettenbagger zur Beseitigung mit dem Tieflöffel in einen Container geladen. Der anschließende Abbruch der Bodenplatte und des darunter liegenden Maschinenfundaments wurde zu Beginn von zwei Baggern, im weiteren Verlauf mit nur einem Bagger durchgeführt. Die Bodenplatte wurde in nicht definierten Abschnitten mit dem Tieflöffel gerissen oder mit dem Abbruchhammer gestemmt. Die Aufbereitung des Abbruchmaterials der Bodenplatte erfolgte durch Stemmen der gerissenen Teile und Pressschneiden der gestemmteten Teile. Der obere Teil des Blockfundaments wurde zunächst mit dem Abbruchhammer gestemmt.



Abbildung 85: Stemmen des Blockfundament und der Bodenplatte

Im weiteren Verlauf wurde der anstehende Boden mit dem Tieflöffel seitlich zu Mieten aufgehäuft, um die tieferliegenden Teile des Blockfundaments freizulegen. Die Aufbereitung des Betonbruchs erfolgte fortlaufend mit der Abbruchzange oder der Betonschere. Das aufbereitete Abbruchmaterial wurde mit dem Tieflöffel umgesetzt und nach Eintreffen eines LKW in diesen geladen. Bodenplatte und Streifenfundamente wurden von West nach Ost gestemmt. Der Betonbruch wurde mit der Betonschere zerkleinert und anschließend mit dem Tieflöffel neben einer Böschung aufgehäuft. Abschließend wurde das Abbruchmaterial zur Beseitigung in LKW geladen.

- Stufe 9                   Endzustand herstellen

Nach Beendigung aller mit dem Abbruch der Halle verbundenen Arbeiten wurden die Großgeräte gereinigt und abtransportiert.

- Stufe 10            Potentieller Neubau

Die nachfolgenden Erdarbeiten für einen geplanten Neubau waren nicht Gegenstand der Untersuchung.

#### 4.2.4. Untersuchungsobjekt 4

##### 4.2.4.1. Objektbeschreibung

Bei dem Untersuchungsobjekt 4 handelt es sich um einen 1981 erbauten 3-geschoßigen Wohngebäudekomplex mit 12 Wohneinheiten unterschiedlicher Größe. Die Nutzung des Wohngebäudes beschränkte sich auf die Bereitstellung von Wohnraum und somit Wohnzwecke. Die Nutzungsdauer des Abbruchobjektes beläuft sich auf 32 Jahre.

Südlich des Wohngebäudes verläuft eine durchgängig befahrene öffentliche Verkehrsstraße, getrennt durch eine Grünfläche sowie einen asphaltierten Fußweg.

Westlich des Wohngebäudes verläuft ebenfalls eine durchgängig befahrene öffentliche Verkehrsstraße, getrennt durch eine Grünfläche sowie einen asphaltierten Fußweg.

Nördlich des Wohngebäudes ist eine Parkfläche vorzufinden. Die Parkfläche dient dem Abstellen von PKW für Bewohner sowohl des Untersuchungsobjekts als auch des benachbarten Wohngebäudes. Die Parkfläche wird somit in der östlichen Hälfte weiter genutzt.

Im Osten befindet sich ebenfalls eine Grünfläche sowie daran angrenzend benachbarte Wohnbebauung.



Abbildung 86: Untersuchungsobjekt 4 - Blickrichtung Süden und Norden

Die Gebäude bestehen jeweils aus einem Kellergeschoss, einem Erdgeschoss, zwei Obergeschossen und einem Dachgeschoss. Das Wohngebäude ist 11,40 m breit. Die zueinander leicht versetzten Gebäudeteile haben eine Länge von 16,05 m, 8,80 m und 9,00 m. Die Gebäudehöhe beträgt 13,45 m. Der Bruttorauminhalt (BRI) beziffert sich auf ca. 4.890 m<sup>3</sup>.

Das Gebäude ist über eine gepflasterte Zufahrt sowohl fußläufig als auch mit dem PKW zu erreichen. Man gelangt über drei Eingänge an der Ost- sowie an der Westseite in das Gebäude. Es besteht somit eine direkte Verbindung vom Wohngebäude zur Parkfläche.

Die Bodenplatte liegt direkt auf dem Erdreich und den Streifenfundamenten auf. Die Dacheindeckung besteht aus Betondachziegeln. Diese sind auf einer Holzkonstruktion befestigt. Die Holzkonstruktion ist mit Bewehrungsseisen in den Außenwänden verankert.

### Oberirdisches Tragwerk

Das Gebäude ist in Massivbauweise errichtet worden. Die tragenden Wände des oberirdischen Tragwerks sind 0,3 m stark und bestehen aus Mauerwerk. Bei den tragenden Außenwänden wurde Mauerwerk aus porosierten Ziegeln sowie Leichtbetonsteinen verwendet. Die tragenden Innenwände bestehen aus Leichtbetonsteinen und die Fensterbrüstungen aus Porenbeton. Die Geschossdecken sowie Balkone sind aus Stahlbeton gefertigt.

### Gründungskörper

Unterhalb der Geländeoberfläche befinden sich das Kellergeschoss und die Gründung. Die Außenwände und die Decke des Kellergeschosses sind aus Stahlbeton gefertigt. Die Innenwände bestehen hingegen aus Leichtbetonmauerwerk. Die Gründung der Gebäude besteht aus einer 12 cm dicken Bodenplatte und darunter liegenden Streifenfundamenten. Die Bodenplatte befindet sich 2,50 m unter GOK. Die Streifenfundamente unterscheiden sich in ihren Abmessungen voneinander.

### Raumauskleidende Elemente

Die nicht-tragenden Innenwände können anhand ihrer Dicke (11,5 cm und 24 cm) und des verwendeten Materials (Bims und Leichtbeton) unterschieden werden. An den Innenwänden befinden sich Tapeten und die Küchen und Badezimmer sind mit Wandfliesen verkleidet. In einigen Räumen sind die Zimmerdecken mit Styropor gedämmt und mit PVC verkleidet. Die raumauskleidenden Elemente der einzelnen Wohnungen unterscheiden sich nicht. Im Flur jeder Wohnung befindet sich ein Einbauschränk. Die Wandschränke, Türflügel und -zargen bestehen aus Holz.



Abbildung 87: Innenausbau der Wohnungen

In den Wohnräumen besteht der Bodenbelag aus Schichten von PVC, Laminat, Teppich und Fliesen. Unter dem Belag befindet sich eine 5 cm starke Estrichschicht. Darunter wiederum befindet sich in den Regelgeschossen eine 1,5 cm dicke Trittschalldämmung aus Styropor. Im Dachgeschoss ist diese Schicht 4 cm dick. Eine weitere Dämmung des Dachs ist nicht vorhanden. Im Dach- und im Kellergeschoss ist kein Bodenbelag vorhanden. Der Bodenbelag im Treppenhaus besteht aus Betonwerkstein. Die PVC-Fenster und Balkontüren sind doppelt verglast. Unter den Fenstern befinden sich Heizkörper aus Gusseisen. Die zugehörigen Kupferleitungen sind mit Glaswolle gedämmt. Über den Fenstern befinden sich Rollläden inkl. zugehörigen Rollladenkästen. Die sanitären Einrichtungen in Bad und WC sind aus Sanitärporzellan gefertigt. Die Hauseingangstüren sind aus Aluminium gefertigt.

## Technische Gebäudeausrüstung

Die Regenentwässerung des Gebäudekomplexes erfolgt über das nach außen geneigte Dach. Die Dachneigung beträgt 30°. Über eine Dachrinne fließt das Regenwasser zu verschiedenen Einlauftrichtern. Von dort aus wird das Wasser über 8 Metallrohre in die Kanalisation abgeführt. Im Keller von Haus 3 befindet sich die Zentralheizanlage für den gesamten Gebäudekomplex. Unter den Fenstern befinden sich Heizkörper aus Gusseisen. Die zugehörigen Kupferleitungen sind mit Glaswolle gedämmt. Die übrigen raumauskleidenden Elemente sind Auf- und Unterputzinstallationen. Vor Beginn der Abbruchmaßnahme sind bereits die meisten Stromleitungen aus dem Gebäude entfernt worden, sodass nur noch die Isolierung und die Verteilerkästen in den Räumen vorzufinden sind.



Abbildung 88: Technische Gebäudeausrüstung

### 4.2.4.2. Zusammensetzung der verbauten Materialien

Basierend auf den Ergebnissen einer durchgeführten maßlichen Bestandsaufnahme wird nachfolgend eine zusammenfassende Übersicht der Massen an verbauten Stoffen des Objektes (siehe Tabelle 37) dargestellt. Sie ist gegliedert in:

1. Mineralische Baustoffe
2. Organische Baustoffe
3. Metalle (in der nachfolgenden grafischen Darstellung einzeln aufgeführt)
4. Schadstoffe (Asbest, Quecksilber, KMF usw. welche gesondert behandelt werden müssen).

Diese sind wiederum in einzelne Baustoffpositionen unterteilt. Die Positionen werden mit Gewicht, der Baustoffbezeichnung und der Schlüsselcodierung nach der AVV aufgeführt.

Pos.	Baustoff	Gewicht [t]	AVV-Schlüssel
1	Mineralische Baustoffe	2494,926	
1.1	Beton	1655,711	17 01 01
1.2	Estrich	110,914	17 01 01
1.3	Fliesen	2,367	17 01 03
1.4	Glas	0,399	17 02 02
1.5	Kalksandstein	24,446	17 01 01
1.6	Leichtbeton	656,697	17 08 02
1.7	Poroton	35,257	17 01 03
1.8	Sanitärkeramik	0,426	17 01 03
1.9	Teppich	0,195	17 09 04
1.10	Ytong	8,225	17 08 02
1.11	Zement	0,289	17 01 06

2	Organische Baustoffe	26,448	
2.1	Holz	10,987	17 03 01
2.2	Kunststoff	0,061	17 02 03
2.3	Laminat	2,583	17 02 04
2.4	PVC	2,879	17 02 03
2.5	Styropor	9,938	17 02 03
3	Metalle	111,946	
3.1	Gusseisen	3,738	17 04 05
3.2	Stahl	108,147	17 04 05
3.3	Zink	0,061	17 04 04
4	Schadstoffe	0,800	
4.1	Asbest	0,434	17 06 05
4.2	Glaswolle	0,366	17 06 03
<b>Gesamt</b>		<b>2634,120</b>	

Abbildung 89: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 4 nach AVV

Entkernungselemente stellen einen Anteil von 13 Gew.-% an der Gesamtmasse dar. Zur weiteren Analyse werden die verbauten Baustoffe zusätzlich relativ dargestellt.

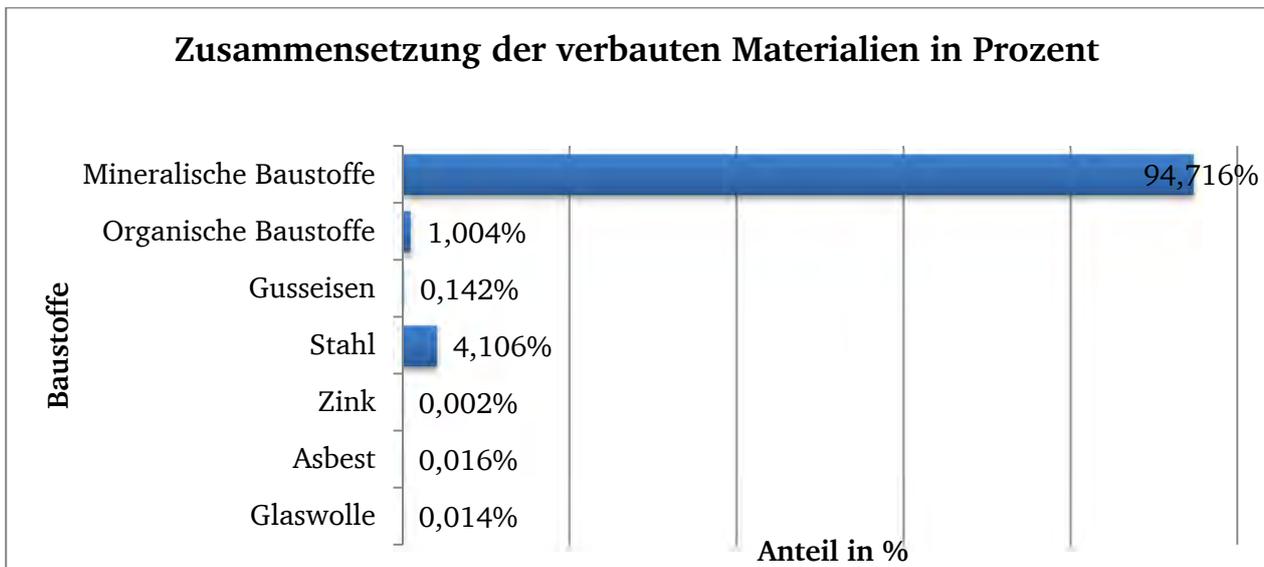


Abbildung 90: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 4 – relative Darstellung

Bedingt durch das oberirdische Tragwerk und die Gründungskörper sind die überwiegend eingesetzten Baustoffe Beton und Mauerwerk. Aus der Abbildung lässt sich ebenfalls schließen, dass Abfallbewirtschaftungsprozesse des mineralischen Bauschutts verhältnismäßig länger dauern.

#### 4.2.4.3. Ablauf der Abbrucharbeiten

Die Dauer der Abbrucharbeiten am Parkdeck belief sich auf 29 Arbeitstage (siehe Abbildung 88). Davon entfielen:

- 11 Tage auf die Entkernung des Bauwerks,
- 11 Tage auf den Rückbau des oberirdischen Tragwerks,

- 4 Tage auf den Rückbau des unterirdischen Tragwerks und des Gründungskörpers,
- 3 Tage auf die Aufbereitung der Stahlbetonabfälle.

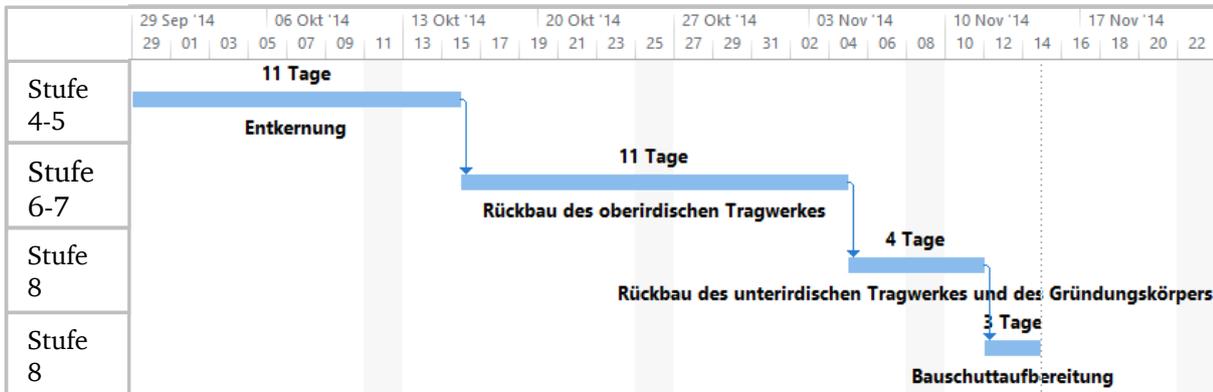


Abbildung 91: Zeitlicher Ablauf der Abbrucharbeiten

Der Ablauf soll anhand des Stufenmodells<sup>97</sup> veranschaulicht werden.

- Stufe 1 Bestandsaufnahme

Auf Basis der Bestandsaufnahme sind die Abbruchverfahren (s. Stufe 4 bis 9) ausgewählt worden. Es wurden im Gebäude potentielle Gefahrstoffe festgestellt.

Die Holztrennwände der einzelnen Kellerabteile bestehen aus Holz und die Heizungsleitungen sind mit Glaswolle (KMF) gedämmt. Des Weiteren befindet sich die mit Glaswolle gedämmte Heizungsanlage im Keller. Die Brandschutztüren und Schornsteinklappen im Keller beinhalten, ebenso wie jene im Dachgeschoss, Asbest.

- Stufe 2 Baustelleneinrichtung und Einrichten von Lagerplätzen

Die Bauzäune sind bereits einen Tag vor Beginn der Abbrucharbeiten von dem ausführenden Abbruchunternehmen aufgestellt worden. Ebenso hat dieses die Einrichtung der Sanitäreinrichtung übernommen. Für Materialien, welche im Rahmen der Entkernung anfielen, wurden entsprechende Mulden vorgesehen und hierfür eine Bereitstellungsfläche nördlich von Haus 1 eingerichtet. Insgesamt standen 3 Container (30 – 46 m<sup>3</sup>) zur Separierung der Fraktionen zur Verfügung. Zudem wurde das Gebäude von den Versorgungsnetzen (Gas, Wasser und Strom) getrennt. Weiterhin wurde eine zentrale Ablagefläche für die Anbaugeräte des Hydraulikbaggers eingerichtet.

- Stufe 3 Entrümpelung

Eine Entrümpelung hat aus Mangel an mobilen Einrichtungsgegenständen nicht stattgefunden.

- Stufe 4 und 5 Entkernung der raumauskleidenden Elemente und technischen Gebäudeausstattung

<sup>97</sup> Siehe hierzu auch Kapitel 4.3.3

Die Arbeiten wurden mit drei Arbeitskräften ausgeführt. Zwei Arbeitskräfte lösten die jeweiligen Bauteile respektive Beläge. Eine dritte Arbeitskraft beseitigte in gewissen Zeitabständen die Materialien. Zur Verwendung kamen Werkzeuge wie Spitzhacke, Vorschlaghammer und Brecheisen. Im ersten Schritt wurden die Holzeinbauten und die Bodenbeläge entfernt. Zu den Holzeinbauten zählen die Türen inklusive Zargen und die Holztrennwände im Keller. Von den Bodenbelägen wurden Teppich, PVC und Laminat ausgebaut. Die Fliesen verblieben auf den Böden, da sie mineralisch sind und mit dem Bauschutt verwertet werden können.

Im nächsten Schritt wurde der Estrich per Hand gebrochen und die darunter liegende Trittschalldämmung aus Styropor entfernt. Der Estrich ist den mineralischen Stoffen zuzuordnen und konnte daher in der Wohnung verbleiben. Das Styropor hingegen wurde gesammelt, gebündelt und getrennt in einem Container gesammelt.



Abbildung 92: Estrich brechen; Zwischenlagern gebündeltes Styropor, zu entsorgendes Styropor (v. l.)

Nach dem Entfernen der Trittschalldämmung wurden die Fenster ausgebaut und die Dächer abgedeckt sowie die zugehörige Holzkonstruktion entfernt. Die Holzkonstruktion wurde mit den übrigen Holzteilen entsorgt, da sie gemäß Altholzverordnung der Kategorie IV zugeordnet wurde. Bei den Ziegeln handelte es sich um Betondachsteine. Diese sind mineralisch und können mit dem Bauschutt entsorgt werden. Die Fenster wurden zum Teil derart ausgebaut, dass sie wieder verwendet werden können. Die übrigen Fenster wurden aus Zeitgründen, oder weil sie beschädigt waren, mit dem Brecheisen ausgebaut und vollständig im Baumischabfall entsorgt.



Abbildung 93: Ausbau der Fenster und Abdecken der Dacheindeckung

Schließlich wurde die Dämmung aus Glaswolle von den Heizungsleitungen entfernt und die Heizkörper ausgebaut. Parallel dazu wurden die asbesthaltigen Schornsteinklappen und -türen ausgebaut und fachgerecht entsorgt.

Die Entsorgung der ausgebauten Teile während des Entkernens erfolgte über die Fenster in Abfallcontainer. Dort wurde das Material gesammelt und durch einen Entsorgungsdienst abtransportiert. Sofern erforderlich wurden ausgebaute Teile in fertig entkerneten Räumen oder auf den Balkonen zwischengelagert und später entsorgt.

- Stufe 6 Rückbau der Gebäudehülle

Ein weiterer Rückbau der Gebäudehülle hat nicht stattgefunden, da die Mauerwerkswände außen lediglich verputzt waren.

- Stufe 7 Rückbau des oberirdischen Tragwerks

Zu Beginn der Abbrucharbeiten wurde mit einem Hydraulikbagger gearbeitet. Nach drei Tagen wurde ein zusätzlicher Hydraulikbagger auf die Baustelle geliefert. Der weitere Rückbau des oberirdischen Tragwerks erfolgte mit zwei Baggern.

Der allgemeine Abbruchablauf gliederte sich in drei, sich je Gebäudeteil wiederholende, Stufen. Die erste Stufe bestand im Eindrücken des Giebels mittels des Hydraulikbaggers sowie eines Abbruchstiels. Weiterhin wurden kontrolliert einzelne Trümmer heruntergezogen.

Im Anschluss erfolgte in der zweiten Stufe der geschossweise Abbruch des oberirdischen Tragwerks inklusive der Decke des Kellergeschosses. Zunächst erfolgte das Pressschneiden der Deckenfelder mittels Hydraulikbagger und Abbruchkombizange sowie dem Eindrücken und Pressschneiden der Mauerwerkswände.

Die Abbruchabfälle wurden durch einen zweiten Hydraulikbagger mittels Abbruch- und Sortiergreifer vorsortiert, mittels Pulverisierer vorzerkleinert und auf Halde gesetzt. Der entstehende Bauschutt wurde nach Abbruch der Decke oberhalb des Kellergeschosses im Kellergeschoss zwischengelagert. Somit wurde die Reichweite des Hydraulikbaggers erhöht und die Standsicherheit des Kellergeschosses gewährleistet.



Abbildung 94: Rückbau des oberirdischen Tragwerks

Nachdem das oberirdische Tragwerk abgebrochen worden war, wurde der Bauschutt mittels Muldenkipper von der Baustelle zur Brechanlage des Auftragnehmers transportiert und dort weiter verarbeitet. Der auf der Baustelle aussortierte Bewehrungsstahl wurde gesammelt und in Container verladen.

- Stufe 8 Rückbau des unterirdischen Tragwerks und der Gründungskörper

Zunächst wurde der Bauschutt aus den unterirdischen Gebäudeteilen soweit entfernt, dass mit dem Rückbau des unterirdischen Tragwerks begonnen werden konnte. Über eine Rampe im Kellerbereich von Haus 1 war die Zufahrt zur Baugrube gewährleistet.

In einem ersten Schritt wurden die Kellerwände freigelegt. Der Hydraulikbagger zog hierzu mit dem Tieflöffel einen Graben um die Kellerwände an der süd-östlichen und süd-westlichen Seite des Gebäudes. Dieser Graben wurde dann leicht abgeböscht und verdichtet, um ihn gegen Einstürzen zu

sichern. Der Aushub wurde direkt neben der Baugrube im südlichen Teil des Grundstücks gelagert. Der nächste Arbeitsschritt bestand im Pressschneiden der freigelegten Wände durch einen Hydraulikbagger mit Pulverisierer. Der entstehende Bauschutt wurde mit dem Tieflöffel auf eine Miete im Kellerbereich umgesetzt und dort mit Pulverisierer und Hydraulikhammer weiter bearbeitet respektive zerkleinert. Herausgetrennte Bewehrung wurde mittels Abbruch- und Sortiergreifer gesammelt und auf dem Baufeld zwischengelagert. Der Abtransport des Bauschutts erfolgte kontinuierlich während des Rückbaus, sodass der Hydraulikbagger die Rückbauarbeiten regelmäßig unterbrach um Bauschutt zu bearbeiten oder zu verladen.



Abbildung 95: Rückbau des unterirdischen Tragwerks; Greifen aussortierter Bewehrung (v.l.)

Im Folgenden wurde mit dem Rückbau der Gründung begonnen. Dabei wurde zunächst die Bodenplatte im Keller von Haus 3 mit dem Hydraulikhammer vorbearbeitet. Dadurch wurde die Stabilität der Bodenplatte derart beeinträchtigt, dass sie im weiteren Verlauf leichter brach. Des Weiteren ergaben sich Angriffspunkte für den Tieflöffel, um die Bodenplatte auszuheben. Da die Fundamente fest mit der Bodenplatte verbunden waren, wurden sie bei deren Entfernung gleichzeitig herausgebrochen. Der entstehende Bauschutt wurde mit dem Tieflöffel gesammelt und in der Baugrube zwischengelagert.

Im weiteren Ablauf wurden die Wände auf der nord-östlichen Seite der Gebäude zurückgebaut. Diese wurden im Gegensatz zu den anderen Kellerwänden nicht freigelegt, da das Pflaster vor dem Gebäude bestehen bleiben soll. Um die Zuwegung zur Nachbarbebauung zu erhalten, wurden zwei Reihen Pflaster ausgebaut und zwischengelagert. Anschließend wurden die Wände mit dem Haken oder dem Tieflöffel kontrolliert eingezogen.



Abbildung 96: Ausgebautes Pflaster (l.); Einziehen mit Haken (m.); Einziehen mit Tieflöffel (r.)

Nach dem Einziehen der Wandabschnitte wurde der freigelegte Boden direkt mit Aushubmaterial abgeöscht. Somit wurde ein Einstürzen der Baugrubenwände und ein Setzen der Pflasterfläche verhindert. Abschließend wurde der verbliebene Bauschutt zerkleinert und in die Brechanlage transportiert.

Die Anbaugeräte für den Hydraulikbagger sind zu Beginn und am Ende jedes Arbeitstages auf den Flächen für die Baustelleneinrichtung abgelegt worden. Während der Arbeiten wurden die

gebrauchten Anbaugeräte nahe des Arbeitsplatzes zwischengelagert, ohne dort die Arbeiten zu behindern.

- Stufe 9                   Endzustand herstellen

Zunächst wurde die Baugrube verfüllt, mit einer Walze verdichtet und abschließend die Oberfläche abgezogen. Im Anschluss wurden die Schächte versiegelt.



Abbildung 97: Abladen Sand (l.); Sand in Schichten verteilen (m.); Sand verdichten (r.)

Nach Fertigstellung aller Arbeiten unterhalb der Geländeoberfläche wurde das Baufeld bereinigt. Abschließend wurden die Großgeräte gereinigt und abtransportiert.

- Stufe 10                   Potentieller Neubau

Die nachfolgenden Arbeiten waren nicht Gegenstand der Untersuchung.

## 4.2.5. Untersuchungsobjekt 5

### 4.2.5.1. Objektbeschreibung

Bei dem Untersuchungsobjekt 5 handelt es sich um eine pyramidenförmige verglaste Stahlskelettkonstruktion, die 1996 erbaut wurde. Das freistehende, eingeschossige Gebäude ist unterkellert. Die Nutzung des Gebäudes beschränkte sich auf den repräsentativen Empfang von Besuchern eines Industrieunternehmens. Die Nutzungsdauer des Abbruchobjektes beläuft sich auf 19 Jahre.

Südlich des Bürogebäudes befindet sich eine Grünfläche mit einigen Bäumen.

Westlich des Bürogebäudes ist eine durchgängig befahrene Verkehrsstraße des Industrieunternehmens, getrennt durch eine Parkbucht vorzufinden.

Nördlich des Bürogebäudes befindet sich ein Bürogebäude, getrennt durch eine Grünfläche mit einigen Bäumen.

Im Osten befinden sich ebenfalls eine Parkfläche sowie ein durchgängig befahrener Fuß- und Radweg sowie eine Verkehrsstraße. Die Zufahrt zur Baustelle erfolgt über die öffentliche Straße und das unternehmensinterne Verkehrsnetz.

Weiterhin grenzen unterirdisch sowohl im Westen als auch im Osten unmittelbar sensible Infrastrukturleitungen zum Betrieb des Industrieunternehmens an.



Abbildung 98: Untersuchungsobjekt 5 – Blickrichtung Südwesten, Schnitt

Die maximale Gebäudehöhe über Gelände beträgt knapp 12 m, die Seitenlängen jeweils 16 m. Die Bruttogrundfläche beläuft sich auf 455,31 m<sup>2</sup>. Der Bruttorauminhalt (BRI) beziffert sich auf ca. 1625 m<sup>3</sup>.

### Oberirdisches Tragwerk

Das oberirdische Tragwerk ist in Stahlskelettbauweise errichtet worden. Die innere Erschließung erfolgt über einen Aufzugskern aus Stahlbeton.

In der Mitte der Halle befindet sich eine runde in ca. 3 m Höhe gelegene Plattform (17,12 m<sup>2</sup>). Diese wird durch eine Stahlkonstruktion getragen. Der Boden der Plattform besteht aus Beton und liegt ebenfalls auf der Stahlkonstruktion auf. Die Konstruktion besteht aus einer in der Bodenplatte eingespannte Stütze mit einem kreuzförmigen Profil. Auf der Stütz liegen zwei HEM-Träger überkreuz auf. Vier Vouten dienen zur Aussteifung der aufliegenden Träger.

### Unterirdisches Tragwerk und Gründungskörper

Unterhalb der Geländeoberfläche befinden sich das Kellergeschoss und die Gründung. Die unterirdische Konstruktion wurde in Massivbauweise<sup>98</sup> errichtet und reicht bis zu 3,70 m unter die Geländeoberfläche. Das Fundament in Form einer Flachgründung auf Streifenfundamenten befindet sich unterhalb der auskragenden Deckenplatte des Untergeschosses und nicht unterhalb der Bodenplatte (Gründungstiefe ca. 0,7 m (1,1 m unter GOK)). Die Bodenplatte hat eine Stärke von 0,65 m, die Außenwände des Untergeschosses eine Stärke von 0,30 m.

### Raumauskleidende Elemente

Das Gebäude besitzt eine nichttragende, nicht hinterlüftete Glasfassade. Diese besteht aus 116 rechteckigen (Glasfläche jeweils 2,74 m<sup>2</sup>, Stärke 0,8 cm) und 72 dreiecksförmigen Glasplatten, die auf Stahlträgern aufliegen. Zwischen den Trägern und den Glasplatten sind elastische Dichtungen aus Gummi angebracht. Die Platten sind mit Schrauben und Gummiringen an den Trägern befestigt. Der Zugang zur Plattform wird durch eine 16-stufige Wendeltreppe aus Stahl ermöglicht. Als Absturzsicherung über der Treppe zum Keller dient ein Geländer aus Glas. Eine abgehängte Decke unter der Lounge besteht aus Gipskarton (d= 12,5 mm, A = 17,12 m<sup>2</sup>). Als Fußbodenbelag wurde Granit (d=0,8 cm) verwendet. Der Sockel der Plattform ist ebenfalls mit Granitplatten bekleidet (d = 2 cm).

<sup>98</sup> Außenwände aus Stahlbeton; Innenwände aus Kalksandstein

In der Mitte des Gebäudes befindet sich eine runde ca. 9,30 m lange und 0,74 m bzw. 1,13 m hohe Empfangstheke aus Stahl, welche fest mit dem Gebäude verbunden ist.

Im Untergeschoss befinden sich abgetrennte Räume für WC, Personal und Technik (HLS und Elektro). Das Untergeschoss ist erreichbar über einen Aufzug oder einer Wendeltreppe.

Die Bekleidung der Decke im Untergeschoss besteht aus einer Alu-Gitter-Konstruktion ( $d=0,02\text{m}$ ;  $A=45,93\text{m}^2$ ).

### Technische Gebäudeausrüstung

Die Belüftung im Erdgeschoss erfolgt zum einen durch rundum geführten Lüftungsschacht im Sockel der Pyramide mit Lüftungsrohren und zum anderen über Lüftungsrohre die in der Mittelstütze liegen und über die Plattform in der Mitte der Pyramide zur Lounge geleitet werden.

Das Gebäude ist im Erdgeschoss mit einer Fußbodenheizung ausgestattet. Diese dient im Winter zum Heizen und im Sommer zum Kühlen. Die Pyramidenspitze lässt sich zur Lüftung hydraulisch öffnen.

Die Elektroinstallation wird von der Unterverteilung im Keller über Kabeltrassen aus Stahl in den Sockel der Pyramide, zur Empfangstheke und über die Mittelstütze zur Decke über der Empfangstheke geführt.

Die Ausleuchtung der Pyramide erfolgt im Erdgeschoss über 148 Leuchtstoffröhren und 60 Halogenleuchten, welche in speziell entworfenen Lampen installiert sind.

Im unteren Geschoss befindet sich die zentrale Gebäudeheizung. Die Rohrisolierung besteht aus alukaschierter Steinwolle. Zudem ist dort die Lüftungsanlage verbaut.

Weiterhin ist ein Aufzug im Gebäude verbaut. Aufzugs-Steuerungsschrank, Aufzugs-Aggregat und ein Hochleistungsventilator befinden sich ebenfalls im Untergeschoss.

#### 4.2.5.2. Zusammensetzung der verbauten Materialien

Basierend auf den Ergebnissen einer durchgeführten maßlichen Bestandsaufnahme wird nachfolgend eine zusammenfassende Übersicht der Massen an verbauten Stoffen des Objektes (siehe Tabelle 37) dargestellt. Sie ist gegliedert nach:

1. Mineralische Baustoffe
2. Organische Baustoffe
3. Metalle (in der nachfolgenden grafischen Darstellung einzeln aufgeführt)
4. Schadstoffe (Asbest, Quecksilber, KMF usw. welche gesondert behandelt werden müssen).

Diese sind wiederum in einzelne Baustoffpositionen unterteilt. Die Positionen werden mit Gewicht, der Baustoffbezeichnung und der Schlüsselcodierung nach der AVV aufgeführt.

Tabelle 38: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 5 nach AVV

Pos.	Baustoff	Gewicht [t]	AVV-Schlüssel
1	Mineralische Baustoffe	729,681	
1.1	Beton	582,802	17 01 01
1.2	Estrich	49,884	17 01 01
1.3	Gipskarton	0,652	17 08 02
1.4	Glas	15,092	17 02 02
1.5	Granit	6,045	17 05 04
1.6	Keramik	8,221	17 01 03
1.7	KSS	54,619	17 01 07

1.8	Putz	12,317	17 01 07
1.9	Teppich	0,026	17 09 04
1.10	Textil	0,023	04 02 22
<b>2</b>	<b>Organische Baustoffe</b>	<b>8,316</b>	
2.1	Bitumen	0,280	17 03 01
2.2	Gummi	2,548	17 02 03
2.3	Holz	1,697	17 03 01
2.4	Kunststoff	3,247	17 02 03
2.5	Styropor	0,544	17 02 03
<b>3</b>	<b>Metalle</b>	<b>48,876</b>	
3.1	Aluminium	0,518	17 04 02
3.2	Edelstahl	0,120	17 04 05
3.3	Gusseisen	0,075	17 04 05
3.4	Kupfer	0,553	17 04 01
3.5	Stahl	47,610	17 04 05
<b>4</b>	<b>Schadstoffe</b>	<b>1,481</b>	
4.1	Dämmung	1,460	17 06 04
4.2	Quecksilber	0,021	17 09 01
<b>Gesamt</b>		<b>788,354</b>	

Entkernungselemente stellen einen Anteil von 2,3 Gew.-% an der Gesamtmasse dar. Zur weiteren Analyse werden die verbauten Baustoffe zusätzlich relativ dargestellt.

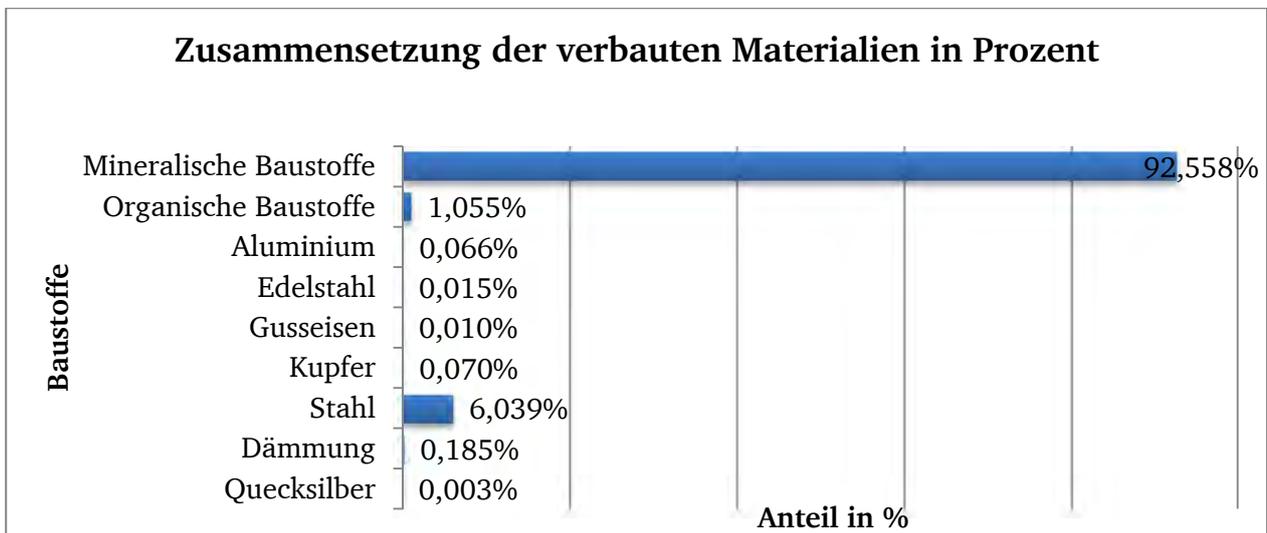


Abbildung 99: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 1 – relative Darstellung

Die Gesamtmasse des Abbruchobjektes beträgt 788,4 t. Bei der Gegenüberstellung der ermittelten Massen wird festgestellt, dass die Gebäudeteile über der Geländeoberkante mit einer Masse von 138,5 t 17,6 % der Gesamtmasse ausmachen. Die unterirdischen Bauteile überwiegen mit 649,9 t bzw. 82,4 % der Gesamtmasse. Demzufolge ist damit zu rechnen, dass die Abbrucharbeiten unterhalb der Geländeoberkante den größten zeitlichen Aufwand in Anspruch nehmen werden.

#### 4.2.5.3. Ablauf der Abbrucharbeiten

Die Dauer der Abbrucharbeiten an Untersuchungsobjekt 5 belief sich auf 34 Tage. Davon entfielen:

- 8 Tage auf die Entkernung des Bauwerks,
- 4 Tage auf den Rückbau des oberirdischen Tragwerkes,
- 12 Tage auf den Rückbau des unterirdischen Tragwerkes,
- 10 Tage auf den Rückbau der Gründungskörper und
- 3 Tage auf die Aufbereitung der Stahlbetonabfälle.

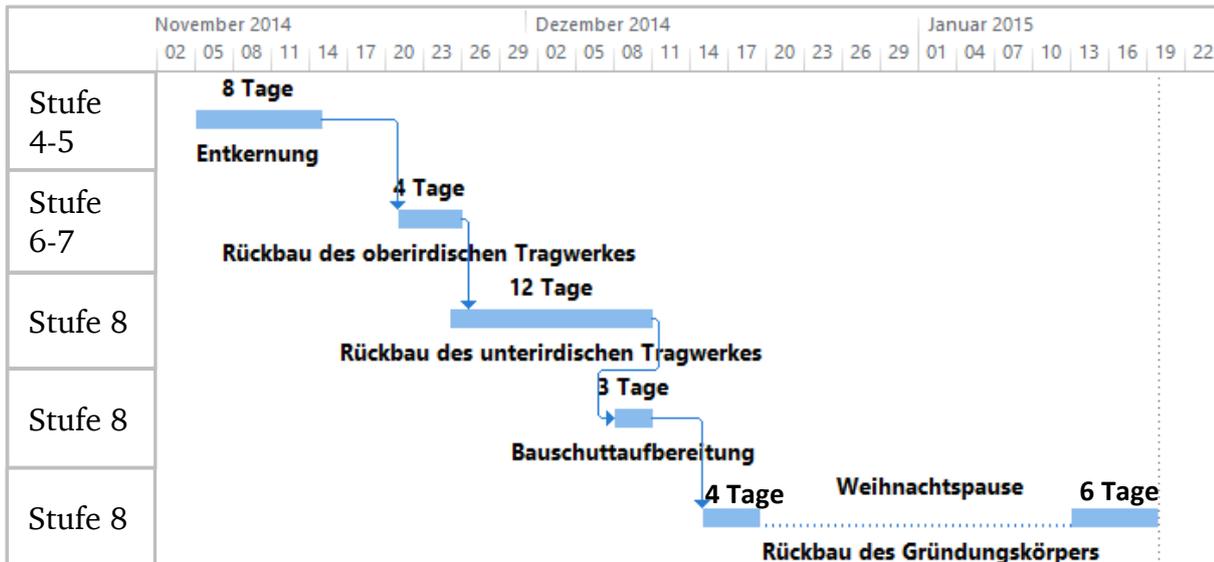


Abbildung 100: Zeitlicher Ablauf der Abbrucharbeiten

Der Ablauf soll anhand des bereits erläuterten Stufenmodells<sup>99</sup> veranschaulicht werden.

Die Gebäudehülle und das Tragwerk werden mit einem Hydraulikbagger sowie entsprechenden Anbaugeräten abgebrochen. Dieser wird während der kompletten Abbruchdauer von derselben Fachkraft bedient. Der Geräteführer wird durch ein bis zwei Hilfsarbeiter und einen Radlader unterstützt. Die Haupttätigkeiten der Hilfskräfte sind das manuelle Sortieren des Abbruchmaterials und das Bewässern zur Staubvermeidung. Der Radlader wird neben dem Sortieren von Abbruchmaterial auch zum Tanken des Baggers verwendet. Die Bodenplatte wird von einem separaten zweiköpfigen Team mit zwei Betonsägen zerteilt.

- Stufe 1 Bestandsaufnahme

Die Auswahl der Geräte wurde vertraglich eingeschränkt. Einschränkungen in der Ausschreibung haben zur Folge, dass der Einsatz von erschütterungsintensiven Verfahren, wie das Stemmen mit dem Abbruchhammer, ausgeschlossen war.

- Stufe 2 Baustelleneinrichtung und Einrichten von Lagerplätzen

Vor Beginn der Abbrucharbeiten wurde der Bauzaun aufgestellt, die Abfallcontainer geliefert und die Medien freigelegt. Weiterhin wurden ein Unterkunftscontainer mit Magazin und ein Sanitärcontainer mit einer Toilette vor Ort aufgestellt.

<sup>99</sup> Siehe Kapitel 4.2

- Stufe 3            Entrümpelung

Eine Entrümpelung hat aus Mangel an mobilen Einrichtungsgegenständen nicht stattgefunden.

- Stufe 4 und 5    Entkernung    der    raumauskleidenden    Elemente    und    technischen Gebäudeausstattung

Die Arbeiten wurden mit drei Arbeitskräften ausgeführt. Zwei Arbeitskräfte lösten die jeweiligen Bauteile respektive Bekleidungen. Eine dritte Arbeitskraft beseitigte in gewissen Zeitabständen die Materialien. Zur Verwendung kamen Werkzeuge wie Trennschleifer, Vorschlaghammer und Brecheisen.

Zunächst wurde der fest eingebaute Empfangstresen, Türen aus Holz, Beleuchtung, abhängende Decken, Isolierungen der Heizungsrohre und Elektrokabel demontiert. Weitere Metallbauteile wie Rohrleitungen der TGA wurden nicht selektiv zurückgebaut. Diese sollten konventionell mit dem oberirdischen Tragwerk abgebrochen, auf dem Baufeld vorsortiert und zusammen mit den Stahlabfällen abgefahren werden.

- Stufe 6            Rückbau der Gebäudehülle

Aufgrund der konstruktiven Verbindung der quadratischen Glasflächenplatten mit dem Stahltragwerk hat kein separater Rückbau der Gebäudehülle stattgefunden.

- Stufe 7            Rückbau des oberirdischen Tragwerks

Nach Abschluss der Entkernungsarbeiten wurde ein Hydraulikbagger mit weiteren Anbaugeräten angeliefert. Mit diesen Geräten wurden das Tragwerk und die Gebäudehülle innerhalb von vier Tagen abgebrochen. Begonnen wurde mit dem Abbruch der verglasten Stahlkonstruktion. Diese wurde mit dem Hydraulikbagger, ausgestattet mit einer Stahlschere, abschnittsweise schergeschnitten. Die anfallenden Stahl- und Glasabfälle wurden vorsortiert und auf Halde gesetzt. Anschließend wurde die auskragende Stahlkonstruktion der Zwischenebene bis auf die Stahlbeton-Innenstütze sowie der Lüftungsschacht durch Scherschneiden zurückgebaut. Nach dem Sortieren und Verladen des entstandenen Abbruchmaterials folgte der Rückbau des Fußbodenaufbaus im Erdgeschoss durch Abgreifen der Fliesen und des Estrichs mit Hydraulikbagger und Abbruch- und Sortiergreifer und Umsetzen auf eine Halde. Störstoffe wie eine verbaute Noppenbahn, Heizrohre und Dämmplatten der Fußbodenheizung wurden größtenteils mit zwei Arbeitskräften händisch aussortiert.



Abbildung 101: Rückbau des oberirdischen Tragwerks<sup>100</sup>

<sup>100</sup> Fotos von Claus Völker veröffentlicht auf [www.echo-online.de](http://www.echo-online.de) am 23.11.2014.

- Stufe 8 Rückbau des unterirdischen Tragwerks und der Gründungskörper

Zunächst wurde die Decke des Untergeschosses mit Hydraulikbagger und Abbruchkombizange sowie Pulverisierer pressgeschnitten. Diese sowie alle weiteren Arbeiten wurden von der Geländeoberkante ausgeführt. Die im Objekt verbliebenen Stahlteile der Anlagen für Heizung, Lüftung, Sanitär, Elektro und Fördertechnik wurden maschinell sowie händisch unterstützt durch eine Arbeitskraft aussortiert. Diese wurden, ebenso wie die während der Abbruchtätigkeiten aus dem Stahlbeton getrennte Bewehrung, in die Abfallcontainer verladen.

Das Pressschneiden der Außenwände kann erst nach dem Rückbau der Fundamente erfolgen, da sich das Fundament bei diesem Objekt unterhalb der Deckenplatte befindet.

Zunächst wurde aufgrund der Abmessungen der Fundamente mittels Reißzahn ein Angriffspunkt für die Abbruchkombizange gestemmt. In einem nächsten Schritt erfolgte das Pressschneiden der Stahlbetonfundamente. Anschließend wurden die unterhalb der Geländeoberkante liegenden Außenwände freigelegt. Der Aushub wurde direkt neben der Baugrube im nördlichen Teil des Grundstücks gelagert.

Der anfallende Bauschutt wurde auf der Bodenplatte zwischengelagert.



Abbildung 102: Rückbau des Untergeschosses

Der nächste Arbeitsschritt bestand im Pressschneiden der freigelegten Wände durch einen Hydraulikbagger mit Abbruchkombizange. Der entstehende Bauschutt wurde ebenfalls auf der Bodenplatte zwischengelagert und dort mit Pulverisierer und Abbruchkombizange weiter bearbeitet respektive zerkleinert. Herausgetrennte Bewehrung wurde mittels Magnet separiert und in Abfallcontainer verladen.

Zur Staubvermeidung wurden die Bauteile während der Abbrucharbeiten mit Wasser benetzt.



Abbildung 103: Bauschutt aufbereiten und verladen

Nach vollständiger Beräumung der Bodenplatte wurden zwei Betonsägen angeliefert. Mit diesen wurde die Bodenplatte innerhalb vier Tagen durch zwei Arbeitskräfte in 36 Teile zersägt. Die Teile wurden daraufhin mittels Hydraulikbagger und Pulverisierer zerkleinert und verladen.



Abbildung 104: Rückbau der Bodenplatte

- Stufe 9                      Endzustand herstellen

Nach dem Rückbau der Bodenplatte erfolgte über eine Dauer von 10 Arbeitstagen die Verfüllung der Baugrube mit dem Bagger und dem Tieflöffel sowie dem Sortierlöffel. Mit der Fertigstellung des Planums wurden die Abbrucharbeiten am 27. Februar 2015 abgeschlossen. Abschließend wurden die Großgeräte gereinigt und abtransportiert.

- Stufe 10                     Potentieller Neubau

Die nachfolgenden Arbeiten waren nicht Gegenstand der Untersuchung.

## 4.2.6. Untersuchungsobjekt 6

### 4.2.6.1. Objektbeschreibung

Bei dem Untersuchungsobjekt 6 handelt es sich um ein Fabrikgebäude, welches zuletzt gemischt genutzt wurde. Das nicht freistehende, eingeschossige Gebäude ist unterkellert. Der erste Abschnitt wurde zwischen 1935 und 1939 errichtet. Zwischen dieser Halle und der nördlichen Grundstücksgrenze wurde 1953 eine weitere Halle zur Erweiterung der Produktionsstätte errichtet. Die Nutzungsdauer der Gebäudeteile beläuft sich zum Zeitpunkt des Abbruchs auf 76 Jahre respektive 61 Jahre.

Südlich des Bürogebäudes befinden sich ein durchgängig befahrener Fuß- und Radweg sowie eine öffentliche Verkehrsstraße.

Westlich des Bürogebäudes ist eine brachliegende Fläche, getrennt durch eine private Durchfahrt vorzufinden.

Nördlich des Fabrikgebäudes befinden sich ein Wohngebäude sowie ein direkt angrenzendes Garagengebäude.

Im Osten befinden sich ein in Teilbereichen direkt angrenzendes Lagergebäude sowie Parkflächen, welche weiter genutzt werden.



Abbildung 105: Untersuchungsobjekt 5 – Blickrichtung Westen, Norden, Nordwesten

Die Höhe über Geländeoberkante beträgt 6,5 m. Das gesamte Gebäude ist 70 m lang und 25 m breit. Die Bruttogrundfläche beläuft sich auf 2700 m<sup>2</sup>. Der Bruttorauminhalt beziffert sich auf ca. 11.700 m<sup>3</sup>.

Das Abbruchobjekt lässt sich in vier Gebäudeteile mit unterschiedlichem Aufbau gliedern.

### Oberirdisches Tragwerk

Gebäudeteil 1:

Bei der Dachkonstruktion handelt es sich um ein Satteldach mit geringer Neigung und aufgesetzten Oberlichtern. Die Konstruktion besteht ausschließlich aus Holz. Die Dachhaut besteht aus Bitumenschweißbahnen. Die Dachlasten werden über Holzfachwerkbinder im Abstand von 4 m abgetragen. Diese werden jeweils in der Mitte der Halle durch eine Holzstütze gestützt (siehe Abbildung 36). Im südöstlichen Bereich der Halle befinden sich acht Stützen, so dass zehn Felder mit einer Länge von 4 m entstehen, was einer Gesamtlänge des Hallenteils von 40 m entspricht.



Abbildung 106: Gebäudeteil 1 - oberirdisches Tragwerk

Seitlich liegen die Fachwerkstrukturen auf Mauerwerkspfeilern mit den Maßen 0,4 m mal 0,4 m auf. Die Ausfachung und die restlichen Wandelemente bestehen aus Ziegelmauerwerk, teilweise mit Kalksandsteinelementen im Bereich von ehemaligen Öffnungen. Die Stärke der Außenwand in Längsrichtung sowie der früheren Außenwand und jetzigen Zwischenwand beträgt 0,25 m.

Die Decke zwischen Kellergeschoss und Erdgeschoss besteht aus bewehrtem Mauerwerk sowie in weiteren Bereichen aus Stahlbeton. Im südöstlichen Bereich der Halle wurde die Decke auf einer Länge von 13,75 m durch eine 0,3 m starke Hohlkastenbetondecke verstärkt (siehe Abbildung 38).

Gebäudeteil 2:

Bei der Dachkonstruktion handelt es sich um ein Satteldach mit geringer Neigung. Es ist ein aufgesetztes Oberlicht vorhanden. Weiterhin befindet sich eine Erhöhung des Daches in der Mitte, an deren Seiten Fenster verbaut sind. Das Dach besteht hier aus Holzplatten mit einer Stärke von insgesamt 5 cm. Die Dachhaut besteht aus Bitumenschweißbahnen. Die Lasten werden über Holzbalken und Holzfachwerkkonstruktionen in die Außenstützen aus Mauerwerk sowie in die innen liegenden Wände abgeleitet. Die Außenhülle besteht aus einer 0,4 m starken Mauer aus Ziegelsteinen.

Die Decke, mit Ausnahme der Treppenhäuser, ist eine Holzbalkendecke, auf den Außen- bzw. Innenwänden aufliegend. Im mittleren Bereich liegen die Balken in einem Raum auf einem Holzunterzug auf, der wiederum auf Holzstützen aufliegt (siehe Abbildung 45).

#### Gebäudeteil 3:

Die Dachkonstruktion ist ein Sattelwalmdach. Die Dacheindeckung besteht aus Schieferschindeln, die auf Holzbohlen mit einer Stärke von 3 cm aufliegen. Die Unterkonstruktion auf der die Holzbohlen befestigt sind, besteht aus Stahlprofilen IPE180.



Abbildung 107: Gebäudeteil 2 - oberirdisches Tragwerk

Die Dachkonstruktion liegt auf den Außenwänden auf. Die Außenwände haben in diesem Bereich eine Stärke von 0,4 m und bestehen aus Ziegelmauerwerk. Bei der Decke Obergeschoss/Dachboden handelt es sich um Holzträger, die in Querrichtung des Daches verlaufen. Hierauf befinden sich Holzdielen mit einer Dicke von 2 cm.

Die Decke Obergeschoss/Kellergeschoss besteht ähnlich wie im Hallenbereich aus bewehrtem Mauerwerk. Hier wurden Leichtbetonsteine verwendet.

#### Gebäudeteil 4:

Die Konstruktion dieses Gebäudebereichs weicht insbesondere im Bereich des Daches vom restlichen Gebäude ab. Bei der Dachkonstruktion handelt es sich um Sheddächer mit einer Schieferschindeleindeckung. Die Unterkonstruktion der Sheddächer besteht aus Stahlprofilen. Es sind 11 Sheddachfelder vorhanden. Die Dacheindeckung liegt wie in Gebäudebereich 2 auf Holzbrettern auf. Diese wiederum sind auf Stahlprofilen der schmalen I-Reihe mit einer Höhe von 140 mm befestigt. Dieser Stahlprofiltyp stellt bis auf die Querträger, auf denen die Sheddächer befestigt sind, den einzig verwendeten Typ dar. Die Dachkonstruktion ist mit den Querträgern verschraubt. Bei den Querträgern handelt es sich um Profile des Typs IPE330. Über die gesamte Hallenlänge sind Zugglieder aus Rundstahl (Durchmesser 12 mm) verbaut (siehe Abbildung 51).



Abbildung 108: Untersuchungsobjekt 6 - oberirdisches Tragwerk

Die Querträger liegen auf der Außenwand sowie auf Mauerwerkspfeilern auf. Die Außenwand hat eine Stärke von 0,4 m. Die Mauerwerkspfeiler haben Maße von 0,6 m mal 0,4 m. Die Außenwand am nördlichen Ende der Halle weist eine Stärke von 0,25 m auf.

### Unterirdisches Tragwerk und Gründungskörper

Die Stützen stehen auf Einzelfundamenten aus Stahlbeton. Die Größe der Fundamente variiert. Es sind Einzelfundamente von 0,7 m mal 0,7 m bis 1,2 m mal 1,2 m vorhanden (siehe Abbildung 55). Die Dicke variiert in einer Spanne von 0,2 m bis 0,5 m. Unter den Außenwänden, sowie den früheren Außen- und heutigen Innenwänden befinden sich Streifenfundamente. Diese sind 0,3 m bis 0,4 m breit und 0,8 m bis 1,0 m tief.

Bei der Bodenplatte handelt es sich fast im gesamten Gebäude um unbewehrten Beton mit einer Dicke von 8 cm bis 10 cm. Die Bodenplatte liegt im gesamten Gebäude direkt auf dem Erdreich und den Fundamenten auf.

#### Gebäudeteil 1:

Unterhalb der Geländeoberfläche befinden sich das Kellergeschoss und die Gründung.

Die Decke in Abschnitt 1 liegt auf fünf Unterzügen in Längs- und Querrichtung in einem Raster von 4 m x 4 m auf. Die Unterzüge liegen auf Mauerwerkspfeilern auf. Die Wände sind mit einer Stärke von 0,3 m geringfügig stärker als im Obergeschoss. Der Zugang zu diesem Bereich des Untergeschosses ist von außen durch zwei Türen möglich.

Wandstärke, Deckenkonstruktion und Lastabtrag weisen in Abschnitt 2 andere Beschaffenheiten auf. Die Stärke der Außenwände beträgt 0,4 m. Bei der Decke handelt es sich um eine Stahlbetondecke mit einer Stärke von 0,2 m. Im Abstand von 0,5 m befinden sich Stahlträger des heutigen Typs HEB160 in Querrichtung der Halle als Bewehrung in der Decke. Dies gilt jedoch nicht für die ersten 4 m von der südlichen Außenwand betrachtet. Hier liegen im Abstand von einem Meter ebenfalls Stahlträger des Typs HEB160, allerdings in Längsrichtung. Bei den Unterzügen und Stützen handelt es sich in diesem Bereich ebenfalls um Stahlträger HEB160. In Querrichtung handelt es sich um 3 Unterzüge im Abstand von 3 m mit je 3 Stützen im Abstand von 3 m. Im Bereich der Bewehrungsträger in Längsrichtung sind zwei Unterzüge im Abstand von 4 m mit je einer Stütze in der Mitte angeordnet.

#### Gebäudeteil 2:

Die Decke wird im Kellergeschoss in zwei unterschiedlichen Bereichen auf verschiedene Arten zusätzlich unterstützt. Neben Bausprießen ist eine zusätzliche Unterstützung aus Holz zu finden, aber auch eine Art Unterzug bestehend aus einer 2 cm dicken Stahlplatte, gestützt durch zwei zusammengeschweißte U120 Profile als Stütze.



Abbildung 109: Unterstützungsstruktur Decken

Die Wände im Untergeschoss sind in Lage und Stärke identisch mit den Wänden im Obergeschoss. Aus den Stützen und Wänden werden die Lasten direkt in die Fundamente geleitet.

