

A. Kühlen, J. Stengel, R. Volk, F. Schultmann,
M. Reinhardt, H. Schlick, S. Haghsheno, A. Mettke,
S. Asmus, S. Schmidt, J. Harzheim

ISA: IMMISSIONSSCHUTZ BEIM ABBRUCH

MINIMIERUNG VON UMWELTBELASTUNGEN (LÄRM, STAUB,
ERSCHÜTTERUNGEN) BEIM ABBRUCH VON HOCH-/TIEFBAUTEN
UND SCHAFFUNG HOCHWERTIGER RECYCLINGMÖGLICHKEITEN
FÜR MATERIALIEN AUS GEBÄUDEABBRUCH

ABSCHLUSSBERICHTE DES FORSCHUNGSPROJEKTS

A. Kühlen, J. Stengel, R. Volk, F. Schultmann,
M. Reinhardt, H. Schlick, S. Haghsheno, A. Mettke,
S. Asmus, S. Schmidt, J. Harzheim

ISA: Immissionsschutz beim Abbruch

Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub,
Erschütterungen) beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten
und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten
für Materialien aus Gebäudeabbruch

Abschlussberichte des Forschungsprojekts

PRODUKTION UND ENERGIE

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion
Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung

Band 16

Eine Übersicht aller bisher in dieser Schriftenreihe
erschienenen Bände finden Sie am Ende des Buches.

ISA: Immissionsschutz beim Abbruch

Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen) beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien aus Gebäudeabbruch

Abschlussberichte des Forschungsprojekts

von

A. Kühlen, J. Stengel, R. Volk, F. Schultmann,
M. Reinhardt, H. Schlick, S. Haghsheno, A. Mettke,
S. Asmus, S. Schmidt, J. Harzheim

Gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark
of Karlsruhe Institute of Technology.
Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu



This document – excluding the cover, pictures and graphs – is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>



The cover page is licensed under a Creative Commons Attribution-No Derivatives 4.0 International License (CC BY-ND 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.en>

Print on Demand 2018 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISSN 2194-2404

ISBN 978-3-7315-0534-1

DOI 10.5445/KSP/1000055155

ISA: Immissionsschutz beim Abbruch

Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen) beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien aus Gebäudeabbruch

Abschlussberichte des Forschungsprojekts,
gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

**Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU),
Karlsruher Institut für Technologie (KIT):**

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Anna Kühlen
Dipl.-Wi.-Ing. Julian Stengel
Dipl.-Wi.-Ing. Rebekka Volk
Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann

Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), KIT:

Dipl.-Ing. Markus Reinhardt
Dr. Ing. Heinrich Schlick
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno

**Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg (BTU)
Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik**

Fachgruppe Bauliches Recycling:

PD Dr.-Ing. habil. Angelika Mettke
Dipl.-Ing. Stefan Asmus M.A.
Dipl.-Ing. Stephanie Schmidt

Jean Harzheim GmbH & Co. KG (Harzheim GmbH):

Dipl.-Ing. Johannes Harzheim

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xv
Endbericht der Phasen 1 und 2	1
Zusammenfassung	3
1 Einleitung	9
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung.....	9
1.1.1 Ausgangssituation	9
1.1.2 Problemstellung	10
1.2 Zielsetzung und Aufbau des Berichts	13
1.2.1 Zielsetzung	13
1.2.2 Abgrenzung.....	14
1.2.3 Aufbau des Berichts	15
2 Definitionen	17
2.1 Abbruchtechniken	17
2.2 Abbruchobjekt.....	19
2.3 Emissionen	21
2.4 Immissionen	25
3 Regelwerke und Stand der Technik.....	27
3.1 Handhabung und Bestimmung von Umwelt- einwirkungen beim Bauwerksabbruch	27
3.1.1 Lärmemissionen/-immissionen.....	27
3.1.2 Staub.....	32
3.1.3 Vibrationen und Erschütterungen	35

3.1.4	Bauteile zur Wiederverwendung/-verwertung, Abbruchabfälle und Schadstoffe.....	38
3.1.5	Arbeits- und Gesundheitsschutz	41
3.2	Hilfsmittel zur Unterstützung des Abbruchprozesses.....	44
3.2.1	Checklisten und Informationsbroschüren	44
3.2.2	Softwaregestützte Werkzeuge.....	45
3.2.3	Fazit.....	46
3.3	Messtechnik beim Abbruch	46
3.3.1	Schallmessungen	46
3.3.2	Staubmessungen.....	47
3.3.3	Erschütterungsmessungen.....	48
3.3.4	Fazit.....	49
4	Gesamtkonzept des Forschungsprojekts.....	51
5	Konzeption des Entscheidungsunterstützungs- werkzeugs für die Abbruchplanung	55
5.1	Systemkern - Datenbasis, Prozessanalyse und Entscheidungslogik	57
5.1.1	Digitales Abbruchobjektmodell	58
5.1.2	Abfolge des Abbruchprozesses.....	59
5.1.3	Technisch mögliche Abbruchtechniken.....	60
5.1.4	Bestimmung der Abbruchvorgangsausprägungen.....	69
5.1.5	Abbruchtechnikauswahl.....	85
5.1.6	Hinweis auf mögliche Schadstoffe	87
5.2	Nutzeroberfläche	91
5.2.1	Nutzereingabe	91
5.2.2	Ausgabedateien	94
5.3	Details zur Erhebung von neuen Daten	97

5.3.1	Experteneinschätzung zur emissions- und immissionsarmen Abbruchplanung	98
5.3.2	Immissionsmessungen auf Abbruchbaustellen	100
5.3.3	Versuche zur Analyse von Erschütterungs- und Schallausbreitungen	110
5.3.4	Rückschluss von Messdaten auf Emissionen	114
5.4	Ausblick auf Phase 3	124
6	Immissionserfassungssystem	125
6.1	Konzeption des Immissionserfassungssystem	126
6.1.1	Aufbau	126
6.1.2	Messablauf und Dokumentation	129
6.2	Versuche mit dem Immissionserfassungssystem	131
6.3	Möglicher Einsatz des Immissionserfassungs- systems in der Praxis	133
6.4	Ausblick auf Phase 3	136
7	Fazit	137
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse der 1. und 2. Phase	137
7.1.1	Entscheidungsunterstützungswerkzeug mit Datenbank .	137
7.1.2	Immissionserfassungssystem	138
7.1.3	Ergebnisverbreitung	139
7.2	Ausblick auf die 3. Projektphase	140
7.2.1	Entscheidungsunterstützungswerkzeug mit Datenbank .	140
7.2.2	Immissionserfassungssystem	141
7.2.3	Verknüpfung zwischen Entscheidungsunterstützungs- werkzeug und Immissionserfassungssystem	142
7.2.4	Erarbeitung von Handlungsempfehlungen	143
7.2.5	Ergebnisverbreitung	143

8	Literaturverzeichnis	145
9	Gesetz-, Normen- und Richtlinienverzeichnis	155
9.1	Gesetze, Verordnungen und Vorschriften.....	155
9.2	Technische Regeln	156
9.3	VDI-Richtlinien und Merkblätter	160
10	Anhang.....	163
	Anhang A: Glossar	163
	Anhang B: Lokale Randbedingungen auf den Abbruchbaustellen	170
	Anhang C: Beispielhafter Ablauf der Online-Umfrage für die Experteneinschätzung	173
	Anhang D: Informationen zu den Abbruchvorhaben und zur Messsituation und Auswertungen der Messungen	182
	D.1. Komplettabbruch Wohngebäude (Stahlbeton-Plattenbau, entkernt)	182
	D.2. Abbruch einer Industrieanlage (Stahlbetonbau, entkernt)	191
	Endbericht der Phase 3	199
	Begriffe und Definitionen.....	201
	Abbruch, Rückbau und Recycling.....	201
	Emissionen und Immissionen	206
	Zusammenfassung	217
1	Einleitung.....	221
1.1	Ausgangssituation	221
1.2	Zielsetzung	225
1.3	Aufbau des Berichts	226
2	Primärdatenerhebung für die Datenbank	229
2.1	Expertenbefragung	230

2.1.1	Allgemeine Informationen	231
2.1.2	Materialsortieren und -zerkleinern	232
2.1.3	Bewertung der Emissionen	236
2.1.4	Einfluss von Abbruchhöhe und Maschinengröße	237
2.2	Immissionsmessungen unter Versuchsbedingungen	239
2.2.1	Versuchsaufbau	239
2.2.2	Versuchsdurchführung	241
2.2.3	Versuchsergebnisse	244
3	Werkzeug zur IT-basierten Planungsunterstützung	251
3.1	Nutzereingabe	252
3.1.1	Gebäudeeigenschaften	252
3.1.2	Baustellenrahmen- und Umgebungsbedingungen	254
3.1.3	Entscheiderpräferenzen	258
3.2	Analyseprozess	260
3.2.1	Abbruchabfolge auf Basis eines digitalen Modells des Abbruchobjekts	260
3.2.2	Technisch mögliche Abbruchtechniken	260
3.2.3	Ökonomische Ausprägungen	263
3.2.4	Ökologische Ausprägungen	266
3.2.5	Technikbewertung	272
3.3	Werkzeugausgabe	272
3.4	Werkzeugtest: Planung eines realen Abbruchvorhabens	273
3.4.1	Vorhabenbeschreibung	273
3.4.2	Nutzereingabe	273
3.4.3	Werkzeugausgabe	276
3.4.4	Vergleich der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	282

4	Immissionserfassungssystem	285
4.1	Systemaufbau	285
4.2	Datenerfassung und Auswertung	289
4.3	Verknüpfung mit dem Werkzeug zur Planungsunterstützung....	291
4.4	Systemtest	292
4.4.1	Weiter bestehende Herausforderungen	293
4.4.2	Erkenntnisse	294
4.4.3	Fazit.....	296
5	Hineintragen der Ergebnisse in die Praxis.....	297
5.1	Beitrag zur Erreichung des übergeordneten Projektziels.....	297
5.2	Beitrag zur Zielerreichung und praktischer Nutzen – Integration des Immissionsschutzes	298
5.2.1	Planungsunterstützungswerkzeug mit Datenbank	299
5.2.2	Maßnahmen zur Einführung des Immissionserfassungssystems.....	300
5.3	Akteurspezifische Handlungsempfehlungen	302
5.3.1	Allgemeine Empfehlungen	303
5.3.2	Handlungsempfehlungen für Bauherren und Planungsingenieure	304
5.3.3	Handlungsempfehlungen für Bau- und Abbruchunternehmer	306
5.3.4	Handlungsempfehlungen für Behörden	309
5.4	Weitere Maßnahmen zur Ergebnisverbreitung	310
5.4.1	Veröffentlichung in Fachzeitschriften und Journals.....	310
5.4.2	Projektvorstellungen vor Fachpublikum.....	313
5.4.3	Vorstellung der Systeme bei einzelnen mittelständischen Unternehmen	314
5.4.4	Integration in die Lehre.....	314

6	Fazit.....	317
6.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	317
6.2	Ausblick	318
7	Danksagung.....	321
8	Literaturverzeichnis.....	323
9	Gesetz-, Normen- und Richtlinienverzeichnis	329
9.1	Gesetze, Verordnungen und Vorschriften	329
9.2	Technische Regeln.....	330
9.3	VDI-Richtlinien und Merkblätter	331
10	Anhang.....	333
	Anhang A: Ausgewählte Auswertungen der Online- Umfrage für die Experteneinschätzung.....	333

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mögliche Emissionsquellen bei Arbeitsprozessen auf Abbruchbaustellen.....	11
Abbildung 2: Untersuchungsgegenstände des Forschungsprojekts	14
Abbildung 3: Mögliche Messpunkte für die Ermittlung von Lärmimmissionen (Querschnitt)	30
Abbildung 4: Mögliche Messpunkte für die Ermittlung von Staubdeposition und Feinstaub (PM10) (Draufsicht)	34
Abbildung 5: Mögliche Messpunkte für die Ermittlung von Erschütterungsimmissionen (Querschnitt).....	37
Abbildung 6: Gesamtkonzept des Forschungsprojekts	52
Abbildung 7: Module und Bausteine des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Abbruchplanung.....	56
Abbildung 8: Prozessanalyse und Entscheidungslogik.....	58
Abbildung 9: Gesamtnutzwerte der beispielhaften Abbruchvorgangsalternativen abhängig von der Kriterienbedeutung/-gewichtung	87
Abbildung 10: Formular für die Nutzereingaben zum Abbruchvorhaben	91
Abbildung 11: Formular für die geschossweise Spezifizierung der Materialien der horizontalen und vertikalen Tragstruktur	93
Abbildung 12: Tabellarische Darstellung des Abbruchobjektmodel	94
Abbildung 13: Tabelle der exemplarisch technisch geeigneten Abbruchtechniken	95
Abbildung 14: Formular zur Spezifizierung der Gewichtung der emissionsbezogenen Technikausprägungen	95

Abbildung 15: Tabelle der exemplarisch „geeignetsten“ Abbruchtechniken je Bauteilart und Geschoss	96
Abbildung 16: Tabelle der exemplarisch möglichen baustoff- bedingten Schadstoffe je Bauteilart und Geschoss	97
Abbildung 17: Messungen auf der Abbruchbaustelle in Köln im Rahmen der Phase 1	101
Abbildung 18: Messaufbau der Beschleunigungs- sensoren für die Fallversuche	111
Abbildung 19: Fallversuche.....	112
Abbildung 20: Zeitverlauf der Schwinggeschwindigkeit und Schwing- beschleunigung am Messpunkt 4 bei 21,45m Fallhöhe	113
Abbildung 21: Änderung des Schalldruckpegels in Abhängigkeit von der Entfernung bezogen auf einen Schalldruckpegel in 10 m Entfernung (AVV Baulärm, 1970).....	115
Abbildung 22: Lokalisation einer Schallquelle mit Hilfe von 3 Schallpegelmessgeräten.....	118
Abbildung 23: Versuchsaufbau zur Lokalisierung (Google Maps)	119
Abbildung 24: Sensorknoten und Schallpegelmessgerät	126
Abbildung 25: Messknotenelemente im Schutzkoffer – Unterseite mit Anschlüssen und Innenansicht	127
Abbildung 26: Messgraphen auf Tablett-PC, Beschleunigungs- sensor und Koordinator (ZigBee-Empfänger)	128
Abbildung 27: Aufbau des Immissionserfassungssystems	128
Abbildung 28: Versuchsreihe mit Hydraulikbagger und Immissionserfassungssystem (rechts)	132
Abbildung 29: Abfolge des Einsatzes des Immissionserfassungssystems....	135

Abbildung 30: Konventionen definierter Staubfraktionen.....	168
Abbildung 31: Windgeschwindigkeiten am 1. und 2. Messtag (ILK Dresden (2013)).....	189
Abbildung 32: Windrichtungen am 1. (links) und 2. (rechts) Messtag (ILK Dresden (2013)).....	189
Abbildung 33: Terzspektrum zum Einzelereignis 8 (TÜV (2013)).....	198
Abbildung 34: Konventionen definierter Staubfraktionen.....	214
Abbildung 35: Mögliche Emissionsquellen bei Arbeitsprozessen auf Abbruchbaustellen.....	223
Abbildung 36: Konzept Rückbauplanung vom Objekt über die Planung zur Abbruchdurchführung.....	226
Abbildung 37: Häufigkeitsverteilung der verwendeten Abbruchtechniken.....	232
Abbildung 38: Häufigkeitsverteilungen der Abschätzung des Nachsortierungsaufwandes der Technik Abgreifen abhängig von verschiedenen Materialien	234
Abbildung 39: Häufigkeitsverteilungen der Abschätzung des Materialzerkleinerungsaufwandes der Technik Abgreifen abhängig von verschiedenen Materialien	234
Abbildung 40: Normalverteilung der Nachsortierungsaufwands- abschätzung der Technik Abgreifen von Ziegel	235
Abbildung 41: Normalverteilung der Materialzerkleinerungs- aufwandsabschätzung der Technik Abgreifen von Ziegel.....	235
Abbildung 42: Normalverteilung der Staubemissionshöhen- bewertung der Technik Abgreifen von Ziegel.....	237

Abbildung 43: Versuchsaufbau und Durchführung der ersten Versuchsreihe	240
Abbildung 44: Erfassung und Darstellung der Messwerte während der Versuche	241
Abbildung 45: Zweite Versuchsreihe: Abbruch von verputzten Ziegelsteinwänden	243
Abbildung 46: Dritte Versuchsreihe: Abbruch von Stahlbetonteilen	244
Abbildung 47: Erste Versuchsreihe: Sägen von Ziegelmauerwerk	247
Abbildung 48: Dritte Versuchsreihe: Pressschneiden von Stahlbeton	250
Abbildung 49: Ausgewählte Eingabe- und Ausgabeinformationen des Planungsunterstützungswerkzeugs	251
Abbildung 50: Maske für die Eingabe der Gebäude- abmessungen/der Gebäudebasisdaten	253
Abbildung 51: Maske für Eingabe der Bauteileigenschaften je Geschoss....	254
Abbildung 52: Eingabe der Baustellenrahmen- und Umgebungsbedingungen	255
Abbildung 53: Exemplarische Eingabe der Kriteriengewichtungen	259
Abbildung 54: Rückbauprojektta Ablaufplan der Phase 1 des realen Abbruchvorhabens inklusive Technikauswahltable	278
Abbildung 55: Zeitliche Verteilung und Anzahl der Ressourcen sowie Höhe der Immissions- auslastungen (0-1) am angrenzenden Gebäude der Phase 1 des realen Abbruchvorhabens	279
Abbildung 56: Rückbauprojektta Ablaufplan der Phase 2 des realen Abbruchvorhabens inklusive Technikauswahltable	280

Abbildung 57: Zeitliche Verteilung und Anzahl der Ressourcen sowie Höhe der Immissionsauslastungen (0-1) am angrenzenden Gebäude der Phase 2 des realen Abbruchvorhabens.....	281
Abbildung 58: Aufbau des Immissionserfassungssystems um die Abbruchbaustelle herum (links) mit dem Koordinator zwischen dem Zigbee Funknetz und der Auswerteeinheit (rechts) und mit der Rückkopplung (Mitte, unten)	288
Abbildung 59: Aufbau eines Messknotens mit Schall- (grün), Staub- (gelb) und Erschütterungssensoren (rot), die an die Funkeinheit (blau) angeschlossen werden.	289
Abbildung 60: Schematische Darstellung der Immissionsverläufe für die Auswertung.....	290
Abbildung 61: Ansatz der Verknüpfung zwischen Immissionserfassungssystem und Planungsunterstützungswerkzeug	292
Abbildung 62: Nutzen der Instrumente in den einzelnen Phasen eines Abbruchprojekts	298
Abbildung 63: Übersicht über die wesentlichen Handlungs- und Entscheidungsabläufe bei der Planung und Durchführung einer Rückbaumaßnahme	302
Abbildung 64: RAL Gütezeichen Abbrucharbeiten.....	306
Abbildung 65: Möglichkeiten der Staubbekämpfung bei Abbrucharbeiten	308

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abbruchtechniken - Abbruchverfahren- und-Maschinen-Kombinationen.....	17
Tabelle 2: Grobstruktur der Gebäudetypologie und Hauptmaterialien der Bauteile.....	20
Tabelle 3: Merkmale diffuser und definierter Staubquellen	23
Tabelle 4: Bauteilartbezogene technische Eignung von Abbruchtechniken	61
Tabelle 5: Materialartbezogene technische Eignung von Abbruchtechniken	62
Tabelle 6: Materialdickenbezogene technische Eignung von Abbruchtechniken	64
Tabelle 7: Technische Eignung von Abbruchtechniken bezogen auf die Abbruchhöhe über GOK	65
Tabelle 8: Technische Eignung von Abbruchtechniken bezogen auf die Platzverhältnisse vor Ort um das Abbruchobjekt herum	68
Tabelle 9: Materialbezogene Kategorisierung von Abbruchtechniken hinsichtlich deren Lärmemissionshöhe	71
Tabelle 10: Materialbezogene Kategorisierung von Abbruchtechniken hinsichtlich deren Staubemissionshöhe	73
Tabelle 11: Materialbezogene Kategorisierung von Abbruchtechniken hinsichtlich deren Erschütterungsemissionshöhe (Intensität/Impulshaltigkeit).....	75
Tabelle 12: Materialbezogene Kategorisierung von Abbruchtechniken hinsichtlich der Materialtrennung	78

Tabelle 13: Materialbezogene Kategorisierung von Abbruchtechniken hinsichtlich der Materialzerkleinerung.....	80
Tabelle 14: Materialbezogene Dauerkennwerte von Abbruchtechniken in h/m ³	82
Tabelle 15: Ausprägungen von beispielhaften Abbruchvorgängen.....	85
Tabelle 16: Teilnutzwerte der beispielhaften Abbruchvorgangsalternativen hinsichtlich der emissionsbezogenen Kriterien.....	86
Tabelle 17: Zuordnung relevanter (möglicher) Schadstoffbelastungen zu entsprechenden Bauteilen/ Materialien und Baujahren in Deutschland.....	89
Tabelle 18: Einflussparameter auf die Höhe der Emissionen und Immissionen bei Abbrucharbeiten.....	104
Tabelle 19: Parameter P zur Abschätzung der Höhe der Schallimmissionen.....	116
Tabelle 20: Lokale Randbedingungen der Abbruchbaustelle am Standort Brandenburg a.d.H.....	170
Tabelle 21: Lokale Randbedingungen der Abbruchbaustelle am Standort Köln.....	171
Tabelle 22: Übersicht über die eingesetzten Trägermaschinen.....	182
Tabelle 23: Dominante Ereignisse der Abbruchbaustelle in Brandenburg.....	183
Tabelle 24: Messgeräte beim Abbruchvorhaben in Brandenburg an der Havel.....	185
Tabelle 25: Ermittelte Emissionsgrößen.....	186
Tabelle 26: Übersicht über die eingesetzten Trägermaschinen.....	191

Tabelle 27: Einzelereignisse der Abbruchbaustelle in Köln	193
Tabelle 28: Messgeräte beim Abbruchvorhaben in Köln	194
Tabelle 29: Ermittelte Emissionsgrößen	194
Tabelle 30: Grobstruktur der Gebäudetypologie und Hauptmaterialien der Bauteile.....	203
Tabelle 31: Abbruchtechniken - Abbruchverfahren- und-Maschinen-Kombinationen.....	205
Tabelle 32: Merkmale diffuser und definierter Staubquellen	208
Tabelle 33: Anzahl auswertbarer Versuche der 1. Versuchsreihe	242
Tabelle 34: Auswertung der Messergebnisse des KIT-Systems bezüglich der Schall- emissionen verschiedener Abbruchverfahren und Mauerwerksmaterialien	245
Tabelle 35: Auswertung der Messergebnisse des KIT-Systems bezüglich der Staub- emissionen verschiedener Abbruchverfahren und Mauerwerksmaterialien	246
Tabelle 36: Auswertung der Messergebnisse bezüglich der Wirkung von Staubminderungsmaßnahmen (siehe 2.2.2.)	247
Tabelle 37: Auswertung der Messergebnisse des KIT-Systems bezüglich der Schallemissionen verschiedener Abbruchverfahren angewandt auf Stahlbeton.....	249
Tabelle 38: Auswertung der Messergebnisse bezüglich der Staubemissionen verschiedener Abbruchverfahren angewandt auf Stahlbeton	249
Tabelle 39: Auswertung der Messergebnisse bezüglich der Erschütterungsemissionen verschiedener Abbruchverfahren angewandt auf Stahlbeton.....	249

Tabelle 40: Technische Eignung von Abbruchtechniken bezogen auf die Platzverhältnisse vor Ort um das Abbruchobjekt herum	256
Tabelle 41: Gebietsnutzungskategorien	257
Tabelle 42: Mögliche Schutzmaßnahmen und deren Minderungswirkung	258
Tabelle 43: Schallimmissionsrichtwerte abhängig von der Gebietsnutzungskategorie	262
Tabelle 44: Bauteilvolumenbezogene, materialabhängige Dauerkennwerte von Abbruchtechniken in h/m ³ für einen 40-Tonnen-Bagger	264
Tabelle 45: Materialbezogene Lärmemissionskennzahlen von Abbruchtechniken	267
Tabelle 46: Materialbezogene Staubemissionskennwerte von Abbruchtechniken	268
Tabelle 47: Materialbezogene Erschütterungsemissionskennwerte von Abbruchtechniken.....	269
Tabelle 48: Siedlungstypen/Umfeldtypen und immissionsbeeinflussende Eigenschaften	271
Tabelle 49: Auszug der qualifizierten Stückliste der einzelnen Gebäudeelemente der Phase 1	274
Tabelle 50: Auszug der qualifizierten Stückliste der einzelnen Gebäudeelemente der Phase 2	275
Tabelle 51: Gesamtprojektinformationen.....	277

Endbericht der Phasen 1 und 2

ISA: Immissionsschutz beim Abbruch

Endbericht zur 1. und 2. Phase des Forschungsprojekts,
gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
unter dem Az: 29014/02-23

07.08.2014

von

**Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU),
Karlsruher Institut für Technologie (KIT):**

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Anna Kühlen
Dipl.-Wi.-Ing. Julian Stengel
Dipl.-Wi.-Ing. Rebekka Volk
Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann

Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), KIT:

Dipl.-Ing. Markus Reinhardt
Dr. Ing. Heinrich Schlick
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno

**Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg (BTU)
Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik**

Fachgruppe Bauliches Recycling:
PD Dr.-Ing. habil. Angelika Mettke
Dipl.-Ing. Stefan Asmus M.A.

Jean Harzheim GmbH & Co. KG (Harzheim GmbH):

Dipl.-Ing. Johannes Harzheim

Zusammenfassung

Ausgangssituation und Problemstellung

Mit dem Abbruch von Gebäuden gehen Emissionen einher, die ohne den Einsatz geeigneter Geräte, Vorgehensweisen und Schutzmaßnahmen vermeidbare Umwelteinwirkungen/Immissionen zur Folge haben können. Insbesondere Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen und -immissionen werden dabei Minderungspotenziale zugeschrieben. Außerdem weisen angefallene bzw. zurückgewonnene Bauteile und Abbruchabfälle ungenutzte Potenziale zur höherwertigen Verwertung und Wieder- bzw. Weiterverwendung auf.

Bei einem Teil der im Abbruchprozess involvierten Akteure sind Emissionen und Abbruchabfälle bereits jetzt integraler Bestandteil von Abbruchplanung, -durchführung und -nachbereitung. Von einem Teil der Akteure werden diese Größen derzeit jedoch nur unzureichend berücksichtigt. Gründe hierfür sind unter anderem unvollständige Ausschreibungsunterlagen sowie mangelnde Informationen über Emissions- und Immissionsursachen und über deren zielgerichtete Beeinflussung.

Bislang fehlen außerdem detaillierte, materialspezifische Daten zu Emissionen und Immissionen von Lärm, Staub und Erschütterungen, die während der Abbruchdurchführung von Gebäuden (Hoch- und Tiefbauten) auftreten sowie zu Größen die diese bestimmen/beeinflussen. Daher fehlen auch Ansätze zur adäquaten Nutzung und Berücksichtigung derartiger Daten im Abbruchprozess.

Zielsetzung und Mehrwert des Forschungsprojekts

Das Forschungsprojekt ist in drei Phasen unterteilt und zielt primär auf die Verminderung von Immissionen auf Mensch und Umwelt beim Gebäudeabbruch ab. Übergeordnete Zielsetzung der 1., 2. und geplanten 3. Phase des Forschungsprojekts ist daher die systematische Erfassung von

Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen und -immissionen sowie die Entwicklung und Weiterentwicklung von Ansätzen zu deren Minderung.

Für die Entwicklung von Emissions- und Immissionsminderungsansätzen – konkret: eines Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Abbruchplanung, eines Immissionserfassungssystems und von Handlungsempfehlungen – werden beeinflussbare und nicht beeinflussbare Ursachen der Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen und -immissionen erfasst, modelliert und analysiert. Ebenso werden Themen wie eine hochwertige Verwertung von Abbruchabfällen, am besten die Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen, beim Abbruch vorzufindende baustoffimmanente Schadstoffe sowie der Arbeits- und Gesundheitsschutz in die Untersuchung einbezogen. Neben der Integration von Literaturdaten, Herstellerangaben zu Maschinen und Geräten sowie Expertenwissen zu Emissionen und Immissionen, erfolgt eine messtechnische Erfassung von Immissionen auf mehreren Abbruchbaustellen und einem Testgelände. Hier wird unter Berücksichtigung der Vorbelastung auf der Baustelle bzw. dem Testgelände auf die beim Abbruch entstehenden Emissionen geschlossen.

Die in dem vorliegenden Forschungsprojekt inbegriffenen Mehrwerte sind eine unter Emissions- und Immissionsgesichtspunkten verbesserte Abbruchplanung, ein verbesserter Kenntnisstand der Akteure sowie ein ausgeweiteter Arbeits- und Gesundheitsschutz auf Abbruchbaustellen und in deren lokaler Umgebung.

Erstes Teilziel zur Erreichung der beschriebenen Mehrwerte ist eine detaillierte Erhebung, Strukturierung und Einordnung von Emissions- und Immissionsdaten von Abbruchvorgängen aus Messdatenerfassung auf Baustellen, Literatur sowie Expertenwissen verschiedener Akteure.

Zweites Teilziel ist die Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungswerkzeugs, das auf die gesammelten Emissions- und Immissionsdaten zugreifen kann und eine immissionsarme Abbruchplanung unterstützt.

Drittes Teilziel ist die Entwicklung eines kostengünstigen Systems zur kontinuierlichen Immissionserfassung und -dokumentation, das standardmäßig auf Abbruchbaustellen eingesetzt werden kann.

Dieser Bericht fasst die Ergebnisse der 1. und 2. Phase zusammen und gibt einen Ausblick auf die nachfolgende 3. Projektphase.

Ergebnisse

Die im Rahmen des Projekts erarbeiteten Strukturen und gesammelten Daten zu Emissionen und Immissionen aus Bauwerksabbrüchen und zu entsprechenden Einflussfaktoren wurden in einer Datenbank zusammengeführt. Zur Nutzbarmachung der erarbeiteten Datenbank, der hinterlegten Informationen und zur Ausweisung von Emissions- und Immissionsminderungspotentialen wurde in der 1. Projektphase ein Konzept für ein prototypisches softwaregestütztes Entscheidungsunterstützungswerkzeug für die Abbruchplanung erstellt und in der 2. Phase weiterentwickelt. Das Werkzeug erlaubt eine semi-quantitative (5-stufige) Abschätzung möglicher Emissionen für den Abbruch des Gebäudes in Abhängigkeit von der gewählten Technik und den Eigenschaften des vorliegenden Gebäudetyps unter Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen. In der 2. Phase wurde die erste softwaretechnische Umsetzung des prototypischen Werkzeugs abgeschlossen. In Hinblick auf eine bessere Zuordnung von qualitativen Emissions- und Immissionsaussagen je Gebäudetyp und eine erleichterte Handhabung der Daten ist eine Typisierung der Gebäude von Bedeutung. Hierfür erfolgte in der 1. Phase eine aggregierte Einteilung der in Deutschland vorhandenen Gebäude anhand von Baumaterialien und Konstruktionsweisen. Um die begrenzte Datenlage von detaillierten Literatur- und Herstellerdaten zu Informationen hinsichtlich Emissions- und Immissionsdaten bei Abbrucharbeiten zu ergänzen, wurden in der 2. Phase einige Experten befragt und sollen in der 3. Phase durch weitere Experteneinschätzungen vervollständigt/ergänzt werden. Hierfür wurde ein Online-Fragebogen entwickelt, mit dem im Rahmen der 3. Phase Unternehmen des Deutschen Abbruchverbands befragt werden sollen. Weiter wurden in der

1. und 2. Phase auf Basis von einzelnen, gezielten Messungen auf Abbruchbaustellen Messdaten ermittelt. Um die Vergleichbarkeit, Übertragbarkeit und Interpretierbarkeit der Daten zu verbessern, wurde ein in der 1. Phase erarbeitetes Messkonzept für vorgangsbezogene Messungen in der 2. Phase weiterentwickelt. Für ein System zur Immissionserfassung an Abbruchbaustellen wurde in der 1. Phase ein Konzept ausgearbeitet und in der 2. Phase bereits prototypisch umgesetzt. Weiter wurde in der 2. Phase im Rahmen der Antragstellung zur 3. Phase eine Ergebnisverbreitungsstrategie erarbeitet. Einzelne Elemente dieser Strategie wurden teilweise bereits in der 2. Phase umgesetzt. Es erfolgten Projektvorstellungen zum Thema beim Umweltbundesamt, am Karlsruher Institut für Technologie im Zusammenhang mit einer angestrebten Dissertation, auf der CIB W78 2013 Konferenz “30th International Conference on Application of IT in the AEC Industry” in Peking (China) und im Rahmen eines Forschungsaufenthalts an der Queensland University of Technology (QUT) in Brisbane (Australien) vor internationalem Fachpublikum sowie eine Veröffentlichung im Rahmen der genannten internationalen Konferenz. Weiter wurde das Forschungsthema von den universitären Projektpartnern in die Lehre eingebunden, bspw. in Form von Abschlussarbeiten und Vorlesungen und Übungen, um es so an die zukünftigen Fachleute der Bau-, Abbruch- und Recyclingindustrie heranzutragen.

Ausblick

In der geplanten 3. Projektphase sollen die beiden Prototypen, Entscheidungsunterstützungswerkzeug und Immissionserfassungssystem, bei mindestens einem Abbruchvorhaben unter Realbedingungen getestet werden. Das Werkzeug soll um die Wahl ausgewählter Schutzmaßnahmen und um wirtschaftliche Aspekte des Ressourceneinsatzes erweitert werden. Darüber hinaus ist eine Anpassung der Datenbasis durch weitere Experteneinschätzungen sowie ihre Erweiterung durch Messungen auf einem Testgelände geplant. Das Immissionserfassungssystem soll um die zeitlich parallele Erfassung von Abbruchvorgängen erweitert werden. Eine

Verknüpfung des Entscheidungsunterstützungswerkzeuges mit dem Immissionserfassungssystem wird angestrebt. In Verbindung mit der Entwicklung des Unterstützungswerkzeugs und des Erfassungssystems sollen Handlungsempfehlungen für die emissionsarme Planung und Durchführung von Abbrucharbeiten beispielsweise in Form von Empfehlungen an den Bauherr, Planungsingenieur, Abbruchunternehmer und Behörden erfolgen. Zudem sollen Empfehlungen für den Einsatz des Erfassungssystems auf Abbruchbaustellen erstellt werden. Zur Verbreitung der Zwischen- und Endergebnisse des Forschungsprojekts sind weitere Veröffentlichungen und Projektvorstellungen geplant. Hierzu sollen die einzelnen Elemente der erarbeiteten Ergebnisverbreitungsstrategie weiter umgesetzt werden. Die Projektergebnisse sollen an einzelne mittelständische Unternehmen bspw. durch den Test der Systeme auf Abbruchbaustellen und im Rahmen der Erarbeitung von Handlungsempfehlungen herangetragen werden. Weiter sind Projektvorstellungen/-präsentationen vor Fachpublikum aus Wissenschaft, Forschung und der Industrie geplant in dessen Rahmen auch die Zurverfügungstellung der Datenbank, des prototypischen Planungsunterstützungswerkzeugs und des prototypischen Immissionserfassungssystems diskutiert werden sollen. Die Projektergebnisse sollen in Fachzeitschriften, weiteren Journals und in Verbindung mit einer Dissertation veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung des vorliegenden Projektberichts mit den Ergebnissen der 1. und 2. Phase ist noch zu klären. Die Ergebnisverbreitung in Form eines Endberichts über alle 3 Phasen erfolgt nach Abschluss der 3. Projektphase.

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

1.1.1 Ausgangssituation

Der Abbruch und/oder (Teil-) Rückbau¹ bestehender, nicht weiter nutzbarer Bauwerke, wird in Zukunft zunehmend erforderlich sein, denn viele ältere Gebäude lassen sich in der Regel nur teilweise oder gar nicht an veränderte Nutzungsbedingungen und hohe energetische Standards anpassen. Nachhaltigkeitszielsetzungen fordern die Begrenzung des Flächenverbrauchs sowie die Schaffung umwelt- und sozialverträglicher Siedlungsstrukturen (vgl. EK-SMU (1998) und (1999)). Zudem führen demografische und wirtschaftliche Veränderungen, wie der Bevölkerungsrückgang und die Verlagerung von Industrie- und Gewerbestandorten in Deutschland dazu, dass im Rahmen von Stadtumbaumaßnahmen Abbruch und Neubau von Gebäuden und baulichen Anlagen notwendig und sinnvoll sind (vgl. Görg (2001)).

Der Abbruch ist wesentlicher Bestandteil des Gebäudelebenszyklus und kann sowohl Ende als auch Anfang (Materialquelle für den Neubau und Schaffung freier Fläche) eines Lebenszyklus darstellen. Oft wird der Abbruch jedoch mit untergeordneter Wichtigkeit am Lebenszyklusende eines Bauwerks wahrgenommen (vgl. Lippok und Korth (2007)). Im Rahmen der aktuellen Entwicklungen im Bereich des nachhaltigen Bauens wird die Abbruchphase meist hinsichtlich Verwertung und Beseitigung von Abbruchmaterialien, also

¹ Im Folgenden wird der Begriff Abbruch wie im Titel des Forschungsprojekts auch für den Begriff Rückbau verwendet. Die Begriffe Abbruch und Rückbau werden heute fast synonym verwendet. Beide Begriffe beschreiben das teilweise oder umfassende Entfernen von technischen oder baulichen Anlagen. Beim Rückbau werden in der Regel ökologische Gesichtspunkte, wie das Wiederverwerten von Baustoffen und eine weitere Nutzung der freiwerdenden Fläche, explizit berücksichtigt. Jedoch verpflichten Vorschriften auch beim Abbruch dazu, Materialien zu trennen und Immissionsbelastungen zu minimieren, sodass insbesondere im innerstädtischen Bereich eine Abgrenzung der beiden Begriffe nur begrenzt möglich ist.

der Abbruchnachbereitung, beleuchtet. Der zentrale Teil des Abbruchprozesses (Planung und Ausführung) mit seinen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt spielt, wenn überhaupt, eine untergeordnete Rolle.

1.1.2 Problemstellung

Der Abbruch von Bauwerken verursacht Emissionen. Diese können maßgeblich die auf Schutzgüter, wie beispielsweise den Menschen, einwirkenden Immissionen² beeinflussen (Haltenthorn et al. (2007); Lippok und Korth (2007); SBUV (2005)), die wiederum z.B. gesundheitliche Auswirkungen haben können (vgl. Abbildung 2). Insbesondere Lärm³, Staub⁴ und Erschütterungen sind relevante Emissionen des Abbruchprozesses (vgl. Lippok und Korth (2007), DIN 18007:2009-03) und bieten entsprechend Immissionsminderungspotenziale. Nach § 22 BImSchG müssen die nach dem Stand der Technik vermeidbaren Emissionen verhindert und die unvermeidbaren minimiert werden. Verantwortlich für die Einhaltung dieser immissionsschutzrechtlichen Anforderungen ist in erster Linie der Baustellenbetreiber, d.h. in der Regel der Bauherr oder der von ihm beauftragte Planungsingenieur, und der Abbruchunternehmer (vgl. Strobusch (2011); Kummer (2013)). Auf Grund der vielen Parameter, die den Abbruchprozess mit seinen einzelnen Abbruchvorgängen⁵ und die damit verbundenen Einwirkungen auf die lokale Umwelt bestimmen, ist derzeit eine qualitative und quantitative Charakterisierung der Umwelteinwirkungen von Abbruchvorgängen, in Form von Lärm, Staub und Erschütterungen, sehr schwierig. Beispielsweise können

² Im Folgenden wird der nicht wertende Begriff „Immission“ statt des im Titel des Forschungsprojekts verwendeten Begriffs „Umweltbelastung“ verwendet. Weitere Begriffserklärungen finden sich im Glossar (vgl. Anhang A).

³ Im Folgenden wird der Begriff „Lärm“ statt des Begriffs „Geräusche“ verwendet, wodurch implizit von als lästig empfundenen Geräuschen ausgegangen wird.

⁴ Im Folgenden wird der Begriff „Staub“ statt des Begriffs „Luftverunreinigungen“ verwendet. Weitere Begriffserklärungen finden sich im Glossar (vgl. Anhang A).

⁵ Im Folgenden wird der Begriff Abbruchvorgang zur Beschreibung eines bestimmten Geschehens (vgl. DIN 69900:2009-01) im Abbruchprozess verwendet. Ein Vorgang ist somit im Rahmen des Projekts eine Kombination aus Abbruchtechnik, Abbruchmaterial und Abbruchhöhe über Geländeoberkante.

die Staubemissionen aus diffusen Quellen, wie sie beim Abbruch auftreten, bis jetzt nicht in dem Maße gemindert werden, wie etwa Staubemissionen aus definierten Quellen, bspw. der industriellen Produktion (vgl. BMWFI (2013)).

Abbruchbaustellen stellen sich hinsichtlich ihrer Lage und Dauer der Arbeiten, der Komplexität im Betrieb sowie der verwendeten Baumaterialien, der Technologien, des Maschinen- und Geräteeinsatzes und insbesondere der Umwelteinwirkungen (Lärm- und Staubemissionen bzw. -immissionen) sehr unterschiedlich dar. In Abbildung 1 sind **mögliche Emissionsquellen** aufgeführt, welche zu Beeinträchtigungen (Immissionen) und ggf. Belästigungen der Anwohner und in der Nachbarschaft, aber auch zu Auswirkungen auf die direkt auf der Baustelle tätigen Arbeitskräfte beitragen. Letztere können durch die unterschiedlichen Intensitäten der durchgeführten Arbeiten direkt betroffen sein.

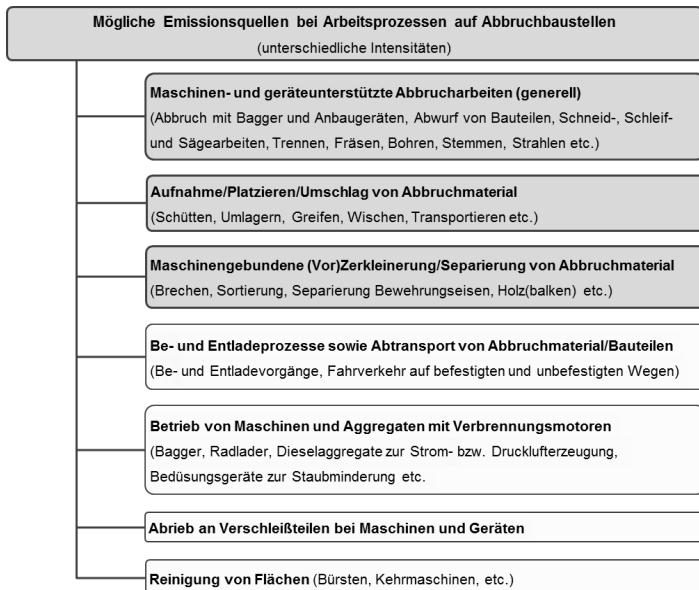


Abbildung 1: Mögliche Emissionsquellen bei Arbeitsprozessen auf Abbruchbaustellen

Bei einem Teil der in Deutschland in den Abbruchprozess involvierten Akteure sind die Betrachtung von Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen bereits integraler Bestandteil der Abbruchplanung, Abbruchdurchführung und Abbruchnachbereitung. Von einem Teil der Akteure werden diese derzeit jedoch nur unzureichend berücksichtigt und entsprechende Schutzmaßnahmen zur Minderung der Immissionen werden selten in die Ablaufplanung einbezogen (vgl. Haltenorth et al. (2007)). Gründe hierfür sind u.a. unvollständige Ausschreibungsunterlagen (beispielsweise ohne Differenzierung des bauplanungsrechtlichen Umfeldes), mangelnder Kenntnisstand hinsichtlich Ursachen und zielgerichteter Beeinflussung zur Eindämmung der Emissionen und Immissionen, unvollständiges Messkonzept (bspw. ohne Berücksichtigung der Vorbelastung) und Wirtschaftlichkeitsaspekte (vgl. Lippok und Korth (2007) (bspw. unzureichender Arbeits- und Gesundheitsschutz)). Insbesondere fehlen belastbare, detaillierte Daten hinsichtlich Emissionen und Immissionen von Lärm, Staub und Erschütterungen sowie deren Determinanten, für einzelne Abbruchvorgänge. Daher fehlen auch Ansätze zur adäquaten Nutzbarmachung und Berücksichtigung derartiger Daten im Abbruchprozess, beispielsweise im Rahmen eines gezielten Emissions- und Immissionsmanagements. Die schlechte Datenlage kann unter anderem auch durch die hohen Kosten entsprechender Messungen und fehlender Messkonzepte erklärt werden.

Die Minderung von Emissionen durch die Wahl emissionsarmer Maschinen und Geräte ist zum Teil rechtlich vorgegeben und in der Praxis in der Regel Stand der Technik. Im Rahmen des Projekts liegt der Fokus daher auf den in Abbildung 1 dunkelgrau unterlegten Emissionsquellen, da diese direkt und hauptsächlich mit Abbruchvorgängen verbunden sind und durch eine entsprechende Wahl der Abbruchtechnik gemindert werden können.

1.2 Zielsetzung und Aufbau des Berichts

1.2.1 Zielsetzung

Übergeordnetes Ziel der 1. und 2. sowie der geplanten 3. Phase des Forschungsprojekts ist die systematische Erfassung von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen und -immissionen bei Abbruchvorgängen sowie die Entwicklung von Ansätzen zu deren Minderung in den Phasen Planung und Durchführung von Abbruchprojekten. In der Planungsphase sollen die bei Abbruchprojekten involvierten relevanten Akteure, wie Auftraggeber, Abbruchunternehmer und Behörden, in der Lage sein, die möglichen Emissionen von Abbruchvorgängen abschätzen zu können. Ziel des Projekts ist daher die Unterstützung der Akteure bei der Auswahl emissionsarmer Abbruchtechniken. Hierfür sollen die Emissionen einzelner Arbeitsschritte/Abbruchvorgänge qualitativ und quantitativ im Voraus bestimmt werden. In der Durchführungsphase sollen die ausführenden Unternehmen durch Früherkennung von möglicherweise zu hohen Immissionen gewarnt werden.

Aus dem übergeordneten Ziel lassen sich die folgenden konkreten Teilziele ableiten:

1. Eine Emissions-/Immissions-/Abbruchmaterialdatenbank mit qualitativen und quantitativen bauteil- und abbruchvorgangsbezogenen Informationen auf Basis von Literaturdaten, Expertenwissen und Messungen. Für die Messungen werden Einzelvorgänge beim Abbruch identifiziert und (nach Möglichkeit) separat messtechnisch erfasst.
2. Ein prototypisches Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung der operativen Abbruchplanung unter Berücksichtigung von abbruchvorgangsbezogenen Emissionen (Lärm, Staub und Erschütterungen), dessen Datengrundlage die Datenbank ist.
3. Ein mobiles System zur Immissionserfassung (Lärm, Staub und Erschütterungen) auf der Baustelle.

Zur Erreichung der Ziele wurde ein Gesamtkonzept für die Abbruchplanung und -durchführung entwickelt. Abbildung 2 verdeutlicht die Untersuchungsgegenstände des Projekts.

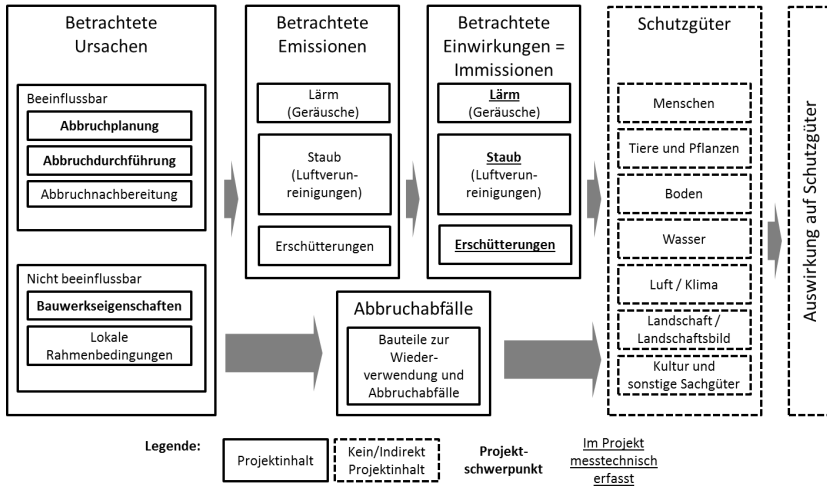


Abbildung 2: Untersuchungsgegenstände des Forschungsprojekts

1.2.2 Abgrenzung

Der Umweltschutz umfasst im Rahmen des Immissionsschutzrechts und weiterer Schutzrechte alle Immissionen auf Schutzgüter. Das Rechtsgebiet des Arbeits- und Gesundheitsschutzes hingegen bezieht sich auf Arbeitnehmer. Auf Arbeitnehmer wirkende/r Lärm, Staub und Erschütterungen ist/sind dabei rechtlich nicht den Immissionen zuzuordnen. Daher wird im Rahmen des Projektes eine Emissions-/Immissions-/Abbruchmaterialdatenbank erarbeitet und keine Datenbank hinsichtlich der Gesundheitsbelastungen, da diese Informationen bereits in anderen Datenbanken, wie WECOBIS⁶ und den verschiedenen Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) existieren.

⁶ <http://www.wecobis.de/>

Die umwelt- und gesundheitsrelevanten Inhaltsstoffe aus Abbruchabfällen können über unterschiedliche Pfade in die Schutzgüter eingetragen werden. Es hat sich gezeigt, dass im Rahmen des Projektes eine Analyse und umfangreiche Untersuchungsreihen durch Messungen am dabei entstehenden Bauschutt nicht zu leisten sind und dass andere Projekte diese Problematik expliziter betrachten. Daher wird der Fokus dieses Projektes auf Emissionen und Immissionen von Lärm, Staub und Erschütterungen gelegt.

1.2.3 Aufbau des Berichts

Zwecks besserer Lesbarkeit des Berichtes ist dieser nicht nach Arbeitspaketen sondern inhaltlich strukturiert.

Nach der Einleitung wird in Kapitel 2 auf wichtige Definitionen und in Kapitel 3 auf den Stand der Technik sowie rechtliche Rahmenbedingungen und Regelwerke, Hilfsmittel zur Unterstützung der Abbruchplanung und derzeitige Messtechnik eingegangen. In Kapitel 4 werden das Gesamtkonzept und der Mehrwert des Projekts vorgestellt. Die Ergebnisse der 1. und 2. Phase, die einzelnen Komponenten des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Abbruchplanung mit Datenbank, die damit verbundene Datenerhebung und das Immissionserfassungssystem werden in Kapitel 5 und 6 erläutert. Kapitel 7 fasst die Ergebnisse abschließend zusammen und gibt einen Ausblick auf die geplante 3. Projektphase.

2 Definitionen

2.1 Abbruchtechniken

Der Abbruch mit Hydraulikbagger und entsprechenden Anbaugeräten ist mit 83 % die am häufigsten angewandte Technik beim Abbruch von Gebäuden (vgl. Weimann et al. (2013); Lippok und Korth (2007)). Weitere Techniken sind der Abbruch mit Seilbagger und Hochdruckwasserstrahl sowie Sägen, Fräsen, Sprengen und der Handabbruch mit Kleingeräten (vgl. Weimann et al. (2013); Stolt (2012); Lippok und Korth (2007)). Für die Untersuchung der Umwelteinwirkungen werden die Techniken beim Abbruch weiter unterteilt in Anlehnung an die in der DIN 18007:2009-03 normierten Abbruchverfahren in Kombination mit den in der Regel hierfür eingesetzten Maschinen. Ergänzend werden Techniken der Materialhandhabung auf der Baustelle ebenfalls mit einbezogen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Abbruchtechniken - Abbruchverfahren-und-Maschinen-Kombinationen¹

Abbruchtechniken			
#	Maschinen		Verfahren
	Trägergerät	Anbaugerät	
1	Hydraulikbagger ²	Abbruch-/Sortiergreifer	Abgreifen
2	Seilbagger	Stahlmasse	Einschlagen
3	Hydraulikbagger	Abbruchstiel/ Tiefelöffel	Eindrücken
4	Hydraulikbagger	Stahlseil	Einziehen
5	Hydraulikbagger	Abbruchstiel/ Aufbruchgerät	Reißen
6	Hydraulikbagger	Hydraulikhammer	Stemmen
7	Hydraulikbagger	Abbruchzange	Pressschneiden
8	Hydraulikbagger	Stahl-/Schrottschere	Scherschneiden

Fortsetzung auf der nächsten Seite

¹ Vgl. DIN 18007:2009-03, Lippok und Korth, 2007.

² Hydraulikbagger beschreibt hier das Trägergerät mit und ohne Longfrontausleger.

2 Definitionen

9	Quellmittel		Spalten
10	Kran		Demontieren
11	Hydraulikbagger	Hydraulikhammer/ Pulverisierer	Materialzerkleinerung
12	Hydraulikbagger	Abbruch-/Sortiergreifer	Materialsortierung
13	Hydraulikbagger Lastwagen	Sortiergreifer Absetzmulde	Materialverladung und - abtransport
14	Handwerkzeug (Elektrohammer, Metaltrennsäge)		Handabbruch mit Handwerkzeug
15	Kernbohrer	Sprengstoff	Lockerungssprengung
16	Kernbohrer	Sprengstoff	Niederlegungssprengung
17	Kernbohrer		Kernbohren
18	Kreis-/Wandsäge		Kreis-/Wandsägen
19	Seilsäge		Diamantseilsägen
20	Brennschneider		Brennschneiden
21	Wasserstrahl- schneidemaschine		Hochdruckwasser- strahlschneiden
22	Hydraulikbagger	Fräskopf	Fräsen
23	Schleifmaschine		Schleifen

2.2 Abbruchobjekt

Das im Rahmen dieses Forschungsprojekts jeweilig betrachtete Abbruchobjekt ist ein Gebäuderohbau, da beim Abbruch des Rohbaus mess- und spürbare Einwirkungen auf die Umwelt durch Lärm, Staub und Erschütterungen zu erwarten sind. Die folgenden Prozessschritte werden zur Untersuchung der Einwirkungen auf die lokale Umwelt hier nicht betrachtet:

- Entrümpelung und Entkernung des Gebäudes,
- Ausbau von verwertbaren Bauteilen und nicht mehr verwertbaren Einrichtungsgegenständen (bspw. Fenster, Türen, Möbel und Geräte),
- Entfernung von Innenausbauten und Raumauskleidungen sowie der Gebäudehülle (bspw. Fassade, Dachbelag) und
- Entfernung der technischen Gebäudeausrüstung.

Der Gebäuderohbau wird grob an Hand der horizontalen (Wand, Stütze) und vertikalen Bauteile (Decke, Balken) in Typen unterteilt (vgl. Klauß et al. (2009); Grünthal (1998) und HAZUS (2003)). Für die Untersuchung von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen bei Abbrucharbeiten werden, wie in Tabelle 2 dargestellt, die Hauptmaterialien dieser Bauteile betrachtet.

Tabelle 2: Grobstruktur der Gebäudetypologie und Hauptmaterialien der Bauteile

Konstruktionsart/ Gebäudetypen		Vertikale Tragstruktur		Horizontale Tragstruktur	
		Bau- teil	Materialtyp des Bauteils	Bauteil	Materialtyp des Bauteils
A	Stahl-Skelettbau	Stütze	Stahl	Träger	Stahl
B	Mauerwerk- Stahlbetondecke	Wand	Mauerwerk: <ul style="list-style-type: none"> • Naturstein • Ziegel • Kalksand- stein • Porenbeton • Betonstein 	Deckenplatte	Stahlbeton
C	Mauerwerk- Holzträger- decke	Wand	Mauerwerk: <ul style="list-style-type: none"> • Naturstein • Ziegel • Kalksand- stein • Porenbeton • Betonstein 	Träger	Holz
D	Holz-Fachwerk	Stütze	Holz	Träger	Holz
E	Stahlbeton- Montagebau	Wand	Stahlbeton/ Fertigteil	Decken- /Dachkassen- platte/ Trogrträger	Stahlbeton- fertigteil
F	Stahlbeton- Skelettbau	Stütze	Stahlbeton	Träger/Riegel/ Unterzüge/ Deckenplatte	Stahlbeton
G	Kellergeschoss- Beton- Massivbau	Wand	Unbewehrter Beton	Bodenplatte	Stahlbeton

2.3 Emissionen

Emissionen sind „die von einer Anlage [und anderen Quellen] ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnlichen Erscheinungen“ (§ 3 Abs.3 BImSchG vom 15. März 1974 (BGBl. I S. 721), in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943) geändert worden ist).

Bezüglich der betrachteten Abbrucharbeiten sind zu unterscheiden:

- Diffuse Emissionsquellen lassen sich hinsichtlich des Ortes, an dem Emissionen auftreten, im Allgemeinen nicht scharf eingrenzen, zumeist ist ein flächenhaftes Auftreten ohne definierte Zuordnung und Begrenzungen von Staub- / Lärmkonzentrationen festlegbar (bspw. Überlagerung mehrerer Tätigkeiten Geräte und Maschinen). Bei diffusen Emissionsquellen ist eine messtechnische Bestimmung vergleichsweise mit großen Ungenauigkeiten behaftet und meist nur schwer ermittelbar (vgl. VDI 3790 Blatt 3³),
- Definierte Emissionsquellen lassen sich weitestgehend örtlich eingrenzen („punktförmig“) und auf Einzelvorgänge beschränken (z.B. Maschinen auf Abbruchbaustellen, Abbruchvorgang am Gebäude bzw. der baulichen Anlage).

³ Vgl. VDI 3790 Blatt 3:2010-01-00 Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern.

Weiter unterscheidet man für die Modellierung von diffusen sowie definierten Emissionsquellen zwischen den folgenden Quelltypen in Abhängigkeit von der räumlichen Ausdehnung der Quelle relativ zu den Abmessungen des Betrachtungsraums⁴ bzw. relativ zum Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Emissionsquelle und dem Messpunkt bzw. Immissionsort⁵:

- Punktquelle: keine/relativ geringe Ausdehnung
- Linienquelle: Länge in m
- Flächenquelle: Fläche in m²
- Volumenquelle: Volumen in m³

Bei geringer Entfernung zwischen Emissionsquelle und Immissionsort kann bspw. der Motor einer Bau- und Abbruchmaschine als punktförmige Emissionsquelle angesehen werden, während die Abbruchaktivität an einer Wand oder Decke als flächen- oder volumenförmige Emissionsquelle abgebildet werden kann.

Die messtechnische Ermittlung von Emissionen, die allein durch den Betrieb von Bau- und Abbruchmaschinen verursacht werden, werden in der Regel mit mehreren, kreisförmig um die Maschine angeordneten Sensoren ermittelt und finden sich in Datenblättern der Maschinenhersteller.

Die messtechnische Ermittlung von diffusen Emissionen aus Abbruchvorgängen ist hingegen mit größeren Herausforderungen verbunden. Die Emissionen werden nicht nur allein vom Abbruchvorgang (als Kombination aus der Abbruchtechnik und den Eigenschaften des Abbruchobjekts), sondern auch von meteorologischen Bedingungen stark beeinflusst und unterliegen

⁴ Vgl. VDI 3782 Blatt 1, Anhang 2.

⁵ Nach DIN 18005-1:2002-07, ISO 9613-2:1999-10 kann von einer Punktschallquelle ausgegangen werden, wenn die größte Ausdehnung der Emissionsquelle kleiner als die Hälfte des Abstandes zwischen dem Mittelpunkt der Schallquelle und dem Ort der Messung ist (vgl. hierzu auch Kapitel 5.1.4)

daher zumeist starken Schwankungen. Um verlässliche Immissionswerte eruiieren bzw. Emissionskenngrößen bestimmen zu können, bedarf es genauer Messungen, bei denen dennoch mit Ungenauigkeiten zu rechnen ist, da der/die Emissionsort(e)/die –quelle(n) oft nur grob eingegrenzt werden kann/können. Hinzu kommt, dass Abbruchvorgänge häufig diskontinuierliche Aktivitäten sind, in ihren Intensitäten verschieden und (prozessbedingt) im Regelfall zeitlichen Schwankungen unterliegen.