#### Gebäudeteil 3:

Die Decke liegt auf den Außenwänden sowie zwei Stahlbetonunterzügen auf. Diese spannen, bezogen auf das Dach in Querrichtung und befinden sich im Abstand von 4 m zueinander und zu den Außenwänden. Die Unterzüge liegen auf je einem Mauerwerkspfeiler mit den Maßen 0,4 m x 0,4 m auf. Diese befinden sich ebenfalls in der Mitte (4 m Abstand zu den Außenwänden), so dass sich ein 4 m mal 4 m Raster ergibt.

#### Gebäudeteil 4:

Die Decke der Halle besteht aus Stahlbeton mit einer Dicke von 8 cm. Die Decke liegt auf der Außenwand auf einem Unterzug, der in Längsrichtung mittig verläuft, sowie auf den Stützen an der Innenwand auf. Der Kellerbereich ist durch eine Wand (Dicke 0,4 m) 12 m von der nördlichen Ecke entfernt in zwei Bereiche unterteilt. Die Maße des Unterzugs im südlichen Bereich betragen 0,25 m mal 0,4 m. Der Unterzug wiederum liegt auf Mauerwerkspfeilern mit den Maßen 0,4 m mal 0,4 m. Die Pfeiler an der Innenwand haben identische Maße mit denen im Obergeschoss. Die Pfeiler befinden sich im Abstand von 4 m.

Im nördlichen Bereich hat der Unterzug die Maße 0,3 m mal 0,4 m. Die Maße der Pfeiler sind mit 0,4 m mal 0,4 m identisch. Auch hier befinden sich die Pfeiler im Abstand von 4 m.

Kurz vor dem nördlichen Ende der Halle befindet sich ein Ausschnitt mit den Maßen 1,75 m mal 8 m in dem die Decke tiefer gelegt wurde. Die Deckenstärke beträgt 17 cm. Diese Deckenplatte liegt auf vier Kalksandsteinwänden mit einer Stärke von 25 cm auf.

### Technische Gebäudeausrüstung

Die Dachentwässerung erfolgt auf der Südseite des Objekts mittels einer Dachrinne aus Metall, der genaue Werkstoff ist unbekannt. Über fünf Fallrohre aus Kunststoff wird das Wasser in die Grundleitung geleitet. Auf der Nordseite erfolgt die Dachentwässerung über Wasserrinnen zwischen den Sheddächern. Von dort wird das Wasser über zwölf Kunststofffallrohre in die Grundleitung geleitet. Aufgrund der Richtung der Dachneigung wird eine Entwässerung nur an den Längsseiten des Gebäudes notwendig.

Im Elektroraum, welcher in der westlichen Ecke des Gebäudes liegt, sind neben der aktuellen Stromverteilung noch alte Stromverteiler vorhanden. Neben dieser Hauptverteilung existiert noch eine Unterverteilung im Kellergeschoss, Zugang von der Südseite.

Die Beleuchtung im Inneren des Gebäudes erfolgt im Kellergeschoss ausschließlich über Leuchtstoffröhren. Im Obergeschoss sind ebenfalls hauptsächlich Leuchtstoffröhren (auch in der abgehängten Decke) verbaut. Vereinzelt sind noch einzelne Glühbirnen zu finden. Zu den einzelnen

Verbrauchern führt eine Vielzahl elektrischer Leitungen. Die Leitungen sind auf Putz bzw. an der Decke verlegt.

Die Heizungsanlage liegt in einem von außen zugänglichen Kellerraum auf der Südseite des Gebäudes. Vom Gashaupthahn führen Kupferrohre zur Heizungsanlage. Es gibt eine Vielzahl von Heizkörpern im Gebäude. Diese unterscheiden sich teilweise stark in Größe und Bauart. Es sind neben Röhrenheizkörpern vor allem lange Flachheizkörper zu finden. Zu den einzelnen Heizkörpern führt eine Vielzahl von Rohrleitungen. Die Rohre sind auf Putz bzw. an der Decke verlegt und isoliert.

Es existieren zwei Wasseranschlüsse im Gebäude. Zu den einzelnen Verbrauchern (sanitäre Einrichtungen, Küche, diverse Waschbecken usw.) führt eine Vielzahl von Wasserrohren.

Im Obergeschoss ist eine Lüftungsanlage eingebaut.

### **Raumauskleidende Elemente**

Aufgrund der vielfältigen und der sich ändernden Nutzung im Laufe des Lebenszyklus des Abbruchobjekts ist eine Reihe von raumauskleidenden Elementen vorhanden. Es handelt sich hierbei um mit künstlichen Mineralfasern gedämmte Holzverkleidung sowie eine abgehängte Decke aus Metallprofilen mit Deckenelementen aus Kunststoff oder künstlichen Mineralfasern. Darüber befinden sich Dämmstoffe aus KMF. Als Bodenbelag ist stellenweise Teppichboden verlegt. Bei den noch vorhandenen Türen handelt es sich um eine doppelflügelige Glastür, eine Holztür zu einem Abstellraum, eine Brandschutztür zum Treppenhaus sowie eine Glastür mit Metallverstrebungen.

#### **Gebäudeteil 1:**

Des Weiteren befinden sich im Untergeschoss ein Heizungsraum sowie ein von außen zugänglicher Lagerraum. Die Abtrennung dieser Räume erfolgt mittels Wänden aus Ziegelmauerwerk mit einer Stärke von 15 cm. Die Gesamtlänge aller Trennwände beträgt 37 m. Im Heizungsraum befinden sich ca. 15 m<sup>2</sup> Asbestkanal.

Aus Brandschutzgründen sind alle Stützen, Pfeiler und Unterzüge mit Gipsplatten verkleidet.

Im zuletzt genannten Bereich befinden sich der Elektroraum sowie ein weiterer

Raum. Diese Räume sind durch 0,3 m dicke Wände aus Ziegelmauerwerk vom restlichen Bereich und vom Flur abgetrennt. Der Zugang zu diesem Bereich erfolgt über eine Betonrampe im Flur.

#### **Gebäudeteil 2:**

Das Treppenhaus der Eingangstreppe ist mit Mauerwerkswänden mit einer Stärke von 15 cm abgetrennt. Bei der Abtrennung des Treppenhauses der Kellertreppe handelt es sich um ein Holzfachwerk mit Kalksandsteinausfachungen. Auf einem Teil des Treppenhauses befindet sich ein Stahlbetondeckel mit einer Stärke von 15 cm (siehe Abbildung 44).

Der zuletzt als Küche genutzte Raum ist ebenfalls mit einer Kalksandsteinwand (15 cm) abgetrennt. Im Bereich der Eingangstreppe befinden sich zwei kleine Räume. Neben den Ziegelmauerwerkswänden zur Eingangstreppe sind hier das bereits genannte Holzfachwerk mit Kalksandsteinausfachung sowie Holzfachwerk mit darauf angebrachten Holzwolke-Leichtbauplatten als Wände zu finden.

Der Bodenbelag im Obergeschoss besteht aus dünnen Pressspanplatten und Gussasphalt sowie Fliesen und Holzdielen.

#### **Gebäudeteil 3:**

Im Obergeschoss befinden sich ausschließlich nichttragende Wände aus Kalksandstein mit einer Stärke von 15 cm. Der Zugang in das Obergeschoss ist über den Gebäudebereich 2 oder den Gebäudebereich 4 möglich. Ein direkter Zugang besteht nicht.

#### 4.2.6.2. Zusammensetzung der verbauten Materialien

Basierend auf den Ergebnissen einer durchgeführten maßlichen Bestandsaufnahme wird nachfolgend eine zusammenfassende Übersicht der Massen an verbauten Stoffen des Objektes (siehe Tabelle 37) dargestellt. Sie ist gegliedert in:

1. Mineralische Baustoffe
2. Organische Baustoffe
3. Metalle (in der nachfolgenden grafischen Darstellung einzeln aufgeführt)
4. Schadstoffe (Asbest, Quecksilber, KMF usw. welche gesondert behandelt werden müssen).

Diese sind wiederum in einzelne Baustoffpositionen unterteilt. Die Positionen werden mit Gewicht, der Baustoffbezeichnung und der Schlüsselcodierung nach der AVV aufgeführt.

Pos.	Baustoff	Gewicht [t]	AVV-Schlüssel
<b>1</b>	<b>Mineralische Baustoffe</b>	<b>2424,034</b>	
1.1	Beton	971,700	17 01 01
1.2	Dachpappe	73,680	-
1.3	Gips	21,040	17 08 02
1.4	Mauerwerk	1256,240	17 01 02
1.5	Schiefer	16,070	-
1.6	Ziegel	65,660	17 01 02
1.7	60% Baumisch- und Siedlungsabfall	19,644	-
<b>2</b>	<b>Organische Baustoffe</b>	<b>186,406</b>	
2.1	Holz (30% Baumisch- und Siedlungsabfall)	183,132	17 02 01
2.2	Kunststoff (10% Baumisch- und Siedlungsabfall)	3,274	17 02 03
<b>3</b>	<b>Metalle</b>	<b>111,950</b>	
3.1	Eisen	6,745	17 04 05
3.2	Kupfer	1,336	17 04 01
3.3	Stahl	103,697	17 04 05
3.4	Zink	0,172	17 04 04
<b>4</b>	<b>Schadstoffe</b>	<b>14,580</b>	
4.1	Asbest	1,380	17 06 05
4.2	KMF	13,200	17 06 03
4.3	Quecksilber	0,000	17 09 01
<b>Gesamt</b>		<b>2736,970</b>	

Abbildung 110: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 6 nach AVV

Entkernungselemente stellen einen Anteil von 7,8 Gew.-% an der Gesamtmasse dar. Zur weiteren Analyse werden die verbauten Baustoffe zusätzlich relativ dargestellt.

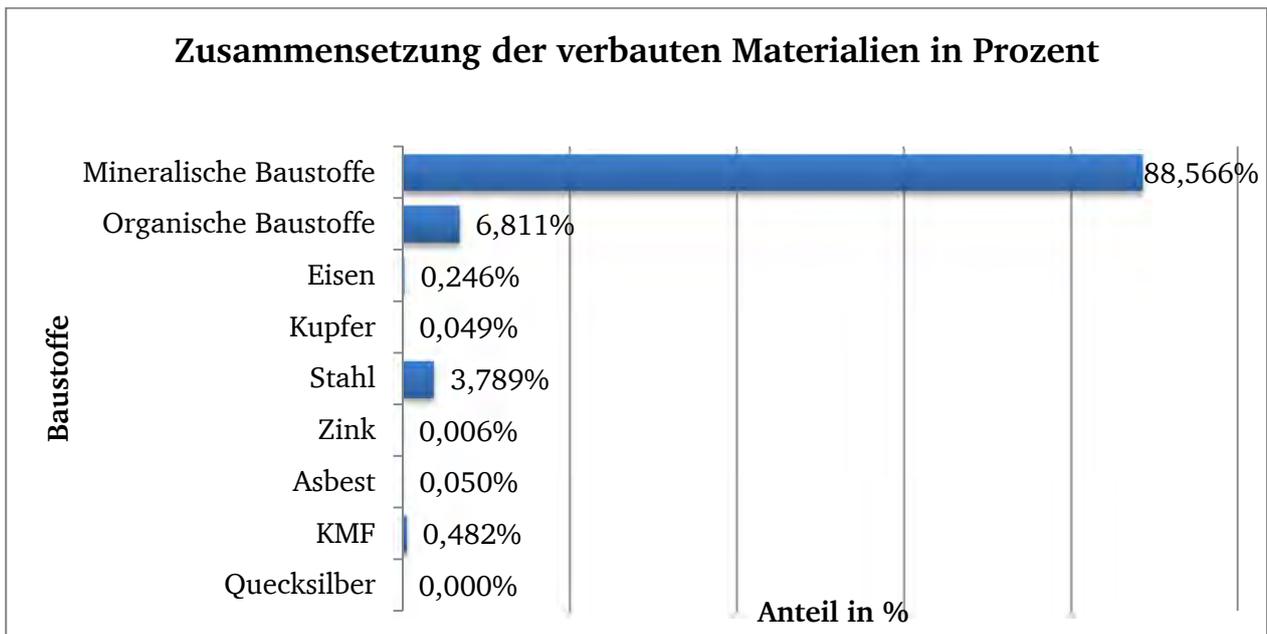


Abbildung 111: Massenermittlung Untersuchungsobjekt 6 – relative Darstellung

Die Gesamtmasse des Abbruchobjektes beträgt 2.738 t. Bedingt durch das oberirdische sowie unterirdische Tragwerk sind die überwiegend eingesetzten Baustoffe Beton, Mauerwerk und Holz. Metalle wie Zink und Kupfer stellen nur einen sehr geringen Anteil der Gesamtmasse dar. Aus der Abbildung lässt sich ebenfalls schließen, dass Abfallbewirtschaftungsprozesse mineralischer und organischer Baustoffe verhältnismäßig länger dauern werden.

#### 4.2.6.3. Ablauf der Abbrucharbeiten

Die Dauer der Abbrucharbeiten am Untersuchungsobjekt 6 belief sich auf 46 Arbeitstage. Davon entfielen:

- 14 Tage auf die Entrümpelung, Entkernung und Schadstoffentfrachtung des Objektes,
- 23 Tage auf den Rückbau des Tragwerkes und
- 9 Tage auf die Aufbereitung der Abbruchabfälle.

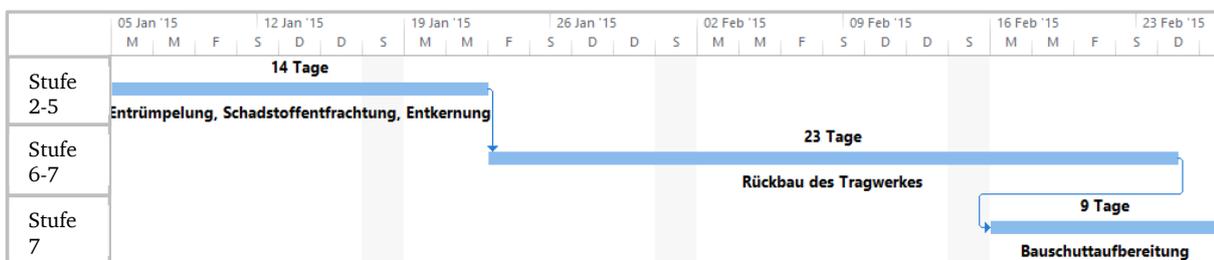


Abbildung 112: Zeitlicher Ablauf der Abbrucharbeiten

Der Ablauf soll anhand des Stufenmodells<sup>101</sup> veranschaulicht werden.

<sup>101</sup> Siehe hierzu auch Kapitel 4.3.3

Die Gebäudehülle und das Tragwerk wurden mittels Hydraulikbagger und zugehöriger Anbaugeräte abgebrochen. Dieser wurde während der kompletten Abbruchdauer von demselben Geräteführer bedient. Der Geräteführer wurde durch ein bis drei Arbeitskräfte unterstützt. Die Haupttätigkeiten der Arbeitskräfte waren das manuelle Sortieren des Abbruchmaterials und das Bewässern zur Staubvermeidung. Ein weiterer Hydraulikbagger nahm nachgelagerte Tätigkeiten wie das Sortieren der Abfälle, Aufbereiten der Stahlbetonabfälle oder Umlagern der Abfälle auf Haufwerke vor.

- Stufe 1 Bestandsaufnahme

Auf Basis der Bestandsaufnahme sind die Abbruchverfahren (s. Stufe 4 bis 9) ausgewählt worden. Als potentielle Gefahrstoffe wurden KMF, asbesthaltige Bauteile sowie Quecksilber in Leuchtstoffröhren festgestellt.

- Stufe 2 Baustelleneinrichtung und Einrichten von Lagerplätzen

Vor Beginn der Abbrucharbeiten wurde der Bauzaun aufgestellt, die Abfallcontainer geliefert und die Medien freigelegt. Weiterhin wurden ein Unterkunftscontainer mit Magazin und ein Sanitärcontainer mit einer Toilette vor Ort aufgestellt.

- Stufe 3 Entrümpelung

Im Rahmen der Entrümpelung wurden im gesamten Gebäude lose Teile (Möbiliar, Holzeinbauten, Türen) demontiert, in die Fraktionen Holzabfälle, Baumisch-/Siedlungsabfall und künstliche Mineralfasern vorsortiert und zunächst im Gebäude zwischengelagert. Die hierzu verwendeten Werkzeuge waren Spitzhacke, Schaufel, Vorschlaghammer und Brecheisen. Die Arbeiten wurden von einer Kolonne mit vier Arbeitskräften durchgeführt. Drei Arbeitskräfte führten die Demontagearbeiten durch, eine Arbeitskraft transportierte diese mit Schubkarren oder manuell.

- Stufe 4 und 5 Entkernung der raumauskleidenden Elemente und technischen Gebäudeausstattung

Die Arbeiten wurden mit 3 Arbeitskräften ausgeführt. Zwei Arbeitskräfte lösten die jeweiligen Bauteile respektive Bekleidungen. Eine dritte Arbeitskraft beseitigte in gewissen Zeitabständen die Materialien. Zur Verwendung kamen Werkzeuge wie Trennschleifer, Vorschlaghammer und Brecheisen. Zudem wurde ein Kompaktlader für Transport- und Entkernungstätigkeiten innerhalb des Gebäudes eingesetzt. Die Abfälle im Obergeschoss wurden aus dem Abbruchobjekt verbracht, sortiert und abgefahren.

Zunächst wurden sämtliche Wand- sowie im Untergeschoss Stützenverkleidungen mit dahinter liegender Dämmung aus KMF sowie nichttragende Zwischenwände entfernt. Weiterhin wurden der Teppichboden und die darunter liegenden Holzdielen entfernt sowie die Holztüren und die Türzargen ausgebaut. Der Teppich wurde in Bahnen geschnitten, mit Hilfe einer Schaufel oder eines Brecheisens am Anfang vom Boden gelöst und dann in Bahnen abgezogen. Die abgehängte Decke wurde samt KMF-Dämmung entfernt und die Abfälle sortiert. Elektrische Leitungen, die sich in der abgehängten Decke befanden, wurden separiert.



Abbildung 113: Entkernungsarbeiten

- Stufe 6 Rückbau der Gebäudehülle

Aufgrund der konstruktiven Verbindung der Gebäudehülle mit dem Tragwerk hat kein separater Rückbau der Gebäudehülle stattgefunden.

- Stufe 7 Rückbau des oberirdischen Tragwerks

Nach Abschluss der Entkernungsarbeiten wurde ein Hydraulikbagger mit weiteren Anbaugeräten angeliefert. Mit diesen Geräten wurden das Tragwerk und die Gebäudehülle gebäudeteilbezogen innerhalb von 23 Tagen abgebrochen. Dem Abbruch nachgelagerte Aufbereitungs- und Sortierarbeiten erfolgten ebenfalls gebäudeteilbezogen.

Gebäudeteil 1:

Mittels Hydraulikbagger und Abbruch- und Sortiergreifer wurde zunächst die Außenwand abgegriffen. Anschließend wurde die Dachkonstruktion über die gesamte Hallenbreite ebenfalls abgegriffen oder eingezogen. Die anfallenden Abfälle wurden sortiert und teilweise zwischengelagert.



Abbildung 114: Gebäudeteil 1 - Rückbau oberirdisches Tragwerk

Weiterhin wurde die Geschossdecke eingeschlagen, so dass der Hydraulikbagger sich relativ frei auf der Bodenplatte des Objektes bewegen konnte.

Die Erhöhung der Geschossdecke mit Stahlbeton wurde mittels Hydraulikbagger und Abbruchhammer gestemmt. Große Stahlbetonteile wurden mittels Hydraulikbagger und Pulverisierer in kleinere Teile zerlegt.

Gebäudeteil 2 und 3:

Der Hydraulikbagger griff mit Hilfe eines Abbruch- und Sortiergreifers das Dach ab. Die aus Holzbalken bestehende Geschossdecke wurde ebenfalls abgegriffen. Für den Rückbau der Wände kamen die Verfahren Abgreifen und Eindrücken, jeweils mit Hilfe des Hydraulikbaggers bestückt mit einem Abbruch- und Sortiergreifer, zum Einsatz.



Abbildung 115: Gebäudeteil 2 und 3 - Rückbau oberirdisches Tragwerk

#### Gebäudeteil 4:

Mittels Hydraulikbagger und Abbruch- und Sortiergreifer erfolgte das Abgreifen oder Eindrücken der ehemaligen Innenwand (nun Außenwand da die Nachbarhalle bereits abgebrochen wurde). Nachdem die Querträger aus Stahlprofil mittels Hydraulikbagger und Abbruch- und Sortiergreifer abgegriffen worden waren, erfolgte das Einziehen des Sheddaches mittels Hydraulikbagger und Sortiergreifer. Hierbei war es teilweise erforderlich, dass ein zweiter Hydraulikbagger, ausgerüstet mit einem Tieflöffel, die Außenwand zur Nachbarbebauung zur Verhinderung des Kippens stützte. Schließlich wurde die Außenwand in Richtung der Baustelle mittels Hydraulikbagger und Abbruch- und Sortiergreifer oder Tieflöffel gezielt eingedrückt. Das Einschlagen der Geschossdecke erfolgte ebenfalls mittels Hydraulikbagger und Abbruch- und Sortiergreifer.



Abbildung 116: Gebäudeteil 4 - Rückbau oberirdisches Tragwerk

Zum Schutz der Nachbarbebauung wurde das letzte Sheddach-Element mit Hilfe eines Hydraulikbaggers, ausgerüstet mit einem Abbruch- und Sortiergreifer, fixiert während die Stahlträger der Sheddach-Konstruktion von einer Hubarbeitsbühne aus mittels Schneidbrenner von einer Arbeitskraft getrennt wurden. Anschließend wurde das Dach, ohne die Gefahr der Beschädigung der Nachbarbebauung, eingezogen.

Nach dem Sortieren und Umsetzen des mineralischen Abbruchmaterials auf eine Halde folgt der Rückbau der Gründungskörper

- Stufe 8 Rückbau der Gründungskörper

Während der Abbrucharbeiten der Halle wurde mittels Hydraulikbagger, ausgerüstet mit einem Sieblöffel, begonnen die Fundamente in den bereits abgebrochen Gebäudebereichen abzugreifen bzw. zu reißen. Die Bodenplatte wurde im Vorfeld bereits größtenteils durch das Eigengewicht der Hydraulikbagger zerstört. Verbliebene Teile der Bodenplatte wurden zusammen mit den Fundamenten entfernt.

- Stufe 9                    Endzustand herstellen

Zur Aufbereitung des Bauschutts wurden eine mobile Backenbrechanlage sowie ein Radlader angeliefert. Der Hydraulikbagger beschickte die Brechanlage mit dem Abbruchmaterial, während der Radlader das aufbereitete Material auf einem neuen Haufwerk zwischenlagerte. Über Magnetabscheider aussortierte Stahlabfälle werden zu einem späteren Zeitpunkt per Hand, mit dem Radlader oder dem Hydraulikbagger in einen Container geladen.



Abbildung 117: Bauschutttaufbereitung

Mit dem Einbau des Recyclingmaterials und Fertigstellung des Grobplanums wurden die Abbrucharbeiten abgeschlossen. Abschließend wurden die Großgeräte gereinigt und abtransportiert.

- Stufe 10                    Potentieller Neubau

Die nachfolgenden Arbeiten waren nicht Gegenstand der Untersuchung.

### 4.3. Methodik der Arbeitszeitstudien

Die eigentliche Analyse der im Rahmen der In-Situ-Untersuchungen gewonnenen Daten nach REFA erfolgte in **P4.4**. Für die Analyse wurde zunächst ein Ablaufschema entwickelt, das in grober Form die Einzelschritte der Analyse vorgibt, sofern dies durch die projektspezifisch gegebenen Daten möglich war. Dieses wird nachfolgend beschrieben.

#### 4.3.1. Zielesetzung der Arbeitszeitstudien

Das Ziel der Studie ist es, über die Ermittlung von Grund-, Verteil- und Erholungszeiten die Aufwandswerte für Abbruchvorgänge zu berechnen (siehe Abbildung 118). Der Aufwandswert beschreibt den zeitlichen Aufwand je ausgeführter Bezugsmenge (z.B. h/m<sup>3</sup>) und wird auch als Stundenaufwand bezeichnet. Mit Angabe der auszuführenden Menge ist es möglich, die Ausführungszeit zu bestimmen. Die Auftragszeit, bestehend aus der Summe der Rüst- und Ausführungszeit, bildet die Basis für eine transparente Terminplanung.<sup>102</sup>

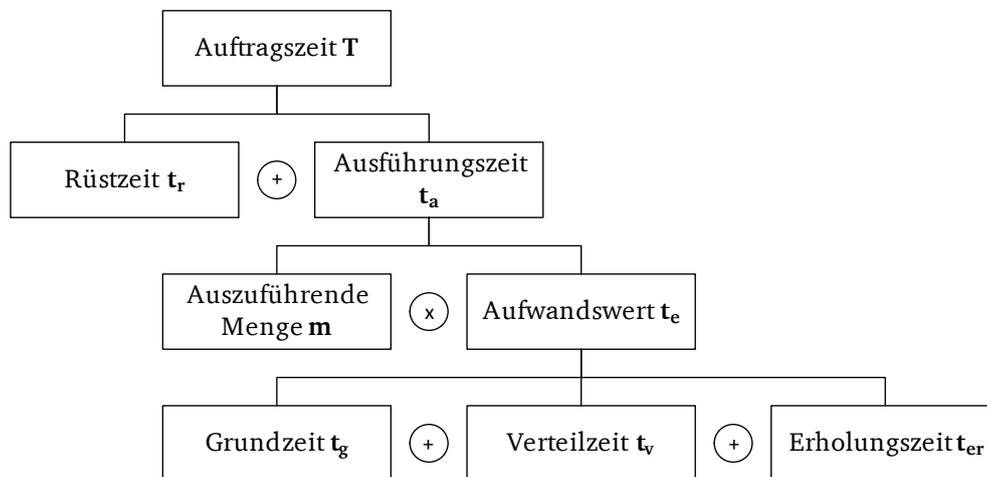


Abbildung 118: Vereinfachte Darstellung der REFA Zeitengliederung<sup>103</sup>

#### 4.3.2. Arbeitssystem und Kopfbogen

Für die Datenaufnahme ist es erforderlich, die ausgeführten Mengen und den zeitlichen Aufwand für eine bestimmte Arbeitsaufgabe zu dokumentieren. Die Reproduzierbarkeit dieser Werte ist aber nur dann gewährleistet, wenn zusätzlich die Arbeitsbedingungen und Einflussgrößen mitbestimmt werden. Diese werden in einem Arbeitssystem (siehe Abbildung 35) festgehalten.<sup>104</sup>

<sup>102</sup> Vgl. Autorenteam REFA (2013), S. 112 ff. und Künstner (1984), S. 31 f. und S. 36.

<sup>103</sup> In Anlehnung an Autorenteam REFA (2013), S. 113.

<sup>104</sup> Vgl. Künstner (1984), S. 11 f.

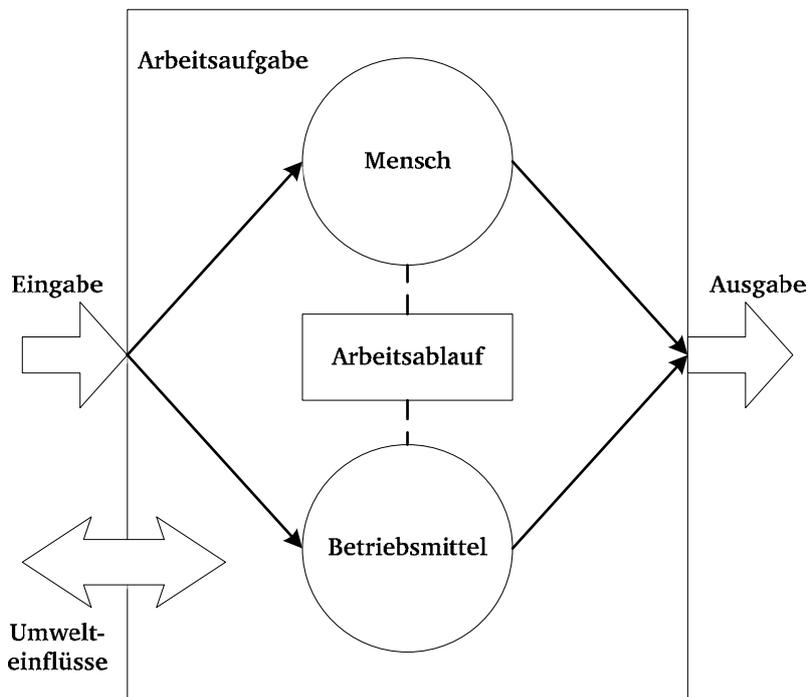


Abbildung 119: Arbeitssystem nach REFA<sup>105</sup>

Die in Abbildung 119 angeführten Schlüsselbegriffe werden dazu im Folgenden erläutert:<sup>106</sup>

- **Arbeitsaufgabe**  
Die Arbeitsaufgabe bestimmt den Inhalt des Arbeitssystems und wird häufig mit Angabe der Haupttätigkeit und dem zu bearbeitenden Objekt angegeben (z.B. Bearbeitung Stahlabfälle oder Demontage Schutzplanken).
- **Arbeitsablauf**  
Den Mittelpunkt der Arbeitszeitstudie bildet der Arbeitsablauf. Zu erfassen sind die örtliche und zeitliche Abfolge der Vorgänge. Des Weiteren sind die angewendeten Arbeitsverfahren, -methoden und -weisen zu dokumentieren. Das Arbeitsverfahren (Abbruchverfahren) gibt die Technologie an, welche zur Veränderung des Arbeitsgegenstandes führt (z.B. Pressschneiden einer Stahlbetondecke mit Hydraulikbagger und Abbruchzange). Die Arbeitsmethode ist bei einem ausgewählten Arbeitsverfahren als notwendige Vorgehensweise zur Ausführung der Arbeitsmethode zu verstehen. Die Arbeitsweise beschreibt die individuelle Ausführung der Arbeitskräfte um die Arbeitsmethode durchzuführen. Sie ist durch die anatomischen Eigenschaften der Arbeitskraft gegeben. Als letztes sind die eingesetzten Betriebsmittel und die beteiligten Arbeitskräfte mit aufzuführen.
- **Betriebsmittel**  
Die eingesetzten Betriebsmittel und Kleinwerkzeuge zählen zu den Kapazitäten des Arbeitssystems, mit deren Hilfe die Veränderung der Eingabe erzielt wird. Sie sind mit den leistungsbestimmenden Daten anzugeben (z.B. Hydraulikbagger mit Gewichtsangabe).

<sup>105</sup> In Anlehnung an Berg (1984), S. 52.

<sup>106</sup> Vgl. Berg (1984), S. 52 ff. und Künstner (1984), S. 13 ff.

- Mensch  
Der Mensch ist ebenfalls als Kapazität des Arbeitssystems mit aufzuführen. Neben der Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte ist auch die Qualifikation oder der Beruf der Person mit zu erfassen, um die erbrachte Leistung bewerten zu können.
- Eingabe  
Unter der Eingabe wird der zu bearbeitende Arbeitsgegenstand mit seinen Eigenschaften aufgefasst (z.B. Zusammensetzung des Baustoffes, Bauteilart, Konstruktionsprinzip usw.).
- Ausgabe  
In der Ausgabe wird das Arbeitsergebnis mit der ausgeführten Menge festgehalten (z.B. Ausgeführte Menge Stahlbeton in m<sup>3</sup>).
- Umwelteinflüsse  
Zu den Umwelteinflüssen zählen physikalische Einflüsse (z.B. Emissionen, Klima), organisatorische Einflüsse (z.B. Bereitstellung von Planunterlagen) und soziale Einflüsse (z.B. Betriebsklima). Sie wirken von außen auf das in sich geschlossene Arbeitssystem ein.

Um das Arbeitssystem für eine Arbeitsaufgabe zusammenzufassen sowie die Nachvollziehbarkeit eines Arbeitssystems auch nach längerer Zeit zu gewährleisten, wurde für jede Einzelzeitaufnahme ein Kopfbogen erstellt. Dieser enthält alle wesentlichen Informationen über die Arbeitsaufgabe, den Arbeitsablauf, das Arbeitsergebnis und die Einflussgrößen. Weiterhin hat der Kopfbogen die Aufgabe, die Ergebnisse in einer einheitlichen und übersichtlichen Form verständlich darzustellen.<sup>107</sup> In nachfolgender Abbildung ist exemplarisch für die durchgeführte Datenermittlung ein Kopfbogen für die Arbeitsaufgabe „Rückbau Gründungskörper – Bodenplatte“ des Untersuchungsobjekt 1 dargestellt.

---

<sup>107</sup> Vgl. Silbe, S. 153 f.

Zeitaufnahme	Beobachter	Anzahl Blätter Zeitaufnahme	2	Skizze
9-1		Anzahl Blätter Zwischenauswertung	2	
Ort:	Darmstadt, Petersenstraße	Firma:		
Tag:	16.10.2013	Baustelle:	Parkdeck TU Darmstadt	
Beschreibung der Arbeitsaufgabe: Rückbau Gründungskörper - Bodenplatte				
<b>DIE ARBEITSZEIT BEEINFLUSSENDE FAKTOREN</b>				
Arbeitsmethode: Reißen der Bodenplatte mit Hydraulikbagger und Tieflöffel bzw. Umsetzen der Abfälle mit Hydraulikbagger und Abbruchgreifer				
Betriebsmittel: 350 LCD-8 (34,3 t, 184 kW) mit Tieflöffel: Eigenherstellung (b = 2,0 m, V = 2,4 m³), LCD-8 (25,3 t, 125 kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer L-36 (2,21 t, 960 l)				
Arbeitsplatz: Abbruchhöhe GOK, Hydraulikbagger steht auf Bodenplatte.				
Arbeitsgegenstand, Baustoffe: Stahlbetonbodenplatte				
Betongüte: unbekannt, d = 20 cm mit Mattenbewehrung, einlagig, Ø 4 mm				
Ausgeführte Menge (Aufmaß, Beobachtung): 5,625 m³ Stahlbeton				
Witterung & Temperatur: Sonnig (14°C)				
Sonstige Einflüsse: Erschütterungsarmer Rückbau				
Arbeiter (m. Berufsgruppe)		Dauer der Ausübung		Alter
AK 1 : Baggerführer mit Tieflöffel		ca. 8 h		52
AK 2 : Baggerfahrer mit Abbruchgreifer		ca. 8 h		41

Abbildung 120: Kopfbogen für ein Arbeitssystem nach REFA<sup>108</sup>

### 4.3.3. Strukturierung der Abläufe

Die Arbeitsabläufe wurden mit dem allgemeinen Stufenmodell<sup>109</sup> und den Ablaufabschnitten nach REFA<sup>110</sup> strukturiert.

<sup>108</sup> In Anlehnung an Künstner (1984), S. 54.

<sup>109</sup> Vgl. Bilitewski (1993), S. 20 ff. und Schröder (2013), S. 6 f. und Silbe (1999), S. 23 ff.

<sup>110</sup> Vgl. Berg (1984), S. 57 ff. und Künstner (1984), S. 13 ff.

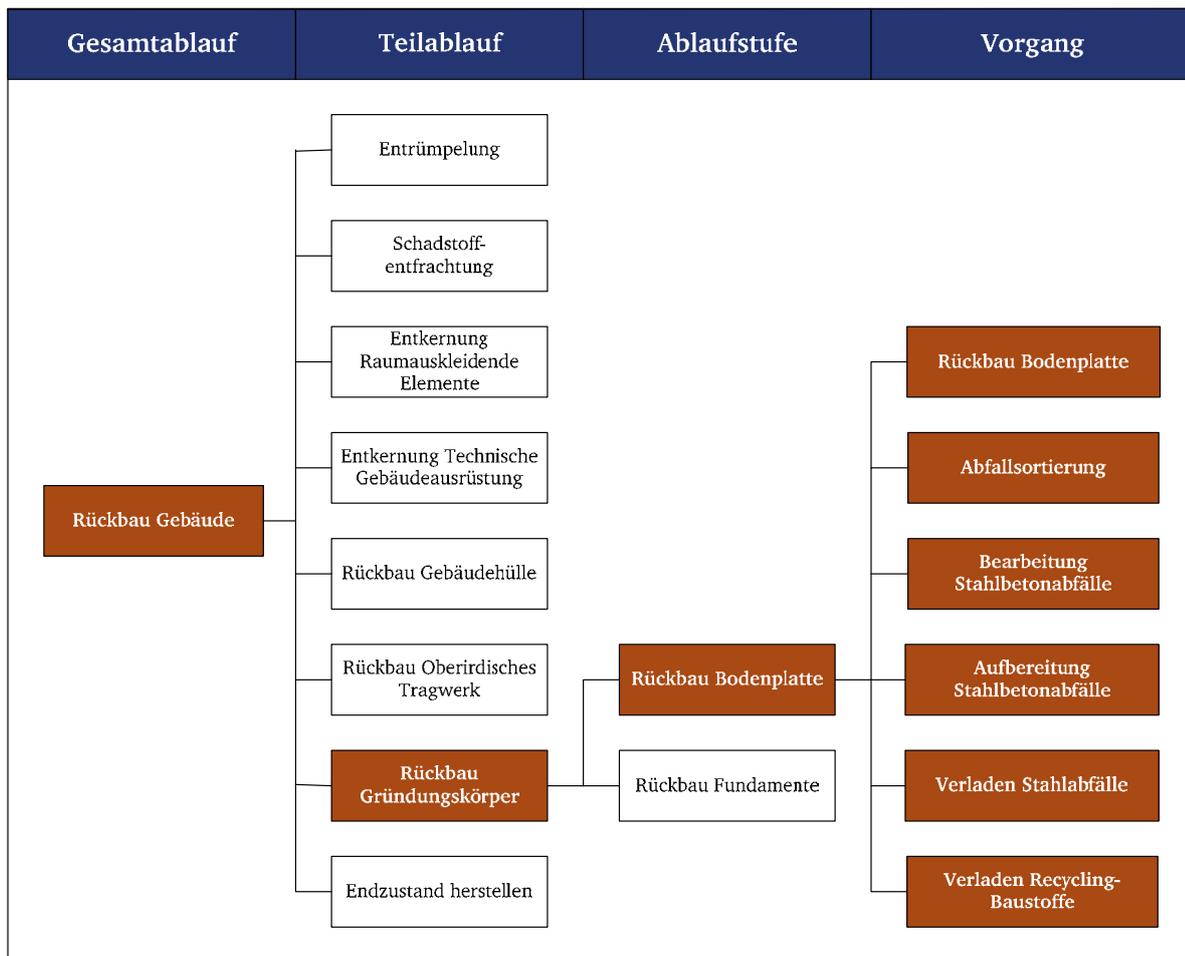


Abbildung 121: Strukturierung von Abläufen bei einem Abbruchprojekt<sup>111</sup>

Der Gesamtablauf entspricht dem Abbruchprojekt als solches. Die Teilabläufe bzw. Ablaufstufen bezeichnen mögliche Positionen in einem Leistungsverzeichnis.

Vorgänge können in weitere Teilvorgänge oder Ablaufarten unterteilt werden. Zur Vereinfachung des Protokollierens während der Zeitaufnahme und zum späteren Sortieren, Auswerten und Sammeln der Daten, werden die zu messenden Teilvorgänge kodiert. Dabei werden wiederkehrende Tätigkeiten mit gleichen Nummern versehen. Nachfolgende Tabelle stellt exemplarisch für die durchgeführte Datenermittlung die kodierte Arbeitsablaufbeschreibung für Untersuchungsobjekt 5 dar.

Zu den Haupttätigkeiten (Nr. 100) sind diejenigen planmäßigen Tätigkeiten zu zählen, die unmittelbar zur Durchführung der Arbeitsaufgabe dienen. Nebentätigkeiten (Nr. 200) stehen in einem indirekten Zusammenhang mit der Arbeitsaufgabe, sind jedoch notwendig um diese zu erfüllen. Tätigkeiten, deren Auftreten nicht vorhergesehen werden können und somit nicht planbar sind, werden als zusätzliche Tätigkeiten (Nr. 300) bezeichnet.<sup>112</sup> Währenddessen kann die Arbeitskraft auch seine Tätigkeit unterbrechen. Dies kann vier verschiedene Ursachen haben. Beim ablaufbedingten Unterbrechen (Nr. 400) ist das Beenden der Tätigkeit dem Arbeitsablauf geschuldet. Dem störungsbedingten Unterbrechen (Nr. 500) geht hingegen eine organisatorische oder technische Unstimmigkeit voraus (z.B. Motorsausfall eines Baggers). Unterbricht die Arbeitskraft eine Tätigkeit aufgrund einer Arbeitsermüdung um dieser entgegenzuwirken, so ist diese dem erholungsbedingten

<sup>111</sup> In Anlehnung an Berg (1984), S. 62 f.

<sup>112</sup> Vgl. Künstner (1984), S.19 f.

Unterbrechen (Nr. 600) zuzuordnen. Liegen dem Unterbrechen der Tätigkeit persönliche Gründe (z.B. Gang zur Toilette) zugrunde, so wird dies als persönlich bedingtes Unterbrechen (Nr. 800) bezeichnet.<sup>113</sup>

Tätigkeiten, die mit keiner der genannten Möglichkeiten vereinbar sind, werden als nicht erkennbare Tätigkeiten im Sinne des Arbeitsstudiums definiert<sup>114</sup>.

---

<sup>113</sup> Vgl. Künstner (1984), S.20 f.

<sup>114</sup> Vgl. Künstner (1984), S.21.

Nr.	Tätigkeiten	Beschreibung der Tätigkeiten
<b>100</b>	<b>Haupttätigkeiten</b>	
101	Stahlkonstruktion schneiden 0 - 4 m	Die verglaste Stahlskelettkonstruktion wird in einer Höhe bis zu 4 Meter mit dem Hydraulikbagger und einer Abbruchschiere zerkleinert.
102	Stahlkonstruktion schneiden 4 - 8 m	Die verglaste Stahlskelettkonstruktion wird in einer Höhe über 4 bis zu 8 Meter mit dem Hydraulikbagger und einer Abbruchschiere zerkleinert.
103	Stahlkonstruktion schneiden 8 - 12 m	Die verglaste Stahlskelettkonstruktion wird in einer Höhe über 8 bis zu 12 Meter mit dem Hydraulikbagger und einer Abbruchschiere zerkleinert.
104	Fliesen abgreifen	Die Fliesen im Erdgeschoss werden mit dem Greifer abgebrochen.
105	Estrich abgreifen	Der Bodenestrich im Erdgeschoss wird mit dem Greifer vorsichtig (ohne die darunter liegenden Dämmplatten) abgebrochen.
106	Decke pressschneiden	Die Decke wird mit dem Hydraulikbagger und dem Pulversierer bzw. der Kombi-Zange abgebrochen (inkl. Trennen und Entsorgen der Bewehrung).
107	Fundament abbrechen	Alle maschinellen Maßnahmen die zum Abbrechen des Fundamentes erforderlich sind (Angriffspunkt meißeln, Pressschneiden, Bewehrung trennen, etc.).
108	Außenwand pressschneiden	Die Außenwände werden mit dem Hydraulikbagger und dem Pulversierer bzw. der Kombi-Zange abgebrochen (inkl. Trennen und Entsorgen der Bewehrung).
109	Bauschutt verladen	Bauschutt wird vom Geräteführer mit dem Tieflöffel in ein Lkw verladen.
110	Bodenplatte zersägen	Bodenplatte mit der Betonsäge auf Schienen zersägen (inkl. Schutzvorrichtung zum Sägen entfernen).
<b>200</b>	<b>Nebentätigkeiten</b>	
201	Bagger umpositionieren	Der Geräteführer wechselt seinen Arbeitsplatz durch fahren des Hydraulikbaggers (inkl. Elementedie den Weg versperren aus dem weg schaffen).
202	Anbaugerät wechseln	Der Geräteführer wechselt das Anbaugerät (inkl. Bagger für das Wechseln umsetzen).
203	Abbruchmaterial sortieren (maschinell)	Alle maschinellen Maßnahmen die zum Sortieren und Verladen des Abbruchmaterials notwendig sind (z.B. Abbruchmaterial in Abfallcontainer laden, Abbruchmaterial zwischenlagern, Container zum Sortieren verschieben, Bauschutt zum Aussortieren des Stahlanteils freilegen).
204	Abbruchmaterial sortieren (per Hand)	Alle Maßnahmen per Hand, die zum Sortieren und Verladen des Abbruchmaterials notwendig sind (Beispiele siehe Nr. 203).
205	Abbruchmaterial aufbereiten	Die Bewehrung in Stahlbeton-Stücken wird mit dem Pulversierer bzw. der Kombi-Zange vom Beton getrennt (inkl. Bewehrung in Container laden).
206	Baugrund ebnen	Der Geräteführer gleicht Unebenheiten des Bodens, bedingt durch die Abbrucharbeiten, mit dem Bagger und Anbaugerät aus (inkl. Wiederbefüllen).
207	Bauteil freilegen	Bauteile unterhalb der GOK (Außenwände, Fundament, Bodenplatte) mit dem Bagger und Löffel bzw. mit Schaufel per Hand freischaufeln.
208	TGA- und Ausbau-Elemente entfernen	Teile der technischen Anlagen (Heizungsrohre, Lüftungsschächte, Sanitärereinrichtung etc.) und des Ausbaus (Türen, Handlauf etc.) aussortieren.
209	Rampe erstellen	Rampe aus Bauschutt mit dem Bagger und dem Tieflöffel bzw. Sortierlöffel erstellen.
210	Stahl mit Magnet aussortieren	Der Stahlanteil (Bewehrung, TGA-Elemente) im Bauschutt wird mit dem Bagger und einem Magneten aussortiert und in einen Container verladen.
211	Sägeblatt wechseln	Die Arbeitsperson tauscht das Sägeblatt (80 bis 160 cm) der Betonsäge per Hand aus.
212	Betonsäge aufbauen	Die Arbeitsperson baut mit einem Hilfsarbeiter die Betonsäge auf Schienen auf (inkl. Bohrpunkte für die Befestigung vermessen und Reinigung).
213	Betonsäge abbauen	Die Arbeitsperson baut mit einem Hilfsarbeiter die Betonsäge auf Schienen ab (inkl. Bohrpunkte für die Befestigung vermessen und Reinigung).
<b>300</b>	<b>Zusätzliche Tätigkeiten</b> (Nicht eingetroffen)	
<b>400</b>	<b>Ablaufbedingtes Unterbrechen</b>	
401	Rücksprache	Die Arbeitsperson unterbricht seine Tätigkeit um das weitere Vorgehen mit den Beteiligten (Bauleiter, Hilfsarbeiter, Projektleiter, LKW-Fahrer) zu besprechen.
402	Warten auf Container	Bedingt durch das Container-Liefer-Verhalten unterbricht der Geräteführer seine Tätigkeit.
403	Bagger tanken	Unterbrechung um den Bagger zu tanken (inkl. Bagger zum Betanken umsetzen).
404	Warten auf Lkw	Geräteführer unterbricht seine Tätigkeit bis ein Lkw zum Verladen des Bauschutts bereit steht bzw. die Baustelle verlässt.
405	Warten auf Sägeblatt	Die Arbeitsperson unterbricht das Sägen der Bodenplatte bis das benötigte Sägeblatt verfügbar ist.
<b>500</b>	<b>Störungsbedingtes Unterbrechen</b>	
501	Warten auf Entwarnung	Der Baggerfahrer unterbricht seine Tätigkeit, da Abbruchmaterial auf die Straße geflogen ist. Tätigkeit wird nach Entwarnung fortgeführt.
502	Anbaugerät reparieren	Der Baggerfahrer unterbricht seine Tätigkeit bis das defekte Anbaugerät wieder zum Einsatz bereit steht.
503	Störung der Betonsäge	Die Arbeitsperson unterbricht die Tätigkeit aufgrund einer Störung der Betonsäge.
<b>600</b>	<b>Erholungsbedingtes Unterbrechen</b>	
601	Kurzpause zur Erholung	Die Arbeitsperson ist ermüdet und macht eine Pause.
<b>800</b>	<b>Persönlichbedingtes Unterbrechen</b>	
801	Rauchen	Die Arbeitsperson unterbricht die Tätigkeit um zu rauchen.
802	Gang zur Toilette	Die Arbeitsperson unterbricht die Tätigkeit um auf Toilette zu gehen.
803	Privatgespräch	Die Arbeitsperson unterbricht die Tätigkeit um ein Privatgespräch zu führen.

Abbildung 122: Arbeitsablaufbeschreibung für den Rückbau von Untersuchungsobjekt 5<sup>115</sup>

<sup>115</sup> In Anlehnung an Künstner, S. 101 f. (Abb. 44 und 45) erweitert.

#### **4.3.4. Datenerfassungsmethode und Zeitaufnahme**

Als Aufnahmetechnik werden im Rahmen der Arbeitszeitstudien Einzel- und Gruppenzeitaufnahmen ausgewählt, weil es sich um Arbeitssysteme verhältnismäßig geringer Komplexität handelt, welche zu großen Teilen nur aus einer oder zwei Arbeitskräften bestehen.

Die Abbruchbaustellen können aus verschiedenen Perspektiven ständig beobachtet werden. Die Abbrucharbeiten werden daher zunächst mit einem Videoaufzeichnungsgerät digital erfasst und nachträglich ausgewertet. Weiterhin können grobe Messfehler ausgeschlossen und die sachliche Richtigkeit der Aufnahmen mit Hilfe der Videoaufzeichnungen nachträglich überprüft werden. Das Videoaufzeichnungsgerät dient gleichzeitig als Zeitmessgerät.

##### **4.3.4.1. Zeitaufnahmen mit bis zu zwei Arbeitskräften**

Für jede Einzelzeitaufnahme wurden im Vorlauf alle zu erfassenden Größen in einem Kopfbogen festgehalten (vgl. Abbildung 120). Die Zeiten wurden mittels Fortschrittzeitmessung (in Sekunden) in einem Zeitaufnahmebogen (siehe

Tabelle 39) festgehalten. Die Vorgänge wurden vorher definierten Stufennummern zugewiesen und fortlaufend nummeriert. Um die Zeitdauer eines Ablaufabschnittes zu bestimmen, wurden die Fortschrittszeiten (hier F) bei Start und Ende des jeweiligen Vorgangs voneinander subtrahiert. Für ein Zwei-Personen umfassendes Arbeitssystem wurde die zweite Ablaufartenspalte für die zweite Arbeitskraft verwendet.

#### **4.3.4.2. Zeitaufnahmen ab drei Arbeitskräften**

Bei Arbeitssystemen mit drei oder mehreren Arbeitskräften wurden Gruppenzeitaufnahmen (s. Tabelle 24) durchgeführt. Dazu wurden Beobachtungsintervalle zwischen einer halben und ganzen Minute gewählt. Während für kurze Aufnahmen und häufige Ablaufartenwechsel kleine Intervalle gewählt worden sind, hat sich der Verfasser bei langen Zeitaufnahmen für Minutenintervalle entschieden. Damit konnte sichergestellt werden, dass die wesentlichen Vorgänge erfasst worden sind.

Tabelle 39: Auszug Zeitaufnahmebogen für Zeitaufnahmen mit bis zu zwei Arbeitskräften <sup>116</sup>

Trägergerät umsetzen		273	5		4	201	Erholen		222	293		38	601		
Pressschneiden Decke		298	75		5	101	Abfälle sortieren		515	27		39	205		
Trägergerät umsetzen		373	7		6	201	Erholen		542	23		40	601		
Pressschneiden Decke		380	59		7	101	Außerplanmäßige Absprache		565	252		41	501		
Erholen		439	23		8	601	Trägergerät umsetzen		817	10		42	201		
Pressschneiden Decke		462	45		9	101	Erholen		827	118		43	601		
Trägergerät umsetzen		507	4		10	201	Abfälle sortieren		945	20		44	205		
Pressschneiden Decke		511	54		11	101	Trägergerät umsetzen		965	25		45	201		
Außerplanmäßige Absprache		565	252		12	501	Warten auf Arbeitskraft 1		990	23		46	401		
Trägergerät umsetzen		817	13		13	201	Trägergerät umsetzen		1.013	6		47	201		
Pressschneiden Decke		830	102		14	101	Abfälle sortieren		1.019	24		48	205		
Trägergerät umsetzen		932	3		15	201	Trägergerät umsetzen		1.043	7		49	201		
		935							1.050						
Aufnahme Nr.: 5-5		Blatt Nr.: 2		Beobachter: Angermann			Datum: 10.10.2013			Beginn: 14:55		Ende: 15:32			
Ablaufabschnitt - <b>Arbeitskraft 1</b>		L	F	t <sub>i</sub>	t	Lfd. Nr.	Stufen-Nr.	Ablaufabschnitt - <b>Arbeitskraft 2</b>		L	F	t <sub>i</sub>	t	Lfd. Nr.	Stufen-Nr.
Pressschneiden Decke	100	935	35		16	101	Stahlkonstruktion halten	100	1.050	75		50	202		
Erholen		970	10		17	601	Abgreifen Unterzug oder Traverse		1.125	17		51	104		
Trägergerät umsetzen		980	45		18	201	Ein- / Umdrücken Stütze		1.142	4		52	105		
		1.025							1.146						

<sup>116</sup> In Anlehnung an Künstner (1981), S. 55.



Tabelle 41: Auszug aus Zwischenauswertungsbogen für Zeitaufnahmen mit bis zu zwei Arbeitskräften<sup>118</sup>

Nummer und Beschreibung der Ablaufschritte	401 Warten auf Arbeitskraft			501 Außerplan- mäßige Absprache			601 Erholen																	
	Nr.	t	m	Nr.	t	m	Nr.	t	m	Nr.	t	m	Nr.	t	m	Nr.	t	m	Nr.	t	m	Nr.		
Übertrag																								
Lfd. Nr. der Zeitaufnahmen Einzelzeiten in Sekunden Menge, Größe, Anzahl oder Weglänge Nr. = t m	1	19	12		12	252		8	23															
	2	21	28		41	252		17	10															
	3	32	55					38	293															
	4	46	23					40	23															
	5	60	48					43	118															
	6							57	86															
	7							58	388															
	8																							
	9																							
	10																							
	11																							
	12																							
	13																							
	14																							
	15																							
	16																							
	17																							
	18																							
	19																							
	20																							
Zeitsumme [s]	166			504			941			Hinweis: Ablaufabschnitt 1-34 (AK 1), Ablaufabschnitt 35-67 (AK 2)														
Normalzeit [s]	166			504			941			(2 Deckenfelder)														
Menge	5			2			7			$V = 2 * 7m * 2,5m * 0,1m = 3,5 m^3$														
Einheit	mal			mal			mal			Grundzeit $t_g = 2.895 s (66,71 \% \text{ von } Z)$														
Zeit/Einheit	33,20			252,00			134,43			Verteilzeit $t_v = 504 s (11,61 \% \text{ von } Z)$														
Anz. Einzelz.	5			2			7			Erholungszeit $t_e = 941 s (21,68 \% \text{ von } Z)$														
Bemerkungen																								

Anschließend wurden Grund-, Verteil- und Erholungszeiten ermittelt und deren Anteile an der Gesamtaufnahmedauer dargestellt.

Die Grundzeit setzt sich aus der Summe der Tätigkeitszeit (Haupt- und Nebentätigkeit) und Wartezeit (Ablaufbedingtes Unterbrechen) zusammen.<sup>119</sup> Die Verteilzeit wird mittels Addition der persönlichen (Persönlich bedingtes Unterbrechen) und der sachlichen Verteilzeit (Zusätzliche Tätigkeiten und Störungsbedingtem Unterbrechen) gebildet.<sup>120</sup> Die Erholungszeit wird durch die Ablaufart Erholungsbedingtes Unterbrechen repräsentiert.<sup>121</sup>

<sup>118</sup> In Anlehnung an Künstner (1984), S. 56 f.

<sup>119</sup> Vgl. Künstner (1984), S.29.

<sup>120</sup> Vgl. Künstner (1984), S. 29 f.

<sup>121</sup> Vgl. Künstner (1984), S. 31.