Nachfolgend sind in Tabelle 3 am Beispiel von Staubemissionen Merkmale diffuser und definierter Quellen hinsichtlich relevanter Kriterien nach VDI 3790 Blatt 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Merkmale diffuser und definierter Staubquellen⁶

Kriterium	Diffuse Emissionsquelle	Definierte Emissionsquelle
Räumliche Quellenstruktur abhängig vom Ausdehnungsmaß	<p>Im Allgemeinen große räumliche Ausdehnung mit niedriger Quellhöhe</p> <p>➔ i.d.R. Flächen- oder Volumenquelle</p> <p>(Abhängig von der Größe des Betrachtungsraums ist eine Annahmen als Punkt- oder Linienquelle möglich)</p>	<p>Eindeutig definierter Quellort aus meist größeren Quellhöhen</p> <p>➔ i.d.R. Punktquelle</p>

Fortsetzung auf der nächsten Seite

⁶ Vgl. hierzu VDI 3790 Blatt 1:2005-01, Tabelle 1 und 2.

2 Definitionen

Emissionsmechanismus	Gase und Partikel gelangen durch Einwirkung äußerer Kräfte oder als Folge physikalischer Stoffeigenschaften unkontrolliert in die Atmosphäre	Gase und Partikel werden mit einem Abgasstrom zwangsgeführt in die Atmosphäre abgegeben
Zeitverhalten der Emission	Emissionsmassenstrom unterliegt häufig starken Schwankungen	Emissionsmassenstrom meist konstant
Abhängigkeit der Emissionen von Umgebungseinflüssen	Meist stark	Weitgehend unabhängig

Eine Unterscheidung hinsichtlich des Auftretens am Beispiel diffuser Luftverunreinigungen kann in:

- natürliche und anthropogene (Grundbelastung, die zur natürlichen Zusammensetzung der Luft gezählt werden kann),
- primäre oder sekundäre und
- mobile und stationäre (ortsfeste)

Quellen erfolgen.

Im Zuge der Betrachtung der Immissionen bei Abbrucharbeiten spielen primäre u./o. sekundäre Quellen sowie mobile und stationäre Quellen eine entscheidende Rolle. Primäre Quellen für Lärm und Staub sind hier bspw. die allgemein durchgeführten Tätigkeiten auf der Baustelle, Maschinen- und Geräteeinsatz, mechanische Beanspruchungen des Abbruchmaterials und der eingesetzten Technik, Baustellenverkehr etc. Hierbei werden bspw. die partikelförmigen Stäube direkt freigesetzt.

2.4 Immissionen

Immissionen sind „auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen (z.B. Staub, Gase oder Geruchsstoffe), Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen“ (§ 3 Abs.2 BImSchG vom 15. März 1974 (BGBl. I S. 721), in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943) geändert worden ist). Relevante Beurteilungspunkte für die Messung von Immissionen beim Abbruch werden je nach Schutzgut, Situation und Rahmenbedingungen bestimmt.

Beim Bauwerksabbruch sind Arbeitnehmer und Anwohner sowie die angrenzenden baurechtlichen Gebiete und Nachbarbauwerke als relevante Schutzgüter zu bezeichnen, die je nach Gebietstyp im Bebauungsplan unterschiedliche Schutzanforderungen haben. Die bei der Immissionsmessung von Lärm, Staub und Erschütterungen relevanten Beurteilungspunkte, Richtwerte und Schutzbedürftigkeit der Immissionsorte sowie Gesetze, Normen und Richtlinien werden in Kapitel 3.1 erläutert.

Bei der Beurteilung und Messung von Immissionen sind die lokalen Rahmenbedingungen zu beachten und zu dokumentieren. Denn Vorbelastungen⁷, meteorologische Bedingungen, Abbruchverfahren, Größe von Maschine(n) und Anbaugerät(en), Höhe der Emissionsquelle(n) über der Geländeoberkante, Umfeld (Nachbarbebauung, Bewuchs etc.) und Zeitdauer haben Einfluss auf die Messergebnisse. Für die Messung von Immissionen an Abbruchbaustellen kann durch Schutzmaßnahmen eine Minderung ermittelt, herbeigeführt und dokumentiert werden.

⁷ Vorbelastungen von Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen. Weitere Begriffserklärungen finden sich im Glossar (vgl. Anhang A)

3 Regelwerke und Stand der Technik

Die relevanten Regelwerke zu Emissionen und damit einhergehenden Einwirkungen auf die lokale Umwelt/Immissionen durch Abbruchaktivitäten sind stark unterteilt, verteilt und heterogen. Zum besseren Verständnis werden daher im Kapitel 3.1 die Handhabung und Ermittlung von Immissionen von Lärm, Staub und Erschütterungen beim Bauwerksabbruch anhand der geltenden rechtlichen Regelungen, Normen und Richtlinien beschrieben. Schadstoffe sowie Arbeits- und Gesundheitsschutz werden aufgrund der unterschiedlichen Rechtslage gesondert betrachtet. Zur Skizzierung des Stands der Technik hinsichtlich der Thematik des Forschungsprojekts und um entsprechende Forschungslücken aufzuzeigen, die durch das Projekt mindestens zum Teil geschlossen werden sollen, werden in Kapitel 3.2 existierende Hilfsmittel zur Unterstützung des Abbruchprozesses umrissen und Kapitel 3.3 geht auf die derzeit bei der Abbruchdurchführung eingesetzte Messtechnik ein.

3.1 Handhabung und Bestimmung von Umwelteinwirkungen beim Bauwerksabbruch

3.1.1 Lärmemissionen/-immissionen

Lärm bezeichnet störende „Geräuschimmissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen der Allgemeinheit oder der Nachbarschaft herbeizuführen“ (Abs. 2.1 TA Lärm).

3.1.1.1 Rechtliche Regelungen

Rechtlich sind bei Abbruchaktivitäten Regelungen hinsichtlich möglichen Lärms am Arbeitsplatz und Lärmimmissionen auf die Umwelt zu unterscheiden

(Lippok und Korth (2007)). Lärmimmissionen auf die Umwelt werden von folgenden Regelungen thematisiert¹:

- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – **BImSchG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943) geändert worden ist.
- Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – **TA Lärm**) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503).
- Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – **16. BImSchV**) vom 19. September 2006 (BGBl. I S. 2146).
- 32. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung – **32. BImSchV**) vom 29. August 2002 (BGBl. I S. 3478), zuletzt geändert am 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178).
- Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – vom 19. August 1970 (Beil. zum BAnz. Nr. 160) (**AVV Baulärm**).
- Bebauungsplan und hier festgelegte bauliche Nutzung der Gebiete der jeweiligen Gemeinde.

¹ Vgl. auch die EU-Richtlinie 2000/14/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2000 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen, zuletzt berichtigt am 17.06.2006 (ABl. EU Nr. L 165 S. 35).

Die AVV Baulärm ist die für die Beurteilung von Baustellenlärm in der Nachbarschaft einschlägige Vorschrift. Jedoch sind hier nicht alle Punkte, wie beispielsweise der Umgang mit Vorbelastung, abschließend geregelt. In diesen Fällen kann die TA Lärm mit ihrer größeren Regelungstiefe zum “Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche“ als zusätzliche Erkenntnisquelle zur Prüfung der Einhaltung des BImSchG (insbesondere § 22 BImSchG) herangezogen werden (Krämer (2013)). Bei der Festlegung von Immissionsrichtwerten für Gewerbelärm an Immissionsorten außerhalb von Gebäuden spielen beispielsweise die Gemengelage, seltene Ereignisse und Spitzenpegel eine zentrale Rolle. Die nach TA Lärm zur Beurteilung von Lärmimmissionen herangezogenen Maximal- und Durchschnittswerte beziehen sich derzeit auf einen Arbeitstag (8h).

Darüber hinaus regelt die aktuelle Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung die Betriebszeit der Abbruchmaschinen und -geräte in Abhängigkeit von der Maschine und dem Gebietscharakter (z. B. in „Wohngebieten“ oder in „empfindlichen Gebieten“ (§ 7 und § 8 32. BImSchV)). Sachgerechte Ausschreibungsunterlagen des verantwortlichen Bauherrn bzw. Planungsingenieurs haben dabei die Einhaltung der genannten rechtlichen Aspekte zu berücksichtigen.

Im Bereich der Normen und Richtlinien fließen die DIN ISO 9613-2:1999-10², DIN EN 12354-4:2001-04³ sowie die Richtlinien für den Verkehrslärmschutz RLS-90:1990 in die Immissionsermittlung ein.

² DIN ISO 9613-2:1999-10: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeine Berechnungsverfahren

³ DIN EN 12354-4:2001-04: Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften, Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie

3.1.1.2 Erfassung

Lärmemissionen treten bei Abbrucharbeiten an der Abbruchstelle (1), am Ort des Aufpralls herabstürzender Teile (2) oder am Motor der eingesetzten Maschine (3) auf (vgl. Abbildung 3). Lärmimmissionen werden meist an maßgeblichen Immissionsorten gemessen, d. h. an benachbarter Bebauung⁴ oder an baurechtlichen Gebietsgrenzen (vgl. (4) in Abbildung 3). Für die Ermittlung von Lärmimmissionen möglichst nah an der Emissionsquelle sind daher Messungen am Motor der eingesetzten Maschine (3) und wenn möglich an der Abbruchstelle (1) zielführend.

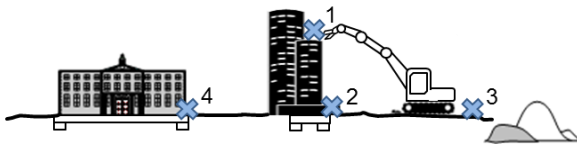


Abbildung 3: Mögliche Messpunkte für die Ermittlung von Lärmimmissionen (Querschnitt)

3.1.1.3 Beurteilung/Gutachten

Für die Ermittlung von Lärmemissionen und -immissionen bei Abbrucharbeiten werden gegenwärtig häufig Gutachten nach TA Lärm von Gutachtern und Ingenieurbüros erstellt.

Diese verwenden topographische Geländedaten, relevante Gebäudekonfigurationen und Aktivitätsprofile der geplanten Abbrucharbeiten. Im Rahmen der Aktivitätsprofile wurden im Vorfeld geklärt, welche schalltechnisch relevanten Abbruchtätigkeiten, an welchen Standorten, zu welchen Zeiten durchgeführt werden und welche Maschinen zum Einsatz kommen. Den Maschinen werden darauf auf Basis von Herstellerangaben, allgemeinen Maschinendaten (bspw. EU-Richtlinie 2000/14/EG oder Krämer et

⁴ DIN 4109:1989-11 thematisiert dabei den Schallschutz im Hochbau und ist insbesondere beim Teilabbruch unter dem Gesichtspunkt der Schallübertragung auf direkt angrenzende Bauwerke relevant.

al. (2004)) oder nicht öffentlich verfügbaren Erfahrungswerten Emissionskennwerte zugeordnet. Eingabedaten in das gutachterliche Lärmausbreitungsmodell sind außerdem Daten der Wetterkarte oder einer nahegelegenen Wetterstation (z. B. gemessene Winddaten) sowie Informationen über die Vorbelastungen, die am Abbruchstandort vorliegen. Anschließend werden mit Hilfe der Ausbreitungsmodelle entsprechende Ausbreitungsberechnungen durchgeführt und so die Immissionen ermittelt. Für das Lärmgutachten wird meist eine zweidimensionale Lärmkarte mit der erwarteten Lärmausbreitung erstellt, die die Zonen mit gleichen Schalleistungspegeln unter den vorherrschenden Rahmenbedingungen darstellt. Die Beurteilung der Immissionen erfolgt nach den einschlägigen rechtlichen bzw. technischen Regelwerken (wie etwa TA Lärm).

3.1.1.4 Fazit

Die in der Praxis herangezogene TA Lärm bezieht sich nicht explizit auf Bau- und Abbrucharbeiten. Die rechtlich gültige AVV Baulärm wird in der Abbruchpraxis auf Grund der geringeren Regelungstiefe und vereinzelt nicht abschließenden Regelungen selten zur Beurteilung von Lärmimmissionen herangezogen. Derzeit sind die zur Beurteilung von Lärmimmissionen herangezogenen Maximal- und Durchschnittswerte auf einen Arbeitstag (8h) bezogen und die Fläche bzw. das Volumen des abgebrochenen Materials oder die gesamte Abbruchdauer finden hierbei keine Berücksichtigung.

Derzeit gibt es keine ursachenorientierte Regelung bezüglich Lärmimmissionen durch Bau- und Abbrucharbeiten. Und in diesem Zusammenhang gibt es auch keine Bestimmung, die Messpunkte auf Abbruchbaustellen möglichst nah an der Emissionsquelle definiert, und die somit zur eindeutigen und einheitlichen Erfassung von Lärmimmissionsdaten herangezogen werden kann. Was notwendig wäre, um von diesen Messdaten auf die tatsächlich durch den Abbruchvorgang verursachten Emissionen rückschließen zu können.

Bisherige Gutachten basieren zum einen auf maschinenbezogenen Emissionswerten. Zum anderen werden nicht frei verfügbare, unterschiedliche

Erfahrungs- und Messwerte zur Berechnung der Lärmkarten (Ausbreitung) und Lärmimmissionen herangezogen.

3.1.2 Staub

Staub wird nach Partikelgröße in einatembare und alveolengängige Stäube⁵ differenziert. Luftverunreinigungen dieser Art werden in Bezug auf die Wirkungsräume Mensch (am Arbeitsplatz) und Umwelt (Umweltmedien, Nachbarschaft) unterteilt.

3.1.2.1 Rechtliche Regelungen

Folgende rechtliche Regelungen greifen bei Staubimmissionen auf die Umwelt:

- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – **BImSchG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943) geändert worden ist.
- Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – **TA Luft**) vom 14. Mai 1990 (BGBl. I S. 880), zuletzt geändert am 24. Juli 2002 (GMBI Nr. 25-29 vom 30. Juli 2002, S. 511).

Staubimmissionen auf die lokale Umwelt, losgelöst vom Arbeits- und Gesundheitsschutz (siehe hierzu 3.1.5), werden hauptsächlich in der TA Luft geregelt. Obwohl sie sich nicht explizit auf Bau- und Abbrucharbeiten bezieht, wird sie in der Praxis oft als Beurteilungsmaßstab herangezogen. In der TA Luft sind stoffbezogene Staubkonzentrationen und Schweb-Staubkonzentrationen

⁵ Vgl. Glossar (Anhang A)

bezogen auf den Normzustand⁶ mit ihrer jeweils zulässigen Überschreitungshäufigkeit genannt. Beispielsweise liegt für PM10-Schwebstaub die Jahres-Konzentration bei 40 µg/m³ und die Tages-Konzentration (24h) bei 50 µg/m³ (mit 35 zulässigen Überschreitungen im Jahr) (Abs. 4.2.1 TA Luft). Jedoch dürfen Tagesmittelwerte nicht und Halbstundenmittelwerte höchstens um das 2fache der festgelegten Konzentration überschritten werden (Abs. 2.7 TA Luft). Außerdem ist ein mittlerer Immissionswert für Staubniederschlag (Deposition) von 0,35 g/(m²×Tag) definiert, der nicht überschritten werden darf (Abs. 4.3.1 TA Luft).

Wichtige Richtlinien sind bei der Ermittlung von Staub an Abbruchbaustellen die VDI-Richtlinie 3783-Blatt 13⁷ sowie VDI-Richtlinie 3790-Blatt 1 und 3⁸. Eine Beschreibung der Schwebstaubermittlung und der Messdatenauswertung findet sich in der VDI-Richtlinie 2463-Blatt 1⁹, sowie für die PM-10-Fraktion des Schwebstaubs in DIN EN 12341:2012-07¹⁰.

⁶ Die TA Luft definiert den Normzustand mit 273,15 K und 101,3 kPa unter Abzug des Feuchtegehalts, für den die volumenbezogenen Emissionsmengen angegeben sind (Abs. 2, TA Luft).

⁷ VDI-Richtlinie 3783-Blatt 13:2010-01 Umweltmeteorologie. Qualitätssicherung in der Immissionsprognose. Anlagenbezogener Immissionsschutz. Ausbreitungsrechnung gemäß TA Luft

⁸ VDI-Richtlinie 3790-Blatt 1:2005-01 Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Grundlagen. VDI-Richtlinie 3790-Blatt 3:2010-01 Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen. Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern.

⁹ VDI-Richtlinie 2463-Blatt 1:1999-11 Messen von Partikeln – Gravimetrische Bestimmung der Massenkonzentration von Partikeln in der Außenluft – Grundlagen.

¹⁰ DIN EN 12341:2012-07: Außenluft - Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM10- oder PM2,5-Massenkonzentration des Schwebstaubes.

3.1.2.2 Erfassung

Die Beurteilungspunkte für die Messung von Staubimmissionen können je nach Rahmenbedingungen und relevantem Immissionsort in der Nähe des Abbruchs sein, wie in Abbildung 4 in (1) und (2) dargestellt. Sie können aber auch hinsichtlich der Berücksichtigung von Vorbelastungen an Verkehrswegen liegen (3) oder an Immissionsorten, an denen Arbeitnehmer, Anwohner oder benachbarte Bauwerke und Anlagen betroffen sind (vgl. (4) und (5) in Abbildung 4).

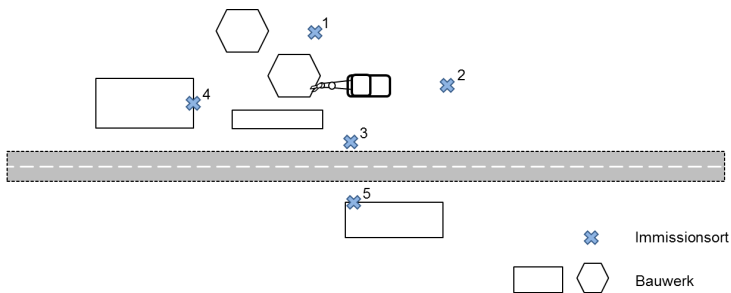


Abbildung 4: Mögliche Messpunkte für die Ermittlung von Staubdeposition und Feinstaub (PM10) (Draufsicht)

Bei derzeitig durchgeführten Staubmessungen nach TA Luft ergibt sich die genaue Lage der Messpunkte aus Diskussionen der Gutachter/Kontrollinstitutionen bezüglich der lokalen Rahmenbedingungen am Abbruchobjekt. Meist werden mindestens drei Messpunkte im Umkreis des Abbruchobjektes gewählt und die Staubimmissionen (Staubdeposition und PM 10) über einige Tage gemessen. Diese Messpunkte sind daher nicht ohne weiteres verallgemeinerbar oder in Bezug auf bestimmte Abbruchvorgänge interpretierbar. Eine umfassende Norm zur Ermittlung von Luftverunreinigungen (bzw. Staub) bei Abbrüchen gibt es derzeit nicht. Staubemissionen können nur schwer quantifiziert und Abbruchvorgängen zugeordnet werden, da direkt an der Emissionsquelle oft nicht gemessen werden kann und auch dann Rahmenbedingungen wie Wetterverhältnisse das Ergebnis stark beeinflussen können.

Die Bestimmung der Staubinhaltsstoffe durch eine Analyse im Labor ist je nach Region und je nach verbauten Materialien und Baujahr des Abbruchobjektes auf andere Schadstoffe fokussiert und in der Regel kostenintensiv.

3.1.2.3 Beurteilung/Gutachten

Die Durchführung eines Gutachtens nach TA Luft an einem Abbruchobjekt erfolgt derzeit selten. Naheliegende Gründe hierfür sind der hohe zeitliche Aufwand und die Kosten für ein solches Gutachten sowie die schwer verallgemeinerbaren und sehr von meteorologischen Bedingungen abhängigen Ergebnisse. Wenn ein Gutachten für den Einzelfall erstellt wird, werden für eine Ermittlung des Gesamtstaubs (Deposition), des Feinstaubs (PM 10) und der Staubinhaltsstoffe sowie seine Verteilung Messungen und Modellrechnungen durchgeführt. Eingabeparameter für die Berechnungen sind dabei digitale Geländemodelle, exakte Wetterdaten von Wetterstationen, Emissionsangaben der Maschinen und die Vorbelastung am Abbruchstandort.

3.1.2.4 Fazit

Die in der Praxis oft als Beurteilungsmaßstab herangezogene TA Luft bezieht sich nicht explizit auf Bau- und Abbrucharbeiten. Die hier enthaltenen Richtwerte beziehen sich auch auf deutlich längere Zeiträume (Jahresmittelwerte) als für Abbruchvorgänge relevant sind.

Derzeit gibt es auch keine ursachenorientierte Regelung bezüglich Staubimmissionen durch Bau- und Abbrucharbeiten. Weiter sind die Messpunkte nicht allgemein festgelegt, sondern werden in jedem Fall mit den zuständigen Behörden abgestimmt. Vorbelastungen werden darin nur teilweise berücksichtigt. Bisherige Gutachten sind selten und basieren auf meist nicht frei verfügbaren, unterschiedlichen Erfahrungs- und Messwerten zur Berechnung der Ausbreitung und Staubimmission.

3.1.3 Vibrationen und Erschütterungen

Nach DIN 4150-3:1999-02 sind Erschütterungen „mechanische Schwingungen fester Körper mit potentiell schädigender oder belästigender Wirkung“ (siehe

auch § 3 Abs. 1 BImSchG) auf bauliche Konstruktionen und Menschen darin. Erschütterungen können von geometrisch und zeitlich unterschiedlichen Quellentypen ausgehen und unterscheiden sich in Häufigkeit und Frequenzbereich (DIN 4150-1:2001-05, § 4). Im Rahmen des Abbruchs sind besonders die in DIN 4150-1 genannten Erschütterungsquellen der fallenden Massen relevant. Entscheidend für die Erschütterungsausbreitung sind die Struktur des Immissionsortes sowie die Eigenschaften des Untergrunds auf dem Ausbreitungsweg (DIN 4150-1:2001-06, § 4).

3.1.3.1 Rechtliche Regelungen

Rechtliche Regelungen unterscheiden zwischen Einwirkungen durch Erschütterungen auf Menschen (am Arbeitsplatz) sowie auf bauliche Konstruktionen und Menschen darin (Umwelt). Relevante rechtliche Regelungen für Erschütterungsimmissionen auf die Umwelt beim Bauwerksabbruch sind:

- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissions-schutzgesetz – **BImSchG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943) geändert worden ist,
- Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) vom 10. Mai 2000: „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen“.

Darüber hinaus regeln die Normen DIN 4150 Teile 1 bis 3 Erschütterungen im Bauwesen. Teil 1 beschreibt die Vorermittlung der Erschütterungsimmissionen, während Teil 2 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden und Teil 3 Wirkungen auf bauliche Anlagen und Umgebung beurteilen. Diese Beurteilung bezüglich baulicher Anlagen umfasst die Klassifizierung von Erschütterungsimmissionen in 3 Stufen.

Zur Messung von Erschütterungen im Bauwesen existieren die DIN 45669-1:2010-09¹¹ und die DIN 45669-2:2005-06¹², sowie vertiefend Veröffentlichungen zur Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen (LfU (2005), LfI (2000)).

3.1.3.2 Erfassung

Für die Ermittlung der Erschütterungsemission sollten die Messpunkte möglichst nah an den einleitenden Punkten am Fundament (1), auf dem Baugrund (2) mit Angabe der Bodenbeschaffenheit oder für maschinenbezogene Emissionen in der Nähe der Maschine (3) (vgl. Abbildung5) liegen. Für die Messung von Erschütterungsimmissionen nach DIN 4150-2 und 4150-3 wird an Messpunkten am benachbarten Gebäude (Gebäudemitte oder an der obersten Decke) (4) oder am Fundament des benachbarten Gebäudes (5) gemessen (vgl. Abbildung5).

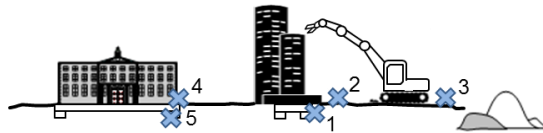


Abbildung 5: Mögliche Messpunkte für die Ermittlung von Erschütterungsimmissionen (Querschnitt)

3.1.3.3 Beurteilung / Gutachten

Gutachten für Erschütterungen beim Bauwerksabbruch werden sehr selten durchgeführt. Hauptsächlich bei geplanten Sprengungen oder sehr sensibler Nachbarbebauung, wie Gebäude unter Denkmalschutz, oder Gebäude mit vibrationsempfindlichen Anlagen.

¹¹ DIN 45669-1:2010-09: Messung von Schwingungsimmissionen - Teil 1: Schwingungsmesser - Anforderungen und Prüfungen.

¹² DIN 45669-2:2005-06: Messung von Schwingungsimmissionen - Teil 2: Messverfahren.

3.1.3.4 Fazit

Rechtlich geregelt werden Erschütterungen im Bauwesen durch das BImSchG sowie durch Normen und Richtlinien. Im Gegensatz zur Schall- und Staubausbreitung in der Luft existiert für Erschütterungen und Vibrationen keine entsprechende Technische Anleitung, die sich explizit auf Erschütterungsimmissionen bei Bau- und Abbrucharbeiten bezieht.

Derzeit gibt es keine ursachenorientierte Regelung bezüglich Erschütterungsimmissionen durch Bau- und Abbrucharbeiten. Und in diesem Zusammenhang gibt es auch keine Bestimmung, die Messpunkte auf Abbruchbaustellen möglichst nah an der Emissionsquelle definiert, und die somit zur eindeutigen und einheitlichen Erfassung von Erschütterungsimmissionsdaten herangezogen werden kann. Was notwendig wäre, um von diesen Messdaten auf die tatsächlich durch den Abbruchvorgang verursachten Emissionen rückschließen zu können.

Bisher werden Gutachten zu Abbrucharbeiten sehr selten durchgeführt und basieren auf meist nicht frei verfügbaren, unterschiedlichen Erfahrungs- und Messwerten zur Berechnung der Ausbreitung und Immission. Vorbelastungen – bspw. von Straßenverkehr - werden darin nur teilweise berücksichtigt.

3.1.4 Bauteile zur Wiederverwendung/-verwertung, Abbruchabfälle und Schadstoffe

3.1.4.1 Rechtliche Regelungen

Für abgebrochene Bauteile, Recycling-(RC)-Baustoffe und Schadstoffe aus Bauwerksabbrüchen gelten die folgenden rechtlichen Regelungen:

- Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – **KrWG**) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212).

- Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material (Ersatzbaustoffverordnung – **ErsatzbaustoffV**) (Arbeitsentwurf, Stand: 31.10.2012, noch nicht in Kraft getreten).
- Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung - **GewAbfV**) vom 19.Juni 2002 (BGBl. I S.1938), die zuletzt durch Art. 5 Abs. 23 des Gesetzes vom 24.Februar 2012 (BGBl. I S.121) geändert worden ist.
- Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (Nachweisverordnung - **NachwV**) vom 20. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2298), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 27 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.
- Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 22, des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.

Das KrWG gibt die absteigende Rangfolge für Maßnahmen der Abfallvermeidung, der Wiederverwendung, des Recyclings (RC), der sonstigen Verwertung und der Beseitigung vor.

Der Arbeitsentwurf der geplanten Ersatzbaustoffverordnung (Stand: 31.10.2012), die insbesondere den Schutz von Wasser und Boden fordert, legt Schwellenwerte für bestimmte Stoffgehalte in RC-Baustoffen fest, die Erzeuger und Verwender von mineralischen Ersatzbaustoffen sowie Betreiber von Aufbereitungsanlagen des RC-Materials beachten sollen. Der Nachweis der Materialzusammensetzung soll laut § 7 der ErsatzbaustoffV anhand des Prüfverfahrens in DIN EN 932-1-1999-03 erfolgen.

Für die ordnungsgemäße Entsorgung von schadstofffreien Abbruchmaterialien sorgt die Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen

und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (GewAbfV). Die Entsorgung schadstoffhaltiger Abbruchmaterialien wird durch die Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (NachwV) bestimmt. Weitere Regelungen finden sich in den bundeslandspezifischen Landesabfallgesetzen (LAbfG) und Verwertungsrichtlinien. Außerdem beschreibt die neue VDI-Richtlinie VDI/GVSS 6202-Blatt 1: 2013-10, wie bei einer Sanierung schadstoffbehafteter Gebäude hinsichtlich Umwelt- und Arbeitsschutz vorzugehen ist.

3.1.4.2 Fazit

Aufgrund der bereits bestehenden Verordnungen zum Umgang mit Bau- und Abbruchabfällen ist die Recyclingquote in Deutschland schon sehr hoch. Die schärferen umwelttechnischen Anforderungen durch neue Verordnungen, wie die geplante Ersatzbaustoffverordnung, werden eine Verwertung und Aufbereitung der Materialien jedoch in den kommenden Jahren stark erschweren. Bautechnisch ist eine Wieder- und Weiterverwertung von mineralischen Abbruchabfällen oft nur bei sortenreinem Material möglich. Verbundwerkstoffe/Materialverbände, wie z.B. Wärmedämmverbundsysteme und mit verschiedenen Stoffen wärmegeämmtes Mauerwerk erschweren jedoch eine sortenreine Trennung der Abbruchabfälle. Es sollten daher Methoden entwickelt werden, welche eine weitgehend sortenreine Trennung von Verbundstoffen erlauben und damit wieder als Rohstoffquellen oder Sekundärstoffe zur Verfügung stehen.

3.1.5 Arbeits- und Gesundheitsschutz

3.1.5.1 Rechtliche Regelungen

Insgesamt betrachtet gibt es für den Arbeits- und Gesundheitsschutz auf Abbruchbaustellen bereits umfangreiche Arbeitsschutzvorschriften und Regelungen. Bauherr und Bauunternehmer haben dabei in den letzten Jahren eine größere Verantwortung für Kontroll- und Dokumentationsaufgaben erhalten. Wesentliche rechtliche Regelungen sind:

- Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen (Baustellenverordnung – **BaustellV**) vom 10. Juni 1998 (BGBl. I S. 1283), die durch Artikel 15 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758) geändert worden ist.
- Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – **LärmVibrationsArbSchV**) vom 6. März 2007 (BGBl. I S. 261), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960) geändert worden ist.
- Arbeitsstättenverordnung (Arbeitsstättenverordnung – **ArbStättV**) vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179), die zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960) geändert worden ist.
- Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – **GefStoffV**) vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643, 1644), die durch Artikel 2 des Gesetzes vom 28. Juli 2011 (BGBl. I S. 1622) geändert worden ist.
- Technische Regel zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – **TRLV Lärm** (GMBL Nr. 18-20 vom 23. März 2010, S. 359).
- Technische Regel zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – **TRLV Vibrationen** (GMBL Nr. 14/15 vom 10. März 2010, S. 271).

Falls ein Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan notwendig ist, ist der Bauherr nach BaustellV für die Bestellung eines Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordinators (SiGeKo) verantwortlich. Behörden und Berufsgenossenschaften kontrollieren stichprobenartig die Einhaltung dieser Vorgaben. Der Abbruchunternehmer ist für die Erstellung einer Abbruchanweisung und einer Gefährdungsbeurteilung verantwortlich. Falls das geplante Abbruchprojekt voraussichtlich gefährliche Materialien nach Anhang II, Abschnitt 2 der BaustellV beinhaltet, so gilt für den Arbeitgeber eine Informationspflicht (vgl. BGR 128: Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Kontaminierte Bereiche) und eine Verpflichtung, vor Einrichtung der Baustelle einen Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan zu erstellen (vgl. § 2.2 BaustellV). Der Abbruchunternehmer hat nach §6 ArbSchG eine Dokumentationspflicht zu erfüllen. Hierfür ist die vom Deutschen Abbruchverband herausgegebene „Arbeitshilfe zur Anfertigung von Gefährdungsbeurteilungen bei Abbrucharbeiten“ (vgl. DA (2014)) hilfreich.

Staub: Die GefStoffV regelt die Einstufung, Kennzeichnung, Produktion und Verwendung von gefährlichen Stoffen sowie den Schutz von Personen, die Kontakt zu Gefahrstoffen haben. Dazu zählen auch schädliche, einatembare und alveolengängige Stäube am Arbeitsplatz. Diverse Technische Regeln ergänzen die Vorgaben (TRGS 402, 517, 519, 521, 559, 900, 906 etc.). Der allgemeine Staubgrenzwert (ohne erbgutverändernde, krebserzeugende, fibrogene, allergisierende oder toxische Wirkung) am Arbeitsplatz liegt für die alveolengängige Fraktion (A-Staub) bei 3 mg/m^3 und für die einatembare Fraktion (E-Staub) bei 10 mg/m^3 (vgl. TRGS 900 und TRGS 559). In Kürze wird der Arbeitsplatzgrenzwert für A-Stäube angepasst und es wird ein Grenzwert von $1,25 \text{ mg/m}^3$ bezogen auf eine mittlere Dichte von $2,5 \text{ g/cm}^3$ gelten (vgl. Gunreben (2014)).

Lärm und Vibrationen: Gemäß § 3 Abs. 4 LärmVibrationsArbSchV ist der Arbeitgeber angehalten, die am Arbeitsplatz möglichen Vibrationen zu dokumentieren und geeignete Maßnahmen zur Vermeidung oder Minimierung der Gefährdung vorzuschlagen. Weiter werden in der Verordnung Grenzwerte

für Lärmimmissionen sowie für Hand-Arm-Vibrationen und Ganzkörper-Vibrationen am Arbeitsplatz mit Tages- (8h) bzw. Wochen-Lärmexpositionspegel sowie Expositionsgrenzwerten und Auslösewerten definiert. Die entsprechenden Technischen Regeln TRLV Lärm und TRLV Vibrationen ergänzen die LärmVibrationsArbSchV. Weitere Vorschriften wie BGV B 3 (Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“) oder die VDI-Richtlinie 2058-Blatt 2 und 3¹³ ermöglichen die Beurteilung von Lärmexposition am Arbeitsplatz. Die VDI-Richtlinie 2057-Blatt 1¹⁴ und Blatt 3¹⁵, sowie die DIN EN ISO-Teil 1 und 2¹⁶ regeln den Umgang von Vibrationen in den menschlichen Körper am Arbeitsplatz.

3.1.5.2 Fazit

Der Umgang mit Immissionen am Arbeitsplatz sowie mit anderen Aspekten des Arbeits- und Gesundheitsschutzes sind in den genannten rechtlichen Regelwerken ausführlich beschrieben und umfassend durch Technische Regeln, Normen und Richtlinien ergänzt. Messungen zur Exposition von Arbeitnehmern werden von Berufsgenossenschaften, im Falle des Bauwesens der BG Bau, seit langem umfangreich durchgeführt und sind daher nicht Schwerpunkt des Forschungsprojekts.

¹³ VDI 2058 Blatt 2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Hörschäden, 1988-06. VDI 2058 Blatt 3: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung der Tätigkeiten, 1999-02.

¹⁴ VDI-Richtlinie 2057-Blatt 1: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen - Ganzkörper-Schwingungen, 2002-09.

¹⁵ VDI-Richtlinie 2057-Blatt 3: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen - Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen in Gebäuden, 2012-02.

¹⁶ DIN EN ISO 5349: Mechanische Schwingungen - Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO 5349-1:2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-1:2001 und Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz (ISO 5349-2:2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-2:2001

3.2 Hilfsmittel zur Unterstützung des Abbruchprozesses

3.2.1 Checklisten und Informationsbroschüren

Der Deutsche Abbruchverband e.V. stellt den in der Abbruchplanung beteiligten Akteuren (Bauherr, Planungsingenieur und Abbruchunternehmer) Checklisten, Praxistipps und Merkblätter zur Verfügung. Diese unterstützen beispielsweise bei der Abbruchvorbereitung im Allgemeinen („Checkliste für Abbrucharbeiten“) und hinsichtlich der Arbeitssicherheit im Speziellen („Checkliste zur Arbeitssicherheits-Vorbereitung“) (vgl. DA (2013)). Hier werden einzelne Aspekte, wie etwa Schutzkleidung und bestimmte einzuholende Genehmigungen, in Stichpunkten für die involvierten Akteure aufgelistet. Der Inhalt der Checklisten ist zum Teil überholt und werden daher zurzeit vom Deutschen Abbruchverband überarbeitet (vgl. DA (2013)).

Die Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft und die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin stellen Planungshilfen in Form von Informationsbroschüren, insbesondere für Abbrucharbeiten, bereit, wie „Abbruch und Asbest – Information und Arbeitshilfen für Planung und Ausschreibung“ und „Arbeitsschutz bei Abbrucharbeiten“ (vgl. BG Bau (2011) und BauA (2010)).

Über die Verwendung dieser Checklisten und Informationsbroschüren in der Praxis gibt es keine konkreten Informationen. Laut Deutschem Abbruchverband wurde zwischen Dezember 2012 und November 2013 3.145 Mal auf die Internetseite mit „Vorlagen und Checklisten“ (vgl. Deutscher Abbruchverband (2013)) zugegriffen, das sind etwa 60 Zugriffe pro Woche. Dienliche Checklisten für den Abbruch und die Entsorgung enthält zudem das DWA-Merkblatt 303¹⁷.

¹⁷ Merkblatt DWA-M 303 „Wiedernutzbarmachung von kleinen Grundstücken – Abbruch, Rückbau und geordnete Entsorgung“, Hrsg. DWA, April 2012

3.2.2 Softwaregestützte Werkzeuge

In der Abbruchpraxis werden zur Planung, Steuerung und Überwachung von Abbruchprojekten derzeit vorwiegend Erfahrungswerte verwendet. Kommerzielle softwaregestützte Werkzeuge für die Planung und Kontrolle von Zeit, Kosten und Ressourcen des Abbruchprojekts, wie MS Projekt und Arriba, werden von den am Abbruch Beteiligten kaum verwendet. Das LUBW (2007) bietet ein Berechnungsprogramm zur überschlägigen Grobermittlung beziehungsweise einer genaueren Detailermittlung der Abbruch- und Entsorgungskosten bei Wohn- und Verwaltungsgebäuden abhängig von der Abbruchalternative, „konventioneller“, „teilselektiver“ und „selektiver Abbruch“, an. Im Rahmen von Neubauten werden über den gesamten Projektmanagementprozess jedoch innovative Planungsunterstützungsinstrumente, sogenannte BIM-Systeme (Building Information Modeling) wie ITWO®, die die oben genannten, kommerziellen softwaregestützten Werkzeuge um visuelle, modellbasierte Verfahren ergänzen, zunehmend eingesetzt.

Hilfsmittel, die neben der ökonomischen Dimension auch die ökologische und soziale Dimension betrachten, haben ihren Fokus bislang auf der Neuplanungs- und Nutzungsphase eines Gebäudes. So gibt es neben Checklisten, Informationsbroschüren, beispielsweise auch softwaregestützte Systeme zur Bewertung und Zertifizierung der Nachhaltigkeit von Gebäuden bei der Planung eines Neubaus und in Bezug auf die Nutzungsphase (vgl. DGNB (2012), USGBC (2012), BREEAM (2012), Siemens (2012), Lebenszyklusplanung (2012), BMVBS, 2011).

Emissionen und Immissionen werden jedoch sowohl in den softwaregestützten Planungs- und Kontrollwerkzeugen, in den Werkzeugen für den gesamten Projektmanagementprozess wie auch in den nachhaltigkeitsbezogenen Systemen derzeit nicht berücksichtigt.

3.2.3 Fazit

Keines der oben erwähnten Hilfsmittel hat den Fokus auf der Unterstützung der im Abbruchprozess involvierten Akteure bei der Minderung von Emissionen und Immissionen von Staub, Lärm, Erschütterungen. Diese Lücke soll in diesem Forschungsprojekt durch die prototypische Entwicklung eines Werkzeugs zur Entscheidungsunterstützung bei der operativen Abbruchplanung sowie die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen zumindest teilweise geschlossen werden. Für die Identifizierung und den Umgang mit Schadstoffen in Gebäuden sind einige Hilfsmittel im Zusammenhang mit dem Arbeits- und Gesundheitsschutz verfügbar.

3.3 Messtechnik beim Abbruch

3.3.1 Schallmessungen

Die Erfassung und Quantifizierung von Lärmimmissionen erfolgt mittels Schallpegelmessgeräten, mit denen der Schalldruckpegel bestimmt wird. Mit einem **Messmikrofon mit Kugelcharakteristik** erfolgt die Umwandlung des Schalldrucks in eine elektrische Spannung. Nach dem Vorverstärker wird eine Frequenzanalyse durchgeführt, durch die den Frequenzen Amplituden zugeordnet werden. Diese Amplituden werden dann mit einem Bewertungsfiler nach DIN EN 61672-1¹⁸ verrechnet, der die Hörempfindlichkeit des Menschen wiedergeben soll. Der Standard für eine solche Filterung ist dabei die A-Bewertung, welche dann durch den Wert dB(A) mit angegeben wird. Die so gewonnenen Messwerte werden zeitlich gemittelt.

¹⁸ DIN EN 61672-1:2014; Elektroakustik - Schallpegelmesser - Teil 1: Anforderungen (EC 61672-1:2013).

Schallpegelmessgeräte werden nach der Norm IEC 61672:2013¹⁹ klassifiziert. Hier ist die Klasse 2²⁰ für Anwendungen auf Abbruchbaustellen ausreichend. Bei einem Teil der im Rahmen des Projekts durchgeführten Messungen wurden Schallpegelmessgeräte mit höherer Genauigkeitsklasse (Klasse 1) verwendet.

3.3.2 Staubmessungen

Für die Erfassung und Quantifizierung von Staubimmissionen kann man zwischen gravimetrischen Messungen und kontinuierlichen Verfahren unterscheiden.

Bei der **gravimetrischen Messung** werden die Staubkonzentrationen massenbezogen in mg/m³ gemessen. Hierbei wird zwischen **stationären und personengetragenen** sowie **aktiven und passiven** Probeentnahmegeräten unterschieden. Bei den aktiven gravimetrischen Messungen kann man nach einem Vorabscheider nur die alveolengängige Fraktion des Staubes nach DIN EN 481²¹ zu den Membranfiltern passieren lassen. Der Luftstrom wird mittels einer Pumpe erzeugt und hat je nach Probeentnahmegerät eine feste Größe im Bereich 0,12 bis 22,5 m³/h. Nachgeschaltet ist eine Analyse der Proben, bei der in der Regel auch der Quarzstaubanteil bestimmt wird. Hierzu werden röntgenografische, infrarotspektrografische sowie untergeordnet phasenkontrastmikroskopische Analysenverfahren eingesetzt.

Als Variante ohne eigene Stromversorgung und mit einem wartungsfreundlichen Aufbau stehen Grobstaubsammler als passive Probeentnahmegeräte zur Verfügung. Besonders für Langzeitmessungen (in der Regel etwa einen Monat) des Staubbiederschlags werden sogenannte Bergerhoff-Staubniederschlagsauffänger verwendet, die eine stoffliche

¹⁹ IEC 61672:2003: Electroacoustics – Sound level meters.

²⁰ Schallpegelmessgeräte werden in 2 Klassen unterteilt, die sich in der Breite des gemessenen Frequenzspektrums und im Toleranzbereich für die Kalibrierung und Messung abhängig von der Nennfrequenz unterscheiden: bspw. bei 100 Hz- A-Bewertung beträgt der Toleranzbereich der Klasse 1-Gerät $\pm 1,1$ dB und der Klasse 2-Geräte $\pm 1,6$ dB.

²¹ DIN EN 481: Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel. Deutsche Fassung EN 481:1993-09.

Analyse des Staubes ermöglichen. Ein Messgerät besteht dabei aus einem Gefäß, in dem sich die Staubpartikel ablagern können. Die Messungen nach diesem Verfahren werden von der VDI 2119:2013-06 charakterisiert. Als weitere Möglichkeit Staubdepositionen passiv zu messen gibt es selbstklebende Folien, bei denen der Staub in der Klebstoffschicht gebunden wird. Über das Gewicht kann dann bestimmt werden, welche Masse an Staub sich auf dieser definierten Fläche angesammelt hat.

Neben den gravimetrischen Probeentnahmegeräten gibt es auch **kontinuierlich messende optische Staubmessgeräte**, die das Streulicht auswerten. Diese Geräte messen die Größe und Anzahl von Partikeln in der Luft (g/m³). Somit lassen sich die Fraktionen bestimmter Partikelgrößen messen. Die Luft wird mit einem definierten Volumenstrom eingezogen. Eine Analyse der Stoffe erfolgt nicht, jedoch werden kontinuierlich und sofort Messwerte ermittelt.

Im Rahmen des Projekts liegt der Fokus auf kontinuierlichen, optischen Messung, mittels denen kann die Staubentwicklung über die zeitliche Auflösung direkt dem Vorgang zugeordnet werden und so ist eine vorgangsbezogene Auswertung des Staubaufkommens möglich. Die kontinuierliche, optische Messung ermöglicht auch eine Auswertung der umweltbedingten Partikelexpositionen PM₁₀ und PM_{2,5}. Partikel die über 40 µm groß sind, werden nicht gemessen. Hinsichtlich der verschiedenen Partikelgrößen ist beim optischen Verfahren keine direkte Massenbestimmung möglich. Die Masse wird mittels integrierter Masseannahmen in den Geräten - abhängig von der Partikelgröße - ermittelt.

3.3.3 Erschütterungsmessungen

Die Ermittlung der Messgröße Erschütterung erfolgt in der Regel nach DIN 4150 mit einem **Schwingungssensor**, der die Schwinggeschwindigkeit (in mm/s) in Abhängigkeit der Zeit angibt. Erschütterungen sind die am schwersten vorherzusagende Immissionsgröße, da der Boden das maßgebliche Element ihrer Übertragung darstellt und die Bodeneigenschaften nicht immer exakt bekannt sind. Bei weichem Baugrund ist beispielsweise ein schnelles Abklingen

der Erschütterungen zu erwarten. Das kann allerdings auch dazu führen, dass spezielle Frequenzen herausgefiltert oder verstärkt werden.

3.3.4 Fazit

Da die genannten Messungen sehr aufwändig und kostenintensiv sind, werden sie nur punktuell auf Abbruchbaustellen durchgeführt; in der Regel immer dann, wenn es zu Anwohnerklagen gekommen ist/kommen kann oder wenn es für die Abbruchgenehmigung erforderlich ist.

Parallel zu den Arbeiten ausgeführte Messungen nehmen derzeit nur begrenzt Einfluss auf das Abbruchgeschehen. So werden Schwingungsmessungen beispielsweise in der Praxis oft nur durchgeführt, um nachträglich die Schwingungseinwirkung festzuhalten. Jedoch eher selten ist der Einsatz von Schwingungsmessgeräten als Online-Monitoring-System, welches beim Überschreiten bestimmter Richtwerte während Abbrucharbeiten sofort einen Alarm auslöst.

Weiter gibt es auf Abbruchbaustellen ständig wechselnde Bedingungen, weswegen Messungen im Freien je nach Aufpunkt nur eingeschränkt aussagekräftig sind (TRGS 402, Anlage 5). Eine parallele Aufnahme und Berücksichtigung der Wetterdaten wäre hier ein erster Schritt um die Relevanz einzelner Messungen zu erhöhen.

Die Vielzahl der in Kapitel 3 genannten Verordnungen, Richtlinien und Gesetze, die zum Teil auch untereinander andere Definitionen und Grenzwerte angeben, machen es unter praktischen Bedingungen schwer, jede Vorgabe berücksichtigen zu können, insbesondere da nicht immer klar ist, welche Angabe gerade verbindlich gilt. Ein einheitliches Regelwerk, das alle einzuhaltenden Immissionsgrenzwerte nach Gebietscharakter und Messmethode auflistet, wäre hier ein wünschenswerter Fortschritt. In diesem Zusammenhang wären auf jeden Fall die Vorbelastungen zu berücksichtigen. Weiter wäre nach der Art der Tätigkeit zu unterscheiden, indem ein deutlicher Unterschied in der Bewertung kurzzeitiger Emissionen (z.B. Abbruch) und permanenter Emissionen (z.B. stationäre Industrieanlage) gemacht wird.

4 Gesamtkonzept des Forschungsprojekts

Das vorliegende Forschungsprojekt zielt primär auf die Verminderung von Immissionen ab, die auf den Menschen und die Umwelt beim Gebäudeabbruch einwirken können. Dazu soll durch eine verbesserte Datenbasis und eine verbesserte Entscheidungsgrundlage für die vertragliche Gestaltung und operative Planung von Abbrucharbeiten ein Grundstein für geringere Immissionen beim Abbruch gelegt werden. Daneben werden auch einzelne Kriterien, die für eine höherwertige Verwertung und Wiederverwendung von Bauteilen und Abbruchabfällen relevant sind, berücksichtigt. Indirekt inbegriffene Mehrwerte des Forschungsprojekts sind ein verbesserter Kenntnisstand der Akteure in Bezug auf Emissionen und Immissionen beim Bauwerksabbruch sowie ein ausgeweiteter Arbeits- und Gesundheitsschutz auf Abbruchbaustellen in Verbindung mit geringeren Immissionen in die Umwelt. Dieses Gesamtkonzept des Projekts ist in Abbildung 6 dargestellt.

Wie in Abbildung 6 dargestellt, wird die Abbruchplanung einerseits durch die vertraglichen Rahmenbedingungen unter Einhaltung der rechtlichen Regelungen, andererseits durch die Bauwerkseigenschaften und die lokalen Rahmenbedingungen determiniert. Während der Abbruchdurchführung haben die Abbruchvorgänge eine Wirkung auf die lokale Umwelt in Form von Abbruchabfällen sowie mögliche gesundheitsgefährdende Immissionen, als Folge von vorgangsbezogenen Emissionen.

4 Gesamtkonzept des Forschungsprojekts

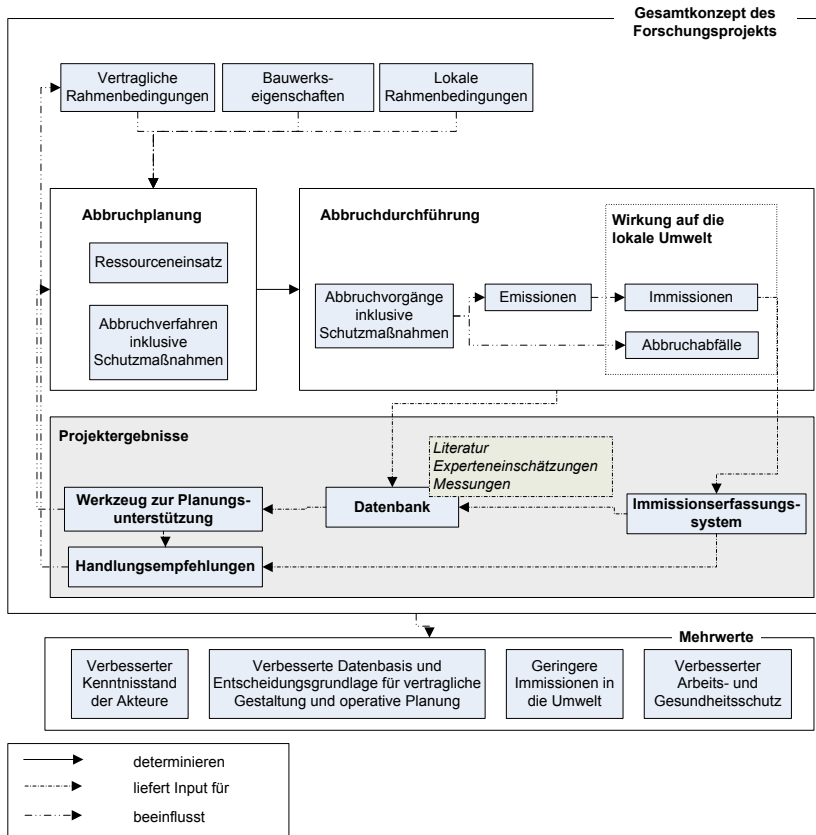


Abbildung 6: Gesamtkonzept des Forschungsprojekts

Die Mehrwerte des Forschungsprojekts sollen über die folgenden vier Teilergebnisse des Gesamtkonzepts erreicht werden:

1. Teilergebnis: Es wird ein prototypisches Werkzeug zur Unterstützung der operativen Abbruchplanung entwickelt.

2. Teilergebnis: Als Datengrundlage wird an dieses softwaregestützte Werkzeug eine Datenbank mit quantitativen und qualitativen bauteil-, material- und abbruchvorgangsbezogenen Informationen, wie Emissionen, Immissionen

und Vorgangsdauern, auf Basis von Literaturdaten, Experteneinschätzungen und Messungen angebunden.

3. Teilergebnis: Weiter wird ein mobiles Immissionserfassungssystem zur Überwachung von Schall, Staub und Erschütterungen auf Abbruchbaustellen entwickelt. In Verbindung mit dem Entscheidungsunterstützungswerkzeug (1. Teilergebnis) soll dieses System die ausführende/n Person/en frühzeitig, während des Arbeitsprozesses, vor zu hohen Emissionen/Immissionen warnen und somit entsprechende Schutzmaßnahmen und die Einhaltung der Grenzwerte ermöglichen. Über das Forschungsprojekt hinaus ist es das Ziel, die in Zukunft mit diesem System aufgenommenen Daten in der Datenbank zu speichern, um die Datenbasis zu vervollständigen und stetig zu aktualisieren.

4. Teilergebnis: In Verbindung mit der Entwicklung des Immissionserfassungssystems (Teilergebnis 3) und des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs (Teilergebnis 1) sollen in der geplanten 3. Phase Handlungsempfehlungen zu dessen Einsatz auf Abbruchbaustellen erstellt werden. Durch die Handlungsempfehlungen sollen dem Bauherr, Planungingenieur, Abbruchunternehmer und den Behörden Vorschläge zur vermehrten Berücksichtigung von Emissionen und Immissionen sowie relevanter Schutzmaßnahmen in der Abbruchplanung unterbreitet werden. Ziel ist hierbei ebenfalls eine Emissions- und Immissionsminderung sowohl durch technische als auch organisatorische Vorschläge.

Die Inhalte und der erarbeiteten Ergebnisse werden in den folgenden Kapiteln im Detail dargelegt. Die Datenbasis und Struktur des Werkzeugs zur Planungsunterstützung inklusive Datenbank werden in Kapitel 5 näher erläutert. Das mobile Immissionserfassungssystem, das die relevanten Größen wie Lärm, Staub und Erschütterungen auf Abbruchbaustellen aufnimmt, wird in Kapitel 6 beschrieben.

5 Konzeption des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Abbruchplanung

Abhängig von Rahmenbedingungen, wie etwa dem Bauteilmaterial und dem Baustellenumfeld, werden beim Abbruch von Gebäuden unterschiedliche Verfahren und Maschinen eingesetzt. In der Regel ist die Wahl dem Abbruchunternehmer freigestellt. Die Wahl des Verfahrens und der Maschinen, als Bestandteil der Abbruchplanung und Durchführung, und entsprechende Maßnahmen in diesem Bereich haben einen großen Einfluss auf die entstehenden Emissionen (vgl. DIN 18007:2009-03). Hohen Emissionswerten, resultierend aus der Verfahrens- und Maschinenwahl, kann durch fachkundige Planung und Ausführung entgegengewirkt werden, sodass Abbruchaktivitäten nur geringe Immissionen zur Folge haben können (vgl. Haltenorth et al. (2007)).

Der Entscheider, wie bspw. Planungsingenieur oder Abbruchunternehmer, soll mit Hilfe des entwickelten, im Folgenden näher beschriebenen Werkzeuges in der Wahl der Techniken (Verfahren und Maschine) unterstützt werden. Das Entscheidungsunterstützungswerkzeug als System kann in die zwei Module

1. Systemkern und
2. Nutzeroberfläche

untergliedert werden, die sich aus 6 Systembausteinen zusammensetzen (Abbildung 7). In Anlehnung an die Phasen des Prozesses/Ablaufs der Abbruchplanung mit dem Entscheidungsunterstützungswerkzeug kann man zwischen Eingangsgrößen, Abbruchprozessanalyse und Entscheidungslogik und Ausgabegrößen unterscheiden. Aus Anwender-/Nutzersicht sind hauptsächlich die Eingangsgrößen durch den Nutzer und die Ausgangsgrößen relevant.

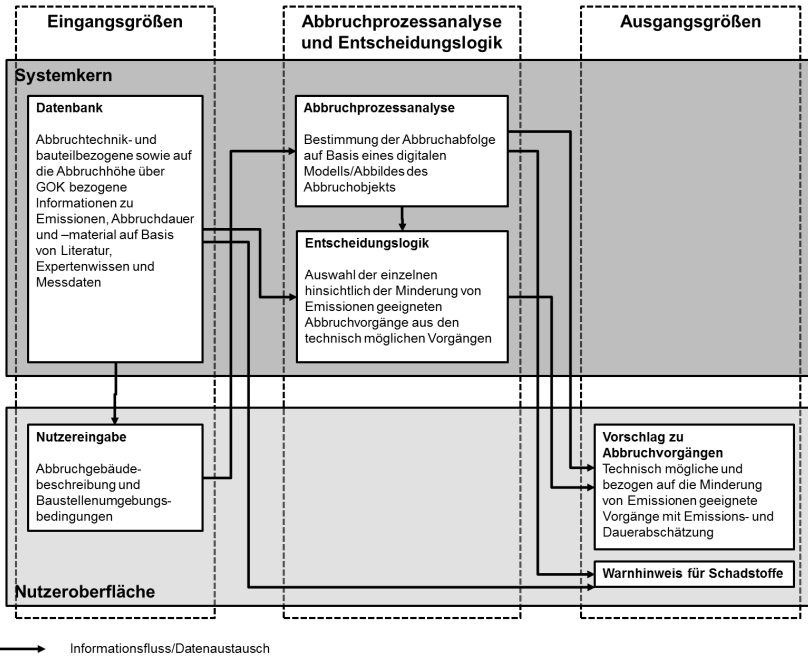


Abbildung 7: Module und Bausteine des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Abbruchplanung

Im folgenden Kapitel 5.1 wird zuerst der Systemkern (Modul 1) des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs mit Datenbasis, Abbruchprozessanalyse und Entscheidungslogik für die Abbruchplanung, näher erläutert. In Kapitel 5.2. wird die Nutzeroberfläche des Werkzeugs (Modul 2) an Hand eines Beispiels erläutert. Da auf Grund der sehr geringen Datenlage zu diesem Thema in der Literatur im Rahmen des Projekts weitere Daten mittels Messungen und Expertenbefragungen generiert werden mussten/müssen, wird in Kapitel 5.3. auf Details dieser Erhebung von Daten eingegangen.

5.1 Systemkern - Datenbasis, Prozessanalyse und Entscheidungslogik

Um eine emissionsmindernde, optimale Wahl der Technik unter Berücksichtigung der Materialqualität zu treffen, ist die Erfassung und Strukturierung der für ein Abbruchobjekt geeigneten Verfahren und Maschinen und der damit verbundenen Emissionen nötig. Die dem Entscheidungsunterstützungswerkzeug zugrundeliegende Datenbasis basiert auf den drei Datenquellentypen:

1. Literatur,
2. Experteneinschätzungen und
3. Messungen auf Abbruchbaustellen (vgl. auch Kapitel 5.3.).

Die auf Literatur, Experteneinschätzungen und Messungen basierenden Daten werden unter Anwendung der in Abbildung 8 dargestellten Prozessanalyse und Entscheidungslogik abgerufen. Die Prozessanalyse und die einzelnen Elemente der Entscheidungslogik werden zusammen mit den dafür notwendigen Daten im Folgenden näher erläutert.

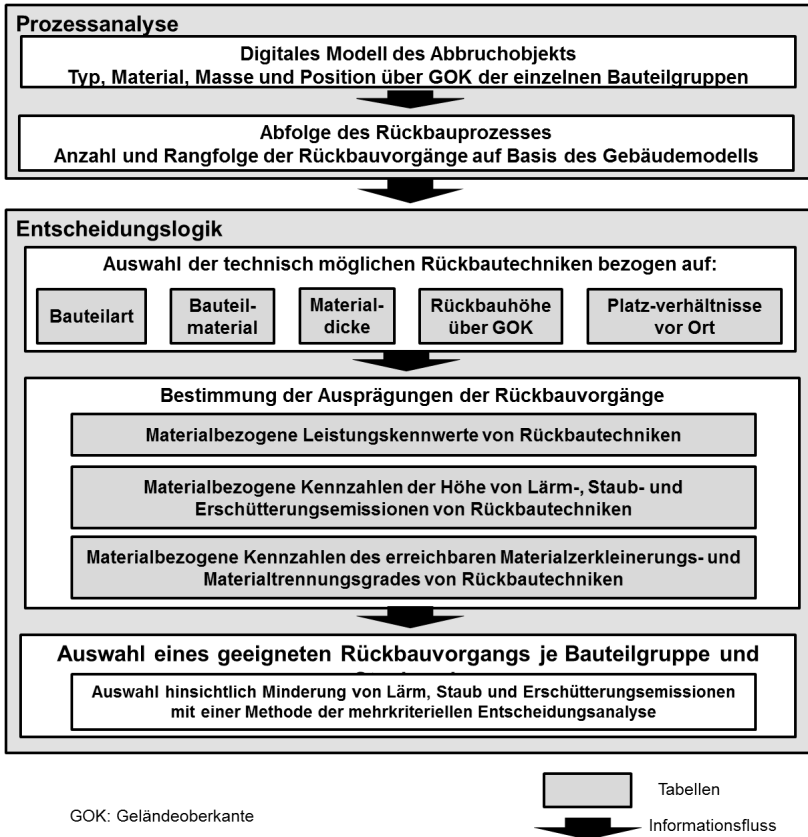


Abbildung 8: Prozessanalyse und Entscheidungslogik

5.1.1 Digitales Abbruchobjektmodell

Für die Planung der Abfolge des Abbruchprozesses wird über Nutzereingaben in eine Accessdatenbank ein digitales Modell des Abbruchobjekts, der/des Gebäudetragstruktur/-rohbaus, in Anlehnung an die unter 2.2. definierte Gebäudetypologie erstellt. Gebäude sind im Regelfall Mischkonstruktionen verschiedener verbauter Materialien, für die unterschiedliche Abbruchtechniken geeignet sind und auf deren Bauteilgruppen diese

Abbruchtechniken mit entsprechend notwendigen Ressourcen (Arbeitskräfte, Trägermaschinen, Anbaugeräte) angewandt werden. Jede Bauteilgruppe im Gebäudemodell wird hierbei durch die folgenden Eigenschaften beschrieben:

- Material,
- Bauteildicke,
- Bauteilmasse,
- Geschoss und
- Höhe des Bauteils/der Bauteilgruppe über GOK.