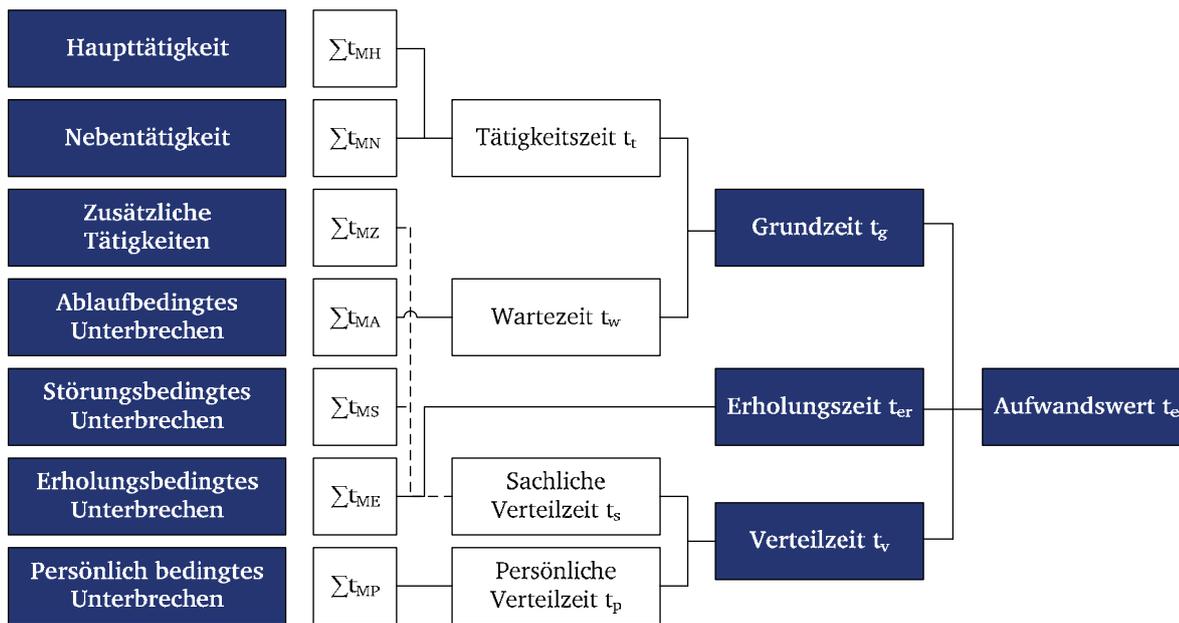


Abbildung 123: Zusammensetzung des Aufwandswerts eines Vorgangs anhand der Zeitarten<sup>122</sup>

Die Vorgabezeit wird durch Summierung der Grund-, Verteil- und Erholungszeiten ermittelt. Ist der Quotient auf die Menge eins normiert, so stellt diese den Aufwandswert dar. In der Praxis werden Verteil- und Erholungszeiten häufig als Zuschlagprozentsätze auf Basis der Grundzeit angegeben und zu der Grundzeit hinzuaddiert. Die Berechnung der Zuschlagsätze ergibt sich nach den folgenden Gleichungen:<sup>123</sup>

$$z_v = \frac{t_v}{t_g} \times 100 \% \quad \text{für den Verteilzeitprozentzuschlag und}$$

$$z_e = \frac{t_{er}}{t_g} \times 100 \% \quad \text{für den Erholungszeitprozentzuschlag.}$$

Im Hochbau werden für Betonarbeiten ca. 20 % für die Verteilzeit und 10 % für die Erholungszeit aufgeschlagen, was einem Gesamtzuschlag von 30 % entspricht.<sup>124</sup> Im Abbruchwesen sind dazu bisher wenige REFA Untersuchungen unternommen worden. Silbe hat in einer Arbeitszeitstudie einen Gesamtzuschlag für Verteil- und Erholungszeit von 36,27 % für unbeaufsichtigte bzw. 57,88 % für beaufsichtigte Vorgänge ermitteln können.<sup>125</sup> Bei Büttner schwanken diese Werte zwischen 17 % und 33 % der Gesamtzeit bzw. ergeben einen Zeitzuschlag zwischen 20 % und 42 %.<sup>126</sup>

Weiterhin wird mittels Hilfsrechnungen zu jedem Vorgang die ausgeführte Bezugsmenge ermittelt. Die Bezugsmengen werden parallel zu jeder Aufnahme erfasst. Hierfür wird jeweils ein „Abbruchaufmaß“ zur Ermittlung und Dokumentation der während einer Aufnahme anfallenden Abbruchmenge erstellt. Die Massen werden anhand von Planunterlagen respektive durch Schätzung während der Auswertung der Filmaufnahmen bestimmt. Tabelle 42 stellt exemplarisch für die durchgeführte Datenermittlung die Bezugsmengenermittlung für den Vorgang Scherschneiden der oberirdischen Stahlkonstruktion bei Untersuchungsobjekt 5 dar.

<sup>122</sup> In Anlehnung an Künstner (1984), S. 30.

<sup>123</sup> Künstner (1984), S. 30 f.

<sup>124</sup> Vgl. Autorengemeinschaft Hochbau (1981), S. 32.

<sup>125</sup> Vgl. Silbe (1999), S. 146 f. und S. 150 ff.

<sup>126</sup> Vgl. Büttner (2002), S. 146.

Tabelle 42: Abbruchaufmaß zur Bestimmung der Bezugsmenge

Abbruchaufmaß	
Zeitaufnahme 1 - 2	Video 1a
Ablaufstufe: Rückbau Stahlkonstruktion Skizze:	

1. Ermittlung der Bezugsmenge			
Tätigkeit:	Stahlkonstruktion Schneiden 0 – 4 m	Nr.	101
Arbeitsgegenstand:	Verglaste Stahlskelettkonstruktion		
Rechnung:	$28 \times 2,21 + 18 \times 1,24 + 3,71 + 3,49 + 1,75 + 2 \times 1,96 = 97,07 \text{ m}$		
Bezugsmenge:	97,07	Bezugseinheit:	m

2. Ermittlung der Bezugsmenge			
Tätigkeit:	Stahlkonstruktion Schneiden 4 – 8 m	Nr.	102
Arbeitsgegenstand:	Verglaste Stahlskelettkonstruktion		
Rechnung:	$17 \times 2,21 + 15 \times 1,24 = 56,17 \text{ m}$		
Bezugsmenge:	56,17	Bezugseinheit:	m

Zur Leistungsgradbeurteilung werden die Bewegungsabläufe einer Tätigkeit zu verschiedenen Zeiten beobachtet. Sofern qualitativ keine leistungsbeeinflussenden Unterschiede bei der Güte der Arbeitsweise oder der Bewegungsgeschwindigkeit festgestellt wurden, wird der Leistungsgrad mit 100 % (Normalleistung) beurteilt. In diesem Fall entsprechen die gemessenen Zeiten (Ist-Zeiten) den leistungsbezogenen Zeiten (Soll-Zeiten).

#### 4.3.6. Bestimmung des Aufwandswertes

Für die Aufwandswernermittlung wurden zunächst alle Aufnahmen mit Vorgängen und Zeiten in einem Auswertungsbogen aufgelistet (siehe Tabelle 43). Dazu wurden die Gesamtzeiten für die Vorgänge und die einzelnen Aufnahmen ermittelt. Weiterhin sind für jede Aufnahme die absoluten und anteiligen Grund-, Verteil- und Erholungszeiten berechnet worden (siehe Tabelle 44).

#### 4.3.6.1. Vorgänge mit fünf oder mehr Aufnahmen

Um die Güte der Aufwandswertermittlung zu bewerten wurde nach REFA eine statistische Auswertung (s. Tabelle 45) vorgenommen. Ziel war die Überprüfung, ob die Zeitaufnahmen ein Abbild des Gesamtablaufes darstellen respektive in wie weit das Abbild von der Wirklichkeit abweicht. Zwingende Voraussetzung für dieses Verfahren ist, dass eine Aufnahmenanzahl größer Vier (Stichprobengröße). Ab fünf Aufnahmen kann von einer normalverteilten Streuung der Durchschnittsgrundzeiten respektive -aufwandswerten ausgegangen werden. Zunächst werden die Grundzeiten und die dazugehörigen Bezugsmengen in die Auswertungstabelle (siehe Tabelle 45) übertragen. Anschließend werden die Grundzeiten auf die Basiseinheit z.B. s/m bezogen und aufsummiert. Zur Berechnung des Mittelwertes ( $\bar{x}$ ) wird die Summe der Grundzeiten je Einheit durch die Anzahl der Aufnahmen geteilt. Daraufhin werden die jeweiligen Abweichungen ( $x_i - \bar{x}$ ) berechnet und im nächsten Schritt quadriert und aufsummiert. Mit dieser Summe wird die Gesamtvarianz ( $\sigma = (1/n-1) * \sum(x_i - \bar{x})^2$ ) ermittelt. Die Wurzel aus der Varianz ergibt die Standardabweichung ( $s = \sigma^2$ ). Um festzustellen, um wie viel Prozent die Grundgesamtheit (Anzahl der Aufnahmen) vom verwendeten Stichprobenmittelwert höchstens abweicht, wird der sogenannte relative Vertrauensbereich ( $\epsilon$ ) berechnet. Hierfür wird eine Aussagewahrscheinlichkeit (S) von 95 % frei gewählt. In Abhängigkeit der Anzahl der durchgeführten Aufnahmen wird für diese statistische Sicherheit (S) der Faktor zur Berechnung der erzielten Genauigkeit (t) anhand einer Tabelle<sup>127</sup> abgelesen. Nach der Berechnung des Vertrauensbereiches kann die maximale und minimale Grundzeit bestimmt werden. Für die Verteil- und Erholungszeiten wird ein projektspezifischer Zuschlag von **20 bis 30 Prozent** gewählt.<sup>128</sup> Dieser Zuschlag wird auf die maximale, minimale und durchschnittliche Grundzeit aufaddiert. Das Ergebnis der Auswertung entspricht den Aufwands- und Leistungswerten.

#### 4.3.6.2. Vorgänge mit weniger als fünf Aufnahmen

Für Arbeitsaufgaben mit weniger als fünf Aufnahmen (siehe Tabelle 46) ist kein statistischer Vertrauensbereich ermittelt worden. Nach der bisher beschriebenen Vorgehensweise wurde für jede Aufnahme ein Aufwandswert ermittelt, welcher gemittelt wurde. Der Kehrwert des gemittelten Aufwandwertes entspricht dem dazugehörigen Leistungswert.

<sup>127</sup> Vgl. Künstner, S. 60 (Abb. 23).

<sup>128</sup> Vgl. Autorengemeinschaft Hochbau, S. 32.

Tabelle 43: Auswertungsbogen der Einzelzeitaufnahme

Aufnahme Ablaufarten		1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	[s]						Σ		
100	Haupttätigkeiten	1.467	1.341	248	139	453	0									3.648
101	Stahlkonstruktion schneiden 0 - 4 m	801	1.029	248	139	453	0									2.670
102	Stahlkonstruktion schneiden 4 - 8 m	419	134													553
103	Stahlkonstruktion schneiden 8 - 12 m	247	178													425
200	Nebentätigkeiten	317	351	2.396	3.738	2.772	3.631									13.205
201	Bagger umpositionieren	118	274	149	581	166	184									1.472
202	Anbaugerät wechseln			44	64	177										285
203	Abbruchmaterial sortieren (maschinell)	199	77	2.203	2.364	1.684	3.044									9.571
204	Abbruchmaterial sortieren (per Hand)				729	355	403									1.487
206	Baugrund ebnen					390										390
400	Ablaufbedingtes Unterbrechen	94	914	315	23	54	716									2.116
401	Rücksprache	94	914	315	23	54	667									2.067
402	Warten auf Container						49									49
500	Störungsbedingtes Unterbrechen	0	0	30	0	0	0									30
501	Warten auf Entwarnung			30												30
600	Erholungsbedingtes Unterbrechen	0	0	0	0	0	635									635
601	Kurzpause zur Erholung						635									635
800	Persönlich bedingtes Unterbrechen	0	0	0	425	0	0									425
801	Rauchen				318											318
802	Gang zur Toilette				107											107
		<b>Kontrolle Σ</b>														20.059
Σ		1.878	2.606	2.989	4.325	3.279	4.982									20.059

Tabelle 44: Auswertung und Übersicht der Zeitarten

Ablaufarten		Aufnahme						[ % ]												
		1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6							
100	Haupttätigkeit																			
101	Stahlkonstruktion schneiden 0 - 4 m	55%	77%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
102	Stahlkonstruktion schneiden 4 - 8 m	29%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
103	Stahlkonstruktion schneiden 8 - 12 m	17%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Kontrolle		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Zeitarten für 101 Stahlkonstruktion schneiden 0 - 4 m		Aufnahme						[ s ]													
		1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6								
Grundzeit $t_g$ (Tätigkeiten 100, 200, 400)		1.025	2.000	2.959	3.900	3.279	4.347														17.510
Verteilzeit $t_v$ (Tätigkeiten 300, 500, 800)		0	0	30	425	0	0														455
Erholungszeit $t_{er}$ (Tätigkeiten 600)		0	0	0	0	0	635														635
$\Sigma$		1.025	2.000	2.989	4.325	3.279	4.982	Kontrolle $\Sigma$						18.600							
																					18.600

Zeitarten		Aufnahme						[ % ]													
		1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6								
Grundzeit $t_g$ (Tätigkeiten 100, 200, 400)		100,0	100,0	99,0	90,2	100,0	87,3														
Verteilzeit $t_v$ (Tätigkeiten 300, 500, 800)		0,0	0,0	1,0	9,8	0,0	0,0														
Erholungszeit $t_{er}$ (Tätigkeiten 600)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7														
Kontrolle		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0														

Tabelle 45: Statistische Auswertung und Kennzahlenermittlung<sup>129</sup>

101 Stahlkonstruktion schneiden 0 - 4 m		Kennzahlenermittlung für mehr als 4 Aufnahmen							
Anzahl Zeitaufnahmen	n [-]	=	5		Bemerkung: Aufnahme 5-6 wurde als Ausreißer deklariert und wird nicht mehr für die Aufwandswertermittlung berücksichtigt.				
Arithmetisches Mittel	$\bar{x}$ [s/m]	=	61,47						
Nr.	Zeitaufnahme [-]	Datum	M [m]	Grundzeit [s]	Grundz./M [s/m]	$x_i - \bar{x}$ [s/m]	$(x_i - \bar{x})^2$ [s <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]		
1	1-1	22.11.2014	80,59	1.025	12,72	-48,75	2.376,46		
2	1-2	22.11.2014	97,07	2.000	20,60	-40,87	1.670,55		
3	1-3	22.11.2014	38,70	2.959	76,46	14,99	224,62		
4	1-4	22.11.2014	28,57	3.900	136,51	75,03	5.630,11		
5	1-5	22.11.2014	53,69	3.279	61,07	-0,40	0,16		
Aufnahme 1-6 entfällt									
$\Sigma$			298,62	13.163	307,36	0,00	9.901,90		
Varianz [s <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	$\sigma$	=	$(1/n-1) * \Sigma(x_i - \bar{x})^2$		=	2.475,4741			
Standardabweichung [s/m]	s	=	$\sqrt{\sigma}$		=	49,75			
Variationszahl [%]	v	=	$(s/\bar{x}) * 100$		=	80,9			
Statistische Sicherheit [%]	S	=	95		Eigene Einschätzung.				
Freiheitsgrade [-]	f = n-1	=	4						
Faktor [-]	t (S;f)	=	2,571		Wert aus Tabelle herauslesen (Künstner (1984), S. 60).				
Relativer Vertrauensbereich [%]	$\epsilon$	=	$[t (S;f) / \sqrt{n}] * v$					93,1	
Wahrer Mittelwert [s/m]									
Maximale Grundzeit je Einheit [s/m]	max $\bar{x}$	=	$\bar{x} + ((\bar{x} * \epsilon) / 100)$		=	118,68 s/m	= 1,98 min/m		
Minimale Grundzeit je Einheit [s/m]	min $\bar{x}$	=	$\bar{x} - ((\bar{x} * \epsilon) / 100)$		=	4,27 s/m	= 0,07 min/m		
Durchschnittl. Grundzeit je Einheit [s/m]	$\bar{x}$	=	61,47		=	61,47 s/m	= 1,02 min/m		
Grundzeit/Einheitsmenge [min/m]			1,98 min/m		0,07 min/m		1,02 min/m		
Zuschlag 15% der Grundzeit für Verteil- und Erholungszeiten [min/m]			+ 0,30 min/m		+ 0,01 min/m		+ 0,15 min/m		
			2,27 min/m		0,08 min/m		1,18 min/m		
Aufwandswert [h/m]		=	max 0,038		min 0,001		durchschnittlich 0,020		
Leistungswert [m/h]		=	min 26,377		max 733,785		durchschnittlich 50,924		
Der wahre Leistungswert liegt mit einer statistischen Sicherheit von 95% zwischen					26,377	m/h	und	733,785	m/h
Der mittlere Leistungswert liegt bei					50,924	m/h			
Der wahre Aufwandswert liegt mit einer statistischen Sicherheit von 95% zwischen					0,001	h/m	und	0,038	h/m
Der mittlere Aufwandswert liegt bei					0,020	h/m			

Tabelle 46: Auswertung für Vorgänge mit weniger als fünf Aufnahmen

<sup>129</sup> Vgl. Künstner, S. 58 ff.

102 Stahlkonstruktion schneiden 4-8 m

Kennzahlenermittlung für weniger als 5 Aufnahmen

Kennzahlenermittlung \ Aufnahme	Aufnahme						Σ
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	
Grundzeit $t_g$ [s]	536	260	Aufnahme 1-3 erfüllt	Aufnahme 1-4 erfüllt	Aufnahme 1-5 erfüllt	Aufnahme 1-6 erfüllt	797
Ausgeführte Menge [E]	40,4	56,1					96,60
Grundzeit pro Einheitsmenge [s/m]	13,3	4,6					
Zuschlag 15% der Grundzeit für Verteil- und Erholungszeiten [s/m]	2,0	0,7					
Vorgabezeit [s/m]	15,3	5,3					
Aufwandswert [h/m]	0,004	0,0015					
<b>Ø-Aufwandswert [h/m]</b>	0,003						
<b>Ø-Leistungswert [m/h]</b>	349,7						

Bemerkung: Die Aufnahmen 1-3 bis 1-6 wurde als "Ausreißer" deklariert und werden nicht mehr für die Aufwandswertermittlung berücksichtigt.

Der mittlere Aufwandswert liegt bei	<u>0,003</u>	h/m
Der mittlere Leistungswert liegt bei	<u>349,7</u>	m/h

#### 4.4. Ergebnisse der Arbeitszeitstudien

Die eigentliche Analyse der im Rahmen der In-Situ-Untersuchungen gewonnenen Daten nach REFA erfolgt in *P4.4*.

Für die dokumentierten Vorgänge sind die ermittelten Aufwandswerte und Leistungswerte projektübergreifend tabellarisch zusammengestellt worden. Die Übersicht ist der Anlage zu entnehmen (siehe Anlage 5). Die Tabelle gliedert sich in die untersuchte Arbeitsaufgabe mit Verfahrensbeschreibung, die verwendeten Betriebsmittel und Werkzeuge, den Arbeitsgegenstand, die Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte und die ermittelten Kennzahlen. Sofern eine Beurteilung des Vertrauensbereiches der Kennzahlen möglich war, sind zusätzlich Minimum und Maximum der jeweiligen Werte mit aufgeführt.

Nachfolgend werden weitere ausgewählte Ergebnisse bezogen auf verschiedene Untersuchungsobjekte vorgestellt.

##### 4.4.1. Untersuchungsobjekt 1

Insgesamt wurden 58 Videoaufnahmen durchgeführt und 2.723 Beobachtungsminuten aufgenommen, protokolliert und ausgewertet. Von der Gesamtzeit entfielen:

- 2.153 Minuten auf Grundzeiten (79 %),
- 429 Minuten auf Verteilzeiten (16 %) und
- 141 Minuten auf Erholungszeiten (5 %).

Dies würde einen Gesamtzuschlagsprozentsatz<sup>130</sup> für Verteil- und Erholungszeiten auf Basis der Grundzeit von 26,5 % ergeben und liegt im Rahmen der Vergleichswerte (vgl. Erläuterungen zu Abbildung 123). Die für die Aufwandswernermittlung verwendeten 30% stellen somit eine gute Näherung dar.

Bei der Leistungsbeurteilung wurde der Leistungsgrad nahezu durchgängig mit 100% angesetzt, weil keine Unterschiede bei der Güte der Arbeitsweise oder Bewegungsgeschwindigkeit festgestellt wurden.<sup>131</sup> Daraus folgt, dass die berechneten Ist-Zeiten den Soll-Zeiten entsprechen.

Hinsichtlich der Zeitanteile der verwendeten Abbruchgeräte wurde festgestellt, dass sämtliche Vorgänge mit dem Hydraulikbagger in Kombination mit verschiedenen Anbaugeräten durchgeführt wurden. Dabei wird weiter festgestellt, dass die Kombiabbruchzange (82 %) und der Tieflöffel (14 %) die am häufigsten verwendeten Anbaugeräte waren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit diesen Geräten überwiegend Abbrucharbeiten der Stahlbetonbauteile (z.B. Pressschneiden der Bauteile und Reißen der Bodenplatte) ausgeführt werden und es sich bei diesen Vorgängen um zeitintensive Prozesse handelt.

---

<sup>130</sup>  $(429/2153) \times 100 \% + (141/2153) \times 100 \% = 26,5 \%$ .

<sup>131</sup> Bei der Aufnahme 3-2 (Demontage Treppenhaus) wurde eine Ausnahme unternommen, weil für nichtgeschultes Fachpersonal eine Nichtnormleistung nach REFA ersichtlich war.

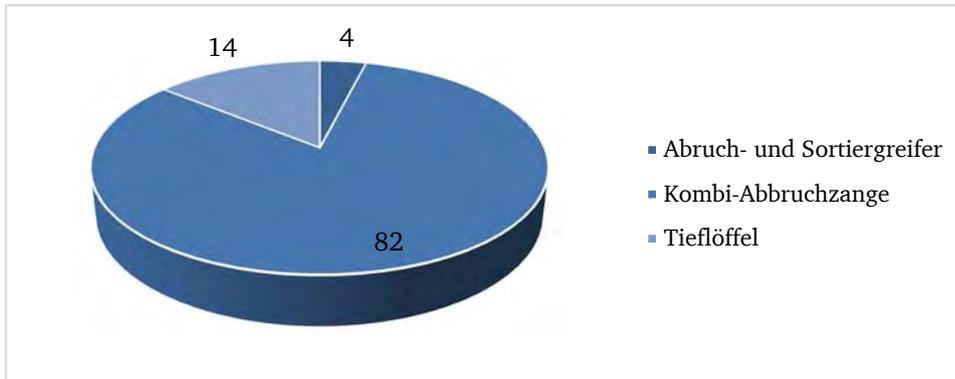


Abbildung 124: Zeitanteile der verwendeten Anbaugeräte in Prozent

In den oben dargestellten Ergebnissen sind sämtliche Zeiten enthalten, in denen das jeweilige Anbaugerät ausgerüstet ist, ungeachtet dessen, ob eine Tätigkeit ausgeführt wurde und um welche es sich handelt. Demnach sind auch Zeiten zum Aufbereiten des Bauschutts während des Rückbaus des Tragwerks enthalten. Die Zeiten für das Aufbereiten des Bauschutts nach dem Rückbau des Tragwerks sind hingegen nicht enthalten.

Für die gesamte Abbruchmaßnahme wurden insgesamt sechs Verfahren angewendet. Diese sind mit Angabe des prozentualen Anteils in Abbildung 125 dargestellt. Die Gesamtdauer für das Anwenden der Verfahren ergibt sich aus der Zeit, in der die Haupttätigkeiten ausgeführt wurden. Abzüglich der Tätigkeit „Bauschutt verladen“ ergibt sich somit eine Anwendungszeit von 1.930 min. Somit entspricht der Anteil für die primären Abbruchtätigkeiten 37 % des Gesamtablaufes.

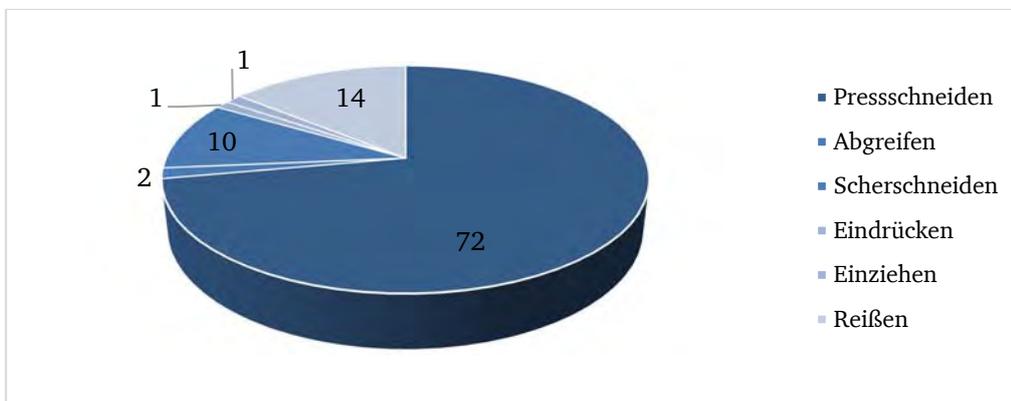


Abbildung 125: Zeitanteile der angewendeten Abbruchverfahren in Prozent

Anhand Abbildung 125 ist erkennbar, dass zeitlich gesehen das Pressschneiden den Hauptanteil mit 72 % einnimmt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Rückbau der Deckenplatte der zeitlich größte Vorgang ist und der Anteil der Haupttätigkeit dabei vergleichsweise hoch ist. Ein Abbruch mit einem Hydraulikhammer stellte keine Alternative dar, da in unmittelbarer Nähe ein erschütterungsempfindliches Serverleistungszentrum betrieben wird. Zudem war es nur möglich, die Decken von einer Seite abzurechen.

Die Bodenplatte und die Streifenfundamente bestanden aus Stahlbeton. Zum Rückbau dieser Bauteile wurde hauptsächlich das Reißen mit dem Abbruchbagger und Tieflöffel angewendet. Ein Zerschneiden der Fundamente oder Anreißen mit einem Reißzahn war aufgrund der geringen Stärke nicht erforderlich. Daraus ergibt sich ein Anteil von 14 % für Reißen mit dem Tieflöffel und Abbruchbagger.

Die oberirdischen Tragwerksstrukturen, bestehend aus Stahlunterzügen und Stahlstützen, wurden in zwei Schritten zurückgebaut. Dazu wurde zunächst das Scherschneiden mit der Kombi-Abbruchzange angewendet. Im Nachgang hat ein weiterer Abbruchbagger mit einem Abbruchgreifer die verbliebenen Stahlstützen eines Feldes abgegriffen, eingedrückt oder eingezogen. Das Scherschneiden repräsentiert hierbei einen Anteil von 10 %. Die Abbruchverfahren Abgreifen, Eindrücken, und Einziehen belaufen sich auf einen gemeinsamen Anteil von 4 %.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass das Pressschneiden und Reißen beim vorliegenden Untersuchungsobjekt 1 zu den zeitintensivsten Verfahren bezogen auf die primäre Abbruchzeit gehören. Eine klare Zuordnung der zeitintensiven Prozesse der Teilabläufe kann nicht pauschaliert angegeben werden. Insbesondere beim Rückbau des Stahltragwerks ist es vermehrt zu einer Kombination mechanischer Abbruchverfahren gekommen. Eine eindeutige Zuteilung ist hingegen beim Rückbau der Stahlbetonbauteile ersichtlich geworden.

#### 4.4.2. Untersuchungsobjekt 2

Bei Betrachtung der Entkernungsarbeiten sind relativ hohe Anteile an Nebentätigkeiten und Verteilzeiten festgestellt worden (siehe Abbildung 126). Der verhältnismäßig hohe Prozentsatz der Nebentätigkeiten ergibt sich u.a. dadurch, dass relativ viel Zeit alleine dafür verwendet wurde, um das passende Werkzeug für das Lösen der jeweiligen Bauteile zu beschaffen. Dies ist auf eine mangelnde Arbeitsorganisation (Arbeitskraft legt zudem mehrmals einen Weg von ca. 35 m zwischen Abbruchobjekt und Werkzeugablage zurück) zurückzuführen. Außerdem kam es aufgrund der beengten Platzverhältnisse und der Arbeiten im Deckenbereich der jeweiligen Geschosse häufig zu außerplanmäßigen Absprachen, dem störungsbedingten Unterbrechen zugeordnet, um das weitere Vorgehen zu besprechen. Daraus lässt sich folgern, dass die Platzverhältnisse vor Ort, die Arbeitsorganisation und die Bauteilgeometrie Einfluss auf die Zeitdauer des Entkernungsvorgangs sowohl per Hand als auch mit Großgeräten haben.

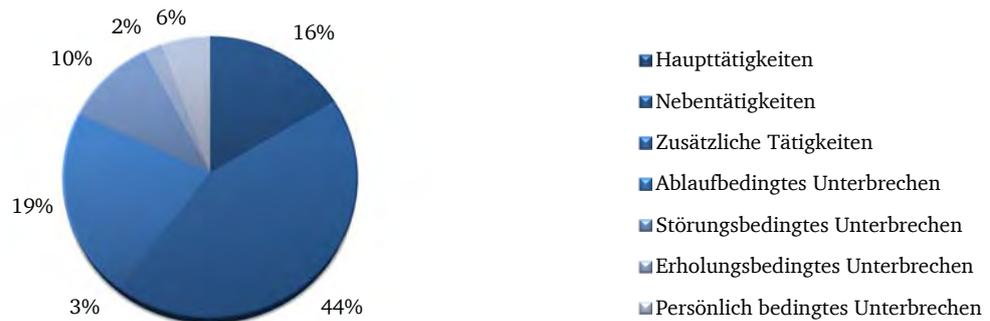


Abbildung 126: Übersicht der prozentualen Verteilung der Zeitartenanteile der Entkernungsarbeiten

Quantitativ spiegeln sich die genannten Einflüsse in der Abbruchleistung wider. Als Bezugsmaßstab wurde der maschinelle Rückbau des Treppenhauses gewählt. Im direkten Vergleich mit dem rein maschinellen Abbruch und der manuellen Demontage zeigte sich, dass die Demontage mit einem Großgerät den geringsten Wirkungsgrad erzielt. Die besseren Leistungswerte der rein manuellen Demontage ergeben sich nach Meinung der Verfasser durch den geringeren Planungsaufwand und die einfachere Bauteilgeometrie als bei der kombinierten Demontage. Die bestmögliche Leistung wurde

mit dem rein maschinellen Abbruch erreicht, jedoch wurden die Bauteile nicht zerstörungsfrei zurückgebaut.

Beim Rückbau der Tragwerksstrukturen konnten weitaus höhere Leistungswerte erzielt werden. Hier wurden die Abbruchvorgänge mit Großgeräten unterstützt. Jedoch stellten die abzurechnenden Baustoffe mit einem Anteil von ca. 98 % den überwiegenden Anteil der Gesamtmasse dar und nahmen mit 57 Arbeitstagen mehr als die Hälfte der Gesamtabbruchdauer ein. Die zeitbeeinflussenden Faktoren stellten nicht nur die eingesetzten Abbruchverfahren, sondern auch gerätetechnische Komponenten (Trägergerät und Anbaugerät), die bauwerkspezifischen Charakteristika (Bauteiltyp, Baustoff, Geometrie, Bruchverhalten des Baustoffes, Abbruchhöhe) und die Baustellenbedingungen (Platzverhältnisse und besonders Beschränkungen durch Emissionen) dar.

Als letzter Prozess ist die Abfallbewirtschaftung anzuführen. Dazu zählen alle Maßnahmen nach dem Rückbau der Bauteile. Diese beinhaltet die Abfallvorsortierung, -bearbeitung, -aufbereitung und das abschließende Verladen der Abfälle. Beim vorliegenden Projekt war besonders die Aufbereitung der Stahlbetonabfälle zeitaufwendig. Entscheidender Vorgang für die Zeitdauer war hier das Einbringen des Abbruchmaterials in den Trichter der mobilen Bauschutttaufbereitungsanlage und damit auch die Dimensionierung der notwendigen Geräte (Trägergerät und Tieflöffel) zur Beschickung der Anlage. Nach Auffassung des Verfassers kann die Abfallsortierung und -bearbeitung dann eine zeitintensive Rolle einnehmen, wenn die Bauteile mit einem nicht selektiven Abbruchverfahren (z.B. Einschlagen) oder groben Abbruchverfahren (z.B. Eindrücken) abgebrochen werden. Werden die Abfälle zudem nicht an selbigem Ort aufbereitet, weil die Baustoffe nicht wieder eingebaut werden, müssen diese verladen werden. Auch in diesem Fall hat die Abfallverladung einen großen Zeitraum beansprucht.

#### 4.4.3. Untersuchungsobjekt 3

Insgesamt wurden 26 Videoaufnahmen mit 3.782 Beobachtungsminuten protokolliert und ausgewertet. Von der Gesamtzeit entfielen:

- 3.366 Minuten auf Grundzeiten (89 %),
- 303 Minuten auf Verteilzeiten (8 %) und
- 113 Minuten auf Erholungszeiten (3 %).

Dies ergibt einen Gesamtzuschlagsprozentsatz<sup>132</sup> für Verteil- und Erholungszeiten auf Basis der Grundzeit von 12,4 %. Dieser Wert liegt deutlich unter den Vergleichs- und Literaturwerten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Aufnahmen auf die produktiven Prozesse bezogen wurden. Um dies zu berücksichtigen, wird für die Ermittlung der Aufwandswerte ein Gesamtzuschlag von 20% angesetzt. Grundsätzlich ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Ergebnisse für Verteil- und Erholungszeiten in der Praxis nicht pauschal anwendbar sind, weil diese nur während der durchgeführten Zeitaufnahmen dokumentiert wurden.

Bei der Leistungsbeurteilung wurde der Leistungsgrad nahezu durchgängig mit 100% angesetzt, weil keine Unterschiede bei der Güte der Arbeitsweise oder Bewegungsgeschwindigkeit festgestellt wurden.<sup>133</sup> Daraus folgt, dass die berechneten Ist-Zeiten den Soll-Zeiten entsprechen.

Hinsichtlich der Zeitanteile der verwendeten Anbaugeräte wurde festgestellt, dass der Einsatz der Kombi-Abbruchzangen mit 40 % den größten Anteil ausmacht. Dies lässt sich darauf zurückführen,

<sup>132</sup>  $(303/3366) \times 100 \% + (113/3366) \times 100 \% = 12,4 \%$ .

<sup>133</sup> Bei der Aufnahme 3-2 (Demontage Treppenhaus) wurde eine Ausnahme unternommen, weil für nichtgeschultes Fachpersonal eine Nichtnormleistung nach REFA ersichtlich war.

dass der Großteil der Stahl- und Stahlbetonbauteile mit diesem Werkzeug abgebrochen wurde. Darüber hinaus wurden die verschiedenen Abbruchzangen mitunter zum Aufbereiten des Betonbruchs sowie zum Sortieren und Entsorgen der Metall- und Stahlabfälle eingesetzt. Des Weiteren wurden die Baggerführer seitens des Auftraggebers angewiesen, den Abbruch der Kellerdecken zur Vermeidung von Lärmemissionen weitestgehend mit Abbruchzangen durchzuführen. Den geringsten Zeitanteil der Anbaugeräte hat daher der Abbruchhammer mit 14 %. Dieser Wert ergibt sich maßgeblich infolge des Abbruchs der Gründungsbauteile des Kellergeschosses. Der Abbruchhammer wurde darüber hinaus zu Beginn der Abbrucharbeiten am Versuchsstand und im Bereich der Kellerdecken eingesetzt, um einen Angriffspunkt für die Abbruchzange herzustellen sowie gelegentlich zur Aufbereitung des Betonbruchs. Die Zeitanteile von Tieflöffel (30 %) und Sortiergreifer (18 %) sind im Wesentlichen auf die Umsetzvorgänge der Abbruchmaterialien und das Beladen der LKW zurückzuführen. Der Sortiergreifer wurde zum Sortieren und Laden von Metall- und Stahlabfällen eingesetzt. Tieflöffel kamen beim Umsetzen und Verladen des Bauschutts zum Einsatz.

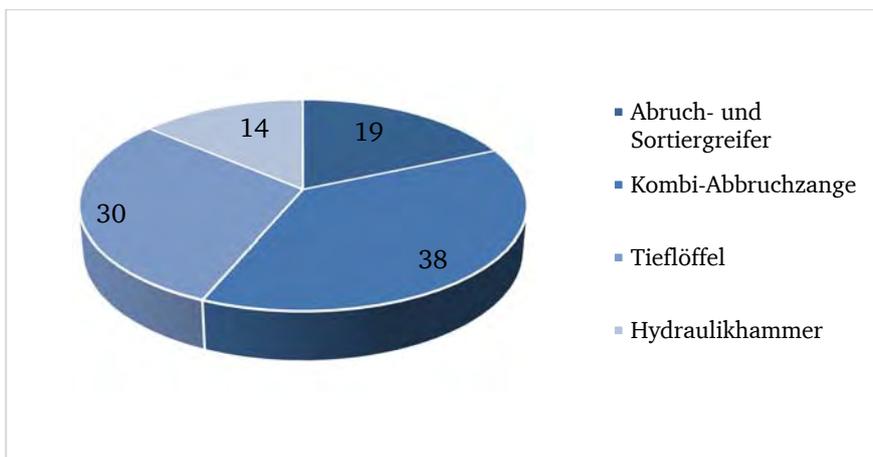


Abbildung 127: Zeitanteile der verwendeten Anbaugeräte in Prozent

Während der gesamten Abbruchmaßnahme werden insgesamt sechs Abbruchverfahren angewendet. Diese sind mit Angabe des prozentualen Anteils in Abbildung 128 dargestellt. Die Gesamtdauer für das Anwenden der Verfahren ergibt sich aus der Zeit, in der die Haupttätigkeiten ausgeführt wurden. Abzüglich der Tätigkeit „Bauschutt verladen“ entspricht der Anteil für die primären Abbruchtätigkeiten 24 % des Gesamtlaufes.

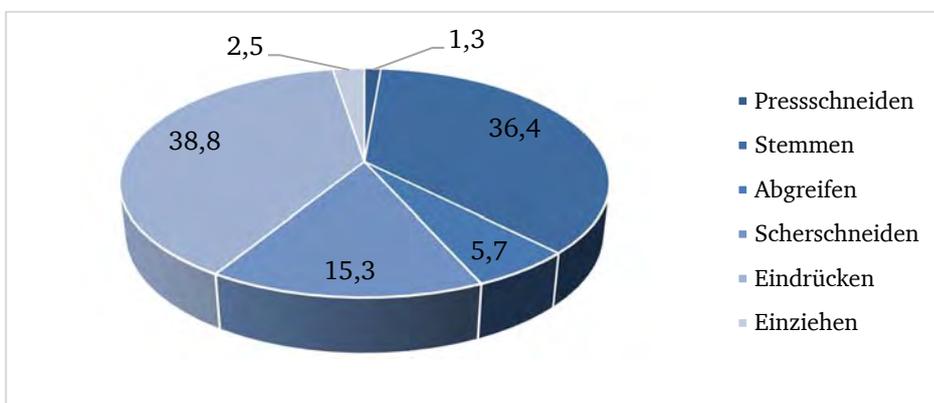


Abbildung 128: Zeitanteile der angewendeten Abbruchverfahren in Prozent

Aus der Abbildung ist erkennbar, dass das Pressschneiden sowie das Stemmen die am häufigsten angewendeten Verfahren waren. Diese Verteilung lässt sich auf den mengenmäßig hohen Anteil der Stahlbetonbauteile zurückführen. Den drittgrößten Anteil hatte das Verfahren Scherschneiden mit ca. 15 % der Gesamtdauer. Unter Berücksichtigung der ausgeführten Mengen wird deutlich, dass das Pressschneiden von Massivbauteilen ein vergleichsweise zeitintensives Verfahren ist. Des Weiteren geht bei einem Vergleich der Verfahren Scherschneiden und Einziehen von Stahlbauteilen hervor, dass das Scherschneiden in Bezug auf die ausgeführten Mengen wesentlich zeitintensiver ist. Die Verfahren Abgreifen und Eindrücken wurden hauptsächlich beim Abbruch von Bauteilen in Mauerwerksbauweise angewandt.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass das Pressschneiden und Stemmen bei Untersuchungsobjekt 3 die zeitintensiven Verfahren sind. Zudem stellte sich heraus, dass bei jedem Teilablauf nur ein Verfahren angewendet wurde. Daher können die bereits festgestellten zeitintensiven Prozesse der Teilabläufe direkt den Verfahren zugeordnet werden. Betrachtet man den Anteil der Haupttätigkeiten an der Gesamtdauer stellt man fest, dass diese lediglich einen geringen Anteil beanspruchen. Nachgelagerte Tätigkeiten wie das Sortieren, Aufbereiten und Verladen des Abbruchmaterials nehmen einen sehr großen Anteil ein.

#### 4.4.4. Untersuchungsobjekt 4

Insgesamt wurden 37 Videoaufnahmen mit 1.238 Beobachtungsminuten protokolliert und ausgewertet. Von der Gesamtzeit entfielen:

- 1.052 Minuten auf Grundzeiten (85 %),
- 173 Minuten auf Verteilzeiten (14 %) und
- 136 Minuten auf Erholungszeiten (11 %).

Dies würde einen Gesamtzuschlagsprozentsatz<sup>134</sup> für Verteil- und Erholungszeiten auf Basis der Grundzeit von 29,4 % ergeben und liegt im Rahmen der Vergleichswerte (siehe Erläuterungen zu Abbildung 123). Die für die Aufwandswertermittlung verwendeten 30 % stellen somit eine gute Näherung dar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Aufnahmen auf die produktiven Prozesse bezogen wurden.

Bei der Leistungsbeurteilung wurde der Leistungsgrad nahezu durchgängig mit 100 % angesetzt, weil keine Unterschiede bei der Güte der Arbeitsweise oder Bewegungsgeschwindigkeit festgestellt wurden. Daraus folgt, dass die berechneten Ist-Zeiten den Soll-Zeiten entsprechen.

Hinsichtlich der Zeitanteile der verwendeten Anbaugeräte wurde festgestellt, dass der Einsatz von Pulverisierer und Tieflöffel mit jeweils knapp 35 % den größten Anteil ausmachen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit diesen Geräten neben der reinen Abbruchtätigkeit auch das Sortieren respektive Umsetzen und Aufbereiten des Abbruchmaterials ausgeführt wurde und es sich bei diesen Vorgängen um zeitintensive Prozesse handelt. Die übrigen Vorgänge wurden ebenfalls mit dem Hydraulikbagger in Kombination mit verschiedenen Anbaugeräten durchgeführt.

---

<sup>134</sup>  $(173/1052) \times 100 \% + (136/1052) \times 100 \% = 26,5 \%$ .

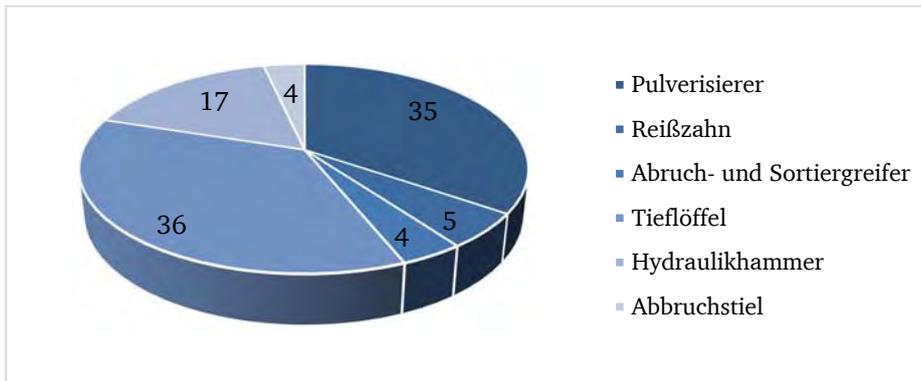


Abbildung 129: Zeitanteile der verwendeten Anbaugeräte in Prozent

In den oben dargestellten Ergebnissen sind sämtliche Zeiten enthalten, in denen das jeweilige Anbaugerät ausgerüstet ist, ungeachtet dessen, ob eine Tätigkeit ausgeführt wurde und um welche es sich handelt. Demnach sind auch Zeiten zum Aufbereiten des Bauschutts während dem Rückbau des Tragwerks enthalten. Die Zeiten für das Aufbereiten des Bauschutts nach dem Rückbau des Tragwerks sind hingegen nicht enthalten.

Während der gesamten Abbruchmaßnahme wurden insgesamt fünf Abbruchverfahren angewendet. Diese sind mit Angabe des prozentualen Anteils in Abbildung 130 dargestellt. Die Gesamtdauer für das Anwenden der Verfahren ergibt sich aus der Zeit, in der die Haupttätigkeiten ausgeführt werden. Abzüglich der Tätigkeit „Bauschutt verladen“ entspricht der Anteil für die primären Abbruchtätigkeiten 39 % des Gesamtablaufes.

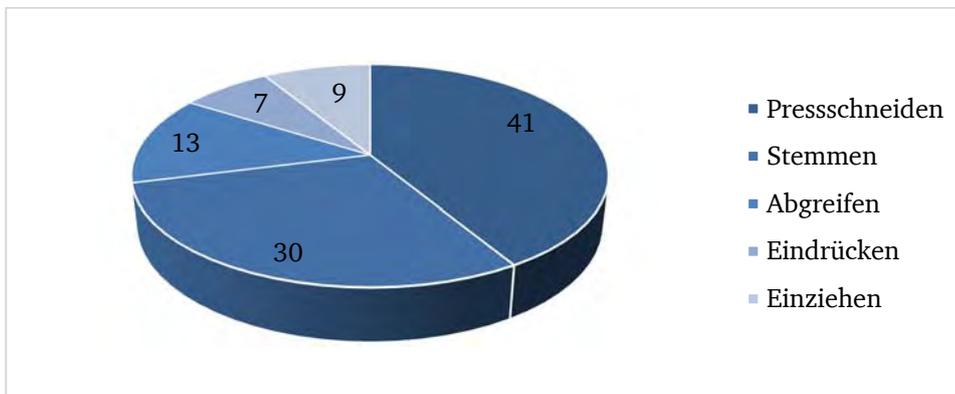


Abbildung 130: Zeitanteile der angewendeten Abbruchverfahren in Prozent

Anhand der Auswertung ist erkennbar, dass das Pressschneiden mit 41 % das am häufigsten angewendete Verfahren war. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zum Rückbau sämtlicher bewehrter sowie stellenweise unbewehrter mineralischer Bauteile hauptsächlich das Pressschneiden angewendet wurde. Weiterhin kommt dieses Verfahren zum Zerkleinern der Abbruchabfälle im Rahmen der Bauschuttzubereitung zur Anwendung.

Das Stemmen wurde überwiegend für den Rückbau der Bodenplatte sowie weiterer massiger Gründungsbauteile angewendet.

Die Wände des Untersuchungsobjektes bestanden überwiegend aus Mauerwerk. Diese Bauteile wurden wie der Dachstuhl auch hauptsächlich eingedrückt respektive eingezogen, was insgesamt einen Anteil von 16 % ergibt.

Der Rückbau verschiedener Elemente der technischen Gebäudeausrüstung sowie stellenweise die Separierung des anfallenden Abbruchmaterials wurden mit dem Greifer als Anbaugerät ausgeführt. Somit entspricht das Abgreifen einem Anteil von 13%.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass das Pressschneiden und das Stemmen bei Untersuchungsobjekt 4 im Gesamten den höchsten Anteil an den primären Abbruchtätigkeiten besitzen. Jedoch sind auch bei diesem Projekt das Sortieren und das Aufbereiten des Abbruchmaterials die zeitintensivsten Prozesse.

#### 4.4.5. Untersuchungsobjekt 5

Für die Datenermittlung wurden insgesamt 69 Videoaufnahmen durchgeführt und 5.226 Beobachtungsminuten protokolliert und ausgewertet. Von der Gesamtzeit entfielen:

- 4.707 Minuten auf Grundzeiten (94 %),
- 113 Minuten auf Verteilzeiten (2 %) und
- 192 Minuten auf Erholungszeiten (4 %).

Dies würde einen Gesamtzuschlagsprozentsatz<sup>135</sup> für Verteil- und Erholungszeiten auf Basis der Grundzeit von 6,5 % ergeben. Dieser Wert liegt deutlich unter den Vergleichs- und Literaturwerten. Nach Ansicht des Verfassers ist der ermittelte Wert auf die gesamte Abbruchmaßnahme gesehen deutlich zu niedrig. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Aufnahmen auf die produktiven Prozesse bezogen wurden. Um dies zu berücksichtigen, wird für die Ermittlung der Aufwandswerte ein Gesamtzuschlag von 15% angesetzt.

Bei der Leistungsbeurteilung wurde der Leistungsgrad nahezu durchgängig mit 100% angesetzt, weil keine Unterschiede bei der Güte der Arbeitsweise oder Bewegungsgeschwindigkeit festgestellt wurden. Daraus folgt, dass die berechneten Ist-Zeiten den Soll-Zeiten entsprechen.

Hinsichtlich der Zeitanteile der verwendeten Abbruchgeräte wurde festgestellt, dass der Einsatz der Betonsäge sowie des Hydraulikbaggers mit Sortierlöffel mit jeweils 19 % den größten Anteil ausmachen. Die übrigen Vorgänge werden ebenfalls alle mit dem Hydraulikbagger in Kombination mit verschiedenen Anbaugeräten durchgeführt. Diese bilden insgesamt 81 % der Gesamtdauer (in Abbildung 131 blau dargestellt).

Um einen repräsentativen Vergleich für den Rückbau mit dem Hydraulikbagger zu erhalten, werden parallel dazu nur die verwendeten Anbaugeräte dargestellt. Dabei wird festgestellt, dass der Sortierlöffel (23 %) und der Pulverisierer (21 %) die am längsten verwendeten Anbaugeräte sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit diesen Geräten überwiegend das Sortieren und Aufbereiten des Abbruchmaterials ausgeführt wird und es sich bei diesen Vorgängen um zeitintensive Prozesse handelt.

---

<sup>135</sup>  $(113/4707) \times 100 \% + (192/4707) \times 100 \% = 6,5 \%$ .

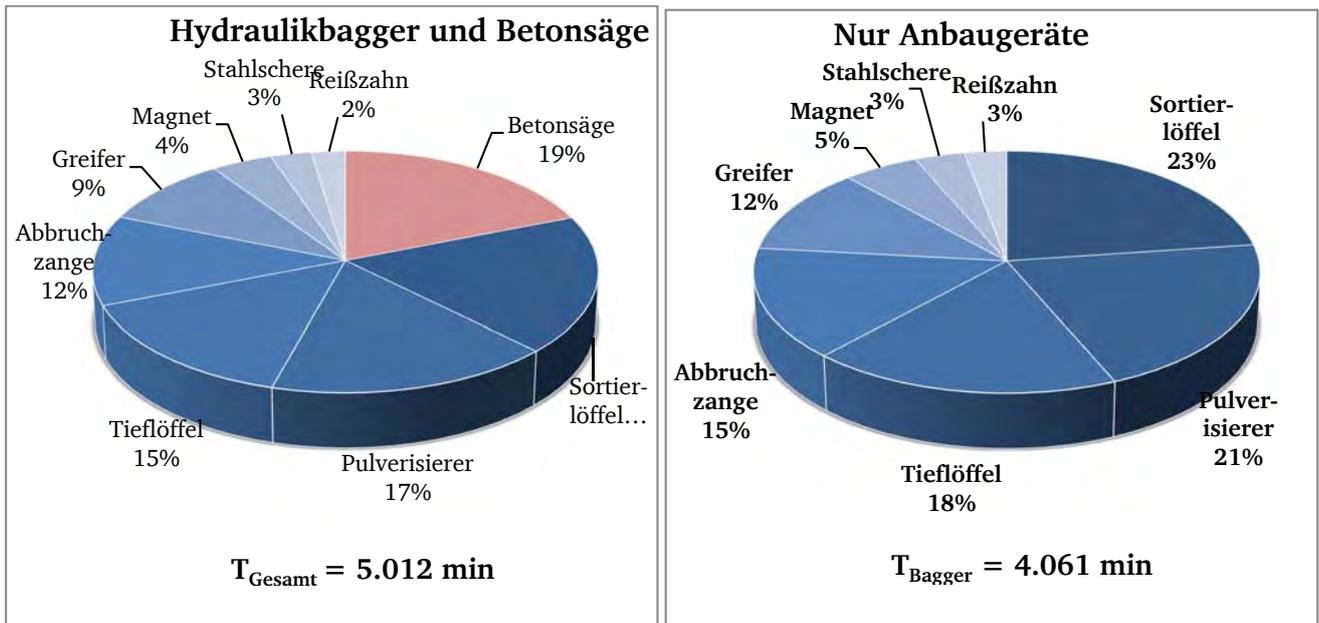


Abbildung 131: Zeitanteile der verwendeten Anbaugeräte in Prozent

In den oben dargestellten Ergebnissen sind sämtliche Zeiten enthalten in denen das jeweilige Anbaugerät ausgerüstet ist, ungeachtet dessen, ob eine Tätigkeit ausgeführt wird und um welche es sich handelt. Demnach sind auch Zeiten zum Aufbereiten des Bauschutts während dem Rückbau des Tragwerks enthalten. Die Zeiten für das Aufbereiten des Bauschutts nach dem Rückbau des Tragwerks sind hingegen nicht enthalten.

Während der gesamten Abbruchmaßnahme wurden insgesamt sechs Abbruchverfahren angewendet. Diese sind mit Angabe des prozentualen Anteils in Abbildung 132 dargestellt. Die Gesamtdauer für das Anwenden der Verfahren ergibt sich aus der Zeit, in der die Haupttätigkeiten ausgeführt werden. Abzüglich der Tätigkeit „Bauschutt verladen“ ergibt sich somit eine Anwendungszeit von 1.290 min. Somit entspricht der Anteil für die primären Abbruchtätigkeiten 27 % des Gesamtablaufes. Es ist zu beachten, dass es sich bei der Zusammensetzung der Zeitanteile um eine Annäherung an das tatsächliche Abbild des Gesamtablaufes handelt.

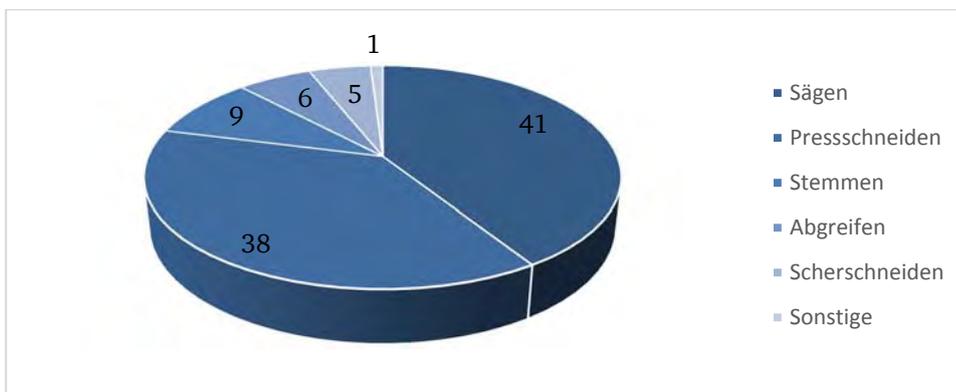


Abbildung 132: Zeitanteile der angewendeten Abbruchverfahren in Prozent

Anhand Abbildung 132 ist erkennbar, dass zeitlich gesehen das Sägen den Hauptanteil mit 41 % einnimmt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Zersägen der Bodenplatte der zeitlich größte

Vorgang ist und der Anteil der Haupttätigkeit dabei vergleichsweise hoch ist. Für den Rückbau der Bodenplatte war das Reißen mit dem Reißzahn vorgesehen. Dieses Verfahren konnte jedoch nicht angewendet werden, da die Bodenplatte aufgrund ihrer Abmessungen zu stabil für das maschinelle Aufbrechen mit dem Tieflöffel oder dem Reißzahn war.

Die Kellerdecke, das Fundament und die Außenwände bestanden aus Stahlbeton. Zum Rückbau dieser Bauteile wurde hauptsächlich das Pressschneiden angewendet (Zeitanteil von 38 %). Um die Fundamente abbrechen zu können, wurde ein Angriffspunkt für das Pressschneiden gestemmt. Die Besonderheit hierbei war, dass zum Stemmen kein Hydraulikhammer, sondern ein Reißzahn verwendet wurde. Dies ist auf die vertraglichen Vereinbarungen zurückzuführen. Gemäß der Baubeschreibung waren Erschütterungen durch geeignete Ausführung auf ein Minimum zu beschränken. Während des Rückbaus wurde festgestellt, dass für das Pressschneiden der Fundamente kein Angriffspunkt vorhanden war. Um dieses Problem zu lösen, wurde der auf der Baustelle vorhandene Reißzahn für das Stemmen verwendet. Daher ergibt sich ein Anteil für das Stemmen von 9 %, welcher jedoch als Sonderfall zu betrachten ist.

Der Rückbau des Fußbodens, genauer die Vorgänge „Fliesen abgreifen“ und „Estrich abgreifen“, wurde mit dem Greifer als Anbaugerät ausgeführt. Dies entspricht einem Zeitanteil von 6%.

Das Scherschneiden wurde beim Rückbau der verglasten Stahlkonstruktion angewendet. Das oberirdische Tragwerk konnte mit diesem Verfahren komplett abgebrochen werden. Die Glasplatten der Fassade hatten keinen erkennbaren Einfluss auf das Verfahren, da diese bereits bei leichten Berührungen mit der Stahlschere zerbrachen. Das Scherschneiden entspricht 5 % der gesamten Anwendungszeit der Verfahren.

Die Verfahren Eindrücken, Einziehen und Reißen konnten während des Rückbaus der oberirdischen Stahlkonstruktion und des Fundamentes stellenweise beobachtet werden. Es handelte sich jedoch dabei um Versuche, die nicht zum Rückbaufortschritt beitragen. Zudem ist der Anteil dieser Verfahren vernachlässigbar klein (unter 1 %) und wird daher nicht weiter betrachtet.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass das Sägen und das Pressschneiden bei Untersuchungsobjekt 5 im Gesamten den höchsten Anteil an den primären Abbruchtätigkeiten besitzen. Zudem, dass bei jedem Teilablauf nur ein Verfahren angewendet wurde. Daher können die bereits festgestellten zeitintensiven Prozesse der Teilabläufe direkt den Verfahren zugeordnet werden. Eine Ausnahme bildet der Rückbau der Fundamente, da hierbei das Pressschneiden sowie das Stemmen angewendet wurden. Jedoch sind auch bei diesem Vorgang das Sortieren und das Aufbereiten des Abbruchmaterials die zeitintensivsten Prozesse am Gesamtablauf.

#### **4.4.6. Untersuchungsobjekt 6**

Für die Datenermittlung wurden insgesamt 65 Videoaufnahmen durchgeführt und 2.997 Beobachtungsminuten protokolliert und ausgewertet. Von der Gesamtzeit entfielen:

- 2.828 Minuten auf Grundzeiten (94 %),
- 144 Minuten auf Verteilzeiten (5 %) und
- 25 Minuten auf Erholungszeiten (1 %).

Der Anteil<sup>136</sup> für Verteil- und Erholungszeiten auf Basis der Grundzeit beträgt 6 %. Dieser Wert liegt deutlich unter den Vergleichswerten. Nach Ansicht des Verfassers ist der ermittelte Wert auf die gesamte Abbruchmaßnahme gesehen deutlich zu niedrig. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Aufnahmen auf die produktiven Prozesse bezogen wurden. Der für die Aufwandswertermittlung angesetzte Zuschlagssatz in Höhe von 30% stellt somit eine realistischere Näherung dar.