5.1.2 Abfolge des Abbruchprozesses

In Anlehnung an die mittlerweile zunehmend angewandten Herangehensweisen zum materialspezifischen Abbruch eines Bauwerks, dem selektiven Abbruch und Rückbau (vgl. Schiller und Deilmann (2010)), soll der Prozess für den Abbruch der Gebäudetragstruktur in umgekehrter Reihenfolge der Gebäudeerrichtung erfolgen (vgl. Lippok und Korth (2007), S. 358; Schultmann (1998)). Somit wird die Abbruchabfolge im Entscheidungsunterstützungswerkzeug von oben nach unten (top-down) definiert.

Im Rahmen der Datenerfassung hat sich gezeigt, dass das Material des Abbruchobjekts und die Abbruchhöhe über der Geländeoberkante (GOK), zum einen für die technische Eignung der Abbruchtechnik (neben den Platzverhältnissen vor Ort) maßgeblich sind, sowie entscheidend die durchschnittliche Abbruchdauer und die Höhe der Emissionen von Abbruchvorgängen beeinflussen. Aus diesem Grund und vor dem Hintergrund einer guten Trennung von Materialien und Bauwerksteilen wird die Abfolge im Entscheidungsunterstützungswerkzeug geschossweise und bauteilgruppenbezogen auf Basis des digitalen Gebäudemodells modelliert. Die Abbruchabfolge ist im Werkzeug fest vorgegeben und die Abbruchvorgänge erfolgen nacheinander. Die Variation der Abfolge und Parallelisierung von

Vorgängen sind im Rahmen des Forschungsprojekts zunächst nicht vorgesehen. Ein Abbruchvorgang wird als Technik-Material-Höhen-Kombination definiert (Technik = Abbruchtechnik, Material = Hauptmaterial der Bauteilgruppe, Höhe = Höhe der Bauteilgruppe über GOK/Höhe des Geschosses in dem sich die Bauteilgruppe befindet).

5.1.3 Technisch mögliche Abbruchtechniken

Für die Wahl der Abbruchtechnik bezogen auf die einzelnen abzubrechenden Bauteilgruppen ist in einem ersten Schritt deren technische Eignung zu prüfen. Die Abbruchtechnik ist, wie im Kapitel 2.1. definiert, die Kombination aus Abbruchverfahren und den in der Regel hierfür eingesetzten Maschinen. Für die Eignung eines Abbruchverfahrens spielen mehrere Kriterien eine entscheidende Rolle. Die in diesem Forschungsprojekt verwendeten Kriterien sind:

- Bauteilart,
- Bauteilmaterial/Materialart,
- Materialdicke,
- Abbruchhöhe über GOK und
- Platzverhältnisse vor Ort.

Vereinfachend wird für die Bestimmung der Eignung jeweils eine eindeutige Entscheidung für oder gegen eine bestimmte Technik auf Basis von Entscheidungen nach z.T. Boolescher Logik (wahr oder falsch) oder Vergleichen (i.d.R. kleiner-gleich) angenommen. Die Techniken werden nacheinander hinsichtlich der einzelnen Kriterien unter Anwendung des lexikographischen Ansatzes der mehrkriteriellen Entscheidungsfindung bewertet (vgl. Hanne (1998)). In diesem Zusammenhang sind die im Folgenden dargestellten Eignungsmatrizen (Tabellen 4 bis 8) in das Entscheidungsunterstützungswerkzeug integriert. Auf die Tabellen wird auf Grundlage der Daten des mit Nutzereingaben generierten Gebäudemodells zugegriffen.

Tabelle 4: Bauteilartbezogene technische Eignung von Abbruchtechniken

Abbruchtechnik		Bauteile						
#	Verfahren	Vertikale Tragstruktur			Horizontale Tragstruktur			
		Außenwand	Innenwand	Stütze/ Säule	Decke	Dach	Träger/ Unterzug	Fundament
1	Abgreifen	1	1	0	0	1	1	0
2	Einschlagen	1	1	1	1	1	1	1
3	Eindrücken	1	1	1	0	1	0	0
4	Einziehen	1	1	1	0	1	0	0
5	Reißen	0	0	0	1	0	0	1
6	Stemmen	1	1	1	1	1	1	1
7	Pressschneiden	1	1	1	1	1	1	0
8	Scherschneiden	1	1	1	1	1	1	0
9	Spalten	1	1	1	1	0	1	1
10	Demontieren	1	1	1	0	1	1	0
14	Handabbruch mit Handwerkzeug	1	1	1	1	1	1	0
15	Lockerungs- sprengung	1	1	1	1	1	1	1
16	Niederlegungs- sprengung	1	1	1	1	1	1	1
17	Kernbohren	1	1	1	1	0	1	1
18	Kreis-/Wandsägen	1	1	1	1	1	1	1
19	Diamantseilsägen	1	1	1	1	1	1	1
20	Brennschneiden	1	1	1	1	0	1	0

Fortsetzung auf der nächsten Seite

5 Konzeption des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Abbruchplanung

21	Hochdruckwasserstrahlschneiden	1	1	0	1	1	0	0
22	Fräsen	1	1	1	1	1	1	1
23	Schleifen	1	1	1	1	1	1	1
1: geeignet; 0 bzw. dunkelgraue Felder: nicht/schlecht geeignet/nicht relevant für das Bauteil Quelle: DIN 18007:2009-03								

(#11-13: Materialhandling)

Tabelle 5: Materialartbezogene technische Eignung von Abbruchtechniken

Abbruchtechnik		Materialien									
#	Verfahren	Mauerwerk					Beton			Sonstiges	
		Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein	Fertigteil	Ortbeton	unbewehrt	Holz	Stahl
1	Abgreifen	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
2	Einschlagen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
3	Eindrücken	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
4	Einziehen	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
5	Reißen	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
6	Stemmen	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
7	Pressschneiden	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
8	Scherschneiden	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
9	Spalten	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
10	Demontieren	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
14	Handabbruch mit Handwerkzeug	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fortsetzung auf der nächsten Seite

5.1 Systemkern - Datenbasis, Prozessanalyse und Entscheidungslogik

15	Lockerungs- sprengung	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
16	Niederlegungs- sprengung	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	Kernbohren	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
18	Kreis-/ Wandsägen	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
19	Diamant- seilsägen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
20	Brennschneiden	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
21	Hochdruck- wasserstrahlschneiden	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
22	Fräsen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
23	Schleifen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<p>1: geeignet;</p> <p>0 bzw. dunkelgraue Felder: nicht/schlecht geeignet/nicht relevant für das Material</p> <p>Quellen: DIN 18007:2009-03, Lippok und Korth (2007), Toppel (2003), ergänzt durch Experteneinschätzungen</p>											

(#11-13: Materialhandling)

Tabelle 6: Materialdickenbezogene technische Eignung von Abbruchtechniken

Abbruchtechnik		Maximal mögliche materialabhängige Bauteildicken (m)									
#	Verfahren	Mauerwerk					Beton			Sonstiges	
		Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein	Fertigteil	Ortbeton	unbewehrt	Holz	Stahl
1	Abgreifen	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0,2	∞	0
2	Einschlagen	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	0,5	0,5	1,0	∞	0
3	Eindrücken	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,25	0	0	∞	0
4	Einziehen	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		0,75	0	0	∞
5	Reißen	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5	0	0
6	Stemmen	∞	∞	∞	∞	∞	0,6	0,6	0,8	0	0
7	Pressschneiden	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	0,8	0	0
8	Scherschneiden	0	0	0	0	0	0	0	0	∞	0,5
9	Spalten	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,8	0	0
10	Demontieren	0	0	0	0	0	∞	0	0	∞	∞
14	Handabbruch mit Handwerkzeug	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,4	∞	∞
15	Lockerungs-sprengung	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	0
16	Niederlegungs-sprengung	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
17	Kernbohren	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	0

Fortsetzung auf der nächsten Seite

5.1 Systemkern - Datenbasis, Prozessanalyse und Entscheidungslogik

18	Kreis-/Wandsägen	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
19	Diamantseilsägen	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
20	Brennschneiden	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0	∞
21	Hochdruck- wasserstrahlschneiden	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0,25
22	Fräsen	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	∞	0
23	Schleifen	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

0 bzw. dunkelgraue Felder: nicht/schlecht geeignet/nicht relevant für das Material; ∞: keine Begrenzung für die Materialdicke festgelegt

Quellen: Lippok und Korth (2007), Toppel (2003)

(#11-13: Materialhandling)

Tabelle 7: Technische Eignung von Abbruchtechniken
bezogen auf die Abbruchhöhe über GOK

Abbruchtechnik			Maximal mögliche Abbruchhöhe über GOK (m)
#	Verfahren	Maschine	
1	Abgreifen	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	15
2	Einschlagen	Seilbagger	100
3	Eindrücken	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	15
4	Einziehen	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	15
5	Reißen	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	15

Fortsetzung auf der nächsten Seite

5 Konzeption des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Abbruchplanung

6	Stemmen	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	15
7	Pressschneiden	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	15
8	Scherschneiden	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	15
9	Spalten	Kernbohrer	∞
10	Demontieren	Seilbagger	85
14	Handabbruch mit Handwerkzeug	Handwerkzeug (Elektrohammer, Metaltrennsäge)	∞
15	Lockerungssprengung	Kernbohrer	∞
16	Niederlegungs-sprengung	Kernbohrer	∞
17	Kernbohren	Kernbohrer	∞
18	Kreis-/Wandsägen	Kreis-/Wandsäge	∞
19	Diamantseilsägen	Seilsäge	∞
20	Brennschneiden	Brennschneider	∞
21	Hochdruckwasserstrahlschneiden	Wasserstrahlschneidemaschine	∞
22	Fräsen	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	15
23	Schleifen	Schleifmaschine	∞
1	Abgreifen	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	35
3	Eindrücken	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	15

Fortsetzung auf der nächsten Seite

4	Einziehen	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	35
5	Reißen	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	15
6	Stemmen	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	35
7	Pressschneiden	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	35*
8	Scherschneiden	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	35
22	Fräsen	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	35
∞: keine Begrenzung für die Abbruchhöhe festgelegt			
Quellen: ABW (2012), Lippok und Korth (2007), Toppel (2003)			

(#11-13: Materialhandling)

*Angabe nach Erfahrungen auf Abbruchbaustellen im Rahmen des Projekts

Insbesondere in Städten nimmt die Anzahl von Abbrucharbeiten auf Grund beschränkter Platzverhältnisse auf der einen Seite und zunehmendem Flächenbedarf auf der anderen Seite zu. Dies ist gleichzeitig Ursache für die große und weiter wachsende Bedeutung der mit Abbrucharbeiten verbundenen Umwelteinwirkungen in Städten. Im Rahmen des Projekts liegt daher bei der Bewertung der Abbruchtechniken hinsichtlich der Platzverhältnisse vor Ort auf der Baustelle (Tabelle 8) der Fokus auf Abbruchbaustellen in bebauten Gebieten und im innerstädtischen Bereich. (d.h. die „örtlichen Bedingungen der Baustelle“ sind „begrenzt“, vgl. Lippok und Korth (2007), S. 422).

5 Konzeption des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Abbruchplanung

Tabelle 8: Technische Eignung von Abbruchtechniken bezogen auf die Platzverhältnisse vor Ort um das Abbruchobjekt herum

Abbruchtechnik			Eignung bei begrenzten Platzverhältnissen vor Ort/um das Abbruchobjekt
#	Verfahren	Maschine	
1	Abgreifen	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	0
2	Einschlagen	Seilbagger	0
3	Eindrücken	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	1
4	Einziehen	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	0
5	Reißen	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	0
6	Stemmen	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	1
7	Pressschneiden	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	1
8	Scherschneiden	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	1
9	Spalten	Kernbohrer	1
10	Demontieren	Seilbagger	1
14	Handabbruch mit Handwerkzeug	Handwerkzeug (Elektrohammer, Metaltrennsäge)	1
15	Lockerungssprengung	Kernbohrer	0
16	Niederlegungs-sprengung	Kernbohrer	0
17	Kernbohren	Kernbohrer	0
18	Kreis-/Wandsägen	Kreis-/Wandsäge	1
19	Diamantseilsägen	Seilsäge	1
20	Brennschneiden	Brennschneider	0
21	Hochdruckwasser-strahlschneiden	Wasserstrahlschneidemaschine	0
22	Fräsen	Hydraulikbagger ohne Longfrontausleger	1
23	Schleifen	Schleifmaschine	1
1	Abgreifen	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	0
3	Eindrücken	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	0

Fortsetzung auf der nächsten Seite

4	Einziehen	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	0
5	Reißen	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	0
6	Stemmen	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	0
7	Pressschneiden	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	0
8	Scherschneiden	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	0
22	Fräsen	Hydraulikbagger mit Longfrontausleger	0
1: geeignet bei begrenzten Platzverhältnissen; 0: nicht/schlecht geeignet bei begrenzten Platzverhältnissen Quellen: Lippok und Korth (2007), ergänzt durch Experteneinschätzungen			

(#11-13: Materialhandling)

5.1.4 Bestimmung der Abbruchvorgangsausprägungen

Für die Unterstützung des Entscheiders bei der Wahl einer bestimmten Abbruchtechnik je Bauteilgruppe, werden die technisch möglichen Abbruchvorgänge hinsichtlich der drei emissionsbezogenen Kriterien Lärm, Staub und Erschütterungen analysiert. Hierzu berechnet das Entscheidungsunterstützungswerkzeug mit den Informationen aus dem Gebäudemodell und den im folgenden definierten abbruchtechnik- und materialbezogenen Ausprägungs-Kategorien die drei dauer- und emissionsbezogenen Ausprägungen von Lärm, Staub und Erschütterungen für die technisch geeigneten alternativen Abbruchvorgänge für die einzelnen abzubrechenden Bauteilgruppen.

5.1.4.1 Emissionen in die lokale Umwelt

Die Daten aus der Literatur, Expertenschätzungen, Messergebnissen der BTU im Zusammenhang mit anderen Forschungsarbeiten und den im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts durchgeführten Messungen erlauben semi-quantitative¹ (5-stufige) Einteilungen der Abbruchtechniken mit Hilfe von Emissionshöhenkategorien, die auf Intervallen hinsichtlich der Höhe der

¹ Semi-quantitativ = eine Menge in bestimmten Gruppeneinteilungen/Stufen/Kategorien erfassen.

Emissionen in die lokale Umwelt durch Lärm, Staub und Erschütterungen basieren. Unter Berücksichtigung der unterschiedlich verbauten Materialien sind die Ergebnisse der Kategorisierungen in den folgenden Tabellen (Tabellen 9 - 11) zusammengefasst.

Grundlage für den Aufbau der Tabellen bildet Anhang A der DIN 18007:2000-05: Eignung und Auswirkungen von Abbruchverfahren. Auf der Basis der Eignungsbewertung der Verfahren in Abhängigkeit des Baustoffes (siehe auch Tabelle 5) erfolgt die Kategorisierung der Auswirkungen der Emissionen. Zusätzlich wurde im Hinblick der Verwertbarkeit des Materials (Positionen 11 - 13) eine Einschätzung vorgenommen. Die Abschätzung der Emissionen erfolgt in 5 Kategorien (skalierte Wertung):

- Kategorie 0: keine Emission
- Kategorie 1: geringe Emission
- Kategorie 2: mittlere Emission
- Kategorie 3: hohe Emission
- Kategorie 4: sehr starke Emissionen

Die Kategorisierung der Abbruchverfahren in den nachstehenden Tabellen beinhaltet keine vorbereitenden Arbeitsgänge der jeweiligen Aktivitäten. Bspw. sind die Emissionen der notwendigen Vorarbeiten mittels Spaltgeräte durch Pressen oder Quelldrücke bei Betonkonstruktionen, wie dem Herstellen von Bohrlöchern, höher als der eigentliche Spalt- oder Lockerungssprengvorgang (mindestens eine Bewertungsstufe höher). Bei den Positionen 1 - 6, 10, sowie 14 und 16 handelt es sich um Abbruchverfahren mit größtmöglichem Aufschluss des Materials. Die anderen Verfahren (7-9, 11 - 13, 15 und 17 - 23) eignen sich vorrangig für spezielle Abbrucharbeiten, u. a. das Fräsen von Estrichschichten, Kernbohren bei der Schadstoffuntersuchung oder das Brennscheiden bei Bewehrungsverbindungen. Bei Fertigteile-Betonbauteilen wurde bei der Technik „Verladung des Materials“ (Position 13) von vorgebrochenen Produkten ausgegangen.

Die Kategorisierung der Tabelle 9 zeigt deutlich, dass der Abbruch von Gebäuden resp. baulichen Anlagen grundsätzlich mit störenden Lärmemissionen (Kategorie 2 - 4) verbunden ist. Einzig die Abbruchtechniken Demontieren und Spalten mit Quellmittel wurden mit nicht bzw. kaum störend beurteilt.

Tabelle 9: Materialbezogene Kategorisierung von Abbruchtechniken hinsichtlich deren Lärmemissionshöhe

Abbruchtechnik		Bewertungsparameter Lärmemissionshöhe									
#	Verfahren	Mauerwerk					Beton			Sonstiges	
		Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein	Fertigteil	Ortbeton	unbewehrt	Holz	Stahl
1	Abgreifen	2	2	2	2	2				1	
2	Einschlagen	3	3	3	3	3	3	3	3		
3	Eindrücken	2	2 - 3	2	2	2 - 3	2 - 3			1 - 2	
4	Einziehen	2	2	2	2	2	2 - 3			1 - 2	3 - 4
5	Reißen	2	2	2	2	2	3	3	2		
6	Stemmen	2 - 3	2 - 3	3	2	2 - 3	3	4	3		
7	Pressschneiden	2	2	2	2	2	2	3-4	2		
8	Scherschneiden									2	2
9	Spalten	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1		
10	Demontieren						0 - 1			0 - 1	0 - 1
11	Material vorzerkleinern	2	2 - 3	2 - 3	2	2 - 3	3 - 4	3 - 4	3	1 - 2	1 - 20
12	Material selektieren	2	2	2	1 - 2	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	1 - 2	1 - 2
13	Material verladen	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	3 - 4	3	3	2	3 - 4

Fortsetzung auf der nächsten Seite

5 Konzeption des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Abbruchplanung

14	Handabbruch mit Handwerkzeug	2 - 3	2 - 3	2 - 3	1 - 2	2 - 3	3 - 4	3 - 4	3 - 4	1 - 2	3 - 4
15	Lockerungs-sprengung	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4		
16	Niederlegungs-sprengung	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4
17	Kernbohren	2	2	2	2	2	2	2	2		
18	Kreis-/Wandsägen	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4		
19	Diamant-seilsägen	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
20	Brenn-schneiden*						1 - 2 ¹⁾	1 - 2 ¹⁾			2
21	Hochdruck-wasser-strahlschneiden	4	4	4	4	4	4	4	4		3
22	Fräsen	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	2 - 3	
23	Schleifen	3	3	3	3	3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2	3

0: keine Lärmemissionen/nicht störend, 1: wenig Lärmemissionen/kaum störend, 2: mittlere Lärmemissionen/teilweise störend, 3: hohe Lärmemissionen/störend, 4: starke Lärmemissionen/sehr störend.

Quellen: Experteneinschätzungen und Immissionsmessungen. Literaturangaben sind materialunabhängig, qualitativ und in der Regel binär (Emissionen vorhanden: ja/nein): ABW (2012); Kamrath und Hechler (2011); DIN 18007:2009-03; Mettke, A. (Hrsg.) (2008); Lippok und Korth (2007); Mettke (1995); Mur und Muzeau (1979).

¹⁾ zum Lösen der Stahlverbindungen

* mit Sauerstoffkerlanze

dunkelgraue Felder: nicht/schlecht geeignet/nicht relevant für das Material

Tabelle 10: Materialbezogene Kategorisierung von Abbruchtechniken hinsichtlich deren Staubemissionshöhe

Abbruchtechnik		Bewertungsparameter Staubemissionshöhe									
#	Verfahren	Mauerwerk					Beton			Sonstiges	
		Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein	Fertigteil	Ortbeton	Unbewehrt	Holz	Stahl
1	Abgreifen	3	3	3	3	3			3	1	
2	Einschlagen	3	3	3	3	3	3	3	3		
3	Eindrücken	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3			1	
4	Einziehen	3	3	3	3	3	3			1	0 - 1
5	Reißen	2 - 3	2 - 3	3	3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3		
6	Stemmen	3	3	3	3	3	3 - 4	3 - 4	3 - 4		
7	Press-schneiden	3	3	3 - 4	3 - 4	3	3 - 4	3 - 4	3		
8	Scher-schneiden									0 - 1	0 - 1
9	Spalten	0	0	0	0	0	0	0	0		
10	Demontieren						1			1	1
11	Material vorzerkleinern	3 - 4	3 - 4	4	4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	1	1
12	Material selektieren	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	0 - 1	3	3	1	1
13	Material verladen	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4	0 - 1	3	3	0 - 1	0
14	Handabbruch mit Handwerkzeug	2 - 3	2 - 3	3 - 4	3 - 4	3	0	3	3	0 - 1	1 - 2
15	Lockerungs-sprengung	3	3	3	3	3	3	3	3		

Fortsetzung auf der nächsten Seite

5 Konzeption des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Abbruchplanung

16	Niederlegungs- sprengung	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
17	Kernbohren	2	2	2	2	2	2	2	2		
18	Kreis-/ Wandsägen	3	3	3 - 4	3 - 4	3	3	3	3		
19	Diamant- seilsägen	3	3	3 - 4	3 - 4	3	3	3	3	2	
20	Brenn- schneiden*						01)	01)			0
21	Hochdruck- wasserstrahlschnei- den	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1		0 - 1
22	Fräsen	3	3	3 - 4	3 - 4	3	3	3	3	3	
23	Schleifen	3	3	3	3	3	4	4	4	2	2
<p>0: keine Staubemissionen/nicht störend, 1: wenig Staubemissionen/kaum störend, 2: mittlere Staubemissionen/teilweise störend und z.T. Staubminderungsmaßnahmen durch Wasser (z.B. Benetzung, C-Schlauch, Wasserkanone) notwendig, 3: hohe Staubemissionen/störend und Staubminderungsmaßnahmen durch Wasser (z.B. Benetzung, C-Schlauch, Wasserkanone) notwendig, 4: starke Staubemissionen/sehr störend/Gesundheit beeinträchtigend/ohne Minderungsmaßen. (z.B. Benetzung, C-Schlauch, Wasserkanone) kein Arbeiten möglich.</p> <p>Quellen: Experteneinschätzungen und Immissionsmessungen. Literaturangaben sind materialunabhängig, qualitativ und in der Regel binär (Emissionen vorhanden: ja/nein): ABW (2012); Kamrath und Hechler (2011); DIN 18007:2009-03; Mettke, A. (Hrsg.) (2008); Lippok und Korth (2007); Mettke (1995); Mur und Muzeau (1979).</p>											

¹⁾ zum Lösen der Stahlverbindungen

* mit Sauerstoffkernlanze

dunkelgraue Felder: nicht/schlecht geeignet/nicht relevant für das Material

Wie aus Tabelle 10 ersichtlich, treten bei allen Abbruchverfahren Staubemissionen auf, die innerhalb einer Technik abhängig vom Abbruchmaterial stark variieren können. Während der Abbruch mineralischer Baustoffe fast durchweg mit 3 – 4, das heißt als störend bis sehr störend bewertet wird, werden die Staubemissionen beim Abbruch von Holz und Stahl

gering (0 - 1) bewertet. Als staubärmste Verfahren können das Spalten und das Hochdruckwasserschneiden identifiziert werden.

In Tabelle 11 werden die Abbruchtechniken hinsichtlich der auftretenden Erschütterungen bewertet. Im Allgemeinen sind die Verfahren erschütterungsarm (0 – 1). Ausnahmen bilden hierbei – bekanntermaßen – das Niederlegen durch Sprengung sowie in etwas abgeschwächter Form das Einschlagen, Reißen und Stemmen.

Tabelle 11: Materialbezogene Kategorisierung von Abbruchtechniken hinsichtlich deren Erschütterungsemissionshöhe (Intensität/Impulshaltigkeit)

Abbruchtechnik		Bewertungsparameter Erschütterungsemissionshöhe									
#	Verfahren	Mauerwerk					Beton			Sonstiges	
		Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein	Fertigteil	Ortbeton	unbewehrt	Holz	Stahl
1	Abgreifen	1	1	1	0 - 1	0 - 1			0 - 1	0	
2	Einschlagen	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2	3	2 - 3		
3	Eindrücken	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	1 - 2			0	
4	Einziehen	2	2	2	2	2	2			0 - 1	2
5	Reißen	2	2 - 3	2	2	2 - 3	2	2 - 3	2 - 3		
6	Stemmen	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	3	3 - 4	3		
7	Pressschneiden	1	1	1	1	1	1	1 - 2	1		
8	Scherschneiden									0	0
9	Spalten	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1		
10	Demontieren						0			0	0
11	Material vorzerkleinern	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	1 - 2	1 - 2	0 - 1	0	0 - 1
12	Material selektieren	1	1	1	1	1	0	0 - 1	0 - 1	0	0

Fortsetzung auf der nächsten Seite

5 Konzeption des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Abbruchplanung

13	Material verladen	1	1	1	1	1	0	2 - 3	2	1	2 - 3
14	Handabbruch mit Handwerkzeug	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0	2	1 - 2	0	1 - 2
15	Lockerungs-sprengung	2	2	2	2	2	2	2	2		
16	Niederlegungs-sprengung	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
17	Kernbohren	0	0	0	0	0	0	0	0		
18	Kreis-/Wandsägen	0	0	0	0	0	0	0	0		
19	Diamant-seilsägen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	Brenn-schneiden*						0 ¹⁾	0 ¹⁾			0
21	Hochdruck wasserstrahl-schneiden	0	0	0	0	0	0	0	0		0
22	Fräsen	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	
23	Schleifen	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1

0: keine Erschütterungen spürbar, 1: geringe Erschütterungen mit geringer Intensität, 2: spürbare Erschütterungen/impulsarm, 3: hohe Erschütterungsintensitäten/impulsstark, 4: sehr hohe(s) Erschütterungsereignis(se)/sehr impulsstark.

Quellen: Experteneinschätzungen und Immissionsmessungen. Literaturangaben sind materialunabhängig, qualitativ und in der Regel binär (Emissionen vorhanden: ja/nein): ABW (2012); Kamrath und Hechler (2011); DIN 18007:2009-03; Mettke, A. (Hrsg.) (2008); Lippok und Korth (2007); Mettke (1995); Mur und Muzeau (1979).

¹⁾ zum Lösen der Stahlverbindungen

* mit Sauerstoffkerlanze

dunkelgraue Felder: nicht/schlecht geeignet/nicht relevant für das Material

5.1.4.2 Abbruchmaterialeigenschaften

Um die einzelnen Abbruchtechniken für einzelne Abbruchvorgänge aus ökologischer Sicht vergleichen zu können, muss auch das Endprodukt, das heißt das Abbruchmaterial, vergleichbar sein. Vor dem Hintergrund einer guten Recyclingfähigkeit der Materialien wird angenommen, dass das Abbruchmaterial nach Abschluss des Vorgangs

- eine bestimmte Sortenreinheit (95-98% reiner Bauschutt) aufweist, d.h. dass eine gewisse Materialsortierung stattgefunden hat und im Bauschutt nur 2-5% Fremdstoffe, wie Holz und Reste aus Kunststoff und von Dämmmaterialien, enthalten sind sowie
- die Abbruchstücke eine bestimmte maximale Größe (ca. 80x80cm) haben, d.h. dass eine gewisse Materialvorzerkleinerung stattgefunden hat.

Unter diesen Bedingungen ist zu erwarten, dass bei der Annahme an Verwertungsstellen oder Deponien keine Probleme/Extrakosten bezüglich Materialunreinheit und Übergröße der Materialstücke entstehen. Im Entscheidungsunterstützungswerkzeug sind daher neben den verschiedenen Abbruchtechniken, die zwei Techniken „Materialvorzerkleinerung“ und „Materialsortierung“ vor Ort auf der Baustelle berücksichtigt. Abhängig von den Ausprägungen der vorgelagerten Abbruchtechnik hinsichtlich Materialsortierung und Materialvorzerkleinerung wird für diese Vorgänge entsprechend Zeit benötigt. Weiter haben das Materialvorzerkleinern und –sortieren auf der Baustelle auch Einfluss auf die ökologischen Auswirkungen des Abbruchprozesses in Form von Lärm, Staub und Erschütterungen (siehe auch Tabellen 9-11). Diese zusätzlichen Einwirkungen auf die lokale Umwelt fließen in die Bewertung der einzelnen Techniken ein. Der Aufwand für die Verladung und den Abtransport des Abbruchmaterials kann dann unabhängig von den Abbruchtechniken als gleich angesetzt werden und wird daher im Rahmen dieses Projekts nicht weiter betrachtet. Die Daten aus der Literatur und die Experteneinschätzungen erlauben eine qualitative Bewertungen der Abbruchtechniken hinsichtlich der Möglichkeit Material zu trennen und zu zerkleinern, die in den folgenden zwei Tabellen (Tabellen 12 und 13)

zusammengefasst werden. Aus diesen Angaben lässt sich überschlägig der notwendige Aufwand für die Nachsortierung und für die verbleibende Zerkleinerung der Materialien abschätzen.

In der Tabelle 12 werden die Abbruchverfahren hinsichtlich der realisierbaren Trennungstiefe eingestuft. Der Handabbruch ist zur sortenreinen Trennung des Materials am besten geeignet. Aus den anderen Verfahren sticht keine weitere Methode heraus.

Tabelle 12: Materialbezogene Kategorisierung von Abbruchtechniken hinsichtlich der Materialtrennung

Abbruchtechnik		Bewertungsparameter Materialtrennung									
#	Verfahren	Mauerwerk					Beton			Sonstiges	
		Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein	Fertigteil	Ortbeton	unbewehrt	Holz	Stahl
1	Abgreifen	1	1	1	1	1			1	1	
2	Einschlagen	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	Eindrücken	0	0	0	0	0	0			0	
4	Einziehen	0	0	0	0	0	0			0	0
5	Reißen	0	0	0	0	0	0	0	0		
6	Stemmen	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1		
7	Pressschneiden	1	1	1	1	1	1	1	1		
8	Scherschneiden									1	1
9	Spalten	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1		
10	Demontieren						1 - 2			1	1
14	Handabbruch mit Handwerkzeug	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
15	Lockerungs-sprengung	0	0	0	0	0	0	0	0		

Fortsetzung auf der nächsten Seite

5.1 Systemkern - Datenbasis, Prozessanalyse und Entscheidungslogik

16	Niederlegungs- sprengung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Kernbohren	0	0	0	0	0	0	0	0		
18	Kreis-/ Wandsägen	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1		
19	Diamant- seilsägen	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	
20	Brenn- schneiden*						0 - 1	0 - 1			0 - 1
21	Hochdruck- wasserstrahl- schneiden	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1		0 - 1
22	Fräsen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	Schleifen	0	0	0	0	0	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
<p>0: keine Trennung, 1: Trennung erfolgt nach mineralisch/nicht mineralisch, 2: sortenreine Trennung innerhalb der mineralischen Fraktionen und innerhalb der nicht mineralischen Fraktionen.</p> <p>Quellen: ABW (2012); Lippok und Korth (2007); Kamrath und Hechler (2011) und Expertenschätzungen</p>											

¹⁾ zum Lösen der Stahlverbindungen

* mit Sauerstoffkernlanze

dunkelgraue Felder: nicht/schlecht geeignet/nicht relevant für das Material

(#11-13: Materialhandling)

Tabelle 13: Materialbezogene Kategorisierung von Abbruchtechniken hinsichtlich der Materialzerkleinerung

Abbruchtechnik		Bewertungsparameter Materialzerkleinerung									
#	Verfahren	Mauerwerk					Beton			Sonstiges	
		Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein	Fertigteil	Ortbeton	Unbewehrt	Holz	Stahl
1	Abgreifen	1	1	1 - 2	1 - 2	1			1 - 2	1	
2	Einschlagen	1	1	1	1	1	1	1	1		
3	Eindrücken	1	1	1	1	1	1			0	
4	Einziehen	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1			0	0
5	Reißen	1	1	1	1	1	1	1	1		
6	Stemmen	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2		
7	Pressschneiden	2	2	2	2	2	2	2	2		
8	Scherschneiden									3	3
9	Spalten	1	1	1	1	1	1	1	1		
10	Demontieren						1			1 - 2	1 - 2
14	Handabbruch mit Handwerkzeug	3	3	3	3	3	3	3	3	2 - 3	1 - 2
15	Lockerungssprengung	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2		
16	Niederlegungs-sprengung	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	0 - 1	0
17	Kernbohren	0	0	0	0	0	0	0	0		
18	Kreis-/Wandsägen	2	2	2	2	2	2	2	2		

Fortsetzung auf der nächsten Seite

19	Diamant-seilsägen	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
20	Brennschneiden*						2	2			2 - 3
21	Hochdruckwasserstrahlschneiden	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3		2 - 3
22	Fräsen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	Schleifen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<p>0: schlechte/keine Zerkleinerung, 1: geringe Materialzerkleinerung > 80 cm Kantenlänge, 2: mittlere Materialzerkleinerung 60 - 80 cm Kantenlänge, 3: kleine Materialgröße/große Zerkleinerung < 60 cm Kantenlänge.</p> <p>Quellen: ABW (2012); Lippok und Korth (2007); Kamrath und Hechler (2011) und Expertenschätzungen</p>											

¹⁾ zum Lösen der Stahlverbindungen

* mit Sauerstoffkernlanze

dunkelgraue Felder: nicht/schlecht geeignet/nicht relevant für das Material

(#11-13: Materialhandling)

Tabelle 13 zeigt die Bewertung der Abbruchverfahren hinsichtlich der Materialvorzerkleinerung, ausgedrückt als maximale/minimale Längen der Kanten des Abbruchmaterials. Die Größe des Abbruchmaterials ist vor allem auch von der Größe der in den jeweiligen Abbruchobjekten eingesetzten Bauteile abhängig. Die Bewertung der Verfahren bezüglich der Materialvorzerkleinerung ist daher nur als grobe Näherung zu betrachten.

5.1.4.3 Dauern

Zur ökologischen Bewertung von Abbruchtechniken, d.h. in diesem Projekt zur Bewertung der Auswirkungen von Abbruchtechniken auf die lokale Umwelt, ist neben der Höhe von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen auch deren Einwirkzeit relevant. In diesem Zusammenhang wird die Einwirkzeit mit der Dauer des Vorgangs gleichgesetzt. Grundlage für die Abschätzung der Einwirkzeit sind somit Dauerkennwerte für die einzelnen Techniken bezogen auf m³ der abzubrechenden Bauteilgruppe (h/m³). Tabelle 14 enthält auch Angaben zur Anzahl der Arbeitskräfte (AK), die für die einzelnen Techniken zweckmäßig sind bzw. auf die sich die Leistungskennwerte beziehen (vgl. Lippok und Korth (2007), S. 429; Seemann (2003)). Die Anzahl der Arbeitskräfte ist nicht relevant für die ökologische Bewertung der Abbruchtechniken. Aber wie im Antrag zur 3. Projektphase (Antrag 3. Phase Arbeitspakt A.6) beschrieben, soll die derzeit aus technischer und ökologischer Sicht erfolgende Bewertung von Abbruchtechniken um die Wirtschaftlichkeit hinsichtlich des Ressourceneinsatzes (Arbeiter, Maschinen) ergänzt werden. Somit wird für die ökonomische Bewertung in der 3. Phase die Anzahl der Arbeitskräfte neben Vorgangsdauern und Maschineneinsatz benötigt.

Tabelle 14: Materialbezogene Dauerkennwerte von Abbruchtechniken in h/m³

Abbruch- technik		Dauerkennwerte (h/m ³) (bezogen auf die in der letzten Spalte angegebene zweckmäßige Anzahl der AK)										# Arbeits- kräfte (AK)
#	Verfahren	Mauerwerk					Beton			Sonstiges		
		Natur- stein	Ziegel	Kalk- sand- stein	Poren- beton	Beton- stein	Fertig- teil	Ort- beton	Unbe- wehrt	Holz	Stahl	
1	Abgreifen	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	x	x	0,03	0,03	x	2
2	Einschlagen	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,09	0,09	0,07	x	x	2
3	Eindrücken	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,08	x	x		x	2

Fortsetzung auf der nächsten Seite

5.1 Systemkern - Datenbasis, Prozessanalyse und Entscheidungslogik

4	Einziehen	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	x	x	0,13	1,21	2
5	Reißen	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08	0,08	x	x	2
6	Stemmen	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,03	x	x	2
7	Press- schneiden	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	x	x	2
8	Scher- schneiden	x	x	x	x	x	x	x	x	0,08	1,83	2
9	Spalten	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	4,00	4,00	1,18	x	x	2
10	Demontieren	x	x	x	x	x		x	x			4
11	Material zerkleinern	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,07	0,04	0,08	1,57	1
12	Material sortieren	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07	0,07	0,04	0,04	1,57	2
13	Material verladen											2
14	Handabbruch mit Handwerk- zeug	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	5,41	5,41	4,00			1
15	Lockerungs- sprengung	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	x	x	3
16	Nieder- legungs- sprengung	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	3
17	Kernbohren	4,55	5,31	4,55	4,55	5,31	18,04	18,04	6,37	x	x	2
18	Kreis- /Wandsägen	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	4,17	4,17	4,17	x	x	2
19	Diamant- seilsägen										x	2

Fortsetzung auf der nächsten Seite

20	Brennschneiden	x	x	x	x	x			x	x	46,18	2
21	Hochdruckwasserstrahlschneiden									x		2
22	Fräsen	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,22	0,22	0,10	0,11	x	2
23	Schleifen											2
Quellen: Weimann et al. (2013); ABW (2012); Lippok und Korth (2007); Seemann (2003); Rentz et al. (2002); Schultmann (1998); Rentz (1993); Willkomm (1990) und Experteneinschätzungen.												

x bzw. dunkelgraue Felder: nicht/schlecht geeignet/nicht relevant für das Material; Freie hellgraue Felder: keine Daten vorhanden

5.1.4.4 Vorgehen zur Bestimmung der Ausprägungen

Zuerst wird die Dauer der einzelnen technisch geeigneten alternativen Abbruchvorgänge (inklusive der Dauer für die Zerkleinerung und Sortierung des Materials) je Bauteilgruppe auf Basis der aus dem Geländemodell ermittelten Masse der Bauteilgruppe, der materialbezogenen Dauerkennwerte für die geeignete Abbruchtechnik und für Materialsortierung und -zerkleinerung (Tabelle 14) sowie der materialbezogenen Kategorien des erreichbaren Materialzerkleinerungs- und -trennungsgrades (Tabellen 12 und 13) berechnet.

Darauf werden die drei dauer- und emissionsbezogenen Ausprägungen von Lärm, Staub und Erschütterungen für die einzelnen abzubrechenden Bauteilgruppen auf Basis der berechneten Dauern und den entsprechenden abbruchtechnik- und materialbezogenen Ausprägungs-Kategorien ermittelt.

Beispielsweise würden sich für den Abbruch einer Außenwand aus Ziegel-Mauerwerk von 20 m³ mit den Techniken „Pressschneiden“, „Abgreifen“ und „Stemmen“ die folgenden Ausprägungen ergeben (unter Berücksichtigung der vorgegebenen Materialqualität von 95-98 % reinem Bauschutt und der Größe der Materialstücke von ca. 80x80cm) (Tabelle 15).

Tabelle 15: Ausprägungen von beispielhaften Abbruchvorgängen

Abbruchvorgang	Ausprägungen			
	Dauer (h)	Dauerbezogener Lärm	Dauerbezogener Staub	Dauerbezogene Erschütterungen
20 m ³ Ziegel-Mauerwerk Pressschneiden	2,4	5,1	7,1	2,1
20 m ³ Ziegel-Mauerwerk Abgreifen	2,6	5,8	8,0	2,0
20 m ³ Ziegel-Mauerwerk Stemmen	2,7	6,2	8,0	2,6

5.1.5 Abbruchtechnikauswahl

Aus den technisch möglichen Abbruchtechniken wird die „geeignetste“ („emissionsärmste“²) Technik je Bauteilgruppe auf Basis der drei emissionsbezogenen Kriterien bzw. den entsprechenden dauer- und emissionsbezogenen Ausprägungen der alternativen Abbruchvorgänge bestimmt. Die Bestimmung erfolgt unter Verwendung der „Multi-attribute value theory“ (MAVT), einer Methode der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung (Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)). In der geplanten 3. Phase sollen auch wirtschaftliche Kenngrößen in die Bewertung mit einfließen (siehe Antrag Phase 3).

Für den Vergleich der Techniken müssen die drei unterschiedlich skalierten, dauer- und emissionsbezogenen Ausprägungen der alternativen Abbruchvorgänge durch Normierung auf eine Vergleichsskala transferiert werden. Es wird ein sogenannter Teilnutzwert jedes alternativen Abbruchvorgangs hinsichtlich der einzelnen Kriterien gebildet. Hierfür wird für

² Ökonomischen Kriterien werden erst in der 3. Phase in das Werkzeug integriert und in die Bewertung miteinbezogen.

jedes Kriterium und jeden Vorgang die maximale und minimale zeit- und emissionsbezogene Ausprägung der Vorgangsalternativen identifiziert. Die maximale Ausprägung jedes Kriteriums und jedes Vorgangs erhält den Nutzwert 0 und die minimale Ausprägung den Nutzwert 1. Die Nutzwerte der anderen Vorgangsalternativen hinsichtlich der einzelnen Kriterien werden auf Basis der Skala der maximalen und minimalen Ausprägung berechnet (Tabelle 16).

Tabelle 16: Teilnutzwerte der beispielhaften Abbruchvorgangsalternativen hinsichtlich der emissionsbezogenen Kriterien

Abbruchvorgang	Teilnutzwerte		
	Lärm	Staub	Erschütterungen
20 m3 Ziegel-Mauerwerk Pressschneiden	1,00	1,00	0,82
20 m2 Ziegel-Mauerwerk Abgreifen	0,33	0,00	1,00
20 m2 Ziegel-Mauerwerk Stemmen	0,00	0,06	0,00

Die Alternative jedes Vorgangs mit dem größten Gesamtnutzwert wird vom Entscheidungsunterstützungswerkzeug ermittelt und die hierbei eingesetzte Abbruchtechnik wird dem Anwender als die „geeignetste“ Abbruchtechnik für den Vorgang vorgeschlagen. Der Gesamtnutzwert einer Vorgangsalternative wird mittels Addition der Teilnutzwerte bezüglich der einzelnen emissionsbezogenen Kriterien multipliziert und mit der Gewichtung der einzelnen Kriterien gewichtet. Die Gewichtung der emissionsbezogenen Kriterien Lärm, Staub und Erschütterungen kann der Anwender im Entscheidungsunterstützungswerkzeug einstellen, abhängig von der Bedeutung von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen für das Abbruchvorhaben. Im obigen Beispiel würde bei Gleichgewichtung der drei Kriterien (d.h. ein Teilgewichte von jeweils 1/3) „Pressschneiden“ den größten Gesamtnutzwert

erzielen und somit als die „geeignetste“ Abbruchtechnik vom Werkzeug vorgeschlagen werden. Wenn beispielsweise die Umgebung um die Abbruchbaustelle sehr erschütterungsempfindlich ist und Erschütterungen das alleinige Bewertungskriterium ist, würde hingegen „Abgreifen“ als „geeignetste“ Abbruchtechniken dem Anwender vorgeschlagen (Abbildung 9).

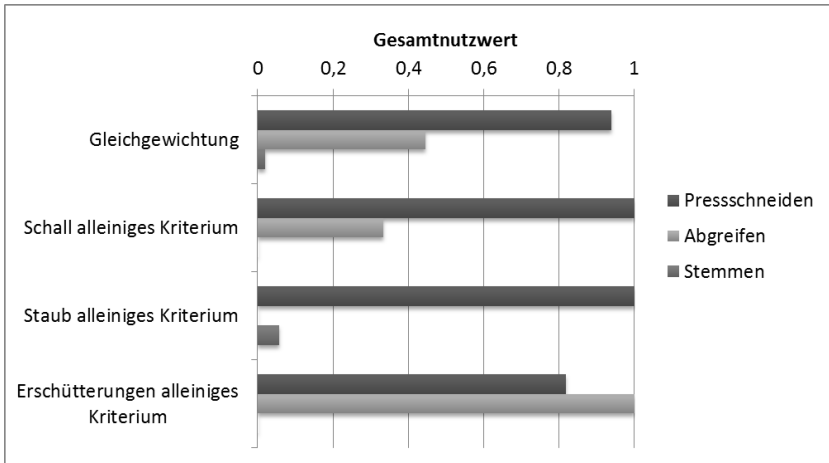


Abbildung 9: Gesamtnutzwerte der beispielhaften Abbruchvorgangsalternativen abhängig von der Kriterienbedeutung/-gewichtung

Für die Unterstützung bei der Abbruchplanung soll neben der Wahl einer geeigneten Abbruchtechnik je Bauteilgruppe auf möglicherweise vorhandene Schadstoffe auf Basis von material- und baujahresbezogenen Gebäudeinformationen hingewiesen werden. Das hierbei gewählte Vorgehen beim Entscheidungsunterstützungswerkzeug wird im folgenden Unterkapitel erläutert.

5.1.6 Hinweis auf mögliche Schadstoffe

Man kann zwischen Primär- (baustoffbedingte/baustoffimmanente) und Sekundärschadstoffen (nutzerbedingt) in Gebäuden unterscheiden (Lippok und Korth (2007)).

Im Rahmen des Projekts liegt der Fokus auf baustoffbedingten Schadstoffen. Schadstoffe, die durch die Nutzungsphase(n) bedingt sind, lassen sich je nach Qualität der Gebäudedokumentation nicht immer vollends rekonstruieren und werden nicht explizit in die Datenbank integriert. Weiter kann auf Grund der regionalen und zeitlichen Varianz der Anwendung und des vielfältigen Einsatzes von Baustoffen keine vollständige Übersicht gegeben werden (vgl. DWA (2012)).

Der Bauherr bzw. der beauftragte Planungsingenieur ist in der Mitteilungspflicht, im Zuge der Ausschreibung der Abbrucharbeiten auf mögliche Schadstoffe bzw. Schadstoffbelastungen von Baustoffen/Bauteilen im Gebäude hinzuweisen und darauf in der Leistungsbeschreibung einzugehen. Danach richtet sich dann das geeignete Vorgehen beim Abbruch.

Generell gilt: Bevor ein Gebäude abgebrochen wird, sind bei Verdacht alle schadstoffhaltigen Baustoffe u./o. Schadstoffbelastungen von Baustoffen in Gebäuden ggf. durch ein Gutachten bzw. einen Fachkundigen zu beurteilen und deren fach- und sachgerechter Ausbau ist sicherzustellen. Dies gilt z.B. für Asbest und asbesthaltige Materialien (TRGS 519) oder künstliche Mineralfasern (TRGS 521).

Etliche baustoffbedingte Schadstoffe bzw. Schadstoffbelastungen sind im Innenausbau, bei Abdichtungs- und Isolationsteilen sowie bei Dämmmaßnahmen etc. zu erwarten, welche jedoch im Zuge der Beräumung und Entkernung weitgehend bis vollständig entfernt werden. Da der Fokus des Projekts jedoch auf der Rohbaukonstruktion liegt (vgl. Kapitel 2.2) und hier die baustoffbedingten Schadstoffe vorwiegend auf Grund von Überresten der Ausbaumaterialien bzw. aufgrund eines Materialverbundes auftreten können, erfolgt lediglich eine grobe Abschätzung dieser Schadstoffe über das Baujahr des Abbruchobjekts bzw. über das Jahr der letzten Sanierung/Modernisierung (vgl. DWA (2012); Bauherren-Schutzbund e.V. (2010); Rötzel (2009); Rentz et al. (2001); Zwiener (1997)). Beispielsweise bei den im allgemeinen Sprachgebrauch „Plattenbau“ genannten Bauwerken in Ostdeutschland können in der Außenwandkonstruktion (mehrschichte Außenwandplatte) alte KMF's

enthalten sein. Außerdem wurden die Fugen i.d.R. mit asbesthaltigen Morinolkitten abgedichtet (vgl. Mettke (2008)). Im Rahmen des Projekts wird sich auf die folgenden Schadstoffe bzw. Schadstoffbelastungen beschränkt: Asbest, Holzschutzmittel (DDT, Lindan, PCP), KMF, PAK, PCB (vgl. Lippok und Korth (2007); BayLfU (2003); Zwiener (1997); GvSs (2010)). Für die Unterstützung bei der Abbruchplanung, sollen Warnhinweise zu Schadstoffen auf Basis der in Tabelle 17 dargestellten bauteil-, material- und baujahresbezogenen Integration in die Datenbank gegeben werden.

Tabelle 17: Zuordnung relevanter (möglicher) Schadstoffbelastungen zu entsprechenden Bauteilen/ Materialien und Baujahren in Deutschland ³

Schadstoff	Mögliche Vorkommen	Zuordnung zu		Baujahr/ Verwendungszeitraum	
		Bauteil	Material	Anfang	Ende
Asbest/ asbesthaltige Materialien	Asbestzement in Außenwandbekleidung	Wand	Mauerwerk, Holz, unbewehrter Beton, Stahlbeton-Fertigteil	1930	1993
	Fußbodenbelag	Decke	Stahlbeton, Stahlbeton-Fertigteil, Holz	1930	1993
	Asbestzement in Dach-eindeckung	Dach	Holz	1930	1993

Fortsetzung auf der nächsten Seite

³ Vgl. DGUV (2013), DWA (2012); Bauherren-Schutzbund e.V. (2010); Rötzel (2009); Rentz et al. (2001); Zwiener (1997).

5 Konzeption des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Abbruchplanung

Chemischer Holzschutz Lindan	Wandverkleidung	Wand	Holz	1942	1990
	Deckenverkleidung	Decke	Holz	1942	1990
	Dachstuhl	Dach	Holz	1942	1990
Chemischer Holzschutz DDT (Dichlordiphenyltrichlorethan)	Wandverkleidung	Wand	Holz	1940	1972
	Deckenverkleidung	Decke	Holz	1940	1972
	Dachstuhl	Dach	Holz	1940	1972
Chemischer Holzschutz PCP (Pentachlorphenol)	Wandverkleidung	Wand	Holz	1940	1989
	Deckenverkleidung	Decke	Holz	1940	1989
	Dachstuhl	Dach	Holz	1940	1989
Krebserrregende künstliche Mineralfaser (KMF) „alte“ Mineralwolle“	Wanddämmung, nichttragende Zwischenwand	Wand	Mauerwerk, Holz, unbewehrter Beton, Stahlbeton-Fertigteil	1900	2000
	abgehängte Decke	Decke	Stahlbeton, Stahlbeton-Fertigteil, Holz	1900	2000
	Dachdämmung	Dach	Holz	1900	2000
Krebserrzeugende polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe PAK (Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe)	Parkettkleber	Decke	Stahlbeton, Stahlbeton-Fertigteil, Holz	1800	1995
	Abdichtung	Wand	Mauerwerk	1800	1962
Krebsauslösende organische Chlorverbindungen PCB (Polychlorierte Biphenyle)	Dichtungsmasse	Wand	Mauerwerk	1929	1999

5.2 Nutzeroberfläche

Im Folgenden wird die Bedienung des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs aus Nutzersicht an Hand einer exemplarischen Anwendung und entsprechenden Abbildungen der „Bildschirm-ein-/ausgaben“ gezeigt.

5.2.1 Nutzereingabe

Die für die Entscheidungsunterstützung seitens des Nutzers notwendigen Daten zum Abbruchvorhaben, d.h. Beschreibung des Abbruchobjekts und der Baustellenumgebung, können computergestützt über Eingabemasken eingegeben werden (Abbildung 10).

The screenshot shows a web form titled "Gebäudeeingabe" with the following fields and values:

Gebäude_ID	1
Gebäude_Name	KIT
Bebaute_Fläche_m2	100
größte Gebäudebreite m	5
größte Gebäudelänge m	20
Gesamthöhe_UGOK_m	5
Gesamthöhe_UGOK_m	2
No_Stockwerke_UGOK	2
No_Stockwerke_UGOK	1
Baujahr bzw. Jahr der letzten Sanierung (bspw. 1956)	1960
Gebäudeart	eigene Eingabe
Platzverhältnisse um das Abbruchobjekt	<ul style="list-style-type: none"> 1 relativ frei 2 sehr begrenzt

At the bottom left of the form is a green button labeled "Gebäudeeingabe".

Abbildung 10: Formular für die Nutzereingaben zum Abbruchvorhaben

Der Bauherr, Planer oder Abbruchunternehmer muss als Nutzer des Werkzeugs das abzubrechende Gebäude beschreiben. Hierfür sind die folgenden Angaben zu den Abmessungen des Abbruchobjekts erforderlich:

- bebaute Grundfläche (m²)
- größte Gebäudelänge und –breite (m)
- Gesamthöhe des Bauwerks über und unter der Geländeoberkante (GOK) (m) sowie
- Anzahl der Geschosse über und unter GOK.

Weiter ist für den Hinweis auf mögliche baustoffbedingte Schadstoffe das Baujahr bzw. das Jahr der letzten Sanierung anzugeben. Die Eingabe der Gebäudematerialien wird über „Gebäudeart“ initialisiert. Hier können die Nutzereingaben in ihrem Detaillierungsgrad variieren. Die Eingabe kann sich beispielsweise auf die Auswahl eines Gebäudetyps (siehe Tabelle 2) beschränken oder die Materialien der horizontalen und vertikalen Tragstruktur können über die Auswahl der Option „eigene Eingabe“ in einer neuen Maske (Abbildung 11) aus vordefinierten Materialklassen geschossweise (je Stockwerk) ausgewählt werden. Das Entscheidungsunterstützungswerkzeug erlaubt derzeit die detaillierte geschossweise Eingabe („eigene Eingabe“) und verwendet für jedes Geschoss Voreinstellungen für die Materialart abhängig vom Typ der Tragstruktur/Bauteilgruppe und die Abmessungen (bspw. Dicke und Fläche) abhängig von Tragstrukturtyp und Materialart, wenn diese Angaben vom Nutzer nicht spezifizierten wurden. Für die aggregierte Eingabe über Gebäudetypen werden Voreinstellungen für das gesamte Gebäude übernommen. Diese aggregierte Eingabeoption soll in der 3. Phase abgeschlossen werden.

Stockwerkseingabe

Gebäude ID	1	Gebäudeart	eigene Eingabe
Stockwerk	2	Angaben gelten bis Stockwerk	
Stockwerkshöhe	5	2	

Horizontale Tragstrukturen

Horizontale Tragstruktur	Materialart	Dicke in m	Dachfläche in m2
Dach			
Weitere horizontale Tragstruktur	Materialart	Dicke in m	
Decke			
Weitere horizontale Tragstruktur			

Vertikale Tragstrukturen

Vertikale Tragstruktur	Materialart	Dicke in m
Außenwand		
Weitere vertikale Tragstruktur	Materialart	Dicke in m
Innenwand		
Weitere vertikale Tragstruktur		

Daten speichern und ggf. weitere Stockwerke definieren

Abbildung 11: Formular für die geschossweise Spezifizierung der Materialien der horizontalen und vertikalen Tragstruktur

Neben der Beschreibung des Abbruchobjekts hat der Nutzer die Möglichkeit die Baustellenumgebungsbedingungen zu spezifizieren. Denn die Wahl eines Verfahrens sowie der Maschinengröße hängen entscheidend von den Platzverhältnissen vor Ort ab. Die mögliche Auswahl im Entscheidungsunterstützungswerkzeug bezieht sich hierbei auf Abbruchbaustellen in bebauten Gebieten und im innerstädtischen Bereich. In Anlehnung an Lippok und Korth (2007) heißt das, dass die „örtlichen Bedingungen der Baustelle“ immer „begrenzt“ sind und der Nutzer zwischen relative freien („1“) und sehr begrenzten („2“) Platzverhältnissen um das Abbruchobjekt herum wählen kann.

Die Informationen durch die Nutzereingabe werden in einem ‘‘Abbruchprojekt’’ abgelegt. Aus diesen Daten wird ein digitales Modell/Abbild des Abbruchobjekts, der/des Gebäudetragstruktur/-rohbaus, mit bauteilartbezogener und geschossweiser Materialmassenberechnung in Tabellenform erstellt (Abbildung 12). Der Nutzer kann diese Informationen über die Bauwerkseigenschaften in der Maske aber auch in der Tabelle differenziert geschossweise anpassen.

SW_name	SW_hoeh	UEGOK	Bauteilart_ID	Bauteilart	Material_ID	Materialart	BT_hoeh	BT_laenge	BT_dicke	BT_flaech	BT_profil	BT_hoeh	BT_masse
2	5	2	Außenwand	1 natürliches Mauerwerk	2,5	0,3	125	0	5	37,5			
2	5	7	Dach	6 Holz		0,3	100	0	5	30			
2	5	6	Decke	5 bewehrter Beton		0,2	100	0	5	20			
2	5	3	Innenwand	1 natürliches Mauerwerk	2,5	0,3	125	0	5	37,5			
1	2,5	2	Außenwand	1 natürliches Mauerwerk	2,5	0,3	125	0	2,5	37,5			
1	2,5	6	Decke	5 bewehrter Beton		0,2	100	0	2,5	20			
-1	0	2	Außenwand	1 natürliches Mauerwerk	2	50	0,3	100	0	0			30
-1	0	6	Decke	5 bewehrter Beton		0,2	100	0	0	20			

Abbildung 12: Tabellarische Darstellung des Abbruchobjektmodells

5.2.2 Ausgabedateien

Die Ausgabedateien sollen die für den Nutzer relevanten Informationen zur Planung des definierten Abbruchprojekts enthalten. In diesem Zusammenhang liefert das Entscheidungsunterstützungswerkzeug Vorschläge zu technisch möglichen Abbruchtechniken sowie zu den unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die lokale Umwelt in Form von dauerbezogenen Ausprägungen von Lärm, Staub und Erschütterungen geeignetsten Abbruchtechniken je Bauteilart und Geschoss. Weiter gibt es dem Nutzer Hinweise auf mögliche baustoffbedingte Schadstoffe. Die Ausgabedateien, die im Folgenden an Hand des oben definierten Beispielobjekts erläutert werden, sind auf Grund des datenbasierten Aufbaus des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs und für die Übersichtlichkeit der Ergebnisse in der Regel Tabellen.

Unter Berücksichtigung einer geschossweisen (von oben nach unten) und bauteilbezogenen Abbruchabfolge werden zunächst die technisch geeigneten Abbruchtechniken auf Basis der im Kapitel 5.1.3. definierten Kriterien tabellarisch aufgelistet (Abbildung 13).

1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Stemmen	0,56125	14,615
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Reißen	0,815	20,02
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Fräsen	1,3475	35,73
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger_Longfront	Pressschneiden	0,4325	11,11
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger_Longfront	Stemmen	0,56125	14,615
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger_Longfront	Reißen	0,815	20,02
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger_Longfront	Fräsen	1,3475	35,73
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Kernbohrer mit Anbaugerät	Spalten	10,5525	53,97
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Ketten-/Seilsäge	Ketten-/Seilsägen	2500,37	40008,86
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Säge	Säge/Scheibe	10,795	300,76
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Schleifmaschine	Schleifen	2500,735	50019,08
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Seilbagger	Einschlagen	0,84	20,62
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Sprengstoff	Niederlegungsprengung	0,59875	15,065
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Sprengstoff	Lockerungsprengung	1,39875	37,165
1	2	5 Decke	bewehrter Beton	Wasserstrahl Schneidemaschine	Hochdruckwasserstrahlschneiden	2500,27875	80006,305
1	2	5 Dach	Holz	Handwerkzeug	Handabbruch	3750	45000
1	2	5 Dach	Holz	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Scherschneiden	0,4875	7,05
1	2	5 Dach	Holz	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Abgreifen	0,945	10,89
1	2	5 Dach	Holz	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Einziehen	1,83	21,96
1	2	5 Dach	Holz	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Eindrücken	3751,3425	45016,11
1	2	5 Dach	Holz	Hydraulikbagger_Longfront	Scherschneiden	0,4875	7,05
1	2	5 Dach	Holz	Hydraulikbagger_Longfront	Abgreifen	0,945	10,89

Abbildung 13: Tabelle der exemplarisch technisch geeigneten Abbruchtechniken

Für die Auswahl der jeweils „geeignetsten“ Abbruchtechnik/en je Bauteilart und Geschoss muss der Nutzer die gewünschte Gewichtung der emissionsbezogenen Technikausprägungen (Lärm, Staub und Erschütterungen) bspw. unter Berücksichtigung der Sensibilität der Umgebung der Abbruchbaustelle hinsichtlich Lärm, Staub und/oder Erschütterungen auswählen (Abbildung 14).

Wahl der Gewichtung

Gewichtung von Lärm

Gewichtung von Staub

Gewichtung von Erschütterungen

Laerm_Gewichtung

Staub_Gewichtung

Erschütterungen_Gewichtung

Abbildung 14: Formular zur Spezifizierung der Gewichtung der emissionsbezogenen Technikausprägungen

Darauf folgt eine tabellarische Auflistung der auf Basis dieser Gewichtung „geeignetsten“ Abbruchtechnik je Bauteilart und Geschoss (Abbildung 15). Die Auflistung enthält die Abschätzung von Emissionen unter Annahme der unter 5.1.4. für eine gute Recyclingfähigkeit definierten Materialeigenschaften.

81	1	2	5	Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Pressschneiden	3,46	0,4325	0,999913543837279
82	1	2	5	Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger_Longfront	Pressschneiden	3,46	0,4325	0,999913543837279
83	1	2	5	Innenwand	natürliches Mauerwerk	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Abgreifen	4,8375	0,6046875	0,99997486394639
84	1	2	5	Innenwand	natürliches Mauerwerk	Hydraulikbagger_Longfront	Abgreifen	4,8375	0,6046875	0,99997486394639
85	1	2	5	Außenwand	natürliches Mauerwerk	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Abgreifen	4,8375	0,6046875	0,99997486394639
86	1	2	5	Außenwand	natürliches Mauerwerk	Hydraulikbagger_Longfront	Abgreifen	4,8375	0,6046875	0,99997486394639
87	1	1	2,5	Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger_Longfront	Pressschneiden	3,46	0,4325	0,999913543837279
88	1	1	2,5	Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Pressschneiden	3,46	0,4325	0,999913543837279
89	1	1	2,5	Innenwand	natürliches Mauerwerk	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Abgreifen	4,8375	0,6046875	0,99997486394639
90	1	1	2,5	Innenwand	natürliches Mauerwerk	Hydraulikbagger_Longfront	Abgreifen	4,8375	0,6046875	0,99997486394639
91	1	1	2,5	Außenwand	natürliches Mauerwerk	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Abgreifen	4,8375	0,6046875	0,99997486394639
92	1	1	2,5	Außenwand	natürliches Mauerwerk	Hydraulikbagger_Longfront	Abgreifen	4,8375	0,6046875	0,99997486394639
93	1	-1	0	Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Pressschneiden	3,46	0,4325	0,999913543837279
94	1	-1	0	Decke	bewehrter Beton	Hydraulikbagger_Longfront	Pressschneiden	3,46	0,4325	0,999913543837279
95	1	-1	0	Innenwand	natürliches Mauerwerk	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Abgreifen	3,87	0,48375	0,99997486394639
96	1	-1	0	Innenwand	natürliches Mauerwerk	Hydraulikbagger_Longfront	Abgreifen	3,87	0,48375	0,99997486394639
97	1	-1	0	Außenwand	natürliches Mauerwerk	Hydraulikbagger mit Anbaugerät	Abgreifen	3,87	0,48375	0,99997486394639
98	1	-1	0	Außenwand	natürliches Mauerwerk	Hydraulikbagger_Longfront	Abgreifen	3,87	0,48375	0,99997486394639

Abbildung 15: Tabelle der exemplarisch „geeignetsten“ Abbruchtechniken je Bauteilart und Geschoss

In der Tabelle werden für die mit der ausgewählten Abbruchtechnik durchgeführten Abbruchvorgänge zum einen die Dauern bestimmt, auf deren Basis zusammen mit der vorab definierten Rückbauabfolge ein Projektplan für den Gebäudeabbruch erstellt werden kann. Zum anderen wird die ökologische Bewertung als Nutzwert zwischen 1 und 0 (1 sehr gut, 0 schlecht) unter Berücksichtigung der gewählten Gewichtung der Ausprägungen von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen ausgewiesen. Da noch keine Wirtschaftlichkeitsbewertung der Techniken auf Basis von bspw. Gerätekosten in das Entscheidungsunterstützungswerkzeug integriert ist (siehe Antrag Phase 3) schneidet die gleiche Technik, einmal mit Hydraulikbagger und einmal mit Hydraulikbagger mit Longfront-Ausleger durchgeführt, gleich ab. Beide Varianten werden in diesem Beispiel als geeignetste Technik identifiziert. Mit der Integration einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kann hier eine eindeutige Lösung je Bauteil erlangt werden. In Anlehnung an die Zuordnung relevanter Schadstoffbelastungen zu entsprechenden Bauteilen/Materialien und Baujahren (Tabelle 17) gibt das Werkzeug in Tabellenform Hinweise auf mögliche Schadstoffe/Schadstoffreste je Bauteilart und Geschoss, die durch Anhaftungen

oder auch durch nicht lösbare Materialverbünde auch noch im Rohbau vereinzelt auftreten können und vor dem Abbruch separiert werden müssen (Abbildung 16).

ID	gebäude_ID	SW_name	SW_hoehe_UEGOK	Bauteilart	Materialart	Baujahr	Schadstoffart
14501	1	2	5	Innenwand	natürliches Mauerwerk	1960	krebsrerreg_kuenstl_Mineralfaser
14502	1	2	5	Decke	bewehrter Beton	1960	asbesthaltige_Materialien
14503	1	2	5	Decke	bewehrter Beton	1960	krebsrerreg_kuenstl_Mineralfaser
14504	1	2	5	Dach	Holz	1960	asbesthaltige_Materialien
14505	1	2	5	Dach	Holz	1960	DDT-haltiger_Holzschutz
14506	1	2	5	Dach	Holz	1960	krebsrerreg_kuenstl_Mineralfaser
14507	1	2	5	Dach	Holz	1960	Lindan
14508	1	2	5	Dach	Holz	1960	PCP_haltiger_Holzschutz
14509	1	2	5	Außenwand	natürliches Mauerwerk	1960	asbesthaltige_Materialien
14510	1	2	5	Außenwand	natürliches Mauerwerk	1960	krebsrerreg_kuenstl_Mineralfaser
14511	1	2	5	Außenwand	natürliches Mauerwerk	1960	PCB
14512	1	1	2,5	Decke	bewehrter Beton	1960	asbesthaltige_Materialien
14513	1	1	2,5	Decke	bewehrter Beton	1960	krebsrerreg_kuenstl_Mineralfaser
14514	1	1	2,5	Außenwand	natürliches Mauerwerk	1960	asbesthaltige_Materialien
14515	1	1	2,5	Außenwand	natürliches Mauerwerk	1960	krebsrerreg_kuenstl_Mineralfaser
14516	1	1	2,5	Außenwand	natürliches Mauerwerk	1960	PCB
14517	1	-1	0	Decke	bewehrter Beton	1960	asbesthaltige_Materialien
14518	1	-1	0	Decke	bewehrter Beton	1960	krebsrerreg_kuenstl_Mineralfaser
14519	1	-1	0	Außenwand	natürliches Mauerwerk	1960	asbesthaltige_Materialien
14520	1	-1	0	Außenwand	natürliches Mauerwerk	1960	krebsrerreg_kuenstl_Mineralfaser
14521	1	-1	0	Außenwand	natürliches Mauerwerk	1960	PCB
(Neu)							

Abbildung 16: Tabelle der exemplarisch möglichen baustoffbedingten Schadstoffe je Bauteilart und Geschoss

5.3 Details zur Erhebung von neuen Daten

Da eine Kategorisierung der Abbruchtechniken hinsichtlich Dauer und Höhe der relevanten Emissionen durch Lärm, Staub und Erschütterungen sowie der Materialqualität auf Basis der Daten aus der Literatur nicht möglich ist, Angaben zu Emissionen häufig nicht materialspezifisch sind und auch nicht in Abhängigkeit von der Maschinengrößenklasse ausgewertet werden können, wurden die Analyseergebnisse der Literaturrecherche mit Hilfe von Experteneinschätzungen spezifiziert. Weiter wurden Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen von einzelnen Abbruchvorgängen mit Hilfe von Messungen auf Abbruchbaustellen unter Berücksichtigung des vorliegenden Abbruchmaterials sowie anderer Rahmenbedingungen weiter untersucht. Die Messergebnisse wurden ausgewertet und zur Unterlegung der Ergebnisse der Literaturrecherche sowie der Experteneinschätzungen verwendet.

5.3.1 Experteneinschätzung zur emissions- und immissionsarmen Abbruchplanung

5.3.1.1 Ziel und Fragebogenaufbau

Ziel der Expertenbefragung mittels eines Fragebogens ist eine Spezifizierung der Ergebnisse der Literaturrecherche sowie der durchgeführten Immissionsmessungen und Versuche (vgl. Kapitel 5.3.2. bis 5.3.4). Für die Integration in das bauteilgruppenbasierte Entscheidungsunterstützungswerkzeug für die Planung von einzelnen Abbruchvorgängen sollen die Experten verschiedene Abbruchverfahren bewerten. In der Praxis auf Abbruchbaustellen erfolgt eine Einteilung der Abbruchtechniken häufig nach Gebäudetypen (Konstruktionsweise mit Angabe relevanter Baumaterialien der Konstruktion, vgl. Kapitel 2.2). Hier stehen die technische Eignung (abhängig vom Bauteiltyp, Baumaterial, der Abbruchhöhe über GOK und den Platzverhältnissen auf der Baustelle) sowie die Kosten im Vordergrund der Abbruchtechnikwahl, die bereits gut durch die Literaturabgedeckt werden (vgl. Kapitel 5.1.3 und 5.1.4). Die Umfrage zielt in erster Linie auf die Bewertung von Abbruchtechniken unter den einzelnen emissions- und abbruchmaterialbezogenen Kriterien ab. Die Bewertung hinsichtlich dieser Kriterien wird insbesondere durch das Abbruchmaterial und unter Umständen durch die Abbruchhöhe über der Geländeoberkante (GOK) beeinflusst. Auch das Entscheidungsunterstützungswerkzeug ist entsprechend strukturiert. Daher erfolgt die Umfrage auf Ebene möglicher Bauteilmaterialien. Zunächst werden allgemeine Daten der Befragten, wie Jahre der Erfahrung/Tätigkeit in der Abbruchbranche und Größe des Unternehmens, in dem der Befragte tätig ist, anonym erfasst. Darauf soll der Befragte maximal 5 der 22 zur Auswahl stehenden Abbruchtechniken (vgl. DIN 1800:2009-03) wählen, mit denen er bzw. sein Unternehmen in der Praxis vertraut ist. Diese Abbruchtechniken sollen im Folgenden abhängig von verschiedenen gegebenen Materialien hinsichtlich der Höhe von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen in die lokale Umwelt sowie des nachgelagerten Aufwands zur Materialtrennung und –zerkleinerung bewerten werden, wobei eine entsprechende Auswahl an möglichen Bewertungen vorgegeben wird. Der

Einfluss der Abbruchhöhe über Geländeoberkante auf die Emissionswirkung ist je Emissionsart ebenfalls abzuschätzen. Weiter wird der Einsatz von möglichen Schutzmaßnahmen abgefragt. Ergebnis der Experteneinschätzungen ist nach Auswertung der beantworteten Fragebögen eine semi-quantitative (mehrstufige) materialbezogene und maschinenabhängige Bewertung der Abbruchtechniken hinsichtlich der Höhe von Emissionen in die lokale Umwelt durch Lärm, Staub und Erschütterungen (5-stufig) sowie hinsichtlich der Qualität des Abbruchmaterials (4-stufig).

5.3.1.2 Vorgehen bei der Befragung

Es liegen derzeit vier Experteneinschätzungen mit langjähriger Erfahrung in der Abbruchbranche vor. Grund für die geringen Rückmeldungen könnte der zu umfangreiche bzw. zeitaufwendige Fragebogen gewesen sein, der aus Fragenmatrizen bestand. Die wenigen Rückmeldungen wurden dennoch ausgewertet und fließen bereits ergänzend zu den Daten aus Literaturrecherche und den Erkenntnissen aus Messungen auf Abbruchbaustellen und einzelnen Versuchen (Kapitel 5.3.2. bis 5.3.4) in die Datenbank des Planungsunterstützungssystems ein (siehe Kapitel 5.1.3 und 5.1.4). Um jedoch die durch Experteneinschätzungen erlangten Informationen auf eine breitere, gegen Fehleinschätzungen robustere Basis zu stellen, soll die Anzahl der Rückmeldung in der 3. Projektphase noch erhöht werden. Hierfür wurde der Umfang des Fragebogens etwas reduziert und für eine erleichterte Beantwortung der Fragen als Online-Umfrage (siehe beispielhaft Anhang C) gestaltet, die über einen Link erreichbar ist. Die Online-Umfrage soll nach Abstimmung mit dem Deutschen Abbruchverband in der 2. Jahreshälfte 2014 erneut mit ausgewählten Abbruchunternehmen (mind. 15 – 20 Teilnehmer) aus verschiedenen Regionen Deutschlands durchgeführt werden. Die Ergebnisse des Rücklaufs der Fragebögen werden anschließend bewertet, zusammengefasst und als Thesen bzw. Fragestellung nochmals einem kleineren Kreis von Experten vorgelegt.

5.3.2 Immissionsmessungen auf Abbruchbaustellen

5.3.2.1 Ziel der Messungen

Ziel der Messungen in der 2. Phase war eine Validierung der Literaturrechercheergebnisse und der Experteneinschätzungen zur Bewertung von Abbruchtechniken hinsichtlich Lärm, Staub und Erschütterungen in Bezug auf das Abbruchmaterial, Bauteilkonstruktion und der Abbruchhöhe über Geländeoberkante sowie ein Abgleich zwischen persönlicher Wahrnehmung und den Messwerten.

Es wurden Messverfahren und entsprechende Messgeräte identifiziert, die es ermöglichen, von den gemessenen Immissionen so gut wie möglich auf die material- und abbruchtechnikbezogenen Emissionen rückzuschließen. Die Messergebnisse wurden unter Berücksichtigung der Bauwerkseigenschaften, der lokalen Rahmenbedingungen und weiterer Parameter der Abbruchdurchführung analysiert.

Im Rahmen der 2. Phase wurden Immissionsmessungen für Lärm, Staub und Erschütterungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten während des laufenden Abbruchbetriebs an/auf den folgenden ausgewählten Abbruchbaustellen/-objekten an mehreren Tagen durchgeführt:

- Komplettabbruch einer Villa (3-geschossiger, insgesamt etwa 10 m hoher Massivbau mit Außenwänden aus Ziegel- und Bruchsteinmauerwerk, Innenwänden aus Ziegelmauerwerk und Stahlbetondeckenplatten), Osnabrück (17.-19.06.2013)
- Komplettabbruch Wohngebäude (5-geschossiger, insgesamt etwa 15 m hoher Stahlbeton-Plattenbau, entkernt), Brandenburg an der Havel (10./11.10.2013)
- Abbruch einer Industrieanlage (4-geschossiger, insgesamt etwa 20 m hoher Stahlbetonbau, entkernt), Köln (13./14.11.2013) (siehe Abbildung 17)



Abbildung 17: Messungen auf der Abbruchbaustelle in Köln im Rahmen der Phase 1

Auf der Abbruchbaustelle in Osnabrück wurden die ausgewählten Messgeräte und Messkonzeptionen das erste Mal unter Realbedingungen getestet. Da auf dieser Abbruchbaustelle jedoch nicht in den Abbruchablauf eingegriffen werden durfte, beziehen sich die weiteren Ausführungen in erster Linie auf die Abbruchbaustellen in Brandenburg und Köln. Spezifische Informationen zu den beiden Abbruchvorhaben und den Messsituationen können Anhang D entnommen werden. Allgemeine Grundlagen, Rahmenbedingungen und Informationen zu den Messverfahren und zur Durchführung der Messungen werden im Folgenden näher erläutert.

5.3.2.2 Planung der Messungen

Nach Festlegung der Zielvorgaben zur Qualität und Art der Messergebnisse unter Berücksichtigung der Anforderungen relevanter (technischer) Regelwerke, Richtlinien sowie hinsichtlich der wirtschaftlichen Vertretbarkeit des messtechnischen Aufwands, sind/waren zur Planung der Messungen folgende Punkte für jede Abbruchbaustelle zu klären:

- Angaben zum geplanten Abbruchprozess/-betrieb sowie umgebungs- und gebäudebezogene Randbedingungen,
- Angaben zu Verantwortlichen, zum notwendigen Personaleinsatz zur Durchführung der Messungen und zur Erfassung und Auswertung der eruierten Daten,

- Angaben zur Anzahl und Standorten von Messpunkten/zu Messplätzen/Messstrecken (z.B. Höhe, Entfernung von der Emissionsquelle(n), Messpunkte untereinander etc.) der Immissionsmessungen im Umfeld (Verkehrswege, Nachbarbebauung etc.) oder objekt- / bauteilbezogene Messungen (z.B. in der Nähe von Abbruchobjekt oder Baumaschinen, deckenbezogen, wandbezogen, etagenbezogen im Gebäude, am Fundament, auf dem Baugrund), in Abhängigkeit der Arbeitsprozesse,
- Anzahl und Dauer der Messeinsätze (einzelne Messungen, wiederkehrende Messungen), Planung der Messtermine
 - klare Abgrenzung von Einzelmessungen zu Abbruchvorgängen (Stemmen, Einschlagen, Verladen etc.) oder
 - Parallelmessungen zu Abbruchvorgängen (mehrere Tätigkeiten parallel, zeitversetzt,...),
- Ermittlung der „Null-Messung“ (Vorbelastung, meteorologische Bedingungen am Messpunkt) und Erfassung weiterer Quellen (Quelle 1 - z.B. Anbaugerät 1 / Quelle 2 - z.B. Anbaugerät 2 / Quelle 3 -Maschine bzw. Gerät (z.B. Stemmhammer).

Die obige Auflistung ist eine Orientierung für die Planung von Lärm-, Staub und Erschütterungsmessungen im Rückbau. Abhängig von der Baustellensituation, fallen einzelne Punkte vom Planungsumfang mehr oder weniger umfassend aus.

5.3.2.3 Lokale Randbedingungen und Einflussgrößen

Bei der Planung und Durchführung von Abbrucharbeiten von Gebäuden und baulichen Anlagen sind sowohl fest vorgegebene, variierende/nicht steuerbare als auch variable/steuerbare Parameter maßgebend. Die fest vorgegebenen Größen, wie Umgebungsbedingungen und die gebäude- und bauteilbezogenen Eigenschaften, haben einen direkten Einfluss auf die Wahl der

Abbruchverfahren und den Geräte-, Maschinen- und Personaleinsatz (variable Parameter). Beide, fest vorgegebene und variable Parameter, beeinflussen entscheidend die Intensität und Höhe von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen sowie die daraus resultierenden Immissionen. Maßgebende variierende, aber nicht steuerbare Parameter sind die meteorologischen Bedingungen. Sie haben vor allem einen großen Einfluss auf die Höhe der Staubimmissionen. Die einzelnen Parameter und das Maß Ihres Einflusses sind jedoch von Baustelle zu Baustelle verschieden.

Um die einzelnen Abbruchvorgänge auf Basis von Messwerten hinsichtlich Lärm, Staub und Erschütterungen in Bezug auf das Abbruchmaterial, Bauteilkonstruktion und der Abbruchhöhe über Geländeoberkante zu bewerten, müssen die auf realen Abbruchbaustellen herrschenden Parameter abhängig von ihrer Relevanz vor Ort genau beachtet und so gut wie möglich erfasst werden. Mögliche Fehlerquellen in Messdaten können durch Vorortaufnahme der Randbedingungen und die Wahl des Messpunktes (bspw. möglichst hindernisfreie Aufnahme der Emissionen zwischen Quelle und Messort) minimiert werden.

Neben einer möglichst detaillierten und umfassenden Aufnahme der in Tabelle 18 gelisteten Parameter (vgl. VDI 2095 Blatt 1:2011-03; VDI 2095 Blatt 2:2014-07, Tabelle 1, VDI 3790 Blatt 1), müssen in diesem Zusammenhang von einzelnen Abbruchvorgängen (ein Abbruchverfahren, das von einer Maschinen mit Anbaugeräten durchgeführt wird) Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen über eine bestimmte Dauer kontinuierlich und zeitlich aufgelöst messtechnisch erfasst werden. Um den Einfluss der variablen (meteorologischen) Größen auf dem Ausbreitungsweg zwischen Emissionsquelle und Messort so gering wie möglich zu halten, sollte die Messung so nah wie möglich am Abbruchvorgang/an der Emissionsquelle durchgeführt werden. Die Einflussgrößen sollten bei jeder Messung beispielsweise auf Basis der genannten möglichen Informationsquellen protokolliert werden. Die meteorologischen Größen sollten hierbei wenn möglich kontinuierlich über den Zeitraum der Messung, ansonsten in regelmäßigen Abständen über einen Messtag hinweg aufgenommen werden.

Die Abbruchvorgänge sollten am Besten in Form eines Arbeitsprozessprotokolls mit Uhrzeit, Dauer, Ressourceneinsatz und anderen Rahmenbedingungen erfasst werden. Tabelle 18 ist als eine Checkliste zu verstehen, deren Größen nicht immer alle bzw. vollständig erfasst werden können und deren Relevanz im Einzelfall abzuwägen ist.

Tabelle 18: Einflussparameter auf die Höhe der Emissionen und Immissionen bei Abbrucharbeiten

Einflussparameter	Auswahl möglicher Informationsquellen
Fest vorgegebene Parameter	
Umgebungsbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Topografie und Oberflächenbeschaffenheit der Umgebung, • Gebietscharakter/Nutzungen in der Nachbarschaft, • Nähe, Höhe und Dichte der Nachbarbebauung, bauliche Anordnung von Gebäuden und baulichen Anlagen, • Vegetation
Gesamtgebäude- und baustellenbezogene Bedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Baujahr/Nutzungen /Nutzungsgeschichte/ Umbauten/ Modernisierungen/Sanierung, • Bauwerkseigenschaften, ggf. bauliche Besonderheiten, • Anordnung der baulichen Anlagen/des/der Gebäude(s), • Zuwegung(en)/Verkehrswege, Zu- u. Abgangsverkehr Baustelle, • Verfügbare, nutzbare Arbeits-/Lagerungs- bzw. Umschlagflächen, (Aufstellflächen für Abbruchgeräte, Platz für Materialtrennung/ Container), • Oberflächenbeschaffenheit auf dem Abbruchgelände (Material, z.B. Beton, Boden, Auffüllung mit RC-Material)

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<p>Bauteilbezogene / Materialbezogene Eigenschaften</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Materialzusammensetzung, -art, -menge, Dichte, Materialverbund, • Korngrößenverteilung/Feinkornanteil des Abbruchmaterials, • Staubungsverhalten (in Abhängigkeit Abwurfhöhe und -menge), • Grad der Zerkleinerung, • Feuchtegehalt des Abbruchmaterials, • Partikelform/-größe bei Zerkleinerung etc., • Oberflächeneigenschaften, • Abrieb-, Scher- und Bruchfestigkeit, • Entmischungsverhalten (grobe und feine Teilchen) • Chemische und physikalische Eigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> • Objektbeschreibungen • Gebäudepläne • Vor-Ort-Aufnahme • Bautabellen
<p>Variierende Parameter</p>		
<p>Meteorologie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Windrichtung und -geschwindigkeit/Turbulenzverhalten, • Temperatur, • Luftfeuchtigkeit, absoluter Luftdruck der Außenluft an der Probenahmestelle, • Niederschlag 	<ul style="list-style-type: none"> • Daten einer nahegelegenen Wetterstation • Eigene Datenerfassung mittels Thermometer, Ultraschallanemometer • Vor-Ort-Aufnahme

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Variable Parameter		
Abbruchvorgänge und Arbeitsprozesse	<ul style="list-style-type: none"> • Abbruchverfahren • Maschinen- und Geräteauswahl/Standorte Maschinen, Aggregate, • Kontinuität und Zeitdauer, • Anzahl und Umfang der Arbeiten, • Technische Minderungsmaßnahmen (Befeuchtung etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vor-Ort-Aufnahme • Maschinenherstellerangaben

Besonders die meteorologischen Bedingungen erschwerten die Planung der Messtage im Vorfeld. Insbesondere für die Staubmessung sind moderate meteorologische Verhältnisse notwendig mit etwa gleichbleibender Windrichtung und geringen bis mittleren Windgeschwindigkeiten (vgl. VDI 4285 Blatt 1) und ohne Niederschlag (zu den vorherrschenden lokalen Randbedingungen auf den Abbruchbaustellen vgl. Anhang B).

5.3.2.4 Messgrößen und Messverfahren

Da bei Abbrucharbeiten direkte Messungen von Emissionen unmittelbar an der Emissionsquelle nicht möglich sind, wurden indirekte Messmethoden zur Bestimmung der Emissionen für die einzelnen Messgrößen Lärm, Staub und Erschütterungen, herangezogen. Mit dem Ziel von gemessenen Werten (Immissionen) auf die Emissionen rückzuschließen und somit für die einzelnen Abbruchvorgänge Anhaltswerte für die spezifischen vorgangsbezogenen (Material, Technik) Emissionswerte zu sammeln, wurden die Messpunkte für die Immissionserfassung im Allgemeinen mit direktem Bezug zur Emissionsquelle vor Ort ausgewählt. Hierbei sind ein geringer Abstand zur Emissionsquelle und möglichst hindernisfreie Ausbreitung in Boden und Luft der jeweiligen Emissionsgröße zum Immissionsmesspunkt ausschlaggebend.

Insbesondere für die Festlegung der Messpunkte für die Staubmessungen wurde zusätzlich jeweils die Hauptwindrichtung vor Ort berücksichtigt.

Schall (Lärm): Im Rahmen des Projekts werden kontinuierliche, zeitlich aufgelöste Schallmessungen so nah wie möglich am Abbruchvorgang durchgeführt. Um die Messgrößen nach AVV und TA Lärm, d.h. den zeitlich bewerteten (F = fast: Bewertungszeit 125 ms) und A-bewerteten Schalldruckpegel (dBA) und das Frequenzspektrum (Hz, Terzspektrum) aufnehmen zu können, sind sowohl Messgeräte der Klasse 1 wie auch Klasse 2 eingesetzt worden. Auf der Abbruchbaustelle in Köln wurden die Schallmessungen unter anderem durch Sachverständige des TÜV Hessen (vor Ort) durchgeführt. Auf der Abbruchbaustelle in Brandenburg konnte aus terminlichen Restriktionen kein Sachverständiger vor Ort sein. Die Schallmessungen wurden von den Projektpartnern durchgeführt, wobei der Austausch mit Sachverständigen verschiedener Ingenieurbüros, des TÜV Hessen und der Hessischen Landesanstalt für Umwelt (HLfU) vorab erfolgte.

Staub: Abbrucharbeiten können – wie oben erwähnt - diffuse Staubemissionen hervorrufen, deren quantitative und qualitative Charakterisierung auch mit moderner Messtechnik schwierig ist (vgl. Heidenreich et al. (2003)). Im Rahmen des Projekts werden „emissionsnahe Immissionsmessungen“ (vgl. Kummer (2013)) auf Abbruchbaustellen durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Windrichtung wird für die Messungen die Luv-Lee-Methode nach VDI 3790 Blatt 3 herangezogen, wo aus der Differenz zwischen den gemessenen Immissionen im Luv und Lee die Zusatzbelastung durch die Quelle bestimmt wird. Der Fokus liegt auf optischen Geräten, die das Streulicht der einzelnen Staubpartikel kontinuierlich und zeitlich aufgelöst messen. Messgröße sind somit die Partikelanzahlkonzentrationen (Partikel/m³) von Staubpartikeln in verschiedenen Größen. Unter Annahme einer mittleren Dichte der Staubpartikel je Partikelgrößenintervall wird von den Geräten bereits die Massenkonzentration (g/m³) intern errechnet. Die Messergebnisse werden über den Zeitverlauf dargestellt (vgl. Heidenreich et al. (2003)) und können so einzelnen Vorgängen zugeordnet werden. Weiter müssen die meteorologischen Bedingungen zum Zeitpunkt der Messungen aufgenommen werden, um die

Ausbreitungssituation zu definieren um im Anschluss die Emission abschätzen zu können. Bei Abbruchvorgängen werden vor allem Gesteinstäube direkt am Ort der Aktivität (am Anbaugerät oder durch das Fallen einzelner Gebäudeelemente) freigesetzt. Der relevante Partikelgrößenbereich liegt bei 0,5 bis 20 μm (Einatembare Staub (E-Staub⁴)) (vgl. Krusche et al. (2003); Heidenreich et al. (2003)) und dieser Bereich ist somit auch der Fokus der Staubmessungen im Rahmen dieses Forschungsprojekts. Die Staubmessungen wurden von Sachverständigen des Instituts für Luft- und Kältetechnik in Dresden sowie der Bergischen Universität Wuppertal, Fachbereich D - Sicherheitstechnik/Umweltschutz durchgeführt. Weiter erfolgte vorab der Austausch mit Sachverständigen verschiedener Ingenieurbüros.

Erschütterungen: Die Erschütterungsmessungen erfolgten in Anlehnung an Emissionsmessungen von Schwingungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen (vgl. DIN 45672-1: 2009-12; DIN 45672-2:1995-07) auf dem Ausbreitungsweg und so nah wie möglich an der Emissionsquelle, da Erschütterungsmessungen für die Bestimmung von Emissionen durch Bau-/Abbruchaktivitäten bislang noch nicht in einer Norm standardisiert sind. Die Einwirkungen auf umliegende Gebäude (vgl. DIN 4150, Teil 3) bzw. auf Menschen in Gebäuden (vgl. DIN 4150, Teil 2) werden im Projekt nicht weiter betrachtet, da diese Einwirkungen entscheidend von den jeweiligen Eigenschaften der umliegenden Gebäude beeinflusst werden. Es werden nach DIN 45669-1:2010-09 genormte 8-Kanal Schwingungsmessgeräte mit zwei integrierten Schwingungsaufnehmern mit jeweils drei Kanälen (x-, y-, z-Richtung) und mit zusätzlich zwei 1-kanaligen Aufnehmern für die vertikale Schwingrichtung eingesetzt. Die Ankopplung der Aufnehmer an das Erdreich erfolgt nach DIN 45669-2:2005-06 und die Aufnehmer wurden auf festem Untergrund platziert. Als Messgröße wird kontinuierlich und zeitlich aufgelöst die Schwinggeschwindigkeit (mm/s) in x-, y- und z-Richtung sowie das Frequenzspektrum (Hz, Schmalbandspektrum) aufgenommen. Wie bei den Schallmessungen, wurden die Erschütterungsmessungen auf der Abbruchbaustelle in Köln unter anderem durch Sachverständige des TÜV

⁴ <http://www.dguv.de/staub-info/Was-ist-Staub/E-Staub/index.jsp>.

Hessen (vor Ort) durchgeführt. auf der Abbruchbaustelle in Brandenburg konnte aus terminlichen Restriktionen kein Sachverständiger vor Ort sein. Die dortigen Erschütterungsmessungen wurden von den Projektpartnern selbst durchgeführt, wobei der Austausch mit Sachverständigen verschiedener Ingenieurbüros, des TÜV Hessen und der Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU) vorab erfolgte.

Die festgelegten Messpunkte (Immissionsmessungen) wurden jeweils in ihrer Position auf der Baustelle eingemessen und in die Planunterlagen eingetragen. Im Nachgang ist es so möglich, die Ausbreitung und Wirkung der Emissionen (Staub, Lärm, Erschütterungen), ausgehend von den identifizierten Emissionsquellen, zu berechnen und die erfassten Werte untereinander abzugleichen. Die entsprechende emissionsbezogene Auswertung der Messdaten kann Anhang D entnommen werden.

5.3.2.5 Durchführung der Messungen

Die örtlichen Immissionsmessungen (Lärm, Erschütterungen, Staub) erfolgten während der laufenden Arbeitsprozesse auf den Abbruchbaustellen. Die Messperioden/-zeiten wurden an den durchgeführten Arbeiten und Arbeitsabläufen orientiert. Insgesamt wurden Messwerte kontinuierlich jeweils über die gesamte Messzeit (Arbeitstag) messtechnisch aufgezeichnet und die Arbeitsvorgänge in Messprotokollen festgehalten. Ergänzend erfolgte eine Dokumentation der Arbeiten über Foto- bzw. z.T. Filmaufnahmen. Die meteorologischen Randbedingungen (Windgeschwindigkeit und -richtung, Temperatur, Luftfeuchte) wurden ebenfalls erfasst.

Da gemäß der Zielsetzung eine abbruchvorgangsbezogene Erfassung und Auswertung der Messergebnisse im Fokus steht, war es, in Abstimmung mit dem zuständigen Bauleiter und soweit es der Arbeitsablauf zuließ, punktuell möglich, explizit einzelne Abbruchvorgänge (einzelne Abbruchtechniken mit Maschinen mit unterschiedlichen Anbaugeräten) separat über ein bestimmte Dauer messtechnisch zu erfassen. So besteht die Möglichkeit, die Messwerte und ggf. etwaige Spitzen einzelnen Vorgängen direkt zuzuordnen. Anhang D enthält die emissionsbezogenen Auswertungen der Messungen, die mit den im

Kapitel 5.3.4. näher beschriebenen Vorgehen zum Rückschluss auf die entsprechenden Emissionen ermittelt wurden.

5.3.2.6 Fazit

Auf Grund der stark variierenden meteorologischen und baustellenspezifischen Bedingungen können keine Aussagen zur Reproduzierbarkeit der gemessenen Daten getroffen werden. Durch die Messergebnisse können jedoch mögliche Bandbreiten für die Emissionseigenschaften von verschiedenen Abbruchtätigkeiten aufgezeigt werden, die die Literaturangaben erweitern und die Experteneinschätzungen unterlegen können.

In der geplanten 3. Phase sollen diese Einflüsse auf die gemessenen Immissionen durch variierenden Rahmenbedingungen auf Abbruchbaustellen vermindert werden und der Einfluss von verschiedenen Abbruchmaterialien und Abbruchtechniken auf die Größe der Bewertungsparameter Lärm, Staub und Erschütterungen, durch entsprechende Messungen auf einem Testgelände näher untersucht werden.

5.3.3 Versuche zur Analyse von Erschütterungs- und Schallausbreitungen

Neben den Messungen auf Abbruchbaustellen wurden Tests zur Analyse von Erschütterungs- und Schallausbreitungen anhand von Fallversuchen auf freiem Feld auf dem Versuchsgelände des TMB durchgeführt, d.h. eine hindernisfreie Ausbreitung der Emissionen war gewährleistet. Das Gelände liegt in einem Wald, so dass Fremdeinflüsse auf die Messgrößen kaum bis gar nicht vorhanden waren. Diese Versuche simulieren das Fallen großer Massen auf Abbruchbaustellen und dabei soll die Eignung der für das Immissionserfassungssystem gewählten Sensoren gezeigt werden.

Für die Erschütterungsmessungen wurde zum einen nach DIN 45669-1:2010-09 genormte Schwingungsmessgeräte, eines mit 8 und eines mit 3 Kanälen, sowie MEMS (micro-electro-mechanical-systems)-Beschleunigungssensoren verwendet, die auch beim Immissionserfassungssystem zum Einsatz kommen. Die Aufnahmefrequenzen der genormten Messgeräte betragen 1 bzw. 2 kHz

und die Messfrequenz der MEMS-Beschleunigungssensoren beträgt 200 Hz. Die Beschleunigungssensoren wurden mit starken Magneten in einer Erdschraube befestigt. Für die Versuchsreihe wurden drei, mit Beschleunigungssensoren bestückte Erdschrauben, im Abstand von 10, 15 und 25 Metern zur Fallstelle, 1,5 Meter tief in den Boden gedreht (vgl. Abbildung 18). Die Schallmessungen erfolgten mit 9 Messgeräten der Klasse 2, die weitläufig verteilt wurden.

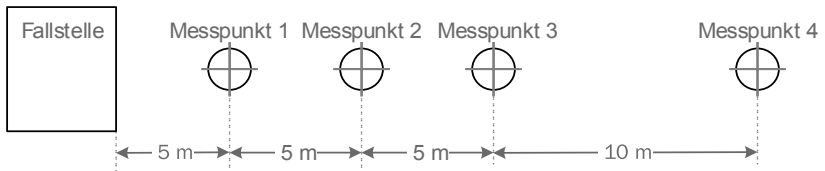


Abbildung 18: Messaufbau der Beschleunigungssensoren für die Fallversuche

Aus Sicherheitsgründen wurde im Abstand von fünf Metern von der Fallstelle ein Beschleunigungssensor oberirdisch an ein Schwingungsmessgerät angekoppelt und auf eine Betonplatte gestellt. Somit konnte diese Messeinheit für die größeren Fallhöhen aus dem Gefahrenbereich der Fallstelle entfernt werden. Als Fallgewicht diente ein 1,3 Tonnen schwerer Schürfkübel eines Seilbaggers. Dieses Gewicht wurde mit einem Autokran auf unterschiedlichen Höhen (5m, 10m, 15m, 20m) gehoben und dann, wie in Abbildung 19 dargestellt, fallen gelassen. Dabei wurden die entstehenden Erschütterungen und der Schallpegel in verschiedenen Abständen zur Fallstelle erfasst.



Abbildung 19: Fallversuche

Ziel der Schallmessungen war es den Ort der Schallquelle/Lärmemission rechnerisch festzustellen. Da trotz der Einstellung der Messgeräte auf die Zeitbewertungen "schnell" ($F = \text{fast}$) mit einer Bewertungszeit von 125 ms die Aufnahmen der maximalen Schallimpulse nicht kontinuierlich aufgezeichnet werden konnten und dadurch zuverlässigen Aussagen nicht getroffen werden konnten, wird hier im Zusammenhang mit den Fallversuchen auf eine weitere Auswertung der Schallpegelmessungen verzichtet. Es wurden jedoch weitere Versuche mit den Schallmessgeräten durchgeführt, die zeigen, dass die rechnerische Ermittlung der Lärmemissionsquelle funktioniert, insbesondere wenn eine dauerhafte Schalleinwirkung vorhanden ist.

Ziel der Erschütterungsmessungen war in erster Linie der Nachweis der Eignung der einfachen Beschleunigungssensoren für das Messen von Erschütterungen. Hierfür fand ein Abgleich der ermittelten Ergebnisse der einfachen Beschleunigungssensoren mit den Ergebnissen der nach DIN 45669-1:2010-09 genormten und zugelassenen Messgeräte statt. Generell lässt sich feststellen, dass die gemessenen maximalen Scheitelwerte der Schwingbeschleunigung betragsmäßig kleiner als 1m/s^2 und die der Schwinggeschwindigkeit betragsmäßig kleiner als 18mm/s waren. Der genaue

Zusammenhang zwischen den Größen Schwinggeschwindigkeit und Schwingbeschleunigung kann jedoch nicht einfach hergestellt werden. Um festzustellen, ob die Beschleunigungssensoren geeignet sind, die real vorkommenden Erschütterungen zu messen, wurde der Zeit-Amplituden-Verlauf der beiden Größen genauer betrachtet. Erste Auswertungen der Fallversuche zeigen, dass die Verläufe der erfassten Schwingbeschleunigung denen der erfassten Schwinggeschwindigkeit sehr nahe kommen. Die in Abbildung 20 dargestellten Zeitverläufe der Schwinggeschwindigkeit und Schwingbeschleunigung wurden am Messpunkt 4 in einer Entfernung von 25 Metern zur Fallstelle, bei einer Fallhöhe von 21,45 Metern, in einer Bodentiefe von 1,5m gemessen. Der Einschwingvorgang und der Ausschwingvorgang sind zu erkennen.

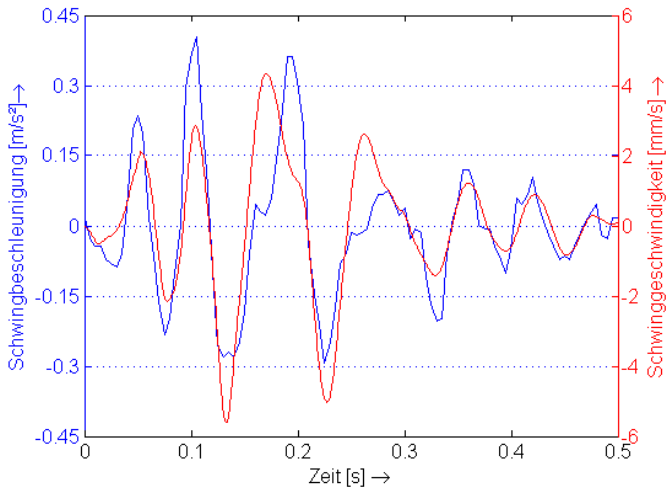


Abbildung 20: Zeitverlauf der Schwinggeschwindigkeit und Schwingbeschleunigung am Messpunkt 4 bei 21,45m Fallhöhe

Selbst bei geringeren Fallhöhen werden ähnlich gute Übereinstimmungen der beiden Zeitverläufe erzielt (ebenfalls für die Entfernung von 25 Metern zur Fallstelle). Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die MEMS-

Beschleunigungssensoren trotz ihrer einfachen Bauart zuverlässige Aussagen über den Verlauf der Erschütterungsereignisse liefern, sobald die Beschleunigungen größer werden als das Grundrauschen der Sensoren.

5.3.4 Rückschluss von Messdaten auf Emissionen

Im Folgenden wird das allgemeine Vorgehen zur Bestimmung der Bandbreite von Emissionen aus den aufgenommenen Messdaten beschrieben, die in einer Distanz von bis zu 60 Meter von der Emissionsquelle entfernt und unter Berücksichtigung minimaler Hindernisse zwischen Emissionsquelle und Messort aufgenommen wurden.

5.3.4.1 Schall

Der Messabstand von der Schallquelle von bis zu etwa 60 Metern war auf allen Baustellen im Rahmen des Projekts “ausreichend gering”, d.h. unter 200 Meter (vgl. AVV Baulärm), dass Zusatzeffekte wie die Dämpfung durch den Boden, die Meteorologie und die Luft vernachlässigt werden können (vgl. Krämer (1998); Krämer et al. (2004)). Die Faktoren, die die Intensität der resultierenden Immissionen aus vorherrschenden Lärmemissionen in diesem Abstand maßgeblich beeinflussen können sind (vgl. Abbildung 21):

- die Distanz zwischen Emissionsquelle und Immissionsort
- die Reflexion von Schall durch die Topographie (Bebauung)

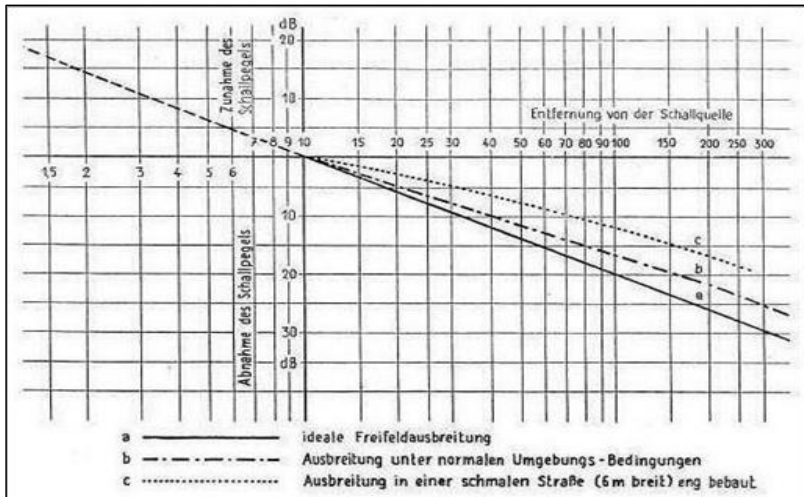


Abbildung 21: Änderung des Schalldruckpegels in Abhängigkeit von der Entfernung bezogen auf einen Schalldruckpegel in 10 m Entfernung (AVV Baulärm, 1970)

Im Rahmen der Messungen auf Abbruchbaustellen wurde darauf geachtet, dass sich weitgehend keine Hindernisse zwischen der Emissionsquelle und dem Messort befinden, sodass eine Ausbreitung im Freifeld angenommen werden kann und die Reflexion von Schall durch die Topographie (Bebauung) ebenfalls vernachlässigt werden kann. Unter diesen Bedingungen lässt sich der einwirkende Schalldruckpegel (L_S) (in dB(A)) in Abhängigkeit des Schalleistungspegels (L_{WA}) der Emissionsquelle (in dB(A)) und des Abstands s (in m) von der Quelle bei idealer Freifeldausbreitung in Anlehnung an die DIN 45635-1:1984-04 und ISO 9613-2:1999-10 wie folgt berechnen:

$$L_S = L_{WA} - 20 \lg(s) - P + K_2$$

mit :

- Raumerückwirkung $K_2 = 0$ (keine Raumerückwirkung (Innenraum), da Ausbreitung im Freien, vgl. Krämer, 1998; Krämer et al. 2004)
- Parameter für die Verteilung der Schallabstrahlung: P (abhängig von der Position der Emissionsquelle, vgl. Tabelle 19)

Tabelle 19: Parameter P zur Abschätzung der Höhe der Schallimmissionen

Typischer Emissionsort	Schallausbreitungsraum	Geschätzte Höhe der Schallemissionen (P) in dB
In freier Luft ohne Ebenen in der Nähe	Vollkugel	11
Auf dem Boden	Halbkugel	8
An der Wand und auf dem Boden	Viertelkugel	5
In der Ecke	Achtelkugel	2

In der Regel wurde der Schallpegel über eine gewisse Einwirkzeit eines Abbruchvorgangs gemessen. Der gemessene A-bewertete Schalldruckpegel (L_{AFeq}) wird daher über eine energetische Mittelung der gemessenen Einzelwerte über die Einwirkzeit bestimmt. Da das Projekt auf die Wirkung der Abbruchvorgänge auf das lokale Umfeld abzielt, ist zum energieäquivalenten A-bewerteten Schalldruckpegel noch ein Impulszuschlag und ein Tonhaltigkeitszuschlag zu addieren (vgl. DIN 45635-1: 1984-04), sodass sich der einwirkende Schalldruckpegel wie folgt zusammensetzt:

$$L_S = L_{AFeq} + \text{Impulshaltigkeit} + \text{Tonhaltigkeit}$$

mit:

- **Impulshaltigkeit:** Differenz zw. L_{AFT5eq} - L_{AFeq} (L_{AFT5eq} : Taktmaximalpegel bei 5 Sekunden)
- **Tonhaltigkeit:** bei einem durch einen Einzelton um 5 dB höheres Terzspektrums gegenüber benachbarten Terzpegeln. Weiter kann auch subjektive Wahrnehmung eingehen.

Für die Rückrechnung von der gemessenen Immission im Abstand s (L_S) zur verursachten Emission (L_{WA}) kann die Formel wie folgt umgestellt werden (vgl. Krämer, 1998 und Krämer et al. 2004):

$$L_{WA} = L_S + 20 \lg(s) + P - K_2$$

Nach DIN 18005-1:2002-07 und ISO 9613-2:1999-10 kann von einer Punktschallquelle ausgegangen werden, wenn die größte Ausdehnung der Schallquelle kleiner als die Hälfte des Abstandes zwischen dem Mittelpunkt der Schallquelle und dem Ort der Messung ist. Bei den durchgeführten Messungen war der Messabstand von der Quelle in der Regel groß genug, um von dieser Annahme auszugehen.

Zur Abschätzung der Bandbreite der Emissionen aus den gemessenen Immissionen wird in Anlehnung an Krämer (1998) und Krämer et al. (2004) im Rahmen dieses Projekts die Verteilung der Schallabstrahlung als Halbkugel angenommen (**P=8 dB**), da die Abbrucharbeiten in unserem Projekt meist relativ bodennah erfolgen. Wenn eine gewisse Distanz zwischen Schallquelle und Boden vorliegt, müsste jedoch mit dem Parameter für die Verteilung der

Schallabstrahlung als Vollkugel gerechnet werden. Mit steigender Entfernung vom Boden verteilt sich die Schallabstrahlung auf ein größeres Volumen und die Lärmimmissionen an Punkten mit gleicher Entfernung zur Schallquelle fallen dann tendenziell geringer aus. Um auf der sicheren Seite zu sein, wird im Rahmen des Forschungsprojekts eine pessimistische Sichtweise bei der Rückrechnung gewählt, d.h. es wird vom "schlechtesten Fall" ausgegangen. Im letzten Fall ist somit anzunehmen, dass der Schall sich auf die größtmögliche Fläche, d.h. in Form einer Vollkugel, ausbreiten konnte, bevor die Lärmimmission gemessen wird.

Zur rechnerischen Ermittlung der Lärmemissionsquelle aus Messdaten wurden im Rahmen des Projekts erste Versuche zur Lokalisation von Schallquellen durchgeführt, was insbesondere für die Funktionsweise des Immissionserfassungssystems wichtig ist. Abbildung 22 zeigt eine mögliche Aufstellung der Messinstrumente zur Lokalisation einer Punktschallquelle mit Hilfe von 3 Schallpegelmessgeräten.

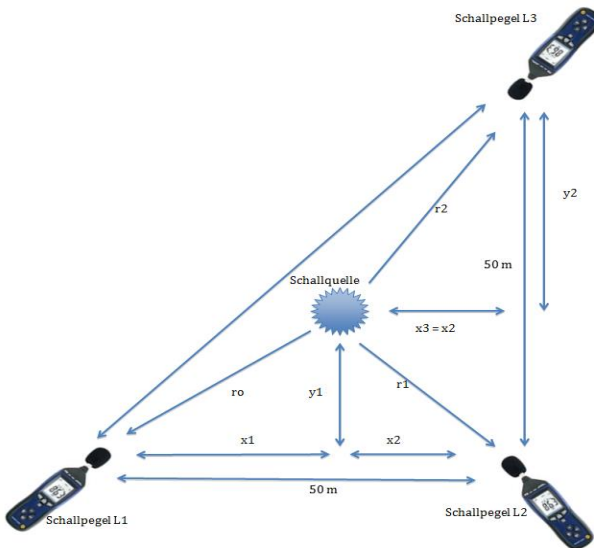


Abbildung 22: Lokalisation einer Schallquelle mit Hilfe von 3 Schallpegelmessgeräten

Basierend auf dieser Messkonstellation können die folgenden 7 Gleichungen mit 7 Unbekannten (vgl. Abbildung 22) aufgestellt werden:

- $r_1 = r_0 \times 10^{(L_1 - L_2)/20}$
- $r_2 = r_1 \times 10^{(L_2 - L_3)/20}$
- $r_0^2 = x_1^2 + y_1^2$
- $r_1^2 = x_2^2 + y_1^2$
- $r_2^2 = x_2^2 + y_2^2$
- $x_1 + x_2 = 50$
- $y_1 + y_2 = 50$

Eine Lokalisation einer Punktschallquelle ist also theoretisch möglich. In diesem Versuch wird, durch Schallpegelmessungen an den Ecken eines Dreiecks, die Position einer Schallquelle ermittelt (siehe Abbildung 23).



Abbildung 23: Versuchsaufbau zur Lokalisierung (Google Maps)

Für die Versuche wurden drei Messgeräte des Typs PCE-322A der Klasse 2 montiert auf einem 1,2 m hohen Stativ eingesetzt. Der Messbereich wurde auf 50-100 dB und die Zeitbewertungen auf "schnell" (F = fast) mit einer Bewertungszeit von 125 ms eingestellt. Als Schallquelle wurde eine Motorsäge mit einer Leistung von 4,8 PS benutzt. Für den Versuch wurde die Motorsäge angelassen und der Gashebel fixiert, so dass die Säge bei hoher Drehzahl konstant lief. Weitere Versuche wurden mit der Motorsäge im Leerlauf durchgeführt. Die Ausrichtung der Motorsäge war bei jedem Versuch identisch, wobei der Abstand zu den Sensoren verändert wurde. Die Motorsäge dient in diesem Fall als Punktschallquelle, obwohl die Schallausbreitung in der Realität von diesem idealisierten Modell abweicht. Zur Positionsbestimmung wurden zunächst zwei (vgl. Abbildung 23, L1 und L2) der drei Schallpegelmessgeräte aufgestellt und per Lasermessgerät eingemessen. Diese dienten als Bezugspunkte für die Bestimmung der verschiedenen Positionen der Motorsäge sowie der Position des dritten Schallpegelmessgeräts (L3).

Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass eine Rückrechnung der Position auf ca. 3 Meter genau durchgeführt werden konnte, obwohl die hier getroffene Annahme einer Punktschallquelle eine Idealisierung ist und nicht ganz der Realität entspricht. Hinsichtlich der Bestimmung der Höhe (dB(A)) der Lärmemission auf Basis der gemessenen Schalldrücke ergibt sich eine um ca. 30% größere Schallabnahme als die theoretische entfernungsbedingte Abnahme unter Annahme der Schallausbreitung als Halbkugel. Die Differenz zwischen der Schallausbreitung in Theorie und Realität lässt sich hier unter anderem dadurch erklären, dass Einflüsse auftreten, wie die Dämpfung durch den Boden, die dadurch entsteht, dass sowohl die Schallquelle (Bodenkontakt) und die Messgeräte (Höhe ca. 1,2m) in Bodennähe stehen. Die AVV Baulärm erlaubt es jedoch, solche Einflüsse bei Entfernungen zwischen Messort und Emissionsort von weniger als 200m zu ignorieren.

5.3.4.2 Staub

Relevante Einflussgrößen auf die Entwicklung von Staubemissionen sind neben dem Abbruchvorgang:

- die Distanz zwischen Emissionsquelle und Immissionsort,
- die Luftturbulenzen durch die Topographie (Bebauung) und
- meteorologische Bedingungen, wie Windgeschwindigkeit und -richtung, Niederschlag, Luftfeuchte und Temperatur.

Bei Abbrucharbeiten liegen in der Regel diffuse Staubemissionen (Grob- und Feinstaub) vor, die extrem schwer zu bestimmen, zu messen bzw. einem konkreten Vorgang zuzuordnen sind (vgl. Heidenreich et al. (2003); El-Waraki (2008)).

Durch die auf Basis der Luv-und-Lee-Messung generierten zeitbezogenen Daten können, über den Zeitbezug und das Delta zwischen den gemessenen Staubkonzentrationen in der Luft im Luv und Lee und unter Berücksichtigung des Abstands von der Emissionsquelle und der Windgeschwindigkeit und – richtung, die Quellstärke für die einzelnen Abbruchvorgänge abgeschätzt werden. Diese Methode soll im Rahmen des Projekts angewandt werden, wenn entsprechende Versuche eine Anwendbarkeit zeigen.

Weiter besteht die Möglichkeit, Staubimmissionen über Ausbreitungsberechnungen abzuschätzen. Diffuse Emissionen können hier als Volumenquellen realitätsnah simuliert werden (vgl. Kuntner et al. (2009)). Um von den gemessenen Immissionen auf die Staubemissionen rückzuschließen, kann man eine Rückrechnung im Ausbreitungsmodell durchführen (vgl. VDI 4285 Blatt 1: 2012-08; Strobl und Kuntner (2011); Heidenreich et al. (2010); Heidenreich et al. (2003)). Hierfür muss die jeweilige Messsituation nachmodelliert werden. Die Nachmodellierung umfasst die Abbildung der Emissionsquelle sowie der Umgebung/Bebauung. Zur Bestimmung der Emissionen durch Abbruchvorgänge wäre eine Modellierung mit einem mikroskalierten Ausbreitungsmodell im Umkreis von 500 Metern um die

Emissionsquelle zweckmäßig. Neben der Bebauung beeinflussen die Windgeschwindigkeit und –richtung als Einströmparameter aus der näheren Umgebung entscheidend die Staubausbreitung und müssen in das Modell integriert werden. Es ist zu erwarten, dass sich die Ergebnisse der beiden Vorgehensweisen zum Teil widersprechen werden, da der Staub die am wenigsten zuverlässig zu messende Größe ist und damit durch instabile Messergebnisse hohe Varianzen in den Berechnungsergebnissen zu erwarten sind.

5.3.4.3 Erschütterungen

Bisher liegt kein standardisiertes Verfahren zur Bestimmung und Auswertung von Erschütterungsimmissionen und -emissionen bei Bau- und Abbrucharbeiten vor (vgl. Kiwitz und Haferkamp (2012)). Bei Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen (vgl. DIN 45672-1: 2009-12; DIN 45672-2:1995-07), werden die gemessenen Schwinggrößen gleich den Emissionen gesetzt. Der Abstand zur Emissionsquelle sollte hierzu zwischen 8 bis 16 Meter betragen. Da dieser geringe Messabstand in den meisten Fällen auf Grund von Sicherheitsbedingungen auf den Abbruchbaustellen nicht ganz eingehalten werden kann⁵, wird zum Rückschluss von den gemessenen Erschütterungsgrößen auf die Emissionen von Abbrucharbeiten im Rahmen dieses Forschungsprojekts die Transferfunktionen T1⁶ nach DIN 4150-1 herangezogen. In diesem Zusammenhang wird zur Bestimmung der Emissionen ausschließlich die geometrische Abnahme der Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Entfernung von der Erschütterungsquelle (vgl. folgende Formel) angenommen und die Dämpfung durch das Bodenmaterial wird auf Grund der relativ geringen Entfernungen zwischen Emissionsquelle und

⁵ Die Erschütterungsmessungen im Rahmen des Projekts erfolgten in Abhängigkeit von den Sicherheitsbedingungen vor Ort auf der Abbruchbaustelle in einem Abstand von 25 bis 60 Metern von der Emissionsquelle.

⁶ Auch dieses Vorgehen muss in Zukunft noch experimentell gezeigt werden, wobei insbesondere die unbekannt Faktoren im Untergrund auch hier einen einfachen Nachweis zur Lösung verhindern.

Messpunkt vernachlässigt (vgl. SVE (2013)). Die entfernungsbedingte Erschütterungsabnahme wird durch den Quelltyp (geometrisch und zeitlich) und die Ausbreitungsform (Wellenart) beeinflusst. Mit der folgenden Formel wird im Rahmen des Projekts von der gemessenen Schwinggeschwindigkeit auf die Emission rückgerechnet werden.

$$v_1 = v \cdot \left(\frac{R}{R_1}\right)^n$$

Mit

- v Amplitude der Schwinggeschwindigkeit (mm/s) am Messpunkt
- R Entfernung des Messpunkts von der Emissionsquelle (m)
- v_1 Amplitude der Schwinggeschwindigkeit (mm/s) an der Emissionsquelle (im Nahfeld der Emissionsquelle, im Bezugsabstand R_1 (m))
- n Exponent, abhängig von Wellenart, Quellgeometrie und zeitbezogene Art der Schwingung

Zur Bestimmung des Exponenten n nach DIN 4150-1:2001-06 werden in Bezug auf Abbrucharbeiten die folgenden Werte angenommen:

- Quelltyp geometrisch: Punktquelle
- Quelltyp zeitlich: impulsförmig
- Wellenart: Raumwelle $\rightarrow n=1,5$

Zur Bestimmung des Bezugsabstand R_1 werden in Bezug auf Abbrucharbeiten im innerstädtischen Bereich auf Basis der Erfahrungen aus den Messungen und in Anlehnung an Fritz und Schneider (2012) folgende Werte angenommen:

- maßgebende Frequenz: 10 Hz
- Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle: 200 m/s $\rightarrow \lambda = 200/10 = 20$

- Abmessung der Erschütterungsquelle parallel zur Ausbreitungsrichtung:
2m

$$R_1 = \frac{2}{2} + 20 = 21$$

5.4 Ausblick auf Phase 3

Das Entscheidungsunterstützungswerkzeug wählt derzeit die „geeignetste“ Abbruchtechnik je Bauteil und Geschoss ausschließlich auf Basis von emissionsbezogenen Technikausprägungen. Die Wirtschaftlichkeit der Techniken wird aktuell bei der Auswahl nicht berücksichtigt. In der geplanten 3. Projektphase ist daher eine Erweiterung des Werkzeugs um die Wirtschaftlichkeit als Ergänzung der Entscheidungsgrundlage geplant. Darüber hinaus sollen ausgewählte Schutzmaßnahmen zur Minderung von Immissionen auf dem Ausbreitungsweg und grobe Abschätzung der Ausbreitung von Emissionen in das Werkzeug integriert werden. An Hand der Berechnung von fiktiven Beispielgebäuden und dem Test des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für die Planung eines realen Abbruchobjekts soll die Sensitivität der Ergebnisse des Werkzeugs analysiert werden. Weiter ist eine Verknüpfung des Unterstützungswerkzeugs mit dem Immissionserfassungssystem geplant. Diese Aktivitäten der geplanten 3. Phase werden etwas näher im Kapitel 7.2. sowie im Antrag zur 3. Phase erläutert.