Hinsichtlich der Leistungsbeurteilung wurde der Leistungsgrad bei fast allen Aufnahmen mit 100% angesetzt. Bei der Ermittlung des Aufwandswertes für das Abgreifen des Daches konnte anfangs eine langsamere und vorsichtigere Bewegungsgeschwindigkeit festgestellt werden. Dort wurde der Leistungsgrad mit 90-95 % beurteilt. Hieraus folgt, dass die berechneten Ist-Zeiten weitgehend den Soll-Zeiten entsprechen.

Hinsichtlich der Zeitanteile der verwendeten Abbruchgeräte wurde festgestellt, dass alle Abbrucharbeiten mit dem Hydraulikbagger in Kombination mit verschiedenen Anbaugeräten durchgeführt wurden. In diesem Zusammenhang konnten der Abbruch- und Sortiergreifer (55 %) und der Tieflöffel (39 %) als die am häufigsten verwendeten Anbaugeräte identifiziert werden.

So wurden bei Untersuchungsobjekt 6 der Pulverisierer (5 %) und der Abbruchhammer (1 %) nur für einen sehr kleinen Teil des Abbruchs der Stahlbetondecke verwendet. Alle anderen Bereiche und Bauteile konnten mit dem Abbruch- und Sortiergreifer abgebrochen werden. Seine Anwendung war sehr vielfältig. Der Tieflöffel und der Sieblöffel wurden hauptsächlich für die nachgelagerten Prozesse wie Abfallsortierung und –aufbereitung verwendet.

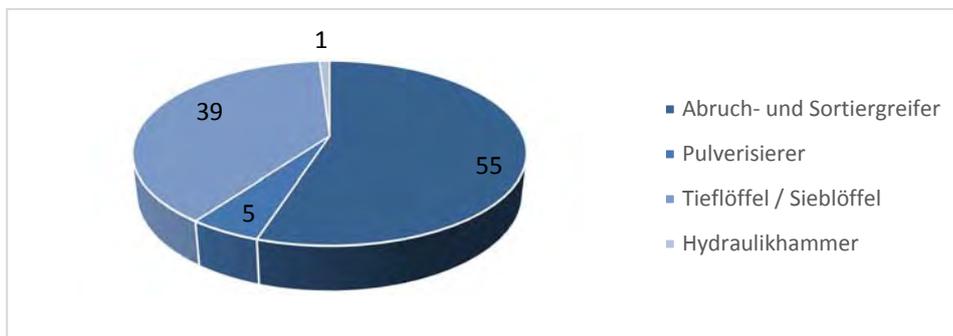


Abbildung 133: Zeitanteile der verwendeten Anbaugeräte in Prozent

In den oben dargestellten Ergebnissen sind sämtliche Zeiten enthalten in denen das jeweilige Anbaugerät ausgerüstet ist, ungeachtet dessen ob eine Tätigkeit ausgeführt wurde und um welche es sich handelte. Demnach sind auch Zeiten zum Aufbereiten des Bauschutts während dem Rückbau des Tragwerks enthalten. Die Zeiten für das Aufbereiten des Bauschutts nach dem Rückbau des Tragwerks sind hingegen nicht enthalten.

Während der gesamten Abbruchmaßnahme wurden insgesamt fünf Abbruchverfahren angewendet. Diese sind mit Angabe des prozentualen Anteils in Abbildung 134 dargestellt. Die Gesamtdauer für das Anwenden der Verfahren ergibt sich aus der Zeit in der die Haupttätigkeiten ausgeführt werden. Abzüglich der Tätigkeit „Bauschutt verladen“ und „Beschicken der Brechanlage“ ergibt sich somit eine Anwendungszeit von 319 min. Somit entspricht der Anteil für die primären Abbruchtätigkeiten 13 % des Gesamttablaufes.

<sup>136</sup>  $(144/2828) \times 100 \% + (25/2828) \times 100 \% = 26,5 \%$ .

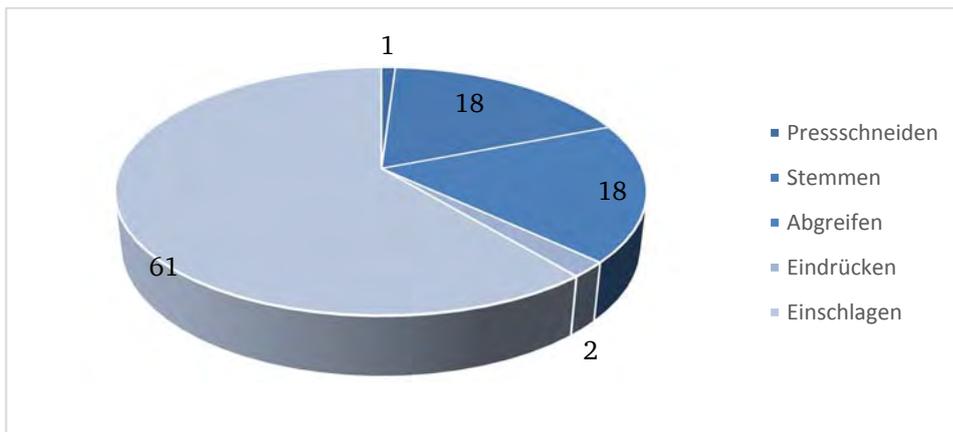


Abbildung 134: Zeitanteile der angewendeten Abbruchverfahren in Prozent

Anhand Abbildung 134 ist erkennbar, dass zeitlich gesehen das Einschlagen mit knapp 61 % den Hauptteil einnimmt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bestimmte Bereiche der Wände manuell eingeschlagen werden mussten. Dies ist ein sehr zeitaufwändiger Vorgang mit einem hohen Teil an Haupttätigkeiten. Weiterhin wurden sowohl Wände als auch Teile der Decke eingeschlagen. Das Abgreifen diverser Bauteile beanspruchte 18 % der Haupttätigkeiten. Bauteilbezogen entfällt hier aufgrund der Abmessungen der größte Anteil des Verfahrens auf das Abgreifen des Daches. Bauteile wie Unterzüge aus Stahl und Stahlbeton sind nur von untergeordneter Bedeutung, da sie komplett abgegriffen wurden, was relativ wenig Zeit in Anspruch nahm.

Das Verfahren Stemmen wurde lediglich bei einem Teilbereich der Decke angewandt. Hierbei handelte sich um einen mit Stahlbeton erhöhten Bereich, weshalb das Verfahren Einschlagen nicht geeignet war. Die Stemmarbeiten wurden mit Hilfe eines Hydraulikhammers durchgeführt. Auffällig ist hierbei, dass der Anteil der Haupttätigkeiten sehr hoch war. Weiterhin ist der prozentuale Anteil an der Gesamtdauer recht hoch. Dies zeigt, dass hier eine geringe Abbruchleistung erzielt wurde.

Für das Untersuchungsobjekt 6 von vergleichsweise untergeordneter Bedeutung sind die Verfahren Eindrücken und Pressschneiden. Das Eindrücken kam bei Wänden zum Einsatz, wenn die Umgebung ausreichend Platz für die kontrolliert fallenden Abbruchmassen bot. Hierbei wurde eine sehr hohe Leistung erzielt. Auf den Gesamtprozess bezogen weist dieses Verfahren jedoch nur einen Anteil von 2 % auf.

Das Pressschneiden wurde im nördlichen Bereich des Hallenbereichs zum Abbruch der Stahlbetondecke angewendet. Hier war aufgrund der Nachbarbebauung ein erschütterungsärmeres Abbruchverfahren als das Einschlagen notwendig. Da es sich bei dem abgebrochenen Bauteil nur um einen sehr kleinen Teil handelt ist der Anteil des Abbruchverfahrens entsprechend gering.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass das Einschlagen und Abgreifen im Gesamten den höchsten Anteil an den primären Abbruchtätigkeiten besitzen. Zudem stellt sich heraus, dass bei jedem Teilablauf nur ein Verfahren angewendet wurde. Daher können die bereits festgestellten zeitintensiven Prozesse der Teilabläufe direkt den Verfahren zugeordnet werden. Betrachtet man den Anteil der Haupttätigkeiten an der Gesamtdauer stellt man fest, dass diese lediglich einen kleinen Anteil beanspruchen. Nachgelagerte Tätigkeiten wie das Sortieren und Aufbereiten des Abbruchmaterials nehmen einen sehr großen Teil ein.

## 5. Umsetzung der Ergebnisse: Weiterentwicklung der Bewertungsmatrix

Arbeitspaket P5 (Weiterentwicklung Bewertungsmatrix) unterteilt sich in die 4 Arbeitsschwerpunkte P5.1 "Bewertungsmatrix – Status Quo", P5.2 "Notwendigkeit der Anpassung", P5.3 "Schnittstellengenerierung zu ökologischen Datenbanken" sowie P4.4 "Anpassung / Umsetzen der gewonnenen Ergebnisse".

### 5.1. Bewertungsmatrix - Status Quo

In P5.1 wird zunächst der aktuelle Stand der am Institut für Baubetrieb entwickelten Bewertungsmatrix zur „technischen und ökonomischen Bewertung von Abbruchverfahren im Industriebau“ untersucht. Die Ausführungen stellen die Grundlage der darauf aufbauenden Untersuchungen hinsichtlich der Weiterentwicklung des Softwaretools dar.

Die Bewertungsmatrix ermöglicht eine nachvollziehbare und transparente Rangfolge verschiedener Abbruchverfahren zueinander auf Basis einer objektiven Bewertung. Die Rangfolgen werden separat für jedes Abbruchverfahren nach technischen und ökonomischen Aspekten unterschieden. Grundlage hierfür bilden die Ergebnisse einer Nutzwertanalyse, bei der ein technischer Verfahrensvergleich sowie eine Abschätzung der Kosten und Ausführungsdauern durch Multiplikation der Kubatur des Abbruchobjektes mit einem Zeit- respektive Kostenkennwert stattfinden.

Die Bewertungsmatrix wurde ursprünglich als Excel-Anwendung für MS Office 2000 erstellt und kann aufgrund des Dateiformats (.xlsx-Datei) mit gängigen Programmversionen wie MS Office 2003, 2007, 2010 und 2013 und OpenOffice genutzt werden. Sie wurde am Institut für Baubetrieb der TU Darmstadt von Dr.-Ing. Carsten Toppel im Jahr 2001 entwickelt und in den nachfolgenden Jahren fortlaufend von weiteren Autoren konzeptionell weiterentwickelt. Der Aufbau der Bewertungsmatrix ist modular gestaltet. Dies bedeutet, dass die Inhalte der verschiedenen Excel-Blätter klar voneinander abgegrenzt werden können.<sup>137</sup>

Ursprünglich deckte die Bewertungsmatrix von Toppel Industriebauten ab. Bedingt durch den technischen Fortschritt von Abbruchverfahren, der zugehörigen Gerätetechnik und veränderten konstruktiven Randbedingungen wie massive Betonkonstruktionen und größere Spannweiten, wurde die Matrix auf die Anwendung für den Abbruch von baulichen Anlagen von Kernkraftwerken erweitert.

Nachfolgend wird eine verständliche und nachvollziehbare Erörterung der Bewertungsmatrix im Sinne einer Bedienungshilfe bzw. Anleitung für Anwender vorgenommen. Mit dem Begriff „Anwender“ sind sowohl männliche als auch weibliche Benutzer der Bewertungsmatrix bezeichnet. Der aktuelle Stand der Bewertungsmatrix beschreibt die technologischen und ökonomischen Aspekte von Abbruchverfahren, ohne eine Betrachtung von ökologischen Aspekten und umfasst nach aktuellem Stand folgende Module:

- Allgemeines Modul (AM),
- Prioritätenmodul (PM),
- Eingabemodul (EIM),
- Verfahrensbewertungsmodul (VBM),
- Kostenbewertungsmodul Industrie (KBMI),
- Kostenbewertungsmodul KKW (KBMK),
- Zeitbewertungsmodul Industrie (ZBMI),
- Zeitbewertungsmodul KKW (ZBMK),
- Ergebnismodul (ERM).

<sup>137</sup> Beispielsweise sind die technische Anwendbarkeit von Abbruchverfahren und die Kosten auf getrennten Excel-Blättern angeordnet.

Jedes Modul wird in den nachfolgenden Kapiteln detailliert beschrieben. Bei den Modulen handelt es sich um drei Eingabemodule, fünf Berechnungsmodule sowie ein Ergebnismodul. Der Anwender füllt die ersten drei Module „Allgemein“, „Prioritätenmodul“ und „Eingabemodul“ mit den geforderten und notwendigen Daten aus. Anschließend werden auf Basis der eingegebenen Daten in den nächsten fünf Modulen „Verfahrensbewertungsmodul“, „Kostenbewertungsmodul Industrie“, „Kostenbewertungsmodul KKW“, „Zeitbewertungsmodul Industrie“ und „Zeitbewertungsmodul KKW“ technologische, monetäre und zeitliche Komponenten bzw. Ergebnisse der jeweiligen Abbruchverfahren errechnet. Abschließend werden diese Ergebnisse aus den fünf Berechnungsmodulen im letzten Modul „Ergebnismodul“ übersichtlich angezeigt und zusammengefasst.

Der chronologische Ablauf der Bewertungsmatrix ist mittels eines Programmablaufplans (PAP) zum besseren Verständnis in der nachfolgenden Abbildung 135 dargestellt. Anhand des Programmablaufplans werden somit die Reihenfolge der jeweiligen Module aufgezeigt und ein Überblick über die gesamte Bewertungsmatrix gegeben. Die gelbhinterlegten Felder symbolisieren den Start bzw. das Ende des Programms. Die hellblauen Felder stellen sämtliche Module dar. Die grünen Felder stellen Operationen bzw. Rechnungen oder Ergebnisse dar, die das vorherige Modul berechnet hat oder in ihm angezeigt werden.

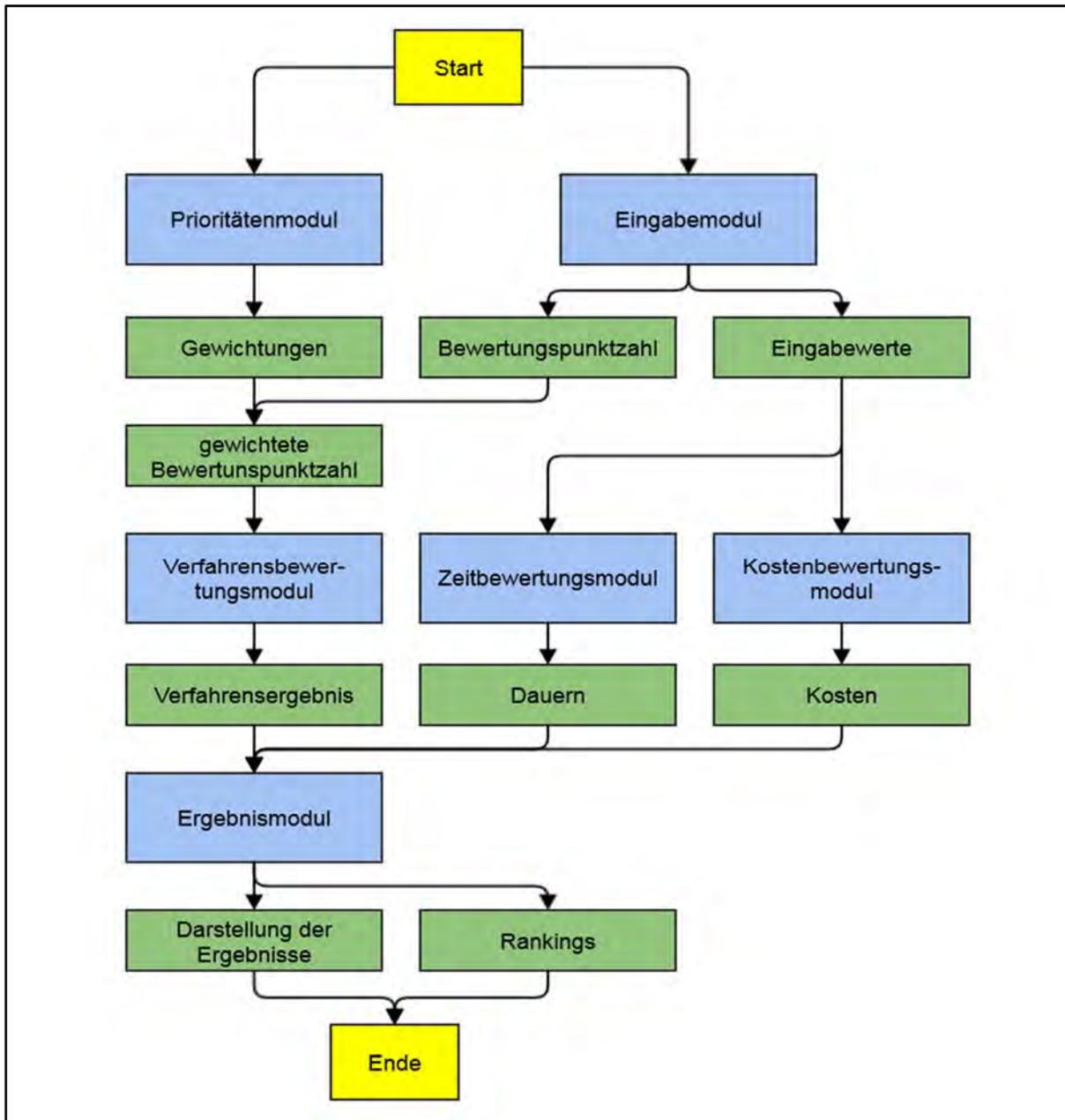


Abbildung 135: Programmablaufplan der Bewertungsmatrix Status Quo

## 5.2. Anforderungsanalyse zur Weiterentwicklung der Bewertungsmatrix

In **P5.2** wird die Notwendigkeit der Weiterentwicklung der Bewertungsmatrix erörtert. Diese resultiert insbesondere aus der bislang nicht vorhandenen Möglichkeit, auch ökologische Aspekte, die mit dem Abbruch einhergehen, zu beleuchten. Analog der Betrachtung der Ausführungsdauern und Kosten soll die Bestimmung der ökologischen Auswirkungen eines jeden Verfahrens sowie die Gewichtung dieser zueinander erfolgen.

Zunächst wird die Methodik des Pflichtenheftes zur Integration des neuen Moduls, das die Ökologie widerspiegeln soll, identifiziert. Die Systematik des Pflichtenheftes wird zunächst allgemein erläutert. Auf Basis der neugewonnenen Erkenntnisse wird ein Pflichtenheft für das neue „Ökologische Bewertungsmodul“, nachfolgend ÖBM abgekürzt, der Bewertungsmatrix erstellt. Auf Basis dieses spezifischen Pflichtenheftes erfolgt wiederum eine nachvollziehbare Integration der geforderten Funktionen des neuen ÖBM in die Bewertungsmatrix.

Des Weiteren erhält die Bewertungsmatrix eine Anpassung an den Stand der Technik von Abbruchverfahren. Diese Anpassung umfasst eine Integration von jenen Abbruchverfahren nach DIN 18007:2000-05, die bislang noch nicht in der Bewertungsmatrix erfasst sind. Abschließend erhält die Bewertungsmatrix zahlreiche Überarbeitungen, Verbesserungen, Fehlerbehebungen und Aktualisierungen mit besonderem Fokus auf die Nutzerfreundlichkeit und Transparenz für den Anwender. Die nachvollziehbaren Beschreibungen der jeweiligen Überarbeitungen und Anpassungen erfolgen modulweise.

Im Kontext der Softwaretechnik und der Softwareentwicklung angewendete Instrumente sind das Lastenheft und das zugehörige Pflichtenheft, welche in DIN 69901-5 definiert sind<sup>138</sup>.

Das Lastenheft umfasst die Anforderungen und gesamten gewünschten und gleichzeitig geforderten Leistungen inkl. Anforderungen an den Auftragnehmer (AN). Präzisiert bedeutet dies, dass der Auftraggeber (AG) im Lastenheft die gewünschten Leistungen für den AN definiert.

Das Pflichtenheft wird im nächsten Schritt des Projektablaufs vom AN auf der Basis des Lastenheftes des AG erstellt und gibt Realisierungsmaßnahmen zur Erreichung der geforderten Leistung wieder. Die Gliederung respektive die Bestandteile eines Pflichtenheftes sind nicht in der DIN Norm oder anderweitig festgelegt. Das Pflichtenheft basiert auf der Gliederung nach Balzert, welche sich in der Praxis bewährt hat und als Standard in der Lehre angesehen wird.<sup>139</sup> So verwendeten u.a. diverse Hochschulen<sup>140</sup> die Gliederung des Pflichtenheftes nach Balzert. Das Pflichtenheft ist unterteilt in nachfolgende zwölf Kapitel:

- 1. Zielbestimmungen,
- 2. Produkteinsatz,
- 3. Produktumgebung,
- 4. Produktfunktionen,
- 5. Produktdaten,
- 6. Produktleistungen,
- 7. Benutzeroberfläche,
- 8. Qualitätsbestimmungen,
- 9. Globale Testszenarien und Testfälle,
- 10. Entwicklungsumgebung,
- 11. Ergänzungen,
- 12. Glossar.

<sup>138</sup> Vgl. DIN 69901-5:2009-01, S.9 ff.

<sup>139</sup> Vgl. Balzert (2001), S. 114 ff.

<sup>140</sup> Vgl. Hochschule München (2009), S. 2 ff., Vgl. TU Braunschweig (2011), S. 7 ff., Vgl. Universität Mannheim (2002)

Aufgrund des für die Weiterentwicklung der Bewertungsmatrix zielführenden Aufbaus soll das „Ökologische Bewertungsmodul“ auf Grundlage eines Pflichtenheftes, das sich an der Gliederung nach Balzert orientiert, erstellt werden. Ein zuvor erstelltes Lastenheft ist nicht erforderlich.

### 5.2.1. Festlegung der Inhalte des Pflichtenheftes ÖBM

Nachfolgend wird zu jedem der zwölf Kapitel des Pflichtenheftes eine kurze inhaltliche Zusammenfassung gegeben und analysiert, ob das entsprechende Kapitel für das Pflichtenheft des ÖBM sinnvoll ist.

#### 1) Zielbestimmungen

Der Inhaltspunkt „Zielbestimmungen“ ist in drei Bestandteile untergliedert. Diese sind Musskriterien, Wishkriterien und Ausschluss- bzw. Abgrenzungskriterien. Die Musskriterien umfassen die unbedingten Leistungen, die das Produkt erfüllen muss. Die Wishkriterien, teilweise auch Sollkriterien genannt, beschreiben optionale bzw. wünschenswerte Leistungen, die das Produkt haben kann, aber nicht muss. Die Ausschlusskriterien beschreiben die Anforderungen, die das Produkt nicht haben muss. Im Pflichtenheft zum ÖBM werden die Musskriterien und die Ausschlusskriterien übernommen. Die Wishkriterien werden im Pflichtenheft des ÖBM nicht übernommen. Sie können in einer weiteren Entwicklungsstufe definiert werden. Sofern das Produkt bestimmte nicht obligatorische Leistungen haben kann, so stellt dies eine Option der Programmierung dar.

#### 2) Produkteinsatz

Der „Produkteinsatz“ umfasst drei Unterkapitel: Anwendungsbereiche, Zielgruppen und Betriebsbedingungen. Die Anwendungsbereiche beschreiben die Einsatzgebiete des Produkts, die Zielgruppen die möglichen Anwendergruppen und die Betriebsbedingungen umfassen die physikalische Umgebung des Systems wie beispielsweise Büroumgebung, mobiler Einsatz oder Produktionsanlagen, tägliche Betriebszeit und ständige Beobachtung des Systems durch Bediener oder unbeaufsichtigter Betrieb.<sup>141</sup> Alle Elemente werden in die Entwicklung implementiert.

#### 3) Produktumgebung

Die Produktumgebung definiert Anforderungen an die Software, die Hardware, die Orgware und die Schnittstellen des Produkts. Unter Software werden Softwaresysteme wie bspw. Betriebssysteme, Datenbanken, Programme, etc. aufgeführt. Unter Hardware werden die notwendigen physischen Komponenten des Computers aufgeführt zur Benutzung des Produkts. Unter Orgware werden die organisatorischen Randbedingungen verstanden<sup>142</sup>. Schnittstellen stellen die Eingliederung in bestehende Produktfamilien dar. Ein Beispiel hierfür ist das Tabellenkalkulationsprogramm Excel, die Softwarefamilie ist Microsoft Office. Die Elemente werden in die Entwicklung übernommen, jedoch aufgrund der ähnlichen Thematik und Überschneidungen zu „2) Produkteinsatz“ werden die Inhalte zur Produktumgebung mit denen der Betriebsbedingungen fusioniert.

#### 4) Produktfunktionen

Die Muss-, Wunsch- und Abschlusskriterien des Lastenheftes werden gemäß den Zielbestimmungen des Pflichtenheftes konkretisiert und beschrieben. Dies wird in die Entwicklung übernommen.

<sup>141</sup> Vgl. Balzert (2001), S. 115.

<sup>142</sup> bspw. das Vorhandensein einer Internetverbindung in einem Unternehmen, um Emails versenden zu können.

#### 5) Produktdaten

Die Produktdaten beschreiben die langfristig gespeicherten Daten des Produkts aus Benutzersicht.<sup>143</sup> Dies wird in die Entwicklung übernommen.

#### 6) Produktleistungen

Die zeit- und umfangsbezogenen Anforderungen der einzelnen Funktionen und Daten aus den vorherigen beiden Punkten 4) und 5) werden beschrieben, sofern eine Notwendigkeit dafür besteht. Dieser Inhaltspunkt wird nicht übernommen, da keine passenden Inhalte vorhanden sind.

#### 7) Benutzeroberfläche

Dieses Kapitel umfasst die grundlegenden Anforderungen an die Benutzeroberfläche. Diese beinhalten das Bildschirmlayout, das Drucklayout, die Tastaturmakros, die Dialogstruktur, etc.<sup>144</sup> Dieser Inhaltspunkt wird übernommen.

#### 8) Qualitätsbestimmungen

Die Qualitätsmerkmale, welche das Produkt erfüllen soll, sollen in operationalisierter Form vorliegen und objektiv messbar sein.<sup>145</sup> In der Praxis wird oftmals eine Nutzwertanalyse durchgeführt. Dieses Kapitel wird übernommen, jedoch lediglich verbal beschrieben, da keine Messbarkeit der Qualität notwendig ist, keine formale Abnahme vorliegt und das Produkt sämtliche geforderten Funktionen in maximaler Qualität umfassen wird.

#### 9) Globale Testszenarien und Testfälle

Das Produkt wird mittels Testszenarien auf dessen Gesamtfunktionen aus „4) Produktfunktionen“ getestet. Dies wird in der Praxis mit der Abnahme verbunden. Dieser Inhaltspunkt wird ebenfalls übernommen, stellt jedoch aufgrund der Bedeutung und des Umfangs ein eigenes Kapitel des Endberichts dar.<sup>146</sup>

#### 10) Entwicklungsumgebung

Sofern sich die Software, die Hardware, die Orgware und die Schnittstellen zu „3) Produktumgebungen“ unterscheiden, werden diese hier aufgeführt. Dieser Inhaltspunkt wird nicht übernommen, da kein Unterschied zwischen Entwicklungsumgebung und Produktumgebung besteht.

#### 11) Ergänzungen

Hier werden spezielle Anforderungen des Produkts aufgeführt, die nicht mit den vorherigen Inhalten abgedeckt wurden bzw. nicht zuzuordnen waren. Beispiele könnten Installationsbedingungen sein wie bauliche oder räumliche Voraussetzungen, die Bereitstellung von Testdaten oder das Hilfspersonal.<sup>147</sup> Dieser Inhaltspunkt wird nicht übernommen, da keine Inhalte vorliegen.

#### 12) Glossar

Das Glossar umfasst eine Liste von ausgewählten Wörtern, die mit einer beigefügten Erklärung oder Übersetzung versehen sind. Diese Wörter umfassen i.d.R. Fremdwörter, Fachwörter oder

---

<sup>143</sup> Vgl. Balzert (2001), S. 116.

<sup>144</sup> Vgl. Balzert (2001), S. 116.

<sup>145</sup> Vgl. Balzert (2001), S. 116.

<sup>146</sup> Siehe Kapitel 5.6

<sup>147</sup> Vgl. Balzert (2001), S. 117.

wichtige Wörter, die im Pflichtenheft erscheinen und wichtig für dessen Verständnis sind. Dies wird nicht übernommen, da ein Abkürzungsverzeichnis bereits Bestandteil des Endberichts ist.

## **5.2.2. Zielbestimmungen**

### **5.2.2.1. Musskriterien**

Das ökologische Bewertungsverfahren, welches in Kapitel 5.3.1.4 entwickelt und dargelegt wird, soll in die bestehende Bewertungsmatrix implementiert werden. Dieses Modul wird nachfolgend als ÖBM deklariert und muss das, aus ökologischer Sicht, beste Abbruchverfahren auf Basis der eingegebenen Daten aus dem EIM, welches das Abbruchobjekt anhand von Zahlen modelliert, objektiv ermitteln. Ausschließlich mechanische Abbruchverfahren, die einen Hydraulikbagger und ein Anbaugerät umfassen, sollen ökologisch betrachtet werden. Bei den ökologischen Berechnungen werden Aufwandswerte für sämtliche Abbruchverfahren benötigt. Im ÖBM sollen die Aufwandswerte aus dem fusionierten ZBM verwendet werden. Es soll eine Verknüpfung dieser beiden Module erfolgen. Die Aufwandswerte der Bewertungsmatrix basieren partiell auf Daten und Werten nach Büttner. Die Ergebnisse der jeweiligen Abbruchverfahren sollen im ÖBM und zusätzlich im ERM ausgegeben werden. Im ERM soll ein Ranking der Ergebnisse aus der ökologischen Bewertung vom besten zum schlechtesten Ergebnis bzw. Abbruchverfahren erfolgen.

### **5.2.2.2. Ausschlusskriterien**

Das ÖBM soll analog zu den anderen Modulen der Bewertungsmatrix nicht zwingend ausgedruckt werden. Demnach ist keine Skalierung auf eine Seite in DIN A4-Format erforderlich.

## **5.2.3. Produkteinsatz**

### **5.2.3.1. Anwendungsbereiche**

Das ÖBM soll eine Hilfe bei der Auswahl von Abbruchverfahren mit Hinblick auf die Ökologie bzw. auf den Umweltschutz darstellen. Es soll im privaten Sektor bei Ingenieurbüros oder Bauunternehmen und im öffentlichen Sektor wie beispielsweise dem BMUB und Ämtern wie dem Umweltbundesamt zur Anwendung kommen.

### **5.2.3.2. Zielgruppen**

Das ÖBM soll von Bauingenieuren wie Planern, Kalkulatoren, Bauleitern oder im Bereich Abbruch ähnlich fachkundigen Personen angewendet werden. Grundkenntnisse im Bereich Abbruchmaßnahmen werden zur Bedienung und zum Verständnis vorausgesetzt. Eine Anwendung ist sowohl auf Auftraggeber- als auch auf Auftragnehmerseite möglich. Es sind Grundkenntnisse bezüglich der Ökobilanz erforderlich, um das Ergebnis des ÖBM nachvollziehen zu können.

### **5.2.3.3. Produktumgebung und Betriebsbedingungen**

Zur Anwendung der Bewertungsmatrix muss entweder MS Office bzw. Excel der Versionen 2003, 2007, 2010 oder 2013 auf einem PC mit dem Betriebssystem Windows oder auf einem Macintosh mit dem Betriebssystem OS X installiert sein. Die Bewertungsmatrix kann ebenfalls mobil auf einem Notebook verwendet werden. Dies gewährleistet den Einsatz an jedem Ort wie einer Baustelle, unabhängig von einer Stromquelle oder einem Internetzugang. Eine zentralisierte administrative Betreuung respektive Beobachtung der Bewertungsmatrix im Sinne von Verwaltung, Updates oder Aktualisierungen existiert nicht. Eine Internetverbindung zur Nutzung der Bewertungsmatrix wird nicht benötigt. Schnittstellen zu Datenbanken für Ökobilanzen werden ebenfalls nicht benötigt. Die Bewertungsmatrix umfasst keinen Dauerbetrieb; die Excel-Datei wird nur dann geöffnet, wenn sie zur Planung oder Kontrolle benötigt wird.

## 5.2.4. Produktfunktionen

### 5.2.4.1. Funktion 1

Das ÖBM soll die negativen Folgen des jeweiligen Abbruchverfahrens auf die Umwelt abbilden. Zur Erreichung dieses Ziels wird die Berechnungsmethodik zur Ökobilanzierung von Abbruchverfahren, welche in Kapitel 5.3.1.4 vorgestellt wird, ausgewählt. Es können mit dieser Berechnungsmethodik ausschließlich mechanische bzw. maschinelle Abbruchverfahren, die einen Hydraulikbagger und ein Anbaugerät beinhalten, ökobilanziell bewertet werden. Aus diesem Grund sollen acht Abbruchverfahren modelliert werden. Diese sind:

- Stemmen (Maschinell),
- Abgreifen,
- Einschlagen,
- Eindrücken,
- Einreißen/-ziehen,
- Pressschneiden,
- Scherschneiden,
- Abtragen (Fräsen).

Die übrigen Abbruchverfahren wie Stemmen (Handarbeit) oder Sprengen erfordern keinen Hydraulikbagger respektive keine Anbaugeräte und können bisher nicht ökobilanziell bewertet werden. Die Kombinationsverfahren beinhalten möglicherweise zwar einen oder mehrere Hydraulikbagger und/oder ein Anbaugerät, jedoch sind die exakten Anteile der jeweiligen Einsatzzeiten der Abbruchverfahren und die Höhe der einzelnen Aufwandswerte nicht aufgeschlüsselt oder transparent. Daher kann keine präzise ökobilanzielle Bewertung stattfinden. Aus diesem Grund wird die Abbildung der Kombinationsverfahren nicht berücksichtigt.

### 5.2.4.2. Funktion 2

Das Layout des ÖBM soll an das KBM und ZBM angelehnt sein. Dies wird durch Beibehaltung der Anordnung und Reihenfolge der Abbruchverfahren gewährleistet. Weiterhin werden Abbruchverfahren aufgeführt, die bisher nicht ökobilanziell bewertet werden können. Eingabefelder des Anwenders sind als solche kenntlich zu machen.

### 5.2.4.3. Funktion 3

Im ERM soll das im ÖBM berechnete Ergebnis des jeweiligen Abbruchverfahrens angezeigt werden. Die Zellen der ökologischen Ergebnisse der Abbruchverfahren im ERM werden mit den entsprechenden Ergebnissen aus dem ÖBM verknüpft, so dass diese dargestellt werden können.

### 5.2.4.4. Funktion 4

Die Ergebnisse des ÖBM, die im ERM angezeigt werden, sollen ein absteigendes Ranking zueinander erhalten. Das beste Ergebnis mit den geringsten ökologischen Auswirkungen erhält „8“ Punkte. Falls ein Abbruchverfahren ausgeschlossen wird, ist ein „-“ anstatt einer Zahl auszugeben und dieses Abbruchverfahren für das Ranking somit nicht zu berücksichtigen.

## 5.2.5. Produktdaten

Die eingegebenen Werte aus den Modulen AM, PM und EIM werden im Falle des Speicherns der Excel-Datei erhalten. Dieses Speichern erfolgt über die Funktion „Speichern“ oder „Speichern unter“ im Excel-Programm. Außer der Datei werden keine zusätzlichen Informationen bzw. Daten gespeichert.

## 5.2.6. Benutzeroberfläche

Die wesentlichen Aspekte des ÖBM sollen auf einem gängigen 24 Zoll PC-Monitor größtenteils in einer 80%igen Skalierung in Excel darstellbar sein. Die wesentlichen Aspekte sollen ohne zu Scrollen auf dem Bildschirm dargestellt werden. Beim Ausdrucken kann das komplette ÖBM nur in einer sehr kleinen Skalierung auf einer DIN A4 Seite in Querformat angepasst werden und sollte demnach falls nötig im Format von DIN A3 in Querformat oder in einem größeren Format ausgedruckt werden. Die Bewertungsmatrix wird mittels Tastatur und Maus bedient. Eine passwortgeschützte Nutzung ist denkbar. Des Weiteren soll sich die Oberfläche bzw. das Layout des neuen Moduls am Layout der weiteren Bewertungsmodule orientieren. Dies bedeutet, dass sich das ÖBM optisch an den fusionierten und überarbeiteten KBM und ZBM orientiert.

## 5.2.7. Qualitätsbestimmungen

Ein Datenverlust darf zu keinem Zeitpunkt stattfinden. Ein Datenverlust wird durch das automatische Speichern der Excel-Dateien ausgeschlossen. Die Kompatibilität zwischen sämtlichen Excel-Versionen seit Excel 2003 muss gegeben sein, so dass die Bewertungsmatrix einwandfrei dargestellt werden kann. Des Weiteren soll das ÖBM eine hohe Nutzerfreundlichkeit und Übersichtlichkeit aufweisen und größtenteils selbsterklärend sein.

## 5.3. Entwicklung des ökologischen Bewertungsmoduls ÖBM

In **P5.3** wird überprüft, inwiefern verschiedenen Abbruchverfahren eine Bewertung hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen zugeordnet werden kann. Auch die Möglichkeit der Schnittstellengenerierung zu ökologischen Datenbanken wie beispielsweise die ÖKOBAUDAT wird untersucht.

### 5.3.1. Datenbanken für Ökobilanzen

Bei der Erstellung einer Ökobilanz finden im Rahmen der Sachbilanz die Datenerhebung und die Datensammlung zur Quantifizierung relevanter Input- und Outputflüsse des betrachteten Systems statt. Die erforderlichen Daten befinden sich in von Experten erstellten Datensätzen, die in Datenbanken verwaltet werden. Der Aufwand der Datenerhebung steigt stark an, sofern diese Informationen nicht als Datensätze in einer Datenbank hinterlegt oder verfügbar sind.<sup>148</sup> Nachfolgend werden vorhandene Datenbanken für Ökobilanzen auf die Existenz geeigneter bauspezifischer Daten<sup>149</sup> hin analysiert. Identifizierte Datensätze werden auf ihre Eignung zur Verwendung im Rahmen der ökologischen Bewertung von Abbruchverfahren untersucht. Da diese Daten die Grundlage zur Wirkungsabschätzung bilden, hat deren Qualität direkten Einfluss auf die Qualität der Ökobilanzergebnisse.

#### 5.3.1.1. Datenbanken und Datenverfügbarkeit

Es existiert verschiedenste, teils kostenfreie Software<sup>150</sup> zur Erstellung von Ökobilanzierungen. Durch die in den Programmen hinterlegten Datenverrechnungs- sowie Bilanzierungsverfahren steht somit eine Methodik zur Auswertung von Daten zur Verfügung. Aufgrund des nicht ersichtlichen Rechenweges ist jedoch keine nachvollziehbare Berechnung der Ergebnisse gegeben. Weiterhin beinhalten die Programme keine Datenbanken mit den für die Sachbilanzierung erforderlichen Daten. Diese sind manuell aus, in der Regel kostenpflichtigen, Datenbanken kommerzieller Anbieter zu importieren.

<sup>148</sup> Vgl. Eyerer (2000), S.17 f.

<sup>149</sup> Der Verfasser versteht hierunter bereits erhobene Daten aus einer kompatiblen Prozesskettenmodellierung.

<sup>150</sup> Beispielsweise openLCA.

Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Analyseergebnisse ausgewählter Datenbanken für Ökobilanzen bezüglich Herausgeber, inhaltlichem Schwerpunkt, Anzahl der Datensätze sowie Nutzungsentgelt.

Tabelle 47: Datenbanken für die Sachbilanz einer Ökobilanz. Stand: Februar 2015<sup>151</sup>

Name	Herausgeber	Inhalt (Schwerpunkt)	Datensätze	Entgelt
Ecoinvent	ecoinvent-Zentrum (CH)	Energie, Materialien, Abfallentsorgung, landwirtschaftliche Produkte, Transporte, Elektronik, Metallverarbeitung, Bauindustrie	15.416	nein
ProBas	Umweltbundesamt und Öko-Institut e.V. (DE)	Energie, Materialien, Produkte, Transport, Entsorgung	29.369	ja
GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme)	Öko-Institut e.V. (DE)	Energie, Materialien, Transport	10.000+	ja
ELCD (European Reference Life Cycle Database)	Joint Research Centre (JRC) der Europäischen Kommission (EU)	Energie, Materialproduktion, Transport	334	ja
ÖKOBAUDAT	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMUB, DE)	Bauindustrie: Bau- und Dämmstoffe, Holz, Metalle, Kunststoffe, Gebäudetechnik, Transport	954	ja
NREL	National Renewable Energy Laboratory (NREL, USA)	Energie, Transport, Materialien, Holz, Kunststoff	2.305	ja
GaBi (Ganzheitliche Bilanz)	PE International (DE)	Energie, Materialien, Abfallentsorgung, landwirtschaftliche Produkte, Transporte, Metallverarbeitung	6.759	nein
USDA	United States Department of Agriculture (USDA, USA)	Landwirtschaftliche Produktion	2.122	ja
BioEnergieDat	Prof. Liselotte Schebek und BMUB (DE)	Biomassebereitstellung	178	ja

Es ist zu beachten, dass sich die in verschiedenen Datenbanken hinterlegten Daten für den gleichen Prozess signifikant unterscheiden können. Dies ist auf die divergierenden Input-Werte der Vorkette zurückzuführen, welche seitens der jeweiligen Ersteller ohne Herkunftsnachweis der Daten in den Datenbanken hinterlegt werden.

<sup>151</sup> In Anlehnung an Krämer (2015), S.18.

### 5.3.1.2. Identifikation bauspezifischer Datensätze

Unter den in Tabelle 47 aufgeführten Datenbanken wurden vier Datenbanken identifiziert, welche in bauspezifischen Kategorien Datensätze mit Bezug zur Baubranche aufweisen. Die entsprechenden Kategorien sowie die Anzahl der dort hinterlegten Datensätze sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Tabelle 48: Bauspezifische Kategorien ausgewählter Datenbanken

Datenbank	Kategorie	Anzahl Datensätze <sup>152</sup>
Ecoinvent	Construction	386 (772)
	Construction materials	46 (92)
	Construction processes	9 (18)
	Mining an quarrying	186 (372)
ÖKOBAUDAT (15.08.2013)	Sämtliche Kategorien	954
GaBi	Construction industry	1.826
ProBas (4.8.1)	Materialien und Produkte	3.564

In den in Tabelle 48 dargestellten Datenbanken wurde eine Stichwortsuche durchgeführt.<sup>153</sup> Diese hatte das Ziel, Datensätze zu Geräten oder Prozessen, welche für den Abbruch von Bauwerken und somit die ökologische Bewertung von Abbruchverfahren von Interesse sind, zu identifizieren.

### 5.3.1.3. Untersuchungsergebnisse

Die Datensätze der Datenbank ÖKOBAUDAT beziehen sich größtenteils auf Baustoffe und Materialien. Sie sind in 724 generische Datenblätter und 230 EPD-Datenblätter untergliedert.

Die Datensätze der Datenbank GaBi sind kostenpflichtig. Die Suche erfolgte daher über eine Suchseite für Datensätze in Datenbanken für Ökobilanzen.<sup>154</sup> Da eine detaillierte Einsicht hier jedoch nicht möglich war, wird die Version mit „unbekannt“ angegeben.

Die Datensätze der Datenbank ProBas beziehen sich größtenteils auf Baustoffe und Materialien. In der Datenbank ecoinvent konnten unter dem Stichwort „digger“ zwei potentiell relevante Datensätze identifiziert werden.<sup>155</sup> Der Aushubvorgang mittels eines Hydraulikbaggers wird in Form der Inputs eines Hydraulikbaggers für Infrastruktur, Schmieröl, Kraftstoffverbrauch sowie Luftemissionen abgebildet. Außerdem ist der Herstellvorgang eines Hydraulikbaggers in Form der benötigten Materialien, des Transports zum Montagewerk und zum Endverbraucher, Strom- und Heizenergie dargestellt.

In der Datenbank ÖKOBAUDAT konnten unter dem Stichwort „Baustellenprozesse“ drei potentiell relevante, generische Datensätze identifiziert werden.<sup>156</sup> Der Aushubvorgang mittels eines Hydraulikbaggers wird für die Nennleistung von 15 kW sowie von 100 kW in Form des Dieserverbrauchs und der Emissionen abgebildet. Weiterhin existiert ein Datensatz zur Bauschuttzubereitung (stationär oder mobil), welcher in Form der Aufbereitung von Bauschutt zu Rezyklat, dem Energie- und Wasserverbrauch und der Energiegutschrift durch thermische Verwertung von Abfällen abgebildet wird.

In der Datenbank GaBi konnten in englischer Sprache jene drei potentiell relevanten Datensätze identifiziert werden, welche zuvor in Zusammenhang mit der ÖKOBAUDAT genannt wurden. Dies ist

<sup>152</sup> Bei der Datenbank des Anbieters Ecoinvent werden inhaltlich gleiche Datensätze für die Regionen CH und GLO zur Verfügung gestellt.

<sup>153</sup> Da nicht sichergestellt ist, dass insbesondere aktuelle Datensätze bereits Schlagworte erhalten haben wurde die Stichwortsuche gewählt. Berücksichtigung finden somit alle Datensätze, welche ein oder mehrere Stichwörter aus einer zuvor festgelegten Wortliste enthalten.

<sup>154</sup> <https://nexus.openlca.org/serchds>, Zugriff:27.01.2015

<sup>155</sup> Version v3.1 2014

<sup>156</sup> Version 2013 - 15.08.2013

damit zu begründen, dass Datensätze der ÖKOBAUDAT von der kostenpflichtigen Datenbank GaBi respektive PE International als Ersteller übernommen und kostenfrei publiziert werden.

In der Datenbank ProBas konnten unter keinem Stichwort potentiell relevante Datensätze zu Bauprozessen oder –maschinen respektive zu abbruchrelevanten Inhalten identifiziert werden.<sup>157</sup>

In Bezug auf Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Daten lässt sich feststellen, dass die Datensätze der Datenbankecoinvent einen unzureichenden Detaillierungsgrad besitzen. Beispielsweise sind bei Datensätzen zu verschiedenen Bauwerken keine bau- oder gebäudespezifischen Angaben vorhanden. Auch werden keine Details zu Abbruchverfahren, eingesetzten Geräten, Recycling oder Entsorgung gegeben.

Auch die generischen Datensätze der Datenbank ÖKOBAUDAT weisen einen unzureichenden Detaillierungsgrad auf. Beispielsweise wird aufgeführt, dass in dem Datensatz „Bauschutttaufbereitung (stationär und mobil)“ alle Transporte, die Bereitstellung aller Stoffe, Produkte und des dazugehörigen Energie- und Wasserverbrauchs enthalten sind. Grundlegende Unterschiede zwischen mobilen und stationären Aufbereitungsanlagen, hier exemplarisch der Transport, bleiben somit unberücksichtigt. Weitere Details wie der Typ der Zerkleinerungsmaschinen sind ebenfalls nicht ersichtlich. Weiterhin ist ein Großteil der generischen Datensätze der Datenbank ÖKOBAUDAT aufgrund von Unsicherheiten mit einem Sicherheitszuschlag von 20 Prozent versehen. Die Daten selber basieren auf Literaturrecherchen und direkten Datenerhebungen bei der jeweiligen Industrie. Angaben zu Literaturquellen konnten jedoch nicht identifiziert werden. Die Nachvollziehbarkeit der untersuchten Daten der Datenbank ist daher ebenfalls als unzureichend einzustufen.

Die nach normativen Vorgaben<sup>158</sup> ermittelten Werte der EPD-Datenblätter sind nachvollziehbar. Die EPD-Datensätze beschränken sich aktuell jedoch ausschließlich auf Baustoffe und nicht auf komplexe Prozesse.

Zusammenfassend ergibt die Untersuchung der Datenbanken auf für oben beschriebenen Zweck<sup>159</sup> geeignete bauspezifische Datensätze, dass diese trotz einer numerischen Vielzahl an Datensätzen zu diversen Inhalten nur in geringer Anzahl vorhanden sind. Weiterhin weisen die Datensätze eine nach Auffassung der Verfasser unzureichende Transparenz auf. In den allgemein zugänglichen Datenbanken ÖKOBAUDAT und ELCD ließen sich lediglich zwei Datensätze für den Aushub von Sand mittels Hydraulikbagger mit den Motorleistungen von 15 kW und 100 kW identifizieren. Die ökobilanziellen Werte stammen ursprünglich aus der kostenpflichtigen Datenbank GaBi des Erstellers PE International und sind identisch. Bei den Input- und Outputdaten handelt es sich um herstellerunabhängige Durchschnittswerte. Der Umfang der Informationen zu den Input- und Outputdaten ist vergleichsweise detailliert.

Dieser Datensatz wird als aussagekräftig eingestuft.

Im Kontext der vorliegenden Arbeit ist das in Kapitel 5.3.1 dargelegte Vorgehen zur Erstellung einer Ökobilanz nicht direkt anwendbar. Dies ist wesentlich darauf zurückzuführen, dass in den untersuchten Datenbanken keine Datensätze bezüglich der Abbruchverfahren respektive der hier betrachteten Gerätekombinationen, bestehend aus Hydraulikbagger als Trägergerät sowie verschiedenen Anbaugeräten, existieren. Die erforderlichen Datensätze sind ausschließlich von Spezialisten erstellbar. Somit sind bevorzugt bestehende Datensätze auf den Abbruchprozess zu adaptieren. Weiterhin soll im Sinne des Transparenzgebots die der Sachbilanzierung zugrunde liegende Berechnung nachvollziehbar dargestellt werden, was den Verzicht auf ein an eine Datenbank gekoppeltes Software-Tool bedingt.

---

<sup>157</sup> Version 4.8.1

<sup>158</sup> Vgl. DIN EN 15804:2014-07

<sup>159</sup> Siehe Kapitel 5.2

### 5.3.1.4. Berechnungsmethodik zur ökologischen Bewertung von Abbruchverfahren

Die **Grundlage der Berechnungsmethodik** stellt der aus der Datenbank ÖKOBAUDAT ausgewählte Datensatz des 100 kW Baggers dar. Dort lautet die exakte Bezeichnung des Datensatzes „9.1.01 Bagger 100 kW Aushub (A5): (de)“. Durch den Datensatz stehen durchschnittliche Ökobilanzergebnisse für den Bodenaushub von 1 m<sup>3</sup> Sand eines Baggers mit einer Motorleistung von 100 kW zur Verfügung. Die dargestellten Ökobilanzergebnisse umfassen den Einbau ins Gebäude im Rahmen der Errichtung des Bauwerks einschließlich sowohl der Bereitstellung von allen Stoffen, Produkten und Energie als auch der vollständigen Abfallbehandlung oder der Deponierung der Restabfälle im Baustadium. Darüber hinaus umfassen sie den Transport und den Verschleiß des Baggers. Der Datensatz berücksichtigt ebenfalls Emissionen wie Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Stickoxide, flüchtige organische Verbindungen, Staubpartikel und Schwefeldioxid, die bei der Verbrennung von Dieselkraftstoff sowie dem Verbrauch von Schmierstoffen entstehen. Der Datensatz berücksichtigt nur die Nutzungsphase des Baggers und nicht dessen Herstellung und Entsorgung. Die in dem Datensatz dargestellten Ergebnisse basieren vorwiegend auf Literaturrecherchen und direkten Datenerhebungen der Industrie. Der Zeitpunkt des Erstellens des Datensatzes ist das Jahr 2000.<sup>160</sup>

Zur Bestimmung des Indikatorwertes der betrachteten Wirkungskategorie im Kontext der **Sachbilanzierung** gilt **allgemein** die nachstehende Gleichung:

$$W_i = V_{\text{Mat}} * X_i \quad (\text{I})$$

Mit  $W_i$  = Indikatorwert der betrachteten Wirkungskategorie,  $V_{\text{Mat}}$  = Volumen des Bodenaushubs in m<sup>3</sup>,  $X_i$  = aus der Datenbank entnommener Indikatorwert der jeweils betrachteten Wirkungskategorie.

Nach KRÄMER/WÖLTJEN<sup>161</sup> lässt sich die zuvor dargestellte Gleichung in modifizierter Form für die Sachbilanzierung von Abbrucharbeiten anwenden. Die Anwendbarkeit des Datensatzes für Trägergeräte abweichender Nennleistungen sowie abbruchspezifischer Anbaugeräte wird hierbei durch Korrekturfaktoren berücksichtigt.

Die modifizierte allgemeine Berechnungsformel zur Sachbilanzierung von Abbrucharbeiten lautet:

$$W_i = P * \frac{X_i}{100} * V_{\text{Mat}} * \frac{Q_{\text{A,Bagger}}}{Q_{\text{N,Anbaugerät}}} + \frac{(m_{\text{Anbaugerät}} - m_{\text{TL}})}{100} * Y_i * \frac{V_{\text{Mat}}}{Q_{\text{N,Anbaugerät}}}$$

Da sich der Indikatorwert auf eine Nennleistung des Hydraulikbaggers von 100 kW bezieht, ist es zur Abbildung abweichender Nennleistungen erforderlich, einen Korrekturfaktor einzuführen. Mittels der Variablen  $P$ , welche der Nennleistung des Trägergerätes in kW entspricht, sowie des Quotienten  $X_i / 100$  können Trägergeräte verschiedener Nennleistungen abgebildet werden.

Der Parameter  $X_i$  entspricht dem gleichnamigen Parameter aus Gleichung (I) und stellt auch hier den aus der Datenbank entnommenen Indikatorwert der jeweils betrachteten Wirkungskategorie dar.

Der Parameter  $V_{\text{Mat}}$  gleicht nicht dem gleichnamigen Parameter aus Gleichung (I) sondern bezieht sich hier auf das Volumen in m<sup>3</sup> des abzubrechenden Materials.

Da sich der Datensatz auf den Bodenaushub von 1 m<sup>3</sup> Sand bezieht, ist es zur Abbildung des Abbruchs verschiedener Materialien respektive Baustoffe mittels abbruchspezifischer Anbaugeräte erforderlich, mit  $Q_{\text{A,Bagger}} / Q_{\text{N,Anbaugerät}}$  einen weiteren Korrekturfaktor einzuführen. Der Ermittlung der durchschnittlichen Nutzleistung des Hydraulikbaggers für den Aushub von Sand liegt die Annahme zugrunde, dass die hier vorgenommene Nutzleistungsermittlung<sup>162</sup> identisch jener

<sup>160</sup> Vgl. ÖKOBAUDAT – Datensatz 9.1.01 (2014)

<sup>161</sup> Vgl. Krämer (2014), S.70 ff.

<sup>162</sup> Vgl. Hoffmann (2006), S.611 ff.

Nutzleistungsermittlung ist, mit der die durchschnittlichen Ökobilanzergebnisse aus dem Datensatz erzeugt wurden.<sup>163</sup> Sie berechnet sich mit

$Q_{A,Bagger} = V_R * f_L * n * f_1 * f_2 * f_3 * f_4 * f_E \left[ \frac{m^3 \text{ feste Masse}}{h} \right]$  zu einem Wert von

$$Q_{A,Bagger} = 1,5 * 1,13 * 196 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 0,75 = 250 \left[ \frac{m^3 \text{ feste Masse}}{h} \right]$$

Vereinfachend wird die Variable  $Q_{A,Bagger}$  nachfolgend als konstant betrachtet und durch den zuvor bestimmten Wert ersetzt.

$Q_{N,Anbaugerät}$  stellt die Abbruchleistung von Hydraulikbaggern nach BÜTTNER dar. Die Formel berücksichtigt die Grundleistung des jeweiligen Anbaugerätes ( $Q_{g,Anbaugerät}$ ), Materialeinflüsse ( $f_{Material, i}$ ), Geräteinflüsse ( $f_{Gerät, i}$ ) sowie betriebliche Einflüsse ( $f_{Betrieb, i}$ ). Detaillierte Ausführungen zu den anhand von Arbeitszeitstudien ermittelten Bandbreiten der jeweiligen Einflussfaktoren sind der Arbeit von BÜTTNER zu entnehmen.<sup>164</sup> Eine individuelle Berücksichtigung des abzubrechenden Baustoffs sowie des eingesetzten Anbaugeräts ist somit möglich.

Der Datensatz berücksichtigt bereits das Gewicht des Tieflöffels. Bei Einsatz abbruchspezifischer Anbaugeräte entfällt dieser jedoch, so dass die betragsmäßige Auswirkung auf den Kraftstoffverbrauch zu berücksichtigen ist. Dies ist durch die zu bildende Gewichtsdiﬀerenz der beiden Anbaugeräte durch den Term  $\frac{(m_{Anbaugerät} - m_{TL})}{100}$  möglich. Die Vorgehensweise basiert auf der Theorie, dass der Kraftstoffverbrauch des Trägergerätes pro 100 kg um 1 kg/h zunimmt. Das bei der Erzeugung der durchschnittlichen Ökobilanzergebnisse angesetzte Gewicht des Tieflöffels ( $m_{TL}$ ) kann als konstant betrachtet werden.<sup>165</sup>

Der Parameter  $Y_i$  stellt den Indikatorwert für Diesel der betrachteten Wirkungskategorie dar. Grundlage bildet der aus der Datenbank ELCD database 2.0 entnommene<sup>166</sup> Datensatz für die Verbrennung von Diesel. Dort lautet die exakte Bezeichnung des Datensatzes „Diesel, consumption mix, at refinery, from crude oil, 200 ppm sulphur“. Durch den Datensatz stehen durchschnittliche Ökobilanzergebnisse für die Verbrennung von 1 kg Diesel zur Verfügung, welche die Lebenszyklen von der Gewinnung durch die Raffinerie bis zum Ausstoß von Schadgasen durch die Verbrennung des Diesel enthalten.

Der Parameter  $V_{Mat}$  berücksichtigt das Volumen des abzubrechenden Materials,  $Q_{N,Anbaugerät}$  die individuelle Nutzleistung des Anbaugerätes.

Da sich sämtliche Einheiten ausgenommen der Bezugseinheit des betrachteten Indikatorwertes eliminieren, wird hinsichtlich des betrachteten Indikatorwertes Einheitentreue gewährleistet.

Die auf Grundlage der vorherigen Ausführungen sowie des Distributivgesetzes vereinfachte allgemeine Berechnungsformel zur Sachbilanzierung von Abbrucharbeiten lautet somit:

$$W_i = \frac{V_{Mat}}{Q_{N,Anbaugerät} * 100} * (P * X_i * 250 + (m_{Anbaugerät} - 880) * Y_i)$$

Die vereinfachte Berechnungsformel ist durch die Einführung auf die Nennleistung des Trägergerätes sowie auf anbaugerätespezifische Eigenschaften bezogener Variablen individuell anwendbar. Da die individuelle Nutzleistung des Anbaugerätes den abzubrechenden Baustoff berücksichtigt, ist die vereinfachte Berechnungsformel ebenfalls für alle Arten von Baustoffen und Materialien anwendbar.<sup>167</sup>

<sup>163</sup> Um Analogie zu dem Trägergerät aus dem Datensatz zu schaffen, werden bei der Nutzleistungsberechnung ebenfalls durchschnittliche Parameter gewählt. Die Werte der Faktoren  $f_1 - f_4$  werden mit 1,0 gewählt, da sie keinen signifikanten Einfluss auf eine hinreichende Genauigkeit des Ergebnisses besitzen.

<sup>164</sup> Vgl. Büttner (2002), S.147 f.

<sup>165</sup> Um Analogie zu dem Tieflöffel aus dem Datensatz zu schaffen, wird bei dem Gewicht des Tieflöffels ebenfalls ein durchschnittlicher Parameter gewählt. Die Gewichtsangabe von durchschnittlich 880 kg basiert auf der Auswertung verschiedener Herstellerangaben zu einem Tieflöffel mit einem Volumen von 1,5 m<sup>3</sup>.

<sup>166</sup> In der ÖKOBAUDAT konnten keine Werte zum Dieserverbrauch identifiziert werden. Ersteller des Datensatzes: PE International.

<sup>167</sup> Ggf. sind zunächst Aufwands- und Leistungswerte anhand von Arbeitsstudien bei realen Abbruchprojekten zu bestimmen.

Die Berechnungsmethodik muss aufgrund einer Unterscheidung nach Tragwerkmaterialien erweitert bzw. umformuliert werden. Die Berechnungsmethodik wurde für die Betrachtung eines Baustoffs bzw. eines Tragwerkmaterials entwickelt. Die Bewertungsmatrix hingegen beinhaltet insg. sechs Tragwerkmaterialien. Diese umfassen:

- Spannbetonbauteile,
- Stahlbetonbauteile,
- Mauerwerk,
- Stahlbauteile,
- Fertigbauteile,
- Holz.

Um das ÖBM übersichtlich zu gestalten, wird auf eine Auflistung in ausführlicher Form wie im Kosten- und Zeitbewertungsmodul verzichtet. Aus diesem Grund wird die Berechnungsmethodik derart erweitert, dass alle sechs Materialien gleichzeitig abgebildet werden können. Hierzu ist es notwendig die jeweiligen sechs Nutzleistungs- bzw. Aufwandswerte der jeweiligen Abbruchverfahren und Volumenanteile der einzelnen Tragwerkmaterialien miteinander zu verknüpfen.

Die zuvor vorgestellte vereinfachte Formel<sup>168</sup> wird zur späteren Vereinfachung umgeformt, jedoch bleibt der Inhalt unverändert:

$$Wi = \frac{VMat}{QN,Anbaugerät} * \frac{(P * Xi * 250 + (mAnbaugerät - 880) * Yi)}{100}$$

Die beiden Bestandteile des Quotienten „ $\frac{VMat}{QN,Anbaugerät}$ “ werden erweitert bzw. durch jeweils eine weitere Formel ersetzt. „ $V_{Mat}$ “ aus der ursprünglichen Formel bezieht sich auf einen Baustoff und wird nun auf sechs Baustoffe erweitert. Dazu wird „ $V_{Mat}$ “ durch „ $V_{MatNEU}$ “ ersetzt. „ $V_{MatNEU}$ “ beinhaltet sämtliche sechs Baustofftypen und setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$VMatNEU = (Anteil\%Spannbeton * VGes + Anteil\%Stahlbeton * VGes + Anteil\%Mauerwerk * VGes + Anteil\%Stahl * VGes + Anteil\%Fertigteil * VGes + Anteil\%Holz * VGes)$$

„ $V_{MatNEU}$ “ beinhaltet nun die Summe aus den jeweiligen prozentualen Anteilen der einzelnen Baustoffe (Anteil%Baustoff) an der Summe des gesamten Volumens ( $V_{Ges}$ ) aller Baustoffe. Die Anteile und das gesamte Volumen werden vom Anwender im EIM eingetragen und existieren somit bereits.

Der Nenner „QN, Anbaugerät“ umfasst den Nutzleistungswert des jeweiligen Hydraulikbaggers inkl. Anbaugerät und stellt den Aufwandswert dar. „QN, Anbaugerät“ wird auf sechs weitere Aufwandswerte unterteilt:

$$QN, BST = QN, Spannbeton + QN, Stahlbeton + QN, Mauerwerk + QN, Stahl + QN, Fertigteil + QN, Holz$$

Im nächsten Schritt werden die neuen Zähler und Nenner miteinander verknüpft. „ $\frac{VMat}{QN,Anbaugerät}$ “ der ursprünglichen Formel wird durch „ $\frac{VMatNEU}{QN, BST}$ “ ersetzt und nach dem Einsetzen der jeweiligen Inhalte ergibt sich:

$$\frac{VMatNEU}{QN, BST} = \left( \frac{Anteil\%Spannbeton * VGes}{QN, Spannbeton} + \frac{Anteil\%Stahlbeton * VGes}{QN, Stahlbeton} + \frac{Anteil\%Mauerwerk * VGes}{QN, Mauerwerk} + \frac{Anteil\%Stahl * VGes}{QN, Stahl} + \frac{Anteil\%Fertigteil * VGes}{QN, Fertigteil} + \frac{Anteil\%Holz * VGes}{QN, Holz} \right)$$

<sup>168</sup> Siehe S. 177

Der Quotient „ $\frac{VMatNEU}{QN,BST}$ “ wird nun in die vereinfachte Berechnungsmethodik eingesetzt. Die ausführliche Formel, die im ÖBM der Bewertungsmatrix verwendet wird lautet somit:

$$Wi = \left( \frac{\text{Anteil\%Spannbeton} * VGes}{QN,Spannbeton} + \frac{\text{Anteil\%Stahlbeton} * VGes}{QN,Stahlbeton} + \frac{\text{Anteil\%Mauerwerk} * VGes}{QN,Mauerwerk} + \frac{\text{Anteil\%Stahl} * VGes}{QN,Stahl} + \frac{\text{Anteil\%Fertigteile} * VGes}{QN,Fertigteile} + \frac{\text{Anteil\%Holz} * VGes}{QN,Holz} \right) * \frac{(P * Xi * 250 + (mAnbaugerät - 880) * Yi)}{100}$$

Die zuvor beschriebene Überarbeitung bzw. Erweiterung der bestehenden Berechnungsmethodik erlaubt die individuelle Berücksichtigung der Anteile sämtlicher Tragwerkmaterialien und deren Aufwandswerte.

Zur Füllung der neuen Berechnungsformel muss der Anwender mindestens zwei verschiedene Werte im ÖBM eintragen. Zunächst muss der Anwender die Motorleistung des Hydraulikbaggers in kW eingeben. Es ist möglich für jedes Abbruchverfahren die individuelle Motorleistung potentiell einsetzbarer Trägergeräte einzutragen, da in der Realität für verschiedene Abbruchverfahren auch verschiedene Hydraulikbagger zur Verfügung stehen können.<sup>169</sup>

Des Weiteren wird der Anwender aufgefordert, die Masse in kg des jeweiligen Anbaugerätes einzugeben. Anhand dieser beiden Eingaben des Anwenders werden mittels der Berechnungsmethodik und den Werten der Wirkungskategorien aus den beiden Datenbanken jeweils ein Ergebnis für den Hydraulikbagger und das Anbaugerät errechnet. Die Betrachtung bzw. Berechnung des Hydraulikbaggers und des Anbaugerätes findet zur besseren Übersicht im ÖBM statt. Letztlich wird die gleiche umgeformte Formel benutzt, jedoch in zwei Teile aufgeteilt. Die Höhe bzw. Größe der Ergebnisse spiegelt die Auswirkungen in den unterschiedlichen Wirkungskategorien der jeweiligen Einheit wider. Abschließend wird die Summe dieser beiden Ergebnisse für den Hydraulikbagger und das Anbaugerät gebildet und das Endergebnis abgeleitet. Diese Endergebnisse der verschiedenen Wirkungskategorien können aufgrund ihrer unterschiedlichen Wirkungen auf die Umwelt nicht bzw. nur subjektiv zusammengefasst oder verrechnet werden. Aus diesem Grund wird keine Gewichtung der jeweiligen Wirkungskategorien vorgenommen. Die Wirkungskategorie des Treibhauspotentials wird als einziges Ergebnis der ökologischen Bewertung herangezogen, dementsprechend bleiben die fünf Wirkungskategorien aufgrund ihrer vernachlässigbaren Menge an Output unberücksichtigt.<sup>170</sup> Je niedriger das Endergebnis, desto weniger negative Folgen bzw. Schäden wird das betrachtete Abbruchverfahren verursachen.

Aus Gründen einer möglichen zukünftigen ökobilanziellen Bewertung von Kombinationsverfahren, selektiven Methoden oder chemischen Abbruchverfahren, wurden sämtliche Abbruchverfahren aus den übrigen Modulen in das ÖBM implementiert. Die übrigen fünf unberücksichtigten Wirkungskategorien wurden zur Darstellung der Gesamtheit der Ergebnisse und für zukünftige Zwecke<sup>171</sup> implementiert.

<sup>169</sup> Siehe Kapitel 4: In-Situ-Untersuchungen, S.112 ff.

<sup>170</sup> Zu weiteren Details zur Identifikation und Begründung dieser signifikanten Wirkungskategorie: Krämer (2014): S.106 ff.

<sup>171</sup> bspw. einer ökobilanzielle Bewertung von chemischen Abbruchverfahren

### 5.3.2. Integration der Berechnungsmethodik in Form des ÖBM

Das ökologische Bewertungsverfahren, das in Kapitel 5.3.1.4 als Berechnungsmethodik identifiziert wurde, wird im ÖBM mit sämtlichen Funktionen, die im Pflichtenheft im vorigen Kapitel beschrieben sind, in die Bewertungsmatrix implementiert. Das ÖBM wird nachfolgend beschrieben. Hierauf folgt eine Beschreibung der Neuerungen des ERM, da die Integration des ÖBM, der Aspekt der Ökologie, eine Erweiterung des ERM erfordert.

#### 5.3.2.1. Das Ökologische Bewertungsmodul (ÖBM)

In diesem Modul werden verschiedene Abbruchverfahren auf ihre Wirkung auf die Umwelt abgebildet, miteinander verglichen und bewertet. Dies bedeutet, dass dieses Modul den bisher nicht berücksichtigten Aspekt der Ökologie von Abbruchverfahren widerspiegelt. Mit diesem Modul können ausschließlich maschinelle bzw. mechanische Abbruchverfahren ökologisch bewertet werden, da die benutzte Berechnungsmethodik lediglich Abbruchverfahren, die einen Hydraulikbagger und ein Anbaugerät beinhalten, abbildet. Dies wird damit begründet, dass die Berechnungsmethodik einen Datensatz eines Hydraulikbaggers und einen Datensatz für Dieseltreibstoff aus verschiedenen Datenbanken beinhaltet und diese in der Summe mithilfe von Analogien und Umrechnungsfaktoren einen Hydraulikbagger und ein Anbaugerät erfassen. Ausführungen zu der Berechnungsmethodik sind in Kapitel 5.3.1.4 enthalten. Aus den zuvor genannten Gründen können insgesamt acht Abbruchverfahren ökologisch miteinander verglichen werden. Die Kombinationsverfahren zählen zwar teilweise zu den maschinellen Abbruchverfahren, jedoch können diese nicht ökologisch bewertet werden, da das genaue Zusammenspiel und die daraus resultierenden Aufwandswerte der jeweiligen Abbruchverfahren nicht transparent sind und solche für die Berechnung vorliegen müssen. Der Anwender wird aufgefordert, die jeweilige Motorleistung des Hydraulikbaggers in kW für jedes Abbruchverfahren einzutragen. Der Anwender kann die ihm zur Verfügung stehenden Hydraulikbagger für jedes Abbruchverfahren individuell eingeben, so dass die Einsatzmöglichkeiten seiner Geräte bzw. seines Bauhofs und somit die Realität widerspiegelt werden kann. Steht dem Anwender lediglich ein Modell eines Hydraulikbaggers zur Verfügung, so gibt er bei sämtlichen Abbruchverfahren die gleiche Motorleistung ein. Mithilfe dieser Motorleistung, einer nach verschiedenen Baustoffarten anteiligen Berücksichtigung von Nutzleistungs- bzw. Aufwandswerte aus dem ZBM, einem Umrechnungsfaktor und den Ergebnissen bzw. Werten der einzelnen Wirkungskategorien für den Datensatz des Hydraulikbaggers aus der Datenbank ÖKOBAUDAT, wird der ökobilanzielle Aspekt des Hydraulikbaggers für jedes Abbruchverfahren berechnet und dargestellt. Als nächsten Schritt soll der Anwender die Masse in kg des jeweiligen Anbaugerätes, die er für die einzelnen Abbruchverfahren benutzen möchte, eingeben. Anhand dieser Masse, einer nach verschiedenen Baustoffarten anteiligen Berücksichtigung von Nutzleistungs- bzw. Aufwandswerten aus dem ZBM, einem Umrechnungsfaktor und den Ergebnissen der einzelnen Wirkungskategorien für den Datensatz für Verbrennung von Diesel aus der Datenbank ELCD database 2.0, wird der Aspekt des Anbaugerätes für jedes Abbruchverfahren berechnet und dargestellt. Die ökobilanziellen Ergebnisse der einzelnen Wirkungskategorien des Hydraulikbaggers und des Anbaugerätes werden summiert. Als Endergebnis bzw. zur ökologischen Bewertung sämtlicher Abbruchverfahren dient ausschließlich die Wirkungskategorie des Treibhauspotentials (GWP 100). Die übrigen fünf Wirkungskategorien können aufgrund ihrer sehr geringen Menge an Outputströmen und dessen Bedeutung vernachlässigt werden. Diese Wirkungskategorien wurden zur Darstellung der Gesamtheit der Ergebnisse und für zukünftige Zwecke wie beispielsweise eine ökobilanzielle Bewertung von chemischen Abbruchverfahren implementiert. Zur Interpretation des Endergebnisses für den Anwender gilt: Je niedriger das numerische Endergebnis, desto geringer sind die Auswirkungen und Folgen für die Umwelt. Das niedrigste Endergebnis stellt somit das beste ökologische Abbruchverfahren dar und sollte, sofern der Aspekt der Ökologie im Vordergrund steht, ausgewählt werden. In diesem Sinne wird das Modul mit Hilfestellungen respektive Hinweisen zur Interpretation der Ergebnisse versehen. Die Farbgebung des Moduls ist passend zur Thematik der Umwelt in grüner Farbgebung gehalten. In nachfolgender Abbildung 136 ist das ÖBM dargestellt.

				Manuelle Methode	
Wirkungskategorien	Abkürzung	Wert aus Datenbank	Einheit	Stemmen	
				Handarbeit	Maschinell
<b>Hydraulikbagger</b>			[ kW ]	Motorleistung (Hydraulikbagger)	Motorleistung (Hydraulikbagger)
				Eingaben vom Anwender.	125
Treibhauspotential (Globales Erwärmungspotenzial)	GWP 100	1,30E+00	kg CO2 eq.		3815,51
StratosphärischeR Ozonabbau	ODP 20	6,94E-11	kg CFC-11 eq.	-	0,00
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser	AP	4,97E-03	kg SO2 eq.	-	14,59
Überdüngungspotenzial (Eutrophierungspotenzial)	EP	1,14E-03	kg NOx eq.	-	3,35
Sommersmogpotential (Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon)	POCP	5,46E-04	kg NMVOC eq.	-	1,60
Abiotischer Ressourcenverbrauch (nicht fossil)	ADP	5,91E-08	kg Sb eq.	-	0,00
				Ergebnisse mittels Berechnungsmethodik.	
<b>Anbaugerät</b>			[ kg ]	Gewicht / Masse Anbaugerät	Gewicht / Masse Anbaugerät
				-	1200
Treibhauspotential (Globales Erwärmungspotenzial)	GWP 100	2,14E-03	kg CO2 eq.	-	0,06
StratosphärischeR Ozonabbau	ODP 20	3,41E-09	kg CFC-11 eq.	-	0,00
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser	AP	2,11E-03	kg SO2 eq.	-	0,06
Überdüngungspotenzial (Eutrophierungspotenzial)	EP	1,40E-05	kg NOx eq.	-	0,00
Sommersmogpotential (Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon)	POCP	2,00E-04	kg NMVOC eq.	-	0,01
Abiotischer Ressourcenverbrauch (nicht fossil)	ADP	6,01E-10	kg Sb eq.	-	0,00
					Summe der jeweiligen Ergebnisse.
<b>Zwischensumme: Hydraulikbagger &amp; Anbaugerät</b>					
Treibhauspotential (Globales Erwärmungspotenzial)	GWP 100	2,14E-03	kg CO2 eq.	-	3815,5773
StratosphärischeR Ozonabbau	ODP 20	3,41E-09	kg CFC-11 eq.	-	0,0000
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser	AP	2,11E-03	kg SO2 eq.	-	14,6504
Überdüngungspotenzial (Eutrophierungspotenzial)	EP	1,40E-05	kg NOx eq.	-	3,3463
Sommersmogpotential (Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon)	POCP	2,00E-04	kg NMVOC eq.	-	1,6085
Abiotischer Ressourcenverbrauch (nicht fossil)	ADP	6,01E-10	kg Sb eq.	-	0,0002
<b>Ergebnis</b>				Endergebnis.	3815,58

Abbildung 136: Ökologisches Bewertungsmodul

### 5.3.2.2. Modul: Ergebnismodul

Nachfolgend werden ausschließlich die Neuerungen im ERM aufgrund der Implementierung des ÖBM vorgestellt. Zu den bestehenden Spalten des ERM wurden zwei neue Spalten hinzugefügt. In der ersten Spalte „Ergebnis“ wird das jeweilige Ergebnis der Wirkungskategorie des Treibhauspotentials (GWP 100) aus dem ÖBM dargestellt. Die Einheit dieser Spalte ist in „kg CO2 eq.“ angegeben. In der zweiten Spalte „Ranking“ werden den betrachteten Abbruchverfahren Ränge zugewiesen, die das beste bis schlechteste Abbruchverfahren widerspiegeln. Das beste Abbruchverfahren stellt das Abbruchverfahren dar, welches das niedrigste numerische Ergebnis aufweist und erhält somit den Rang „8“. Falls ein Ausschluss eines Abbruchverfahrens im VBM stattgefunden hat, so wird für dieses ausgeschlossene Abbruchverfahren anstelle eines Ranges in Form einer Zahl ein „-“ dargestellt.

## 5.4. Überarbeitung der Matrix – modulweise Beschreibung

Die Bewertungsmatrix bedarf einer Überarbeitung im Hinblick auf Struktur, Inhalt und Layout.

### 5.4.1. Grundsätzliches

Im Rahmen der Überarbeitung der Bewertungsmatrix erfolgt eine Fusion und inhaltliche Überarbeitung der Module KBMI mit dem KBMK und ZBMI mit dem ZBMK. Begründet wird der Zusammenschluss der jeweiligen Module mit der Tatsache, dass der Abbruch bzw. Rückbau eines Industriegebäudes dem eines Gebäudes, wie beispielsweise einer Turbinenhalle, auf dem Gelände eines Kernkraftwerks gleicht. Voraussetzung hierfür ist, dass die radioaktiv kontaminierten Baustoffe auf dem Gelände des KKW zuvor entfernt wurden. Die Benennungen der neuen Module nach der Fusion sind „Kostenbewertungsmodul“ (KBM) und „Zeitbewertungsmodul“ (ZBM). Die Basis für diese beiden Module bilden jeweils die bestehenden Vorgängermodule KBMK und ZBMK. Die Module mit „KKW“ berücksichtigen verschiedene Gebäude- bzw. Bauteilhöhen bis 55m und Bauteildicken bis über 1,5m des Tragwerkes, die im Modul mit „Industrie“ nicht berücksichtigt werden. Weiterhin erfolgt bei den Modulen mit „KKW“ eine Differenzierung der Kostenkennwerte und Aufwandswerte hinsichtlich verschiedener Baustoffe wie Stahl- und Spannbeton, Stahl, Mauerwerk und Fertigteile. Im KBMI gibt es lediglich einen Kostenkennwert und einen Aufwandswert, der für sämtliche Baustoffarten für die Tragstruktur und den Innenausbau gilt. Im KBMI und ZBMI können keine Zuschläge aufgrund von Erschwernissen berücksichtigt werden. Diese Berücksichtigung hingegen ist im KBMK und ZBMK integriert.

Das Kombinationsverfahren „Abbruchhammer & Zange“ beinhaltet in der Benennung Anbaugeräte, jedoch müssten stattdessen dort die Abbruchverfahrensnamen gemäß den übrigen Abbruchverfahren stehen. So wird „Abbruchhammer & Zange“ in „Stemmen & Abgreifen“ umbenannt. Analog dazu wird „Thermisches Trennen & Abbruchhammer“ zu „Thermisches Trennen & Stemmen“ umbenannt.

Die Beschreibungen, Informationen oder Bezeichnungen des Abbruchobjektes aus dem AM werden in der Kopfzeile sämtlicher Module herausgenommen, da keine Notwendigkeit zur Identifizierung der jeweiligen Module besteht. Das ERM stellt hierbei eine Ausnahme dar. Lediglich beim ERM werden die Informationen in der Kopfzeile des Abbruchvorhabens mit der Bezeichnung des Bauvorhabens und Bauteilbenennungen beibehalten. Dieses Modul könnte beispielsweise ausgedruckt bei Baubesprechungen genutzt werden, weshalb dies eine Identifizierung des jeweiligen Bauvorhabens, Gebäudes, Bauteils, etc. erleichtern würde.

Sämtliche nachfolgenden Überarbeitungen, Verbesserungen und Veränderungen in diesem Unterkapitel gelten für die drei folgenden Module: VBM, KBM und ZBM. Diese Überarbeitungen stellen grundsätzliche Verbesserungen mit Fokus auf Formatierungen dar und gelten für die oben genannten Module, da eine Einheitlichkeit des Layouts und Inhalts der drei Module zueinander angestrebt wird. Zur Vermeidung von Wiederholungen werden diese Überarbeitungen nachfolgend genannt. Sämtliche Inhalte der Bewertungsmatrix, insbesondere Zellen, die aufgrund des gleichen Inhaltes ein identisches Layout aufweisen müssten, sind in verschiedenen Schriftarten und Schriftgrößen formatiert. Um eine Einheitlichkeit aller Module zu einander zu erreichen, werden die zuvor genannten Formatierungen in die Schriftart „Calibri“ mit der Schriftgröße „12“ abgeändert. Überschriften im Sinne von Kategorien, etc. sind davon ausgenommen, diese Schriftgrößen können variieren, jedoch sind sie ebenfalls in „Calibri“ formatiert.

Die Bezeichnungen der Abbruchverfahren von sämtlichen Kombinationsverfahren werden gemäß dem Format „Abbruchhammer & Zange“ einheitlich formatiert.

Zur Wahrung der Konformität sämtlicher Abbruchverfahren wird deren Bezeichnung durchgängig ausgeschrieben und nicht abgekürzt.

Das Abbruchverfahren „Pressschneiden“ ist in der Kategorie „Kombinationsverfahren“ angeordnet. Es stellt mittlerweile ein eigenständiges Abbruchverfahren dar und wird daher der Kategorie „Maschinelle Methoden“ hinzugefügt.

Die Bewertungsmatrix erhält eine Aktualisierung der Abbruchverfahren gemäß der DIN 18007:2000-05, um den aktuellen Stand der Abbruchtechnik zu berücksichtigen. Es werden die Abbruchverfahren „Scherschneiden“ und „Abtragen (Fräsen)“ bei den maschinellen Abbruchverfahren hinzugefügt.

Die Module benötigen eine optische Überarbeitung im Hinblick auf ästhetische Aspekte des Layouts.

Die Kopfzeile der jeweiligen Module besteht aus einem grauen Kasten in dem der Titel des jeweiligen Moduls angezeigt wird. Des Weiteren wird der graue Kasten mit einem Rahmen umrandet. Diese Maßnahmen sollen die Übersichtlichkeit verbessern. Anhand der vorigen Formatierung war es dem Anwender nicht möglich, die Kopfzeile als solche zu identifizieren, da die Schriftgröße der Überschrift des Moduls teilweise kleiner war als die Schriftgröße von Überschriften oder Zelleninhalten. Diese Identifizierung als Kopf des Moduls wird aufgrund der Überarbeitungen erleichtert.

Die drei Module erhalten eine Überarbeitung hinsichtlich ihrer Farbgebung der Zellenhintergründe von Überschriften und Kategorien, da diese bisher nicht einheitlich formatiert wurden. Jedes Modul erhält eine eigene zweistufige Farbgebung, so dass diese Farben mit dem jeweiligen Modul vom Anwender verbunden werden können. Des Weiteren treten diese spezifischen Farben bei den Ergebnissen der jeweiligen Module im ERM erneut auf, so dass beim Anwender ein Wiedererkennungswert anhand der Farbe zu den einzelnen Modulen auftritt. Nähere Details zur genauen Farbgebung sind den jeweiligen nachfolgenden Kapiteln der Module zu entnehmen.

#### **5.4.2. Allgemeines Modul**

Das Modul „Allgemein“ wird in „Allgemeines Modul“ (AM) umbenannt, um eine gleiche Nomenklatur zu den übrigen Modulen zu gewährleisten.

Im ursprünglichen Modul AM wird der Anwender aufgefordert, eine Eingabe von Basisinformationen bezüglich des Abbruchs zu treffen. Er kann zwischen den baulichen Anlagen eines Kernkraftwerks als Bauwerk oder Bauteil und eines Industriebauwerks unterscheiden. Diese Auswahlmöglichkeit wird gänzlich herausgenommen. Dies wird damit begründet, dass keine zusätzliche Auswahlmöglichkeit eines Bauteils notwendig ist, da im EIM der Bewertungsmatrix Bauwerke oder einzelne Bauteile anhand von den Eingaben aus dem EIM modelliert werden können. Je nach Eingaben können gesamte Gebäude oder auch einzelne Bauteile abgebildet werden. Im ursprünglichen AM wurde jeweils eine Beispielberechnung eines Abbruchs eines Bauwerks mit der Auswahl „KKW & Gebäude“ und „KKW & Bauteil“ durchgeführt. Hierbei wurde das EIM mit exemplarischen Daten gefüllt und die Ergebnisse beider Szenarien waren identisch. Die Schlussfolgerung hieraus ist, dass kein Unterschied in den einzelnen Berechnungen zwischen der Auswahl eines Bauwerks oder der Auswahl eines Bauteils vorliegt und die Funktion somit überflüssig ist. Des Weiteren ist die Unterscheidung zwischen einem KKW und einem Industriebauwerk nicht notwendig. Der Abbruch eines Industriebauwerks gleicht dem eines KKW, unter der Voraussetzung, dass die radioaktiven bzw. kontaminierten Komponenten bereits entfernt wurden. Aus den zuvor genannten Gründen werden die verschiedenen Auswahlmöglichkeiten aus der Bewertungsmatrix entfernt. Es steigt die Übersichtlichkeit der Bewertungsmatrix für den Anwender. Die jeweiligen Abhängigkeiten und Verknüpfungen bezüglich Berechnungen in sämtlichen anderen Modulen, die bei der Auswahl auftreten, werden so angepasst, dass die Funktionen der Bewertungsmatrix gewährleistet werden.

Das Layout und der Inhalt des AM wurden in einem Arbeitsgang überarbeitet. Zunächst wurden die zuvor beschriebenen Auswahlmöglichkeiten zwischen einem KKW mit Hinsicht auf ein Bauwerk oder Bauteil oder einem Industriebau mit Hinblick auf ein Bauwerk entfernt, da eine Entscheidung keine Relevanz auf die weiteren Berechnungen hat. Der Anwender kann Eingaben zum Bauwerk selbst, sprich dessen Bezeichnungen, sowie optional zusätzliche Eingaben zu einem Bauteil vornehmen, sofern lediglich der Abbruch eines Bauteils und nicht eines gesamten Gebäudes betrachtet werden soll. Sofern es sich um ein Bauwerk handelt und nicht um ein spezielles Bauteil, lässt der Anwender die Informationen zum Bauteil frei. Die bisherigen Gebäudebeschreibungen „Abbruchprojekt“ und „Gebäudebezeichnung“ werden um die Angaben „Nutzung“, „Lage“, „Abmessungen (L x B x H)“, „Baugrund“ und „Sonstiges“ erweitert. Diese zusätzlichen Informationen bilden mit Detailangaben des Abbruchvorhabens ein Deckblatt der Bewertungsmatrix und dienen gleichzeitig der Wiedererkennung von Berechnungen der Bewertungsmatrix. Die bestehenden Beschreibungen des Bauteils „Bauteilbenennung“ und „Bauteil nach DIN 276-1“ werden beibehalten und um „Sonstiges“ ergänzt. Die Möglichkeit, ein Bild respektive einen Lageplan des Abbruchobjektes einzufügen wird ebenfalls beibehalten und entsprechend benannt. Die Eingaben des Anwenders zum aktuellen Bauvorhaben erfolgen analog zu der Farbgestaltung sämtlicher weiterer Eingaben in der Bewertungsmatrix in oranger Farbe.

### 5.4.3. Prioritätenmodul

Bei der Anwahl des Dropdown-Menüs zur Eingabe der prozentualen Anteile respektive Gewichtungen der acht verschiedenen Kriterienbereiche werden 0%, 5%, 13%, 25%, 50%, 75% und 100% vorgeschlagen. Der angezeigte gerundete Wert von 13% beträgt tatsächlich 12,5%. Dies wird korrigiert.

Zur besseren Übersicht wurden die Worte „WERT“ über den jeweiligen prozentualen Eingaben des Anwenders gelöscht und im oberen Bereich die Bezeichnung „Eingabefelder“ für die Spalten der Eingabe hinzugefügt. Zusätzlich wurden die Eingabefelder mit oranger Textfarbe versehen, um die Aufmerksamkeit des Anwenders auf diese Felder zu lenken und somit kenntlich zu machen, dass hier Eingaben erfolgen sollen. Die verwendete Farbgebung soll die Nutzerfreundlichkeit erhöhen bzw. verbessern. Die Farbe Orange wurde ausgewählt, da sie ebenfalls eine Signalfarbe wie Rot darstellt und die Aufmerksamkeit des Benutzers anzieht.

Im Hintergrund wird ein großer grauer Schriftzug „Seite 1“ angezeigt. Dies liegt daran, dass das gesamte PM als „Umbruchvorschau“ in Excel angezeigt wird. Die Ansicht wird auf „Normal“ umgestellt, wodurch eine problemlose Nutzung des Moduls ermöglicht wird.

Zum Ende des PM wird eine Plausibilitätsprüfung der acht Eingaben durchgeführt. Ursprünglich wurde bei einem Wert von unter oder genau 100% ( $\leq 100\%$ ) die Meldung „OK“ und bei einem Wert von größer 100% ( $>100\%$ ) die Meldung „Fehler“ ausgegeben. Des Weiteren wurde bei einer Gewichtung von unter 100% ( $<100\%$ ) fälschlicherweise ebenfalls die Meldung „OK“ ausgegeben. Dieser Fehler wird korrigiert, so dass bei der Summe von genau 100% ( $=100\%$ ) die Meldung „OK“ ausgegeben und von unter oder über 100% ( $<100\%$ ;  $>100\%$ ) die Meldung „Fehler“ ausgegeben wird. Zusätzlich wird zur besseren Übersicht die Bezeichnung „Kontrolle“ und eine Anzeige der Summe hinzugefügt. Weiterhin wurden die Fehlermeldung „OK“ oder „Fehler“ mit dem Zusatz „Prüfung“ versehen. Bisher wurde lediglich Meldung „OK“ oder „Fehler“ ohne jegliche Deklaration ausgegeben.

Zu „2) Gebäudestruktur“ werden die beiden Kategorien „Bauteildicke“ und „Bauteilhöhe“ aufgelistet, um dem Anwender kenntlich zu machen, dass diese ebenfalls von der Gewichtung betroffen sind. Bisher waren die beiden Kategorien keinem Kriterienbereich zugeordnet.

#### 5.4.4. Eingabemodul

Die Spalten „C“, „D“, „E“ und „F“ waren im EIM ausgeblendet. In diesen ausgeblendeten Spalten befinden sich aus Sicht des Anwenders hilfreiche und notwendige Beschreibungen zum Verständnis der jeweiligen Kriterien und Eingaben. Diese zur Bedienung essentiellen Beschreibungen werden eingebildet und die Inhalte überarbeitet. Die nachfolgenden beiden Abbildungen verdeutlichen den Stand vorher und nachher.

Eingabemodul							
Industriehalle							
Halle 15B							
Kriterium	Einheit	Relevanz	Eingabe		Information		
			Eingabewert	Prüfung	Priorität	Bewertungspunktzahl	gewichtete Bewertungspunktzahl
<b>Allgemeines- Erschließung – Umgebung - Flächenbedarf</b>							
Alter des Gebäudes seit dem Erstbezug	[ Jahre]	-	40	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle
Nutzflächenanteil für Büro-/Verwaltungsflächen	[ %]	-	0	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle
Nutzflächenanteil für Lagerflächen	[ %]	-	0	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle
Nutzflächenanteil für Forschungsbereiche	[ %]	-	0	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle
Nutzflächenanteil für Werkstattbereiche	[ %]	-	0	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle
Nutzflächenanteil für Fertigungsbereiche	[ %]	-	0	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle
Nutzflächenanteil für Sonderbauten	[ %]	-	100	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle

Abbildung 137: Eingabemodul mit ausgeblendeten Spalten (Beschreibung) - Stand vorher

Eingabemodul								
Industriehalle								
Halle 15B								
Wände								
Kriterium	Einheit	Beschreibung	Relevanz	Eingabe		Information		
				Eingabewert	Prüfung	Priorität	Bewertungspunktzahl	gewichtete Bewertungspunktzahl
<b>Allgemeines- Erschließung – Umgebung - Flächenbedarf</b>								
Alter des Gebäudes seit dem Erstbezug	[ Jahre]	Anzahl der Jahre	-	40	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle
Nutzflächenanteil für Büro-/Verwaltungsflächen	[ %]	Büroflächenanteil des Gebäudes	-	0	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle
Nutzflächenanteil für Lagerflächen	[ %]	Lagerflächenanteil des Gebäudes	-	0	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle
Nutzflächenanteil für Forschungsbereiche	[ %]	Forschungsflächenanteil des Gebäudes	-	0	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle
Nutzflächenanteil für Werkstattbereiche	[ %]	Werkstattflächenanteil des Gebäudes	-	0	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle
Nutzflächenanteil für Fertigungsbereiche	[ %]	Fertigungsflächenanteil des Gebäudes	-	0	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle
Nutzflächenanteil für Sonderbauten	[ %]	Keine Eingabe, da Restwert	-	100	OK	Informationszelle	Informationszelle	Informationszelle

Abbildung 138: Eingabemodul mit eingebildeten Spalten (Beschreibung) - Stand nachher

Des Weiteren werden weitere Anpassungen der Formatierung vorgenommen, um eine Einheitlichkeit der Inhalte zu gewährleisten.

So erhalten die Beschreibungen zusätzliche nützliche Informationen wie beispielsweise Spannweiten, um die jeweilige Eingabe für den Anwender zu erleichtern. Die jeweiligen Bewertungspunktzahlen werden derart sortiert, dass die Niedrigste vor der Höchsten genannt wird. Nachfolgend werden in Tabelle 48 die Beschreibungen je Kriterium einzeln vor bzw. nach der Überarbeitung beschrieben:

Kriterium	Vorher	nachher
Optischer Zustand	10 = sehr gut; 0 = Abbruchreif	0 = abbruchreif; 10 = Neubau bzw. makellos

Ausbaugrad (Innenausbauanteil)	10 sehr hoch; 0 Halle ohne Innenausbau	0 = sehr niedrig (Rohbau); 10 = sehr hoch (Bürogebäude)
Umbauungsgrad	Anteil der direkten Umbauung Einzelbau = 0	0 = Einzelbau; 100 = völlig umbaut
Minimale Tragfähigkeit der Decken	Unter 300 kg/m <sup>2</sup> = 0; über 2600 kg/m <sup>2</sup> = 10	0 = unter 300 kg/m <sup>2</sup> ; 10 = über 2600 kg/m <sup>2</sup>
Zulage für die Verfügbarkeit eines ausreichenden Sicherheitsbereiches	-	Ausreichender Sicherheitsbereich
Fundamente & Sonderbauteile d ≥ 1,50 m	Bauteile die generell gestemmt werden	Abbruch von Bauteilen mittels Stemmen
Anteil der Bauteile mit Störstoffen oder Kontaminationen	-	Kontaminationen wie z.B. PAK, MKW, Asbest

Tabelle 49: Auflistung von Kriterien, deren Beschreibungen überarbeitet wurden.

Bei dem Kriterium „Bauteilhöhe (bis 20 cm, bis 40 cm, bis 60 cm, bis 80 cm, bis 1m, >1m)“ soll die Lage des Bauteils, sprich die Bauteilhöhe über GOK eingegeben werden. Die Eingabe erfolgt in Metern. Aus diesem Grund wird die Benennung des Kriteriums in „Bauteilhöhe über GOK“ umbenannt.

Für die Kriterien „Bauteildicke“ und „Bauteilhöhe (bis 20 cm, bis 40 cm, bis 60 cm, bis 80 cm, bis 1m, >1m)“ wurden Berechnungen verbessert, indem die beiden gewichteten Berechnungspunktzahlen korrekt errechnet und an andere Module weitergegeben werden. Die Gewichtungszahl ist variabel und abhängig von den Eingaben des Anwenders im PM. Hierfür wird im PM kenntlich gemacht, dass Bauteildicke und -höhe in die Kategorie „Gebäudestruktur“ fallen. Auf Basis dessen werden eine Bewertungspunktzahl und eine gewichtete Bewertungspunktzahl errechnet, so dass diese Kriterien einen Einfluss auf die einzelnen, nachfolgenden Berechnungen respektive Bewertungen in den nachfolgenden Modulen haben. Das Setzen des Hakens bei der Priorität zur Berücksichtigung oder Nicht-Berücksichtigung wird programmiert und somit ermöglicht. Das Setzen des Hakens ist abhängig davon, ob das gesamte Abbruchobjekt in Form eines gesamten Bauwerks oder lediglich eines Bauteils betrachtet wird.

Beim Kriterium „Gesamthöhe des Gebäudes“ wurde die Berechnung verbessert. So wird in der entsprechenden Spalte „Beschreibung“ wiedergegeben, dass die Bewertungszahl abhängig von der eingegeben Gebäudehöhe ist. Die entsprechenden Bewertungspunktzahlen sind laut der Beschreibung „0 m = 0, 1-10 m = 2, 10-24 m = 4, 24-40 m = 6, 40 m – 55 m = 8, >55 m=10“. Aktuell wird diese Bewertungspunktzahl falsch errechnet. Für die Gebäudehöhe von „1m“ wird eine Bewertungspunktzahl von „1“ errechnet. Analog dazu wird für eine Gebäudehöhe von „2m“ eine Bewertungspunktzahl von „2“ ausgegeben. Die Bewertungspunktzahlen werden dementsprechend anhand der Gebäudehöhen bis „10 m“ identisch ausgegeben. Jedoch wird ab einer Höhe von „10 m“ die Bewertungspunktzahl von „0“ ausgegeben. Somit werden nur Gebäudehöhen von bis zu „10 m“ in den nachfolgenden Berechnungen betrachtet. Diese werden aktuell mit einer zu hohen Gewichtung betrachtet, da Gebäudehöhen von über „55 m“ eine maximale Bewertungspunktzahl von „10“ generieren. Dieser Fehler wird behoben, so dass der Inhalt der Spalte korrekt berechnet und für die nachfolgenden Module vorliegt. Die Gebäudehöhe von „0m“ wird nicht berücksichtigt, da diese ausgeschlossen werden kann. Die Bewertungsanzahl wird so angepasst, dass für die Gebäudehöhen in den Intervallen folgende Punktzahlen entstehen: „2 = 1-10 m; 4 = 11-23 m; 6 = 24-40 m; 8 = 41 m - 55 m; 10 = 55+m“. Dementsprechend wird auch die Beschreibung in der Bewertungsmatrix angepasst. Die gewichtete Bewertungspunktzahl wird analog

zum vorherigen Kriterium „Ausbaugrad (Innenausbauanteil)“ errechnet. Dort wird die Berechnungspunktzahl mit der Gewichtung aus dem PM multipliziert und ergibt somit die gewichtete Berechnungspunktzahl.

Bei den Berechnungen der gewichteten Bewertungspunktzahl wurden Verbesserungen vorgenommen. Im Folgenden wird zunächst der Fehler vorgestellt, daraufhin folgt die Benennung der Kriterien, die den Fehler beinhalten und abschließend die Beschreibung der Fehlerbehebung. Bei den Kriterien mit dem Fehler ergibt jeder Eingabewert größer „0 (>0)“ die maximale gewichtete Bewertungspunktzahl von „1,25“ bei einer Gewichtung von 12,5%. Bei einer höheren Gewichtung von bspw. 100% ergibt sich die gewichtete Bewertungspunktzahl von „10“. Diese „10“ stellen den Maximalwert dar und sollten nur bei einer Eingabe von „100“ entstehen, jedoch entsteht dieser Maximalwert bei einer Eingabe von „0+“. Dies bedeutet, dass jeder Eingabewert zwischen „1 und  $\infty$ “ die maximale gewichtete Bewertungspunktzahl erhält. Die gewichtete Bewertungspunktzahl sollte jedoch skaliert sein und sich den entsprechenden Prozenteingaben von „0 - 100%“ anpassen. Dieser Fehler tritt ausschließlich bei Kriterien mit der Einheit [ % ] auf. Der Grund für diese fehlerhaften Berechnungen ist der Tatsache geschuldet, dass die Urversion der Bewertungsmatrix keine Kriterien mit [ % ] enthielt, sondern lediglich eine Frage, die mit „Ja / Nein“ beantwortet werden konnte. Bei der ursprünglichen Eingabe von „Ja / Nein“ wurde mit jeder Eingabe größer 0 die maximale gewichtete Bewertungspunktzahl vergeben. Bei der Veränderung dieser Kriterien auf die Einheit in [ % ] wurde keine Überarbeitung der gewichteten Bewertungspunktzahl vorgenommen. Dies verfälscht sämtliche Ergebnisse aus den Berechnungen der jeweiligen nachfolgenden Bewertungsmodule. Die Variabilität anhand der eingegebenen Prozentzahl der einzelnen Kriterien ist aktuell nicht gegeben. Die Bewertungspunktzahlen und gewichteten Bewertungspunktzahlen sämtlicher Eingaben als Prozentwerte werden so programmiert, dass diese korrekt berechnet werden. Nachfolgend werden jene Kriterien aufgeführt, die diesen zuvor genannten Fehler enthalten. Die Einheit ist jeweils [ % ].

- Zulage für Erschwernisse durch die Erschließung,
- Zulage für die Aufrechterhaltung des sonstigen Verkehrs,
- Zulage für Erschwernisse durch die Entfernung der BE,
- Zulage aufgrund der notwendigen Größe der BE,
- Zulage für die Verfügbarkeit eines ausreichenden Sicherheitsbereiches,
- Anteil der Baumaterialien mit besonderem Verbund,
- Zulage für Erschwernis durch Abbruch unter Produktion/ Nutzung,
- Anteil der Bauteile mit Störstoffen oder Kontaminationen,
- Anteil der Umweltschäden im Boden,
- Anteil der Umweltbeeinträchtigungen im Wasser.
- Zulage für Beeinträchtigungen durch Fertigungseinrichtungen,
- Zulage für Beeinträchtigungen durch die Produktionslogistik,
- Zulage für Beeinträchtigungen durch querende Produktionsmedien,
- Zulage für Beeinträchtigungen durch vorhandene Sozialbereiche des AG,
- Zulage für Erschwernisse durch tangieren der Baustelle von Besuchern und Personalströmen,
- Zulage für Beeinträchtigungen durch sonstige Nachbarbereiche,
- Zulage für Maßnahmen zur Minderung der Staubbelastungen,
- Zulage für Maßnahmen zur Lärminderung,
- Zulage für Maßnahmen zur Minderung der Rauch-/ Gasbelastungen,
- Zulage für Maßnahmen zur Minderung von Erschütterungen,
- Zulage für Maßnahmen gegen Splitterwirkung,
- Zulage für erhöhten Brand- /Explosionsschutz,
- Zulage für Einhausungen als Absicherung,
- Zulage für künstliche Belüftung,
- Zulage für besondere Sicherheitsauflagen,

- Zulage für Gefahren durch statisch unsichere Zwischenzustände,
- Zulage für Unterstützungsmaßnahmen,
- Zulage für Beeinträchtigungen durch Gerüste,
- Zulage für verfahrensunabhängige Gerüste,
- Zulage für verfahrensunabhängige Abstützungen,
- Zulage für Nacharbeit,
- Zulage für Überstunden,
- Zulage für Wochenendarbeit,
- Zulage für Witterungsabhängigkeiten.

Die orange Farbgebung der Eingabefelder bzw. Eingabewerte des Anwenders wird aus dem PM übernommen.

Die aktuelle Eingabe von sämtlichen Tragwerkmaterialien findet zum einen als Gesamtvolumen statt und zum anderen werden die einzelnen Tragwerkmaterialien in Prozentwerten von diesem Gesamtvolumen eingegeben. Ein exemplarisches Beispiel dafür wäre ein Gesamtvolumen von 100 m<sup>3</sup> f.M. und ein Anteil von 50% bei Stahlbeton. Diese Eingabe von Stahlbeton oder weiteren Tragwerkmaterialien stellt sich als umständlich dar. In der Praxis wird eine Massenermittlung am Abbruchobjekt durchgeführt.<sup>172</sup> Diese Massenermittlung wird bei Stahlbeton bspw. in Volumen und bei Stahl in Gewicht vorgenommen. Um die geforderten Angaben der jeweiligen Baustoffanteile in Prozentwerten vom Gesamtvolumen zu erhalten, müssen aktuell sämtliche Tragwerkmaterialien aufsummiert werden und durch die jeweilige Masse des Tragwerkmaterials dividiert werden. Es erscheint sinnvoller, die Bewertungsmatrix derart zu formatieren, dass direkt eine Eingabe von den jeweiligen Massen in der Einheit m<sup>3</sup> oder t vorgenommen werden kann. Da es sich um keinen Fehler, sondern lediglich um eine Vereinfachung handelt, wird dies in der Bewertungsmatrix nicht überarbeitet. Des Weiteren muss für die Umrechnung in Prozentwerte in der Praxis das Gewicht von Stahl von t in ein Volumen m<sup>3</sup> überführt werden, da die Bewertungsmatrix im EIM den Anteil von Stahl in Volumen m<sup>3</sup> benötigt. Hierzu wird das vorhandene Gewicht durch die Dichte dividiert.<sup>173</sup>

In der Spalte „Priorität“ wird eine Gewichtung von 12,5% aufgrund Formatierung als 13% angezeigt. Dieser bei jedem Kriterium auftretende Fehler wird behoben.

Nicht zentrierte Überschriften werden zentriert, um ein einheitliches Gesamtbild des Moduls zu erzeugen.

Sämtliche Kriterien, die die Einheit „[Ja / Nein]“ sowie vereinzelt die Einheit „[ % ]“ aufweisen, besitzen zusätzlich in der Spalte „Relevanz“ die Option, ob dieses Kriterium berücksichtigt werden soll. Bei den oben genannten Kriterien existiert zusätzlich zum Haken zur Berücksichtigung ein weiteres Feld mit einem Haken zur Berücksichtigung oder Nicht-Berücksichtigung. Es wird bei diesem zweiten Haken das Wort „WAHR“ bzw. „FALSCH“ in der Spalte für die „Eingabe“ ausgegeben. Diese doppelte Möglichkeit der Haken-Setzung ist nicht erforderlich. Für das Setzen des Hakens wird nun jeweils die maximale gewichtete Bewertungspunktzahl ausgegeben, die abhängig von der eingegebenen Gewichtung aus dem PM ist. Nachfolgend wird ein Beispiel mittels einer Abbildung für die Zeitpunkte vor der Bearbeitung und nach der Bearbeitung gegeben. Die farbige Füllung des Hintergrunds in orange und grün dient lediglich der besseren Nachvollziehbarkeit der Abbildung. Sie ist in der Bewertungsmatrix nicht zu finden.

<sup>172</sup> Siehe Kapitel 4: Mengenermittlung der In-Situ-Untersuchungen.

<sup>173</sup> Angesetzt wurde eine durchschnittliche Dichte von Baustählen in Höhe von 7850 kg/m<sup>3</sup>.

	<input checked="" type="checkbox"/>		25	OK	12,5%	2,50	0,31
	<input checked="" type="checkbox"/>		100	OK	12,5%	10,00	1,25
vorher	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	WAHR	OK	12,5%	10,00	1,25
nachher	<input checked="" type="checkbox"/>		-	OK	12,5%	-	1,25
	<input checked="" type="checkbox"/>		25	OK	12,5%	2,50	0,31
	<input checked="" type="checkbox"/>		50	OK	12,5%	5,00	0,63

Abbildung 139: Beispiel der Verbesserung der Problematik der Berücksichtigung einer doppelten Priorität eines Kriteriums

In der Zeile „Tragwerkmaterialien“ wird die zur Plausibilitätsprüfung gebildete Summe aus den Anteilen der einzelnen Gebäudestrukturen dem Anwender als solche kenntlich gemacht.

Bei einer Vielzahl von Kriterien treten Fehler in der Spalte „Prüfung“ auf. Bspw. beim Umbauungsgrad erstreckt sich die Spannweite des Eingabewertes von „0 bis 100%“. Aktuell wird jedoch bei einer Eingabe von über „100 (>100)“ und bei Eingaben von unter „0 (<0)“ die Meldung „OK“ in der Spalte „Prüfung“ ausgegeben. Dies wird derart formatiert, dass nur Werte zwischen „0-100%“ mit der Meldung „OK“ ausgegeben werden und sämtliche übrigen Werte mit „Nicht OK“ versehen werden.

Weiterhin wurde eine grundlegende optische Überarbeitung vorgenommen.

#### 5.4.5. Verfahrensbewertungsmodul

Das Verfahrensbewertungsmodul (VBM) erhält eine neue Farbgebung der Zellenhintergründe, so dass die Kategorien und Überschriften als solche vom Anwender einfach identifiziert werden können. Wichtige Überschriften und Ergebnisse sind in einem dunkleren Blau eingefärbt, jedoch im gleichen Farbton. Im ERM findet sich bei den Ergebnissen aus dem VBM die Farbe Blau wieder, so dass der Anwender diese besser zuordnen kann.

Im EIM war es zuvor nicht möglich, eine Gewichtung für die Bauteildicke und Bauteilhöhe vorzunehmen. Dies wurde im vorigen Kapitel erläutert und behoben. Diese Gewichtung existierte ebenfalls nicht im VBM. Es war eine Gewichtung von „0%“ voreingestellt, so dass die Bauteildicken und -höhen nicht berücksichtigt werden konnten, obwohl sie einen Eingabewert im EIM erhalten hatten. Diese Gewichtung wird analog zur Gewichtung im EIM angepasst, so dass eine korrekte Berücksichtigung in den Berechnungen des VBM stattfinden kann.

Analog zu den übrigen Modulen wird im Kopfbereich des VBM ein grauer Streifen hinzugefügt, der den Titel des Moduls wiedergibt und als Überschrift bzw. Kopf des Moduls fungiert. Dies soll beim Ausdrucken eine schnellere Identifizierung der einzelnen Module erleichtern.

Die Implementierung der beiden Abbruchverfahren Scherschneiden und Abtragen (Fräsen) erfordert eine Eintragung von Verfahrenswerten, sprich feste Punktzahlen anhand derer die technologische Anwendbarkeit und somit eine Bewertung des jeweiligen Abbruchverfahrens auf das eingegebene Abbruchobjekt festgestellt werden kann. Diese Verfahrenswerte werden anhand von Verständnis, Wissen und Erkenntnissen, die im Zuge der In-Situ-Untersuchungen gewonnen wurden<sup>174</sup> ermittelt. Diese Ermittlung beinhaltet zusätzlich einen Vergleich der jeweiligen Verfahrenswerte mit ähnlichen Verfahrenswerten anderer Abbruchverfahren, so dass sich der Anwender anhand bestehender Verfahrenswerte orientieren kann und schließlich ermittelt werden kann, ob die eingetragenen Verfahrenswerte die Realität widerspiegeln. Beispielsweise wird dem Verfahrenswert für „Metallische Bauteile“ für das Verfahren Scherschneiden der Höchstwert von „10“ zugeordnet, da dieses

<sup>174</sup> Siehe Kapitel 4: In-Situ-Untersuchungen

Abbruchverfahren speziell für Stahlbauteile besonders geeignet ist. Im Vergleich dazu besitzt Stemmen den niedrigsten möglichen Verfahrenswert von „0“, da der Abbruchhammer zum Abbruch von Stahlbauteile ungeeignet ist. Des Weiteren besitzt Pressschneiden einen Verfahrenswert von „7“, da eine Kombizange ebenfalls Bauteile mit Stahlanteilen wie Stahlbeton abbrechen kann. Somit scheint die Relation der jeweiligen Verfahrenswerte zueinander realitätsnah.

Der jeweilige Verfahrenswert und die gewichtete Bewertungspunktzahl aus dem EIM werden miteinander zu einer Punktzahl verrechnet. Diese Punktzahl erhält je nach Randbedingungen eine Farbgebung. Diese Farben richten sich nach der Farbgebung einer Ampel und bestehen aus rot, gelb und grün. Eine rote Hinterlegung bedeutet, dass bei gewissen Eingabewerten ein Ausschluss des Verfahrens stattfinden kann. Eine gelbe Hinterlegung bedeutet, dass bei gewissen Eingabewerten Verbesserungen notwendig sind, jedoch kein Ausschluss des Verfahrens stattfindet. Eine grüne Hinterlegung bedeutet, dass weder ein Ausschluss, noch eine Verbesserung vorliegt. Falls die eingegeben Werte zu einem Ausschluss oder einer Verbesserung führen, wird anstatt der Punktezahl ein „a“ für Ausschluss oder „v“ für Verbesserung ausgegeben. Die ermittelten und eingetragenen Verfahrenswerte und deren Farbgebung orientieren sich an der technischen Anwendbarkeit. Die zuvor angewandte Logik und Berücksichtigung der Relationen von Verfahrenswerten zueinander wird bei sämtlichen Verfahrenswerten angewendet. Die ermittelten Verfahrenswerte für die beiden neuimplementierten Abbruchverfahren können dem überarbeiteten VBM entnommen werden.

Bei der Berechnung der Verfahrensergebnisse für das Abbruchverfahren Pressschneiden und für die „Bauteildicke“ und „Bauteilhöhe“ sind die Zellen der errechneten Verfahrensergebnisse für Pressschneiden rot hinterlegt. Sofern ein Grenzwert der Bauteildicke oder -höhe eingegeben wird, findet ein Ausschluss des Verfahrens statt und es wird ein „a“ für Ausschluss ausgegeben. Dieses „a“ ist in den Formeln der jeweiligen Zellen festgelegt. Jedoch ist in diesen beiden Zellen der Verfahrensergebnisse in den jeweiligen Formeln ein „v“ hinterlegt, welches für Verbesserungen und nicht für Ausschluss steht. Die hinterlegte Formel wird entsprechend korrigiert. Des Weiteren treten Fehler bei Pressschneiden und „Besondere Materialhärten“, „Verbund der Baustoffe“, „Schwer zugängliche Bereiche“, „Erschütterungen“ und „Keine Gefahren durch Splitter“ auf. Die Formel beinhaltet ein „v“ für Verbesserungen, jedoch sind die Zellen der Verfahrensergebnisse in Rot für Ausschluss gehalten. Dies stellt einen Fehler dar und das „v“ in der Formel wird korrekterweise durch ein „a“ ersetzt. Ein weiterer Fehler ist in der Zelle für den Verfahrenswert für Thermisches Trennen und für „besondere Bewehrungsgrade“ zu finden. Die Zelle ist in Gelb formatiert, dies bedeutet Verbesserung. In der Formel ist jedoch ein „o“ hinterlegt, was bedeutet, dass kein Ausschlusskriterium und keine Verbesserung vorliegt. Die Formel wird entsprechend korrigiert.

Das Modul wird mit Hinweisen zur Interpretation der Ergebnisse versehen. So wird beschrieben, dass das beste Abbruchverfahren auch gleichzeitig die höchste Punktzahl in Relation zu den anderen Verfahren erzielt.

Das Tabellenblatt bzw. das gesamte Modul wird schreibgeschützt, da seitens des Anwenders keine Eingaben in dem Modul erforderlich sind. Dies soll gewährleisten, dass der Anwender nicht unbeabsichtigt Inhalte diverser Zellen ändert und somit die Funktionsfähigkeit der Bewertungsmatrix beeinflusst.