6 Immissionserfassungssystem

Arbeiten auf Abbruchbaustellen werden oft durchgeführt ohne die Frage der Emissionen im Vorfeld ausreichend zu thematisieren. Nur wenige reale Bauvorhaben werden während der Abbruchphase messtechnisch überwacht. Dadurch ist eine Einhaltung der vorgeschriebenen Grenzwerte ausschließlich durch das Verantwortungsbewusstsein der Abbruchunternehmer und des eingesetzten Fachpersonals möglich. Eine messtechnische Überwachung in der Bauphase ist jedoch unumgänglich, wenn ein dokumentierter Schutz der benachbarten, meist städtischen Umgebung vor zu hohen Immissionen erfolgen und das ausführende Unternehmen bei Einsatz eines Verfahrens zeitnah gewarnt werden soll, sobald das Verfahren zu einer Überschreitung von Richtwerten führen kann. Ein maßgebendes Hindernis für den Einsatz einer kontinuierlichen Baustellenüberwachung ist jedoch der damit verbundene hohe personelle und finanzielle Aufwand. Abhilfe soll ein kostengünstiges und einfach zu bedienendes System schaffen, das die relevanten Immissionsgrößen, Schall, Staub und Erschütterungen über die gesamte Abbruchdauer erfassen und verarbeiten kann. Dieses System kann sicherstellen, dass der lokalen Umwelt nur zeitlich und relativ begrenzte Belastungen zugemutet werden. Weiter kann es den Abbruchunternehmer frühzeitig warnen, wenn Immissionsrichtwerte nicht eingehalten werden können, worauf Gegenmaßnahmen ergriffen werden können. Dadurch soll auch die Akzeptanz von Bau- und Abbruchmaßnahmen gesteigert werden, die in der Regel sonst Einwände der Nachbarn und Behörden hervorrufen. Weiter kann durch die kontinuierliche Aufzeichnung der Messwerte der Überwachungsaufwand der Behörden mit dem System verringert werden.

6.1 Konzeption des Immissionserfassungssystems

6.1.1 Aufbau

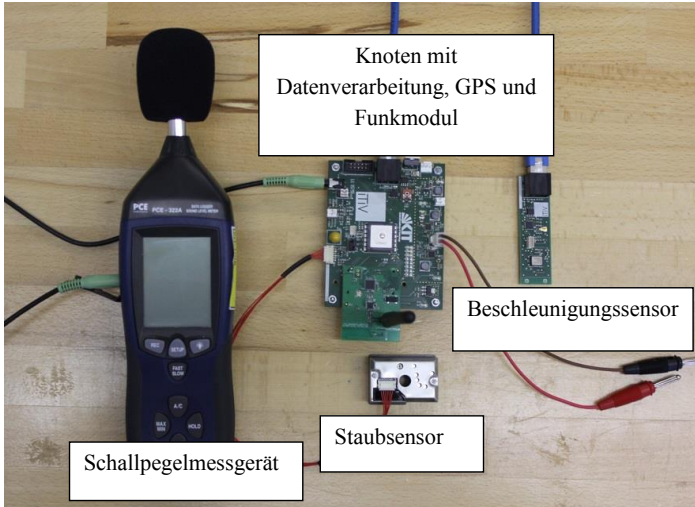


Abbildung 24: Sensorknoten und Schallpegelmessgerät

Als Sensoren werden Erfassungssysteme für die bei Abbrucharbeiten relevanten Immissionsgrößen, Lärm, Staub und Erschütterungen, verwendet (Abbildung 24). Die elektronischen Bauteile werden bzw. wurden jeweils getestet und auf Ihre Anwendbarkeit hin untersucht. Neben der technischen Anwendbarkeit, ist die Auswahl von möglichst kostengünstigen Sensoren entscheidend, da die Wahrscheinlichkeit für einen verbreiteten und regelmäßigen Einsatz des Systems auf Abbruchbaustellen mit einem geringen finanziellen Aufwand steigt. Deshalb werden zum Messen von Erschütterungen auf MEMS (micro-electronical-mechanical systems) Sensoren zurückgegriffen, welche allerdings wegen eines hohen Grundrauschens nur dazu verwendet werden können, nach DIN 4150 maßgebliche Erschütterungen zu detektieren. Staub wird über kleine optische Bauelemente erfasst, bei denen ein Laserstrahl durch den Staub behindert wird. Mit der Differenz aus emittiertem und

empfangenem Licht lässt sich auf die Staubbelastung in der Luft schließen. Schall wird über kommerzielle Klasse 2 Messgeräte erfasst und als nach dBA bewertete Größe an den Messknoten übertragen. Die verschiedenen Sensoren werden an diesen Knoten angeschlossen (Abbildung 25), der die Daten erfasst und diese dann über eine Funkverbindung (Zigbee) an den Server überträgt.

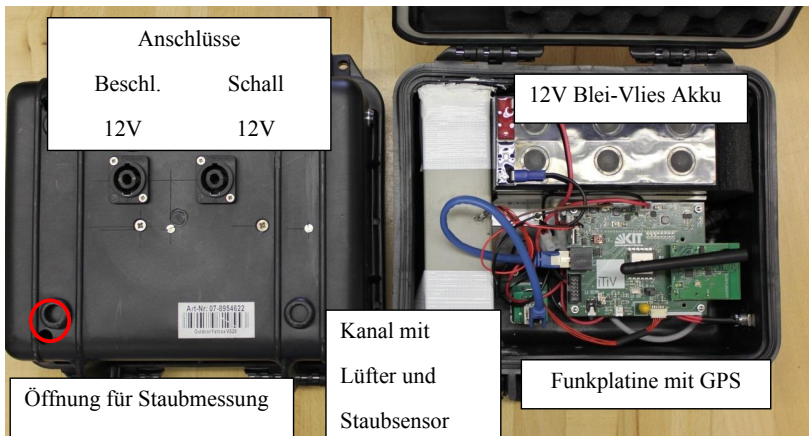


Abbildung 25: Messknotenelemente im Schutzkoffer
– Unterseite mit Anschlüssen und Innenansicht

Die speziell für die Messknoten angefertigten Platinen wurden zusammen mit einer Stromversorgung und einem zur Elektronik hin abgedichteten Kanal, in dem die Staubmessung stattfindet, in einem robusten Koffer untergebracht (Abbildung 25). Der Koffer soll den Inhalt vor Witterungsbedingungen schützen und einen einfachen Transport erlauben.

Zur Darstellung der Ergebnisse wurde ein Tablet-PC gewählt (Abbildung 26), da dieser auch in einem Bagger platziert werden kann. In einer ersten Version werden die Daten rein graphisch aufbereitet, um so einen einfachen Überblick über Zustandsänderungen zu erhalten. Eine Bewertung der Daten durch das System ist noch nicht integriert, wird aber in der nächsten Version partiell vorhanden sein. Eine Beurteilung, welche Darstellungsform hier zielführend ist, wird in Phase 3 erfolgen.



Abbildung 26: Messgraphen auf Tablett-PC, Beschleunigungssensor und Koordinator (ZigBee-Empfänger)

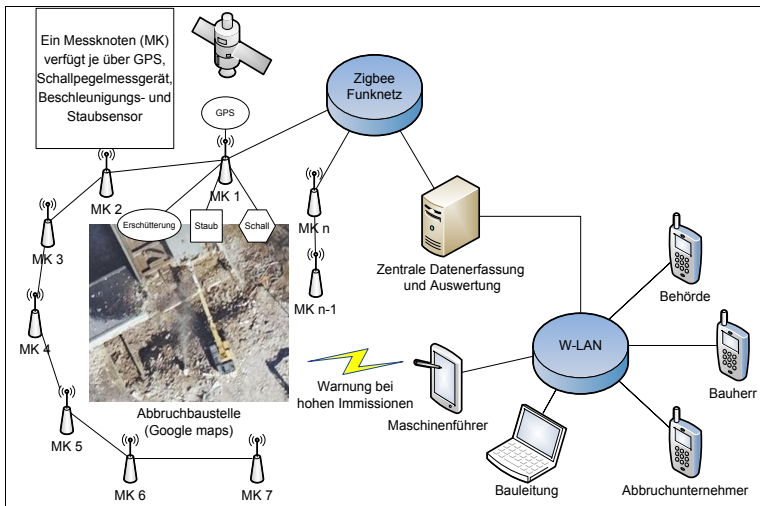


Abbildung 27: Aufbau des Immissionserfassungssystems

Das auf „ZigBee“¹ basierende Netzwerk (Abbildung 27), das durch die einzelnen Knoten gebildet wird, ist selbstorganisierend, wodurch der eventuelle Ausfall eines Knotens nicht zum Zusammenbruch des kompletten Messsystems führt. Der Server sammelt nicht nur die Daten sondern bereitet diese auch soweit auf, dass Warnungen und Hinweise generiert werden, die dem Maschinenführer oder anderen Akteuren eine einfache Kontrolle Ihrer Arbeit hinsichtlich der Immissionen erlauben. Der einzige Aufwand, der durch das Messsystem in der Regel dann noch verursacht wird, ist der Wechsel der Batterie.

6.1.2 Messablauf und Dokumentation

Es werden Sensoren für Schall, Staub, und Beschleunigung (zur Bestimmung der Erschütterungen) eingesetzt, um mit deren Messwerten annähernd zeitgleich auf die Emissionen des gegenwärtig ausgeführten Abbruchvorgangs rückzuschließen. Ein Monitoring dieser Größen erlaubt dann die Immissionen zu bestimmen, die an relevanten Immissionsorten, z.B. der Nachbarbebauung, zu erwarten sind. Es werden dabei zuerst die Immissionen am Messpunkt erfasst. Mit den gemessenen Immissionen werden Emissionsgrößen (Position und Höhe der Emission) errechnet. Aus den errechneten Emissionsgrößen können dann die Immissionen an den relevanten Punkten abgeleitet werden. Das dazu benötigte Ausbreitungsmodell wird im Rahmen des Forschungsprojekts nur abstrahiert integriert, es wird z.B. bei der Schallausbreitung von einer einfachen Halbkugel ausgegangen und Parameter wie z.B. Terrain und Bebauung werden nicht berücksichtigt. Dieser Ansatz kann in Zukunft (nicht im Rahmen des Forschungsprojekts) später verfeinert werden, indem entsprechende Ausbreitungsmodelle hinterlegt und integriert werden. Das Prinzip dieser 2-stufigen Berechnung zur Abschätzung von Immissionen an einem bestimmten Ort lässt sich für Schall umsetzen (siehe Kapitel 5.3.4). Da Erschütterungen und Staub schwerer zu erfassen und quantitativ zu beschreiben sind, sind erst noch Versuche notwendig, um zu bestimmen, ob und in welchem Umfang die Messgrößen für eine entsprechende

¹ ZigBee Standard: <http://www.zigbee.org/Specifications.aspx>.

Berechnung der Immissionen geeignet sind. In diesem Zusammenhang muss untersucht werden, ob es möglich ist eine fiktive Emissionsquelle ausreichend genau zu errechnen, um aus diesen Ergebnissen eine komplette Abschätzung der zu erwartenden Immissionen zu erhalten.

Die Messungen der Immissionen sollen nach der Platzierung der Sensorknoten permanent durchgeführt werden, wodurch das Ziel einer umfassenden Überwachung der Abbruchmaßnahme erreicht wird. Wenn die Messungen bereits vor den eigentlichen Abbrucharbeiten beginnen, kann eine Analyse der Vorbelastungen durchgeführt und der reale Effekt der Baustelle auf das gesamte lokale Immissionsspektrum bestimmt werden. So sollten dann auch Abbruchbaustellen in stark vorbelasteten Gebieten möglich sein, d.h. in Bereichen, in denen Richtwerte auch ohne die Baustelle überschritten werden, wenn gezeigt werden kann, dass die Zusatzbelastungen aus den Abbruchmaßnahmen keinen maßgeblichen Einfluss auf die gesamten Immissionen haben. Zusätzlich werden die Positionen der Geräte über GPS-Sensoren erfasst und in Bezug zur Umgebung gesetzt, um so die Abstände zwischen Messpunkten, Emissionsquellen und relevanten Immissionspunkten zu ermitteln und mit deren Hilfe eine Berechnung der Immissionen in der Umgebung zu erlauben. Alle Messdaten werden zentral auf einem Rechner gespeichert und ausgewertet und stehen nach einer automatisierten Analyse den berechtigten Personen, wie Maschinenführer, Bauleiter, Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordinator (SiGeKo), Amtsträger, usw. in quasi Echtzeit zur Verfügung.

Nach der Fertigstellung der Prototypen wurden zuerst einfache Tests durchgeführt, um die grundlegende Leistungsfähigkeit der Sensoren und der eingesetzten Funktechnik zu ermitteln. Darauf wurden unter Berücksichtigung der Ergebnisse bei der Ermittlung der Systemvoraussetzungen und -grenzen einzelne Versuche auf dem Versuchsgelände des TMB durchgeführt, um das grundsätzliche Verhalten der Sensoren bei Abbrucharbeiten zu ermitteln. Bei Schallmessungen sind die Ergebnisse des Systems aufgrund einer verbesserten Kalibrierbarkeit sogar den Ergebnissen von einzelnen Klasse-2-Messgeräten etwas überlegen. Damit ist eine Prädiktion der zu erwartenden

Lärmimmissionen an jedem Punkt einer Baustelle prinzipiell möglich. Bei Erschütterungsmessungen liefert das System ebenfalls gute Ergebnisse. Diese Ergebnisse weisen bedingt durch das Messprinzip jedoch eine größere Streuung als vergleichbare Schallmessungen auf. Die Herausforderungen bei der Bewertung der Messwerte der Staubsensoren sind aktuell noch zu lösen, da aufgrund der Messmethode keine einfache Kalibrierung möglich ist und durch die langsame Ausbreitungsgeschwindigkeit des Staubes nie ein Zustand eintritt, dass alle Sensoren dasselbe Ereignis messen können. Die Positionsbestimmung mittels GPS ist implementiert. Hier muss noch eine Verknüpfung der Abstandswerte mit den Immissionsmessungen hergestellt werden. Diese Verknüpfung, weitere Tests und Anpassungen sind in der geplanten 3. Projektphase vorgesehen und werden im Kapitel 7.2. beschrieben.

6.2 Versuche mit dem Immissionserfassungssystem

Der Prototyp des Immissionserfassungssystems wurde hergestellt. Er umfasst aktuell 10 Messknoten. Ein Messknoten besteht aus einem Koffer (Abbildung 25), Beschleunigungssensor (Abbildung 26) und Schallpegelmessgerät (Abbildung 24) und einem Koordinator, der als Schnittstelle zwischen den Messknoten und der Auswerteeinheit dient. Die Auswertung erfolgt derzeit über einen Tablett-PC, der auch zum Darstellen der Messwerte verwendet wird. Das komplette System wurde bisher in 2 Versuchsreihen getestet.

Der erste Versuch fand in der Versuchshalle des TMB statt, wo mithilfe verschiedener Messgeräte die Staubsensoren kalibriert werden sollten. Als Staub dienten dabei Puderzucker, Speisestärke, Backpulver und mineralischer Staub, um nachzuweisen, dass die Messwerte des Immissionserfassungssystems mit denen der kommerziell verfügbaren Geräte vergleichbar sind. Zur Erzeugung eines möglichst homogenen Zustandes wurden außerdem Räucherstäbchen verwendet. Als Vergleichsmessgeräte (kommerziell verfügbar) wurden zwei Geräte „Fidas mobil“ sowie das System Microdust Pro von Casella verwendet. Die exakten Ergebnisse der Staubversuche werden derzeit noch ausgewertet. Erste Resultate unterstreichen jedoch die Ergebnisse der Vorversuche und zeigen bereits deutlich, dass das Messsystem

grundsätzlich dafür geeignet ist, Staub zu erfassen. Sie zeigen jedoch auch, dass eine verlässliche Kalibrierung nicht einfach zu erreichen ist. Dennoch können die Staubgehalte in der Luft Werte mit gewissen Toleranzen ermittelt werden.

Die zweite, umfangreichere Versuchsreihe fand auf dem Versuchsgelände des TMB statt. Dabei wurden Stahlbetonteile durch einen Bagger mit Hydraulikmeißel zerstört (Abbildung 28) und Mauerwerkssteine mit einem Winkelschleifer geschnitten. Zum Einsatz kamen dabei verschiedene Meißelformen und Materialien. Es wurden alle Sensoren verwendet, um Staub-, Erschütterungs- und Lärmbelastungen zu erfassen. Die Witterungsbedingungen (insb. Wind) erlauben es nicht daraus Richtwerte für die Staubemissionen zu erstellen, allerdings konnte gezeigt werden, dass das System relevante Immissionen erfassen kann, womit die grundsätzliche Eignung des Systems für alle 3 Messgrößen nachgewiesen ist. In der 3. Phase müssen noch Grenzwerte definiert und die Praxistauglichkeit nachgewiesen werden (siehe Kapitel 6.4. und 7.2.).



Abbildung 28: Versuchsreihe mit Hydraulikbagger und Immissionserfassungssystem (rechts)

6.3 Möglicher Einsatz des Immissions-erfassungssystems in der Praxis

Eine Abfolge für den möglichen Einsatz des Immissionserfassungssystems in der Praxis, von den Vorüberlegungen, über den Aufbau und die Anwendung des Systems, bis hin zu dessen Rückbau, zeigt Abbildung 29.

Vorüberlegungen: Grundsätzlich sollte das Immissionserfassungssystem eingesetzt werden, wenn es Nachbarbebauung gibt, Emissionen zu erwarten sind und der benötigte Platz für die Sensoren zur Verfügung steht. Die durch den Einsatz des Systems entstehenden Kosten sind mit zu veranschlagen und schon in der Ausschreibung auszuweisen. Vor allem wenn Interessen verschiedener Parteien kollidieren und Belastungen auf die lokale Umwelt in Form von Lärm, Staub und Erschütterungen zu erwarten sind, sollte das Immissionserfassungssystem zum Einsatz kommen. Mit Hilfe des Systems kann nachgewiesen werden, dass alle Maßnahmen gesetzmäßig durchgeführt werden, auch wenn erst spät Bedenken bzw. Anschuldigungen gegenüber dem Vorhaben vorgebracht werden. Unternehmer und Bauherr sollen durch dieses System sicherstellen können, dass es durch die Arbeiten nicht zu Überschreitungen von Richtwerten kommt. Mit diesem Nachweis sollen sich Unternehmer und Bauherr gegen juristisch durchzusetzende Unterbrechungen des Bauvorhabens absichern können.

Aufbau: Der Aufbau des Systems sollte immer vor dem Beginn der Arbeiten erfolgen, um im Vorfeld die Umgebungsparameter, wie Vorbelastungen, zu bestimmen. Da das System fest installiert werden sollte, müssen die Standorte für die Messknoten gut gewählt werden. Ideale Standorte sind nahe an Nachbargrundstücken. So können die relevanten Immissionen direkt, ohne Umrechnung gemessen werden und die Messknoten behindern die Arbeiten nicht. Es werden immer mehrere Messknoten (mindestens 6) benötigt. Eine kreisförmige Verteilung der Sensoren um das Objekt wird empfohlen. Hierbei sollten in etwa gleich große Abstände zwischen den Knoten und zur Baustelle gewählt werden, sodass die Messgrößen unter möglichst ähnlichen Bedingungen bestimmt werden. Der Aufbau der einzelnen Systeme an den

Messpunkten beginnt mit dem Eindrehen einer mit einem Beschleunigungssensor ausgerüsteten Erdschraube. Wenn diese die gewünschte Tiefe erreicht hat, kann auf die Schraube ein Stab montiert werden, an dem die Funkeinheit angebracht werden kann. Danach werden die verschiedenen Messgeräte an die Funkeinheit angeschlossen. Das System wird angeschaltet und ist damit bereit für die Messung. Der Empfänger und das Auswertesystem sind an einer zentralen Stelle zu positionieren. Hier werden die Daten für eine permanente Überwachung kontinuierlich erfasst.

Anwendung: Mit dem System sollten die Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen während des gesamten Abbruchvorhabens kontinuierlich gemessen und gespeichert werden. Die Versorgung des Systems mit Strom ist hierzu sicherzustellen, was durch auswechselbare Akkus oder eine feste Stromversorgung erreicht werden kann. Bei Arbeiten auf dem Gelände sollten die Messwerte immer beobachtet werden. Die Messknoten sollten täglich kurz kontrolliert werden, auch wenn die Messwerte plausibel erscheinen, um Fehlmessungen auszuschließen, die z.B. durch eine Verstopfung der Einlassöffnungen für die Staubmessung verursacht werden.

Rückbau: Nach Abschluss des Abbruchvorhabens kann das System wieder rückgebaut und für den nächsten Einsatz gesäubert und vorbereitet werden. Die Sicherung der gemessenen Daten auf einem externen Datenspeicher ist ratsam und für die Dokumentation sollten die Daten für einen Zeitraum von 12 Monaten vorgehalten werden.

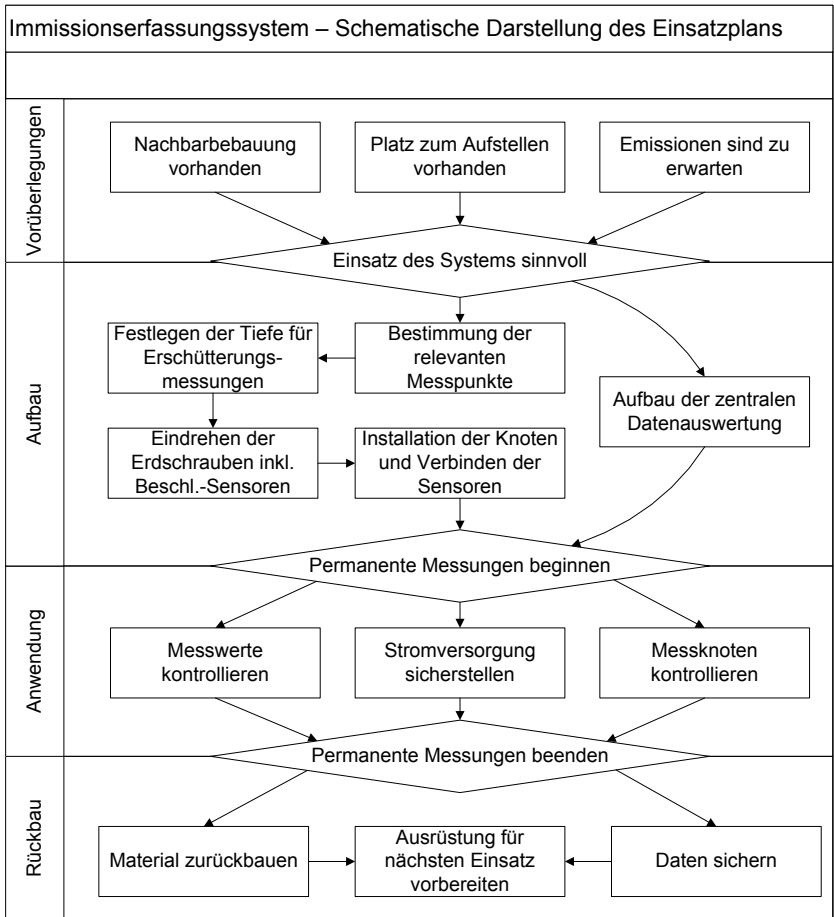


Abbildung 29: Abfolge des Einsatzes des Immissionserfassungssystems

6.4 Ausblick auf Phase 3

In der geplanten 3. Projektphase ist der Test des Immissionserfassungssystems unter Laborbedingungen im Vergleich zu kommerzieller Messtechnik geplant, um dadurch das System für reale Einsätze zu kalibrieren. Des Weiteren werden Versuche auf Abbruchbaustellen unter Realbedingungen durchgeführt, mit denen dann die Praxistauglichkeit gezeigt werden kann. Zusätzlich sind kleine technische Erweiterungen bzgl. Stromversorgung und Montage des Systems vorgesehen, wobei die ersten Versuche bereits gezeigt haben, dass das System einfach aufzubauen ist, dass es stabil läuft, permanent verlässliche Werte sendet und für den Einsatz im Freien geeignet ist. Mit Hilfe der geplanten Verknüpfung zum Entscheidungsunterstützungswerkzeug, soll das System bspw. über den Tablet-PC auch während der Abbrucharbeiten ein hinsichtlich der Emissionen geeigneteres Abbruchverfahren vorschlagen können. Die geplanten Aktivitäten der beabsichtigten 3. Phase werden im Kapitel 7.2. näher erläutert.

7 Fazit

7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der 1. und 2. Phase

In der 1. und 2. Phase des Forschungsprojekts wurde der Rahmen für die systematische Erfassung von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen und -immissionen bei Gebäudeabbrüchen sowie die Entwicklung von Ansätzen zu deren Minderung gesetzt. Die folgenden Ergebnisse wurden in diesem Zusammenhang für die Integration der Erfassung und Kontrolle von Emissionen und Immissionen in den Abbruchprozess erzielt:

7.1.1 Entscheidungsunterstützungswerkzeug mit Datenbank

Aus Literaturdaten und Expertenwissen wurde eine geeignete Struktur für eine Datenbank entwickelt, in der die beim Bauwerksabbruch entstehenden Emissionen und Immissionen (Lärm, Staub, Erschütterungen) sowie die direkt determinierenden Aspekte Abbruchdurchführung, Bauwerkseigenschaften und die lokalen Rahmenbedingungen abgebildet werden. Um die begrenzte Datenlage von detaillierten Literatur- und Herstellerdaten hinsichtlich Emissionen und Immissionen bei Abbrucharbeiten in der Datenbank zu ergänzen, wurden in der 2. Phase einige Experten befragt und in der 3. Phase sollen noch weitere Experteneinschätzungen eingeholt werden. Hierfür wurde ein Online-Fragebogen entwickelt zur Befragung von Personen, die direkt bei Abbrucharbeiten vor Ort beteiligt sind, wie etwa Bauleiter, und diejenigen, welche die verschiedenen Abbruchvorgänge hinsichtlich Emissionen, der erforderlichen Dauer sowie des durchschnittlich benötigten Ressourcen- und Maschineneinsatzes bewerten können. Weiter wurden auf Basis von vereinzelt Messungen auf Abbruchbaustellen Messdaten ermittelt, um die Literaturrechercheergebnisse und Experteneinschätzungen zu validieren. Hierzu wurde das in der 1. Phase entwickelte Messkonzept weiterentwickelt. Die Datenbank wurde umgesetzt und enthält auch die aktuellen Daten aus Expertenbefragungen und Messungen. Zur Nutzbarmachung der erarbeiteten Datenbank und der dort hinterlegten Informationen wurde ein Konzept für ein

Entscheidungsunterstützungswerkzeug für die Abbruchplanung erstellt. Das Konzept der 1. Projektphase wurde konkretisiert und weiterentwickelt. Eine erste softwaretechnische Umsetzung des prototypischen Werkzeugs ist erfolgt. Und die Datenbank erlaubt eine erste Anwendung dieses prototypischen Entscheidungsunterstützungswerkzeugs für eine 5-stufige Bewertungen von bauteil- und abbruchvorgangsbezogenen, durchschnittlichen Lärm-, Gesamtstaub- und Erschütterungsemissionen bei den sieben identifizierten Gebäudetypen auf Basis von Literatur, Herstellerdaten, rechtlichen Regelungen, Experteneinschätzungen und Messdaten. In der 3. Phase soll die Datenbank und das Werkzeug um neue Informationen, beispielsweise hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und ausgewählter Schutzmaßnahmen, erweitert werden.

7.1.2 Immissionserfassungssystem

Für ein System zur Immissionserfassung an Abbruchbaustellen wurde ein Konzept ausgearbeitet. Die Umsetzung wurde zum Ende der 2. Projektphase prototypisch abgeschlossen. Es wurden Versuche mit den Sensoren und dem System durchgeführt, die hauptsächlich auf die Untersuchung der Eignung der Geräte abzielten. Konkret wurde nachgewiesen, dass die Sensoren und das System ausreichend empfindlich bezüglich der Messgrößen sind. Es konnte gezeigt werden, dass eine Lokalisierung von Schallquellen möglich ist und somit eine Zuweisung des Emissionsortes und des Schallpegels erfolgen kann. Dies ist die Grundlage für eine Abschätzung der Lärmimmissionen in das lokale Umfeld der Abbruchbaustelle. Die Erschütterungsversuche haben gezeigt, dass relevante Erschütterungsimmissionen von den MEMS-Beschleunigungssensoren aufgezeichnet werden können und dass durch die variable Einbringtiefe der Sensoren gezielt die relevante Tiefe, bspw. die Tiefe des Fundaments des Nachbargebäudes, auf Schwingungen hin untersucht werden kann. Die Versuche zur Beurteilung der Staubsensoren sind ausgewertet und die Ergebnisse zeigen, dass der Staubgehalt in der Luft analog zu kommerziellen Sensoren erfasst werden können. Das physikalische Verhalten von Staub macht eine genauere Prognose der Verteilung sehr schwer, wodurch in diesem Bereich eine Berechnung der Verteilung der Staubimmissionen über

das Gesamtgebiet um das Abbruchvorhaben herum vermutlich nicht oder nur sehr begrenzt möglich sein wird. D.h. hier muss später die stichpunktartige Staubüberwachung genügen. Somit ist die Einsatztauglichkeit der Sensoren aus technischer Sicht nachgewiesen.

Um die Sensoren im Freien einsetzen zu können, wurden wasserdichte Gehäuse, eine eigene Stromversorgung und ein System zu deren Aufstellung gefertigt. Zusätzlich wurden Fehler in der Software der Sensoren bereinigt, wodurch eine relativ hohe Stabilität des Systems erreicht werden konnte. Die Integration der GPS-Daten wird noch erarbeitet und kann nach aktuellem Stand bis September 2014 erfolgreich abgeschlossen werden.

7.1.3 Ergebnisverbreitung

Im Rahmen der Antragstellung zur 3. Phase wurde in der 2. Phase eine Ergebnisverbreitungsstrategie erarbeitet. Einzelne Elemente dieser Strategie wurden teilweise bereits in der 2. Phase umgesetzt. In Anlehnung an die Thematik erfolgte eine Veröffentlichung (conference proceedings) im Rahmen der CIB W78 2013 Konferenz “30th International Conference on Application of IT in the AEC Industry” in Peking, China, 9.-12. Oktober: KÜHLEN, A.; DROGEMULLER, R.; SCHULTMANN, F. (2013): What Information is Necessary to Assess the Environmental Impacts of Deconstruction?, in Proceedings of 30th CIB W78 International Conference on Application of IT in the AEC Industry, 9-12 October 2013, Beijing, pp. 306-315. Weiter wurde das Projekt bzw. das Thema beim Umweltbundesamt, am Karlsruher Institut für Technologie im Zusammenhang mit der angestrebten Dissertation, auf der besagten internationalen Konferenz und im Rahmen eines Forschungsaufenthalts an der Queensland University of Technology (QUT) in Brisbane, Australien vorgestellt. Von den universitären Projektpartnern wurde das Forschungsthema in die Lehre eingebunden, bspw. in Form von Abschlussarbeiten und Vorlesungen und Übungen, um es so an die zukünftigen Fachleute der Bau-, Abbruch- und Recyclingindustrie heranzutragen. Die Veröffentlichung des vorliegenden Projektberichts mit den Ergebnissen der 1. und 2. Phase ist noch zu klären.

7.2 Ausblick auf die 3. Projektphase

7.2.1 Entscheidungsunterstützungswerkzeug mit Datenbank

Test: Der Prototyp des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs soll bei einem Abbruchvorhaben unter Realbedingungen getestet werden, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu überprüfen. Bei Bedarf wird der Prototyp angepasst bzw. erweitert.

Erweiterungen: Das Unterstützungswerkzeug soll um die Wahl ausgewählter Schutzmaßnahmen zur Minderung von Immissionen auf dem Ausbreitungsweg sowie um die Wirtschaftlichkeit als Ergänzung der Entscheidungsgrundlage erweitert werden. In diesem Zusammenhang muss die Datenbank noch um Daten zu Art, Anzahl sowie abbruchdauerbezogene Kosten des Ressourceneinsatzes (Arbeiter, Maschinen) sowie der möglichen Schutzmaßnahmen und den damit verbundenen Minderungseffekten bezüglich Lärm, Staub und Erschütterungen ergänzt werden. Als Datenquellen sollen hierbei in erster Linie Literatur und Experteneinschätzungen herangezogen werden. Die Wirtschaftlichkeit hinsichtlich des Ressourceneinsatzes (Arbeiter, Maschinen) soll neben technischer Eignung und der Bewertung resultierender Emissionen in die Vorgangsbewertung einfließen. Entsprechend soll die Ausgabe des Unterstützungssystems um einen Ressourceneinsatzplan sowie um eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des Abbruchprojekts ergänzt werden. Der Einsatz von ausgewählten Schutzmaßnahmen soll vorgeschlagen werden, wenn die Emissionsminderung durch die Technikwahl oder durch organisatorische Maßnahmen unzureichend ist, beispielsweise hinsichtlich der Erreichung von Immissionsrichtwerten.

Weiter soll das Unterstützungswerkzeug um die Abschätzung der Ausbreitung der Emissionen, die durch die Abbruchvorgänge verursacht werden, auf das lokale Umfeld ergänzt werden. Hierzu sollen umfeldtypabhängige und umfeldbedingte Emissionsabnahmeeffekte mittels Berechnungen von ausgewählten Ausbreitungsszenarien bestimmt werden. Der Emissionsabnahmeeffekt ist hierbei die „Emission“ (Immission direkt am Emissionsort) abzüglich der Immission am nächsten potentiellen Immissionsort

insbesondere abhängig von der Distanz zwischen Emissions- und Immissionsort.

Darüber hinaus ist eine Erweiterung der Datenbasis durch weitere Messungen geplant. Wie unter 5.3.2. beschrieben, zielten die Messungen der 2. Phase auf eine Unterlegung der 5-stufigen Einteilung der Literaturergebnisse und Experteneinschätzungen ab. Ziel der Messungen in der 3. Phase ist eine nähere Untersuchung der Einflussparameter Technik und Materialart hinsichtlich einer genaueren Quantifizierung der relativen Maximal- und Durchschnittswerte der Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen (Pegelhöhe, Schwinggeschwindigkeit/Beschleunigung, Frequenzbereich, Staubkonzentration) zum Rückschluss auf die Emissionswerte an den Quellen für den direkten Vergleich der Techniken und Materialien. Hierzu sollen Messungen unter Bedingungen erfolgen, bei denen die Einflussgrößen auf ein Mindestmaß reduziert sind, d.h. nicht auf reellen Abbruchbaustellen sondern auf einem Testgelände. Die Einflussparameter, Distanz zwischen Emissions- und Immissionsort, Entfernung der Messgeräte von der Emissionsquelle, Umgebungsbedingungen und meteorologische Bedingungen, sollen so gut wie möglich für alle Messungen fixiert werden, dadurch dass Bauteile, gleicher Abmessung, aus verschiedenen Materialien in einem abgeschlossenen Raum/Zelt mit verschiedenen maschinengeführten Techniken, die an der gleichen Stelle an einem geometrisch baugleichen Bauteil ansetzten, "abgebrochen" werden.

7.2.2 Immissionserfassungssystem

Test: Zur Bewertung der Eignung des Immissionserfassungssystems sind in der 3. Projektphase Versuche auf Abbruchbaustellen unter Realbedingungen geplant. Dabei muss ein Abgleich der Messergebnisse mit den Ergebnissen professioneller Messsysteme vorgenommen werden. Eine Anpassung der Sensoren muss dann erfolgen, wenn die Messwerte nicht zu einer Einschätzung der Immissionen genügen. Weiter muss hier die Einsatzfähigkeit nachgewiesen werden, wenn keine standardisierten Bedingungen herrschen. Auch bzgl. des Einflusses von Temperatur und Feuchtigkeit muss das System untersucht werden. Nach Abschluss der Versuche sollen Möglichkeiten zum Praxiseinsatz und zur Produktion dieses Systems gefunden werden. Hierbei wird für die

Produktion ein geeigneter Praxispartner gesucht, da das KIT diese Aufgabe nicht übernehmen wird.

Erweiterung: Um mit den Messwerten (Immissionsgrößen, Messknotenposition, Wetterdaten) ein besseres Verständnis für das Emissionsverhalten von Abbruchbaustellen zu generieren, ist es nötig, zeitlich parallel einzelne Größen eines Abbruchvorgangs, wie Geschoss/Abbruchhöhe über Geländeoberkante, Maschine, Verfahren usw., zu erfassen. Da eine automatisierte Erfassung dieser Vorgangsgrößen nur über zusätzliche Sensorik am Bagger möglich ist, muss ein Weg gefunden werden, diese einfacher zu erfassen. Möglich wäre hierbei die manuelle Eingabe durch den Baggerfahrer inkl. einer Beschreibung des Ortes der Aktivität. Dadurch ist es auch im Nachgang möglich, Aufwandsabschätzungen zu treffen und mit Realbeispielen zu korrigieren, indem der Abbruchfortschritt festgehalten wird und im Nachgang ausgewertet werden kann.

7.2.3 Verknüpfung zwischen Entscheidungsunterstützungswerkzeug und Immissionserfassungssystem

Eine Verknüpfung des Entscheidungsunterstützungswerkzeuges mit dem Immissionserfassungssystem ist angestrebt. Ziel ist es, dass die Daten aus der Abbruchplanung während des Abbruchs zur Verfügung stehen und dass somit überprüft werden kann, ob die Vorüberlegungen mit der Realität übereinstimmen. Dieser Soll-Ist-Vergleich soll für alle mit dem Immissionserfassungssystem messbaren Angaben aus dem Werkzeug durchgeführt werden. Sollte dabei erkannt werden, dass die geplanten Verfahren nicht wie erwartet die benötigte Eignung für den Abbruch haben, sollen während des Abbruchs Ersatzverfahren und Schutzmaßnahmen vorgeschlagen werden, mit denen die Richtwerte eingehalten werden können. Zusätzlich kann die Abbruchabfolge, die durch das Entscheidungsunterstützungswerkzeug geschossweise und bauteilbezogen für das ganze Abbruchobjekt aufgestellt wird, als Grundlage für das Vorgehen beim Abbruch verwendet werden.

7.2.4 Erarbeitung von Handlungsempfehlungen

In Verbindung mit der Entwicklung des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs und des Erfassungssystems sollen in der geplanten 3. Phase Handlungsempfehlungen zur Schaffung von Voraussetzungen für die emissionsarme Planung und Durchführung von Abbrucharbeiten beispielsweise in Form von Empfehlungen an den Bauherr, Planungsingenieur, Abbruchunternehmer und an Behörden erfolgen. Weiter sollen Empfehlungen für den Einsatz des Erfassungssystems auf Abbruchbaustellen im Rahmen des Endberichts erstellt werden.

7.2.5 Ergebnisverbreitung

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sollen in der geplanten 3. Phase den relevanten Akteuren in der Praxis (Bauherr, Planungsingenieur und Abbruchunternehmer) sowie Interessierten aus Wissenschaft und Forschung unterbreitet werden. Die Ergebnisverbreitung zielt darauf ab, einen größeren Interessentenkreis für die Problematik zu gewinnen und die Integration der im Rahmen des Forschungsprojekts erarbeiteten Ergebnisse in der Praxis anzustoßen. Hierzu sollen die einzelnen Elemente der erarbeiteten Ergebnisverbreitungsstrategie weiter umgesetzt werden. Die Projektergebnisse sollen an einzelne mittelständische Unternehmen herangetragen werden unter anderem durch den Test der Systeme auf Abbruchbaustellen und die Vorstellung des Projekts bei Unternehmen/Institutionen vor Ort bspw. im Rahmen der Erarbeitung von Handlungsempfehlungen. Weiter sind Projektvorstellungen/-präsentationen vor Fachpublikum aus Wissenschaft, Forschung und der Industrie geplant. Unter anderem sollen in diesem Zusammenhang das Projekt und entsprechende Ergebnisse zusammen mit dem ebenfalls DBU-geförderten Projekt zu "Bodenschutz beim Baubetrieb - Nachhaltiger Umgang mit Boden bei Baumaßnahmen" von Herrn Univ.-Prof. Dr. Ing. agr. Jörg Rinklebe am Lehr- und Forschungsgebiet Boden- und Grundwassermanagement des Instituts für Grundbau, Abfall- und Wasserwesen an der Bergischen Universität Wuppertal interessierten Fachpublikum aus Wissenschaft und Praxis vorgestellt werden. Nach ersten Absprachen mit Herrn Björn Marx, dem Mitarbeiter von Herrn Prof. Rinklebe, ist eine voraussichtlich

1-tägige Veranstaltung in den Räumlichkeiten des Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)/ Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) in Bonn im 4. Quartal 2014 geplant, bei der die beiden DBU-geförderten Projekte neben anderen Vorträgen zu Umwelt- und Ressourcenschutz beim Bauen präsentiert und diskutiert werden sollen. Weiter fanden Vorabsprachen mit Herrn Ulf Jacob vom Zentrum für Umweltkommunikation (ZUK) der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) statt zu einer weiteren Vorstellung des Projekts gemeinsam mit dem ZUK im Rahmen einer Messe, wie der BAUMA 2015. Zwischenergebnisse des Projekts sollen im Laufe der 3. Phase dem Umweltbundesamt (UBA) sowie dem Fachausschuss Abbruchtechnik der Deutschen Abbruchverbandes (DA) in Form von Präsentationen bei den Institutionen vor Ort vorgestellt werden. In diesem Rahmen soll auch die Zurverfügungstellung der Datenbank, des prototypischen Entscheidungsunterstützungswerkzeugs und des prototypischen Immissionserfassungssystems diskutiert werden. Ein weiteres Element zur Ergebnisverbreitung sind Veröffentlichungen zum Projekt und zu den Ergebnissen in nationalen und internationalen Fachzeitschriften und Journals. Unter anderem sollen Projektinformationen im Fachmagazin und Mitteilungsblatt des Deutschen Abbruchverbandes (DA), „Abbruch aktuell“, sowie voraussichtlich in einer weiteren Fachzeitschrift mit Praxisnähe und hohem Bekanntheitsgrad bei Unternehmen der Bau- und Recycling-Industrie, wie „Recycling aktiv“ oder „Bautechnik“, veröffentlicht werden. Weiter werden derzeit Beiträge zum Forschungsthema erarbeitet, die bei einem internationalen Journal und für den Tagungsband einer internationalen Konferenz aus den Bereichen Bau-, Projekt- und Umweltmanagement eingereicht werden sollen. Ebenfalls in Verbindung mit dem Forschungsprojekt und aufbauend auf den dort gewonnenen Erkenntnissen wird eine Dissertation verfasst, deren Veröffentlichung über einen Verlag geplant ist. Die Einbindung des Forschungsthemas in die Lehre wird fortgeführt und ausgeweitet. Nach Abschluss der 3. Projektphase wird ein Endbericht erstellt und veröffentlicht.

8 Literaturverzeichnis

ABW (Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung e.V.) (2012): Vorlesung C/Kapitel 6 Abbruchverfahren. Online unter: <http://www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/Lehre/Wintersemester/>

ModulC_Abbruch_Rueckbau/WS_12_13/neu_Prof/6_Abbruchverfahren_AB W.pdf. Abgerufen am: 06.11.2013.

BauA (2010): Arbeitsschutz bei Abbrucharbeiten, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Juli 2010, Dortmund, Online unter: <http://www.baua.de>. Aufgerufen am: 23.06.2012.

BayLfU (2003): Arbeitshilfe Kontrollierter Rückbau - Kontaminierte Bausubstanz Erkundung, Bewertung, Entsorgung. Bayrisches Landesamt für Umweltschutz, 2003.

Bauherren-Schutzbund e.V. (2010): Ratgeber - Schadstoff-Check beim Immobilienerwerb aus zweiter Hand. Berlin, 2010. Online unter: <http://www.bsb-ev.de>.

BG Bau (2011): Abbruch und Asbest – Informationen und Arbeitshilfen für Planung und Ausschreibung, Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Berlin, Ausgabe 2011.

BGR 128 (2006): Berufsgenossenschaftliche Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Kontaminierte Bereiche (1997-04). Aktuelle Fassung Februar 2006, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Fachausschuss „Tiefbau“ der BGZ.

BKK (2012): Glossar. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. Online unter: http://www.bbk.bund.de/DE/Servicefunktionen/Glossar/_function/glossar. Aufgerufen am: 17.12.2012.

BMVBS (2011): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude – Prozessqualität – Bauausführung – Baustelle/Bauprozess, 5.2.1, Version 2011_1, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.

BMWFI (2013). Technische Grundlage zur Beurteilung diffuser Staubemissionen, Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend.

Braun, F. (2007). "Ermittlung der Staubemissionen und -immissionen in der Umgebung einer Anlage zur Lagerung, zum Umschlag und zur Aufbereitung von staubenden Gütern." Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 67(7/8): 327-329.

BREEAM (2012): The world's leading design and assessment method for sustainable buildings. Online unter: <http://www.breeam.org/>. Abgerufen am: 13.06.2012.

Büttner, P. (2002): Abbruch von Stahlbeton- und Mauerwerksbauten – Entwicklung einer Entscheidungshilfe zur Auswahl von Hydraulikbaggern. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2002. 1. Auflage, Göttingen: Cuvillier, 2002.

DA (Deutscher Abbruchverband) (2014): Arbeitshilfe zur Anfertigung von Gefährdungsbeurteilungen bei Abbrucharbeiten. Online unter: <http://www.deutscher-abbruchverband.de/index.php?page=arbeitshilfe-fur-gefaehrungsbeurteilungen>. Abgerufen am: 04.08.2014.

DA (Deutscher Abbruchverband) (2013): Checklisten und Handlungsanleitungen. Online unter: <http://www.deutscher-abbruchverband.de/index.php?page=vorlagen-und-checklisten>. Abgerufen am: 13.12.2013.

DGNB (2012): Zertifikat der Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.. Online unter: http://www.dgnb.de/_de/. Abgerufen am: 13.06.2012.

DGUV (2013): Faserjahre. BK-Report 1/2013. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. Online unter:

<http://www.dguv.de/ifa/Publikationen/Reports-Download/Reports-2013/BK-Report-1-2013/>

index.jsp. Aufgerufen am: 15.05.2014.

EK-SMU (1998): Konzept Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Umsetzung. Abschlussbericht der Enquete-Kommission - Schutz des Menschen und der Umwelt, Bonn, 1998.

EK-SMU (Hrsg.); Paschen, H.; Kohler, N.; Hassler, U. (1999): Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen, Springer-Verlag, Heidelberg, 1999.

El-Waraki, M. S. (2008): Methodik zur Ermittlung von Emissionsfaktoren und Minderungsmaßnahmen bei aufgewirbelten Feinstaubpartikeln auf befestigten Fahrbahnen. Dissertation, 12.12.2008, zur Erlangung des Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) im Fachbereich D - Abteilung Sicherheitstechnik an der Bergischen Universität Wuppertal.

Fritz, P und Schneider, R. (2012): Erschütterungstechnische Untersuchung – Vorhaben: Streckennetzerweiterung Straßenbahn Mainz „Mainzelbahn“, Untersuchungsumfang: Ermittlung und Beurteilung der aus dem Baubetrieb resultierenden Erschütterungsimmissionen. Bericht Nr.: 10251-ABE-1. Im Auftrag der MVG-Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH. Einhausen, 05.11.2012.

GvSs (Hrsg.) (2010): Schadstoffe in Innenräumen und an Gebäuden - Erfassen, bewerten, beseitigen, Gesamtverband Schadstoffsanierung GbR, Rudolph Müller Verlag, Köln, 2010.

Görg, H. (2001): Bauen für den Umweltschutz: Es gibt viel zu tun – nur wissen wir nicht wann! Altlasten Spektrum 3/2001, S. 152-153.

Grünthal, G. (1998): European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 99 pp., 1998.

Gunreben, W. (2014): Staub – Ein neuer Grenzwert kommt. In: Abbruch aktuell 2/2014, S.33.

Haltenorth, I.; Weber, L.; Leistner, P.; Mehra, S.-R. (2007): Neuartige Maßnahmen zur Minderung von Baulärm – Systeme, Methoden, Wirkungen. Forschungsbericht FZKA-BWPLUS. Universität Stuttgart, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, 28. Februar 2007.

HAZUS (2003): National Institute of Building Sciences and Federal Emergency Management Agency, 2003. Multi-hazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model, HAZUS®MH Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 2003.

Heidenreich, R.; Schmidt, D; Böhme, A.; Moczigemba, T.; Fleischer, P. (2010): Diffuse Staubemissionen. Schriftreihe, Heft 26/2010: Ermittlung von Emissionsfaktoren für (Fein)Staub aus Baushuttrecyclinganlagen einschließlich Nachrechnung nach VDI 3790 Blatt 3. Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

Heidenreich, R.; Zschoppe, A.; Krusche, J. (2003): Bestimmung diffuser Emissionen in einem Asphaltmischwerk. Fachbericht ILK-B-33/03-1128. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. ILK Dresden, 11.2003.

IFF (Ingenieurbüro Faust & Fritsche) (2014): Mögliche Auswirkung von Erschütterungen. Online unter: <http://iff-berlin.de/index.php?id=12>. Abgerufen am 14.07.2014.

ILK Dresden (2013): Staubemissionen beim Abbruch / Rückbau industriellerrichteter (Wohn-) Gebäude. Fachbericht ILK-B-33-13-1819. Bearbeiter: Ralf Heidenreich, Dirk Keßlau, Andreas Böhme; Auftraggeber: btu Brandenburgische Technische Universität. 29.11.2013.

Kamrath, P (2013). On the sustainability of deconstruction and recycling: A discussion of possibilities of end-of-lifetime measures.

Kamrath und Hechler (2011): On the sustainability of deconstruction and recycling: A closer view to end-of-lifetime measures. Bauingenieur, 86, Juni 2011, pp. 269-280.

Kiwitz und Haferkamp (2012): Schalltechnische Untersuchungen im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für den geplanten Offshore-Terminal Bremerhaven - Betrachtungen für angrenzende naturnahe Flächen. Projekt Nr. 11.087-5/3. Technologie Entwicklungen & Dienstleistungen GmbH. Im Auftrag von bremenports GmbH & Co. KG. Bremerhaven, 2012.

Klauß, S.; Kirchof, W.; Gissel, J. (2009): Katalog regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklassen und Ableitung typischer Bauteilaufbauten. ZBU, Kassel, Oktober, 2009.

Krämer, E. (2013): Persönliches Interview mit Herrn Erich Krämer, Sachverständiger des TÜV Hessen, geführt von Anna Kühlen. Frankfurt am Main, 12. Juli 2013.

Krämer, E.; Leiker, H. Wilms, U. (2004): Technischer Bericht zur Untersuchung der Geräuschemissionen von Baumaschinen. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden (Herausgeber), 2004.

Krusche, J., et al. (2003). Bestimmung diffuser Emissionen in einem Asphaltmischwerk. S. L. f. U. u. Geologie.

Kummer, M. (2013): Konzept zum Umgang mit Baustellenlärm in der Bauaufsicht Frankfurt. 18.03.2013. Online unter: http://www.bauaufsicht-frankfurt.de/fileadmin/Downloads__alle/

Sonstige/Konzept_Baulaerm_18.03.2013.pdf. Abgerufen am: 03.12.2013.

Kummer, V. (2010). Ermittlung des PM10-Anteils an den Gesamtstaubemissionen von Bauschuttzubereitungsanlagen. Wiesbaden, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie.

Kuntner, M.; Öttl, D.; Krismer, A.; Strobl, A (2009): Abschätzung diffuser Staubemissionen einer Großbaustelle. In Ausbreitungsmodellierung von Luftschadstoffen - Oktober 2009 - 1. Österreichischer Workshop. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 17C, Öttl, Dietmar. Bericht Nr. LU-10-2010, Graz, 2009, S. 1-17.

Lebenszyklusplanung (2012): Nachhaltiges Planen und Bauen - Die erste Anlaufstelle für fundierte Fachinformationen und Lösungen. Online unter: <http://www.lebenszyklus-planung.de/>. Aufgerufen am: 13.06.2012.

Lfi (2000): Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen, Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz vom 10. Mai 2000, Online unter: <http://www.lung.mv-regierung.de>. Aufgerufen am: 13.06.2012.

LfU (2012): Schall-Emissions-Literatur-Datenbank SELIDAT. Bayrisches Landesamt für Umweltschutz. Online unter: <http://www.lfu.bayern.de/laerm/selidat/index.htm>. Aufgerufen am: 26.11.2012.

LfU (2005): Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen – Technische Fachinformation, Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2005. Online unter: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>. Aufgerufen am: 13.06.2012.

Lippok, J. und Korth, D. (2007): Abbrucharbeiten: Grundlagen, Vorbereitung, Durchführung. 2. Auflage, Rudolf Müller, Deutscher Abbruchverband, Köln, 2007.

LUBW (2007): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Bearbeitung: A. Seemann, Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU), Universität Karlsruhe (TH), O. Rentz.): Kostenermittlung für Rückbau- und Abbrucharbeiten, aktualisiert vom Referat 35, LUBW, April 2007. Online unter: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>. Aufgerufen am: 29.10.2012.

Mattenklott, M.; Höfert, N. (2009): Stäube an Arbeitsplätzen und in der Umwelt – Vergleich der Begriffsbestimmungen. In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 69 (2009), Nr.4, S. 127-129.

Mettke, A. (Hrsg.); Heyn, S.; Asmus, S. et.al. (2008): Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, Teil 1: „Krangeführter Rückbau“, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (FKZ 0339972), BTU Cottbus, Fachgruppe Bauliches Recycling, 01/2008.

Mettke, A. (Hrsg.) (2008): Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie P2, Cottbus, 2008.

Mettke, A. (1995): Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus. Dissertation. Reihe Umweltwissenschaften Band 5. Eberhard Blottner Verlag. Taunusstein.

Müller-Boruttau (2005): Einwirkungen und Widerstand bei Erschütterungen von Bestandsbauten. imb-dynamik Ingenieurbüro Dr. Müller-Boruttau. 2. Tragwerksplanung im Bestand, Wapenhans und Richter, Dresden, 19. – 21.09.2005. Online unter: http://www.imb-dynamik.de/pdf/publ/Einwirkungen_und_Widerstand_bei_Erschuetterungen_von_Bestandsbauten.pdf. Abgerufen am 14.07.2014.

Mur und Muzeau (1979): Comparative Study of Various Demolition Procedures. Annales de l'Institut technique du batiment et des travaux publics, Issue 377, November 1979, S. 53-86.

Neuffer, H und Witterhold, F.-G. (2001): Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativer Energien. AGFW-Hauptstudie – Erster Bearbeitungsabschnitt Band 2: Wärmeversorgung des Gebäudebestandes und Technologieentwicklung und –bewertung. Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V., Frankfurt a.M., 2001.

Rentz, O. (1993): Selektiver Rückbau und Recycling des Hotel Post in Dobel, Landkreis Calw. Im Auftrag des Umweltbundesministeriums Baden-Württemberg, Karlsruhe, 1993.

Rentz, O.; Seemann, A.; Reass, C.; Schultmann, F. (2002): Entwicklung optimierter Rückbau- und Recyclingverfahren durch Kopplung von Gebäudedemontage und Bauschutttaufbereitung - Zwischenbericht. Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Karlsruhe, 2002.

Rentz, O.; Seemann, A.; Schultmann, F. (2001): Abbruch von Wohn- und Verwaltungsgebäuden: Handlungshilfe. Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Mannheim, 2001.

Rötzel, A. (2009): Schadstoffe am Bau. Fraunhofer IRB Verlag, 2009.

Schiller, G and Deilmann, C (2010). Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung. Dessau-Roßlau. 56/2010.

Schultmann, F. (1998): Kreislaufführung von Baustoffen - Stoffflußbasiertes Projektmanagement für operative Demontage- und Recyclingplanung von Gebäuden. Dissertation. Breitschaft, G.; Dütz, W.; Scholz, R.; Sonnenberg, H.J.; Wike, D. (Hrsg). Baurecht und Bautechnik, Band 10, 1998, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Seemann, A. (2003): Entwicklung integrierter Rückbau- und Recyclingkonzepte für Gebäude - ein Ansatz zur Kopplung von Demontage, Sortierung und Aufbereitung. Dissertation. Shaker Verlag, Aachen, 2003.

Siemens (2012): Siemens Building Technologies – Gebäudeautomation. Online unter: <http://www.buildingtechnologies.siemens.com>. Aufgerufen am: 13.06.2012.

StBG (2005): Mineralischer Staub. StBG A 1.7/ Stand: 11/2005, Steinbruchs-Berufsgenossenschaft, Online unter: http://www.praxishandbuch-stbg.de/daten/pdf/a1/a1_7.pdf. Abgerufen am 26.07.2012.

Stmug (2012): Umwelt-Lexikon. Bayrischen Lebensministeriums. Online unter: <http://www.stmug.bayern.de/service/lexikon/>. Abgerufen am 17.12.2012.

Stolt, F. (2012): Brände bei Abbruch- und Rückbauarbeiten. In: Tiefbau, 3/1998, S. 172-177.

Strobl, A. und Kuntner, M. (2011): PM10 Emissionsmessprogramm diffuser Staubquellen - Aufbereitungs- und Betonmischanlagen. Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Emissionen-Sicherheitstechnik-Anlagen, Innsbruck, 09.2011.

Strohbusch, A. (2011): Vermeidung und Verminderung von Staubemissionen auf Baustellen - ein Leitfaden für die Praxis. Referat Industrieanlagen, Abfallströme und Lärmbekämpfung, Senatsverwaltung für die Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Berlin, 08.2011.

SVE (2013): Persönliches Interview mit einem Sachverständigen für Erschütterungsmessungen, geführt von Anna Kühlen. Karlsruhe, 15. Oktober 2013.

Toppel, (2003): Technische & ökonomische Bewertung verschiedener Abbruchverfahren im Industriebau. Dissertation. Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Technische Universität Darmstadt, 10.2003.

TÜV (2013): Erschütterungsimmissionen verschiedener Abbruchprozesse mit Baumaschinen bei Abrißarbeiten mit zeitgleichen Lärmessungen an einer Großbaustelle in Köln. Gutachten Nr. L 7529-B. TÜV Hessen; Bearbeiter: Markus Gooßens, Martin Heinig; Auftraggeber: Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion. 20.12.2013.

UBA (Umweltbundesamt) (2014): Feinstaub. Online unter: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/feinstaub>. Geändert am 03.04.2014. Abgerufen am: 14.07.2014.

UBA (2011a): Themen - Luft - Regelungen und Strategien - Luftreinhaltung in der EU. Online unter: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/regelungen-strategien/luftreinhaltung-in-der-eu>. Geändert am 25.05.2011. Abgerufen am: 15.07.2014.

UBA (2011b): Daten – Umwelt und Gesundheit – Lärmwirkungen. Online unter: <http://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/laermwirkungen>. Geändert am 10.07.2013. Abgerufen am: 14.07.2014.

USGBC (2012): Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), U.S. Green Building Council. Online unter: <http://www.usgbc.org/>. Aufgerufen am: 13.06.2012.

Weimann, K.; Matyschik, J.; Adam, C.; Schulz, T.; Linß, E.; Müller, A. (2013): Optimierung des Rückbaus/Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung. Umweltbundesamt, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungskennzahl 370933317, UBA-FB 001676, 05/2013.

Wikipedia-1 (2014): Lautstärke. Online unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Lautst%C3%A4rke>. Aufgerufen am: 14.07.2014.

Willkomm, W. (1990): Abbruch und Recycling. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1990.

Winiwarter, W.; Schmidt-Stejskal, H.; Windsperger, A. (2007): Aktualisierung und methodische Verbesserung der österreichischen Luftschadstoffinventur für Schwebstaub. Endbericht, Projekt Nr. 1.S2.00118.0.0. ARC Bereich systems research, Institut für Industrielle Ökologie. Im Auftrag des Umweltbundesamt, ARC-sys-0149, 2007.