#### **5.4.6. Kostenbewertungsmodul Industrie**

Das KBMI wird mit dem KBMK fusioniert und wird in der weiterentwickelten Version der Bewertungsmatrix unter dem Namen „Kostenbewertungsmodul“ (KBM) existieren. Aus diesem Grund wird das KBMI nicht überarbeitet.

### 5.4.7. Kostenbewertungsmodul (ehemals KKW)

Das KBMK wird mit dem KBMI fusioniert und wird in der weiterentwickelten Version der Bewertungsmatrix nicht mehr existieren. Das neue Modul „Kostenbewertungsmodul“ (KBM) basiert auf dem KBMK. Aus diesem Grund wird das KBMK wie nachfolgend dargestellt überarbeitet, aktualisiert und umbenannt.

Weiterhin wurde eine grundlegende optische Überarbeitung vorgenommen.

Aufgrund der Überarbeitung der gewichteten Bewertungspunktzahl einiger Kriterien aus dem EIM ist es erforderlich, jeden Zuschlag aufgrund von Erschwernissen im KBM anzupassen. Die jeweiligen Berechnungen der einzelnen Zuschläge des KBM werden dementsprechend so überarbeitet, dass die gewichtete Bewertungspunktzahl aus dem EIM als Berechnungsgrundlage anstelle der Eingabewerte verrechnet wird, so dass ein logischer und korrekter Zuschlag entsteht.

In der Spalte „Wert“ werden die jeweiligen gewichteten Bewertungspunktzahlen der einzelnen Kriterien aus dem EIM durch 100 dividiert und angezeigt. Diese Werte werden teilweise als „0,00“ dargestellt, obwohl sie eine Zahl mit mehreren Nachkommastellen enthalten, bspw. „0,006“. Zur korrekten Darstellung respektive zur Vermeidung von Fehlinterpretationen durch den Anwender wird die Formatierung von zwei auf drei Nachkommastellen erweitert.

Zu Beginn des Moduls werden die Grundkosten für Gebäude und für Bauteile separat aufgelistet. Diese Grundkosten umfassen Personalkosten, Gerätekosten und Betriebskosten und ergeben die Verfahrenskosten. Die einzelnen Werte für die verschiedenen zuvor genannten Kostenarten sind für den Abbruch von Gebäuden gefüllt. Die Kostenarten der einzelnen Verfahren für Bauteile sind jedoch nicht mit Werten, sondern lediglich mit der Zahl „0,00“ gefüllt. Es existieren keine Verknüpfungen zu vorigen oder nachfolgenden Berechnungen zu diesen Zahlen. Weiterhin besteht keine Begründung für eine gesonderte Betrachtung zwischen der Kalkulation von einem Gebäude und einzelnen Bauteilen, da anhand der Eingaben mit Hinblick auf die Baustoffzusammensetzung und Abmessungen Gebäude bzw. Bauteile im EIM modelliert werden können. Aus den zuvor genannten Gründen erscheint die Auflistung der Kostenarten für Bauteile nicht sinnvoll und wird daher aus der Bewertungsmatrix entfernt. Dies ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

<b>Abbruchkosten</b>		Manuelle Methode	
<b>Grundkosten Gebäude</b>		Stemmen	
Kosten		Handarbeit	Maschinell
Personalkosten [€/m <sup>2</sup> f.M.]		150,00	4,17
Gerätekosten [€/m <sup>2</sup> f.M.]		62,50	12,15
Betriebskosten [€/m <sup>2</sup> f.M.]		68,75	8,92
<b>Verfahrenskosten</b>		<b>298,00</b>	<b>87,56</b>

<b>Grundkosten Bauteile (wird durch Prioritätenmodul gesteuert.)</b>		Manuelle Methode	
		Stemmen	
Kosten		Handarbeit	Maschinell
Personalkosten [€/m <sup>2</sup> f.M.]		0,00	0,00
Gerätekosten [€/m <sup>2</sup> f.M.]		0,00	0,00
Betriebskosten [€/m <sup>2</sup> f.M.]		0,00	0,00
Zwischensumme		0,00	0,00
<b>Die Verfahrenskosten pro m<sup>2</sup> f.M. betragen:</b>		<b>298,00</b>	<b>87,56</b>

Abbildung 140: Darstellung des entfernten Teils bezüglich einer überflüssigen Unterscheidung nach Bauteilen im Kostenbewertungsmodul.

Die jeweiligen Kosten der einzelnen Verfahren werden anhand von Kostenkennwerten errechnet. Falls ein Ausschluss eines Verfahrens stattgefunden hat, so wird in der Zelle der jeweiligen Kostenkennwerte ein „a“ anstatt eines Wertes in € angezeigt. Einige Verfahren weisen Ausschlüsse und somit das entsprechende „a“ auf. Der nächsten Spalte nach dem Kostenkennwert sind jene Kosten zu entnehmen, die anhand dieses Aufwandswertes errechnet werden. Sofern ein „a“ als Kostenkennwert vorliegt, ist die Zelle der Kosten mit „0,00“ gefüllt und der Zellhintergrund ist in gelber Farbe hinterlegt. Die Zellen der Kosten werden überarbeitet, so dass die farbigen Hinterlegungen entfernt und die Inhalte der Zellen von „0,00“ in „-“ verändert werden. Sofern ein Ausschluss eines Verfahrens stattfindet, wird aus Gründen der Nachvollziehbarkeit somit kein Wert angezeigt.

Weiterhin wurde eine grundlegende optische Überarbeitung vorgenommen.

Die Werte der Zellen der Zulagen in Prozent sind als Festwerte mit „100%“ eingetragen. Diese „100%“ stellen eine Gewichtung dar, jedoch ist als Festwert in jedem Fall eine maximale Gewichtung gegeben. Diese „100%“ sind insgesamt 450-mal in diesem Modul gesondert hinterlegt. Die jeweiligen Zuschläge werden nach der folgenden Formel errechnet: „(gewichtete Bewertungspunktzahl aus dem EIM / 100) \* Zulage in Prozent / 100 \* Gesamtkosten mit Demontage“. Die Zulage in Prozent aus der Formel wird mit 100, sprich dem Festwert aus den Zellen ersetzt, so dass die nachfolgende Division durch 100 den Wert „1“ ergibt. Somit ist diese Berücksichtigung von Zulagen in Prozent von 100% ohne weitere Auswirkung auf nachfolgende Berechnungen. Die hinterlegte Formel erfordert darüber hinaus keine zusätzliche Gewichtung, da mittels der gewichteten Bewertungspunktzahl bereits eine Gewichtung stattgefunden hat. Aus diesem Grund werden die Zulagen von 100% aus der Bewertungsmatrix gänzlich entfernt.

Die Zulagen aufgrund von Erschwernissen durch Gebäudestruktur werden komplett überarbeitet. Dies bezieht sich insbesondere auf die Aspekte „Tragfähigkeit des Untergrundes, Ausbaugrad (Innenausbauanteil), Tragfähigkeit der Decken (ändern), Gesamthöhe des Bauwerks“. Die Überschrift „Erschwernisse durch Gebäudestruktur“ erscheint bei sämtlichen zuvor genannten Inhalten wenig aussagekräftig, da sich diese nicht auf die Gebäudestruktur bezieht und im EIM korrekterweise in die Kategorie „Allgemeines - Erschließung - Umgebung - Flächenbedarf“ einzuordnen ist. Beim Inhalt „Tragfähigkeit der Decken (ändern)“ sind Zuschläge in Höhe von „15%“ oder „0%“ als Festwerte hinterlegt. Zuschläge mit einem Festwert von „0%“ erscheinen hier jedoch wenig sinnvoll, da die errechneten Kosten in jedem Fall „0 €“ betragen werden. Die Inhalte „Erschwernisse durch Gebäudestruktur“ werden in die nächste Kategorie „Allgemeines“ eingefügt, da diese dort zugehörig sind. Die Überschrift „Allgemeines“ wird aus Gründen der Einheitlichkeit in „Allgemeines - Erschließung - Umgebung - Flächenbedarf“ abgeändert. Die jeweiligen Inhalte werden gemäß der weiteren Zuschläge angepasst, so dass die Gewichtung von „0 bzw. 15%“ verworfen wird. Diese Überarbeitung umfasst eine Multiplikation der gewichteten Bewertungspunktzahl aus dem EIM mit den Gesamtkosten inkl. Demontage sowie einer grundlegenden optischen Überarbeitung.

Die Kriterien der Zuschläge werden einzeln auf ihre Richtigkeit sowie Sinnhaftigkeit geprüft und wenn erforderlich angepasst respektive entfernt<sup>175</sup>.

Bei Bauteil „Bodenplatte“ (Kategorie Tragwerk) konnten keine Werte aus dem EIM übergeben werden. Vielmehr ist im KBM in der Zeile der „Bodenplatte“ ein von anderen Berechnungen respektive Eingaben unabhängiger Festwert von „15,16 €“ hinterlegt. Da somit keine Kostenberechnung möglich ist und der Abbruch von Bodenplatten unter den Tragwerkmaterialien Stahlbeton oder Fundamente & Sonderbauteile eingegeben und mittels Stemmen abgebrochen werden können, werden die Berechnungen der Kosten für die „Bodenplatte“ aus dem Modul gänzlich entfernt.

<sup>175</sup> z.B. ein Zuschlag für die Tragfähigkeit des Untergrundes: Je tragfähiger der Boden desto höher ist der Zuschlag.

Des Weiteren wurde - mit einem Festwert von „40,16 €“ in der Zeile für „Fundamente & Sonderbauteile“ - analog zur „Bodenplatte“ - bei den Bauteilen „Fundamente & Sonderbauteile“ identifiziert. Trotz Ermangelung nachfolgender Berechnungen zu diesem Wert existiert eine Verknüpfung zum Volumen, welches in das EIM eingetragen werden kann. Aus diesen Gründen wird eine korrekte Berechnung für „Fundamente & Sonderbauteile“ programmiert. Da der Abbruch von Fundamenten und Sonderbauteilen überwiegend mittels Stemmen stattfindet<sup>176</sup>, werden die Kosten für Stemmen angesetzt und der hinterlegte Festwert von „40,16 €“ herausgenommen.

Zu Beginn der Berechnungen des Tragwerks stehen bei jedem Abbruchverfahren die Überschriften „Stemmen- Handarbeit“ oder „Stemmen- maschinell“. Direkt darunter stehen die Zwischensummen der Gesamtkosten des Verfahrens ohne Zuschläge. Überschriften mit Stemmen bei sämtlichen Abbruchverfahren sowie die Angabe der Zwischensumme der Gesamtkosten zu Beginn der Berechnungen erscheinen wenig sinnvoll und werden daher aus dem Modul entfernt; die jeweilige Zwischensumme der Gesamtkosten der Abbruchverfahren wird nach den Berechnungen angezeigt.

Bei einer Vielzahl von Werten wurde eine grundlegende Überarbeitung der Formatierung vorgenommen.

Analog zu den Überschriften „Aufwand“ und „Dauer“ zu den jeweiligen Aufwandswerten und Dauern im ZBM werden im KBM die Überschriften „Kostenkennwerte“ und „Kosten“ eingeführt. Dies soll aus Anwendersicht der Übersichtlichkeit sowie schnellen Identifikation von Spalten mit Kostenkennwerten und Kosten als solche dienen.

Bei der Überschrift „Erhöhter Aufwand“ sind unter der Überschrift „Verfahrenskosten“ die Berechnungen für das Tragwerk eingetragen. Diese doppelte Nennung von Verfahrenskosten erscheint an dieser Stelle wenig sinnvoll und wird deshalb entfernt.

Unter der Überschrift „Erhöhter Aufwand“ werden die Kosten aufgrund eines erhöhten Aufwands von Spannbetonteilen aus den Eingaben im EIM berechnet. Obwohl es möglich ist diesen erhöhten Aufwand für Mauerwerk im EIM einzutragen, fehlen die Kosten für einen erhöhten Aufwand von Mauerwerk. Dies wird korrekterweise implementiert. Des Weiteren stehen unter „Erhöhter Aufwand“ auch „Zusätzlicher Stemmaufwand für Fundamente & Sonderbauteile“. Da zu diesen Bauteilen kein erhöhter Aufwand im EIM eingegeben werden kann, wird dieser Aspekt aus dem KBM entfernt. Fundamente und Sonderbauteile können stets einen erhöhten Stemmaufwand analog der Sonderbauteile mit besonderen Abmessungen erfordern.

Im KBM werden zu Beginn die Verfahrenskosten ermittelt. Zunächst wurde angenommen, dass die Verfahrenskosten die Summe aus Personal-, Geräte- und Betriebskosten darstellt. Bei einer genauen Analyse wurde jedoch festgestellt, dass die Verfahrenskosten aus dem Mittelwert der jeweiligen Kosten für sämtliche Baustoffarten bestehen. Dies bedeutet, dass die Verfahrenskosten aus dem Mittelwert von dem Mittelwert der Kosten für Spann- und Stahlbetonbauteile, Stahlbauteile, Mauerwerk und Fertigteile bestehen. Aus diesem Grund erscheinen die Ausführungen und Berechnungen der Personal-, Geräte- und Betriebskosten nicht erforderlich, da die entsprechenden Inhalte von keinen weiteren Berechnungen genutzt werden. Der ursprüngliche Nutzen dieser drei Kostenarten liegt darin, dass im KBMI die Summe dieser drei Kostenarten als Abbruch- bzw. Verfahrenskosten genutzt wurden. Mithilfe der angesprochenen Abbruchkosten wurden die Kosten sämtlicher Baustoffarten berechnet. Im KBMK wurde eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Baustoffarten eingeführt, so dass verschiedene Kostenwerte anstelle der drei Kostenarten und deren Summe genutzt wurden. Aus diesen Gründen werden diese drei Kostenarten aus der Bewertungsmatrix entfernt.

---

<sup>176</sup> Siehe In-Situ-Untersuchungen S.112 ff.

Die Baustoffart „Holz“ unter Tragwerkmaterialien fehlt gänzlich im KBM. Diese Kategorie wird jedoch im Ergebnis- sowie Verfahrensbewertungsmodul und dem ZBM aufgeführt. Aus diesem Grund wird die Baustoffart „Holz“ hinzugefügt und entsprechend verknüpft.

Die Überschriften der Baustoffarten besitzen den Zusatz „< 1,50m“. Hierbei ist nicht erkenntlich, dass sich die Angabe auf die Dicke des jeweiligen Bauteils bezieht. Aus diesem Grund wird der Zusatz in „(d < 1,50 m)“ abgeändert.

Gemäß den Erkenntnissen aus Kapitel 3<sup>177</sup> werden die Kostenkennwerte von sämtlichen Abbruchverfahren mit Hinblick auf die verschiedenen Baustoffe sowie Bauteilhöhen und -dicken angepasst. Aktuell existieren für Spann- und Stahlbeton, Stahlbauteile, Mauerwerk und Fertigteile in Abhängigkeit von den Bauteilhöhen- und dicken verschiedene Kostenkennwerte.<sup>178</sup> Da Stahlbeton den anteilig am häufigsten abzubrechenden Baustoff mit den am weitesten ermittelten Kennwerten darstellt<sup>179</sup>, wird der aktuell bestehende Kostenkennwert von Stahlbeton mit einer Bauteilhöhe von „0 - 10 m“ als Referenz mit 100% angesetzt. Es wird ausschließlich dieser Referenzwert für jedes Abbruchverfahren überarbeitet, die übrigen Kostenkennwerte verändern sich dementsprechend im gleichen Verhältnis der Kostenkennwerte zueinander. Diese automatische Änderung wurde in der weiterentwickelten Version programmiert, da zuvor sämtliche Kostenkennwerte als Festwerte vorlagen. Dies bedeutet, dass sämtliche bestehende Verhältnisse bspw. zwischen „0 - 10 m = 29,65 €, 10 - 24 m = 40,00 €“ bestehen bleiben. Der Faktor zwischen 29,65 € und 40,00 € beträgt in diesem Beispiel 1,35. Somit wird der zuvor genannte Kostenkennwert von 29,65 € für „0 - 10 m“ in 9,32 € aus dem KBMI geändert; der nachfolgende Wert erhöht sich um den Faktor 1,35. So ändern sich die beiden Kostenkennwerte entsprechend zu „0 - 10 m = 9,32 € und 10 - 24 m = 12,58 €“. In der nachfolgenden Tabelle wird dieses Beispiel inkl. der Abhängigkeiten und Berechnungen der Kostenkennwerte der bestehenden Version und weiterentwickelten Version wiedergegeben.

Stahlbetonbauteile (d < 1,50 m)	bestehende Kostenkennwerte	Faktor im Vergleich zu 0 - 10 m	Überarbeitete Kostenkennwerte
0 - 10 m	29,65 €	$(29,65 / 29,65) = 1,00$	(Ausgangswert) 9,32
10 - 24 m	40,00 €	$(40,00 / 29,65) = 1,35$	$(9,32 * 1,35) = 12,58$
24 - 40 m	55,00 €	$(55,00 / 29,65) = 1,86$	$(9,32 * 1,86) = 17,34$
40 - 55 m	75,00 €	$(75,00 / 29,65) = 2,53$	$(9,32 * 2,53) = 23,58$

Tabelle 50: Exemplarische Berechnungssystematik der Änderungen der Kostenkennwerte

Diese Systematik wird bei sämtlichen Abbruchverfahren im Hinblick auf die Bauteilhöhen und -dicken vollzogen, so dass bei einer Aktualisierung der hinterlegten Werte lediglich der erste Kostenkennwert von Stahlbeton für die Höhe von „0 - 10 m“ für jedes Abbruchverfahren überarbeitet werden muss<sup>180</sup> und sich die übrigen Werte automatisch im korrekten Verhältnis anpassen. Diese automatische Anpassung wurde für alle Kostenkennwerte programmiert, da die gesamten Kostenkennwerte zuvor als

<sup>177</sup> Ebenfalls i.V.m. Kapitel 4: In-Situ-Untersuchungen

<sup>178</sup> Z.B. Kostenkennwerte für Stammen Maschinell für den Baustoff Stahlbeton mit einer Bauteildicke von „d < 1,50 m“. Hier existieren verschiedene Kostenkennwerte in Abhängigkeit der Höhenlage: 0 - 10 m = 29,65 €, 10 - 24 m = 40,00 €, 24 - 40 m = 55,00 € und 40 - 55 m = 75,00 €.

<sup>179</sup> Siehe Kapitel In-Situ-Untersuchungen, S.76 ff. i.V.m. Anlage 5

<sup>180</sup> 15 Kostenkennwerte von 15 Abbruchverfahren anstelle von  $(24 \times 15 =)$  360 einzelnen Kostenkennwerten

Festwerte in der Bewertungsmatrix hinterlegt waren. Als Grundlage wurde für jeden Kostenkennwert händisch ein entsprechendes Verhältnis errechnet, um die korrekten Skalierungen beizubehalten. In nachfolgender Abbildung sind zum besseren Verständnis die zuvor beschriebenen Kostenkennwerte dargestellt; rot umrahmte Kostenkennwerte stellen die zu bearbeitenden Werte dar. Die grün umrahmten Kostenkennwerte ändern sich im bestehenden Verhältnis automatisch.

			Manuelle Methode					
			Stemmen				Abgreifen	
			Handarbeit		Maschinell			
Verfahrenskosten (Mittelwert der Kostenkennwerte sämtlicher Baustoffarten)			59,42		67,83		22,03	
Bauteile	Volumen	Einheit						
Traggerüst	100,00	m³ f.M.	Kostenkennwerte	Kosten	Kostenkennwerte	Kosten	Kostenkennwerte	Kosten
Fundamente & Sonderbauteile	0,00	m³ f.M.	0,00 €		0,00 €		0,00 €	
			68 €	0,00 €	68 €	0,00 €	68 €	0,00 €
Spannbetonbauteile (d < 1,50 m)	10,00	m³ f.M.	125,40 €		190,69 €		231,08 €	
0 - 10 m			12,54 €	0,00 €	10,25 €	0,00 €	11,77 €	0,00 €
10 - 24 m			12,54 €	0,00 €	13,84 €	0,00 €	23,11 €	0,00 €
24 - 40 m			12,54 €	125,40 €	19,07 €	190,69 €	23,11 €	231,08 €
40 - 55 m			12,54 €	0,00 €	25,94 €	0,00 €	26,86 €	0,00 €
Dicke > 1,50 m			12,54 €		17,27 €		21,21 €	
0 - 10 m			0,10 €	0,00 €	0,35 €	0,00 €	a	0,00 €
10 - 24 m			0,10 €	0,00 €	0,35 €	0,00 €	a	0,00 €
24 - 40 m			0,10 €	0,00 €	0,35 €	0,00 €	a	0,00 €
40 - 55 m			0,10 €	0,00 €	0,35 €	0,00 €	a	0,00 €
Stahlbetonbauteile (d < 1,50 m)	71,00	m³ f.M.	809,40 €		1.230,80 €		928,68 €	
0 - 10 m			11,40 €	0,00 €	9,32 €	0,00 €	8,72 €	0,00 €
10 - 24 m			11,40 €	0,00 €	12,58 €	0,00 €	13,08 €	0,00 €
24 - 40 m			11,40 €	809,40 €	17,34 €	1.230,80 €	13,08 €	928,68 €
40 - 55 m			11,40 €	0,00 €	23,58 €	0,00 €	15,26 €	0,00 €
Dicke > 1,50 m			11,40 €		15,70 €		12,54 €	
0 - 10 m			0,10 €	0,00 €	0,35 €	0,00 €	a	0,00 €
10 - 24 m			0,10 €	0,00 €	0,35 €	0,00 €	a	0,00 €
24 - 40 m			0,10 €	0,00 €	0,35 €	0,00 €	a	0,00 €
40 - 55 m			0,10 €	0,00 €	0,35 €	0,00 €	a	0,00 €

Tabelle 51: Hervorhebung der zu bearbeitenden Kostenkennwerte.

Des Weiteren wurde dem KBM die bislang nicht vorhandene Baustoffkategorie „Holz“ hinzugefügt. Für diesen Baustoff ist ebenfalls pro Verfahren ein Kostenkennwert einzutragen. Da keine Kostenkennwerte in der Bewertungsmatrix existieren, an denen sich eine Überarbeitung hätte orientieren können, wird sich an den wissenschaftlich fundierten Werten des ehemaligen KBMI orientiert. Diese Werte sind Kostenkennwerte für Stahlbeton, gelten jedoch im KBMI für sämtliche Baustoffarten. Dies bedeutet, dass die Kostenkennwerte im KBM nach bestem Wissen und besten Erkenntnissen gefüllt werden, um aussagekräftige Ergebnisse zu gewährleisten. Dies schließt die Erfordernis der Aktualisierung bzw. Überarbeitung der hinterlegten Kostenkennwerte durch den Anwender jedoch nicht aus.

Nachfolgend werden jene Abbruchverfahren aufgelistet, deren Kostenkennwerte für Stahlbeton „0 - 10 m“ aus dem ehemaligen KBMI übernommen werden:

- Stemmen (Handarbeit),
- Stemmen (Maschinell),
- Abgreifen,
- Einschlagen,
- Eindrücken,
- Einreißen/-ziehen,
- Demontieren,
- Thermisches Trennen,

- Sprengen (Abbruch, Zerkleinern & Laden).

Anzumerken ist, dass bei dem Abbruchverfahren Scherschneiden der einzugebende Kostenkennwert nicht aus Stahlbetonbauteilen sondern aus Stahlbauteilen besteht, da mit diesem Verfahren nur Stahl bzw. Metall abgebrochen werden kann.

Die Kostenkennwerte für die Kombinationsverfahren Stemmen & Abgreifen und Thermisches Trennen & Stemmen werden jeweils anhand der Mittelwerte aus den jeweiligen einzelnen Abbruchverfahren aus dem KBM ermittelt.

Die übrigen Kostenkennwerte inkl. Holz werden für sämtliche Abbruchverfahren, die nicht zuvor genannt wurden, mit Kostenkennwerten nach bestem Gewissen und technischem Verständnis aufgefüllt, unterliegen jedoch keinen wissenschaftlich fundierten Studien.

Die Benennungen der Ergebnisse werden überarbeitet. Das Zwischenergebnis „Gesamtkosten mit Demontage [ € ]“ wird in „Gesamtkosten (ohne Zuschläge)“ und „Gesamtkosten mit Zuschlägen“ wird in „Gesamtkosten (inkl. Zuschläge)“ umbenannt. Die bisherige Benennung „Gesamtkosten mit Demontage [ € ]“ erscheint optimierungsbedürftig, da zusätzlich zur Demontage auch Kosten für den zusätzlichen Stemmaufwand und erhöhten Aufwand enthalten sind; dies ist aktuell jedoch nicht ersichtlich. Die Benennungen in Gesamtkosten ohne bzw. mit Zuschlägen werden als sinnvoller und eindeutiger erachtet.

Das gesamte Modul wird schreibgeschützt. Dies bedeutet, dass vom Anwender keine Änderungen von Einträgen von Zellen oder Veränderungen in jeglicher Form vorgenommen werden können. Dies soll gewährleisten, dass der Anwender nicht unbeabsichtigt Inhalte diverser Zellen ändert und somit die Funktionsfähigkeit der Bewertungsmatrix beeinflusst.<sup>181</sup>

#### **5.4.8. Zeitbewertungsmodul Industrie**

Das ZBMI wird mit dem ZBMK fusioniert und existiert in der weiterentwickelten Version der Bewertungsmatrix unter dem Namen Zeitbewertungsmodul (ZBM). Aus diesem Grund wird das ZBMI nicht überarbeitet.

#### **5.4.9. Zeitbewertungsmodul (ehemals KKW)**

Das ZBMK wird mit dem ZBMI fusioniert und existiert daher in der weiterentwickelten Version der Bewertungsmatrix nicht mehr. Das neue Modul namens ZBM basiert auf dem ZBMK. Aus diesem Grund wurde das ZBMK wie nachfolgend beschrieben weiterentwickelt.

Eine Vielzahl von Überschriften der Kategorien des ZBMK war ursprünglich in einem vierstufigen Blau- und Grünton gehalten. Um Einheitlichkeit und einen Wiedererkennungswert des Moduls zu erhalten, werden die Hintergrundfarben der Zellen der Kategorien und Überschriften in einem zweistufigen Gelbton formatiert. Diese Farbkombination wird im ERM bei Ergebnissen des ZBM ebenfalls verwendet, so dass der Anwender die Ergebnisse schneller zuordnen kann, um somit einen Wiedererkennungswert des ZBM zu erlangen. Des Weiteren ist in der ursprünglichen Version eine Vielzahl von Zellen mit Dauern gelb eingefärbt, sofern beim Aufwandswert ein „a“ für Ausschluss des Verfahrens für den jeweiligen Baustoff im Hinblick auf dessen Höhe und Dicke vorliegt. Diese gelbe Einfärbung wird aus Gründen der Einheitlichkeit entfernt<sup>182</sup>.

<sup>181</sup> Sofern der Anwender Änderungen an den hinterlegten Kostenkennwerten vornehmen möchte, ist der Schreibschutz zu entfernen („Format“ und „Blatt schützen“).

<sup>182</sup> Die Farbe Gelb symbolisiert im ZBMK einen Ausschluss, jedoch symbolisierte Gelb im VBM eine Verbesserung.

Die jeweiligen Zuwächse der Zuschläge der Dauern und deren Gewichtungen der Abbruchverfahren werden in der Einheit Euro „€“ errechnet. Die Einheit wird in diesem Modul korrekterweise von „€“ in Stunden „h“ korrigiert.

Das Berechnungsergebnis der Dauer ohne Zuschläge in Tagen wird als Zahl mit einer Nachkommastelle dargestellt, so dass kein Anzeige- bzw. Rundungsfehler auftreten kann. Analog hierzu wird die Summe der Stunden, die zur Berechnung der Dauer dient, ebenfalls mit einer Nachkommastelle versehen. Weiterhin werden die Zwischensummen der Berechnungen der Dauern in Stunden und Tagen für das Tragwerk, für den Ausbau, für zusätzlichen Demontageaufwand und für Zuschläge auf eine Zahl mit einer Nachkommastelle formatiert, um mögliche Rundungsfehler zu vermeiden.

In verschiedenen Zellen der Aufwandswerte der jeweiligen Abbruchverfahren sind Einträge in Form von einem „a“ oder „D“ vorhanden. Da es sich um Festwerte handelte, hingen die Werte von keinen übrigen Eingaben oder Berechnungen ab. Das „a“ bedeutet, dass das jeweilige Verfahren ausgeschlossen ist und dessen Zellen für die Berechnungen nicht berücksichtigt werden. Ein Beispiel dazu ist beim Abbruchverfahren Pressschneiden zu finden: Bei Bauteildicken ab „1,5 m“ oder größer ist das Verfahren nicht anwendbar, da ein durchschnittliches Anbaugerät keinen Angriffspunkt findet. Aus diesem Grund wird für die Berechnungen der Dauer ein „a“ für Ausschluss ausgegeben. Die Bedeutung des Wertes „D“ war nicht nachvollziehbar. Um eine inhaltliche Konformität für das Modul zu erreichen werden sämtliche Einträge mit einem „D“ in Einträge in Form von „a“ umgewandelt.

Die Dauer der einzelnen Verfahren wird anhand der Aufwandswerte errechnet. Für einige Verfahren existieren Ausschlüsse in Form des Wertes „a“ in der jeweiligen Zelle anstelle eines Aufwandswertes. Die bisherige gelbe Farbhinterlegung der nachfolgenden Zellen wird entfernt und die Inhalte der Zellen werden von „0,00“ in „-“ verändert.

Das Layout bzw. die Struktur der Zuschläge aufgrund von Erschwernissen wird analog zum KBM angepasst, so dass die Optik bis auf die farbige Hinterlegung identisch ist und beim Anwender ein Wiedererkennungswert eintritt.

In der Berechnung der Gesamtdauern des Verfahrens Pressschneiden wurde ein Berechnungsfehler identifiziert. In der letzten Zelle der Gesamtzeit mit Zuschlägen ist ein Festwert von „0,49“ hinterlegt. Analog zu den übrigen Abbruchverfahren müsste hier ebenfalls die Summe aus dem Gesamtaufwand mit Demontage und der Zwischensumme der Zuschläge berechnet werden. Dieser Fehler wird behoben, so dass die Zelle die korrekte, zuvor beschriebene, Ausgabe hervorbringt.

Bei den Berechnungen der Dauern für den Ausbau in Stunden wurden Verbesserungen vorgenommen. Hier werden die Dauern der Tätigkeiten für den Abbruch von mineralischen und metallischen Bauteilen, Gips-, Glas- und Holzbauteilen und sonstige Bauteilen errechnet. Dies geschieht indem das eingegebene Volumen im EIM der jeweiligen Bauteile durch einen Aufwandswert dividiert wird, so dass als Ergebnis die Dauer mit der Einheit Stunden entsteht. Die Zellen in welchen das Ergebnis ausgegeben wird, sind entweder mit einer Formel versehen, die standardmäßig mit „0“ angezeigt wird, falls kein Volumen eines Bauteils eingegeben wurde, oder mit Demontage. Für die Abbruchverfahren Pressschneiden, Abbruchhammer & Zange, Thermisches Trennen & Abbruchhammer sowie Sägen & Hebeverfahren ist jedoch keine Formel in den entsprechenden Zellen hinterlegt, sondern lediglich die Zahl „0“ als Festwert. Somit werden bei diesen Abbruchverfahren keine Ausbaumaterialien in den Berechnungen der einzelnen Dauern des jeweiligen Abbruchs berücksichtigt. Die fehlerhaften Zellen der zuvor genannten Abbruchverfahren werden entsprechend mit einer Formel versehen, so dass die Dauern des Ausbaus korrekt berechnet werden.

Zur besseren Übersicht werden die Überschriften von zwei bestehenden Spalten benannt und umrahmt. Es handelt sich um die Spalten „B“ und „C“. In Spalte „B“ stehen die jeweiligen Volumen, sprich in Form von fester Masse, der jeweiligen Baustoffe oder Bauteilen, die im EIM vom Anwender hinterlegt wurden. Diese Spalte bekommt die Überschrift bzw. Benennung „Volumen“. Zusätzlich werden die Werte als Zahlen mit zwei Nachkommastellen formatiert, da die ursprüngliche Formatierung lediglich ganze Zahlen ohne Kommastellen darstellte und somit keine Rundungsfehler entstehen können. Die Spalte „C“ gibt die jeweilige Einheit der Volumen bzw. Massen und die jeweiligen Einheiten der errechneten Dauern in Stunden oder Tage wieder. Diese Spalte erhält die Überschrift „Einheit“. Des Weiteren werden sämtliche Zellen einheitlich formatiert.

Analog zum KBM erfahren die Zuschläge aufgrund von Erschwernissen des ZBM ebenfalls eine Überarbeitung. Der Inhalt und das Layout orientieren sich an den Überarbeitungen des KBM<sup>183</sup>. Dementsprechend werden die Zulagen von 100% aus der Bewertungsmatrix gänzlich entfernt sowie die Zulagen aufgrund von Erschwernissen durch Gebäudestruktur komplett überarbeitet. Die Zuschläge werden in einer Zahl mit zwei Nachkommastellen formatiert, da oftmals geringe Zuschläge von bspw. „0,04“ Tagen entstehen und diese abgerundet werden würden. Sämtliche Kriterien der Zuschläge werden einzeln auf ihre Richtigkeit überprüft und sofern erforderlich überarbeitet.

Weiterhin wurde neben der stellenweisen Präzisierung<sup>184</sup> der Inhalte eine grundlegende optische Überarbeitung vorgenommen.

Gemäß den Erkenntnissen aus den In-Situ-Untersuchungen werden sämtliche Aufwandswerte aus dem ZBMK übernommen, da diese als qualitativ hochwertig einzustufen sind und sich nicht signifikant von den Aufwandswerten aus dem ZBMI respektive den eigens generierten Aufwandswerten unterscheiden<sup>185</sup>. Sämtliche Aufwandswerte bedürfen jedoch einer ständigen Aktualisierung respektive Anpassung an die aktuelle technische Entwicklung von Abbruchgeräten.

Die Benennungen der Ergebnisse werden überarbeitet. Das Zwischenergebnis „Gesamtaufwand mit Demontage [ Tage ]“ wird in „Gesamtdauer (ohne Zuschläge)“ und „Gesamtzeit mit Zuschlägen“ wird in „Gesamtdauer (inkl. Zuschläge)“ umbenannt. Die Benennung „Gesamtaufwand mit Demontage [ Tage]“ ist nicht eindeutig, da zusätzlich zur Demontage auch Dauern für zusätzlichen Stemmaufwand und erhöhten Aufwand enthalten sind. Die Benennungen in Gesamtdauern ohne bzw. mit Zuschlägen werden als sinnvoller erachtet und werden daher formatiert. Die Umbenennungen sind analog zu den Umbenennungen des KBM vorgenommen worden.

Verbessert wurde die Berechnung der Gesamtdauer für den Baustoff Spannbeton.

Das gesamte Modul wird schreibgeschützt. Dies bedeutet, dass vom Anwender keine Änderungen von Einträgen von Zellen oder Veränderungen in jeglicher Form vorgenommen werden können. Dies soll gewährleisten, dass der Anwender nicht unbeabsichtigt Inhalte diverser Zellen ändert und somit die Funktionsfähigkeit der Bewertungsmatrix beeinflusst.<sup>186</sup>

<sup>183</sup> Siehe Kapitel 5.4.6 sowie Kapitel 5.4.7

<sup>184</sup> Beispielsweise werden die Überschriften der Baustoffarten im ZBM gemäß jenen Überschriften im KBM angepasst.

<sup>185</sup> Vgl. Anhang 5 – Übersicht der generierten Zeitaufwandswerte

<sup>186</sup> Falls der Anwender Änderungen an den hinterlegten Aufwandswerten vornehmen möchte, so ist der Schreibschutz zu entfernen („Format“ und „Blatt schützen“).

## 5.4.10. Ergebnismodul

Um die Ergebnisse des VBM, KBM, ZBM und ÖBM im ERM nach der Überarbeitung bzw. der Wegnahme des Setzens von Haken zur Auswahl nach Bauwerkstyp im AM korrekt darstellen zu können, werden die Formeln von sämtliche Zellen, in denen Ergebnisse ausgegeben werden, angepasst. Dies ist notwendig, da die Formeln in den Zellen der Ergebnisse Schleifen aufwiesen.

Das ERM wird inhaltlich und optisch vollständig überarbeitet. Nachfolgend werden einige Überarbeitungsmaßnahmen vorgestellt. Die Ergebnisse des VBM, des KBM, des ZBM und des ÖBM erhalten jeweils eine Überschrift mit eben dessen Modulnamen, um dem Anwender kenntlich zu machen, welche Ergebnisse aus welchem Modul entnommen und dargestellt sind. Zusätzlich wird für jedes zuvor genannte Modul ein Ranking der Ergebnisse analog zum bestehenden Ranking des VBM erstellt. Die entsprechenden Rankings des KBM, ZBM und ÖBM werden ebenfalls unter deren jeweiligen Überschriften und nach deren Ergebnissen angeordnet, so dass jeweils thematische Blöcke in der Tabelle entstehen.

Die Bewertungsmatrix erhält eine Aktualisierung der Abbruchverfahren gemäß der DIN 18007:2000-05, um den aktuellen Stand der Abbruchtechnik berücksichtigen zu können. Die Abbruchverfahren „Scherschneiden“ und „Abtragen“ werden zu den maschinellen Abbruchverfahren hinzugefügt. Zwischen den Verfahren „Pressschneiden“ und „Abbruchhammer & Zange“ werden diese Verfahren eingegliedert. Die Ausgaben der jeweiligen Ergebnisse der Abbruchverfahren werden aus den einzelnen Modulen programmiert.

Die Gesamtkosten in der ursprünglichen Version wurden für Industriebauwerke inkl. Zuschläge angezeigt, die Gesamtkosten für das KBMK wurden jedoch ohne Zuschläge angezeigt. Die Ergebnisse der Gesamtkosten werden in der aktuellen Version korrekterweise inklusive sämtlicher Zuschläge aufgrund von Erschwernissen angezeigt.

Die Berechnungen der einzelnen Gesamtdauern der Abbruchverfahren erfolgt in Arbeitstagen. Diese Arbeitstage umfassten „9 h/d“. Um im Sinne der Terminplanung durch Anpassung von Kapazitäten die Abbruchdauern planen zu können wird dies auf acht Stunden „8 h/d“ reduziert. Mögliche auftretende Verzögerungen oder projektspezifische Randbedingungen müssen demnach vom Anwender individuell auf das jeweilige Ergebnis der Dauern der einzelnen Abbruchverfahren auf Grundlage von „8 h/d“ aufaddiert werden.

In der ursprünglichen Version existierte lediglich ein Ranking für die Ergebnisse des VBM<sup>187</sup>. Dabei erhielt das technologisch beste Verfahren anhand des VBM die höchste Punktzahl und im Ranking die niedrigste mögliche Punktzahl von „1“. In der überarbeitenden Version erhält das jeweils beste Abbruchverfahren im VBM, KBM und ZBM im jeweiligen Ranking die höchste mögliche Punktzahl von „15“ und ÖBM „8“ Punkte“. Die divergierende Maximalpunktzahl ist damit zu begründen, dass bei den drei genannten Modulen insg. 15 Abbruchverfahren bewertet werden. Beim ÖBM werden aufgrund von Randbedingungen der Ökobilanz lediglich 8 Abbruchverfahren miteinander verglichen. Dieses inverse Ranking ist sinnvoll, da dem ERM ein Diagramm mit den jeweiligen Punktzahlen der Abbruchverfahren der einzelnen Module hinzugefügt wurde. Anhand der der Punktzahl entsprechenden Länge der einzelnen Balken kann der Anwender besser abschätzen, welches Abbruchverfahren im Gesamten betrachtet das für sein Vorhaben zu bevorzugende Verfahren ist. Da jedes Modul eine einzigartige Farbgebung im Zuge der Überarbeitung der Bewertungsmatrix zugewiesen bekommen hat, können die

---

<sup>187</sup> Bei ausgeschlossenen Verfahren wurde anstelle der Punktzahl ein „-“ im Ranking ausgegeben, tatsächlich im Hintergrund jedoch eine vergebene Punktzahl weitergeführt.

verschiedenen Ränge der Module VBM, KBM, ZBM und ÖBM in dem Diagramm vom Anwender anhand dieser Farbgebung leicht zugeordnet werden.

Das Modul wird mit Hinweisen zur Interpretation der Punktzahlen der Rankings versehen. So wird beschrieben, dass das beste Abbruchverfahren in den jeweiligen Kategorien auch gleichzeitig die höchste Punktzahl von „15“ respektive „8“ erzielt.

Es wurde ebenfalls die Darstellung der Ergebnisse des KBM überarbeitet. So werden aktuell in der Spalte „Verfahrenskosten“ die Gesamtkosten mit Zuschlägen der jeweiligen Abbruchverfahren dargestellt. In den beiden nächsten Spalten „Stemmen“ und „Alternativ“ werden die Kosten für den Abbruch von Fundamenten und Sonderbauteilen und der Demontage aufgeführt. In der nächsten Spalte „Gesamtkosten“ werden die drei Ergebnisse aus den genannten Spalten addiert. Da in der Spalte „Verfahrenskosten“ die Gesamtkosten inkl. Zuschläge und Kosten für „Stemmen“ und „Alternativ“ schon miteinbegriffen sind, werden die Gesamtkosten aufgrund der Doppelberücksichtigung stark verfälscht. Aus diesem Grund werden die Spalten „Gesamtkosten (ohne Zuschläge)“, „Zuschläge“ und „Gesamtkosten (inkl. Zuschläge)“ implementiert. Diese neue Benennung und Anzeige der jeweiligen Kosten soll dem Anwender die jeweiligen Kosten transparent darstellen.

Das gesamte Modul wird schreibgeschützt. Dies bedeutet, dass vom Anwender keine Änderungen in jeglicher Form vorgenommen werden können. Dies soll gewährleisten, dass der Anwender nicht unbeabsichtigt Inhalte diverser Zellen ändert und somit die Funktionsfähigkeit der Bewertungsmatrix beeinflusst.

#### 5.4.11. Aktualisierung bestehender Werte

Die Bewertungsmatrix deckt den größten Teil der Abbruchverfahren nach DIN 18007:2000-05 ab. Die Verfahren Scherschneiden für Metall- und Stahlbauteile und Abtragen in Form von Fräsen für mineralische Baustoffe werden in die Bewertungsmatrix integriert. Die Integration umfasst das Einbinden der zuvor genannten Verfahren in das VBM, in die beiden neu entstehenden Kosten- und Zeitbewertungsmodule und zur Ausgabe der Ergebnisse der jeweiligen Module in das ERM. Abtragen beinhaltet nach der DIN 18007:2000-05 ebenfalls Schleifen und Hochdruckwasserstrahlen. Diese werden nicht in die Bewertungsmatrix integriert, da diese eine seltene Anwendung in der Praxis erfahren<sup>188</sup> und eine Modellierung bzw. Abbildung der Aufwandswerte und Kostenkennwerte in hohem Maße von den projektspezifischen Randbedingungen beeinflusst wird. Weiterhin werden die Verfahren nicht mit der Gerätekombination Hydraulikbagger mit entsprechendem Anbaugerät durchgeführt. Das hydrodynamische Abbruchverfahren Hochdruckwasserschneiden wird ebenfalls nicht in die Bewertungsmatrix übernommen. Das Fräsen und das Scherschneiden finden hingegen öfters Anwendung in der Praxis und werden mittels eines Hydraulikbaggers mit entsprechenden Anbaugeräten ausgeführt. Häufig findet Scherschneiden beim Abbruch von bspw. einem Parkhaus aus Stahlträgern und -stützen Anwendung. Sämtliche übrigen mechanischen Abbruchverfahren nach DIN 18007:2000-05, mit Ausnahme von Spalten durch Pressen, sind in der Bewertungsmatrix berücksichtigt. Spalten durch Pressen findet analog zu Schleifen und Hochdruckwasserstrahlen in der Praxis selten Anwendung. Sofern angewendet sind regelmäßig besondere Randbedingungen zu berücksichtigen, die eine Modellierung der Berechnungsparameter für die Bewertungsmatrix erschweren. Aus diesem Grund wird dieses Abbruchverfahren nicht integriert. Das chemische Abbruchverfahren Spalten durch Quelldrücken wird aus selbigen Gründen vernachlässigt.

---

<sup>188</sup> Siehe Kapitel 2.1.1.3.2

## 5.5. Überprüfung Schnittstellengenerierung und Datenbanken

Es existieren keine zielführend verwertbaren ökobilanziellen Datensätze bezüglich Baumaschinen, Abbruchgeräten oder Prozessen für den Abbruch von Bauwerken. Lediglich ein Datensatz eines Baggers für den Aushub von Sand, der mithilfe von Analogien und einem Umrechnungsfaktor auf die jeweilige Abbruchtätigkeit transformiert werden kann, existiert. Für die im Kontext der ökologischen Bewertung vorgenommenen Rechenoperationen werden sechs Werte für die jeweiligen Ergebnisse der Wirkungskategorien aus dem Datensatz des Baggers benötigt. Es ist somit zielführend, jene sechs Werte einmalig händisch in die Bewertungsmatrix zu übertragen respektive die entsprechenden Werte zu hinterlegen. Eine Schnittstellengenerierung zwischen der weiterentwickelten Bewertungsmatrix in Excel-Form und einer Datenbank für Ökobilanzen macht somit nach heutigem Stand keinen Sinn.

Unter der Voraussetzung, dass in Zukunft größere Anzahl verwertbarer Datensätze für den Abbruch in Datenbanken existieren würden, kann lediglich eine Schnittstelle zwischen der Datenbank ÖKOBAUDAT und Excel generiert werden. Bei den Datensätzen von ÖKOBAUDAT handelt es sich um XML-Dateien. Diese können direkt von Excel mithilfe des Entwicklertools eingelesen und in beliebige Tabellen in Excel importiert werden. Nachfolgende Abbildung veranschaulicht die für den Import von XML-Dateien in Excel 2010 erforderlichen Arbeitsschritte.

4 Importieren des Schemas und der XML-Daten in Excel

In dieser Aufgabe importieren Sie das im vorherigen Abschnitt erstellte Schema in Excel, um eine XML-Zuordnung zu erstellen, und importieren anschließend eine XML-Datendatei.

**So wird die XML-Zuordnung erstellt und die XML-Datendatei anschließend in Excel importiert**

- Klicken Sie auf der Registerkarte **Entwicklungs-Tools** in der Gruppe **XML** auf **Quelle**, um den Aufgabenbereich **XML-Quelle** zu öffnen.
- Klicken Sie im Aufgabenbereich auf **XML-Zuordnungen**.
- Klicken Sie im Dialogfeld **XML-Zuordnungen** auf **Hinzufügen**, navigieren Sie zur Datei **BookInfo.xml**, klicken Sie auf **Öffnen** und dann auf **OK**.
- Ziehen Sie aus dem Aufgabenbereich **XML-Quelle** den Knoten **BookInfo** in Zelle A1. Hierdurch wird eine Tabelle in der Arbeitsmappe erstellt (siehe Abbildung 1), die Sie wie gewünscht formatieren können.

**Abbildung 1. Anhand der XML-Zuordnung erstellte Tabelle**

ISBN	Titel	Autor	Menge
------	-------	-------	-------

- Als Nächstes importieren Sie die XML-Datendatei. Klicken Sie auf der Registerkarte **Entwicklungs-Tools** auf **Importieren**.
- Wechseln Sie im Dialogfeld **XML importieren** zur XML-Datendatei, und klicken Sie auf **Importieren**. Die Daten werden in der formatierten Tabelle entsprechend Abbildung 2. zugeordnet.

**Abbildung 2. XML-Daten werden in die Tabelle importiert**

ISBN	Titel	Autor	Menge
989-0-487-04641-2	My World	Nancy Davolio	121
981-0-776-05541-0	Get Connected	Janet Leyerling	435
999-1-543-02345-2	Honesty	Robert Fuller	315

Abbildung 141: Anleitung zum Importieren von XML-Daten nach Excel 2010.<sup>1</sup>

Es ist zu beachten, dass die XML-Dateien der ÖKOBAUDAT aufwendige Stylesheets<sup>189</sup> besitzen. Diese Stylesheets der ÖKOBAUDAT wurden speziell für diese Datenbank programmiert und können aufgrund ihrer Individualität von Excel nicht importiert werden.

Sämtliche Datensätze aus anderen Datenbanken können ausschließlich mittels Bilanzierungsprogrammen für Ökobilanzen eingesehen werden. In der Regel sind die Datenbanken bereits in den Bilanzierungsprogrammen integriert und werden zusammen als Paket vertrieben. Einige kostenfreie Datenbanken wie die ELCD müssen separat in die jeweiligen Software-Bilanzierungsprogrammen importiert werden und stehen somit auch als Dateien auf dem Computer des Endanwenders zur Verfügung. Diese Datensätze können analog zu den Datensätzen der ÖKOBAUDAT

<sup>189</sup> Die Informationen des Datensatzes sind in der XML-Datei gespeichert und die Stylesheets sind zuständig für dessen Darstellung. Das Stylesheet interpretiert die zugewiesenen Daten in Form von Texten, Tabellen, Grafiken, etc. und formatiert diese dementsprechend für die Bildschirmausgabe.

mittels Internet Explorer von Microsoft geöffnet und dargestellt werden. Allerdings sind die Datensätze mit Zahlen- bzw. Buchstabencodes benannt. Die Benennung eines Datensatzes für Braunkohle heißt bspw. „fd9db251-4998-11dd-ae16-0800200c9a66“. Eine inhaltliche Suche wäre dementsprechend manuell über sämtliche Datensätze durchzuführen.

## 5.6. Globale Testszenarien und Testfälle

Jede programmierte Funktion des neu in die Bewertungsmatrix implementierten ÖBM, welche im Pflichtenheft ausführlich beschrieben ist, wird einzeln anhand von Modellszenarien getestet und ggf. verändert oder derart angepasst, dass die geforderten Funktionen gewährleistet sind. Die dabei generierten Daten bzw. Ergebnisse werden gespeichert, nachfolgend vorgestellt und kommentiert. Die globalen Testszenarien bzw. Testfälle werden anhand eines bereits realisierten Abbruchvorhabens modelliert<sup>190</sup>. Die Berechnungen in der Bewertungsmatrix dienen dem Testen der neu implementierten Überarbeitungen und Verbesserungen sämtlicher Module der gesamten Bewertungsmatrix, es werden nachfolgend jedoch nur die Funktionen des neuen ÖBM dokumentiert. Die Dokumentation des Modellszenarios erfolgt zunächst in Textform ergänzt um zusätzliche Abbildungen.

### 5.6.1. Projektdaten

Folgende Daten liegen den Berechnungen zugrunde:

#### Projektdaten:

- Parkhaus Campus Lichtwiese,
- Baujahr: 1970,
- Zwei Ebenen,
- L x B x H = 52,5 m x 32,0 m x 3,0 m,
- Bruttorauminhalt (BRI) = ca. 5275 m<sup>3</sup>.

#### Massenermittlung:

- Tragwerkmaterialien:
  - 81,50 t Stahl (Stützen, Unterzüge, Kopfbolzendübel, Windsteifen, Bewehrung),
  - 599,88 m<sup>3</sup> Stahlbeton (Winkelstützmauer, Decken, Bodenplatte, Flachgründung, Streifenfundamente).
- Ausbaumaterialien:
  - 8,78 t Stahl (Handläufe, Schutzplanken, Treppenhäuser, Absturzsicherungen, Zinkblechverkleidungen, Schiebetore, Entwässerungsrinne inkl. Fallrohre, Kabelisolierungen)

Die Ergebnisdarstellung der Massenermittlung von Stahl erfolgt analog der Massenermittlung der jeweiligen Untersuchungsobjekte i.d.R. in den Einheiten kg oder t. Im EIM ist jedoch das Gesamtvolumen von Stahl einzugeben. Um dieses korrekt eingeben zu können, wird mittels der gängigen Rohdichte von Baustahl von 7850 kg/m<sup>3</sup> das vorliegende Gewicht in das entsprechende Volumen umgerechnet. So ergibt sich für das Tragwerkgewicht von 81,50 t Stahl:  $\frac{81,5 \text{ t}}{7,850 \text{ t/m}^3} = 10,40 \text{ m}^3$  Stahl. Für das Gewicht der Ausbaumaterialien:  $\frac{8,78 \text{ t}}{7,850 \text{ t/m}^3} = 1,12 \text{ m}^3$  Stahl.

Die Summe des Gesamtvolumens der festen Masse des Tragwerks beträgt: 599,48 m<sup>3</sup> Stahlbeton + 10,40 m<sup>3</sup> Stahl = 609,88 m<sup>3</sup>. Dieser Wert wird in das EIM eingetragen. Im nächsten Schritt sind die jeweiligen Anteile von Stahlbeton und Stahl am Gesamtvolumen zu ermitteln. Der Anteil von Stahl am

<sup>190</sup> Siehe Untersuchungsobjekt 1, S. 115 ff.

Gesamtvolumen in m<sup>3</sup> f.M. beträgt:  $\frac{10,40 \text{ m}^3}{609,88 \text{ m}^3} = 1,71 \%$ . Demnach stellt Stahlbeton:  $100 \% - 1,71 \% = 98,29 \%$  am Gesamtvolumen dar. Diese beiden prozentualen Anteile werden in das EIM eingetragen.

Das Gesamtvolumen für die Ausbaumaterialien beträgt 1,12 m<sup>3</sup> Stahl. Da keine weiteren Materialfraktionen außer Stahl ermittelt wurden, stellt Stahl 100 % der Ausbaumaterialien dar.

Diese errechneten Anteile am Volumen der festen Gesamtmasse werden in das EIM der Bewertungsmatrix eingetragen. Der Kriterienbereich der Tragwerkmaterialien wird im PM mit 25,0 % gewichtet. Sämtliche weiteren Kriterienbereiche, inkl. dem der Ausbaumaterialien, werden mit 12,5 % gewichtet und das Kriterium Bauzeiten mit 0 %.

Die beiden Eingaben des ÖBM werden mit durchschnittlichen Werten gefüllt. Die Motorleistung des Hydraulikbaggers wird für diese Berechnung bei sämtlichen acht betrachteten Abbruchverfahren vereinfachend auf 100 kW festgelegt, unter der Annahme, dass lediglich ein Baggermodell für den Abbruch zur Verfügung steht. Die Werte der Massen in kg der Anbaugeräte bzw. Abbruchverfahren werden mit durchschnittlichen Gewichten des jeweiligen Anbaugerätes gefüllt. Dies bedeutet, dass sich die Gewichte der Anbaugeräte jeweils im oberen Mittelfeld der möglichen Gewichte befinden.

Im Nachfolgenden werden die einzelnen Funktionen des Pflichtenhefts auf ihre Tauglichkeit überprüft:

### 5.6.2. Funktion 1

Die Funktion 1 stellt das ÖBM selbst dar. Es soll das, aus ökologischer Sicht, jeweils vorteilhafteste Abbruchverfahren mittels der entwickelten Berechnungsmethodik aus Kapitel 2 berechnet und dargestellt werden. Es sind die einzelnen Ergebnisse für den Hydraulikbagger und das Anbaugerät, die Zwischensummen und das Endergebnis zu überprüfen. In der nachfolgenden Abbildung ist zu erkennen, dass die geforderte Funktion gewährleistet ist, da das Modul sämtliche Aspekte wie bspw. die Ergebnisse der Wirkungskategorien inkl. Einheiten, die Berechnungsmethodik und die Ausgabe der jeweiligen Ergebnisse der Abbruchverfahren korrekt darstellt respektive errechnet. Nachfolgend dargestellte Ergebnisse wurden ebenso wie die entsprechenden komplexen Berechnungsformeln durch händische Kontrollrechnungen auf Plausibilität geprüft.

Wirkungskategorien	Abkürzung	Wert aus Datenbank	Einheit	Manuelle Methode		
				Stemmen		Abgreifen
				Handarbeit	Maschinell	
<b>Hydraulikbagger</b>			[ kW ]	Motorleistung (Hydraulikbagger)	Motorleistung (Hydraulikbagger)	Motorleistung (Hydraulikbagger)
				-	125	138
Treibhauspotential (Globales Erwärmungspotenzial )	GWP 100	1,30E+00	kg CO2 eq.	-	32903,55	22141,71
StratosphärischeR Ozonabbau	ODP 20	6,94E-11	kg CFC-11 eq.	-	0,00	0,00
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser	AP	4,97E-03	kg SO2 eq.	-	125,79	84,65
Überdungungspotenzial (Eutrophierungspotenzial)	EP	1,14E-03	kg NOx eq.	-	28,85	19,42
Sommersmogpotential (Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon)	POCP	5,46E-04	kg NMVOC eq.	-	13,82	9,30
Abiotischer Ressourcenverbrauch (nicht fossil)	ADP	5,91E-08	kg Sb eq.	-	0,00	0,00
<b>Anbaugerät</b>			[ kg ]	Gewicht / Masse Anbaugerät	Gewicht / Masse Anbaugerät	Gewicht / Masse Anbaugerät
				-	1200	1750
Treibhauspotential (Globales Erwärmungspotenzial )	GWP 100	2,14E-03	kg CO2 eq.	-	0,55	0,92
StratosphärischeR Ozonabbau	ODP 20	3,41E-09	kg CFC-11 eq.	-	0,00	0,00
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser	AP	2,11E-03	kg SO2 eq.	-	0,55	0,91
Überdungungspotenzial (Eutrophierungspotenzial)	EP	1,40E-05	kg NOx eq.	-	0,00	0,01
Sommersmogpotential (Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon)	POCP	2,00E-04	kg NMVOC eq.	-	0,05	0,09
Abiotischer Ressourcenverbrauch (nicht fossil)	ADP	6,01E-10	kg Sb eq.	-	0,00	0,00
<b>Zwischensumme: Hydraulikbagger &amp; Anbaugerät</b>						
Treibhauspotential (Globales Erwärmungspotenzial)	GWP 100	2,14E-03	kg CO2 eq.	-	32904,1071	22142,6264
StratosphärischeR Ozonabbau	ODP 20	3,41E-09	kg CFC-11 eq.	-	0,0000	0,0000
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser	AP	2,11E-03	kg SO2 eq.	-	126,3397	85,5557
Überdungungspotenzial (Eutrophierungspotenzial)	EP	1,40E-05	kg NOx eq.	-	28,8575	19,4226
Sommersmogpotential (Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon)	POCP	2,00E-04	kg NMVOC eq.	-	13,8713	9,3854
Abiotischer Ressourcenverbrauch (nicht fossil)	ADP	6,01E-10	kg Sb eq.	-	0,0015	0,0010
<b>Ergebnis</b>				-	32904,11	22142,63

Abbildung 142: Übersicht des neuen Ökologischen Bewertungsmoduls

### 5.6.3. Funktion 2

Die geforderte Funktion der Einheitlichkeit des Layouts in Form von einer einheitlichen Formatierung von Überschriften und Inhalten bzw. eine einheitliche Schriftart und -größe, einer einheitlichen Farbgebung zur schnellen Wiedererkennung des gesamten Moduls und die Reihenfolge der Abbruchverfahren wurden umgesetzt. Somit ist die geforderte Funktion erfüllt.

### 5.6.4. Funktion 3

Das jeweilige Endergebnis der einzelnen Abbruchverfahren soll aus dem ÖBM in das ERM übertragen und in diesem dargestellt werden. Diese Funktion ist, wie nachfolgender Abbildung zu entnehmen ist, umgesetzt worden.

Nr.	Abbruchverfahren	Ökologisches Bewertungsmodul	
		Ergebnis	Ranking
		[ kg CO2 eq. ]	
1	Stemmen - Handarbeit	-	-
2	Stemmen - Maschinell	32.904	2
3	Abgreifen	22.143	4
4	Einschlagen	28.463	3
5	Eindrücken	9.359	8
6	Einreißen/-ziehen	10.313	7
7	Pressschneiden	15.565	5
8	Scherschneiden	37.066	1
9	Abtragen (Fräsen)	11.631	6
10	Stemmen & Abgreifen	-	-
11	Thermisches Trennen & Stemmen	-	-
12	Sägen & Hebeverfahren	-	-
13	Demontieren	-	-
14	Thermisches Trennen	-	-
15	Sprengen	-	-

Abbildung 143: Ökologisches Ergebnis der Beispielrechnung anhand Untersuchungsobjekt 1

#### 5.6.5. Funktion 4

In der vorherigen Abbildung 143 ist die geforderte Funktion in Form eines Rankings umgesetzt. Das niedrigste numerische Ergebnis bedeutet gleichzeitig auch die niedrigsten Emissionen und somit die geringsten Umweltschäden. Das niedrigste numerische Ergebnis ist gleichzeitig immer das beste Ergebnis und erhält im Ranking die höchste mögliche Punktzahl von „8“, da nach derzeitigem Stand acht Verfahren ökobilanziell miteinander verglichen werden können. Sofern ein ökologisch bewertetes Abbruchverfahren technisch ausgeschlossen wurde, wird anstelle einer Punktzahl im Ranking ein „-“ ausgegeben.<sup>191</sup> Es wurde in einem separaten Beispiel ein Ausschluss simuliert, so dass auch dieser Aspekt der Funktionen gewährleistet werden kann. Die Modellierung des Untersuchungsobjektes 1 anhand der Eingaben aus dem ERM ergibt, dass das Abbruchverfahren „Eindrücken“ ein Ergebnis von 9359 kg CO2 eq. erzielt und somit dieses Abbruchverfahren Platz 1 im Ranking mit „8“ Punkten belegt respektive die geringsten negativen Folgen aufweist.

#### 5.7. Veröffentlichungsform

In der aktuellen Version liegt die Bewertungsmatrix in einer Excel-Datei der Version 2010 vor. Es wurde geprüft, ob die Bewertungsmatrix in eine andere Form überführt, konvertiert oder programmiert und in dieser Form veröffentlicht werden sollte. Dies setzt voraus, dass diese Form signifikante Vorteile im Vergleich zur bestehenden Excel-Datei bietet. In diesem Zusammenhang wurden die Varianten Html-Export, Webanwendung, Dateidownload und App-Anwendung bewertet.

Auf Grundlage der Analyseergebnisse wird die Veröffentlichungsform der weiterentwickelten Bewertungsmatrix als Dateidownload einer Excel-Datei gewählt. Es handelt sich um jene Veröffentlichungsform, die keine fundierten Programmierkenntnisse voraussetzt.

<sup>191</sup> Hier nicht zu sehen, da kein Ausschluss eines Verfahrens stattgefunden hat.

Die weiterentwickelte Bewertungsmatrix wird auf einem Server des Instituts für Baubetrieb der TU Darmstadt zur Verfügung gestellt.

Die Adresse lautet: `bbsr.ddns.net`

Der Download wird mittels Benutzername (BBSR) und Passwort (Matrix2015) geschützt, so dass ausschließlich Befugten der Zugriff auf die Bewertungsmatrix gewährt wird.

Im Rahmen des Zugangs zur Webseite „`bbsr.ddns.net`“ kann es zu einem Sicherheitshinweis kommen, der auf eine nicht vertrauenswürdige Verbindung aufmerksam macht. Dieser Hinweis resultiert aus der Datenverschlüsselung mittels Transport Layer Security (TLS, früher auch Secure Sockets Layer [SSL] genannt). Die Verschlüsselung erfolgt hierbei über ein Sicherheitszertifikat, das durch das Institut für Baubetrieb der TU Darmstadt erzeugt wurde. Dieses Zertifikat ist nicht bei offiziellen Zertifizierungsstellen registriert und kann daher den genannten Hinweis erzeugen. Um die Website öffnen zu können ist es daher erforderlich, dass eine Sicherheitsausnahme erteilt wird und das Zertifikat von „`bbsr.ddns.net`“ manuell als vertrauenswürdig eingestuft wird.

## 5.8. Anwendungshilfe Handbuch

Weiterhin wurde ein Handbuch als Bedienungsanleitung der weiterentwickelten Bewertungsmatrix erstellt. Das Handbuch besteht aus den Modulbeschreibungen der weiterentwickelten Bewertungsmatrix<sup>192</sup> und soll dem Anwender als Hilfe bei der Anwendung der Bewertungsmatrix dienen. Das Handbuch wird ebenfalls auf einem Server des Instituts für Baubetrieb der TU Darmstadt zur Verfügung gestellt und kann somit bei Bedarf vom Anwender eingesehen werden.

Die Adresse lautet: `bbsr.ddns.net`

Der Download wird mittels Benutzername (BBSR) und Passwort (Matrix2015) geschützt, so dass ausschließlich Befugten der Zugriff auf das Handbuch gewährt wird. Es wird innerhalb des Handbuchs auf Quellenangaben verzichtet. Diese können dem Endbericht entnommen werden.

Im Rahmen des Zugangs zur Webseite „`bbsr.ddns.net`“ kann es zu einem Sicherheitshinweis kommen, der auf eine nicht vertrauenswürdige Verbindung aufmerksam macht. Dieser Hinweis resultiert aus der Datenverschlüsselung mittels Transport Layer Security (TLS, früher auch Secure Sockets Layer [SSL] genannt). Die Verschlüsselung erfolgt hierbei über ein Sicherheitszertifikat, das durch das Institut für Baubetrieb der TU Darmstadt erzeugt wurde. Dieses Zertifikat ist nicht bei offiziellen Zertifizierungsstellen registriert und kann daher den genannten Hinweis erzeugen. Um die Website öffnen zu können ist es daher erforderlich, dass eine Sicherheitsausnahme erteilt wird und das Zertifikat von „`bbsr.ddns.net`“ manuell als vertrauenswürdig eingestuft wird.

---

<sup>192</sup> Siehe Kapitel 0, S.221 ff.

---

## 6. Fazit

---

### 6.1. Zusammenfassung

Der Abbruch von Bauwerken und Bauteilen sowie das Bauen im Bestand stellen eine komplexe Aufgabe dar, bei der eine Fülle von Randbedingungen und Anforderungen u.a. hinsichtlich Ökonomie, Ökologie und Technik zu berücksichtigen sind.

In **Kapitel 2** wurde der aktuelle Stand der Technik im Bereich Abbruchtechnologie auf Basis der Ergebnisse einer Literaturrecherche, einer Internetrecherche sowie einer schriftlichen Umfrage dargestellt. Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit den Definitionen in DIN 18007:2000-05 alle derzeit auf dem Markt verfügbaren Abbruchverfahren abgedeckt sind. Die Neuerungen im Bereich der Träger- und Anbaugeräte beziehen sich primär auf die Weiterentwicklung der Abbruchgeräte. Hierzu zählen insbesondere die Hybrid-Technologie bei Hydraulikbaggern sowie die Schnellwechselsysteme für Long-Front-Bagger. Ein Trend lässt sich hin zu immer universeller einsetzbaren Anbaugeräten ausdeuten. Beispielhaft seien hier der Multiprozessor mit vollhydraulisch wechselbarem Gebiss sowie neuartige Anbaugeräte, welche eine Kombination bislang verschiedener Anbaugeräte darstellen, genannt.

Um zu prüfen, in welchem Umfang insbesondere neuartige Geräte und Verfahren in der Praxis angewendet werden, wurde eine Unternehmensumfrage durchgeführt. Die Methode des standardisierten Fragebogens hat sich als geeignet erwiesen, da in kurzer Zeit umfangreiche Daten gesammelt und im Anschluss strukturiert verglichen werden konnten. Im Bereich der Abbruchverfahren zeigen die Unternehmen große Einigkeit über die maschinelle Vorgehensweise beim Abbruch auf. Zusammenfassend lassen sich aus technischer Sicht die nachfolgenden Ergebnisse der Umfrage nennen. Der Einsatz von Hydraulikbaggern dominiert bei Abbrucharbeiten. Besonders positiv wird die technische Entwicklung im Bereich der Träger- und Anbaugeräte sowie der dazugehörigen Ausstattung bewertet. Die Weiterentwicklung des Schnellwechselsystems erleichtert die Abbrucharbeiten und ermöglicht einen unkomplizierten Wechsel der Anbaugeräte sowie einen kontinuierlichen Baggereinsatz auf der Baustelle. Die Verfahren des Hochdruck-Wasserstrahlens sowie des Spaltens mit Quellmitteln kommen nur in geringem Umfang und nur in speziellen Fällen zum Einsatz. Des Weiteren wird festgestellt, dass die Einsatzhäufigkeit von Abbruchrobotern steigt. Diese werden hauptsächlich bei beengten Raumverhältnissen im Gebäude eingesetzt. Als das modernste Anbaugerät werden die aktuell am Markt erhältlichen Abbruchzangen angesehen. Der Einsatz neuester Abbruchgeräte ist im Durchschnitt für die Unternehmen zwar wichtig, jedoch können bestimmte Abbruchleistungen auch mit älteren Geräten effizient erbracht werden. Die im Rahmen der Recherche ermittelten Neuerungen werden von den Befragten nicht in vollem Umfang genannt.

In Bezug auf ökologische Anforderungen ergeben sich die nachfolgenden Erkenntnisse. Das Abbruchmaterial wird in fast allen Fällen bereits auf der Baustelle vorsortiert. Somit ist eine effektive Abfallverwertung möglich. Zur Vermeidung von Staub kommen überwiegend Druckschläuche zum Einsatz. Lärmemissionen werden hauptsächlich durch lärmarme Maschinen und adäquate Abbruchverfahren reduziert. Die Wahl des Abbruchverfahrens spielt zudem eine entscheidende Rolle bei der Vermeidung von Erschütterungen. Zum Schutz vor Splittern und Trümmern werden überwiegend Abdeckungen verwendet. Die Umfrage ergibt, dass aus Sicht der befragten Unternehmen der Aufwand zur Einhaltung der Anforderungen bei Emissionen im Bereich Staub am höchsten ist.

Weiterhin wurden die Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen im Bereich Abbruchtechnologie untersucht. Durch umfangreiche Recherchen in Herstellerangaben ist es gelungen, für Hydraulikbagger und einzelne Anbaugeräte Kennwerte zur Beurteilung von Einsatzmöglichkeiten und -effizienzen zu identifizieren. Die Abhängigkeiten ausgewählter Kennwerte wurden untersucht, grafisch dargestellt und analysiert. In diesem Zusammenhang wurden Dienstgewicht und Ölpumpenleistung der Trägergeräte sowie Einsatzgewicht und Ölmengenbedarf der Anbaugeräte als maßgebende Kennwerte identifiziert. Diese Kennwerte bedingen sich im Wesentlichen gegenseitig und führen zur Wahl der

geeignetsten Kombination von Anbaugerät und Trägergerät. Eine Änderung der anbaugeräteabhängigen Kenngrößen Einsatzgewicht und Ölmengenbedarf hat somit unmittelbaren Einfluss auf die Trägergeräte. Zusammenfassend betrachtet setzt die Zunahme des Einsatzgewichtes der Anbaugeräte eine Erhöhung des Öldurchflusses und eine Vergrößerung des Dienstgewichtes der Trägergeräte voraus. Die Einflüsse auf die Kennwerte der Trägergeräte, ausgehend von den Anbaugeräten, konnten somit verdeutlicht werden.

Weiterhin erfolgte die fokussierte Darstellung rechtlicher Rahmenbedingungen bei Abbrucharbeiten, mit Stand Mai 2015. Dabei werden die gesetzlichen Ebenen abgegrenzt und analysiert. Das Augenmerk liegt auf den Bereichen Umwelt-, Bau-, Abfall- und Arbeitsschutzrecht. Aus den Erkenntnissen wurde eine komplexe Tabelle entwickelt, in der alle Vorschriften in hierarchischer Ordnung aufgeführt sind. Darauf aufbauend erfolgt eine Verknüpfung der rechtlichen Belange mit dem Abbruchprozess. Dabei wurden eine Unterteilung der einzelnen Prozessstufen bei Abbruchmaßnahmen und die Zuordnung relevanter Vorschriften vorgenommen. Ferner wurden sämtliche rechtliche Aspekte in einer prozessorientierten Tabelle zusammengefasst.

Die prozessbezogene systematische Zuordnung relevanter Vorschriften zeigt, dass jeder Teilschritt im Abbruchablauf durch ein Zusammenspiel von unterschiedlichen gesetzlichen Anforderungen und Normen flankiert wird. Dabei müssen Rechtsvorschriften in vielen Fällen auch in mehreren Prozessschritten beachtet werden. Die Vielzahl an Vorschriften, die in der Vorbereitungsphase zu berücksichtigen ist, verdeutlicht die Signifikanz dieser Phase. Der Gesetzgeber weist den Beteiligten klare Aufgaben und Verantwortlichkeiten zu. Zudem gibt es starke Abhängigkeiten zwischen den Akteuren und Prozessen, denn bestimmte Tätigkeiten können erst begonnen werden, wenn andere abgeschlossen sind.

Insgesamt lassen sich der Schutz der Arbeitskräfte, der Natur sowie die Minimierung von Beeinträchtigungen der Umwelt als übergeordnete Zielsetzung des Gesetzgebers ausdeuten. Dennoch sind auch wirtschaftliche Gesichtspunkte und öffentliche Interessen in der Gesetzgebung verankert. Aus den Erkenntnissen ist zu schließen, dass für die Umsetzung eines Abbruchprojektes nicht nur fachmännische und kaufmännische Expertise erforderlich ist, sondern auch eine fundierte juristische Betrachtung relevanter rechtlicher Rahmenbedingungen von essentieller Bedeutung ist. Weiterhin ist jedes Abbruchvorhaben von individuellen Umständen geprägt, weshalb bei einer vergleichenden Betrachtung verschiedener Projekte aus rechtlicher Sicht die Relevanz der genannten Rechtsvorschriften stark variieren kann.

In **Kapitel 3** wurden auf Grundlage der Nachkalkulation vorliegender Angebote zum Abbruch jene Kriterien ermittelt, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Preisbildung bei Abbrucharbeiten haben. Die Analyse detaillierter Leistungsverzeichnisse und Angebotspreisspiegel zu drei Abbruchprojekten ließ es zu, Abbruchkosten isoliert von Entsorgungskosten zu betrachten. In diesem Zusammenhang konnte festgestellt werden, dass die Baustelleneinrichtung ca. 5-7 % der Gesamtkosten eines Abbruches beansprucht, unabhängig von der Bauwerksgröße, der Bauwerksart oder auch der Projektdauer. Auf allgemeine Maßnahmen für Gerüste, Schutzmaßnahmen und Krane entfallen rund 12 % der Gesamtkosten (Spanne 9 -14 %). Die Kosten für den Rückbau von Schrottmaterialien (17 % der Gesamtkosten) werden maßgeblich durch die Anteile der Eisenmetalle im Bauwerk beeinflusst. Der Abbruch sonstiger Baustoffe ist der größte Kostentreiber (25 % der Gesamtkosten). Insbesondere der Rückbau isolierfähiger Baustoffe (u.a. Dachisolierungen, Beläge und Folien) verursacht hohe Kosten. Die Kosten sind durch den arbeitsintensiven Aufwand für den Abbruch, die Nachbearbeitung der Abfälle und strenge Annahmebedingungen des Auftraggebers begründet. Der Rückbau des mineralischen Bauschutts (19 % der Gesamtkosten) stellt die zweitgrößte Sammelposition dar. Bauschutt fällt in nahezu jedem Bauwerk an und muss deshalb ebenfalls gesondert betrachtet werden. Als besonders kostentreibend erweisen sich Hand- und Großmaschinenabbrüche von Stahlbeton und Mauerwerk. Bei der Schadstoffsanierung sind die Kosten (8 % der Gesamtkosten) sehr stark von den Projekttrandbedingungen (u.a. Bau-, Umbau- und Nutzungshistorie und Umwelt) abhängig.

Bei Gesamtbetrachtung der Leistungsverzeichnisse und der aufgeführten Kostentreiber ist festzustellen, dass der Bauherr keine Unterscheidung zwischen Bauteilen oder Abbruchverfahren vornimmt. Vordergründig ist eine Unterscheidung nach den Durchführungsphasen eines Rückbaus und den Abfallarten erfolgt. Lediglich im Bereich des Tragwerksrückbaus wird zwischen Handabbruch mit Kleingerät und Maschinenabbruch mit Großgerät differenziert.

Für die auf den Erkenntnissen aufbauenden Experteninterviews wurden die theoretischen Grundlagen zur Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Expertengespräche dargestellt sowie die Wahl der Experten begründet. Die ermittelten einflussreichen Parameter auf die Preisbildung wurden baubetrieblich kategorisiert und im Einzelnen vorgestellt. Es zeigte sich, dass die Parameter nicht ungeachtet voneinander betrachtet werden dürfen. Je nach Randbedingungen und projektspezifischen Vorgaben schlagen die Parameter bei der Kalkulation unterschiedlich stark aus und bedingen die anderen Aspekte in unterschiedlicher Tragweite. Als Ergebnis kann weiterhin festgehalten werden, dass die Geräte- und die Entsorgungskosten üblicherweise mit je ca. 40% die höchsten Kosten verursachen und direkten Einfluss auf die Preisbildung haben. Die übrigen Parameter bedingen die Preisbildung meist indirekt, indem sie alternative Abbruchverfahren oder besondere Zusatzmaßnahmen fordern.

Die Höhe der einzelnen Auswirkungen ist abhängig von den Projektspezifika. Daher sind für jede Maßnahme die kostenbeeinflussenden Parameter im Einzelnen zu ermitteln.

In **Kapitel 4** des vorliegenden Endberichts wird zunächst eine begründete Projektauswahl der für die In-Situ-Untersuchungen geeigneten Projekte vorgenommen sowie die Projekte detailliert vorgestellt. Besonders hervorzuheben ist der Abbruch von Stahlbeton und Mauerwerk. Die beiden Baustoffe sind neben Stahl in nahezu allen Untersuchungsobjekten als massenmäßig größte Baustofffraktion vorzufinden.

Es zeigt sich, dass für sämtliche betrachtete Massivbauweisen und Bauwerkshöhen in Verbindung mit dem Hydraulikbagger als Trägergerät und einem passenden Anbaugerät geeignete Gerätekombinationen zur Verfügung stehen. Mit der Vorhaltung von Zange und Schere respektive Universalzange, Hydraulikstemmhammer, Löffel und/oder Sortiergreifer kann dabei ein Großteil der unterschiedlichen Einsätze abgedeckt werden.

Bei der Beurteilung der generierten Aufwandswerte zeigt sich, dass ein Vergleich mit der Literatur nur eingeschränkt möglich ist. Um einen aussagekräftigen Vergleich herstellen zu können, müssen die Aufwandswerte von Verfahren betrachtet werden, die bei der Beobachtung ähnlicher Arbeitssysteme generiert wurden. Dazu müssen die maßgeblichen, arbeitszeitbeeinflussenden Randbedingungen in entsprechender Detaillierung angegeben werden. Um dies zu gewährleisten, wurden für die dokumentierten Vorgänge die ermittelten Aufwandswerte und Leistungswerte projektübergreifend tabellarisch zusammengestellt.

Insbesondere die Analyse der Entkernungsarbeiten zeigt, dass die Entkernung im Vergleich zum maschinellen Abbruch großes Verbesserungspotential aufweist. Der Mangel an Planung und Arbeitsvorbereitung sowie die geringe Kenntnis von Sollzeiten für die Teilprozesse der Entkernung bedingen hier regelmäßig Überkapazitäten und zeigen Defizite in der Personaleinsatzplanung auf. Demontagevorgänge weisen weitaus geringere Leistungswerte als Abbruchvorgänge mit Träger- und Anbaugerät auf.

In **Kapitel 5** werden einführend die zum Verständnis der Bewertungsmatrix erforderlichen Grundlagen erläutert. Die Notwendigkeit der Anpassung der Bewertungsmatrix resultiert insbesondere aus der bislang nicht vorhandenen Möglichkeit, auch ökologische Aspekte, die mit dem Abbruch einhergehen, zu beleuchten. Auf Grundlage der Erkenntnisse wird ein Pflichtenheft zur Implementierung der ökologischen Bewertung von Abbruchverfahren in die Bewertungsmatrix erstellt. Darauf folgt die Auswahl der Methodik der Ökobilanz als das in diesem Zusammenhang am besten geeignete Umweltbewertungsinstrument. Ein besonderer Fokus wird auf die anschließende Ausarbeitung einer

Methode zur Bewertung einzelner Abbruchverfahren hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen gelegt. Auf Basis des zuvor erwähnten Pflichtenheftes wurde das neue „Ökologische Bewertungsmodul“ entwickelt und in die Bewertungsmatrix integriert, so dass nun eine ökologische Bewertung von Abbruchverfahren durchgeführt werden kann.

Die Bewertungsmatrix erhielt zudem zahlreiche Überarbeitungen im Hinblick auf die Struktur, den Inhalt, die Berechnungsmethodik und das Layout. Der Fokus liegt hier auf einer höheren Transparenz und Nutzerfreundlichkeit aus Sicht des Anwenders. Auch wurde eine Aktualisierung an den Stand der Technik nach DIN 18007:2000-05 sowie die Erkenntnisse aus den vorherigen Kapiteln vorgenommen. So sind beispielsweise die Abbruchverfahren Scherschneiden und Abtragen (Fräsen) in die Bewertungsmatrix integriert sowie zahlreiche Kennwerte aktualisiert.

Anhand eines Testszenarios wird abschließend die Funktionalität der Weiterentwicklung dokumentiert. Das Kapitel schließt mit der Beschreibung der Veröffentlichungsform. Die Matrix wird als Excel-Datei der Version 2010 zur Verfügung gestellt, so dass eine flexible und breite Nutzung gewährleistet sind. Abschließend ist dem Anhang ein Handbuch als Bedienungsanleitung der weiterentwickelten Bewertungsmatrix beigelegt.

## 6.2. Ausblick

In einem möglichen weiteren Projektverlauf sollte untersucht werden, ob die Faktoren ausreichend abgebildet sind oder ggf. angepasst werden müssen und inwiefern eine vergleichende Untersuchung von Zeitaufwandswerten unter Beachtung der vorherrschenden Randbedingungen durchgeführt werden kann. Das Fortführen von Arbeitszeitstudien zur Ermittlung weiterer Aufwands- und Leistungswerte zu Abbruchprozessen, zu nachgelagerten Abfallbewirtschaftungsprozessen (Abfallsortierung, -bearbeitung, -aufbereitung und -verladung) und Rüstzeiten sowie Aufwandswerten zur Entkernung, möglicherweise in Abhängigkeit der vorherigen Gebäudenutzung, ermöglichen zudem perspektivisch die Entwicklung und Pflege einer systematischen Datenbank für Zeitaufwandswerte von Abbruchverfahren anhand ausgewählter Einflüsse auf die Zeitdauer. Diese könnte beispielsweise nach objektspezifischen Eigenschaften (z.B. Bauwerkstyp, Bauteiltyp, Baustoff, Abmessungen), baustellenspezifischen Eigenschaften (z.B. Emissionen, Zugänglichkeit des Abbruchobjektes) und eingesetzten Abbruchgeräten (z.B. Träger- und Anbaugerät) aufgebaut werden. Das Durchführen weiterer Erhebungen zur Verfolgung der Einsatzhäufigkeiten der eingesetzten Abbruchverfahren und Abbruchgeräte stellt ebenfalls einen Anknüpfungspunkt an die Ergebnisse des Forschungsprojektes dar.

Um strukturierte Informationsgrundlagen über Arten, Mengen und Orte von hochwertigen Rohstoffen in Gebäuden zu schaffen, könnten zudem weitere Bestandsaufnahmen an Gebäuden durchgeführt und Werte zu spezifischen Gewichten üblicherweise verwendeter Baustoffe in Abhängigkeit der Nutzung der Objekte generiert werden. Auch sind die Rückbaustrategien auf gegebene Restriktionen der Praxis hinsichtlich der Rückgewinnung ökonomisch interessanter Rohstoffe beim Rückbau zu überprüfen. In selbigem Kontext sind der Themenkomplex Entsorgung und hier besonders dessen Einfluss auf die Gesamtmaßnahme bezüglich Kosten, Verfahren und Zeiten näher zu untersuchen.

In Kombination mit dem Thema "Bauen im Bestand" orientiert sich die Auswahl der Abbruchverfahren üblicherweise am Gesamtprojektablauf und wird durch diesen beeinflusst. Der Abbruch stellt eine volatile Kostengröße dar, die jedoch ein beachtliches Risikopotenzial für den Projektablauf generieren kann. Insbesondere die vorhandenen Planungs- respektive Sondierungsverfahren sind daher auf ihre hinreichende Genauigkeit zu analysieren. Weiterhin ist zu untersuchen, welche Organisation der Maßnahmen aus Projektsicht am geeignetsten ist. Darauf aufbauend bietet sich eine Untersuchung der Planungen von Abbruchbaustellen, beispielsweise hinsichtlich der Ver- und Entsorgungslogistik, im Vergleich mit Hochbaustellen zur Identifizierung von Optimierungsmöglichkeiten an.

---

## Literaturverzeichnis

---

- Ackermann, Kurt (1984):** Industriebau. Aufgabe der Zukunft. 1. Auflage. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Albrecht, Rudolph (1981):** Moderner Abbruch. Wiesbaden: Bauverlag GmbH.
- Autorengemeinschaft Hochbau (1981):** 1.05 Richtzeiten Betonarbeiten. 1. Aufl. - Neu- Isenburg: Ztv-Verlag 1981 (Schriftenreihe Handbuch Arbeitsorganisation, Heft 1.05).
- Autorenteam REFA (2013):** REFA-Kompakt-Grundausbildung 2.0. Das Basis-Know-how in Industrial Engineering (Band 1). Hrsg.: REFA Bundesverband e.V. 1. Aufl. - Darmstadt: Eigenverlag 2013 (Fachbuchreihe Industrial Engineering).
- AvantTecno (2015):** Abbruchschaufel. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://avanttecno.de/?561>
- Balzert, Helmut (2001):** Lehrbuch der Software-Technik : Software-Entwicklung. 2. Aufl., Heidelberg; Berlin: Spektrum Akademischer Verlag GmbH.
- Bauaufsicht Frankfurt (2015):** Nützliche Informationen zu Ihrem Abbruchvorhaben. Frankfurt: Eigenverlag. Abgerufen am 27. November 2014 von [http://www.bauaufsicht-frankfurt.de/fileadmin/Downloads\\_\\_alle/Merkblaetter/13\\_03\\_25\\_Informationen\\_zu\\_Abbruchverfahren.pdf](http://www.bauaufsicht-frankfurt.de/fileadmin/Downloads__alle/Merkblaetter/13_03_25_Informationen_zu_Abbruchverfahren.pdf)
- Bauer, Thomas; Wirth, Axel; Bergmann, Klaus-Richard (2014):** Merkblatt kampfmittelfrei bauen. Herausgeber: Verein zur Förderung fairer Bedingungen am Bau e.V.. Abgerufen am 27. Januar 2015 von [http://www.kampfmittelportal.de/files/pdf/Broschuere\\_Kampfmittelfrei\\_Bauen.pdf](http://www.kampfmittelportal.de/files/pdf/Broschuere_Kampfmittelfrei_Bauen.pdf)
- Bauforum24 (2010):** LST zeigt auf der bauma 2010 den XMB 5500 Demolator. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.bauforum24.tv/lst-xmb-5500-demolator-bauma-2010-274>
- Berg, Gerhard (1984):** REFA in der Baupraxis. Teil 1 Grundlagen. Hrsg.: REFA, Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V., Darmstadt - Fachausschuss Bauwesen. 1. Aufl. - Frankfurt am Main: Ztv-Verlag 1984. (Schriftenreihe REFA in der Baupraxis, Teil 1.)
- Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (2010):** Baustein-Merkheft Abbrucharbeiten. Überarbeitete Auflage 07/2010. Herausgeber: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft. Berlin.
- Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (2015):** Arbeiten in kontaminierten Bereichen. Abgerufen am 13. Januar 2015 von [http://www.bgbau-medien.de/bausteine/d\\_150/d\\_150.htm](http://www.bgbau-medien.de/bausteine/d_150/d_150.htm)
- Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (2015):** Blaue Mappe Baustelleneinrichtung. Abgerufen am 28. Januar 2015 von [http://www.bgbau-medien.de/bau/bm/01\\_1.htm](http://www.bgbau-medien.de/bau/bm/01_1.htm)
- Bilitewski, Bernd (1993):** Recycling von Baureststoffen. 1.Aufl. - Berlin: EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH.
- Blochmann, Günter; Mahlstedt, Hans (2012):** Wirtschaftliche und sichere Baustelleneinrichtung. 3. überarbeitete Auflage. Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund.

**Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011):** Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland. BMVBS-Online-Publikation, Nr. 16/2011. Abgerufen am 19. Juli 2013 von <http://d-nb.info/1014856922/34>.

**Büttner, Patrick. (2002):** Abbruch von Stahlbeton- und Mauerwerksbauten, Entwicklung einer Entscheidungshilfe zur Auswahl von Hydraulikbaggern. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation.

**Caterpillar (2014):** Caterpillar Performance Handbook. Band 1, Ausgabe 44. Herausgeber.: Caterpillar, Peoria, Illinois, USA, Eigenverlag.

**Cronjaeger, Jan, et al.:** „Entsorgung von Bauabfällen.“ Regierungspräsidien Darmstadt, Gießen, Kassel, 15. Mai 2009. [http://www.bauaufsicht-frankfurt.de/fileadmin/Downloads\\_\\_alle/Merkblaetter/Merkblatt\\_Bauabfaelle.pdf](http://www.bauaufsicht-frankfurt.de/fileadmin/Downloads__alle/Merkblaetter/Merkblatt_Bauabfaelle.pdf)

**Defracto (2014):** DEMOLATOR XMB Made in Germany. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.defracto.eu/defracto/demolator.html>

**Deutscher Abbruchverband (2002):** Aufgaben und Verantwortung des Bauherrn – Checkliste. Eigenverlag.

**Deutscher Abbruchverband (2015):** Abbrucharbeiten, 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller.

**Deutscher Abbruchverband:** Abbruch Aktuell, Bauma 2010. Fachzeitschrift. Ausgabe 2007/2.

**Deutscher Abbruchverband:** Mitgliederverzeichnis. Abgerufen am 02. Januar 2015 von <http://www.deutscher-abbruchverband.de/index.php?page=verzeichnis>

**DIN 18007:2000-05 (05.2000):** Abbrucharbeiten; Begriffe, Verfahren, Anwendungsbereiche. Hrsg.: Deutsches Institut für Normung. Mai 2000.

**DIN 18459 (04.2010):** VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Abbruch- und Rückbauarbeiten. Herausgeber: Deutsches Institut für Normung.

**DIN 69901-5 (2009):** Projektmanagement - Projektmanagementsysteme - Teil 5: Begriffe. Hrsg.: Deutsches Institut für Normung. Januar 2009.

**Ecoinvent (Hrsg., 2014):** Datenbank zur Ökobilanzierung. Abgerufen am 10. April 2014 von <http://www.ecoinvent.org/database/>.

**Ehlert & Söhne (2015):** Longfrontbagger; Information. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.longfront.de/informationen-longfront-bagger.html>

**Eibl Josef.; Walther Hans-Joachim (1996):** Umweltgerechter Rückbau und Wiederverwertung mineralischer Baustoffe. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

**Eyerer, Peter; Reinhardt, Hans-Wolf (2000):** Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden - Wege zu einer ganzheitlichen Bilanzierung. Basel: Birkhäuser Verlag.

**Gabriel, Stephan, Regine Hofert, Steinborn, Volker (2010):** Arbeitsschutz bei Abbrucharbeiten. 6. überarbeitete Auflage. Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund.

**Giebeler, Georg et al. (2008):** Atlas Sanierung. Instandhaltung, Umbau, Ergänzung. Hrsg.: Institut für internationale Architektur-Dokumentation. 1. Auflage. München: Birkhäuser Verlag in Koproduktion mit Edition Detail.

**Gierga, Michael; Erhorn, Hans (1994):** Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland. Hrsg.: Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe Technologiefolgenforschung. Jülich: Forschungszentrum, Zentralbibliothek.

**Gläser, Jochen/ Laudel, Grit (2009):** Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse. 3. Auflage, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

**Hessische Landesstelle für Baustatik (1970):** 1. Prüfbericht - Bauvorhaben Technische Hochschule Darmstadt. 2 Parkdecks für Architektur- und Bauingenieur fakultät. Bestehend aus einem Anschreiben (1 S.), Beurteilung (4 S.), Statische Berechnung (49 S.) und Planunterlagen (11 S.). Vom 29. September 1970.

**Hitachi (2015):** Hitachi präsentiert den Super-Longfront-Bagger ZX290LC-5. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.hcme.com/de/Unser-Unternehmen/Nachrichten/Veroeffentlichungen-der-Presse/Hitachi-praesentiert-den-Super-Longfront-Bagger-ZX290LC-5>

**Hitachi (2015):** So funktioniert das Hybridsystem. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.hcme.com/de/Hybridbagger>

**HKS (2014):** HKS RotoBox. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.hks-partner.com/produkte/hks-power-antriebstechnik/rotobox/>

**Hochschule München (2009):** Nutzung der Gliederung des Pflichtenheftes nach Balzert. Abgerufen am 16. Dezember 2014 von [hm.hgesser.de/ig-ws2008/fohlen/Pflichtenheft.pdf](http://hm.hgesser.de/ig-ws2008/fohlen/Pflichtenheft.pdf).

**Hoffmann, Manfred (2006):** Zahlentafeln für den Baubetrieb. 7. Aufl. Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag.

**Komatsu (2015):** Komatsu Hybrid-Technologie. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.komatsu.eu/komatsu-technologies-hybrid.asp>

**Komatsu (2015):** Komtrax Plus. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.komatsu.eu/komatsu-technologies-komtraxplus.asp>

**Komatsu (2015):** Motorentechologie nach EU Stufe IIIB von Komatsu. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.komatsu.eu/komatsu-technologies-s3b.asp>

**König, Horst (2014):** Maschinen im Baubetrieb. Grundlagen und Anwendung. 4., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.

**Krämer, Morris (Verfasser) / Wöltjen, Jan (Betreuer) (2014):** Ökologische Bewertung von Abbruchverfahren. Vertiefearbeit, unveröffentlicht. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Institut für Baubetrieb, Eigenverlag.

**Krämer, Morris (Verfasser) / Wöltjen, Jan (Betreuer) (2015):** EDV-gestützte ökologische Bewertung von Abbruchverfahren. Diplomarbeit, unveröffentlicht. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Institut für Baubetrieb, Eigenverlag.

**Kratochwil, Alfred; Pertl, Alfred; Braun, Jürgen (2014):** Schadstoffe bei Abbruchmaßnahmen. Ingenieurgemeinschaft für Umwelttechnologien GmbH. Abgerufen am 17. Januar 2015 von <http://www.igutec.de/download/vdi1.pdf>

**Kreis Düren (2005):** Leitfaden für Rückbaumaßnahmen und die Entsorgung von Abbruchabfällen. Herausgeber: Kreis Düren, Amt für Wasser, Abfall und Umwelt. Abgerufen am 03. Juli 2014 von <https://www.kreis-dueren.de/service/pub/Abbruchbroschuere.pdf>

**Kummer, W.(1998):** in TIEFBAU, Heft 3, 110. Jahrgang . März 1998, Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co.

**Künstner, Gerhard (1984):** REFA in der Baupraxis. Teil 2 Datenermittlung. Hrsg.: REFA, Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation, Darmstadt – Fachausschuss Bauwesen. 1. Aufl. - Frankfurt am Main: Ztv-Verlag 1984. (Schriftenreihe REFA in der Baupraxis, Teil 2.)

**Linder Richard (1982):** Schälen, Trennen und Abbrechen von Betonbauteilen. Berlin: Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

**Lippok, Jürgen; Korth, Dietrich (2007):** Abbrucharbeiten. 2. Aufl., Hrsg. Deutscher Abbruchverband. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG.

**Löhr, Michael (2013):** Planung bei Abbrucharbeiten. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation.

**MB Schornstein- und Betonabbruch (2015):** DriveBreaker – Spezialabbruchgerät für Schornsteinrückbauarbeiten bricht weltweit Industrieschornsteine ab. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.mb-abbruchtechnik.de/index.php?newstest-14b9fd4197f11f>

**NXburst (2015):** Wirkungsweise. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.nxburst.eu/nxburst/deutsch/wirkung>

**OilQuick (2015 a):** Wechsel von hydraulischen Geräten in 10 Sekunden; Geschichte. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.oilquick.de/produkte/oq-fuer-bagger/>

**OilQuick (2015 b):** OQ Longfrontwechsler. Abgerufen am 27. März 2015 von <http://www.oilquick.de/produkte/oq-fuer-bagger/oilquick-fu%CC%88r-abbruchbagger/>

**Ökobau.dat (Hrsg., 2014):** Datenbank zur Ökobilanzierung. Abgerufen am 26. April 2014 von <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html>

**Ökobau.dat Datensatz (Hrsg., 2014):** 9.1.01\_Bagger\_100\_kW\_Aushub\_(A5). Abgerufen am 26. April 2014 von [http://www.nachhaltigesbauen.de/no\\_cache/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html?cid=5185&did=3290&sechash=d96ce594](http://www.nachhaltigesbauen.de/no_cache/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html?cid=5185&did=3290&sechash=d96ce594)

**openLCA (Hrsg., 2014):** Bilanzierungstool für Ökobilanzen. Abgerufen am 10. April 2014 von [http://www.openlca.org/download\\_page](http://www.openlca.org/download_page)

**Osebold, Rainard (1981):** Abbruch von Massivbauwerken, Verfahren - Wirtschaftlichkeit. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller.

**Regierungspräsidium Hessen (2015):** *Kap. B7 Abbruchverfahren*. Abgerufen am 26. Januar 2015 von [http://www.bauaufsicht-frankfurt.de/fileadmin/Downloads\\_\\_alle/Publikationen/Broschuere\\_Bauen\\_in\\_FFM/Kapitel\\_B7.pdf](http://www.bauaufsicht-frankfurt.de/fileadmin/Downloads__alle/Publikationen/Broschuere_Bauen_in_FFM/Kapitel_B7.pdf).

**Schnell, Jürgen; Loch, Markus (2009):** Umrechnung historischer Baustoffkennwerte auf charakteristische Werte. In: *Der Prüflingenieur*; Ausgabe Nr. 34 (2009); S. 50-61. Hrsg.: Bundesvereinigung der Prüflingenieure für Bautechnik. Berlin: Eigenverlag.

**Schröder, Jörg (2013):** Experteninterview. Maschinenführer, Manns GmbH - Abbuchtechnik, Baustoffrecycling, Erd- und Spezialtiefbau und Containerdienst. Interview vom 20. Dezember 2013, Darmstadt.

**Schwab, Christian (2014):** Beitrag zu einer universellen Baggerschnittstelle zur Übertragung elektrischer und hydraulischer Leistung sowie elektronischer Signale für komplexe Anbaugeräte. *Karlsruher Schriftenreihe Fahrzeugsystemtechnik* ; 27. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing Verlag.

**Silbe, Katja (1999):** Wirtschaftlichkeit kontrollierter Rückbauarbeiten. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen, Dissertation.

**Silbe, Katja (1999):** Wirtschaftlichkeit kontrollierter Rückbauarbeiten. 1. Aufl. - Berlin: Mensch und Buch Verlag 1999. Zugleich: Darmstadt, Technische Universität, Fachbereich Bauingenieurwesen Dissertation.

**Statistisches Bundesamt (2015):** Produzierendes Gewerbe. Tätige Personen und Umsatz der Betriebe im Baugewerbe. Fachserie 4, Reihe 5.1. Wiesbaden: Eigenverlag.

**Statistisches Bundesamt (Hrsg.)(1978):** Systematik der Bauwerke. Ausgabe 1978. Stuttgart und Mainz: Verlag W. Kohlhammer GmbH.

**SW-RL:** Bekanntmachung der Richtlinie zur Ermittlung des Sachwerts (Sachwertrichtlinie- SW-RL). Vom 5. September 2012.

**TU Braunschweig (2011):** Nutzung der Gliederung des Pflichtenheftes nach Balzert. Abgerufen am 15. Dezember 2014 von <https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/isf/sse/pflichtenheft11.pdf>.

**Universität Mannheim (2002):** Nutzung der Gliederung des Pflichtenheftes nach Balzert. Abgerufen am 15. Dezember 2014 von <http://pi4.informatik.uni-mannheim.de/pi4.data/content/courses/2002ss/pm/dokumente/vorlagen/pflichtenheft.html>.

**VDMA (2011):** in *BauPortal 11/2011*. Abgerufen am 11. Februar 2014 von [https://www.baumaschine.de/fachzeitschriften/baumaschinen/bauportal\\_dateien/2011/heft11/a045\\_046.pdf/at\\_download/file](https://www.baumaschine.de/fachzeitschriften/baumaschinen/bauportal_dateien/2011/heft11/a045_046.pdf/at_download/file).

**Wangler Ortwin. et al. (1999):** Präventive Berücksichtigung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes beim selektiven Abbruch von verwendungsorientierten Rückbau. Dortmund: Wirtschaftsverlag NW.

**Wangler, Ortwin; Opitz, Joachim (2010):** Selektiver Abbruch und verwendungsorientierter Rückbau (Checklisten zum präventiven Arbeitsschutz für die am Abbruch Beteiligten). Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund.

**Weimann, Karin; Matyschik, Jan; Adam, Christian (2013):** Optimierung des Rückbaus. Abgerufen am 18. August 2014 von  
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4430.pdf>

**Zeiss, Carl-Rainer (2014):** Microsoft Office 2007 bis 2013. Abgerufen am 23. Dezember 2014 von  
[www.crz.de/pdfs/Information%20zu%20Office%202007-2013.pdf](http://www.crz.de/pdfs/Information%20zu%20Office%202007-2013.pdf)

**Zeppelin-Cat (2015):** Cat Kettenbagger 336E H mit Hybridantrieb. Abgerufen am 27. März 2015 von  
<http://www.zeppelin-cat.de/produkte/bagger/cat-hybridbagger-336e-h.html>

---

## Anlagenverzeichnis

---

Anlage 1 - Liste derzeit am Markt verfügbarer Geräte für Abbrucharbeiten	219
Anlage 2 - Auswertung der Umfrage	221
Anlage 3 – Rechtliche Rahmenbedingungen - hierarchiebezogen	224
Anlage 4 – Formular zur Kostenanalyse von Detailpositionen	228
Anlage 5 – Übersicht der generierten Zeitaufwandswerte	229
Anlage 6 – Übersicht der Gesprächspartner	254





## Anlage 2 - Auswertung der Umfrage

### Teil I. Unternehmensbezogene Informationen

#### 1.01. Welche Bauweisen werden von Ihrem Unternehmen abgebrochen?

32 Massivbau	29 Stahlbau
26 Holzbau	<input type="checkbox"/> Sonstige 

#### 1.02. Welche Bauwerke werden von Ihrem Unternehmen i.d.R. abgebrochen?

30 Wohngebäude	14 Straßen
32 Bürogebäude	3 Tunnel
32 Industriegebäude	15 Brücken
18 Gebäude höher als 22 m	11 Türme
3 Gebäude höher als 100 m	14 Bunker
2 Sonstige  (Schornsteine, Windkraftanlagen)	

#### 1.03. Welches Abbruchvolumen (Bruttorauminhalt bzw. umbauter Raum) wird bei Ihren Projekten in der Regel abgebrochen?

5 bis 5.000 m <sup>3</sup> BRI	9 bis 50.000 m <sup>3</sup> BRI
8 bis 100.000 m <sup>3</sup> BRI	7 bis 250.000 m <sup>3</sup> BRI
3 bis 500.000 m <sup>3</sup> BRI	0 über 500.000 m <sup>3</sup> BRI

#### 1.04. Bieten Sie neben Abbruchleistungen noch andere Leistungen (z.B. Rohbau) an?

9 nein.  
23 ja, folgende Leistungen bieten wir an:

 Entkernung 4 (gehört zu Abbruchleistung), Erdarbeiten 15, Sanierung 8, Entsorgung 8, Transport 3, Tiefbau 7, Pflasterarbeiten 1, Kranarbeiten 1, Gala Bau 1, Kanalbau 1, Hochbau 1, Gleisbau 1, Straßenbau 1, Garten- und Landschaftsbau 1, Ingenieurleistungen 2, Projektsteuerung 1

#### 1.05. Welche Vertrags-Typen werden bei Ihren Abbruch-Projekten in der Regel vereinbart?

25 Einheitspreisvertrag	31 Pauschalvertrag
1 Stundenlohnvertrag	<input type="checkbox"/> Sonstige 

## Teil II. Technische Anforderungen an den Abbruch

### 2.01. Welche Abbruchverfahren werden bei Ihnen in der Regel angewendet?

Abbruch ...

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| 4 mit Kran und Anbaugeräten      | 32 mit Hydraulikbagger und Anbaugeräten |
| 4 mit Seilbagger u. Anbaugeräten | 5 durch Sprengen mit Explosivstoffen    |
| 7 mit Abbruchroboter             | 16 mit Handmaschinen (z.B. Betonsäge)   |
| 3 Sonstige:                      |   |

- Long-Front-Bagger
- Mit Kran und Minibagger in einer speziell angefertigten Arbeitsplattform
- Abbruch mit Kleingeräten (Minibagger und Anbaugerät), da wir 80% im Bestand abbrechen

### 2.02. Welche Abbruchverfahren werden von Ihrem Unternehmen nicht angewendet?

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 20 Abbruch mit Abbruchbirne        | 12 Schneidbrennen mit Sauerstofflanze         |
| 30 Schmelzen mit Thermit           | 19 Schneiden mit Plasmabrenner                |
| 23 Abbruch mit Seilbagger          | 25 Trennen mit Pulverschneidbrenner           |
| 28 Spalten durch Quelldrücken      | 14 Abreißen mit teleskopierbaren Abbruchstiel |
| 23 Spalten mit hydr. Pressen       | 28 Hochdruck-Wasserstrahl-Verfahren           |
| <input type="checkbox"/> Sonstige: |   |



### 2.03. Verwenden Sie Abbruchroboter für Ihre Projekte?

- 26 nein.  
6 ja , seit **10 Jahren/01.2010/07.2010/2012/03.2014/01.2015**

### 2.04. Falls Sie Abbruchroboter verwenden, wann kommen diese zum Einsatz?

- Einsatz im Gebäude (Innenabbruch) 3
- Bei Entkernung 1
- In beengten Bereichen/Verhältnissen 3
- Bei Einsturz-/Absturzgefahr 1
- Bei kontaminierten Bereichen 1
- Bei hohen Gebäuden über 20 m im innerstädtischen Bereich 1

**2.05. Welche aktuell auf dem Markt erhältlichen Abbruchgeräte sehen Sie als modern an?**

*Trägergeräte und Zubehör:*

- |                      |  |
|----------------------|--|
| 24 Hydraulikbagger   | 13 Micro-Bagger mit Abbruch-Anbaugeräten   |
| 26 Long-Front-Bagger | 28 Schnellwechselsysteme für Anbaugeräte   |
| 26 Abbruch-Roboter   | <input type="checkbox"/> Sonstige  _____ |

*Anbaugeräte:*

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 25 Abbruch- und Sortiergreifer    | 22 Hydraulikhammer  |
| 7 Mehrschalengreifer              | 26 Abbruchscheren / -zangen   |
| 13 Löffel                         | 24 Pulverisierer  |
| 8 Gesteinslöffel/Vibrationslöffel | 23 Schrottschere  |
| 21 Magnete                        | 10 Abbruchstiel   |
| 3 Holzspalter                     | 10 Reißzähne  |
| 17 Fräsen                         | 4 Sonstige  Sieblöffel 1, Brechlöffel 3 |

*Weitere für den Abbruch relevante Geräte:*

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 27 Staubbindemaschinen  | 23 Mobile Sieb- und Brechanlagen |
| 4 Sonstige  Radlader 1, Verdichtungsgerät 1, Multi-Quick Prozessor 1<br>Staubbindung mit Düsen am Gerät 1 |                                  |

**2.06. Sind Ihnen Neuerungen bei der Technologie von Abbruchverfahren bekannt? Bzw. sind Ihnen neue Abbruchverfahren oder Abbruchgeräte bekannt, die bereits Anwendung finden oder demnächst angewendet werden sollen?**

- 28 nein.  
 4 ja, folgende Neuerungen sind mir bekannt:

 teleskopierbarer Long-Front-Bagger, Schneidradfräse, teleskop Abbruchstiel, Abbruch-Sortiergreifer mit Spaltzahn, Eigenentwicklungen

**2.07. Welchen Stellenwert hat bei Ihnen der Einsatz von neusten Abbruchgeräten?**

	sehr niedrig $\longrightarrow$ sehr hoch				
Stellenwert von neusten Geräten	0	5	10	10	7

Anlage 3 – Rechtliche Rahmenbedingungen - hierarchiebezogen

Europäische Ebene	Arbeitsschutzrecht		Baurecht		Umweltrecht		Abfallrecht	
	Vorschrift	Inhalt	Vorschrift	Inhalt	Vorschrift	Inhalt	Vorschrift	Inhalt
	Verordnung (EG) Nr. 1488/94	Festlegung von allgemeinen Grundsätzen für die Bewertung der von Abfällen ausgehenden Risiken für Mensch und Umwelt	Richtlinie 2010/75/EU	Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung)	Verordnung (EG) Nr. 66/2010	EU-Umweltzeichen	Verordnung (EU) Nr. 660/2014	Verbringung von Abfällen
	Richtlinie 2013/35/EU	Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen	Richtlinie 2007/68/EG	Verbesserung der Wirksamkeit der Nachprüfungsverfahren bezüglich der Vergabe öffentlicher Aufträge	Richtlinie 2014/52/EU	Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten	Verordnung (EU) Nr. 715/2013	Kriterien zur Festlegung, wann bestimmte Arten von Kupferschrott nicht mehr als Abfall anzusehen sind
	Richtlinie 2011/70/Euratom	Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle	Richtlinie 2004/18/EG	Koordinierung der Verfahren zur Vergabe öffentlicher Bauaufträge, Lieferaufträge und Dienstleistungsaufträge	Richtlinie 2013/39/EU	Prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpollution	Verordnung (EU) Nr. 259/2013	Verbringung von Abfällen
	Richtlinie 2009/148/EG	Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Asbest am Arbeitsplatz	Richtlinie 2003/35/EG	Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Ausarbeitung bestimmter umweltbezogener Pläne und Programme und zur Änderung der Richtlinien 85/337/EWG und 90/81/EG des Rates in	Richtlinie 2011/76/EU	Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge	Verordnung (EU) Nr. 661/2011	Ausfuhr von bestimmten Abfällen, die zur Verwertung bestimmt sind, in bestimmte Nicht-OECD-Staaten
	Richtlinie 2009/142/EG	Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen von Gasverbrauchseinrichtungen			Richtlinie 2008/11/EG	Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung	Verordnung (EU) Nr. 333/2011	Kriterien zur Festlegung, wann bestimmte Arten von Schrott nicht mehr als Abfall anzusehen sind
	Richtlinie 2009/104/EG	Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Benutzung von Arbeitsmitteln durch Arbeitnehmer bei der Arbeit			Richtlinie 2005/88/EG	Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen	Verordnung (EG) Nr. 1418/2007	Ausfuhr von bestimmten Abfällen, die zur Verwertung bestimmt sind, in bestimmte Staaten, für die der OECD-Beschluss über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung von Abfällen nicht gilt
	Richtlinie 2007/30/EG	Vereinfachung und Rationalisierung der Berichte über die praktische Durchführung			Richtlinie 2004/35/EG	Umweltbhaltung zur Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden	Verordnung (EG) Nr. 1013/2006	Verbringung von Abfällen
	Richtlinie 2003/10/EG	Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkung (Lärm)			Richtlinie 2001/42/EG	Prüfung der Umweltauswirkung bestimmter Pläne und Programme	Verordnung (EG) Nr. 1488/94	Festlegung von Grundsätzen für die Bewertung der von Abfällen ausgehenden Risiken für Mensch und Umwelt
	Richtlinie 2002/44/EG	Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkung (Vibrationen)			Richtlinie 2000/60/EG	Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik	Richtlinie 2012/19/EU	Elektro- und Elektronik-Altgeräte
	Richtlinie 1999/92/EG	Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können			Richtlinie 95/27/EG	Begrenzung des Geräuschemissionspegels von Hydraulikbaggern, Seilbaggern, Flammemaschinen, Ladern und Baggerladern	Richtlinie 2011/97/EU	spezifische Kriterien für die Lagerung von als Abfall betrachteten metallischem Quecksilber
	Richtlinie 96/82/EG	Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen			Richtlinie 92/43/EWG	Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen	Richtlinie 2011/70/Euratom	Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle
	Richtlinie 92/57/EWG	Die auf zeitlich begrenzte oder ortswanderliche Baustellen anzuwendenden Mindestvorschriften für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz			Richtlinie 87/217/EWG	Verhütung und Verringerung der Umweltschmutzung durch Asbest	Richtlinie 2008/98/EG	Abfälle und zur Aufnahme bestimmter Richtlinien
	Richtlinie 91/383/EWG	Ergänzung der Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes von Arbeitnehmern mit befristetem Arbeitsverhältnis oder Leiharbeitsverhältnis					Richtlinie 2006/12/EG	Abfälle
	Richtlinie 90/269/EWG	Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der manuellen Handhabung von Lasten, die für die Arbeitnehmer insbesondere eine Gefährdung der Lendenwirbelsäule mit sich bringt					Richtlinie 2000/76/EG	Verbrennung von Abfällen



	Gefahrtransparenz	Vorschriften insbesondere für die Klassifizierung, Verpackung, Kennzeichnung und Dokumentation gefährlicher Güter, für den Umgang während der Beförderung und für die verwendeten Fahrzeuge	Vorschriften insbesondere für die Klassifizierung, Verpackung, Kennzeichnung und Dokumentation gefährlicher Güter, für den Umgang während der Beförderung und für die verwendeten Fahrzeuge	Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)	Voraussetzungen und Verfahrensrichtlinien einer UVF	Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV)	Kennzeichnen verschiedener Abfallarten	
	PSA-Benutzungsverordnung (PSA-BV)	Regelung der Auswahl, Bereitstellung, Warnung, Reparatur, den Ersatz sowie die Lagerung von persönlichen Schutzausrüstungen (PSA) durch den Arbeitgeber für alle Tätigkeitsbereiche		Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)	Vorschriften zur Errichtung und Betrieb von Anlagen			
	Lastenhandhabungsverordnung (LasthandhabV)	Bestimmungen zur Sicherheit und zum Gesundheitsschutz bei manuellen Lastenhandhabungen und Beurteilungen von Gasundheitsgefährdungen						
	Sprengstoffgesetz (SprengG)	Regelungen zum Umgang, dem Verkehr und die Einfuhr von explosionsgefährlichen Stoffen						
	Arbeitszeitgesetz (ArbZG)	Grundformen zu Dauer und Zeit der Arbeit						
	Jugendarbeitsschutzgesetz (JArbSchG)	Voraussetzungen und Bedingungen unter denen Kinder ab 13 Jahren, sowie Vollzeit schulpflichtige Jugendliche arbeiten dürfen						
<b>Landesebene</b>	Arbeitsschutzüberwachungsstellenverordnung (ZUSV)	Verordnung über zugelassene Überwachungsstellen auf dem Gebiet des Arbeitsschutzes und der Sicherheitstechnik	Hessisches Vergaberecht	Hessisches Wassergesetz (HWG)	Bestimmungen zum Umgang und zur Bewirtschaftung von Gewässern	Hessisches Ausführungsgesetz zum Kreislaufwirtschaftsgesetz (HAKrWG)	Ausführung des Kreislaufwirtschaftsgesetz	
	Arbeitschutzverordnung (ArbSchV)	Verordnung über Zuständigkeiten auf dem Gebiet des Arbeitsschutz, der Sicherheitstechnik, der Produktivität und des Medizinprodukts	Hessische Bauordnung (HBO)	Hessisches Altlasten- und Bodenschutzgesetz (HALtBodSchG)	Vorschriften zum Bodenschutz und zur Altlastensanierung	Sachverständigen-Bodenschutzverordnung (SachVBodSchV HE)	Rahmenbedingungen zur Anriekennung von Sachverständigen für Bodenschutz und Altlasten	
		Nachweisberechtigte für bautechnische Nachweise nach der Hessischen Bauordnung	Nachweisberechtigte für bautechnische Nachweise nach der Hessischen Bauordnung (NEVO)	Hessisches Umweltschutzgesetz (HUG)	Rechtlicher Rahmen für den freien Zugang zu Umwelteinformationen	Deponiekontrollverordnung (DEKVO)	Vorschriften zur Eigenkontrolle von oberirdischen Deponien	
						Asbest-Richtlinie (AsbestS anRL Erl HE)	Regelungen für die Bewertung und Sammlung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden	
* betrachtet werden die Vorschriften für das Bundesland Hessen								
<b>Normative Ebene</b>	Bezeichnung	Erläuterung	Bezeichnung	Erläuterung	Bezeichnung	Erläuterung	Bezeichnung	
	Merktblatt DWA-M 303	Wiedermülbarmachung von kleinen Grundsüben - Abbruch, Rückbau und geordnete Entsorgung	DIN 18299	Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art	TRES	Technische Regeln für Betriebsicherheit	BGI	Berufsgenossenschaftliche Informationen, wie Hinweise und Empfehlungen für bestimmte Tätigkeiten, Arbeitsmittel und Brandrien
	Checkliste	Checkliste für Abbrucharbeiten vom Deutschen Abbruchverband (DA)	TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft	TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe	VBG	Verwaltungs-Berufsgenossenschaft
	VOB A,B,C	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen	TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm	TRBA	Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe	DIN 4420	Arbeits- und Schutzgerüst
DIN 18007	Abbrucharbeiten - Begriffe, Verfahren, Anwendungsbereiche	LAGA M20	Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Feststoffen und Abfällen	BGV	Berufsgenossenschaftliche Vorschriften, die Schutzzeile festlegen, und Forderungen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes formulieren	DIN EN 12812	Traggeräte - Anforderung, Bemessung, Erwerb	