Zwiener, G. (1997): Handbuch Gebäude-Schadstoffe für Architekten, Sachverständige und Behörden. Rudolf Müller, Köln, 1997.

9 Gesetz-, Normen- und Richtlinienverzeichnis

9.1 Gesetze, Verordnungen und Vorschriften

Abfallverzeichnis-Verordnung (2012): Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis vom 10. Dezember 2001. Zuletzt geändert am 24.02.2012 (BGBl. I S. 212).

ArbStättV (2010): Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung) vom 12. August 2004. Zuletzt geändert am 19.07.2010 (BGBl. I S. 960).

AVV (1970): Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen - vom 19. August 1970 (Beil. zum BAnz. Nr. 160).

BauStellV (2004): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen (Baustellenverordnung/BaustellV), Bundesgesetzblatt I, 1998, Seite 1283, zul. geändert am 23.12.2004 (BGBl. I, S. 3816).

BImSchG (2012): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz). Zuletzt geändert am 02.07.2013 (BGBl. I S. 1943).

16. BImSchV: Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung) vom 19. September 2006 (BGBl. I S. 2146).

32. BImSchV: Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung) vom 29. August 2002. Zuletzt geändert am 8.11.2011 (BGBl. I S. 2178).

ErsatzbaustoffV (2012): Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen oder das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzstoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material. Entwurf, Stand: 31.10.2012.

EU-Richtlinie 2000/14/EG: Richtlinie 2000/14/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2000 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen (ABl. L 162 vom 3.7.2000, S. 1). Zuletzt geändert am 17.06.2006.

GefStoffV (2004): Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung) vom 23.12.2004, Bundesgesetzblatt I, Nr. 74, 29.12.2004, S. 3758.

GewAbfV (2002): Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung) vom 19. Juni 2002 (BGBl. I S.1938). Zuletzt geändert am 24.02.2012 (BGBl. I S.121).

KrWG (2012): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz), vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 212).

LärmVibrationsArbSchV (2010): Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung) vom 6. März 2007 (BGBl. I S. 261). Zuletzt geändert am 19.07.2010 (BGBl. I S. 960).

NachwV (2012): Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (Nachweisverordnung). Zuletzt geändert am 24.02.2012 (BGBl. I S. 212).

9.2 Technische Regeln

DIN 4109:1989-11 thematisiert dabei den Schallschutz im Hochbau und ist insbesondere beim Teilabbruch unter dem Gesichtspunkt der Schallübertragung auf direkt angrenzende Bauwerke relevant. Berlin, Beuth-Verlag, 1989.

DIN 4150: Erschütterungen im Bauwesen. Deutsches Institut für Normung.
DIN 4150-1:2001-06: Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen; DIN
4150-2:1999-06: Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden; DIN 4150-
3:1999-02: Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen. Berlin, Beuth-Verlag.

DIN 18005-1:2002-07: Schallschutz im Städtebau - Teil 1: Grundlagen und
Hinweise für die Planung. Berlin, Beuth-Verlag, 2002.

DIN 18007:2009-03: Abbrucharbeiten - Begriffe, Verfahren,
Anwendungsbereiche. Berlin, Beuth-Verlag, 2009.

DIN 45635-1984-04: Geräuschemessung an Maschinen –Teil1:
Luftschallemission, Hüllflächen-Verfahren; Rahmenverfahren für 3
Genauigkeitsklassen. Berlin, Beuth-Verlag, 1984.

DIN 45669-1:2010-09: Messung von Schwingungsimmissionen - Teil 1:
Schwingungsmesser - Anforderungen und Prüfungen. Berlin, Beuth-Verlag,
2010.

DIN 45669-2:2005-06: Messung von Schwingungsimmissionen - Teil 2:
Messverfahren. Berlin, Beuth-Verlag, 2005.

DIN 45672: Schwingungsmessung in der Umgebung von
Schienenverkehrswegen. DIN 45672-1:2009-12: - Teil 1: Messverfahren. DIN
45672-2:1995-07: Teil 2: Auswerteverfahren. Berlin, Beuth-Verlag.

DIN EN 481:1993-09: Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der
Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel. Deutsche
Fassung. Berlin, Beuth-Verlag, 1993.

DIN EN 12341:2012-07: Außenluft - Gravimetrisches Standardmessverfahren
für die Bestimmung der PM10- oder PM2,5-Massenkonzentration des
Schwebstaubes. Berlin, Beuth-Verlag, 2012.

DIN EN 12354-4:2001-04: Berechnung der akustischen Eigenschaften von
Gebäuden aus den Bauteileigenschaften, Teil 4: Schallübertragung von Räumen
ins Freie. Berlin, Beuth-Verlag, 2001.

DIN EN ISO 5349: Mechanische Schwingungen - Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen. EN ISO 5349-1:2001: Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO 5349-1:2001), Deutsche Fassung. EN ISO 5349-2:2001: Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz (ISO 5349-2:2001), Deutsche Fassung. Berlin, Beuth-Verlag.

DIN EN 61672-1:2014 Elektroakustik - Schallpegelmesser - Teil 1: Anforderungen (EC 61672-1:2013). Berlin, Beuth-Verlag, 2013
DIN ISO 9613-2:1999-10: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeine Berechnungsverfahren. Berlin, Beuth-Verlag, 1999.

IEC 61672-1:2003: Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications.

ISO 9613-2:1999-10: Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO 9613-2:1996), Deutsch Fassung. Berlin, Beuth-Verlag, 1999.

TA Lärm (1998): Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm), vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503).

TA Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft), vom 24. Juli 2002.

TRGS 402 (2010): Technische Regeln für Gefahrstoffe - Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition. Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), Geschäftsführung: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2010.

TRGS 517 (2009): Technische Regeln für Gefahrstoffe – Tätigkeiten mit potenziell asbesthaltigen mineralischen Rohstoffen und daraus hergestellten Zubereitungen und Erzeugnissen (2007-01). Zuletzt geändert und ergänzt: GMBI. Nr. 28, 02.07.2009, S. 606–608, Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), Geschäftsführung: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2007.

TRGS 519 (2007): Technische Regeln für Gefahrstoffe – Asbest: Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten (2007-03). Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), Geschäftsführung: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2007.

TRGS 521 (2008): Technische Regeln für Gefahrstoffe - Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle (2008-02). Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), Geschäftsführung: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2008.

TRGS 559 (2010): Technische Regeln für Gefahrstoffe – Mineralischer Staub (2010-02). Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), Geschäftsführung: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2010.

TRGS 900 (2006): Technische Regeln für Gefahrstoffe – Arbeitsplatzgrenzwerte (2006-01). Zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2013 S. 943-947 v. 19.9.2013 [Nr. 47]. Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), Geschäftsführung: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2006.

TRGS 906 (2005): Technische Regeln für Gefahrstoffe - Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV (2005-07). Zuletzt geändert und ergänzt: März 2007. Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), Geschäftsführung: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2005.

TRLV Lärm (2010): Technische Regel zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (GMBI. Nr. 18-20 vom 23. März 2010, S. 359).

TRLV Vibrationen (2010): Technische Regel zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (GMBI. Nr. 14/15 vom 10. März 2010, S. 271).

9.3 VDI-Richtlinien und Merkblätter

DWA (2012): Merkblatt DWA-M 303 – Wiedernutzbarmachung von kleinen Grundstücken – Abbruch, Rückbau und geordnete Entsorgung. DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.. Verfasser: Mettke, A.; Kötterheinrich, R.; Müller, E.; Schrenk, V.; Frisch, K.-R.. Hennef, 2012.

SBUV (Senator für Bau, Umwelt und Verkehr) (2005): Richtlinie für die Konkretisierung immissionsschutzrechtlicher Betreiberpflichten zur Vermeidung und Verminderung von Staub-Emissionen durch Bautätige. Bremen, 26.07.2005. Online unter: http://www.umwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/Baustellen_Erlass.pdf. Abgerufen am: 03.12.2013.

VDI 2119:2013-06 Messen von Immissionen – Probenahme von atmosphärischen Partikeln > 2,5 µm auf einer Akzeptorfläche mit dem Passivsammler Sigma-2 - Lichtmikroskopische Charakterisierung sowie Berechnung der Anzahl sedimentationsrate und der Massenkonzentration. Ausgabe Juni 2013, Beuth-Verlag, Berlin.

VDI/GvSs 6202-Blatt1:2013: Sanierung schadstoffbelasteter Gebäude und Anlagen - Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten. Verein Deutscher Ingenieure, Gesamtverband Schadstoffsanierung. Oktober, 2013.

VDI 3783 Blatt 13:2010-01: Umweltmeteorologie. Qualitätssicherung in der Immissionsprognose. Anlagenbezogener Immissionsschutz. Ausbreitungsrechnung gemäß TA Luft

VDI 3790: Blatt 1:2005-01 Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Grundlagen. VDI-Richtlinie 3790-Blatt 3:2010-01 Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen. Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern. Blatt 3:2010-01-00 Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern

VDI 2095: Emissionsminderung. Blatt 1: 2011-03: Behandlung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen - Stationäre und mobile Bauschuttzubereitungsanlagen. Blatt 2:2014-07: Lagerung, Umschlag und Behandlung von gemischten Bau- und Abbruchabfällen, Sperrmüll sowie Gewerbeabfällen.

VDI 2463 Blatt 1:1999-11: Messen von Partikeln – Gravimetrische Bestimmung der Massenkonzentration von Partikeln in der Außenluft – Grundlagen.

VDI 2058: Blatt 2:1988-06: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Hörschäden. Blatt 3: 1999-02: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung der Tätigkeiten.

VDI 2057 Blatt 1:2002-09: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen - Ganzkörper-Schwingungen.

VDI 2057 Blatt 3:2012-02: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen - Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen in Gebäuden.

VDI 4285 Blatt 1:2012-08: Messtechnische Bestimmung der Emissionen diffuser Quellen – Grundlagen.

10 Anhang

Anhang A: Glossar

Abbruch: Planvolle Teilung eines vorherigen Ganzen in zwei oder mehrere Teile bei Anwendung geeigneter Verfahren zum ganzen oder teilweisen Zerlegen von baulichen oder technischen Anlagen (vgl. VDI 6210 E). Der Rückbau ist eine Sonderform des Abbruchs (s. gesonderte Definition).

Selektiver Abbruch: Abbruch mit vorhergehender Beräumung unter Berücksichtigung von Forderungen zum sortenspezifischen Erfassen und Entsorgen des Abbruchmaterials (vgl. Lippok und Korth (2007)).

Vollständiger Abbruch (Totalabbruch): Restlose Beseitigung einer technischen oder baulichen Anlage, zumeist bis zur Gründungssohle (vgl. Lippok und Korth (2007)).

Teilweiser Abbruch (Teilabbruch): Beseitigung von vorbestimmten Anlagen- oder Bauwerksabschnitten oder deren Teilen mit Erhaltung der Standsicherheit verbleibender Teile, oftmals nach Herstellen eines Trennschlitzes (vgl. Lippok und Korth (2007)).

Abbruchhöhe: ab Oberkante Gelände oder Rampe gemessene Höhe des abzubrechenden Objektes, die in Abhängigkeit vom Abbruchgeschehen veränderbar ist (vgl. Lippok und Korth (2007)).

Demontage: Die Demontage ist eine besondere Verfahrensweise des Abbruchs. Es handelt sich um den zerstörungsarmen Abbruch von Bauteilen bis hin zu vollständigen baulichen oder technischen Anlagen durch Lösen der Verbindungen und/oder Herstellen von Trennschlitzes und Abheben der Bauteile zum Schutz verbleibender Bauwerksteile und/oder mit dem Ziel der Wieder- oder Weiterverwendung der ausgebauten Bauteile (VDI 6210 E). Demontage wird wie folgt definiert: „Die Bauteile werden durch Lösen der Verbindungen“ u./o. Herstellen von Trennschlitzes „voneinander getrennt und zerstörungsfrei ausgebaut“ (DIN 18007:2009-03). Das Verfahren kommt

hauptsächlich dann zum Einsatz, wenn Schadstofffreisetzungen zu verhindern oder zu vermindern sind oder technologisch bedingt Demontagen realisiert werden müssen, um die verbleibende Bausubstanz bei Teilrückbau nicht zu beschädigen. Die Sicherstellung von Bauteilen zur sekundären Nutzung wird derzeit meist nur flankierend betrachtet

Diffuse Staubemissionen: sind Staubemissionen, wie sie durch Abbruchtätigkeiten hervorgerufen werden, die über einen nicht definierten/erfassbaren Luftvolumenstrom in die Umgebungsluft emittiert werden (vgl. BMWFI (2013)).

Entkernung: Beseitigung von am Abbruchobjekt befestigten oder eingebauten Anlagen und Gegenständen, die keinen Einfluss auf die Standsicherheit des Bauwerks oder der Anlage ausüben, z. B. Fenster, Öfen, Rohrleitungen und nicht tragende Wände (vgl. Lippok und Korth (2007)).

Erschütterungen und Vibrationen: Nach DIN 4150-1 (2001) sind Erschütterungen mechanische Schwingungen fester Körper mit potenziell schädigender oder belastender Wirkung. Erschütterungen breiten sich durch das Einleiten dynamischer Energie in den Boden und die Übertragung durch Bodenwellen aus. Immissionen auf die Umwelt können insbesondere in den Boden (Lithosphäre), auf Menschen und auf bauliche Anlagen (benachbarte Bauwerke, Rohrleitungen und Kabel) einwirken. Kurzzeitige Erschütterungen, wie etwa bei Sprengung oder beim Massenaufprall, haben eine geringe Auftretshäufigkeit. Dauererschütterungen treten beispielsweise beim Fräsen und Stemmen auf (vgl. Lippok und Korth (2007)).

Lärm: Die Begriffe Schall und Lärm werden oft synonym verwendet, wie auch in diesem Bericht. Die Begriffe stellen streng genommen jedoch unterschiedliche Betrachtungsebenen dar. Schall ist eine messbare physikalisch-akustische Größe und Lärm beschreibt eher die Wirkung. Mit Lärm wird in der Regel jegliche Schalleinwirkung definiert, die belästigt, stört oder gesundheitliche Schäden hervorruft (UBA (2011b)). Nach TA Lärm können Geräuschimmissionen abhängig von Art, Ausmaß oder Dauer, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die

Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeiführen (TA Lärm, 2.1). Diese Geräuschemissionen sind als Schalldruck beziehungsweise als Schalldruckpegel eines Geräusches und als Geräuschkennlinie messbar, TA Lärm (1998)).

Laut DIN 18007:2009-03 können insbesondere bei den folgenden Abbruchverfahren Lärmemissionen auftreten: Einschlagen, Stemmen, Sprengen, Vollbohren, Sägen (Wand und Boden), Schneiden (Brenn- und Hochdruckwasserschneiden) und Hochdruckwasserstrahlen. Die Abbruchverfahren Abgreifen, Eindrücken, Einziehen und Einreißen weisen nach DIN 18007:2009-03 keine relevanten Lärmemissionen auf.

Rückbau: Ist eine Abbruchmethode, die meist in umgekehrter Reihenfolge der Errichtung erfolgt und die das Ziel der Weiterverwendung und Verwertung von Bau- und Konstruktionsteilen hat (Schultmann (1998)).

Recycling: Unter Zugrundelegung des KrWG (2012) ist Recycling "jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden; es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, nicht aber die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind".

Rohbau: Zum Rohbau zählen tragende Bauwerksteile, Brandwände, Schornsteine, notwendige Treppen und die Dachkonstruktion inkl. der damit verbundenen Erd-, Abdichtungs-, Dachdecker- und Klempnerarbeiten (vgl. LBO z. B. § 80 Abs.1 NBauO; § 3 Abs.2 BauGO und § 84 Abs. 1 BauONRW)). Nach Fertigstellung wird der Rohbau durch die Baubehörde geprüft (Rohbauabnahme).

Schadstoffe: sind neben Gefahrstoffen (GefStoffV) und biologischen Arbeitsstoffen (BiostoffV) auch Stoffe oder Stoffgemische (Reinstoff, Produkt, Erzeugnis, Rückstand, Reststoff, Abfall), die zu einer Gefährdung der Nutzer oder der am Abbruch Beteiligten führen können (vgl. VDI/GVSS 6202 (2012)) oder die bei Eintrag in Ökosysteme oder Aufnahme durch lebende Organismen

oder an Sachgütern nachteilige Veränderungen hervorrufen können (z. B. korrosiv wirkende Stoffe) (vgl. Lippok und Korth (2007)).

Es wird zwischen primären, sekundären und nutzungsbedingten Belastungen unterschieden. Primäre Belastungen entstehen herstellungsbedingt durch gefährliche Stoffe in Bauprodukten, sekundäre Belastungen entstehen durch Verunreinigung von Bauprodukten durch Schadstoffe (vgl. VDI/GVSS 6202 (2012)). Nutzungsbedingte Belastungen sind Verunreinigungen der Bausubstanz, die durch den Umgang mit Gefahrstoffen oder Arbeitsmitteln in der Nutzungsphase des Gebäudes entstehen (vgl. VDI/GVSS 6202 (2012) und Lippok und Korth (2007)).

Schutzgut: Der Begriff Schutzgut umfasst alles, „was aufgrund seines ideellen oder materiellen Wertes vor einem Schaden bewahrt werden soll“ (BKK (2012)). Nach dem Bayerischen Lebensministerium (stmug (2012)) sind „Schutzgüter von der Rechtsordnung geschützte Güter des Einzelnen (z.B. Leben, Gesundheit, Eigentum) oder der Allgemeinheit (z.B. Reinheit der Gewässer)“. Im Rahmen dieses Projekts liegt der Fokus auf den beim Bauwerksabbruch relevanten Schutzgütern, wie den Arbeitnehmern und Anwohnern sowie den angrenzenden baurechtlichen Gebieten, Nachbarbauwerken. Für die jeweiligen Schutzgüter gelten unterschiedliche Schutzanforderungen hinsichtlich der Höhe von Lärm, Staub- und Erschütterungsimmissionen.

Staub: Staub ist eine Zerstreung fester Stoffe in der Luft durch mechanische Prozesse oder durch Aufwirbelungen. Man unterscheidet zwischen den folgenden Arten von Stäuben: organisch (z. B. Holzstaub), mineralisch (z. B. Steinstaub), metallisch (z. B. Aluminiumstaub). Staub (Feinstaub) ist nach § 3 Abs. 4 BImSchG, neben Rauch, Ruß, Gasen, Aerosolen, Dämpfen oder Geruchsstoffen, eine Form der Luftverunreinigungen. Luftverunreinigungen sind Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft und haben schädliche Einwirkungen auf die Umwelt, wenn sie nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen

(vgl. § 3 Abs. 1 BImSchG). Im Rahmen des Forschungsprojekts liegt der Fokus auf Staub durch Abbruchaktivitäten als eine Form der Luftverunreinigung.

Auf Abbruchbaustellen handelt es sich hauptsächlich um mineralischen Staub oder Mischstaub. Die Korngröße und die Staubinhaltsstoffe sind maßgeblich für die Gefährlichkeit eines Staubes. Auswirkungen auf die Gesundheit kann vor allem Feinstaub haben. Als gesundheitlich besonders gefährlich ist Quarzstaub zu bewerten, der aus Mischstaub mit einem Anteil an Quarzfeinstaub besteht (vgl. TRGS 559, Abschnitt 2.4).

A-Staub oder PM₄ (Korngröße $\leq 4 \mu\text{m}$): Alveolengängige Fraktion. Im Arbeitsschutz wird die Bezeichnung A-Staub für den Massenanteil der einatembaren Partikel, der bis in die nicht cilierten Luftwege vordringen kann, verwendet. Diese Fraktion entspricht den im Umweltschutz mit PM₄ bezeichneten Partikeln, die einen aerodynamischen Durchmesser $\leq 4 \mu\text{m}$ haben. Unter diese Fraktion fällt auch „Quarzfeinstaub“ (Mattenkloß und Höfert (2009)).

E-Staub (Korngröße $> 10 \mu\text{m}$): Einatembare Fraktion. Im Arbeitsschutz wird die Bezeichnung E-Staub für den Massenanteil aller Schwebstoffe, der durch Mund und Nase eingeatmet werden kann, verwendet. Die Schwebstoffe schlagen sich an den Schleimhäuten der oberen Atemwege nieder.

Feinstaub: Wurde im Arbeitsschutz früher für die jetzt mit A-Staub bezeichnete alveolengängige Fraktion verwendet (TRGS 900 bis 1993). Im Umweltschutz ist es kein definierter Begriff. Er wird hier jedoch im Zusammenhang mit PM₁₀ und PM_{2,5} in Rahmen der Umsetzung der EU-Richtlinie 2008/50/EG durch das 22. BImSchV verwendet (Mattenkloß und Höfert (2009)).

PM_{2,5} (Korngröße $\leq 2,5 \mu\text{m}$): Alveolengängige Fraktion „Risikogruppe“. Im Umweltschutz entspricht die mit PM_{2,5} bezeichnete Staubfraktion Partikel, die einen aerodynamischen Durchmesser $\leq 2,5 \mu\text{m}$ haben. Seit 2010 wurde im Umweltschutz für diese Fraktion, auch

Feinststäube genannt, ein Grenzwert eingeführt (EU-Richtlinie 2008/50/EG und 39. BImSchV) (Mattenklott und Höfert (2009), UBA, 2011a). Im Arbeitsschutz gibt es hierzu keine Definition und derzeit jedoch keinen Grenzwert.

Thorakaler Staub oder PM₁₀ (Korngröße $\leq 10 \mu\text{m}$): Diese Staubgröße entspricht den im Umweltschutz mit PM₁₀ bezeichneten Partikeln, die einen aerodynamischen Durchmesser $\leq 10 \mu\text{m}$ haben. Im Arbeitsschutz wird die Bezeichnung Thorakaler Staub für den Massenanteil der einatembaren Partikel, der über den Kehlkopf hinaus vordringen kann, verwendet. Hier gibt es im Arbeitsschutz derzeit jedoch keinen Grenzwert. Seit 2005 wurde im Umweltschutz für diese Fraktion ein Grenzwert eingeführt, der häufig auch als „Feinstaub-Grenzwert“ bezeichnet wird (EU-Richtlinie 2008/50/EG und 22. BImSchV) (Mattenklott und Höfert (2009)).

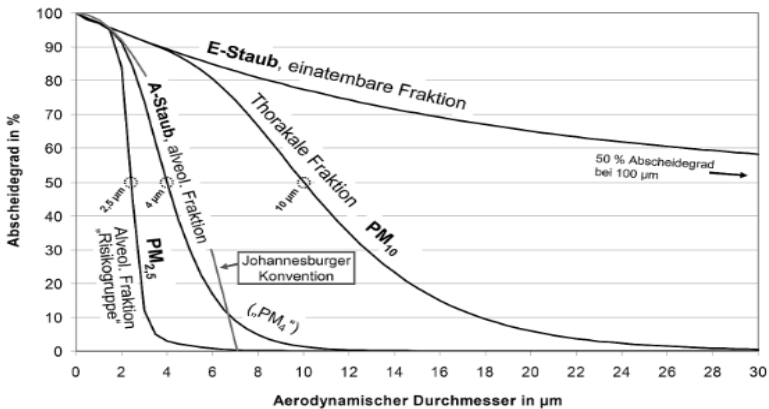


Abbildung 30: Konventionen definierter Staubfraktionen

Höherwertige Verwertung: Ist hier in Anlehnung an das KrWG (2012) „jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis die Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie

entweder andere Materialien ersetzen, die sonst zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder indem die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen”.

Vorbelastung: Der Begriff der Vorbelastung wird beispielsweise in der TA Luft (2002) und TA Lärm (1998) definiert. Hier wird zwischen Vorbelastung, Zusatzbelastung und Gesamtbelastung differenziert. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts wird die Vorbelastung als die vorhandenen Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen definiert, die auf ein Schutzgut einwirken, ohne den Immissionsbeitrag der Abbruchaktivität. Die Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen, die durch die Abbruchaktivitäten hervorgerufen auf ein Schutzgut einwirken, werden als Zusatzbelastung bezeichnet. Und die Gesamtbelastung ist im Rahmen dieses Projekts die Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen, die insgesamt zu einem Zeitpunkt bzw. innerhalb einer bestimmten Zeitspanne auf ein Schutzgut einwirken.

Wiederverwendung: Ist hier in Anlehnung an das KrWG (2012) “jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren”.

Anhang B: Lokale Randbedingungen auf den Abbruchbaustellen

Tabelle 20: Lokale Randbedingungen der Abbruchbaustelle am Standort Brandenburg a.d.H.

Ort	Brandenburg an der Havel		
Gebäude	5-gesch. Wohngebäude in industrieller Bauweise (Plattenbau IW 75 P)		
Durchgeführte Maßnahme	Rückbau	Abbruch	Abbruch
Datum	19.09.2013	10.10.2013	11.10.2013
Zeitraum der Messungen	12:00 – 16:00 Uhr	8:00 – 17:30 Uhr	08:00 – 13:00 Uhr
Lokale Randbedingungen			
Meteorologische Bedingungen			
• Temperatur Ø	12 °C	9,7 °C	13,3 °C
• rel. Luftfeuchte	87,4 %	92,9 %	91,7 %
• Windrichtung	W / NW	keine Vorzugswindrichtung	O/NO
• mittlere Windgeschwindigkeit	-	0,5 m/s ± 0,1 m/s	1,1 m/s ± 0,3 m/s
• Niederschlag	kein	zeitweise Nieselregen	kein
Umgebungsbedingungen			
• Lage / Ausrichtung Gebäude	Längsausrichtung Gebäude N-S, Randlage Wohnkarree		
• Gebietscharakter	5-gesch. Wohnbebauung / offenes Wohnkarree		
• Vegetation	Bäume und Sträucher im Wohnkarree / Straßenbegleitendes Grün		
Material der Rohbaukonstruktion	Stahlbeton / Leichtbeton		
Eingesetzte Maschinen/ Geräte / Anbaugeräte	<ul style="list-style-type: none"> - Mobilkran mit 4 Strang-Kettengänge - 1 Kettenbagger (Fa. Caterpillar) mit Schaufel 	<ul style="list-style-type: none"> - 1 Kettenbagger (Fa. Hitachi) Longfront mit Schaufel (Abbruch) - 2 Kettenbagger (Fa. VOLVO, Caterpillar) mit Schaufel (Kleinabbruch, Planum / Sortieren Abbruchmassen) - 2 Sprenger mit Schlauch zur Staubbinding 	
Durchgeführte Messungen	Lärm	Lärm, Staub, Erschütterungen	

Tabelle 21: Lokale Randbedingungen der Abbruchbaustelle am Standort Köln.

Ort	Köln	
Gebäude	Industriegebäude	
Durchgeführte Maßnahme	Abbruch	Abbruch
Datum	13.11.2013	14.11.2013
Zeitraum der Messungen	8:00 – 17:00 Uhr	08:00 – 14:00 Uhr
Lokale Randbedingungen		
Meteorologische Bedingungen		
• Temperatur Ø		
• rel. Luftfeuchte		
• Windrichtung		
• mittlere Windgeschwindigkeit		
• Niederschlag	kein	kein
Umgebungsbedingungen		
• Lage / Ausrichtung Gebäude	Abbruchfortgang in W-O-Richtung	
• Gebietscharakter	Industrieanlage	
• Vegetation	keine	
Material der Rohbaukonstruktion	a) Stahlbeton (Skelettbauweise) mit Ortbetondecken, b) Massivbauweise in Stahlbeton und z.T. Mauerwerk c) z.T. Stahlträgerkonstruktion	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Eingesetzte Maschinen/ Geräte / Anbaugeräte	<p>Großgeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 Kettenbagger (Fa. Liebherr) R 954 C Longfront 28 m - 1 Kettenbagger (Fa. Liebherr) R 954 C Longfront 36 m - 1 Kettenbagger (Fa. Liebherr) R 934 C - 1 Kettenbagger (Fa. Liebherr) R 944 C - 1 Radlader (Fa. Liebherr) L 542 - 1 Radlader (Fa. Liebherr) L 507 <p>Anbaugeräte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abbruchzangen in 2 versch. Größen - Pulverisierer (Crusher) in 2 versch. Größen - Abbruchhammer in 2 versch. Größen - Hydraulikmagnet (Fa. Egli) <p>Sonstiges</p> <ul style="list-style-type: none"> - C-Schlauch zur Staubbindung
Durchgeführte Messungen	<p>Lärm, Staub, Erschütterungen</p>

Anhang C: Beispielhafter Ablauf der Online-Umfrage für die Experteneinschätzung



Immissionsschutz beim Abbruch

7%

Herzlich Willkommen!

Im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsprojekts 'Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen) beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien aus Gebäudeabbruch' werden unter anderem verschiedene Abbruchtechniken auf ihre lokalen Umwelteinflüsse hin untersucht. Hierbei dienen die Faktoren Lärm, Staub und Erschütterung als Bewertungskriterien.

Um Literaturquellen durch reales Expertenwissen zu ergänzen, würden wir uns sehr freuen, wenn Sie sich an dieser Umfrage beteiligen würden.

Durch Ihre Beteiligung unterstützen Sie die Neuentwicklungen im Bereich Planung und Durchführung von Gebäudeabbruch und -rückbau, die in diesem Projekt erarbeitet werden und die auch in die Praxis übertragen werden sollen. Weiter haben Sie die Möglichkeit, als Betroffene eine Stimme zu erhalten.

Zu weiteren Informationen zum Projekt und bei Fragen zur Umfrage kontaktieren Sie gerne:

Anna Kühlen

Tel.: 449 (0)721 608-44691

E-mail: anna.kuehlen@kit.edu

Link zum Projekt: http://www.ip.kit.edu/773_1715.php

Zielgruppe der Umfrage: insbesondere Abbruchunternehmer und Personen, die mit dem Prozess auf der Baustelle und den Abbruchtechniken vertraut sind.

Voraussichtliche Dauer der Umfrage: 15 Minuten

13%

Bitte stellen Sie uns ein paar Informationen über sich und das Unternehmen für das Sie tätig sind zur Verfügung.

Die Angaben sind absolut freiwillig und werden vertraulich behandelt.

Seit wie vielen Jahren sind Sie in der Abbruchbranche tätig?

Wie viele Mitarbeiter beschäftigt das Unternehmen für das Sie arbeiten?

10 Anhang

20%

Mit welchen der folgenden Abbruchtechniken sind Sie in der Praxis vertraut bzw. welche werden in Ihrem Unternehmen genutzt?

Bitte kreuzen Sie die Techniken an mit denen Sie vertraut sind. Wählen Sie hierbei maximal 5 Techniken aus. (Mehrfachnennung möglich)
Die Angaben beziehen sich auf Technik (Maschine)

<input type="checkbox"/>	Abgreifen (Hydraulikbagger)
<input type="checkbox"/>	Einschlagen (Seilbagger)
<input type="checkbox"/>	Eindrücken (Hydraulikbagger)
<input type="checkbox"/>	Einziehen (Hydraulikbagger)
<input type="checkbox"/>	Reißen (Hydraulikbagger)
<input type="checkbox"/>	Stemmen (Hydraulikbagger)
<input type="checkbox"/>	Pressschneiden (Hydraulikbagger)
<input type="checkbox"/>	Scherschneiden (Hydraulikbagger)
<input type="checkbox"/>	Materialzerkleinerung (Hydraulikbagger)
<input type="checkbox"/>	Materialsortierung (Hydraulikbagger)
<input type="checkbox"/>	Handabbruch (Handwerkzeug)
<input type="checkbox"/>	Demontieren (Kran)
<input type="checkbox"/>	Lockerungspregung (Sprengstoff)
<input type="checkbox"/>	Niederlegungspregung (Sprengstoff)
<input type="checkbox"/>	Spalten (Quellmittel)
<input type="checkbox"/>	Kernbohren (Kernbohrgerät)
<input type="checkbox"/>	Kreis-/Wandsägen (Kreis-/Wandsäge)
<input type="checkbox"/>	Seilsägen (Diamantseilsäge)
<input type="checkbox"/>	Brennschneiden (Schneidbrenner)
<input type="checkbox"/>	Wasserstrahl schneiden (Wasserstrahl Schneidemaschine)
<input type="checkbox"/>	Fräsen (Fräse)
<input type="checkbox"/>	Schleifen (Schleifmaschine)

Welche Großgeräte kommen bei Ihnen im Unternehmen zum Einsatz?

Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden an.

<input type="checkbox"/>	Hydraulikbagger (25-30t) mit Anbaugeräten
<input type="checkbox"/>	Hydraulikbagger (45-65t) mit Anbaugeräten
<input type="checkbox"/>	Hydraulikbagger (85-100t) mit Anbaugeräten
<input type="checkbox"/>	Radlader
<input type="checkbox"/>	Krane
<input type="checkbox"/>	Seilbagger

Welche Anbaugeräte verwenden Sie im Unternehmen?

Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden an.

<input type="checkbox"/>	Abbruchzange
<input type="checkbox"/>	Abbruchstiel
<input type="checkbox"/>	Abbruchhammer
<input type="checkbox"/>	Pulversierer
<input type="checkbox"/>	Großer/Schaukel
<input type="checkbox"/>	Fräse
<input type="checkbox"/>	Stahlkugel
<input type="checkbox"/>	Stahl-/Schrottschere

21%

Wie bewerten Sie die Höhe des Umwelteinflusses Lärm/die Lärmemissionen der folgenden sechs Lärmquellen?

Bitte wählen Sie Ihre Antwort im drop-down Menü aus.

	Lärmemission
Hauptverkehrsstraße/Autobahn	weiß nicht <input type="checkbox"/>
Radio/Fernseher in Zimmerlautstärke	weiß nicht <input type="checkbox"/>
Düsenflugzeug	weiß nicht <input type="checkbox"/>
Kreissäge	weiß nicht <input type="checkbox"/>
Diskotheek	weiß nicht <input type="checkbox"/>
Presslufthammer	weiß nicht <input type="checkbox"/>

Anhang C: Beispielhafter Ablauf der Online-Umfrage für die Experteneinschätzung

33%

Wie bewerten Sie die Höhe der Staubkonzentration in der Luft in unmittelbarer Nähe beim Abwurf der folgenden fünf Schüttgüter/Stoffe?

Bitte wählen Sie Ihre Antwort im drop-down Menü aus.

		Staubemission	
Gemahlener Zement	weiß nicht		▼
Schotter	weiß nicht		▼
Mehl	weiß nicht		▼
Pellets	weiß nicht		▼
Nasser Sand	weiß nicht		▼

40%

Wie bewerten Sie die Höhe des Umwelteinflusses Erschütterungen/die Erschütterungsemissionen in etwa 5 Meter Entfernung der folgenden zwei Erschütterungsquellen?

Bitte wählen Sie Ihre Antwort im drop-down Menü aus.

		Erschütterungsemissionen	
Fallende Masse von 1 Tonne aus 15 m Höhe	weiß nicht		▼
Stemmen am Fundament	weiß nicht		▼

47%

Beim Abbruch von Gebäuden aus unterschiedlichen Materialien kommt es mit den von Ihnen ausgewählten Techniken zu verschiedenen Umwelteinflüssen, wie Lärm, Staub und Erschütterungen. Im Folgenden möchten wir wissen, wie hoch nach Ihrer Einschätzung die Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen der Abbruchtechniken angewandt auf die unterschiedlichen Materialien sind.

53%

Wie bewerten Sie die Abbruchtechniken hinsichtlich des Umwelteinflusses "Lärm" bezogen auf die Materialgruppe "Mauerwerk"?

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
nicht störend
teilweise störend
störend
schmerzhaft störend
ungeeignet

	Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼

Wie bewerten Sie die Abbruchtechniken hinsichtlich des Umwelteinflusses "Lärm" bezogen auf die Materialgruppe "Beton"?

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
nicht störend
teilweise störend
störend
schmerzhaft störend
ungeeignet

	Ortbeton (bewehrt)	unbewehrter Beton
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼

10 Anhang

Wie bewerten Sie die Abbruchtechniken hinsichtlich des Umwelteinflusses "Lärm" bezogen auf die Materialien "Holz und Stahl"?

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
 nicht störend
 teilweise störend
 störend
 schmerzhaft störend
 ungeeignet

	Holz		Stahl	
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼

Wie hoch ist der eventuelle Einfluss der Abbruchhöhe* auf die Lärmemission?

*Abbruchhöhe = Höhe über Geländeoberkante (GOK) in der sich das abzubrechende Bauteil befindet

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
 kein Einfluss (d.h. Einfluss bleibt gleich auch bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)
 gering (d.h. Erhöhung des Einflusses um das etwa 1,5fache bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)
 mittel (d.h. Verdopplung des Einflusses/der Emissionen bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)
 hoch (d.h. Verdreifachung des Einflusses oder mehr bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)
 Verringerung des Einflusses (d.h. Verringerung des Einflusses bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)

	Höheneinfluss	
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	▼
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	▼
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht	▼

60%

Wie bewerten Sie die Abbruchtechniken hinsichtlich des Umwelteinflusses "Staub" bezogen auf die Materialgruppe "Mauerwerk"?

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
 nicht störend
 teilweise störend
 störend
 sehr störend
 ungeeignet

	Naturstein		Ziegel		Kalksandstein		Porenbeton		Betonstein	
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼

Wie bewerten Sie die Abbruchtechniken hinsichtlich des Umwelteinflusses "Staub" bezogen auf die Materialgruppe "Beton"?

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
 nicht störend
 teilweise störend
 störend
 sehr störend
 ungeeignet

	Ortbeton (bewehrt)		unbewehrter Beton	
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht	▼	weiß nicht	▼

Anhang C: Beispielhafter Ablauf der Online-Umfrage für die Experteneinschätzung

Wie bewerten Sie die Abbruchtechniken hinsichtlich des Umwelteinflusses "Staub" bezogen auf die Materialien "Holz und Stahl"?

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
nicht störend
teilweise störend
störend
sehr störend
ungeeignet

	Holz	Stahl
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht	weiß nicht

Wie hoch ist der eventuelle Einfluss der Abbruchhöhe* auf die Staubemission?

*Abbruchhöhe = Höhe über Geländeoberkante (GOK) in der sich das abzubrechende Bauteil befindet

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
kein Einfluss (d.h. Einfluss bleibt gleich auch bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)
gering (d.h. Erhöhung des Einflusses um das etwa 1,5fache bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)
mittel (d.h. Verdopplung des Einflusses/der Emissionen bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)
hoch (d.h. Verdreifung des Einflusses oder mehr bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)
Verringerung des Einflusses (d.h. Verringerung des Einflusses bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)

	Höheneinfluss
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht

67%

Wie bewerten Sie die Abbruchtechniken hinsichtlich des Umwelteinflusses "Erschütterung" bezogen auf die Materialgruppe "Mauerwerk"?

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
nicht störend
teilweise störend
störend
sehr störend
ungeeignet

	Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht

Wie bewerten Sie die Abbruchtechniken hinsichtlich des Umwelteinflusses "Erschütterung" bezogen auf die Materialgruppe "Beton"?

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
nicht störend
teilweise störend
störend
sehr störend
ungeeignet

	Ortbeton (bewehrt)	unbewehrter Beton
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht	weiß nicht

10 Anhang

Wie bewerten Sie die Abbruchtechniken hinsichtlich des Umwelteinflusses "Erschütterung" bezogen auf die Materialien "Holz und Stahl"?

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
 nicht störend
 teilweise störend
 störend
 sehr störend
 ungeeignet

	Holz	Stahl
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht	weiß nicht

Wie hoch ist der eventuelle Einfluss der Abbruchhöhe* auf die Erschütterungsemission?

*Abbruchhöhe = Höhe über Geländeoberkante (GOK) in der sich das abzubrechende Bauteil befindet

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
 keine Einfluss (d.h. Einfluss bleibt gleich auch bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)
 gering (d.h. Erhöhung des Einflusses um das etwa 1,5fache bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)
 mittel (d.h. Verdopplung des Einflusses/der Emissionen bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)
 hoch (d.h. Verdreifachung des Einflusses oder mehr bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)
 Verringerung des Einflusses (d.h. Verringerung des Einflusses bei einer Abbruchhöhe von 15-20 Meter über GOK)

	Höheneinfluss
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht

73%

Welche Emissionen spielen die größte Rolle für ihr Unternehmen bzw. sind kritisch und daher sind diesbezüglich die meisten Gegenmaßnahmen erforderlich?

Bitte geben Sie die Verteilung im Verhältnis (in Prozent) zueinander an.

Lärm	<input type="text" value="0"/>
Staub	<input type="text" value="0"/>
Erschütterung	<input type="text" value="0"/>
Total	<input type="text" value="0"/>

Welche Gegen-/Schutzmaßnahmen setzen Sie häufig ein?

Bitte schreiben Sie Ihre Anmerkungen in das Textfeld.

Welche beim Abbruch wichtigen Verfahren, Materialien oder zusätzliche Einflussfaktoren haben wir Ihrer Meinung nach nicht in diesem Fragebogen berücksichtigt?

Bitte schreiben Sie Ihre Anmerkungen in das Textfeld.

Anhang C: Beispielhafter Ablauf der Online-Umfrage für die Experteneinschätzung

80%

Wie beurteilen Sie den durchschnittlich notwendigen "Nachsortierungsaufwand" der verschiedenen Abbruchtechniken bei "Mauerwerk"?

Bitte beachten Sie, dass vor dem Hintergrund einer guten Recyclingfähigkeit der Materialien angenommen wird, dass das Abbruchmaterial nach Abschluss des Sortiervorgangs eine bestimmte Materialqualität (95-98% reiner Bauschutt) aufweist und im Bauschutt nur 2-5% Fremdstoffe, wie Holz, Kunststoff und Dämmmaterialien, enthalten sind.

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
kein Aufwand
geringer Aufwand (< 5min/m³)
hoher Aufwand (5 bis 10 min/m³)
sehr hoher Aufwand (>10 min/m³)
ungeeignet

	Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼

Wie beurteilen Sie den durchschnittlich notwendigen "Nachsortierungsaufwand" der verschiedenen Abbruchtechniken bei "Beton"?

Bitte beachten Sie, dass vor dem Hintergrund einer guten Recyclingfähigkeit der Materialien angenommen wird, dass das Abbruchmaterial nach Abschluss des Sortiervorgangs eine bestimmte Materialqualität (95-98% reiner Bauschutt) aufweist und im Bauschutt nur 2-5% Fremdstoffe, wie Holz, Kunststoff und Dämmmaterialien, enthalten sind.

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
kein Aufwand
geringer Aufwand (< 5min/m³)
hoher Aufwand (5 bis 10 min/m³)
sehr hoher Aufwand (>10 min/m³)
ungeeignet

	Ortbeton (bewehrt)	unbewehrter Beton
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼

Wie beurteilen Sie den durchschnittlich notwendigen "Nachsortierungsaufwand" der verschiedenen Abbruchtechniken bei den Materialien "Holz und Stahl"?

Bitte beachten Sie, dass vor dem Hintergrund einer guten Recyclingfähigkeit der Materialien angenommen wird, dass das Abbruchmaterial nach Abschluss des Sortiervorgangs eine bestimmte Materialqualität (95-98% reiner Bauschutt) aufweist und im Bauschutt nur 2-5% Fremdstoffe, wie Holz, Kunststoff und Dämmmaterialien, enthalten sind.

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

weiß nicht
kein Aufwand
geringer Aufwand (< 5min/m³)
hoher Aufwand (5 bis 10 min/m³)
sehr hoher Aufwand (>10 min/m³)
ungeeignet

	Holz	Stahl
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht ▼	weiß nicht ▼

10 Anhang

87%

Wie beurteilen Sie den durchschnittlich verbleibenden "Materialzerkleinerungsaufwand" (Minuten Nachbearbeitungszeit pro m³-Bauschutt) vor Ort auf der Baustelle nach Anwendung der verschiedenen Abbruchtechniken bei "Mauerwerk"?

Bitte beachten Sie, dass vor dem Hintergrund einer guten Recyclingfähigkeit der Materialien angenommen wird, dass die Abbruchstücke nach Abschluss des Zerkleinerungsvorgangs vor Ort an der Baustelle eine bestimmte Größe (ca. 80x80cm) haben.

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

- weiß nicht
- kein Aufwand
- geringer Aufwand (< 5min/m³)
- hoher Aufwand (5 bis 10 min/m³)
- sehr hoher Aufwand (>10 min/m³)
- ungeeignet

	Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht	weiß nicht

Wie beurteilen Sie den durchschnittlich verbleibenden "Materialzerkleinerungsaufwand" (Minuten Nachbearbeitungszeit pro m³-Bauschutt) vor Ort auf der Baustelle nach Anwendung der verschiedenen Abbruchtechniken bei "Beton"?

Bitte beachten Sie, dass vor dem Hintergrund einer guten Recyclingfähigkeit der Materialien angenommen wird, dass die Abbruchstücke nach Abschluss des Zerkleinerungsvorgangs vor Ort an der Baustelle eine bestimmte Größe (ca. 80x80cm) haben.

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

- weiß nicht
- kein Aufwand
- geringer Aufwand (< 5min/m³)
- hoher Aufwand (5 bis 10 min/m³)
- sehr hoher Aufwand (>10 min/m³)
- ungeeignet

	Ortbeton (bewehrt)	unbewehrter Beton
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht	weiß nicht

Wie beurteilen Sie den durchschnittlich verbleibenden "Materialzerkleinerungsaufwand" (Minuten Nachbearbeitungszeit pro m³-Bauschutt) vor Ort auf der Baustelle nach Anwendung der verschiedenen Abbruchtechniken bei "Holz und Stahl"?

Bitte beachten Sie, dass vor dem Hintergrund einer guten Recyclingfähigkeit der Materialien angenommen wird, dass die Abbruchstücke nach Abschluss des Zerkleinerungsvorgangs vor Ort an der Baustelle eine bestimmte Größe (ca. 80x80cm) haben.

Bitte wählen Sie mittels des drop-down Menüs ihre Bewertung aus.

Als Wahlmöglichkeiten stehen Ihnen diese Bewertungskategorien zur Verfügung:

- weiß nicht
- kein Aufwand
- geringer Aufwand (< 5min/m³)
- hoher Aufwand (5 bis 10 min/m³)
- sehr hoher Aufwand (>10 min/m³)
- ungeeignet

	Holz	Stahl
Einziehen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht
Stemmen (Hydraulikbagger)	weiß nicht	weiß nicht
Handabbruch (Handwerkzeug)	weiß nicht	weiß nicht

Anhang C: Beispielhafter Ablauf der Online-Umfrage für die Experteneinschätzung

93%

Bitte stellen Sie uns Kontaktinformationen zu Ihnen und Ihrem Unternehmen zur Verfügung damit wir Sie bei eventuellen Nachfragen zu bestimmten Teilen des Fragebogens kontaktieren können.

Diese Angaben sind vollkommen freiwillig und werden vertraulich behandelt.

Bitte schreiben Sie Ihre Kontaktinformation in das Textfeld.

100%

Ihre Antworten wurden uns erfolgreich übermittelt. Vielen Dank für Ihre Beteiligung an diesem Fragebogen!

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an:

Anna Kühlen

Tel.: +49 (0)721 608-44691

E-mail: anna.kuehlen@kit.edu

Informationen zum Projekt: http://www.lip.kit.edu/773_1715.php

Anhang D: Informationen zu den Abbruchvorhaben und zur Messsituation und Auswertungen der Messungen

D.1. Komplettabbruch Wohngebäude (Stahlbeton-Plattenbau, entkernt)

Vom 10.10. bis zum 11.10.2013 wurden Messungen von Lärm, Staub und Erschütterungen begleitend beim Abbruch eines Plattenbaus in Brandenburg an der Havel durchgeführt. Als Abbruchgeräte kamen die in Tabelle 22 gelisteten Trägermaschinen mit Tieflöffelaufsatz zum Einsatz.

Tabelle 22: Übersicht über die eingesetzten Trägermaschinen

Trägermaschinen		
#	1	2
Typ	HITACHI ZAXIS 470 LCH mit Longfront-Ausleger ca. 10 m (LF)	VOLVO EC 210 CL
Baujahr*:	2006	k.A.
Nennleistung Motor*:	260 kW	110 kW
Betriebsgewicht*:	k.A.	21.900 kg
Dienstgewicht*:	48.100 kg	k.A.
Schallleistungspegel LwA, nach ISO 6395 und 2000/14/EG	107 dB(A)	102 dB(A)
* gemäß Herstellerangaben		

Die Abbrucharbeiten erfolgten in der Regel von oben nach unten, geschossweise. Die während der 2 Messtage durchgeführten Abbrucharbeiten lassen begrenzt Einzelereignisbetrachtungen durch die Identifikation von dominanten Ereignissen zu, die in Tabelle 23 zeitlich, mit Nummer und Kurzbezeichnung angegeben sind.

Tabelle 23: Dominante Ereignisse der Abbruchbaustelle in Brandenburg

Dominante Ereignisse				Datum	Zeit		
					Anfang	Ende	Einwirkzeit
Nr.	Trägermaschine #	Anbaugerät	Vorgang		hh:mm:ss	hh:mm:ss	hh:mm:ss
1	1	Tief- löffel	Einschlagen von Fertigteilen*	10.10.2013	11:42:00	11:44:00	00:02:00
2	2	Tief- löffel	Einschlagen von Fertigteilen*	10.10.2013	12:15:00	12:25:00	00:10:00
3	1	Tief- löffel	Einschlagen, Reißen von Fertigteilen*	10.10.2013	13:42:00	13:54:00	00:12:00
4	1	Tief- löffel	Einziehen von Fertigteilen*	10.10.2013	13:57:00	14:00:00	00:03:00
5	1	Tief- löffel	Einziehen, Eindrücken von Fertigteilen*	10.10.2013	14:02:00	14:02:36	00:00:36
6	1	Tief- löffel	Einziehen von Fertigteilen*	10.10.2013	14:17:00	14:17:46	00:00:46
7	1	Tief- löffel	Herunter- fallen von Fertigteilen*	10.10.2013	14:18:00	14:18:54	00:00:54
8	1	Tief- löffel	Einreißen von Fertigteilen*	10.10.2013	15:16:00	15:16:24	00:00:24
9		Tief- löffel	Einschlagen, Reißen von Fertigteilen*	10.10.2013	15:27:00	15:37:00	00:10:00

Fortsetzung auf der nächsten Seite

10	1	Tief- löffel	Einschlagen von Fertigteilen*	10.10.2013	15:37:00	15:47:00	00:10:00
11	1	Tief- löffel	Einziehen von Fertigteilen*	11.10.2013	08:39:00	08:40:00	00:01:00
12	1	Tief- löffel	Eindrücken von Fertigteilen*	11.10.2013	08:41:00	08:42:00	00:01:00
13	1	Tief- löffel	Einziehen von Fertigteilen*	11.10.2013	08:48:00	08:49:00	00:01:00
14	1	Tief- löffel	Einschlagen von Fertigteilen*	11.10.2013	09:01:00	09:02:00	00:01:00
15	1	Tief- löffel	Herunter- fallen von Fertigteilen*	11.10.2013	10:44:00	10:45:00	00:01:00
16	1	Tief- löffel	Einschlagen, Reißen von Fertigteilen*	11.10.2013	10:47:00	10:48:00	00:01:00
17	1	Tief- löffel	Einschlagen, Reißen von Fertigteilen*	11.10.2013	11:21:00	11:23:00	00:02:00
18	1	Tief- löffel	Einschlagen von Fertigteilen*	11.10.2013	11:24:00	11:25:00	00:01:00
19	1	Tief- löffel	Reißen von Fertigteilen*	11.10.2013	11:27:00	11:28:00	00:01:00

*Die Fertigteile haben einen Schichtenaufbau: Wetterschale aus Stahlbeton (9 cm) bekiest, Porenbeton (18,5 cm), Innenputz (1,5 cm)

Für die Erfassung von Immissionen von denen auf die Emissionen rückgeschlossen wird, wurden bei dem Abbruchvorhaben die in Tabelle 24 gelisteten Messgeräte eingesetzt.

Tabelle 24: Messgeräte beim Abbruchvorhaben in Brandenburg an der Havel

Schall		Staub		Erschütterungen	
Typ	Anzahl	Typ	Anzahl	Typ	Anzahl
Klasse 1 Messgerät	1	Laseroptische Aerosol- spektrometer	2	8-kanaliges Schwingungs- messgerät	1
Klasse 2 Messgeräte	6	Geräte zur gravimetrischen Staubmessung	2		

Die begrenzten Einzelereignisbetrachtungen spiegeln sich auch in den ermittelten Emissionswerten der dominanten Ereignisse wieder, die im Vergleich meist sehr nah beieinander liegen (Tabelle 25). Im Folgenden wird das Abbruchvorhaben generell hinsichtlich der einzelnen Emissionen Lärm, Staub und Erschütterungen betrachtet.

Tabelle 25: Ermittelte Emissionsgrößen

t	Ermittelte Emissionsgrößen							
	Schall	Staub	Erschütterungen					
	gemittelter A-be-werteter Schall-leistungs-pegel (in dB(A))	Mittelwert der Partikel-massen-konzentration von Gesamtstaub bis zu einer Größe der Staubpartikel von 20µm (in µg/m3)	Schwinggeschwindigkeit v_{max} in der jeweiligen Wirkrichtung (x,y,z) (in mm/s)			Frequenz F (Frequenzanalyse in Terzbändern) mit der höchsten Schwingstärke der jeweiligen Wirkrichtung (in HZ)		
			LW _{Aeq}	v_x	v_y	v_z	F _x	F _y
1	107,3	84,65	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
2	102,1	9,66	2,875	1,194	2,358	12,5	12,5	12,5
3	112,9	93,92	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
4	111,8	6,13	3,429	2,088	2,626	nicht vor-handen	nicht vor-handen	nicht vor-handen
5	112,1	6,95	2,106	1,258	1,839	12,5	12,5	12,5
6	113,2	101,71	1,928	1,350	1,671	nicht vorhanden	10	12,5
7	113,5	6,78	1,980	1,350	2,048	12,5	12,5	12,5
8	102,2	6,91	0,966	1,733	2,015	16	16	16
9	105,1	5,48	4,214	2,437	4,647	16	nicht vorhanden	20

Fortsetzung auf der nächsten Seite

10	107,5	6,64	4,163	1,964	3,548	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden
11	102,2	2421,35	1,929	1,479	2,652	12,5	12,5	nicht vorhanden
12	100,5	1179,35	1,300	1,153	1,279	12,5	16	nicht vorhanden
13	103,2	10,74	3,256	2,395	4,044	10	nicht vorhanden	10
14	106,2	195,63	0,611	0,622	0,781	10	12,5	10
15	103,6	1633,94	3,695	3,092	3,870	20	25	20
16	103,9	2789,52	1,244	1,436	1,978	16	16	20
17	101,6	1172,62	1,655	1,710	1,776	10	10	12,5
18	103,5	2421,35	0,591	0,598	0,679	12,5	10	nicht vorhanden
19	100,8	1179,35	0,868	1,165	0,869	10	10	10

Die Auswertung zeigt, dass die durch die Abbruchvorgänge entstehenden Lärmemissionen, die maschineneigenen Schalleistungspegel (siehe Tabelle 22) in der Regel nicht übersteigen. Somit sind die Emissionen, die durch die eingesetzte Maschine verursacht werden, maßgebend, da der Summenschallpegel von zwei unterschiedlich hohen Schallquellen gleich dem Schallpegel der lauterer Quelle ist. Die ermittelten Lärmemissionen durch die Abbruchvorgänge liegen zwischen 100 und 110 dB(A) und können als störend/hohe Emission (Kategorie 3) eingestuft werden.

Im Gegensatz zum relativ gut möglichen Rückschluss von den gemessenen Lärmmissionen auf die Emissionen erfordert die Rückrechnung auf die Staub- und Erschütterungsemissionen viele Annahmen und die ermittelten

Emissionen können mit entsprechenden Fehlern behaftet sein. Die in Tabelle 25 aufgeführten Emissionsgrößen sind daher als grobe Näherung zu verstehen.

Zur Bestimmung der Staubemissionen, wurde sich wie im Kapitel 5.3.4. der Luv-und-Lee-Messung bedient, wobei die Emission als Delta zwischen den gemessenen Staubkonzentrationen in der Luft im Luv und Lee bestimmt wird. Die Höhe der Staubkonzentration in der Luft wird jedoch sehr stark von der Windgeschwindigkeit und -richtung, der Luftfeuchte und Niederschlag beeinflusst, was sich auch bei dem vorliegenden Abbruchvorhaben gezeigt hat. Denn trotz ähnlicher Abbruchvorhaben fielen die gemessenen Staubkonzentrationen in der Luft für beide Messtage sehr unterschiedlich aus. Am 1. Messtag (10.10.2013) waren die Wetterbedingungen, mit geringen Windgeschwindigkeiten (mittlere Windgeschwindigkeit: $0,5 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$; Abbildung 31), ständig wechselnder Windrichtung (Abbildung 32), hoher relativer Luftfeuchtigkeit (92,9 %) und viel Niederschlag sehr ungünstig für die Staubmessungen und die gemessenen Staubkonzentrationen waren sehr gering. Am 2. Messtag (11.10.2013) herrschten bessere Wetterbedingungen für die Staubmessungen, insbesondere gab es kein Niederschlag und der Wind wehte mit $1,1 \text{ m/s} \pm 0,3 \text{ m/s}$ stetig in eine Richtung (Abbildung 31, Abbildung 32). Hier konnten relative hohe Staubkonzentrationen gemessen werden.

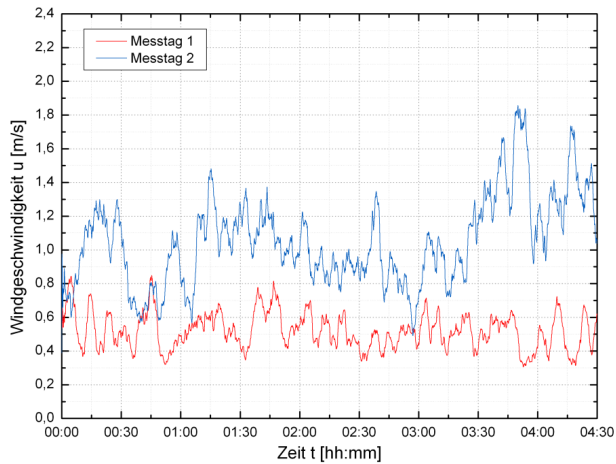


Abbildung 31: Windgeschwindigkeiten am 1. und 2. Messtag (ILK Dresden (2013))

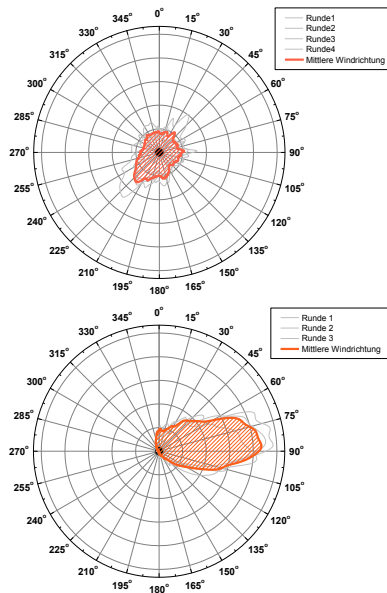


Abbildung 32: Windrichtungen am 1. (links) und 2. (rechts) Messtag (ILK Dresden (2013))

Wie in Tabelle 25 aufgeführt, wurden für den 2. Messtag hohe Staubemissionen ermittelt und die hier durchgeführten Abbruchvorgänge können als Vorgänge mit hohen Staubemissionen (Kategorie 3) eingestuft werden. Daher sind bei diesen Abbruchvorgängen vorbeugende Maßnahmen vor und während des Abbruchs für die zu erwartenden Staubemissionen und –immissionen von Bedeutung.

Entscheidende unbekannte Größen beim Rückschluss auf Erschütterungsemissionen von Messwerten sind die Ausbreitung im und Dämpfung durch den Baugrund (resp. spezifische Ausbreitungsmedien). Den Größenbereich dieser Unbekannten durch die Ermittlung einer Übertragungsfunktion des Bodens durch Messungen einzugrenzen war bei dem Abbruchvorhaben nicht möglich, da man aus Sicherheitsgründen keine Messpunkte in unmittelbarer Nähe der Erschütterungsquelle positionieren konnte. Das Spektrum (Frequenzanalyse, Frequenz in HZ) der jeweiligen Quelle sowie die Intensität (mm/s) und Dauer (min) der Erschütterungen sind von Bedeutung für die Einwirkung auf die lokale Umwelt des Abbruchobjekts, umstehende Gebäuden und Menschen. Die Näherungswerte der Intensität der durch die Abbruchvorgänge verursachten Erschütterungen liegen aus Sicht der menschlichen Wahrnehmung häufig im „stark spürbaren“ Bereich (1,6 – 6,3 mm/s: Kategorie 3) und zum Teil auch nur im „gut spürbaren“ Bereich (0,4-1,6 mm/s: Kategorie 2) (IFF (2014); Müller-Boruttau (2005)). Wobei die maßgebenden Wirkrichtungen der ermittelten Erschütterungen die z-(vertikal zur Erdoberfläche) und x-Richtung (horizontal zur Erdoberfläche und hier parallel zur Stirnseite des Abbruchgebäudes) sind. Bei einer Frequenzanalyse in Terzbändern liegt die Frequenz mit der höchsten Schwingstärke der jeweiligen Wirkrichtung in der Regel um die 10 HZ bzw. unter 20 HZ. Allgemein liegt das Spektrum der durch die Abbruchvorgänge verursachten Erschütterungen im niedrigen Frequenzbereich (1 – 80 Hz). Dieser niedrige Frequenzbereich kann umstehende Gebäude in seiner Eigenfrequenz (Resonanz) anregen und somit Gebäudeschäden verursachen (DIN 4150, Teil 3). Zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen auf Gebäude, legt die DIN 4150-3 abhängig vom Frequenzbereich, der Einwirkdauer und dem Typ des

angrenzenden Gebäudes Anhaltwerte für die Höhe der Schwinggeschwindigkeit fest. Die hier ermittelten Schwinggeschwindigkeiten können jedoch nicht mit diesen Anhaltwerten verglichen werden, da in Abhängigkeit von der spezifischen Resonanz des Gebäudes und der Erschütterungsdauer die anfängliche Schwinggeschwindigkeit sehr verstärkt werden kann und verstärkt auch auf das Gebäude einwirkt. Für die Bewertung der Vorgänge und Techniken wird daher die menschliche Wahrnehmung herangezogen, die auch der Sichtweise der Experteneinschätzungen entspricht.

D.2. Abbruch einer Industrieanlage (Stahlbetonbau, entkernt)

Im Zeitraum vom 13.11. bis 14.11.2013 wurden Messungen während des Abbruchs einer Industrieanlage aus Stahlbeton in Köln mit den in Tabelle 26 aufgeführten Trägermaschinen durchgeführt.

Tabelle 26: Übersicht über die eingesetzten Trägermaschinen

Trägermaschinen				
#	1	2	3	4
Typ	LIEBHERR R 934 C HDS	LIEBHERR R 944 C LC Litronic®	LIEBHERR R 954 C V-HDW Litronic® mit Longfront- Ausleger 28 m (LF)	LIEBHERR R 954 C VH- HD ABB Litronic® mit Longfront- Ausleger 36m (LF) (mit breiterem Laufwerk / Unterwagen vom Typ R 974)

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Baujahr*:	2008	2012	2007	2013
Nennleistung Motor*:	150 kW	190 kW	240 kW	240 kW
Betriebsgewicht*:	k.A.	39.900 kg	k.A.	85.800 kg
Dienstgewicht*:	ca. 32.300 kg	44.900 kg	73.100 kg	k.A.
Schalleistungspegel LwA, nach ISO 6395 und 2000/14/EG	106 dB(A)	106 dB(A)	109 dB(A) (R 954 B)	109 dB(A) (R 954 B)
Gewicht Anbaugerät (inkl. Schnellwechsel- adapter, Adapterplatte, Anbauwerkzeug)*	1,25 t bis 2,50 t	1,25 t bis 2,50 t	1,25 t bis 2,25 t	2,00 t bis 3,00 t
* gemäß Herstellerangaben LIEBHERR Datenblätter				

Die Abbrucharbeiten erfolgten von oben nach unten, geschossweise. Die einzelnen Abbruchvorgänge sind wie gemessen und ausgewertet als Einzelereignisse in Tabelle 27 zeitlich, mit Nummer und Kurzbezeichnung angegeben. Wie in Tabelle 27 dargestellt, wurden zur Durchführung der Abbruchvorgänge verschiedene Anbaugeräte, auf das jeweilige Trägergerät montiert.

Tabelle 27: Einzelereignisse der Abbruchbaustelle in Köln

Einzelereignis				Datum	Zeit		
					Anfang	Ende	Einwirkzeit
#	Träger- maschine #	Anbaugerät	Vorgang		hh:mm:ss	hh:mm:ss	hh:mm:ss
1	3	Abbruch- zange	Press- schneiden	13.11.2013	11:48:00	11:50:45	00:02:45
2	1	Magnet	Material- sortieren und Verladen	13.11.2013	11:56:30	12:06:00	00:09:30
3	3	Abbruch- zange	Press- schneiden von Stahlbeton	13.11.2013	12:18:00	12:28:00	00:10:00
4	2	Abbruch- zange	Press- schneiden von Stahlbeton	13.11.2013	13:23:15	13:29:30	00:06:15
5	2	Hydraulik- hammer	Stemmen von Stahlbeton	13.11.2013	13:38:00	13:45:00	00:07:00
6	3	Abbruch- zange	Press- schneiden von Stahlbeton	13.11.2013	13:58:30	14:02:00	00:03:30
7	1	Pulver-iserier	Zerkleinerung von Stahlbeton	13.11.2013	14:11:00	14:15:00	00:04:00
8	3	Abbruch- zange	Press- schneiden von Stahlbeton	13.11.2013	14:17:00	14:24:15	00:07:15
9	4	Hydraulik- hammer	Stemmen von Stahlbeton	13.11.2013	14:30:00	15:25:00	00:55:00
10	2	Abbruch- /Sortier- greifer	Abgreifen und Verladen von Stahl	13.11.2013	15:35:45	15:39:00	00:03:15
11	2	Hydraulik- hammer	Stemmen von Stahlbeton	14.11.2013	10:10:00	10:14:30	00:04:30
12	4	Hydraulikha- mmer	Stemmen von Stahlbeton	14.11.2013	10:19:08	10:23:30	00:04:22
13	1	Pulver-iserier	Zer- kleinerung von Stahlbeton	14.11.2013	10:26:30	10:30:30	00:04:00
14	1	Abbruch- /Sortier- greifer	Abgreifen und Verladen von Stahl	14.11.2013	10:38:00	10:45:30	00:07:30
15	3	Hydraulik- hammer	Stemmen von Stahlbeton	14.11.2013	11:05:37	11:21:19	00:15:42

Für die Erfassung von Immissionen von denen auf die Emissionen rückgeschlossen wird, wurden bei dem Abbruchvorhaben die in Tabelle 28 gelisteten Messgeräte eingesetzt.

Tabelle 28: Messgeräte beim Abbruchvorhaben in Köln

Schall		Staub		Erschütterungen	
Typ	Anzahl	Typ	Anzahl	Typ	Anzahl
Klasse 1 Messgeräte	3	Laseroptische Aerosol-spektrometer	4	8-kanalige Schwingungs-messgeräte	2

Tabelle 29 enthält die ermittelten Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen je Einzelereignis.

Tabelle 29: Ermittelte Emissionsgrößen

Einzelereignis #	Ermittelte Emissionsgrößen									
	Schall	Staub			Erschütterungen					
	Gemittelter A-bewerteter Schallleistungspegel (in dB(A))	Mittelwert der Partikelmassenkonzentration (in µg/m ³)			Schwinggeschwindigkeit v _{max} in der jeweiligen Wirkrichtung (x,y,z) (in mm/s)			Frequenz F (Frequenzanalyse in Terzbändern) mit der höchsten Schwingstärke der jeweiligen Wirkrichtung (in HZ)		
	LWAeq	PM10	PM2,5	PM1	v _x	v _y	v _z	F _x	F _y	F _z
1	116,3	43,21	29,65	21,84	0,218	0,305	0,389	4	10	4
2	113,3	66,65	22,40	16,51	0,075	0,164	0,152	12,5	12,5	5

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Anhang D: Informationen zu den Abbruchvorhaben und zur Messsituation...

3	111,1	2238,38	75,32	37,51	0,472	0,454	0,984	4	12,5	4
4	111,1	233,13	26,98	18,26	0,204	0,325	0,475	nicht vorhanden	10	6,3
5	124,5	51,65	21,83	15,28	0,374	0,43	0,348	25	25	16
6	113,3	191,01	28,05	20,54	0,442	0,485	0,459	5	nicht vorhanden	5
7	107,9	69,69	9,33	12,08	0,036	0,059	0,071	8	16	5
8	110,4	60,60	40,99	24,58	0,212	0,292	0,566	4	5	5
9	keine Messwerte	keine Messwerte	keine Messwerte	keine Messwerte	0,792	1,346	1,403	12,5	25	12,5
10	119,7	44,56	29,78	19,26	0,163	0,757	0,242	16	nicht vorhanden	5
11	119,7	17,08	11,62	9,44	0,699	0,956	1,532	nicht vorhanden	16	10
12	122,8	12,73	9,67	8,72	1,816	2,338	1,71	nicht vorhanden	25	10
13	113,8	22,70	15,58	8,49	0,129	0,178	0,442	4	8	16
14	114,2	15,43	11,63	9,20	0,096	0,173	0,573	6,3	6,3	6,3
15	121,1	15,92	12,46	10,14	0,912	1,123	2,945	10	10	10

Die Auswertung zeigt, dass die durch die Abbruchvorgänge entstehenden Lärmemissionen, die maschineneigenen Schallleistungspegel (siehe Tabelle 26) übersteigen. Somit sind die Emissionen, die durch die Abbruchtechnik verursacht werden, maßgebend. Es werden sehr hohe Lärmemissionen durch die einzelnen Abbruchvorgänge verursacht, die mit in der Regel > 110 dB(A)

als „schmerzhaft“/sehr starke Emissionen (Kategorie 4) eingestuft werden können, wenn sie in Höhe der hier ermittelten Emissionen als Immission, d.h. direkt (in etwa 1 Meter Entfernung), auf den Menschen einwirken (Wikipedia-1 (2014)). Der Abbruchvorgang „Stemmen von Stahlbeton“ verursacht mit durchschnittlich 122 db(A) die höchsten Emissionen bei diesem Abbruchvorhaben.

Wie oben erwähnt, erfordert die Rückrechnung auf die Staub- und Erschütterungsemissionen auch bei diesem Abbruchvorhaben viele Annahmen, die ermittelten Emissionen können mit entsprechenden Fehlern behaftet sein und die in Tabelle 29 aufgeführten Emissionsgrößen sind daher als grobe Näherung zu verstehen.

Die Höhe der Staubemissionen und –immissionen werden entscheidend durch die Wetterbedingungen beeinflussen. An beiden Messtagen gab es keinen Niederschlag. Am 1. Messtag war die Windgeschwindigkeiten gering (größtenteils unter 0,3 m/s) mit daher unbestimmbarer Windrichtung (keine Abbildungen vorhanden). Am 2. Messtag wehte der Wind mit ca. 1,3 m/s stetig in eine Richtung. Bei allen hier durchgeführten Abbruchvorgängen treten Emissionen des für den Menschen gesundheitsgefährlichen Feinstaubes auf (UBA (2014)). Die Auswertung zeigt, dass im Verhältnis die Emissionen bei den Abbruchtechniken „Pressschneiden“ und „Materialzerkleinern“ am höchsten sind und „Stemmen von Stahlbeton“ weniger Feinstaub verursacht. Der Vergleich mit vorhandenen europaweit geltenden zulässigen Jahresmittelwerten für PM10 (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und PM2,5 (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und dem Tagesgrenzwert für PM10 (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), der nicht öfter als 35mal im Jahr überschritten werden darf, (UBA (2014)) zeigt, dass die durch die Abbruchvorgänge mit den Techniken „Pressschneiden“ und „Materialzerkleinern“ verursachten Staubkonzentrationen (Emission ohne Vorbelastung) diese Ziel- und Grenzwerte über die Vorgangszeit in der Regel überschreiten und daher als hoch bis sehr hoch/hohe bis sehr starke Emission (Kategorie 3-4) eingestuft werden können. Für den Arbeitsschutz wurde vom Ausschuss für Gefahrstoffe ein Grenzwert von 1,25 mg/m^3 bezogen auf eine mittlere Dichte von 2,5 g/cm^3 für den A-Staub festgelegt, der in Kürze

veröffentlicht werden soll. Da der Arbeitsschutz im Rahmen des Forschungsprojekts als Element der Umwelt integriert aber nicht individuell betrachtet wird, kann durch die umwelt-/umfeldbezogene Ausrichtung des Messaufbaus und –ablaufs und auf Basis der so erfassten Messdaten nicht bestimmt werden, wieweit dieser Immissionsgrenzwert bei dem vorliegenden Abbruchvorhaben eingehalten wurde.

Auch bei diesem Abbruchvorhaben konnten aus Sicherheitsgründen keine Messpunkte in unmittelbarer Nähe der Erschütterungsquelle positioniert werden, um eine Übertragungsfunktion des Bodens durch Messungen aufzustellen. Die näherungsweise ermittelte Intensität der Erschütterungen aus Abbruchvorgängen liegen aus Sicht der menschlichen Wahrnehmung in der Regel im „gut spürbaren“ Bereich (0,4-1,6 mm/s: Kategorie 2) (IFF (2014); Müller-Boruttau (2005)). Der Abbruchvorgang „Stemmen von Stahlbeton“ verursacht die verhältnismäßig höchsten Erschütterungen und diese liegen bezogen auf die menschliche Wahrnehmung sogar im „stark spürbaren“ Bereich (1,6 – 6,3 mm/s: Kategorie 3) (IFF (2014); Müller-Boruttau (2005)). Die Auswertung zeigt, dass meist die z-Richtung, das heißt vertikal zur Erdoberfläche, die Hauptwirkrichtung der hier ermittelten Erschütterungen ist. Zum Teil ist auch die y-Richtung, die horizontale Richtung (hier horizontal zur Erdoberfläche und parallel zur Stirnseite des Abbruchgebäudes), die maßgebende Wirkrichtung. Weiter hat sich gezeigt, dass die durch die Abbrucharbeiten verursachten Erschütterungen im niederfrequenten Bereich liegen. In der Tabelle sieht man, dass bei einer Frequenzanalyse in Terzbändern die Frequenz mit der höchsten Schwingstärke der jeweiligen Wirkrichtung in der Regel um die 10 HZ bzw. unter 15 HZ liegt. Betrachtet man den gesamten Frequenzbereich der Abbruchvorgänge emittierten diese vor allem im niedrigen Frequenzbereich (1 – 80 Hz) (Abbildung 33).

Dieser niedrige Frequenzbereich kann wie zum vorherigen Abbruchvorhaben erläutert umstehende Gebäude in seiner Eigenfrequenz (Resonanz) anregen und somit Gebäudeschäden verursachen (DIN 4150, Teil 3).

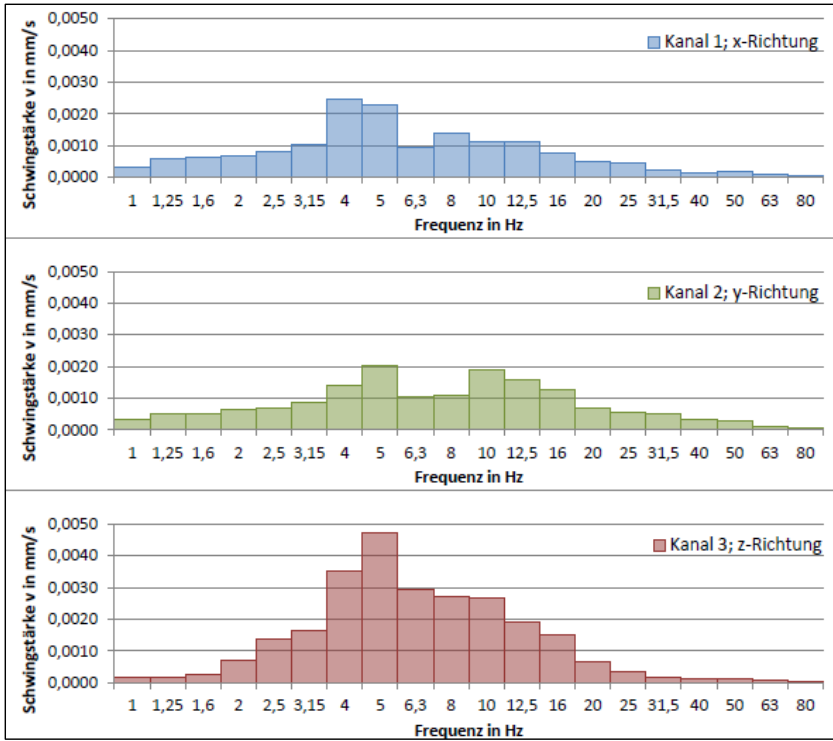


Abbildung 33: Terzspektrum zum Einzelereignis 8 (TÜV (2013))

Endbericht der Phase 3

ISA: Immissionsschutz beim Abbruch

Abschlussbericht des Forschungsprojekts,
gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
unter dem Az: 29014/02-23

28.01.2016

von

**Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU),
Karlsruher Institut für Technologie (KIT):**
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Anna Kühlen
Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann

**Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB),
Karlsruher Institut für Technologie (KIT):**
Dipl.-Ing. Markus Reinhardt
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno

**Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg (BTU)
Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik
Fachgruppe Bauliches Recycling:**
apl. Prof. PD Dr.-Ing. habil. Angelika Mettke
Dipl.-Ing. Stephanie Schmidt

Jean Harzheim GmbH & Co. KG (Harzheim GmbH):
Dipl.-Ing. Johannes Harzheim

Begriffe und Definitionen

Abbruch, Rückbau und Recycling

Abbruch: Planvolle Teilung eines vorherigen Ganzen in zwei oder mehrere Teile bei Anwendung geeigneter Verfahren zum ganzen oder teilweisen Zerlegen von baulichen oder technischen Anlagen (vgl. VDI 6210 E). Der Rückbau ist eine Sonderform des Abbruchs (s. gesonderte Definition).

- **Selektiver Abbruch:** Abbruch mit vorhergehender Beräumung unter Berücksichtigung von Forderungen zum sortenspezifischen Erfassen und Entsorgen des Abbruchmaterials (vgl. DA (2015)).
- **Vollständiger Abbruch (Totalabbruch):** Restlose Beseitigung einer technischen oder baulichen Anlage, zumeist bis zur Gründungssohle (vgl. DA (2015)).
- **Teilweiser Abbruch (Teilabbruch):** Beseitigung von vorbestimmten Anlagen- oder Bauwerksabschnitten oder deren Teilen mit Erhaltung der Standsicherheit verbleibender Teile, oftmals nach Herstellen eines Trennschlitzes (vgl. DA (2015)).
- **Abbruchhöhe:** ab Oberkante Gelände oder Rampe gemessene Höhe des abzubrechenden Objektes, die in Abhängigkeit vom Abbruchgeschehen veränderbar ist (vgl. DA (2015)).

Demontage: Die Demontage ist eine besondere Verfahrensweise des Abbruchs. Gemäß DIN 18007:2009-03 wird der Begriff wie folgt definiert: „Die Bauteile werden durch Lösen der Verbindungen“ u./o. Herstellen von Trennschlitz „voneinander getrennt und zerstörungsfrei ausgebaut“. Das Verfahren kommt hauptsächlich dann zum Einsatz, wenn Schadstofffreisetzungen zu verhindern oder zu vermindern sind oder technologisch bedingt Demontagen realisiert werden müssen, um die verbleibende Bausubstanz bei Teilrückbau nicht zu beschädigen. Die Sicherstellung von Bauteilen zur sekundären Nutzung wird derzeit meist nur flankierend betrachtet. In der DIN 6210 E kommt auch zum Ausdruck, dass es sich um den zerstörungsarmen Rückbau von Bauteilen

handelt. Durch das Lösen von Verbindungen und/oder Herstellen von Trennschlitzten und Abheben der Bauelemente von baulichen oder technischen Anlagen können zum einen die verbleibenden Bauteile erhalten bleiben und zum anderen besteht die Möglichkeit, die ausgebauten Bauelemente in originärer Form nach zu nutzen (Mettke (2010)).

Entkernung: Beseitigung von am Abbruchobjekt befestigten oder eingebauten Anlagen und Gegenständen, die keinen Einfluss auf die Standsicherheit des Bauwerks oder die Anlage ausüben, z. B. Fenster, Öfen, Rohrleitungen und nicht tragende Wände (vgl. DA (2015)).

Rückbau: Ist eine Abbruchmethode, die meist in umgekehrter Reihenfolge der Errichtung erfolgt und die das Ziel der Weiterverwendung und Verwertung von Bau- und Konstruktionsteilen hat (Schultmann (1998)). Der Begriff Rückbau wird in der Praxis vielfach verwendet, wenn ein Gebäude oder eine bauliche Anlage vorwiegend selektiv abzubrechen ist und das Baumaterial oder die Bauteile nach Materialgruppen gesondert einer Aufbereitungsanlage zuzuführen sind. Die sortenreine Aufbereitung ist eine Voraussetzung, um Bauabfälle hochwertig verwerten zu können (Mettke (2010)).

Abbruchobjekt: Das im Rahmen dieses Forschungsprojekts jeweilig betrachtete Abbruchobjekt ist ein Gebäuderohbau, da beim Abbruch des Rohbaus mess- und spürbare Einwirkungen auf die Umwelt durch Lärm, Staub und Erschütterungen zu erwarten sind. Die nachstehend aufgeführten Prozessschritte werden hier nicht betrachtet:

- Entrümpelung und Entkernung des Gebäudes,
- Ausbau von verwertbaren Bauteilen und nicht mehr verwertbaren Einrichtungsgegenständen (bspw. Fenster, Türen, Möbel und Geräte),
- Entfernung von Innenausbauten und Raumauskleidungen sowie der Gebäudehülle (bspw. Fassade, Dachbelag) und
- Entfernung der technischen Gebäudeausrüstung.

Der Gebäuderohbau wird grob an Hand der horizontalen (Decke, Balken, Riegel, Dachkassenplatten) und vertikalen Bauteile (Wand, Stütze) in Typen

unterteilt (vgl. Klauß et al. (2009); Grünthal (1998) und HAZUS (2003)). Für die Untersuchung von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen bei Abbrucharbeiten werden, wie in Tabelle 30 dargestellt, die eingesetzten Hauptmaterialien dieser Bauteile betrachtet.

Tabelle 30: Grobstruktur der Gebäudetypologie und Hauptmaterialien der Bauteile¹

Konstruktionsart/ Gebäudetypen		Vertikale Tragstruktur		Horizontale Tragstruktur	
		Bauteil	Materialtyp des Bauteils	Bauteil	Materialtyp des Bauteils
A	Stahl-Skelettbau	Stütze	Stahl	Träger	Stahl
B	Mauerwerk-Stahlbetondecke	Wand	Mauerwerk: <ul style="list-style-type: none"> • Naturstein • Ziegel • Kalksandstein • Porenbeton • Betonstein 	Deckenplatte	Stahlbeton
C	Mauerwerk-Holzträgerdecke	Wand	Mauerwerk: <ul style="list-style-type: none"> • Naturstein • Ziegel • Kalksandstein • Porenbeton • Betonstein 	Träger/Platte	Holz
D	Holz-Fachwerk	Stütze	Holz	Träger	Holz
E	Stahlbeton-Montagebau	Wand	Stahlbeton-fertigteil	Decken-/Dachkassenplatte/Trogträger	Stahlbeton-, Spannbeton-fertigteil

Fortsetzung auf der nächsten Seite

¹ Vgl. Kühlen et al. (2014).

F	Stahlbeton-Skelettbau	Stütze	Stahlbetonfertigteile	Träger/Riegel/ Unterzüge/ Deckenplatte	Stahlbeton-, Spannbeton- fertigteile
G	Kellergeschoss-Beton-Massivbau	Wand	Unbewehrter Beton, Mauerwerk	Bodenplatte	Stahlbeton

Abbruchtechniken: Der Abbruch mit Hydraulikbagger und entsprechenden Anbaugeräten ist mit 83% die am häufigsten angewandte Technik beim Abbruch von Gebäuden (Weimann et al. (2013); DA (2015); Expertenbefragung (vgl. Kapitel 2.1.)). Daher liegt der Fokus des Forschungsprojekts, für die Untersuchung der Umwelteinwirkungen, auf diesen Techniken mit Hydraulikbagger, die in Anlehnung an die in der DIN 18007:2009-03 normierten Abbruchverfahren weiter unterteilt werden in Kombination mit den in der Regel hierfür eingesetzten Anbaugeräten. Ergänzend werden der Handabbruch, der Abbruch mit Seilbagger sowie Techniken der Materialhandhabung auf der Baustelle ebenfalls mit einbezogen (vgl. Tabelle 31).

Tabelle 31: Abbruchtechniken - Abbruchverfahren-und-Maschinen-Kombinationen²

Abbruchtechniken			
#	Maschinen		Verfahren
	Trägergerät	Anbaugerät	
1	Hydraulikbagger ³	Abbruch-/ Sortiergreifer	Abgreifen
2	Seilbagger	Stahlmasse	Einschlagen
3	Hydraulikbagger	Abbruchstiel/ Tieflöffel	Eindrücken
4	Hydraulikbagger	Stahlseil	Einziehen
5	Hydraulikbagger	Abbruchstiel/ Aufbruchgerät	Reißen
6	Hydraulikbagger	Hydraulikhammer	Stemmen
7	Hydraulikbagger	Abbruchzange	Pressschneiden
8	Hydraulikbagger	Stahl-/Schrottschere	Scherschneiden
9	Handwerkzeug (Elektrohammer, Metalltrennsäge)		Handabbruch mit Handwerkzeug
10	Hydraulikbagger	Hydraulikhammer/ Pulverisierer	Materialzerkleinerung
11	Hydraulikbagger	Abbruch-/Sortiergreifer	Materialsortierung

Recycling: Unter Zugrundelegung des §3 Abs.25 KrWG (2012) ist Recycling “jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden; es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, nicht aber die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind”.

Höherwertige Verwertung: Ist hier in Anlehnung an §3 Abs.23 KrWG (2012) “jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis die Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie entweder andere Materialien ersetzen, die sonst zur Erfüllung einer

² Vgl. DIN 18007:2009-03, DA 2015.

³ Hydraulikbagger beschreibt hier das Trägergerät mit und ohne Longfrontausleger.

bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder indem die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen”.

Wiederverwendung: Ist hier in Anlehnung an §3 Abs.21 KrWG (2012) “jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren”.

Emissionen und Immissionen

Emissionen: Emissionen sind „die von einer Anlage [und anderen Quellen] ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnlichen Erscheinungen“ (§ 3 Abs.3 BImSchG vom 15. März 1974 (BGBl. I S. 721), in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943) geändert worden ist).

Bezüglich der betrachteten Abbrucharbeiten sind zu unterscheiden:

- **Diffuse Emissionsquellen:** lassen sich hinsichtlich des Ortes, an dem Emissionen auftreten, im Allgemeinen nicht scharf eingrenzen, zumeist ist ein flächenhaftes Auftreten ohne definierte Zuordnung und Begrenzungen von Staub- / Lärmkonzentrationen festlegbar (bspw. Überlagerung mehrerer Tätigkeiten Geräte und Maschinen). Bei diffusen Emissionsquellen ist eine messtechnische Bestimmung vergleichsweise mit großen Ungenauigkeiten behaftet und meist nur schwer ermittelbar (vgl. VDI 3790 Blatt 3 (2010)),
- **Definierte Emissionsquellen:** lassen sich weitestgehend örtlich eingrenzen („punktförmig“) und auf Einzelvorgänge beschränken (z.B. Maschinen auf Abbruchbaustellen, Abbruchvorgang am Gebäude bzw. der baulichen Anlage).

Weiter unterscheidet man für die Modellierung von diffusen sowie definierten Emissionsquellen zwischen den folgenden Quelltypen in Abhängigkeit von der räumlichen Ausdehnung der Quelle relativ zu den Abmessungen des

Betrachtungsraums (VDI 3782 Blatt 1, Anhang 2) bzw. relativ zum Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Emissionsquelle und dem Messpunkt bzw. Immissionsort⁴:

- Punktquelle: keine/relativ geringe Ausdehnung
- Linienquelle: Länge in m
- Flächenquelle: Fläche in m²
- Volumenquelle: Volumen in m³

Bei geringer Entfernung zwischen Emissionsquelle und Immissionsort kann bspw. der Motor einer Bau- und Abbruchmaschine als punktförmige Emissionsquelle angesehen werden, während die Abbruchaktivität an einer Wand oder Decke als flächen- oder volumenförmige Emissionsquelle abgebildet werden kann.

Die messtechnische Ermittlung von Emissionen, die allein durch den Betrieb von Bau- und Abbruchmaschinen verursacht werden, werden in der Regel mit mehreren, kreisförmig um die Maschine angeordneten Sensoren ermittelt und finden sich in Datenblättern der Maschinenhersteller.

Die messtechnische Ermittlung von diffusen Emissionen aus Abbruchvorgängen ist hingegen mit größeren Herausforderungen verbunden. Die Emissionen werden nicht nur allein vom Abbruchvorgang (als Kombination aus der Abbruchtechnik und den Eigenschaften des Abbruchobjekts), sondern auch von meteorologischen Bedingungen stark beeinflusst und unterliegen daher zumeist starken Schwankungen. Um verlässliche Immissionswerte eruiieren bzw. Emissionskenngrößen bestimmen zu können, bedarf es genauer Messungen, bei denen dennoch mit Ungenauigkeiten zu rechnen ist, da der/die Emissionsort(e)/die -quelle(n) oft nur grob eingegrenzt werden kann/können. Hinzu kommt, dass Abbruchvorgänge häufig diskontinuierliche Aktivitäten

⁴ Nach DIN 18005-1:2002-07, ISO 9613-2:1999-10 kann von einer Punktschallquelle ausgegangen werden, wenn die größte Ausdehnung der Emissionsquelle kleiner als die Hälfte des Abstandes zwischen dem Mittelpunkt der Schallquelle und dem Ort der Messung ist (siehe hierzu auch Kapitel 5.1.4).

sind, in ihren Intensitäten verschieden und (prozessbedingt) im Regelfall zeitlichen Schwankungen unterliegen.

Nachfolgend sind in Tabelle 3 am Beispiel von Staubemissionen Merkmale diffuser und definierter Quellen hinsichtlich relevanter Kriterien nach VDI 3790 Blatt 3 aufgelistet.

Tabelle 32: Merkmale diffuser und definierter Staubquellen⁵

Kriterium	Diffuse Emissionsquelle	Definierte Emissionsquelle
Räumliche Quellenstruktur abhängig vom Ausdehnungsmaß	Im Allgemeinen große räumliche Ausdehnung mit niedriger Quellhöhe → i.d.R. Flächen- oder Volumenquelle (Abhängig von der Größe des Betrachtungsraums ist eine Annahme als Punkt- oder Linienquelle möglich)	Eindeutig definierter Quellort aus meist größeren Quellhöhen → i.d.R. Punktquelle
Emissionsmechanismus	Gase und Partikel gelangen durch Einwirkung äußerer Kräfte oder als Folge physikalischer Stoffeigenschaften unkontrolliert in die Atmosphäre	Gase und Partikel werden mit einem Abgasstrom zwangsgeführt in die Atmosphäre abgegeben
Zeitverhalten der Emission	Emissionsmassenstrom unterliegt häufig starken Schwankungen	Emissionsmassenstrom meist konstant
Abhängigkeit der Emissionen von Umgebungseinflüssen	Meist stark	Weitgehend unabhängig

⁵ Vgl. hierzu VDI 3790 Blatt 1:2005-01, Tabelle 1 und 2.

Eine Unterscheidung hinsichtlich des Auftretens am Beispiel diffuser Luftverunreinigungen kann in:

- natürliche und anthropogene (Grundbelastung, die zur natürlichen Zusammensetzung der Luft gezählt werden kann),
- primäre oder sekundäre und
- mobile und stationäre (ortsfeste)

Quellen erfolgen.

Im Zuge der Betrachtung der Immissionen bei Abbrucharbeiten spielen primäre u./o. sekundäre Quellen sowie mobile und stationäre Quellen eine entscheidende Rolle. Primäre Quellen für Lärm und Staub sind hier bspw. die allgemein durchgeführten Tätigkeiten auf der Baustelle, Maschinen- und Geräteeinsatz, mechanische Beanspruchungen des Abbruchmaterials und der eingesetzten Technik, Baustellenverkehr etc. Hierbei werden bspw. die partikelförmigen Stäube direkt freigesetzt.

Immissionen: Immissionen sind „auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen (z.B. Staub, Gase oder Geruchsstoffe), Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen“ (§ 3 Abs.2 BImSchG vom 15. März 1974 (BGBl. I S. 721), in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943) geändert worden ist). Relevante Beurteilungspunkte für die Messung von Immissionen beim Abbruch werden je nach Schutzgut, Situation und Rahmenbedingungen bestimmt.

Beim Bauwerksabbruch sind Arbeitnehmer und Anwohner sowie die angrenzenden baurechtlichen Gebiete und Nachbarbauwerke als relevante Schutzgüter zu bezeichnen, die je nach Gebietstyp im Bebauungsplan unterschiedliche Schutzanforderungen haben. Die bei der Immissionsmessung von Lärm, Staub und Erschütterungen relevanten Beurteilungspunkte,

Richtwerte und Schutzbedürftigkeit der Immissionsorte sowie Gesetze, Normen und Richtlinien werden in Kapitel 3.1 erläutert.

Bei der Beurteilung und Messung von Immissionen sind die lokalen Rahmenbedingungen zu beachten und zu dokumentieren. Denn Vorbelastungen, meteorologische Bedingungen, Abbruchverfahren, Größe von Maschine(n) und Anbaugerät(en), Höhe der Emissionsquelle(n) über der Geländeoberkante, Umfeld (Nachbarbebauung, Bewuchs etc.) und Zeitdauer haben Einfluss auf die Messergebnisse. Für die Messung von Immissionen an Abbruchbaustellen kann durch Schutzmaßnahmen eine Minderung ermittelt, herbeigeführt und dokumentiert werden.

Erschütterungen und Vibrationen: Nach DIN 4150-1 (2001) sind Erschütterungen mechanische Schwingungen fester Körper mit potenziell schädigender oder belastender Wirkung. Erschütterungen breiten sich durch das Einleiten dynamischer Energie in den Boden und die Übertragung durch Bodenwellen aus. Immissionen auf die Umwelt können insbesondere in den Boden (Lithosphäre), auf Menschen und auf bauliche Anlagen (benachbarte Bauwerke, Rohrleitungen und Kabel) einwirken. Kurzzeitige Erschütterungen, wie etwa bei einer Sprengung oder beim Massenaufprall, haben eine kurze Auftrittshäufigkeit. Dauererschütterungen treten beispielsweise beim Fräsen und Stemmen auf (vgl. DA (2015)).

Lärm: Die Begriffe Schall und Lärm werden oft synonym verwendet, wie auch in diesem Bericht. Die Begriffe stellen streng genommen jedoch unterschiedliche Betrachtungsebenen dar. Schall ist eine messbare physikalisch-akustische Größe und Lärm beschreibt eher die Wirkung. Mit Lärm wird in der Regel jegliche Schalleinwirkung definiert, die belästigt, stört oder gesundheitliche Schäden hervorruft (UBA (2011b)). Nach TA Lärm können Geräuschimmissionen abhängig von Art, Ausmaß oder Dauer, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die

Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeiführen (TA Lärm, 2.1). Diese Geräuschemissionen sind als Schalldruck beziehungsweise als Schalldruckpegel eines Geräusches und als Geräuschspektrum messbar (TA Lärm (1998)).

Laut DIN 18007:2009-03 können insbesondere bei den folgenden Abbruchverfahren Lärmemissionen auftreten: Einschlagen, Stemmen, Sprengen, Vollbohren, Sägen (Wand und Boden), Schneiden (Brenn- und Hochdruckwasserschneiden) und Hochdruckwasserstrahlen. Die Abbruchverfahren Abgreifen, Eindrücken, Einziehen und Einreißen weisen nach DIN 18007:2009-03 keine relevanten Lärmemissionen auf. Aber zum Beispiel zeigen die Ergebnisse des vorliegenden Forschungsprojekts (vgl. bspw. Kapitel 3.2.4) Abweichungen zu dieser Einstufung von Abbruchverfahren hinsichtlich Lärmemissionen nach DIN.

Schadstoffe: sind neben Gefahrstoffen (GefStoffV) und biologischen Arbeitsstoffen (BiostoffV) auch Stoffe oder Stoffgemische (Reinstoff, Produkt, Erzeugnis, Rückstand, Reststoff, Abfall), die zu einer Gefährdung der Nutzer oder der am Abbruch Beteiligten führen können (vgl. VDI/GVSS 6202 (2013)) oder die bei Eintrag in Ökosysteme oder Aufnahme durch lebende Organismen oder an Sachgütern nachteilige Veränderungen hervorrufen können (z. B. korrosiv wirkende Stoffe) (vgl. DA (2015)).

Es wird zwischen primären, sekundären und nutzungsbedingten Belastungen unterschieden (vgl. VDI/GVSS 6202 (2013)). Primäre Belastungen entstehen herstellungsbedingt durch gefährliche Stoffe in Bauprodukten, sekundäre Belastungen entstehen durch Verunreinigung von vorher nicht belasteten Bauprodukten durch Schadstoffe (wenn bspw. das Ausgasen einer PCB Fugenmasse langfristig zu einer flächenhaften Belastung des Fußbodenbelags führt). Nutzungsbedingte Belastungen sind Verunreinigungen der Bausubstanz, die durch den Umgang mit Gefahrstoffen oder Arbeitsmitteln in der Nutzungsphase des Gebäudes entstehen (vgl. VDI/GVSS 6202 (2013) und DA (2015)).

Schutzgut: Der Begriff Schutzgut umfasst alles, „was aufgrund seines ideellen oder materiellen Wertes vor einem Schaden bewahrt werden soll“ (BKK (2012)). Nach dem Bayerischen Lebensministerium (stmug (2012)) sind „Schutzgüter von der Rechtsordnung geschützte Güter des Einzelnen (z.B. Leben, Gesundheit, Eigentum) oder der Allgemeinheit (z.B. Reinheit der Gewässer)“. Im Rahmen dieses Projekts liegt der Fokus auf den beim Bauwerksabbruch relevanten Schutzgütern, wie den Arbeitnehmern und Anwohnern sowie den angrenzenden baurechtlichen Gebieten, Nachbarbauwerken. Für die jeweiligen Schutzgüter gelten unterschiedliche Schutzanforderungen hinsichtlich der Höhe von Lärm, Staub- und Erschütterungsimmissionen. Nähere Informationen sind unter anderem Kühlen et al. 2014 zu entnehmen.

Staub: Staub ist eine Zerstreung fester Stoffe in der Luft durch mechanische Prozesse oder durch Aufwirbelungen. Man unterscheidet zwischen den folgenden Arten von Stäuben: organisch (z. B. Holzstaub), mineralisch (z. B. Steinstaub), metallisch (z. B. Aluminiumstaub). Nach § 3 Abs. 4 BImSchG ist Staub, neben Rauch, Ruß, Gasen, Aerosolen, Dämpfen oder Geruchsstoffen, eine Form der Luftverunreinigungen. Luftverunreinigungen sind Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft und haben schädliche Einwirkungen auf die Umwelt, wenn sie nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen (vgl. § 3 Abs. 1 BImSchG). Im Rahmen des Forschungsprojekts liegt der Fokus auf Staub durch Abbruchaktivitäten als eine Form der Luftverunreinigung.

Auf Abbruchbaustellen handelt es sich hauptsächlich um mineralischen Staub oder Mischstaub. Die Korngröße und die Staubinhaltsstoffe sind maßgeblich für die Gefährlichkeit eines Staubes. Auswirkungen auf die Gesundheit kann vor allem Feinstaub haben. Als gesundheitlich besonders gefährlich ist Quarzstaub zu bewerten, der aus Mischstaub mit einem Anteil an Quarzfeinstaub besteht (vgl. TRGS 559, Abschnitt 2.4).

- **Diffuse Staubemissionen:** sind Staubemissionen, wie sie durch Abbruchtätigkeiten hervorgerufen werden, die über einen nicht definierten/erfassbaren Luftvolumenstrom in die Umgebungsluft emittiert werden (vgl. BMWFI (2013)).
- **A-Staub oder PM4** (Korngröße $\leq 4 \mu\text{m}$) (vgl. Abbildung 1): Alveolengängige Fraktion. Im Arbeitsschutz wird die Bezeichnung A-Staub für den Massenanteil der einatembaren Partikel, der bis in die nicht cilierten Luftwege vordringen kann, verwendet. Diese Fraktion entspricht den im Umweltschutz mit PM4 bezeichneten Partikeln, die einen aerodynamischen Durchmesser $\leq 4 \mu\text{m}$ haben. Unter diese Fraktion fällt auch „Quarzfeinstaub“ (Mattenklotz und Höfert (2009)).
- **E-Staub** (Korngröße $> 10 \mu\text{m}$) (vgl. Abbildung 1): Einatembare Fraktion. Im Arbeitsschutz wird die Bezeichnung E-Staub für den Massenanteil aller Schwebstoffe, der durch Mund und Nase eingeatmet werden kann, verwendet. Die Schwebstoffe schlagen sich an den Schleimhäuten der oberen Atemwege nieder.
- **Feinstaub:** Wurde im Arbeitsschutz früher für die jetzt mit A-Staub bezeichnete alveolengängige Fraktion verwendet (TRGS 900 bis 1993). Im Umweltschutz ist es kein definierter Begriff. Er wird hier jedoch im Zusammenhang mit PM10 und PM2,5 im Rahmen der Umsetzung der EU-Richtlinie 2008/50/EG durch das 22. BImSchV verwendet (Mattenklotz und Höfert (2009)).
- **PM2,5** (Korngröße $\leq 2,5 \mu\text{m}$) (vgl. Abbildung 1): Alveolengängige Fraktion „Risikogruppe“. Im Umweltschutz entspricht die mit PM2,5 bezeichnete Staubfraktion Partikel, die einen aerodynamischen Durchmesser $\leq 2,5 \mu\text{m}$ haben. Seit 2010 wurde im Umweltschutz für diese Fraktion, auch Feinstaub genannt, ein Grenzwert eingeführt (EU-Richtlinie 2008/50/EG und 39. BImSchV) (Mattenklotz und Höfert (2009), UBA, 2011a). Im Arbeitsschutz gibt es hierzu keine Definition und derzeit jedoch keinen Grenzwert.

- Thorakaler Staub oder PM10** (Korngröße $\leq 10 \mu\text{m}$) (vgl. Abbildung 1): Diese Staubgröße entspricht den im Umweltschutz mit PM10 bezeichneten Partikeln, die einen aerodynamischen Durchmesser $\leq 10 \mu\text{m}$ haben. Im Arbeitsschutz wird die Bezeichnung thorakaler Staub für den Massenanteil der einatembaren Partikel, der über den Kehlkopf hinaus vordringen kann, verwendet. Hier gibt es im Arbeitsschutz derzeit jedoch keinen Grenzwert. Seit 2005 wurde im Umweltschutz für diese Fraktion der zuvor genannte Grenzwert eingeführt, der häufig auch als „Feinstaub-Grenzwert“ bezeichnet wird (EU-Richtlinie 2008/50/EG und 22. BImSchV) (Mattenklotz und Höfert (2009)).

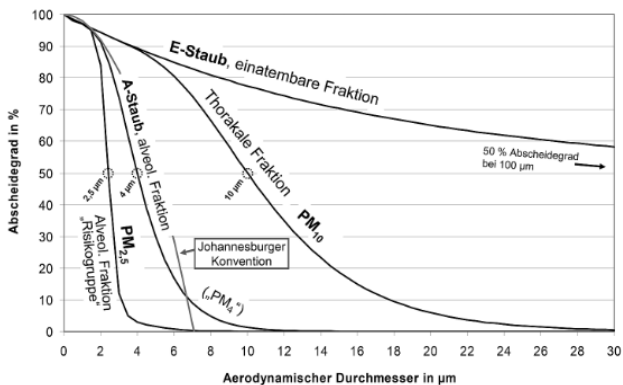


Abbildung 34: Konventionen definierter Staubfraktionen⁶

Vorbelastung: Der Begriff der Vorbelastung wird beispielsweise in der TA Luft (2002) und TA Lärm (1998) definiert. Hier wird zwischen Vorbelastung, Zusatzbelastung und Gesamtbelastung differenziert. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts wird die Vorbelastung als die vorhandenen Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen definiert, die auf ein Schutzgut einwirken, ohne den Immissionsbeitrag der Abbruchaktivität. Die Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen, die durch die Abbruchaktivitäten

⁶ Mattenklotz und Höfert (2009).

hervorgerufen auf ein Schutzgut einwirken, werden als Zusatzbelastung bezeichnet. Und die Gesamtbelastung ist im Rahmen dieses Projekts die Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen, die insgesamt zu einem Zeitpunkt bzw. innerhalb einer bestimmten Zeitspanne auf ein Schutzgut einwirken.

Zusammenfassung

In Zukunft wird der Abbruch von Bauwerken zwingend erforderlich werden auf Grund baulicher Veränderungen in Innenstädten, des begrenzten Platzes und der hohen Dichte an baulichen Anlagen. Der Rückbau als spezifische Form des Abbruchs ist somit ein wesentlicher Bestandteil des Gebäudelebenszyklus. Er verursacht jedoch Lärm, Staub und Erschütterungen, die auf die Umwelt und insbesondere den Menschen, belästigende und (gesundheits-)schädigende Auswirkungen haben können.

Durchgeführte Untersuchungen, Entwicklungen mit Angabe des Ziels

Als Beitrag zu einer nachhaltig lebenswerten Gestaltung von Städten und zur Steigerung der Akzeptanz von Rück- und somit auch von Bauprojekten insbesondere in Innenstädten, ist **das Ziel des Forschungsprojekts**, den Immissionsschutz als integralen Bestandteil der Planung und Durchführung von Abbrucharbeiten zu etablieren. Nur so können Lärm-, Staub- und Erschütterungs-immissionen effektiver reduziert und ein verbesserter Umwelt- und Gesundheitsschutz erreicht werden. **Zur Zielerreichung wurden** im Projekt drei neue Instrumente entwickelt. Dies sind:

- eine Datenbank mit ökonomischen, ökologischen und technischen Kennwerten für den Abbruchprozess,
- ein IT-basiertes Planungsunterstützungswerkzeug, das auf die Datenbank zugreift,
- ein Immissionserfassungssystem zur permanenten Immissionsüberwachung.

1. Die Datenbank wurde auf Basis von MS Access mit Tabellen von technischen, ökonomischen und ökologischen Kennwerten/Kennzahlen erstellt. Der vorliegende Endbericht sowie der

Projektbericht der 2. Phase (Kühlen et al. 2014) beschreiben die Struktur und enthalten die Tabellen der Datenbank. Da in der Literatur die für die Kennwerte der Datenbank notwendigen Informationen kaum vorhanden sind, wurden im Rahmen des Projekts Primärdaten auf Basis von Versuchen und Expertenbefragungen erhoben.

2. Das IT-basierte Planungsunterstützungswerkzeug wurde in Visual Basic for Applications (VBA) prototypisch umgesetzt und mit der Planung eines realen Vorhabens verifiziert. Mit dem Werkzeug kann der Immissionsschutz bereits in die Planung von Abbrucharbeiten integriert werden. Das Werkzeug liefert Vorschläge zu Abbruchtechniken hinsichtlich der Minderung von Immissionen auf die lokale Umwelt und der Einhaltung von Immissionsrichtwerten. Die Umgebungsbedingungen und technischen Möglichkeiten werden bei der Entscheidung berücksichtigt und auch ökonomische Faktoren können in die Entscheidung eingebunden werden. Das Werkzeug kann zukünftig bspw. den Bauherr, Planer, Abbruchunternehmer und Behörden bei der Planung und in ihren Entscheidungen bei Abbruchprojekten unterstützen.
3. Das Immissionserfassungssystem wurde messtechnisch prototypisch umgesetzt und unter Versuchsbedingungen getestet. Mit dem System kann der Immissionsschutz bei der Durchführung von Abbrucharbeiten integriert werden. Das System misst die Immissionshöhen von Lärm, Staub und Erschütterungen permanent mittels Sensoren und an bis zu 10 Messpunkten. Weiter werden die Messwerte gespeichert und über die Zeit ausgewertet. Das Erfassungssystem könnte in Zukunft bspw. vom Bauherrn, Planer, Abbruchunternehmer und Behörden zur Dokumentation und Kontrolle von Immissionen durch Abbrucharbeiten verwendet werden.

Akteurspezifische Handlungsempfehlungen für die Integration des Immissionsschutzes in der Praxis von Rückbauprojekten wurden abgeleitet.

Diese Empfehlungen enthalten unter anderem Hinweise, von wem die drei Instrumente, die im Rahmen des Projekts entwickelt wurden, in Zukunft möglicherweise um- und einzusetzen sind.

Erzielte Ergebnisse und Erkenntnisse

Sowohl das Planungsunterstützungswerkzeug mit Datenbank als auch das Immissionserfassungssystem wurden prototypisch getestet respektive umgesetzt. Die Eignung beider Systeme zur Lösung der Problemstellung konnte nachgewiesen werden. Instrumente, wie sie hier prototypisch entwickelt wurden, können in Zukunft eine umfassende Unterstützung von Bauherren, Planern, ausführenden Unternehmen und Behörden in Fragen des Immissionsschutzes ermöglichen. Zusätzlich ist eine Sicherstellung der Einhaltung der Immissionsgrenzwerte zur Minderung von Konfliktpotenzialen unerlässlich, um auch zukünftig einen für die Unternehmen, Behörden und Bürger reibungslosen, ordnungsgemäßen und rechtskonformen Ablauf der Baumaßnahme zu ermöglichen.

Empfehlungen für weiteres Vorgehen

In erster Linie erfordert die Berücksichtigung von Immissionen als integraler Bestandteil in Planung und Durchführung von Abbrucharbeiten **eine Verankerung des Immissionsschutzes in der Ausschreibung**. Hier müssten neben technischen Anforderungen auch immissionsschutzrelevante Anforderungen im Detail spezifiziert werden. In diesem Zusammenhang wäre es erstrebenswert den Einsatz von Instrumenten für die Planung und Durchführung von Abbrucharbeiten, wie sie im Projekt prototypisch umgesetzt wurden, vorzuschreiben und ein entsprechendes Budget wäre in der Ausschreibung anzusetzen. Insbesondere der öffentliche Bauherr sollte hierbei eine Vorreiterrolle einnehmen und seine Ausschreibungen entsprechend ergänzen/anpassen. Um jedoch die beiden prototypisch umgesetzten Systeme zur Praxistauglichkeit weiterzuentwickeln, bedarf es noch weiterer

Anstrengungen. Die größten Herausforderungen sind hier die Steigerung der Nachfrage nach solchen Instrumenten und das Finden von Partnern mit denen die Systeme weiterentwickelt werden können. Erst wenn gefordert wird, dass Immissionen in Leistungsbeschreibungen zu integrieren sind, wird die Nachfrage nach solchen Instrumenten akut. Die Grundlagen dafür sind im Rahmen des vorliegenden Projektes gelegt. Dennoch sind weitere Entwicklungen notwendig, damit eine Überführung der Systeme aus der universitären Forschung in die Praxis erfolgen kann.

Kooperationspartner/Institutionen

- Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Fachgruppe Bauliches Recycling, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU)
- Jean Harzheim GmbH & Co. KG (Harzheim GmbH)

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsprojekt AZ 29014 wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert.

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Umweltsituation: Der Abbruch und/oder (Teil-) Rückbau¹ bestehender, nicht weiter nutzbarer Bauwerke, wird in Zukunft zunehmend erforderlich sein, denn viele ältere Gebäude lassen sich in der Regel nur teilweise oder gar nicht an veränderte Nutzungsbedingungen und hohe energetische Standards anpassen. Nachhaltigkeitszielsetzungen fordern die Begrenzung des Flächenverbrauchs sowie die Schaffung umwelt- und sozialverträglicher Siedlungsstrukturen (vgl. EK-SMU (1998) und (1999)). Zudem führen demografische und wirtschaftliche Veränderungen, wie der Bevölkerungsrückgang und die Verlagerung von Industrie- und Gewerbestandorten in Deutschland dazu, dass im Rahmen von Stadtumbaumaßnahmen Abbruch und Neubau von Gebäuden und baulichen Anlagen notwendig und sinnvoll sind (vgl. Görg (2001)). Daher ist der Abbruch wesentlicher Bestandteil des Gebäudelebenszyklus und kann sowohl Ende als auch Anfang (Materialquelle für den Neubau und Schaffung freier Fläche) eines Lebenszyklus darstellen. Oft wird der Abbruch jedoch mit untergeordneter Wichtigkeit am Lebenszyklusende eines Bauwerks wahrgenommen (vgl. DA (2015)). Im Rahmen der aktuellen Entwicklungen im Bereich des nachhaltigen Bauens wird die Abbruchphase meist hinsichtlich Verwertung und Beseitigung von Abbruchmaterialien, also der Abbruchnachbereitung, beleuchtet. Der zentrale Teil des Abbruchprozesses (Planung und Ausführung) mit seinen

¹ Im Folgenden wird der Begriff Abbruch wie im Titel des Forschungsprojekts auch für den Begriff Rückbau verwendet. Die Begriffe Abbruch und Rückbau werden heute fast synonym verwendet. Beide Begriffe beschreiben das teilweise oder umfassende Entfernen von technischen oder baulichen Anlagen. Beim Rückbau werden in der Regel ökologische Gesichtspunkte, wie das Wiederverwerten von Baustoffen und eine weitere Nutzung der freiwerdenden Fläche, explizit berücksichtigt. Jedoch verpflichten Vorschriften auch beim Abbruch dazu, Materialien zu trennen und Immissionsbelastungen zu minimieren, sodass insbesondere im innerstädtischen Bereich eine Abgrenzung der beiden Begriffe nur begrenzt möglich ist.

Auswirkungen auf Mensch und Umwelt spielt, wenn überhaupt, eine untergeordnete Rolle.

Spezifische Umweltrelevanz: Der Abbruch von Bauwerken verursacht Emissionen. Diese können maßgeblich die auf Schutzgüter, wie beispielsweise den Menschen, einwirkenden Immissionen² beeinflussen (Haltenorth et al. (2007); DA (2015); SBUV (2005)), die wiederum z.B. gesundheitliche Auswirkungen haben können (vgl. Kühlen et al. 2014, Abbildung 2). Insbesondere Lärm³, Staub⁴ und Erschütterungen sind relevante Emissionen des Abbruchprozesses (vgl. DA (2015), DIN 18007:2009-03) und bieten entsprechend Immissionsminderungspotenziale. Nach § 22 BImSchG müssen die nach dem Stand der Technik vermeidbaren Emissionen verhindert und die unvermeidbaren minimiert werden. Verantwortlich für die Einhaltung dieser immissionsschutzrechtlichen Anforderungen ist in erster Linie der Baustellenbetreiber, d.h. in der Regel der Bauherr oder der von ihm beauftragte Planungsingenieur, und der Abbruchunternehmer (vgl. Strobusch (2011); Kummer (2013)). Die Einhaltung der Anforderungen kann durch die zuständigen Behörden kontrolliert werden.

Auf Grund der vielen Parameter, die den Abbruchprozess mit seinen einzelnen Abbruchvorgängen⁵ und die damit verbundenen Einwirkungen auf die lokale Umwelt bestimmen, ist derzeit eine qualitative und quantitative Charakterisierung der Umwelteinwirkungen von Abbruchvorgängen, in Form von Lärm, Staub und Erschütterungen, sehr schwierig. Beispielsweise können

² Im Folgenden wird der nicht wertende Begriff „Immission“ statt des im Titel des Forschungsprojekts verwendeten Begriffs „Umweltbelastung“ verwendet. Weitere Begriffserklärungen finden sich im Glossar (vgl. Anhang A).

³ Im Folgenden wird der Begriff „Lärm“ statt des Begriffs „Geräusche“ verwendet, wodurch implizit von als lästig empfundenen Geräuschen ausgegangen wird.

⁴ Im Folgenden wird der Begriff „Staub“ statt des Begriffs „Luftverunreinigungen“ verwendet. Weitere Begriffserklärungen finden sich im Glossar (vgl. Anhang A).

⁵ Im Folgenden wird der Begriff Abbruchvorgang zur Beschreibung eines bestimmten Geschehens (vgl. DIN 69900:2009-01) im Abbruchprozess verwendet. Ein Vorgang ist somit im Rahmen des Projekts eine Kombination aus Abbruchtechnik, Abbruchmaterial und Abbruchhöhe über Geländeoberkante.

die Staubemissionen aus diffusen Quellen, wie sie beim Abbruch auftreten, bis jetzt nicht in dem Maße gemindert werden, wie etwa Staubemissionen aus definierten Quellen, bspw. der industriellen Produktion (vgl. BMWFI (2013)). Abbruchbaustellen stellen sich hinsichtlich ihrer Lage und Dauer der Arbeiten, der Komplexität im Betrieb sowie der verwendeten Baumaterialien, der Technologien, des Maschinen- und Geräteeinsatzes und insbesondere der Umwelteinwirkungen (Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen bzw. -immissionen) sehr unterschiedlich dar. In Abbildung 2 sind **mögliche Emissionsquellen** aufgeführt, welche zu Beeinträchtigungen (Immissionen) und ggf. Belästigungen der Anwohner und in der Nachbarschaft, aber auch zu Auswirkungen auf die direkt auf der Baustelle tätigen Arbeitskräfte beitragen.

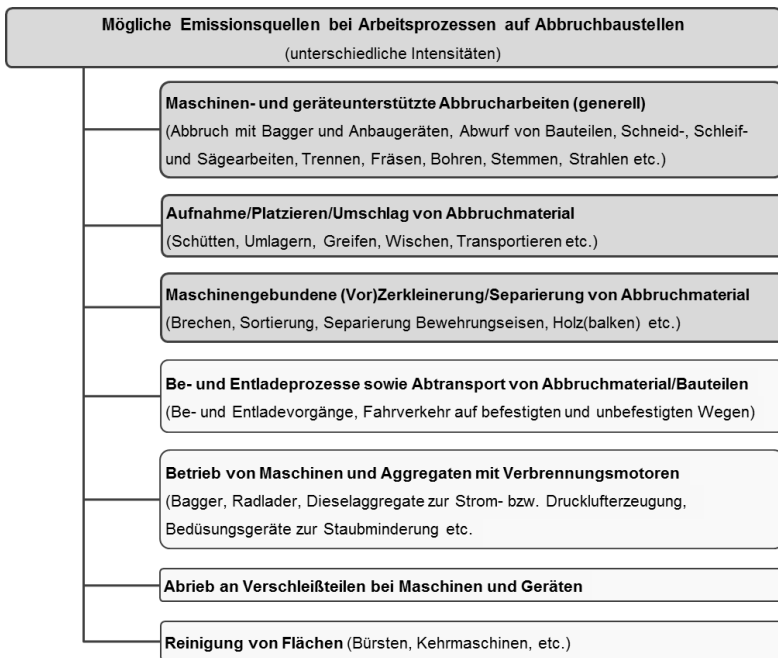


Abbildung 35: Mögliche Emissionsquellen bei Arbeitsprozessen auf Abbruchbaustellen

Stand der Technik: Bei einem Teil der in Deutschland in den Abbruchprozess involvierten Akteure sind die Betrachtung von Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen bereits integraler Bestandteil der Abbruchplanung, Abbruchdurchführung und Abbruchnachbereitung. Oft wird der Immissionsschutz derzeit jedoch nur unzureichend berücksichtigt und entsprechende Schutzmaßnahmen zur Minderung der Immissionen werden selten in die Ablaufplanung und –durchführung einbezogen (vgl. Haltenorth et al. (2007)). Gründe hierfür sind u.a. unvollständige Ausschreibungsunterlagen (beispielsweise ohne Differenzierung des bauplanungsrechtlichen Umfeldes), mangelnder Kenntnisstand hinsichtlich Ursachen und zielgerichteter Beeinflussung zur Eindämmung der Emissionen und Immissionen, unvollständiges Messkonzept (bspw. ohne Berücksichtigung der Vorbelastung) und Wirtschaftlichkeitsaspekte (vgl. DA (2015) (bspw. unzureichender Arbeits- und Gesundheitsschutz)). Beispielsweise orientiert sich die Zielstellungen der Auftraggeber bei der Abbruchplanung derzeit im Wesentlichen an kurzen Abbruchdauern und niedrigen Kosten. Auch in der Abbruchdurchführung wird aus Wirtschaftlichkeitsgründen der Immissionsschutz in vielen Fällen ungenügend betrachtet. Eine Überprüfung der tatsächlichen Immissionen sowie der Wirksamkeit von Schutz- und Immissionsminderungsmaßnahmen findet nur vereinzelt statt. Insbesondere fehlen belastbare, detaillierte Daten hinsichtlich Emissionen und Immissionen von Lärm, Staub und Erschütterungen sowie deren Determinanten, für einzelne Abbruchvorgänge. Das Fehlen von Daten kann unter anderem auch durch die hohen Kosten entsprechender Messungen und fehlender Messkonzepte erklärt werden. Auf Grund der schlechten Datenlage fehlen auch Ansätze zur adäquaten Nutzbarmachung und Berücksichtigung derartiger Daten im Abbruchprozess (Planung, Durchführung und Nachbereitung), beispielsweise im Rahmen eines gezielten Emissions- und Immissionsmanagements.