**Anlage 4 – Formular zur Kostenanalyse von Detailpositionen**

Oz./Pos.	1.5.2	Stahlbetonmaschinenabbruch
<b>Leistungsbeschreibung</b>	Stahlbeton der Fundamente, Abfüllstellen, Bodenplatten und Aufkantung abbrechen, aufbereiten, laden und zur Recyclinganlage oder Entsorgung d.eg.AG transportieren. Bei Stemmarbeiten ist ein Schutzgerüst mit Planen oder Netzen zu erstellen. Der AN hat die geeigneten Abbruchmaschinen zu wählen. Disposition, Transport und Logistik durch AN. Bei zum stauben neigenden Abfällen ist bereits an der Baustelle durch den AN durch entsprechende Wässerung der Abfälle darauf zu achten, dass das Material ausreichend angefeuchtet ist und somit beim Abkippen nicht staubt. Übermäßiges Stauben führt zur Abweisung bei der Annahmestelle.	
Menge	Projekt 1	Projekt 3
Leistungseinheit	2.500,000	954,000
	m <sup>3</sup>	
<b>Gesamtpreise [€]</b>	<b>Projekt 1</b>	<b>Projekt 3</b>
Unternehmen 1	200.000,00	19.080,00
Unternehmen 2	106.200,00	
Unternehmen 3	172.375,00	
Unternehmen 4	87.500,00	
Unternehmen 5	462.500,00	
Unternehmen 6	65.000,00	
Unternehmen 7	116.250,00	
<b>Einheitspreise [€]</b>	<b>Projekt 1</b>	<b>Projekt 3</b>
Unternehmen 1	80,00	20,00
Unternehmen 2	42,48	
Unternehmen 3	68,95	
Unternehmen 4	35,00	
Unternehmen 5	185,00	
Unternehmen 6	26,00	
Unternehmen 7	46,50	
<b>Parameter [€]</b>	<b>Projekt 1</b>	<b>Projekt 3</b>
Minimum [€]	26,00	20,00
Q1 [€]	38,74	20,00
Q2 (Median) [€]	46,50	20,00
Q3 [€]	74,48	20,00
Maximum [€]	185,00	20,00

**Stahlbetonmaschinenabbruch**

EP [€]

Untersuchte Projekte

Anlage 5 – Übersicht der generierten Zeitaufwandswerte

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[E/h]		
						Aufwandswert	Min.	Max.	Leistungswert	Min.
<b>Einrichtung</b>										
<b>Entsorgung Mobiliar und Einrichtungsgenstände</b> Zerlegen der Einrichtung mit dem Vorschlaghammer und Stemmeisen, Anschließend Abtransport mit Schubkarre	Vorschlaghammer, Stemmeisen, Schubkarre	Mobiliar, Einrichtungsgenstände	3	310	m <sup>3</sup>	1,07	-	-	0,93	-
<b>Rückbau Wandschränke</b> Abschlagen der Wandschränktüren und Entsorgen	Stemmeisen	Wandschrank aus Holz	1	7,55	m <sup>2</sup>	0,03	0,02	0,04	33,5	24,2 54,3
<b>Rückbau Wandschränke</b> Lösen der Holzwandschränke mit einem Stemmeisen und entsorgen der Holzreste	Stemmeisen	Wandschrank aus Holz	1	5,56	m <sup>2</sup>	0,21	0,11	0,31	4,8	3,3 8,9
<b>Demontage Bodenbelag</b> Abrennen des Bodenbelags von Unterlage und Zerkleinern des Bodenbelags. Entsorgung des Bodenbelags.	Schaufel, Schubkarre, Stielspachtel	PVC, Teppich	3	1384	m <sup>2</sup>	0,046	-	-	21,74	-
<b>Fliesen abgreifen</b> Abgreifen der Fliesen mit Hydraulikbagger und Greifer (inkl. Fliesen greifen und in Container verladen)	Komatsu PC 350 NLC (35t, 194kW) mit OffQuick Schnellwechselsystem und Sortiergreifer Steck GTL 16-20 - 1300 (1,9t)	Fliesen aus Granit (d=0,8cm) auf Estrich	2	180,36	m <sup>2</sup>	0,009	-	-	112,981	-

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/£]		[£/h]	
						Min.	Max.	Aufwandswert	Leistungswert
Bauherrnang									
<b>Rückbau Laminats</b> Anheben des Laminats mit einem Stemmeisen und manuellen Sammeln der Bretter	Stemmeisen	Holzlaminat	1	87,66	m <sup>2</sup>	0,01	-	82,3	-
<b>Rückbau PVC</b> Lösen des PVC vom Boden, Greifen mit der Reißklaue und Trennen vom Boden	Reißklaue	PVC	1	69,9	m <sup>2</sup>	0,02	-	51,7	-
<b>Rückbau Teppich</b> Lösen des Teppichs vom Boden, Greifen mit der Reißklaue und Trennen vom Boden	Reißklaue	Teppich (Textil)	1	35,14	m <sup>2</sup>	0,02	-	48,5	-
<b>Rückbau Trittschalldämmung</b> Manuelles Brechen des Estrichs mit Betriebsmittel und Freilegen der Styroporplatten. Sammeln, bündeln und zwischenlagern der Platten,	Eisenstange, Vorschlaghammer, Stemmeisen	Estrich, Styroporplatten	2	140,96	m <sup>3</sup>	0,03	0,03	31,2	25,9
<b>Rückbau Estrich</b> Entfernen des Estrichs mit Stemmhammer	Stemmhammer	Estrich, 5cm	1	4550	m <sup>3</sup>	0,11	-	8,98	-
<b>Estrich abgreifen</b> Abgreifen des Estrichs mit Hydraulikbagger und Greifer (inkl. Estrich greifen und in Container verladen)	Komatsu PC 350 NLC (35t, 194kW) mit OHQuick Schnellwechselsystem und Sortiergreifer Steck GTL 16-20 - 1300 (1,9t)	Estrich (d=10cm) über Dämmplatten der Fußbodenheizung	2	180,36	m <sup>3</sup>	0,015	-	66,139	-

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[E/h]	
						Aufwandswert	Min.	Aufwandswert	Min.
<b>Entfernung</b>									
<b>Aushängen der Türflügel</b> Anheben der Türflügel aus ihrer Halterung und Zwischenlagern	-	Holzürflügel	1	8	Stück	0,005	-	205	-
<b>Herausbrechen der Türzargen</b> Brechen der Türzargen mit einem Stemmmeisen und entsorgen der Holzabfälle	Stemmmeisen	Holzürzargen	1	21	Stück	0,071	0,04	14,29	9,9
<b>Ausbau Fenster</b> Lösen des Fensterflügels aus dem Rahmen, Freilegen des Rahmens durch Aufschlagen der umschließende Wand Herausheben des Rahmens	Bohrmaschine, Hammer, Meißel	Fenster mit Kunststoffrahmen	1	1	Stück	0,72	-	1,39	-
<b>Demontage Fenster</b> Abstemmen und Entsorgen der Fenster.	Stemmmeisen	Großflächige Fenster	2	67	Stück	0,39	-	2,56	-
		Zweiflügelige Fenster	2	41	Stück	0,16	-	6,25	-
		Einflügelige Fenster	2	23	Stück	0,11	-	9,09	-

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[€/E]	
						Min.	Max.	Min.	Max.
<p><b>Scherschneiden von Fensterrahmen</b>                      durch Hydraulikbagger mit Kombi-Abbruchzange, Aufbereiten, Sortieren und Laden des Abbruchmaterials in LKW mit Kombi-Abbruchtrange und Sortiergreifer</p>	<p>Hydraulikbagger:                      Liebherr A 924                      (gummibereift, 23,8t,                      129kW / 175PS)                      Kombi-Abbruchzange:                      Verchert VTC 50                      (max. Schließkraft:                      3.430kN, Gewicht:                      3,6t),                      Sortiergreifer:                      Verichert VRG 40                      (Greiferinhalt: 0,9m<sup>3</sup>,                      Gewicht: 1,68t),                      Tieflöffel mit Zähnen:                      Hersteller nicht                      bekannt (Löffelinhalt:                      1,4m<sup>3</sup>),                      Tieflöffel mit Schneide:                      Hersteller nicht                      bekannt                      (Löffelinhalt: 1,2m<sup>3</sup>),                      LKW: MAN                      Sattelaufleger mit                      Kippmulde: 20m<sup>3</sup></p>	<p>Rahmen aus Stahlblechen                      t = 5 - 7 mm ; b = 28 /                      48mm ;                      l = 1,55 - 6,5m                      Abbruchhöhe: 1,5 - 7,8m ü.                      GOK</p>	1	457,3	m <sup>3</sup>	0,008	-	125	-

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[E/h]	
						Min.	Max.	Aufwandswert	Leistungs Wert
<b>Entfernung</b>									
<b>Demontage Treppenhaus</b> Lösen der Schraubenverbindungen mit Ring- und Maulschlüssel und Durchtrennen von Verbindungen mit Trennschneider. Anschließen und Herausheben der Treppenhausbauteile mit Hydraulikbagger und Anschlagmittel	Hydraulikbagger (3-4,3 t, 184 kW) mit Anschlagketten, Trennschleifer (4,8 kW, 350 mm Sägeblatt) und Ring- und Maulschlüssel	Treppenhaus, Stahl, einstöckig, außenstehend, dreiläufig, gelagert auf Stahlstützen, an Deckenaußenstützen angeschlossen und von Stahlbetonwinkelmauer umgeben. Bestehend aus 21 Gitterroststufen (120cm x 30cm), zwei Zwischenpodesten, Abschlusspodest und angeschweißtem Handlauf.	4	2,071	t	4,7759	-	0,21	-
<b>Demontage Handlauf</b> Lösen der Schraubenverbindungen Kleinwerkzeug. Anschließen Herausheben und Ablegen der Profile auf der Bodenoberfläche	Ring-, Maul- und/oder Steckschlüssel mit Nuss	Handlauf, L-Profilwinkelstahl, 60mm x 60mm x 5mm	1	25,8	m	0,0051	0,0043	0,0059	168,4
<b>Demontage Schutzplanken</b> Lösen der Schraubenverbindungen mit Kleiwerkzeug. Anschließen Herausheben und Ablegen der Profile auf der Bodenoberfläche.	Steckschlüssel mit Nuss	Schutzplanken, Stahl, B-Profil, Baulänge 4,3m	3	28	m	1,0984	0,9232	1,2735	0,785
				0,281	t	0,0124	-	-	80,8
						1,2352	-	-	0,81
									232,5
									1,083

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	Aufwandswert		Leistungswert		
						[t/E]	[E/h]	Max.	Min.	Max.
<b>Einheitswerte</b>										
<b>Rückbau Treppenhaus</b> Abgreifen der Treppenhausbauteile mit Hydraulikbagger und Abbruchgreifer. Anschließend Abfälle auf provisorische Halde setzen.	Hydraulikbagger (25,3 t, 125 kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer (2,21 t, 960 l)	Treppenhaus, Stahl, einstöckig, außenstehend, zweiläufig, gelagert auf Stahlstützen, an Deckenaußenstützen angeschlossen. Bestehend aus 9 Gitterroststufen (150cm x 30cm), Abschlusspodest und angeschweißtem Handlauf	1	0,796	t	0,2491	-	4,02	-	
<b>Scherschneiden von Kranstützen einer Krananlage</b> durch Hydraulikbagger mit Kombi-Abbruchzange, Aufbereiten, Sortieren und Laden des Abbruchmaterials in LKW mit Kombi-Abbruchzange und Sortiergreifer	Hydraulikbagger: Liebherr A 924 (gummibereift, 23,8t, 129kW / 175PS), Kombi-Abbruchzange: Verachert VTC 50 (max. Schließkraft: 3.430kN, Gewicht: 3,6t), Sortiergreifer: Verachert VRG 40 (Greiferinhalt: 0,9 m³, Gewicht: 1,68 t), LKW: MAN Sattelaufleger mit Kippmulde: 20m³	Kranstützen aus Stahl Profil I 30 (entspricht HEA 300) Stahlgute unbekannt Länge: 6 x 5,2m Abbruchhöhe bis 5,2m ü. GOK	1	3,8	t	0,1	-	10	-	
<b>Scherschneiden einer Kranbahn einer Krananlage</b> durch Hydraulikbagger mit Kombi-Abbruchzange, Aufbereiten, Sortieren und Laden des Abbruchmaterials in LKW mit Kombi-Abbruchzange und Sortiergreifer	Sortiergreifer: Verachert VRG 40 (Greiferinhalt: 0,9 m³, Gewicht: 1,68 t), LKW: MAN Sattelaufleger mit Kippmulde: 20m³	Kranbahn aus Stahl Profil IP 25 (vergleichbar IPE 240) Stahlgute unbekannt Länge: 2 x 39,2m Abbruchhöhe bis 5,5m ü. GOK	1	4,2	t	0,296	-	3,4	-	
<b>Demontage Deckenverkleidung</b> Abnehmen der Deckenplatten. Demontage der Aufhängung.	Dreiwegschneider, Steckschlüssel mit Nuss	Deckenplatten aus Mineralfaserdämmstoffen	3	1875	m²	0,046	-	21,74	-	

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[E/h]	
						Min.	Max.	Aufwandswert	Leistungs- wert
<b>Rückbau Bitumenbahn</b> Schlitzen der Bitumenbahnen und Abtragen des Bitumens.	Axt, Autokran, Bodensäge, Stemmeln, Stielspachtel	Bitumen, Dicke: 2cm	5	1754	m <sup>2</sup>	0,086	-	11,63	-
<b>Rückbau Bitumenbahn</b> Abtragen und entsorgen der Dachpappe.	Axt, Autokran, Bodensäge, Stemmeln, Stielspachtel	Bitumenbahn	-	1754	m <sup>2</sup>	0,13	-	7,69	-
<b>Demontage Holzwolle-Dämmstoff</b> Trennen der Dämmmaterialien von der Oberfläche, Zerkleinern der Dämmstoffe.	Stemmeln, Stielspachtel	Dämmplatten aus Holzfasern	3	635	m <sup>3</sup>	0,034	-	29,40	-
<b>Entfernen der Dämmung der Stegleitungen</b> Manuelles Öffnen der Leitungschächte und Entfernen des Abfalls, Öffnen der Glaswolldämmung und Trennen von der Leitung, Entsorgen des Mülls, Besuchen der Sicherheitsbestimmungen bzgl. KMF	Cuttermesser, Hammer, Schaufel	Glaswolle, metallische Stegleitungen	1	20,15	m	0,08	-	12,1	-
<b>Entfernen der Heizkörper inkl. Dämmung</b> Zerschneiden der Heizungsleitungen, Ausheben des Heizkörpers, Aufbrechen der Gipskartonplatten und Abtragen der Styropordämmung	Kreissäge, Schaber, Stemmeln	Heizkörper, Styroporplatten, Gipskartonplatten	1	3	Stück	0,15	-	6,71	-

Entfernung

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	Aufwandswert		Leistungswert	Mht.	Max.	Min.	[€/h]
						[h/E]	[€/E]					
<b>Demontage Edelstahlrundrohr</b> Trennen der Rundrohre mittels des Winkelschleifers. Anschließend Abtransport der Edelstahlrohre.	Gerüst, Winkelschleifer	VA-Edelstahlrundrohr, 20mm	3	1288	m	0,044	-	22,73	-	-	-	-
		VA-Edelstahlrundrohr, 28mm – 40mm	3	1953	m	0,06	-	16,67	-	-	-	-
		VA-Edelstahlrundrohr, 140mm	2	540	m	0,098	-	10,20	-	-	-	-
<b>Demontage Kupferrohr</b> Trennen der Kupferrohre mittels des Winkelschleifers. Anschließend Abtransport der Kupferrohre.	Gerüst, Winkelschleifer	Kupferrohr, 30mm	2	380	m	0,039	-	25,64	-	-	-	-
		Elektrokabel, bis 18mm	1	17720	m	0,007	-	142,86	-	-	-	-
<b>Demontage Elektroleitungen</b> Trennen der Leitungen und Entsorgung der Leitungen.	Dreiwegschneider, Gerüst	Elektrokabel, größer 18mm	1	1600	m	0,012	-	83,33	-	-	-	-
		Trockenbauwände aus Gipskartonplatten	3	1563	m <sup>2</sup>	0,14	-	7,14	-	-	-	-
<b>Rückbau und Entsorgung Gipskartonplatten</b> Abtrennen und Zerkleinern der Gipskartonplatten. Anschließend Entsorgung der Gipskartonplatten.	Vorschlaghammer, Stemmmeißen	Porenbetonstein	2	178,74	m <sup>2</sup>	0,099	-	10,10	-	-	-	-
		Vorschlaghammer, Gerüst, Radlader	2	430,40	m <sup>2</sup>	0,15	-	6,67	-	-	-	-
<b>Rückbau und Entsorgung nichttragendes Mauerwerk</b> Einschlagen der Wände, Ausheben der Wandteile mit Autokran oder Abtransport der Wände mit Schubkarren.	Vorschlaghammer, Gerüst, Autokran, Schubkarren, Schaufel	Porenbetonstein	2	178,74	m <sup>2</sup>	0,099	-	10,10	-	-	-	-
		Vorschlaghammer, Gerüst, Radlader	2	430,40	m <sup>2</sup>	0,15	-	6,67	-	-	-	-

Esicherung

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[E/h]	
						Min.	Max.	Leistungswert	Min.
<b>Einleitern</b>									
Rückbau und Entsorgung nichttragendes Mauerwerk Einschlagen der Wände, Ausheben der Wandteile mit Autokran oder Abtransport der Wände mit Schubkarren.	Vorschlaghammer, Gerüst, Schubkarren, Schaufel	Porenbetonstein		224	m <sup>3</sup>	0,12	-	8,33	-
Abgreifen von Wänden aus Mauerwerk durch Hydraulikbagger mit Sortiergreifer, Sortieren und Laden des Abbruchmaterials in LKW mit Tieföffel	Hydraulikbagger: Liebherr A 924 (gummibereift, 23,8t, 129kW / 175PS) Kombi-Abbruchzange: Veracht VTC 50 (max. Schließkraft: 3.430kN, Gewicht: 3,6t), Sortiergreifer: Veracht VRG 40 (Greiferinhalt: 0,9m <sup>3</sup> , Gewicht: 1,68t), Tieföffel mit Zähnen: Hersteller nicht bekannt (Löffelinhalt: 1,4m <sup>3</sup> ), Tieföffel mit Schneide: Hersteller nicht bekannt (Löffelinhalt: 1,2m <sup>3</sup> ), LKW: MAN Sattelauflieger mit Kippmulde: 20m <sup>3</sup>	Wände aus Porenbetonsteinen inklusive Mörtel und Putz Wanddicke: 0,12 / 0,2m Wandhöhe: 2,3 / 5,3 - 8,3m Wandlänge: 3 - 6m / 10,2 - 12,1m Abbruchhöhe bis 8,3m ü. GOK		15,3	m <sup>3</sup>	0,047	-	21,3	-
Eindrücken von Wänden aus Mauerwerk durch Hydraulikbagger mit Sortiergreifer, Sortieren und Laden des Abbruchmaterials in LKW mit Tieföffel			2	61,3	m <sup>3</sup>	0,036	-	27,8	-
Abgreifen von Trapezblechen durch Hydraulikbagger mit Sortiergreifer und Kombi-Abbruchzange, Sortieren und Laden des Abbruchmaterials in LKW mit Sortiergreifer		Trapezblechprofile aus Stahl t = 1mm ; l = 3,0m ; b = 1,5m g = 10kg/m <sup>2</sup> ; Abbruchhöhe: 5,3 - 8,3m ü. GOK	1	879,6	m <sup>3</sup>	0,004	-	250	-

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[E/h]	
						Aufwandswert	Min.	Max.	Leistungswert
<b>Rückbau oberirdisches Tragwerk</b>									
<b>Abgreifen von Fensterflächen</b> durch Hydraulikbagger mit Kombi- Abbruchzange, Sortieren des Abbruchmaterials und Laden des Abbruchmaterials in LKW mit Sortiergreifer und Tieföffel	Hydraulikbagger: Liebherr A 924 (gummibereift, 23,8t, 129kW / 175PS) Kombi-Abbruchzange: Verachtert VTC 50 (max. Schließkraft: 3.430kN, Gewicht: 3,6t); Sortiergreifer: Verachtert VRG 40 (Greiferinhalt: 0,9m³, Gewicht: 1,68t); Tieföffel mit Zähnen: Hersteller nicht bekannt (Löffelinhalt: 1,4m³), Tieföffel mit Schneide: Hersteller nicht bekannt (Löffelinhalt: 1,2m³), LKW: MAN Sattelauflieger mit Kippmulde: 20m³	Rahmen aus Stahlblechen t = 5 - 7mm ; b = 28 / 48mm ; l = 1,55 - 6,5m ; Fenster aus Drahtglas ; t = 7mm Abbruchhöhe: 1,5 - 7,8m ü. GOK	1	107,1	m³	0,008	-	125	-
<b>Rückbau tragendes Mauerwerk</b> Zerstören des Mauerwerks mittels eines Hydraulikbaggers mit unterschiedlichen Anbaugeräten.	Hydraulikbagger	Mauerwerk unterschiedlicher Lage und Abmessungen	1	1794,37	m³	0,013	-	76,92	-

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	Aufwandswert		Leistungswert		Mx.	Mm.
						[h/E]	[E/h]	[h/E]	[E/h]		
<b>Rückbau oberirdisches Tragwerk</b>											
Einziehen von Wänden aus Mauerwerk durch Hydraulikbagger mit Kombi- Abbruchzange, Sortieren des Abbruchmaterials mit Tieföffel	Hydraulikbagger: Liebherr A 924 (gummibereift, 23,8 t, 129 kW / 175 PS), Kombi-Abbruchzange: Verschleiß VTC 50 (max. Schließkraft: 3.430 kN, Gewicht: 3,6 t), Sortiergreifer: Verachert VRG 40 (Greiferinhalt: 0,9 m <sup>3</sup> , Gewicht: 1,68 t)	Stützen aus Stahl: Profil I 16 (entspricht HEA 160) Stahlgüte nicht bekannt, Länge: 1,6 - 8,0 m	1	3,6	m <sup>3</sup>	0,66	1,52	-	-	-	-
						0,06	16,67	-	-	-	-
Stemmen von Wänden aus Mauerwerk durch Hydraulikbagger mit Kombi- Abbruchzange, Sortieren des Abbruchmaterials mit Tieföffel	Vorschlaghammer, Zimmermanns-hammer	Wände aus Ziegelmauerwerk, Steinfestigkeitsklasse unbekannt, d = 30cm	2	3,7	m <sup>3</sup>	1,3729	0,7	0,6960	2,0498	0,5	1,4
0,23						4,35	-	-	-	-	
Einschlagen der Wand Einschlagen der Wand aus Mauerwerk.	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer (2,21t; 960l)	Außenwände aus Ziegelmauerwerk, Steinfestigkeitsklasse unbekannt, d=25cm und Innenwand aus Ziegelmauerwerk, Steinfestigkeitsklasse unbekannt, d=15cm	4	22,89	m <sup>3</sup>	0,0743	13,5	0,0029	0,1515	6,6	340,2
0,0743						13,5	0,0029	0,1515	6,6	340,2	

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	Aufwandswert		Leistungswert		Max.	Min.	
						[h/E]	[€/h]	[h/E]	[€/h]			
<b>Rückbau oberirdischer Tragrahk</b>												
Eindrücken der Wand Eindrücken der Wand aus Mauerwerk. Sortieren der Abfälle und Lagerung auf Haufwerken oder direktes Verladen in Entsorgungscontainer.	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Zwischalen Abbruchzweifel (2,21t; 960l)	Wände aus Ziegelmauerwerk, Steinfestigkeitsklasse unbekannt, d = 25cm bis 40cm	1	43,5	m <sup>3</sup>	0,0045	-	222,4	-	-	-	
<b>Rückbau der Mauerwerkswände</b> Pressschneiden, einziehen und eindrücken der Mauerwerkswände. Bearbeiten des Bauabfalls. Aussortieren des Stahls.	Traggerät mit Schaufel, Pressschneider, Abbruchstiel, Sortiergreifer	Wände aus Poroton, Ytong, Kalksandstein, Leichtbeton	1	110,61	m <sup>3</sup>	0,02	0,01	42,2	0,04	121	25,5	
<b>Pressschneiden von Wänden aus Stahlbeton</b> durch Hydraulikbagger mit Kombi- Abbruchzange, Aufbereiten des Abbruchmaterials mit Kombi- Abbruchzange und Sortieren des Abbruchmaterials mit Tieflöffel	Hydraulikbagger: Liebherr A 924 (gummibereift, 23,8t, 129kW / 175PS), Kombi-Abbruchzange: Verachtet VTC 50 (max. Schließkraft: 3.430kN, Gewicht: 3,6t), Sortiergreifer: Verachtet VRG 40 (Greifermhalt: 0,9m <sup>3</sup> , Gewicht: 1,68t)	Betongüte unbekannt, Pfeilen aus Stahl, Profil I 16 (entspricht HEA 160) Stahlgüte nicht bekannt, Länge: 6,5m	1	15,4		0,11	-	9,1	-	-	-	

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[E/h]		
						Min.	Max.	Leistungswert	Min.	Max.
<b>Brüche oder Wulstige Trennwerk</b>										
Pressschneiden von Wänden aus Stahlbeton durch Hydraulikbagger mit Kombi- Abbruchzange. Aufbereiten des Abbruchmaterials mit Kombi- Abbruchzange und Sortieren des Abbruchmaterials mit Tieflöffel	Hydraulikbagger: Liebherr R 934 (kettenbereit, 42,5t, 150kW / 203PS), Kombi-Abbruchzange: Atlas Copco CC 2100 (Brechkraft: 90t, Gewicht: 2,84t), Abbruchhammer: Krupp HM 1500 (Schlagzahl: bis 550/min, Gewicht: 1,92t), Tieflöffel mit Zähnen: Hersteller nicht bekannt. (Löffelinhalt: 1,5m³), LKW: MAN Sattelaufleger mit Kippmulde: 20m³	Wände aus Stahlbeton B 225 Wanddicke: 0,4m Länge: 12,5m Höhe: ca. 1,0m Bewehrungsgrad: nicht bekannt Annahme: 40kg/m³ Abbruchhöhe: bis -1,0m u. GOK	2	5,0	m²	0,224	-	4,46	-	

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitshäufige	Menge	Einheit	Aufwandswert	[h/E]		[€/h]		
							Min.	Max.	Leistungswert	Min.	Max.
<b>(Hydromechanisches Trägwerk)</b>											
<b>Pressschnitten der Außenwand</b> Pressschneiden der Außenwände mit Hydraulikbagger und Abbruchzange oder Pulverisierer (inkl. freischaufeln mit Tieföffel, Dämmung aussortieren mit Sortieröffel, Fundament zerkleinern mit Abbruchzange oder Pulverisierer).	Hydraulikbagger Komatsu PC 350 NLC (35t, 194kW) mit OilQuick Schnellwechselsystem und Abbruchzange Verachtert VTC 30 (2,0t), Pulverisierer Verachtert VTP 40 (2,8t), Pulverisierer NPK G-28J (3,0t), Sortieröffel Steck GTL 16-20 - 1300 (1,3t), Tieföffel Leimhoff HTL25 GP (0,9t)	Außenwand aus Stahlbeton, Betongüte unbekannt, d=30cm, Stabbeehrung (Ø 4mm), Bewehrungsgrad ca. 40kg/m³	2	28,28	m³	0,232	0,03	0,44	4,31	2,28	40,28
<b>Rückbau Stahlbetonbauteile</b> Zerstören der Stahlbetonbauteile mittels eines Hydraulikbaggers mit unterschiedlichen Anbaugeräten.	Hydraulikbagger	Stahlbetonbauteile unterschiedlicher Lage und Abmessungen	1	1714,78	m³	0,075	-	-	13,33	-	-
<b>Abgreifen Stahlbetonunterzug</b> Abgreifen eines Stahlbetonunterzuges. Anschließend sortieren der Abfälle und Lagerung auf Hautverletern oder dritteltes Verladen in Entsorgungscontainer.	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer (2,21t; 960l)	Stahlbetonunterzug, Betongüte unbekannt, 25cm * 40cm	1	3,6	m³	0,0945	-	-	10,6	-	-

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[E/h]			
						Min.	Max.	Aufwandswert	Leistungswert	Min.	Max.
<b>Mittels oberirdisches Traggerät</b>											
<b>Stahlkonstruktion schneiden 0-4m</b> Scherschneiden der Stahlkonstruktion mit Hydraulikbagger mit Stahlschere (inkl. Abbruchmaterial mit Greifer sortieren und in Container verladen)	Hydraulikbagger Komatsu PC 350 NLC (35t, 194kW) mit OilQuick Schnellwechselsystem und Stahlschere Steck S201 (2,0t), Sortiergreifer GTL 16- 20 - 1300 (1,3t)	Verglaste Stahlkonstruktion aus Stahl-Hohlprofilen (RR 140 x 80 x 5 bis RR 180 x 80 x 5)	2	298,62	m	0,020	0,001	0,038	50,92	26,37	733,78
<b>Stahlkonstruktion schneiden 4-8m</b> Scherschneiden der Stahlkonstruktion mit Hydraulikbagger und Stahlschere (inkl. Abbruchmaterial mit Greifer sortieren und in Container verladen)	Hydraulikbagger Komatsu PC 350 NLC (35t, 194kW) mit OilQuick Schnellwechselsystem und Stahlschere Steck S201 (2,0t), Sortiergreifer GTL 16- 20 - 1300 (1,3t)	Verglaste Stahlkonstruktion aus Stahl-Hohlprofilen (RR 140 x 80 x 5 bis RR 180 x 80 x 5)	2	96,60	m	0,003	-	-	349,70	-	-
<b>Stahlkonstruktion schneiden 8-12m</b> Scherschneiden der Stahlkonstruktion mit Hydraulikbagger und Stahlschere (inkl. Abbruchmaterial mit Greifer sortieren und in Container verladen)	Hydraulikbagger Komatsu PC 350 NLC (35t, 194kW) mit OilQuick Schnellwechselsystem und Stahlschere Steck S201 (2,0t), Sortiergreifer GTL 16- 20 - 1300 (1,3t)	Verglaste Stahlkonstruktion aus Stahl-Hohlprofilen (RR 140 x 80 x 5 bis RR 180 x 80 x 5)	2	31,05	m	0,011	-	-	93,32	-	-
<b>Abgreifen Stahlunterzug</b> Abgreifen eines Stahlunterzuges,	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer (2,21t; 960l)	Stahlunterzug aus IPE330- Profil, L=8m	1	1,6	t Stahl	0,0469	-	-	21,3	-	-

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	Aufwandswert		Leistungswert		[€/h]	
						Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
<b>Hochbau überirdisches Tragwerk</b>											
Stemmen von Unterzügen aus Stahlbeton durch Hydraulikbagger mit Kombi- Abbruchzange, Aufbereiten des Abbruchmaterials mit Kombi- Abbruchzange und Sortieren des Abbruchmaterials mit Tieföffel	Hydraulikbagger: Liebherr R 934 (vertenbereift, 42,5t, 150kW / 203PS), Kombi-Abbruchzange; Atlas Copco CC 2100 (Brechkraft: 90t, Gewicht: 2,84t), Abbruchhammer: Krupp HM 1500 (Schlagzahl: bis 550/min, Gewicht: 1,92t), Tieföffel mit Zäunen: Hersteller nicht bekannt (Löffelinhalt: 1,5m³), LKW: MAN Sattelaufleger mit Kippmulde: 20m³	Unterzüge aus Stahlbeton B 225 Länge: 2,2 - 6,25 m Breite: 0,35 m Höhe: 0,65 m Bewehrungsgrad: nicht bekannt Annahme: 100 kg/m³ Abbruchhöhe: ca. 0,5 m ü. GOK	2	3,65	m³	0,162	-	6,17	-	-	-
Stemmen der Decke Stemmen der Stahlbetondecke.	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Abbruchhydraulik- hammer (2,2t; 4500J; 350 - 550bpm)	Stahlbetonhohlkasten- decke, Betongüte unbekannt, d=30cm und Decke aus bewehrtem Mauerwerk, Steinfestigkeitsklasse unbekannt, d=20cm	1	23,5	m³	0,0626	0,0470	16,0	0,078	12,8	21,3
Einschlagen der Decke Einschlagen der Decke.	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer (2,21t; 960J)	Decke aus bewehrtem Mauerwerk, Steinfestigkeitsklasse unbekannt, d=20cm	1	45,0	m³	0,0074	0,0039	135,4	0,0109	91,6	259,5

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	Aufwandswert		Leistungswert		Min.	Max.	
						[h/E]	[E/h]	[h/E]	[E/h]			
<b>Rückbau oberirdisches Tragwerk</b>												
<b>Pressschneiden der Decke</b> Pressschneiden der Stahlbetondecke und sortieren der Abfälle.	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Pulverisierer (2,5t; 90t Schließkraft)	Stahlbetondecke, Betongüte unbekannt, d = 8cm	1	4,5	m <sup>3</sup>	0,0159	-	62,7	-	-	-	
<b>Rückbau der Decken</b> Pressschneiden der Stahlbetonteile, Bearbeiten des Bauabfalls; Aus-sortieren des Stahls	Traggerät mit Schaufel, Pressschneider, Abbruchstiel, Sortiergreifer	Horizontale Bauteile (Decken, Balkone) aus Stahlbeton	1	65,61	m <sup>3</sup>	0,12	0,08	8,2	0,17	6	12,8	
<b>Pressschneiden der Decke</b> Pressschneiden der Kellerdecke mit Hydraulikbagger und Abbruchzange oder Pulverisierer (inkl. Bewehrung, TGA-Elemente und Elemente der Flaumauskleidung mit Abbruchzange oder Pulverisierer greifen und in Container verladen).	Hydraulikbagger Komatsu PC 350 NLC (35t, 194kW) mit OilQuick Schnellwechselsystem und Abbruchzange Verachtert VTC 30 (2,0t), Pulverisierer Verachtert VTP 40 (2,8t), Pulverisierer NPK G-28J (3,0t)	Stahlbetondecke, Betongüte unbekannt, d = 20cm, Mattenbewehrung (einlagig, Ø 4mm), Bewehrungsgrad ca. 75kg/m <sup>3</sup>	2	22,28	m <sup>3</sup>	0,220	0,072	4,56	0,368	2,72	13,98	

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[E/h]	
						Min.	Max.	Min.	Max.
Stemmen von Decken aus Stahlbeton durch Hydraulikbagger mit Kombi- Abbruchzange, Aufbereiten des Abbruchmaterials mit Kombi- Abbruchzange und Sortieren des Abbruchmaterials mit Tieföffel	Hydraulikbagger: Liebherr R 934 (kettenbereift, 42,5t, 150kW / 203PS), Kombi-Abbruchzange: Atlas Copco CC 2100 (Brechkraft: 90t, Gewicht: 2,84t), Abbruchhammer: Krupp HM 1500 (Schlagzahl: bis 550/min, Gewicht: 1,92t), Tieföffel mit Zähnen: Hersteller nicht bekannt (Löffelinhalt: 1,5m <sup>2</sup> ), LKW: MAN Sattelaufleger mit Kippmulde: 20m <sup>3</sup>	Decken aus Stahlbeton B 225 Dicke: 0,15m Länge: 1,0 - 6,85m Breite: 6,25m Bewehrungsgrad: nicht bekannt Annahme: 65kg/m <sup>3</sup> Abbruchhöhe: 1,0m ü. GOK	2	6,8	m <sup>3</sup>	0,244	-	4,10	-
						0,316	-	3,16	-
Pressschneiden von Decken aus Stahlbeton durch Hydraulikbagger mit Kombi- Abbruchzange, Aufbereiten des Abbruchmaterials mit Kombi- Abbruchzange und Sortieren des Abbruchmaterials mit Tieföffel									

Büchelles oberirdisches Tragwerk

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	Aufwandswert		Leistungswert		Max.	Min.
						[t, h]	[t, h]	[t, h]	[t, h]		
<b>Rückbau Decke mit Stahlskelett</b> Pressschneiden der Decke mit Hydraulikbagger und Kombiabbruchzange. Im Anschluss daran Scherschneiden oder Umlegen der Stahlkonstruktion. Danach Abgreifen, Umrücken oder Einziehen der Stahlstützen. Abschließend Stahlabfälle auf provisorische Halde setzen.	Hydraulikbagger (34,3 t, 184 kW) mit Kombiabbruchzange (2,68 t, max. 380 bar) und Hydraulikbagger (25,3 t, 125 kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer (2,21 t, 960 l)	Decke, Stahlbeton, Typ Systemfüllgründeckenplatte, 8 m x 2,5 m x 0,1 m, Betonfestigkeitsklasse C30/37, Mattenbewehrung (1-2 Lagen) mit Ø 8 mm, Bewehrungsgrad ca. 60 kg/m³ und Unterzug, Stahl, IPE 450, l = 1,6m mit Kopfbolzendübel und Stützen, Stahl, HEA 180, l = 2,675 - 3,9 m. Abbruchhöhe +3 m GOK.	2	45,1	m³	0,2972	0,2625	0,3320	3,4	3,0	3,8
<b>Rückbau Decke ohne Stahlskelett</b> Pressschneiden der Decke mit Hydraulikbagger und Kombiabbruchzange.	Hydraulikbagger (34,3 t, 184 kW) mit Kombiabbruchzange (2,68 t, max. 380 bar)	Decke, Stahlbeton, Typ Systemfüllgründeckenplatte, 8 m x 2,5 m x 0,1 m, Betonfestigkeitsklasse C30/37, Mattenbewehrung (1-2 Lagen) mit Ø 8 mm, Bewehrungsgrad ca. 60 kg/m³ Abbruchhöhe +3 m GOK.	1	42,0	m³	0,1436	0,1280	0,1592	7,0	6,3	7,8
<b>Abgreifen des Daches</b> Abgreifen der Flachdachkonstruktion aus Holz. Anschließend sortieren der Abfälle und Lagerung auf Haufwerken oder direktes Verladen in Entsorgungscontainer.	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer (2,21t; 960l)	Flachdachkonstruktion aus Holz mit Holzfachwerkträgern und Holzstützen, Dacheindeckung aus Dachpappe	5	25,0	m³	2,0788	0,5096	3,648	0,5	0,3	2

Tab. 10.10.10 oberirdisches Tragwerk

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		Leistungswert	Min.	Max.
						Aufwandswert	Min.			
Einkauf überhöhter Tragwerk										
<b>Sortieren Stahlbetonabfälle</b> Sortieren der Stahlbetonbauteile mit einem Hydraulikbagger mit einem Tieflöffel	Hydraulikbagger mit Tieflöffel, V=4,5m³	Stahlbetonabfälle	1	3509	m²	0,015	-	66,67	-	-
<b>Aufbereitung Stahlbetonabfälle</b> Hydraulikbagger (25,3 t) mit Tieflöffel Hydraulikbagger (34,3 t) mit Tieflöffel Recycling-Baustoffe werden anschließend mit gleichem oder von weiterem Hydraulikbagger (34,3 t) auf Miete umgesetzt.	Hydraulikbagger (25,3 t, 125 kW) mit Tieflöffel Hydraulikbagger (34,3 t, 184 kW) mit Tieflöffel 2,4 m³ und Mobilcracker (37 t, 226 kW, max. 95 cm x 65 cm Aufgabegröße, bis 0/64 Korn möglich)	Abfälle, AVV 17 01 01 - Beton, weist Bewehrung auf, darunter Stahlbetonbruchstücke aus Decke, Bodenplatte, Stahlbeton und Streifenfundamenten.	1	69,4	m³	0,0154	-	64,8	-	-
			2	173,6	t	0,0062	-	161,97	-	-
Hilfsbau unterirdisches Tragwerk										
<b>Bodenplatte zersägen</b> Sägen der Bodenplatte mit Betonsäge auf Schienen (inkl. Auf- und Abbau der Betonsäge)	Betonsäge Tyrolit FZ-4s, Schienenlänge je 2 m, Sägeblätter (d=0,6/0,8/1,0/1,4/1,6 m)	Stahlbetondecke, Betongüte unbekannt, d = 65 cm, Mattenbewehrung (einlagig, Ø 4mm), Bewehrungsgrad ca. 75kg/m²	2	92,10	m	0,347	0,305	2,88	2,56	3,28

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[E/h]		
						Min.	Max.	Leistungswert	Min.	Max.
<b>Beschreibung abstrahlbeton- Trägerelemente</b>										
<b>Rückbau Bodenplatte</b> Reißen der Bodenplatte mit Hydraulikbagger und Tieflofl. Lösen der Sauberkeitsschicht manuell oder mit Großgerät, ggf. mit zusätzlicher Arbeitskraft (+1). Abschließend Stahlbetonabfälle mit Hydraulikbagger und Tieflofl oder Abbruchgreifer abschließend auf Halde setzen.	Hydraulikbagger (25,3t, 125kW) mit Tiefloflvolumen 2,0m³	Bodenplatte, Stahlbeton, d = 20cm, Betongüte unbekannt, Mattenbewehrung (einlagig) mit Ø 4mm, Bewehrungsgrad ca. 11kg/m³ und Sauberkeitsschicht, Kunststoffbaufole, d = 0,2mm. Abbruchhöhe GOK.	1	11,5	m²	0,0643	-	-	15,6	-
	Hydraulikbagger (34,3t, 184kW) mit Tiefloflvolumen 2,4m³		2	19,5	m²	0,0736	-	-	13,6	-
	Hydraulikbagger (34,3t, 184kW) mit Tiefloflvolumen 2,4m³ und Hydraulikbagger (25,3t, 125kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer (2.21t, 960l)		2	28,3	m²	0,0729	-	-	-	13,7
			3	26,2	m²	0,0777	-	-	12,9	-
<b>Rückbau Fundamente</b> Zerkleinern der Fundamente mittels des Abbruchhammers	Abbruchhammer, Hydraulikbagger	Fundamente	1	3145,2	m²	0,03	-	-	33,33	-
<b>Abgreifen Fundamente</b> Abgreifen der Fundamente. Sortieren der Abfälle und Umsetzen störender Betriebsmittel.	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Sieböffel (1750l)	Streifenfundament, Betongüte unbekannt, 0,3m*0,8m	1	6,2	m² Beton	0,0392	-	-	26,2	-

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[E/h]	
						Min.	Max.	Aufwandswert	Leistungswert
<b>Rückbau oberirdisches Tragwerk</b>									
<b>Rückbau Fundamente</b> Reißen der Streifenfundamente mit Hydraulikbagger und Tieflöfel. Stahlbetonabfälle mit Hydraulik- bagger und Abbruchgreifer abschließend auf Halde setzen.	Hydraulikbagger (34,3 t, 184 kW) mit Tieflofelvolumen 2,4 m <sup>3</sup> und Hydraulikbagger (25,3 t, 125 kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer (2,21 t, 960 l)	Streifenfundamente, Stahlbeton, h = 85 cm, b = 30 cm (Randstreifen) bzw. 55 cm (Mittelstreifen), Betongüte unbekannt, Längsbewehrung 4-Ø 10 - 14, Bügelbewehrung Ø 8 - 25, Bewehrungsgrad ca. 22-27 kg/m <sup>3</sup> Abbruchhöhe -0,85 m GOK.	2	9,4	m <sup>3</sup>	0,1785	5,6	1,05	4,94
<b>Fundament abbrechen</b> Stemmen und Pressschneiden des Fundamentes mit Hydraulikbagger und Reißzahn bzw. Abbruchzange oder Pulverisierer (inkl. freischaufeln mit Tieflöfel, Dämmung aussortieren mit Sortierlöfel, Fundament zerkleinern mit Abbruchzange oder Pulverisierer).	Hydraulikbagger Komatsu PC 350 NLC (35t, 194kW) mit OilQuick Schnellwechselsystem und Abbruchzange Veracht VTC 30 (2,0t), Pulverisierer Veracht VTP 40 (2,8t), Pulverisierer NPK G-28J (3,0t), Reißzahn (ca. 1,5t), Sortierlöfel Steck GTL, 16-20 · 1300 (1,3t), Tieflofel Lehnhoff HTL25 GP (0,9t)	Fundament aus Stahlbeton, Betongüte unbekannt, d x h = 40x70cm, Stabbewehrung (Ø 4mm), Bewehrungsgrad ca. 45kg/m <sup>3</sup>	2	24,42	m <sup>3</sup>	0,579	1,73	1,05	4,94

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	[h/E]		[€/h]	
						Min.	Max.	Min.	Max.
<b>Einbau oberirdisches Tragwerk</b>									
Stemmen von Gründungskörpern durch Hydraulikbagger mit Abbruchhammer, Aufbereiten des Abbruchmaterials mit Kombi-Abbruchzange und Abbruchhammer, Sortieren und Laden des Abbruchmaterials in LKW mit Tiefloeffel	Hydraulikbagger: Liebherr R 924 (kettenbereift, 23,8t, 120kW / 163PS), Abbruchhammer: Atlas Copco MB 1700 (Schlagzahl: 320 - 640/min; Gewicht: 1,7t), Kombi-Abbruchzange: Atlas Copco CC 3500 (max. Brechkraft: 90t; Gewicht: 2,84t), Tiefloeffel mit Schneide: Hersteller nicht bekannt (Löffelhalt: 1,7m³), LKW: MAN Sattelaufleger mit Kippmulde: 20m³	Bodenplatte aus Stahlbeton B 225 L / B / H: 34,4 / 9,5 / 0,15m Bewehrungsgrad: nicht bekannt Annahme: 45kg/m³ Abbruchhöhe: ca. 0,2m ü. GOK Streifenfundamente (StB) L / B / H: 7 x (10,1 / 0,6 / 0,14m) Bewehrungsgrad: nicht bekannt Annahme: 45kg/m³	2	67,8	m³	0,186	-	5,38	-
		Pflasterbelag, Beton, Typ Doppel T, d = 8cm, l = 20cm, b = 16cm.	1	9,7	m³	0,0968	-	10,3	-
<b>Rückbau Zufahrtsrampe</b>									
Rückbau Zufahrtsrampe Reißen des Betonpflasters mit Hydraulikbagger und Tiefloeffel, Stahlbetonabfälle abschließend auf Halde setzen.	Hydraulikbagger (25,3t, 125kW) mit Tiefloeffelvolumen 2,0m³	Pflasterbelag, Beton, Typ Doppel T, d = 8cm, l = 20cm, b = 16cm.	1	9,7	m³	0,0968	-	10,3	-

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	Aufwandswert		Leistungswert			
						[h/E]	Min.	Max.	Min.	Max.	
<b>Abfallentsorgung</b>											
<b>Verladen Abfällen</b> Verladen von Mischabfällen in einen Entsorgungscontainer	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer (2,21t; 960l)	Mischabfällen	1	22,0	t	0,1088	0,0378	0,1799	9,2	5,6	26,5
<b>Baubefülle verladen</b> Baubefülle mit Hydraulikbagger und Tieföffel in Lkw verladen (inkl. Baubefülle mit Magnet von Stahl befehlen).	Hydraulikbagger Komatsu PC 350 NLC (35t, 194kW) mit OilQuick Schnellwechselsystem und Tieföffel Lehnhoff HTL25 GP (0,9t), Magnet Steck MP 11 (2,3t)	Abfälle, AVV 17 01 07 - Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik (1,3t/m³), geringer Stahlanteil	2	452,80	t	0,015	0,006	0,025	65,89	40,54	175,22
<b>Transport Baubefülle</b> Abtransport des Baubefülls mit Hilfe eines Muldenkippers zum Recyclingplatz.	Muldenkipper	Baubefülle	1	3509	m³	0,025	-	-	40,00	-	-
<b>Verladen Holzabfälle</b> Verladen der Holzabfälle in einen Entsorgungscontainer.	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer (2,21t; 960l)	Holzabfälle, Altholzkategorie IV	1	24,0	t Holz	0,0739	-	-	13,5	-	-
<b>Verladen Stahlabfälle</b> Stahlabfälle mit Hydraulikbagger und Zweischalen Abbruchgreifer in Container (40 m³, 7m x 2,4m x 2,4m) verladen.	Hydraulikbagger (25,3 t, 125 kW) mit Zweischalen Abbruchgreifer (2,21 t, 960 l)	Abfälle, AVV 17 04 05 - Eisen und Stahl, darunter Unterzug, Stahl, IPE 450, I = 16 m mit Kopfbohlenübel und Sturzen, Stahl, HEA 180 I = 2,675 - 3,9 m.	1	23,44	t	0,0221	-	-	45,3	-	-

Arbeitsaufgabe und Verfahrensbeschreibung	Betriebsmittel	Arbeitsgegenstand	Arbeitskräfte	Masse	Einheit	Aufwandswert		Leistungswert		Mib.	Max	
						[t/E]	[E/h]	[t/E]	[E/h]			
<b>Abfallentsorgung</b>												
<b>Zerkleinern des Betonabfalls</b> Der Bauabfall wird am Recyclingplatz durch einen Hydraulikbagger mit Pulverisierer zerkleinert.	Hydraulikbagger mit Pulverisierer	Bauabfälle	1	1714,78	m³	0,21	-	4,76	-	-	-	
<b>Bearbeitung Stahlabfälle</b> Scherschneiden von Unterzügen auf eine Länge von ca. 6 m mit Hydraulikbagger und Kombistrahlschere (3,31 t, 600 mm Maulöffnungsweite)	Hydraulikbagger (34,3 t, 194 kW) mit Kombistrahlschere (3,31 t, 600 mm Maulöffnungsweite)	Abfälle, AVV 17 04 05 - Eisen und Stahl, darunter Unterzüge, Stahl, IPE 450, l = 16 m mit Kopfbolzendübel und Stützen, Stahl, HEA 180 l = 2,675 - 3,9 m.	1	8.010	t	0,0892	-	12,0	-	-	-	
<b>Aufbereitung Stahlbeton</b> Beschicken der Brechanlage mit Abbruchmaterial.	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Tiefhöffel (1/750l)	Abbruchmaterial, vorwiegend Beton	1	230,5	m³	0,0196	0,0131	51,1	0,0260	38,5	76,2	
<b>Aufbereitung Mauerwerk</b> Beschicken der Brechanlage mit Abbruchmaterial.	Hydraulikbagger (30t; 140kW) mit Tiefhöffel (1/750l)	Abbruchmaterial, vorwiegend Ziegel	1	210	m³	0,0181	-	55,1	-	-	-	
<b>Aufbereiten des mineralischen Abbruchs</b> Aufbereitung des Bauabfalls durch eine Brechanlage und eines Hydraulikbagger	Hydraulikbagger, Mobiler Backenbrecher	Mineralisches Abbruchmaterial	1	1714,78	m³	0,008	-	120	-	-	-	

## Anlage 6 – Übersicht der Gesprächspartner

	U 1	U 2	U 3	U 4	U 5
<b>Unternehmensstandort: Bundesland</b>	BW	RLP	RLP	BW	NRW
<b>Position des Experten im Unternehmen</b>	BL	Prokurist	GF	GF	Kalkulator
<b>Kernkompetenzen des Unternehmen</b>	Ingenieurbau, Wasserkraft, Industrie, Wohnungsbau, Straße, Tiefbau, Abbruch, Sanierung	Abbruch, Entkernung, Schadstoffsanierung, Recycling (Bauschutt u. Schrott)	Abbruch, Entsorgung, Flächen- und Baustoff- Recycling	Entkernung, Abbruch, Rückbau, Demontage, Schadstoffsanierung, Flächenrecycling, Entsorgung	Erd- und Abbruch- arbeiten, Container- dienst, Bauschutt- recycling, Bodenver- wertung, Entsor- gungsmanagement
<b>Sparte der Abbruchobjekte</b>	Hochbau, Straßenbau	Gebäudeabbruch, wenig Straßenabbruch	Gebäudeabbruch, wenig Straßenabbruch	Industrieabbruch, Produktionsanlagen, Kraftwerke	Wohn- und Geschäfts- bauten
<b>Tätigkeits-Umkreis</b>	überregional BW, international: Schweiz	national (regionale Bereiche, national aufgestellt)	regional	überregional, teilweise auch international	regional
<b>Abbruchtätigkeit seit</b>	2010	1994	1964	2005	1988
<b>Anzahl der Mitarbeiter</b>	550 gesamt	120	130	45	55-60
<b>Jahresumsatz gesamt (in Mio. €)</b>	70	20-40	22-25	12	10,0-12,0
<b>Jahresumsatz Abbruch (in Mio. €)</b>	8,5% 6	90% 18-36	30% 6,5-7,5	75-80% 9,0-10	60% 6,0-7,5

	U 6	U 7	U 8	U 9	U 10
<b>Unternehmensstandort: Bundesland</b>	Hessen	NRW	NRW	Bayern	Hessen
<b>Position des Experten im Unternehmen</b>	GF	GF	GF	BL	Abteilungsleiter
<b>Kernkompetenzen des Unternehmen</b>	Abbruch (Gebäude-, Bunker-, Industrie- und Hochhaus-), Sprengungen, Entkernungen, Erdarbeiten	Rückbau (25%), Erdarbeiten (50%), Bodensanierung, Entsorgung (25%) inkl. DK1-Deponie	Abbruch, Rückbau, Industrierverschrot- tung, Containerdienst, Asbestsanierung, Re- cycling	Tiefbau, Erdbau, Abbruch, Flächen- recycling, Horizontal- bohrtechnik/ Rohrlei- tungsbau, Kiesvertrieb, Transportdienstlei- stungen	<i>Auftraggeber</i>
<b>Sparte der Abbruchobjekte</b>	Gebäude-, Bunker- Industrieabbruch	Gebäudeabbruch	Gebäudeabbruch, Brückenrückbau	alles	Hochbau, Straßenbau
<b>Tätigkeits-Umkreis</b>	95% regional, 5% national, inter- national im Versuch	regional bis 50km Umfeld	30% regional, größ- tenteils national, ab und an international	national, international (in anderen Sparten)	regional
<b>Abbruchtätigkeit seit</b>	1970	1974	1982	1992	
<b>Anzahl der Mitarbeiter</b>	50	42	125	(400) 70 Abbruch	
<b>Jahresumsatz gesamt (in Mio. €)</b>	12-13	12	26-28	70-85	
<b>Jahresumsatz Abbruch (in Mio. €)</b>	95% 11,4-12,4	25% 3	65% 18	20% 16-18	

	<b>U 11</b>	<b>U 12</b>	<b>U 13</b>	<b>U 14</b>	<b>U 15</b>
<b>Unternehmensstandort: Bundesland</b>	BW	Hessen	Hessen	Bayern	Hessen
<b>Position des Experten im Unternehmen</b>	BL	BL	GF	GF	GF
<b>Kernkompetenzen des Unternehmen</b>	Abbrucharbeiten, Erdarbeiten, Transporte, Recycling, Baustoffe, Rekultivierung, Deponien	Abbruch, Entkernung, Schadstoffsanierung, Erdaushub	Abbruch, Entkernung, Sanierung, Verwertung u. Entsorgung, Erdbau, Transporte	Abbruch, Recycling, Erdbau	Abbruch-u. Erdarbeiten, Entkernung, Schadstoffsanierung, Demontage
<b>Sparte der Abbruchobjekte</b>	Gebäudeabbruch, teilweise Brücken	Gebäudeabbruch	Gebäudeabbruch, Brückenabbruch	Gebäudeabbruch, (Straßenabbruch)	Gebäudeabbruch
<b>Tätigkeits-Umkreis</b>	regional, 2% national	regional, 1% national	regional, 5-10% national, 3% international	60% regional, 40% national	60 %regional, 40% national
<b>Abbruchtätigkeit seit</b>	2005	2009	1960	1989	2006
<b>Anzahl der Mitarbeiter</b>	240 (gesamt)	16	20	10-12	35
<b>Jahresumsatz gesamt (in Mio. €)</b>	60	2,5	8-9	3,5-4,0	2,8
<b>Jahresumsatz Abbruch (in Mio. €)</b>	27% 16	100% 2,5	70% 5,5-6,0	70% 2,5-2,8	100% 2,8