Die Wahl emissionsarmer Maschinen und Geräte ist zum Teil rechtlich vorgegeben und in der Praxis in der Regel Stand der Technik. Im Rahmen des Projekts liegt der Fokus auf den in Abbildung 1 dunkelgrau unterlegten Emissionsquellen, da diese direkt und hauptsächlich mit Abbruchvorgängen

verbunden sind und durch eine entsprechende Wahl der Abbruchtechnik gemindert werden können.

1.2 Zielsetzung

Übergeordnetes Ziel des Forschungsprojekts ist die **Analyse der Einflussfaktoren** von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen und -immissionen bei Abbruchvorgängen und die **Integration des Immissionsschutzes in den Projektablauf**. Das zur Zielerreichung im Rahmen des Projekts entwickelte Gesamtkonzept für die Rückbauplanung vom Objekt über die Planung zur Abbruchdurchführung ist in Abbildung 6 dargestellt. Es besteht aus den folgenden drei Instrumenten, deren Entwicklung/Umsetzung/Erstellung gleichzeitig die Unterziele des Projekts/die Projektergebnisse darstellen:

1. eine Datenbank mit ökonomischen, ökologischen und technischen Kennwerten/Kennzahlen für die Planung des Abbruchprozesses.
2. ein prototypisches IT-basiertes Planungsunterstützungswerkzeug, das auf die Datenbank zugreift.
3. ein prototypisches Immissionserfassungssystem, zur permanenten Immissionsüberwachung.

Zur Übertragung der Ergebnisse in die Praxis von Rückbauprojekten, wurden unter anderem aktorspezifische Handlungsempfehlungen für die Integration des Immissionsschutzes erstellt. Diese Empfehlungen enthalten unter anderem Hinweise, wo die drei Instrumente, die im Rahmen des Projekts prototypisch entwickelt wurden, in Zukunft möglicherweise um- und einzusetzen sind.

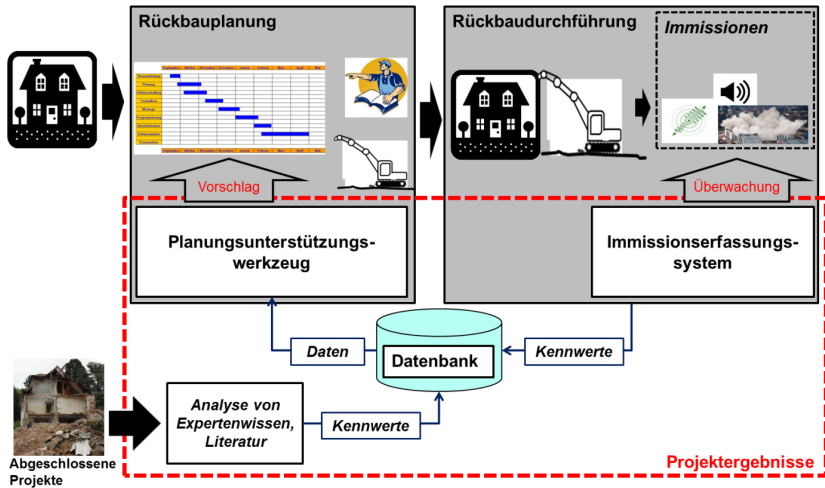


Abbildung 36: Konzept Rückbauplanung vom Objekt über die Planung zur Abbruchdurchführung

1.3 Aufbau des Berichts

Zwecks besserer Lesbarkeit des Berichtes ist dieser nicht nach Arbeitspaketen sondern inhaltlich nach **den** einzelnen Bestandteilen des Gesamtkonzepts, in Form der neu entwickelten **Instrumente und erzielte Projektergebnisse**, strukturiert.

Der Stand der Technik sowie rechtliche Rahmenbedingungen und Regelwerke, Hilfsmittel zur Unterstützung der Abbruchplanung und derzeitige Messtechniken werden ausführlich im Kapitel 3 des Endberichts zur 2. Projektphase (Kühlen et al. 2014) dargelegt.

In **Kapitel 2** werden zunächst die zur Primärdatenerhebung durchgeführten Untersuchungen/eingesetzten Methoden für die Erstellung der Kennwerte/Kennzahlen der Datenbank beschrieben. In **Kapitel 3** wird der Aufbau, die Bedienung und der Test des IT-basierten prototypischen Planungsinstrumentes vorgestellt. Der Aufbau mit den zur Verifikation erfolgten Versuchen/Untersuchungen sowie die Bedienung des

Immissionserfassungssysteme werden in **Kapitel 4** erläutert. In **Kapitel 5** werden die Ergebnisse/die Instrumente im Hinblick auf die Zielsetzung des Projekts diskutiert. Weiter werden die Instrumente hinsichtlich deren praktischer Nutzens bewertet. Es wird die durch die Ergebnisse mögliche Umweltentlastung ausgewiesen. Es werden auch die erfolgten (und geplanten) Maßnahmen zur Verbreitung der Ergebnisse und zum Hineintragen der Instrumente in die Praxis dargelegt. **Kapitel 6** fasst die Ergebnisse mit einer kritischen Würdigung abschließend zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftig nötige Arbeiten, Forschungsthemen und Untersuchungen.

2 Primärdatenerhebung für die Datenbank

Im Projekt wurden **Kennwerte/Kennzahlen** für eine technische, ökonomische und ökologische Bewertung des Abbruchprozesses auf der Baustelle erstellt und in einer **Datenbank** zusammengeführt. Die für die Erstellung der Kennwerte/Kennzahlen und für die weiteren Stammdaten der Datenbank notwendigen Daten wurden auf Basis von **Literatur**, und vor allem auf Basis von im Rahmen des Projekts primär erhobenen Daten aus **Expertenbefragungen (siehe Kapitel 2.1.), Versuchen (siehe Kapitel 2.2.) und Messungen auf Abbruch- und Rückbaubaustellen (Kühlen et al. (2014)) erhoben**. Für die Erhebung der Daten und deren Strukturierung wurden die Abbruchvorgänge in Anlehnung an die in der DIN 18007:2009-03 normierten und die am häufigsten angewandten Abbruchverfahren (Weimann et al. (2013), Expertenbefragung (Kapitel 2.1.)) definiert (siehe Tabelle 2 in Kapitel „Begriffe und Definitionen“ (DIN 18007:2009-03, DA (2015))). Weiter wurden hierfür die Bestandsgebäude in Deutschland anhand von Baumaterialien und Konstruktionsweisen (Bauart bestimmende Merkmale) in Anlehnung an Klauß et al. (2009); Grünthal (1998) und HAZUS (2003) typisiert (siehe Tabelle 1 in Kapitel „Begriffe und Definitionen“ (Kühlen et al. (2014))). Ergänzend zu den in der Phase 1 und 2 erhobenen Daten und verwendeten Datenquellen (Kühlen et al. 2014) wurde die Datenbank in der 3. Phase insbesondere um folgende Daten und Datenquellen ergänzt:

vorwiegend **auf Basis von Literatur** um Daten

- zum Ressourceneinsatz,
- zu Schutzmaßnahmen und
- zu umfeldbezogenen Emissionsabnahmeeffekten

sowie auf Basis von Expertenbefragungen und Versuchen um material- und abbruchtechnikbezogene **Primärdaten** zu

- Lärm-,
- Staub- und
- Erschütterungsemissionen.

Details zu diesen in der 3. Phase erhobenen Daten und Datenbank-Tabellen mit erstellen Kennwerten enthält Kapitel 3. Hier werden im Rahmen der Erläuterung des prototypischen IT-basierten Planungsunterstützungswerkzeugs, das auf die Informationen der Datenbank zugreift, die Art, Anzahl und Kosten des Ressourceneinsatzes (siehe Kapitel 3.2.3.), die ausgewählten Schutzmaßnahmen (siehe Kapitel 3.1.2., Tabelle 13), die Berechnung von Immissionen auf Basis von umfeldbezogenen Emissionsabnahmeeffekten sowie die aktualisierten und erweiterten Emissionskennwerte (siehe Kapitel 3.2.4.) beschrieben.

Die zwei Vorgehensweisen zur Primärdatenerhebung, „Expertenbefragung“ und „Immissionsmessungen unter Versuchsbedingungen“, werden im Folgenden näher erläutert.

2.1 Expertenbefragung

Um Literaturquellen durch Primärdaten aus Expertenwissen zu ergänzen, wurde zur Bewertung verschiedener Abbruchtechniken hinsichtlich der zu erwartenden Emissionen (Lärm, Staub und Erschütterung) eine Befragung von Experten der Abbruchbranche durchgeführt. Die Befragung erfolgte als Online-Umfrage unter den Abbruch- und Recyclingunternehmen, die Mitglied des Deutschen Abbruchverbandes sind, über einen Zeitraum von 7 Wochen (12.01.2015 - 03.03.2015). Von den 84 (100%) Unternehmen, die angeschrieben wurden, haben 57 Experten die Umfrage begonnen. Von diesen 57 haben 18 Experten (21%) die Umfrage beendet. Möglicher Abbruchgrund für die 39 der 57 Experten war der zeitliche Umfang der Befragung von ca. 25 Minuten. Die folgenden Ergebnisse, die auch in das Planungsunterstützungswerkzeug integriert wurden, basieren auf den 18 abgeschlossenen Umfragen.

2.1.1 Allgemeine Informationen

Alle Befragten haben mindestens 14 Jahre Erfahrung in der Abbruchbranche und 50% können mehr als 20 Jahre **Berufserfahrung** in der Abbruchbranche vorweisen. Der Großteil der Befragten arbeitet in für die Branche relativ großen Unternehmen mit 35 bis 950 Mitarbeitern (> 50% der Befragten).¹

Für die Durchführung des Abbruchs ist der Hydraulikbagger, das am häufigsten verwendete Trägergerät, mit über 55% aller Nennungen (Mehrfachnennungen möglich). Über 50% der hier eingesetzten Hydraulikbagger hat eine Größe zwischen 25 und 30 Tonnen. Ein Hydraulikbagger dieser Größe sowie die Abbruchzange, der Abbruchhammer, der Pulverisierer und Abbruchgreifer als Anbaugerät werden bei über 80% der Befragten eingesetzt. Mit jeweils über 15% der Gesamtnennungen (Mehrfachnennungen möglich) werden diese Anbaugeräte am häufigsten genutzt.

Die Einsatzhäufigkeit der Anbaugeräte spiegelt sich auch in den am häufigsten verwendeten/angewandten Abbruchtechniken wider. Unter den Befragten werden die Techniken Abgreifen (78%), Stemmen (72%), Scherschneiden (61%) und Eindrücken (56%) am häufigsten beim Abbruch eingesetzt. Bei den Befragten werden von jenen in der DIN 18007:2009-03 normierten Abbruchverfahren Lockerungssprengung und Spalten nicht und Kernbohren, Seilsägen, Wasserstrahlschneiden und Schleifen nur in einem geringen Umfang eingesetzt (Abbildung 4).²

¹ Die Ergebnisse basieren auf der freiwilligen Angabe von 17 der 18 Befragten (siehe auch Anhang A).

² Mehrfachnennungen waren möglich, aber waren auf max. 5 Techniken beschränkt.

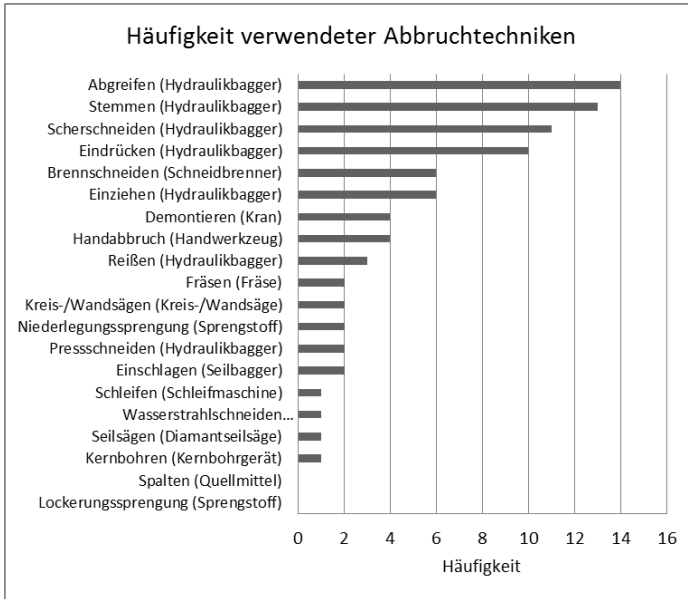


Abbildung 37: Häufigkeitsverteilung der verwendeten Abbruchtechniken

Wie auch in Tabelle 2 gelistet, wird der Abbruchgreifer, neben Abgreifen und teilweise für das Eindrücken, zum Materialsortieren eingesetzt und der Pulverisierer kommt vor allem beim Materialzerkleinern zum Einsatz.

Nachdem die Befragten, die häufigsten Abbruchtechniken benannt hatten, sollten sie diese hinsichtlich des Aufwands zum Materialsortieren und –zerkleinern sowie hinsichtlich der Höhe von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen in die lokale Umwelt bewerten.

2.1.2 Materialsortieren und -zerkleinern

Für die Bewertung der Techniken wird eine gute Recyclingfähigkeit der Materialien angenommen (vgl. Kühlen et al. 2014). Das Abbruchmaterial muss nach Abschluss des Abbruchs/Rückbaus eines Bauteils inklusive Nachsortierung auf der Baustelle eine Sortenreinheit von 95-98% (d.h. im Bauschutt sind nur 2-5% Fremdstoffe, wie Holz und Reste aus Kunststoff und

von Dämmmaterialien, enthalten) aufweisen. Hierzu ist ein Nachsortierungsaufwand (Minuten Nachsortierung pro m³-Bauschutt) notwendig. Weiter wird die maximale Größe der Abbruchstücke mit ca. 80x80cm vorgegeben. D.h. dass eine gewisse Materialvorzerkleinerung stattgefunden hat.

Somit mussten die Befragten die ausgewählten Abbruchtechniken zunächst hinsichtlich des nachgelagerten Aufwands zur Materialtrennung und –zerkleinerung bewerten.

Die Aufwendungen für die Nachsortierung und Materialzerkleinerung wurden für die einzelnen Techniken in Abhängigkeit von unterschiedlichen Abbruchmaterialien abgefragt. Den Befragten standen hierbei die folgenden diskreten Beurteilungskategorien als Wahlmöglichkeiten zur Verfügung:

1. Kein Aufwand: 0 Min/m³
2. Geringer Aufwand: <5 Min/m³
3. Hoher Aufwand: 5-10 Min/m³
4. Sehr hoher Aufwand: >10 Min/m³

Die Kategorien 2-4 repräsentieren jeweils ein zeitliches Intervall mit Ober- und Untergrenze, in dem der Aufwand für das Nachsortieren/Zerkleinern pro 1 m³ Material liegt.

Die Umfrageergebnisse sind Verteilungen von diskreten Werten (1, 2, 3, 4) je Technik und Material (Abbildungen 5 und 6).

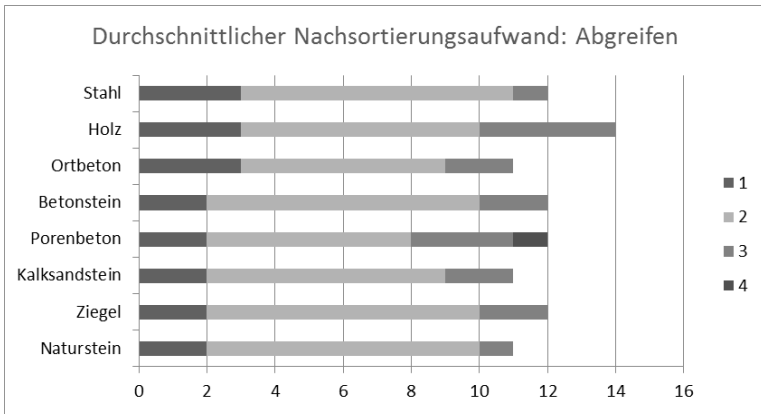


Abbildung 38: Häufigkeitsverteilungen der Abschätzung des Nachsortierungsaufwandes der Technik Abgreifen abhängig von verschiedenen Materialien

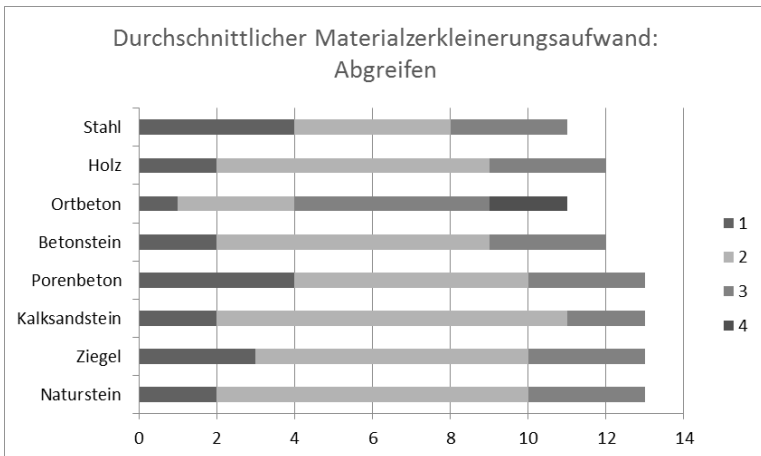


Abbildung 39: Häufigkeitsverteilungen der Abschätzung des Materialzerkleinerungsaufwandes der Technik Abgreifen abhängig von verschiedenen Materialien

Um aus diesen Umfrageergebnissen einen Kennwert für den Nachsortierungs-/Zerkleinerungsaufwand je Technik und Material zu erhalten, wurde unter der Annahme einer Normalverteilung über die Umfrageergebnisse der Mittelwert als mittlerer Aufwand berechnet (siehe bspw. Abbildungen 7 und 8).

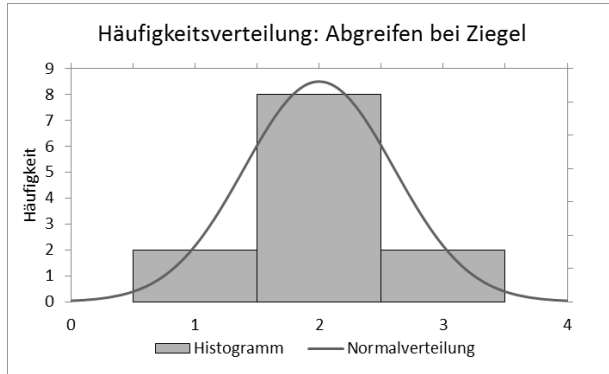


Abbildung 40: Normalverteilung der Nachsortierungsaufwandsabschätzung der Technik Abgreifen von Ziegel

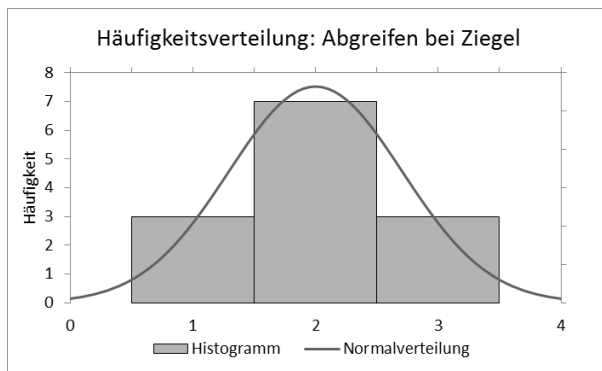


Abbildung 41: Normalverteilung der Materialzerkleinerungsaufwandsabschätzung der Technik Abgreifen von Ziegel

Entsprechend der obigen Aufwandskategorien (1-4) wurde jedem Mittelwert ein zeitliches Intervall zugeordnet. Als repräsentative Kennzahl zur Abbildung des durchschnittlichen Nachsortierungs- bzw. Materialzerkleinerungsaufwands wurde die jeweilige Obergrenze des ermittelten Intervalls (in Min/m^3) gewählt (bspw. der Mittelwert 2,0 ergibt die Kennzahl 5 Min/m^3).

2.1.3 Bewertung der Emissionen

Des Weiteren mussten die Experten die Höhen der Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen der ausgewählten Abbruchtechniken in Abhängigkeit von unterschiedlichen Abbruchmaterialien bewerten. Den Befragten standen hierbei die folgenden diskreten Beurteilungskategorien als Wahlmöglichkeiten zur Verfügung:

- 0 = nicht störend
- 1 = kaum störend
- 2 = teilweise störend
- 3 = störend
- 4 = schmerzhaft störend

Um die Ergebnisse dieser Bewertung zu verifizieren, wurden für jeden Emissionstyp Vergleichsfragen gestellt, mittels der die Wahrnehmung der Teilnehmer mit in den in der Literatur definierten Emissionshöhen verglichen werden konnte. Die Wahrnehmung aller Befragten entsprach den Werten aus der Literatur, sodass die Bewertungen aller Experten in die Auswertung einfließen konnten. Unter Annahme der Ergebnisse als normalverteilt konnte auch hier der Mittelwert der Emissionshöhe je Technik und Material berechnet werden (siehe bspw. Abbildungen 9).

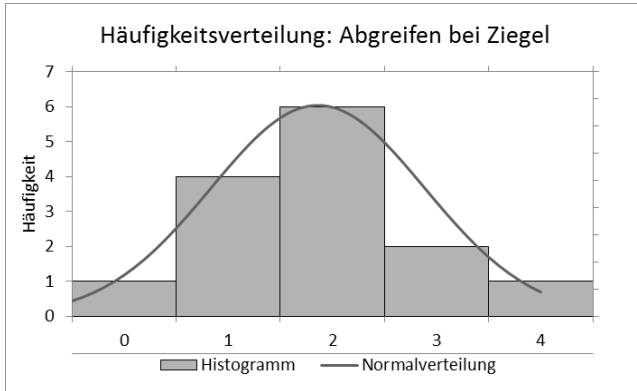


Abbildung 42: Normalverteilung der Staubemissionshöhenbewertung der Technik Abgreifen von Ziegel

Um aus diesen Umfrageergebnissen eine Kennzahl für die Emissionshöhe je Technik und Material zu erhalten, wurden mittels der diskreten Beurteilungskategorien, 9 Emissionsklassen gebildet (0, 0,5, 1, 1,5, 2, ..., 4). Die berechneten Mittelwerte wurden der nächsten Emissionsklasse durch Auf-/Abrunden zugeordnet. Die mittels der Befragung sowie den Versuchen erstellten Kennzahlen der Datenbank können den Tabellen in Kapitel 3.2.4. entnommen werden.

2.1.4 Einfluss von Abbruchhöhe und Maschinengröße

Weiter war von den Experten der Einfluss der Abbruchhöhe über Geländeoberkante sowie der Maschinengröße auf die Emissionswirkung je Emissionsart abhängig von Material und Technik abzuschätzen. Den Befragten standen hierbei die folgenden diskreten Beurteilungskategorien als Wahlmöglichkeiten zur Verfügung:

- 1 = Kein Einfluss auf die Emissionshöhe
- 1,5 = Erhöhung der Emissionshöhe um 1,5
- 2 = Verdopplung der Emissionshöhe
- 3 = Verdreifachung der Emissionshöhe

In diesem Fall bilden die Werte direkt den Faktor (k) der Erhöhung der Emissionshöhe (Verdopplung, Verdreifachung, ...) durch Änderung der Abbruchhöhe bzw. der Maschinengröße. Unter Annahme einer Normalverteilung konnten die erwarteten Mittelwerte berechnet werden. Der berechnete Mittelwert entspricht dem durchschnittlichen Faktor der Erhöhung.

Für die Anpassung der Emissionshöhen an Abbruchhöhen- bzw. Maschinengrößenänderungen und die Erstellung entsprechender Kennzahlen waren 3 Berechnungsschritte notwendig. Erstens wurden den in der Umfrage ermittelten Emissionshöhenkennzahlen (siehe Kapitel 2.1.3. und 3.2.4.) allgemeine Emissionshöhenwerte aus der Literatur unter Berücksichtigung der menschlichen Wahrnehmung zugeordnet (Emissionshöhenwerte: Lärmemissionen in [dB(A)], Staubemissionen in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] und Erschütterungsemissionen in [mm/s]). Zweitens wurde jeder Emissionshöhenwert um den Faktor k angepasst. Hierbei erfolgte die Anpassung des Emissionshöhenwertes im Fall von Staub- und Erschütterungsemissionen durch Multiplikation mit k. Im Fall der Lärmemissionen hingegen erfolgte die Anpassung an die Abbruchhöhe bzw. Maschinengröße in Anlehnung an das menschliche Lautstärke-Empfinden durch folgende Formel³:

Angepasster Emissionshöhenwert = ursprünglicher Emissionshöhenwert + $(10 * \log_2(k))$ [dB(A)]

Drittens wurde der resultierende angepasste Emissionshöhenwert wieder einer der 9 Emissionsklassen zugeordnet, die somit die angepasste Emissionshöhenkennzahl darstellt.

³ Schallpegeländerung auf Grund der psychoakustischen (empfundene) Größe: <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-Lautheit.htm>.

2.2 Immissionsmessungen unter Versuchsbedingungen

2.2.1 Versuchsaufbau

Grundlegendes Ziel der Versuche war die Erhebung von relativ vergleichbaren Werten für die Bewertung

- von Abbruchtechniken bezüglich der zu erwartenden Emissionen (Immissionen in unmittelbarer Nähe der Emissionsquelle)⁴ und
- der Eignung der Sensorik des Immissionserfassungssystems (im Folgenden auch KIT-System genannt)

unter Berücksichtigung der eingesetzten Materialien.

Zu diesem Zweck mussten für die Versuche immissionsbeeinflussende Parameter, wie Wind, Nässe, Temperatur, Bodeneinflüsse und Umgebungsbedingungen, möglichst gleichbleibend konstant gehalten werden. Die Versuche wurden in einer Halle auf dem Versuchsgelände des TMB durchgeführt, wodurch lediglich die Temperatur leicht schwankend war. Verschiedene Versuchsreihen wurden zur Untersuchung des Einflusses von Material und Abbruchtechniken auf die Emissionshöhe durchgeführt. Für die Analyse des Einflusses verschiedener Abbruchtechniken wurden als Werkzeuge zum einen ein 14t Kettenbagger der Firma Hitachi (KX135) mit Crusher („Pressschneiden“), Abbruch-/Sortiergreifer („Abgreifen“) und Hydraulikmeißel („Stemmen“) und zum anderen ein Winkelschleifer mit einem 235mm Diamantschneideblatt („Sägen“) eingesetzt. Für die Analyse des Einflusses von unterschiedlichen Materialien wurden zum einen Mauerwerksteine aus Kalksandstein, Ziegel, Beton und Porenbeton verwendet. Alle Steine hatten die gleichen Dimensionen von ca. 240mm x 250mm x 300mm. Zum anderen wurden für eine vergleichbare Versuchsdurchführung mit dem Material Stahlbeton kleine Platten aus einer großen

⁴ Im Folgenden wird von der Messung/Aufnahme/Untersuchung der „Emissionen“ gesprochen, da im Rahmen der Versuche die Immissionen in unmittelbarer Nähe der Emissionsquelle erfasst wurden und die Bedingungen für die Versuche konstant gehalten wurden, so dass eine qualitative Aussage über die Emissionen getroffen werden kann.

Stahlbetonfertigteileplatte gesägt. Zusätzlich, zur Untersuchung der Wirkung von Staubminderungsmaßnahmen, wurden kleine transportable Mauern mit einer Fläche von je. 1m² aus Ziegelsteinen mit einem Fertigmörtel der Gruppe IIa und einem Kalk-Zement-Fertigputz gefertigt.

Für die Messung der Emissionen wurden neben dem KIT-System verschiedene Messsysteme eingesetzt. Zur Erschütterungsmessung kamen ein ZEB / SM-3C der Firma ZEB-Maxam und ein 8-kanaliges Schwingungsmesssystem vom Typ SM 9800 der Firma Beitzler- Messtechnik zum Einsatz. Die Staubmessung wurde mit 3 Geräten des Typs IAQ-11-A der Firma Grimm und einem CEL-712 Microdust Pro der Firma CAS unterstützt.

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen den Versuchsaufbau, die Durchführung und die permanente Erfassung und Darstellung der Messwerte über die Dauer der Versuche hinweg.



Abbildung 43: Versuchsaufbau und Durchführung der ersten Versuchsreihe



Abbildung 44: Erfassung und Darstellung der Messwerte während der Versuche

2.2.2 Versuchsdurchführung

In der ersten Versuchsreihe (Tabelle 4) konnten unter Verwendung verschiedener einzelner Mauerwerkssteine insbesondere die **Staub- und Lärmemissionen** bei der Zerstörung der Materialien untersucht werden (siehe Abbildung 10). Es wurden die einzelnen Mauerwerksteine verwendet, um den Effekt des Mörtels nicht als einheitliche Größe/Grundbelastung auf die Staubemissionen zusätzlich zu den Materialien mitzuführen. Es wurden alle Werkzeuge und somit alle vorhandenen Verfahren angewendet, wobei der Hydraulikmeißel auf den weichen/instabilen Steinen (Porenbeton, Mauerwerksziegel und Kalksandstein) nicht genau angesetzt werden konnte und der Abbruch-/Sortiergreifer die harten/stabilen Steine (Kalksandstein, Betonstein) nicht zerstören konnte. Versuche ohne Ergebnis oder mit eingeschränkter Aussagefähigkeit sind mit „-“ markiert.

Tabelle 33: Anzahl auswertbarer Versuche der 1. Versuchsreihe

Verfahren/ Material	Crusher	Greifer	Meißel	Winkel- schleifer
Porenbeton	4	4	- (3)	1 (3 Messungen)
Ziegelstein	4	3	- (2)	1 (3 Messungen)
Kalksandstein	4	-	3	1 (3 Messungen)
Betonstein	4	-	4	2 (3 Messungen)

Die zweite Versuchsreihe bestand aus dem Abbruch der verputzten Ziegelsteinwände (Abbildung 12). Ziel dieser Versuche war es, die **Staubemissionen** hinsichtlich der Wirkung (Staubfreisetzung und Staubbinding) von **verschiedenen Staubminderungsmaßnahmen** unter Wassereinsatz zu untersuchen. Ohne Minderungsmaßnahme (1.) und zu jeder Minderungsmaßnahme (2.-4.) wurden jeweils 2 Versuche durchgeführt:

1. Ohne Wasser: ohne Einsatz von Wasser vor und während des Abbruchs
2. Staubbekämpfung: Wassereinsatz zur reinen Staubbekämpfung während des Abbruchs, d.h. der Wasserstrahl ist auf den entstehenden Staub gerichtet
3. C-Schlauch: Wassereinsatz zur Staubbekämpfung am Emissionsort während des Abbruchs, d.h. der Wasserstrahl ist direkt auf den Emissionsort gerichtet
4. Vorwässern: Vorwässerung der Wand über Nacht ohne Wassereinsatz während des Abbruchs

Die Wände wurden mit dem Crusher („Pressschneiden“) mit je 6 Aktionen abgebrochen, sodass jeder einzelne Stein vom Crusher zerstört wurde.



Abbildung 45: Zweite Versuchsreihe: Abbruch von verputzten Ziegelsteinwänden

In der dritten Versuchsreihe wurden Stahlbetonteile abgebrochen (Abbildung 13). Aufgrund des Materials kamen Crusher („Pressschneiden“), Hydraulikhammer („Stemmen“) und Winkelschleifer („Sägen“) zum Einsatz. Die bessere Anbindung der Versuchskörper an den Untergrund durch das hohe Eigengewicht und den hohen Kraftaufwand, der zum Zerstören der Versuchskörper benötigt wird, konnten neben Staub- und Lärmemissionen hier auch Erschütterungsemissionen untersucht werden. Ausgewertet werden konnten 3 Versuche mit Hydraulikhammer, 5 mit Crusher und 3 mit Winkelschleifer.



Abbildung 46: Dritte Versuchsreihe: Abbruch von Stahlbetonteilen

2.2.3 Versuchsergebnisse

Erste Versuchsreihe

Für den relativen⁵ Vergleich der Emissionshöhen von Lärm und Staub abhängig von verschiedenen Mauerwerksmaterialien und Abbruchverfahren wurden die Messwerte der einzelnen Sensoren des KIT-Systems ausgewertet und in den Tabellen 5 und 6 zusammengefasst.

⁵ Insbesondere bei den Staubmessungen, stellen die Messwerte keine absoluten Emissionswerte dar. Bspw. ist eine Aussage wie, „das Stemmen von Porenbeton verursacht durchschnittlich Staubemissionen ausgedrückt in der Konzentration von einatembarem Staub von 1142 mg/m³“, nicht möglich. Sondern wie unter 2.2.3 beschrieben, ermöglichen die Versuchsergebnisse einen relativen Vergleich der Emissionshöhen der untersuchten Technik-Material-Kombinationen.

Tabelle 34: Auswertung der Messergebnisse des KIT-Systems bezüglich der Schallemissionen verschiedener Abbruchverfahren und Mauerwerksmaterialien

Material/ Verfahren	Höhe der durchschnittlichen Schallemissionen (Schallpegel dB(A))			
	Ziegel	Porenbeton	Betonstein	Kalksandstein
Abgreifen	82	83	---	---
Pressschneiden	84	82	83	82
Stemmen	84	87	92	84
Sägen	98	92	109	103

Wie aus Tabelle 5 ersichtlich, variiert die Höhe der Schallemissionen bei den untersuchten Abbruchtechniken und Materialien zwischen 82 und 109 dB(A). Hinsichtlich allgemeiner Angaben zur Wahrnehmung von Schallimmissionen aus der Literatur (BG Bau (2015), Wikipedia-1 (2014)) können diese Schallpegel den Beurteilungskategorien (Kapitel 2.1.3.) 2 (teilweise störend) bis 4 (schmerzhaft störend) zugeordnet werden. Beim Vergleich der verschiedenen Materialien, untermauern die Versuchsergebnisse, die geläufige Wahrnehmung, dass Betonstein beim Stemmen und Sägen, das Material mit den höchsten Schallemissionen ist. Beim Vergleich der verschiedenen Verfahren, ist ein definierender Einfluss einzelner Verfahren erkennbar. Beim Sägen mit dem Winkelschleifer treten über alle Materialien hinweg die höchsten Schallemissionen auf, verglichen mit den anderen drei Verfahren. Die Schallemissionen beim Stemmen liegen abhängig vom Material zwischen 5-20 dB(A) niedriger als beim Sägen. Pressschneiden und Abgreifen verursachen unabhängig von den untersuchten Materialien gleichhohe Schallemissionen.

Tabelle 35: Auswertung der Messergebnisse des KIT-Systems bezüglich der Staubemissionen verschiedener Abbruchverfahren und Mauerwerksmaterialien

Material/ Verfahren	Höhe der durchschnittlichen Staubemissionen (Maß der Staubkonzentration (relative Bezugsgröße))			
	Ziegel	Porenbeton	Betonstein	Kalksandstein
Abgreifen	207	382	---	---
Pressschneiden	190	243	184	337
Stemmen	993	1142	693	960
Sägen	1927	6659	3813	6061

Staubemissionen sind generell schwer zu erfassen. Dies sollte man bei den aus den Messergebnissen gezogenen Schlussfolgerungen berücksichtigen. Aus den in Tabelle 6 aufgeführten einheitslosen Maßen (relative Bezugsgröße) der durchschnittlich erfassten Staubkonzentrationen an der Emissionsquelle lässt sich gut ableiten, dass die Verfahren Abgreifen und Pressschneiden relativ ähnliche Staubemissionen verursachen. Dies ist auch nachvollziehbar, da Greifer und Crusher das Material auf ähnliche Weise zerstören. Der Hammer gibt punktuell mehr Energie in das Werkstück, sodass über alle Materialien hinweg höhere Staubemissionen beim Stemmen vorliegen. Wie bereits bei den Schallemissionen, treten beim Sägen mit dem Winkelschleifer im Vergleich zu den anderen Verfahren über alle Materialien hinweg die höchsten Staubemissionen auf. Beim Sägen zeigt sich weiterhin deutlich, dass die Größe der Schnittfläche einen Einfluss auf die Emissionshöhe hat. Bei den Materialien Ziegel (Abbildung 14) und Betonstein haben die Kammern im Stein (aufgrund des dadurch geringeren Materialquerschnitts) dazu geführt, dass weniger Material emittiert wurde. Da beim Sägen nahezu das komplette Material der Fuge zu Staub wird, ist bei Porenbeton und Kalksandstein erwartungsgemäß auch der höchste Emissionswert gemessen worden.



Abbildung 47: Erste Versuchsreihe: Sägen von Ziegelmauerwerk

Zweite Versuchsreihe

Für den relativen Vergleich der Staubemissionshöhen abhängig von verschiedenen Staubminderungsmaßnahmen unter Wassereinsatz wurden die Messwerte der einzelnen Sensoren des KIT-Systems sowie der beiden konventionellen Staubmessgeräte (Grimm) ausgewertet und in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 36: Auswertung der Messergebnisse bezüglich der Wirkung von Staubminderungsmaßnahmen (siehe 2.2.2.)

Messsysteme/ Minderungs- maßnahmen	KIT-System	Grimm	Grimm absolut PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ohne Wasser	100%	100%	14807
Staubbekämpfung	103%	95%	14058
Vorwässern	55%	57%	8420
C-Schlauch	37%	24%	3485

Wie unter Kapitel 2.2.2. beschrieben wurden für den Vergleich der Staubminderungsmaßnahmen verputzte Ziegelsteinwände durch „Pressschneiden“ abgebrochen. Verglichen mit dem Abbruch der Wand „ohne Wasser“ ist der Vorteil der Minderungsmaßnahme „Staubbekämpfung“ nicht belegbar. Hier ist anzumerken, dass keine Vernebelung zur Verfügung stand. Das „Vorwässern“ bewirkte eine Staubemissionsminderung von ca. 45% gegenüber den Emissionen beim Abbruch „ohne Wasser“. Die Wirkung der Maßnahme ist jedoch von der Wasseraufnahmefähigkeit des Materials abhängig. Die Maßnahme „C-Schlauch“ bewirkte den größten Minderungseffekt von bis zu 76%, so wurden 24% (35%) der Staubemission des Abbruchs „ohne Wasser“ gemessen. Die abweichenden %-Werte der Messsysteme beim Abbruch mit „C-Schlauch“ resultieren aus den unterschiedlichen Messmethoden. So werden beim Grimm-System bei zu vielen Partikeln, wovon in diesem Fall auszugehen ist, weniger aber größere Partikel erfasst, die aber insgesamt schwerer sind. Dadurch ist die Bezugsbasis höher als beim KIT-System. Theoretisch sollte die Reduzierung der Staubemission durch Kombination der beiden Verfahren (Vorwässern und C-Schlauch) noch verbessert werden können. Die Messwerte der Emissionen von Lärm und Erschütterungen waren bei dieser Versuchsreihe ähnlich und werden hier nicht weiter analysiert.

Dritte Versuchsreihe

Für den relativen Vergleich der Emissionshöhen von Lärm, Staub und Erschütterungen abhängig von verschiedenen Abbruchverfahren angewandt auf das Material Stahlbeton wurden die Messwerte der einzelnen Sensoren des KIT-Systems und der konventionellen Staub- und Erschütterungsmesssysteme (ZEB, HLA, Grimm) ausgewertet und in den Tabellen 8, 9 und 10 zusammengefasst.

Tabelle 37: Auswertung der Messergebnisse des KIT-Systems bezüglich der Schallemissionen verschiedener Abbruchverfahren angewandt auf Stahlbeton

Verfahren	Höhe der durchschnittlichen Schallemissionen (Schallpegel dB(A))
Stemmen	107
Pressschneiden	92
Sägen	107

Pressschneiden (Abbildung 15) ist das Abbruchverfahren mit den geringsten Lärmmissionen von den untersuchten Verfahren angewandt auf Stahlbeton. „Stemmen“ und „Sägen“ können hier als gleichlaut (ohne Berücksichtigung des Einflusses der Frequenz) eingestuft werden.

Tabelle 38: Auswertung der Messergebnisse bezüglich der Staubemissionen verschiedener Abbruchverfahren angewandt auf Stahlbeton

Mess- systeme/ Verfahren	Relative Höhe der durchschnittlichen Staubemissionen (% bezüglich Pressschneiden)	
	KIT-System	Grimm
Pressschneiden	100%	100%
Stemmen	97%	94%

Bezüglich der Staubemissionen liegen nur Werte für den Vergleich der Verfahren „Pressschneiden“ und „Stemmen“ vor. Beide Verfahren weisen bei einem ähnlichen Zerstörungsgrad ähnliche Staubemissionen auf.

Tabelle 39: Auswertung der Messergebnisse bezüglich der Erschütterungsemissionen verschiedener Abbruchverfahren angewandt auf Stahlbeton

Messsysteme/ Verfahren	KIT System [mV]	KIT Prozent	ZEB [mm/s]	ZEB Prozent	HLA [mm/s]	HLA Prozent
Stemmen	306	100%	563	100%	10	100%
Pressschneiden	53	17%	59	10%	2	18%
Sägen	9	3%	8	1%	0	0%

Die Versuche zeigen, dass wie zu erwarten, „Stemmen“ das erschütterungsreichste und „Sägen“ das erschütterungsärmste Abbruchverfahren von den untersuchten Verfahren angewandt auf Stahlbeton ist.



Abbildung 48: Dritte Versuchsreihe: Pressschneiden von Stahlbeton

Folgenden näher dargelegt werden. Um die Aussagekraft der Ergebnisse des Planungswerkzeugs zu überprüfen, wurde der Prototyp bei einem Abbruchvorhaben unter Realbedingungen getestet (Kapitel 3.4.).

3.1 Nutzereingabe

Die für die Planungsunterstützung seitens des Nutzers notwendigen Daten zum Abbruchvorhaben, d.h. Beschreibung des Abbruchobjekts/der Gebäudeeigenschaften und der Baustellenumgebung, sowie die Präferenzen des Nutzers hinsichtlich der ökonomischen und ökologischen Kriterien können computergestützt über Eingabemasken des Werkzeugs eingegeben werden.

3.1.1 Gebäudeeigenschaften

Der Bauherr, Planer oder Abbruchunternehmer muss als Nutzer des Werkzeugs die Eigenschaften des abzubrechenden Gebäudes beschreiben. Hierfür sind in der ersten Maske (Abbildung 17) die folgenden Angaben zu den Abmessungen des Abbruchobjekts erforderlich:

- bebaute Grundfläche (m²)
- größte Gebäudelänge und –breite (m)
- Gesamthöhe des Bauwerks über und unter der Geländeoberkante (GOK) (m) sowie
- Anzahl der Geschosse über und unter GOK.

Weiter ist für den Hinweis auf mögliche baustoffbedingte Schadstoffe das Baujahr bzw. das Jahr der letzten Sanierung anzugeben.

Eingabe der Gebäudebasisdaten

Gebäude ID	<input type="text" value="4"/>
Gebäudename	<input type="text" value="5a"/>
Gründungsfläche in m ²	<input type="text" value="150"/>
größte Gebäudebreite in m	<input type="text" value="10"/>
größte Gebäudelänge in m	<input type="text" value="15"/>
Gesamthöhe über Geländeoberkante (GOK) in m	<input type="text" value="7"/>
Gesamthöhe unter GOK in m	<input type="text" value="2"/>
Anzahl der Geschosse über GOK	<input type="text" value="3"/>
Anzahl der Geschosse unter GOK	<input type="text" value="1"/>
Baujahr bzw. Jahr der letzten Sanierung (bspw. 1956)	<input type="text" value="1970"/>

Abbildung 50: Maske für die Eingabe der Gebäudeabmessungen/der Gebäudebasisdaten

Darauf hat der Nutzer die Gebäudeeigenschaften näher zu spezifizieren. Dies erfolgt in der zweiten Maske des Planungswerkzeugs (Abbildung 18) auf Basis der einzelnen Bauteile/Bauteilgruppen der horizontalen und vertikalen Tragstruktur eines Geschosses. Das Werkzeug verwendet für jedes Bauteil Voreinstellungen für die Materialart und die Abmessungen, wenn diese Angaben vom Nutzer nicht spezifiziert wurden.

The screenshot shows a web-based form titled "Eingabe der Bauteileigenschaften je Geschoss". It is organized into several sections:

- General Building Data:** Includes input fields for "Gebäude ID" (value: 4), "Geschoss" (value: 2), and "Geschosshöhe ÜGOK" (value: 7). There is also a field "Angaben gelten bis Geschoss" (value: 2) and a legend for "EG: 0", "1.OG: 1", and "1.UG:-1...".
- Horizontale Tragstrukturen:** Contains three rows of data:
 - Row 1: "Horizontale Tragstruktur" (Dach), "Materialart" (Holz), "Dicke in m" (0,3), "Fläche in m2" (170).
 - Row 2: "Weitere horizontale Tragstruktur" (Decke), "Materialart" (Stahlbeton), "Dicke in m" (0,2), "Fläche in m2" (150).
 - Row 3: "Weitere horizontale Tragstruktur" (empty), with a dropdown menu showing "Decke", "Traeger", and "Fundament".
- Vertikale Tragstrukturen:** Contains three rows of data:
 - Row 1: "Vertikale Tragstruktur" (Aussenwand), "Materialart" (Ziegel-Mauerwerk), "Dicke in m" (0,3).
 - Row 2: "Weitere vertikale Tragstruktur" (Innenwand), "Materialart" (Ziegel-Mauerwerk), "Dicke in m" (0,2).
 - Row 3: "Weitere vertikale Tragstruktur" (empty).
- Buttons:** A blue button at the bottom right reads "Daten speichern und ggf. weitere Stockwerke definieren".

Abbildung 51: Maske für Eingabe der Bauteileigenschaften je Geschoss

3.1.2 Baustellenrahmen- und Umgebungsbedingungen

Neben der Beschreibung des Abbruchobjekts/Gebäudes hat der Nutzer die Möglichkeit die Baustellenrahmen- und Umgebungsbedingungen über eine Maske zu spezifizieren (Abbildung 19).

Abbruchbaustelle

Maschinen

Anzahl einsetzbarer Hydraulikbagger: Motorleistung (kW): Bereich der möglichen Werte: 50 - 300 kW

Anzahl einsetzbarer Longfrontbagger: Motorleistung (kW): Bereich der möglichen Werte: 50 - 300 kW

Anzahl einsetzbarer Seilbagger: max_Lastmoment_ttm: Bereich der möglichen Werte: 400 - 1000 tm

Berichtsjahr der Kosten: Bereich der möglichen Berichtsjahre: 2000 bis 2014

Treibstoff-/Dieselpreis (Euro pro Liter):

Umgebung

Platzverhältnisse um das Abbruchobjekt:

Siedlungstyp der Umgebung: Min. Distanz von der Abbruchbaustelle zum nächsten Gebäude (m): Anzahl der Reflexionsflächen um das Abbruchgebäude:

Nutzungstyp der Umgebung:

Schutzmaßnahmen

Auswahl der Schutzmaßnahme: Kosten der ausgewählten Maßnahme: Euro

- Keine Schutzmaßnahme
- Schallschirm_Holz_o_Metall
- Aufblasbarer_Schallschirm_zweischalig
- Aufblasbarer_Schallschirm_einschalig
- Folienmembran_daemmwoollegefüllt_am-Geruest
- Aluwandkassette_am-Geruest
- Aluwandkassette_mit-Daemmmatte_am-Geruest
- Schallkapselung_Maschine
- Schallschutzzelt
- C_Schlauch
- Schlauch_mit-Turbojetduese
- Spruehkanone
- Spruehanlage_am-Geraet
- Staubabsauger

ensatz: 14 | 1 von 1 |

Abbildung 52: Eingabe der Baustellenrahmen- und Umgebungsbedingungen

Die Wahl einer geeigneten Abbruchtechnik hängt unter anderem von den Platzverhältnissen vor Ort sowie von den vorhandenen Ressourcen/der vorhandenen Maschinen- und Gerätetechnik (siehe Tabelle 2) ab. Der Nutzer kann die verfügbaren Ressourcen definieren indem er die Anzahl der Trägergeräte je Typ (mögliche Anzahl zwischen 0 und 2) und deren Größe kW (Bagger) bzw. tm (Seilbagger) eingibt. Bezüglich der Platzverhältnisse auf Abbruchbaustellen bezieht sich die mögliche Auswahl im Werkzeug auf den innerstädtischen Bereich. In Anlehnung an DA (2015) heißt das, dass die „örtlichen Bedingungen der Baustelle“ immer „begrenzt“ sind und der Nutzer zwischen „relativ freien“ („3“), „begrenzen“ („2“) und „sehr begrenzten“ („1“) Platzverhältnissen um das Abbruchobjekt herum wählen kann. Die Eignung von

Abbruchtechniken bezogen auf diese Platzverhältnisse werden in Tabelle 11 definiert.

Tabelle 40: Technische Eignung von Abbruchtechniken bezogen auf die Platzverhältnisse vor Ort um das Abbruchobjekt herum

Abbruchtechnik		Eignung bzgl. der Platzverhältnisse vor Ort/um das Abbruchobjekt
#	Verfahren	
1	Abgreifen	3
2	Einschlagen	3
3	Eindrücken	2
4	Einziehen	3
5	Reißen	3
6	Stemmen	2
7	Pressschneiden	2
8	Scherschneiden	2
9	Handabbruch mit Handwerkzeug	1
1: geeignet bei sehr begrenzten Platzverhältnissen; 2: geeignet bei begrenzten Platzverhältnissen; 3: geeignet bei freien Platzverhältnissen Quellen: DA (2015), ergänzt und bestätigt durch Experteneinschätzungen		

Weiter kann, wie in Kapitel 3.2.2. beschrieben, die Wahl einer Abbruchtechnik vom Umgebungsnutzungstyp abhängen. Aus diesem Grund kann der Nutzer die Umgebungsnutzung in Anlehnung an die Gebietsnutzungskategorien der BauNVO (2013) definieren (Tabelle 12).

Tabelle 41: Gebietsnutzungskategorien ²

Gebietsnutzungskategorie nach BauNVO (2013)
Industriegebiet
Gewerbegebiet
Kerngebiet, Dorf- und Mischgebiet
Allgemeines Wohngebiet und Kleinsiedlungsgebiet
Reines Wohngebiet
Kurgebiet, Krankenhäuser und Pflegeanstalten

Zur Bestimmung der Emissionsabnahmeeffekte in Abhängigkeit von den Umfeldeigenschaften (siehe Kapitel 3.2.4.) hat der Nutzer die Möglichkeit, entweder **einen Siedlungstyp/Umfeldtyp** auszuwählen oder die minimale Distanz von der Abbruchbaustelle zum nächsten Gebäude und die Anzahl der Reflexionsflächen um das Abbruchobjekt herum individuell zu spezifizieren. Details zu den Siedlungstypen/Umfeldtypen und zu deren immissionsbeeinflussenden Eigenschaften werden in Kapitel 3.2.4. beschrieben. Weiter wird dem Nutzer die Option eingeräumt, aus einer Liste von ausgewählten Schutzmaßnahmen eine auszuwählen. Ein entsprechender durchschnittlicher Minderungseffekt wird derzeit angenommen und ist noch nicht wissenschaftlich verifiziert³ (Tabelle 13).

² Vgl. BauNVO (2013).

³ Die wissenschaftliche Verifikation von Minderungseffekten durch verschiedene Schutzmaßnahmen stellt ein zukünftiges Forschungsfeld dar.

Tabelle 42: Mögliche Schutzmaßnahmen und deren Minderungswirkung

Schutzmaßnahme	Angenommene durchschnittliche Minderungseffekte		
	Lärm	Staub	Erschütterung
Schallschirme aus Holz oder Metall	10 dB(A)	100%	-
Einschalige aufblasbare Schallschirme	10 dB(A)	100%	-
Zweischalige aufblasbare Schallschirme	20 dB(A)	100%	-
Mit Dämmwolle gefülltes Membran-Element aus Polyestergerewebe an Gerüsten	20 dB(A)	100%	-
Wandkassetten aus Aluminium an Gerüsten	20 dB(A)	100%	-
Wandkassetten aus Aluminium an Gerüsten mit Schalldämmmatten	25 dB(A)	100%	-
Schallkapselung für Abbruchhämmer	10 dB(A)	-	-
Schallkapselung für Maschinen	20 dB(A)	-	-
Schallschutzzelte	10 dB(A)	100%	-
Feuerwehrschauch / C-Schlauch	-	35%	-
Feuerwehrschauch mit Turbojetdüse	-	-	-
Sprühkanonen / Staubbindemaschine			
Wasservernebelung	-	75%	-
Wassersprüh- und Wasservernebelungsanlagen an Geräten	-	40%	-
Staubabsaugung / Luftreiniger	-	75%	-

3.1.3 Entscheiderpräferenzen

Für die Auswahl der jeweils „geeignetsten“ Abbruchtechnik/en je Bauteilart und Geschoss wird der Nutzer aufgefordert, seine Präferenzen bezüglich der

ökonomischen (Kosten und Dauer) und ökologischen Kriterien (Lärm, Staub und Erschütterungen) über deren Gewichtung in einer Maske anzugeben (Abbildung 20). Die damit verbundene Bewertung und Auswahl der „geeigneten“ Techniken wird in Kapitel 3.2.5. erläutert.

Entscheidungspräferenzen: Gewichtung der Zielkriterien

Übergeordnete Bedeutung der ökonomischen und ökologischen Ziele

Bedeutung der Wirtschaftlichkeit und der Umweltwirkung <input type="text" value="Gleichgewichtung von Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung"/>	Ökonomische_Gewichtung <input type="text" value="0,50"/>
	Ökologische_Gewichtung <input type="text" value="0,50"/>

Gewichtung der einzelnen ökonomischen Kriterien

Gewichtung der ökonomischen Kriterien <input type="text" value="Gleichgewichtung von Kosten und Dauer"/>	Kosten_Gewichtung <input type="text" value="0,50"/>
	Dauer_Gewichtung <input type="text" value="0,50"/>

Gewichtung der einzelnen ökologischen Kriterien

Gewichtung der ökologischen Kriterien <input type="text" value="Gleichgewichtung aller Umweltkriterien"/>	Laerm_Gewichtung <input type="text" value="0,33"/>
<input type="text" value="Lärm alleiniges Kriterium"/>	Staub_Gewichtung <input type="text" value="0,33"/>
<input type="text" value="Staub alleiniges Kriterium"/>	<input type="text" value="0,33"/>
<input type="text" value="Erschütterungen alleiniges Kriterium"/>	Erschütterungen_Gewichtung <input type="text" value="0,33"/>
<input type="text" value="Eigene differenzierte Gewichtung der Umweltkriterien"/>	

Abbildung 53: Exemplarische Eingabe der Kriteriengewichtungen

3.2 Analyseprozess

3.2.1 Abbruchabfolge auf Basis eines digitalen Modells des Abbruchobjekts

Bauteilbasiertes Modell des Abbruchobjekts: Wie in Kühlen et al. 2014 in Kapitel 5.1.1. beschrieben, wird über die vom Nutzer näher spezifizierten Gebäudeeigenschaften ein digitales Modell des Abbruchobjekts, der/des Gebäudetragstruktur/-rohbaus für die Planung der Abfolge des Abbruchprozesses erstellt. Jede Bauteilgruppe im Gebäudemodell wird hierbei durch die folgenden Eigenschaften beschrieben:

- Material,
- Bauteildicke,
- Bauteilmasse,
- Geschoss und
- Höhe des Bauteils/der Bauteilgruppe über GOK.

Abbruchabfolge: In Anlehnung an die mittlerweile den Ausschreibungen entsprechend zunehmend angewandten Herangehensweisen zum materialspezifischen Abbruch eines Bauwerks, dem selektiven Abbruch und Rückbau (vgl. Schiller und Deilmann (2010)), soll der Prozess für den Abbruch der Gebäudetragstruktur in umgekehrter Reihenfolge der Gebäudeerrichtung erfolgen (vgl. DA (2015), S. 358; Schultmann (1998), Mettke (1995)). Somit ist die Abbruchabfolge im Planungsunterstützungswerkzeug von oben nach unten (top-down) definiert. Weitere Details zur Abbruchabfolge können Kühlen et al. 2014, Kapitel 5.1.2. entnommen werden.

3.2.2 Technisch mögliche Abbruchtechniken

Für die Wahl der Abbruchtechnik bezogen auf die einzelnen abzubrechenden Bauteilgruppen wird in einem ersten Schritt die technische Eignung von Abbruchverfahren bzw. Abbruchtechniken geprüft. Die Abbruchtechnik ist, wie in „Begriffe und Definitionen“ definiert, die Kombination aus

Abbruchverfahren und den in der Regel hierfür eingesetzten Maschinen (Träger- und Anbaugeräte (Tabelle 2)). Für die Eignungsprüfung eines Abbruchverfahrens werden im Forschungsprojekt folgende bauteilbezogene Kriterien herangezogen:

- Bauteilart,
- Bauteilmaterial/Materialart
- Materialdicke und
- Abbruchhöhe über GOK.

Weiter werden die Abbruchtechniken bezüglich der folgenden Eignungskriterien geprüft:

- Platzverhältnisse vor Ort,
- Ressourcenbedarf abhängig von den verfügbaren Ressourcen und
- Immissionsrichtwerte abhängig von der Gebietsnutzung der Baustellenumgebung

Vereinfachend wird für die Bestimmung der Eignung jeweils eine eindeutige Entscheidung für oder gegen eine bestimmte Technik auf Basis von Entscheidungen nach z.T. Boolescher Logik (wahr oder falsch) oder Vergleichen (i.d.R. kleiner-gleich) angenommen. Die Techniken werden nacheinander hinsichtlich der einzelnen Kriterien unter Anwendung des lexikographischen Ansatzes der mehrkriteriellen Entscheidungsfindung bewertet (vgl. Hanne (1998)). Die in diesem Zusammenhang in das Planungsunterstützungswerkzeug integrierten Eignungsmatrizen der Abbruchverfahren sowie der Abbruchtechniken bzgl. der Kriterien Abbruchhöhe und Platzverhältnisse werden ausführlich in Kühlen et al. 2014 in Kapitel 5.1.3. beschrieben.

Das Planungsunterstützungswerkzeug enthält die in Tabelle 2 („Begriffe und Definitionen“) gelisteten Abbruchtechniken. Neben den in Tabelle 2 ausgewiesenen **Maschinen** (Träger- und Anbaugerät) wird die **Anzahl der Arbeitskräfte (AK)**, als weitere **notwendige Ressourcen der jeweiligen Techniken** in Kapitel 3.2.3., Tabelle 15 ausgewiesen.

In Anlehnung an die in Tabelle 12 (Kapitel 3.1.2) aufgelisteten Gebietsnutzungskategorien der BauNVO (2013) werden in der TA Lärm (1998) und AVV (1970) Tagesrichtwerte für den Beurteilungspegel von Schallimmissionen zwischen 6 und 22 Uhr (TA Lärm (1998)) bzw. 7 und 20 Uhr (AVV (1970)) definiert, die im Werkzeug für die Eignungsprüfung herangezogen werden (Tabelle 14).

Tabelle 43: Schallimmissionsrichtwerte abhängig von der Gebietsnutzungskategorie⁴

Gebietsnutzungskategorie nach BauNVO (2013)	Tagesrichtwerte für den Beurteilungspegel von Schallimmissionen nach AVV (1970) und TA Lärm (1998) [dB (A)]
Industriegebiet	70
Gewerbegebiet	65
Kerngebiet, Dorf- und Mischgebiet	60
Allgemeines Wohngebiet und Kleinsiedlungsgebiet	55
Reines Wohngebiet	50
Kurgebiet, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45

Im zweiten Schritt werden die technisch möglichen Abbruchtechniken je Bauteilgruppe hinsichtlich deren ökonomischen (Dauer und Kosten) und ökologischen (Höhe der Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen) Ausprägungen analysiert. Die Ausprägungen für die einzelnen Abbruchvorgänge (Technik-Bauteil-Kombinationen) berechnet das Planungsunterstützungswerkzeug mit den Informationen aus dem Gebäudemodell und den im Folgenden definierten abbruchtechnischen- und materialbezogenen Kennzahlen der ökonomischen und ökologischen Kriterien.

⁴ Vgl. BauNVO (2013), TA Lärm (1998), AVV (1970).

3.2.3 Ökonomische Ausprägungen

Dauern: Zur ökonomischen aber auch zur ökologischen Bewertung von Abbruchtechniken sind die Dauern der Abbruchvorgänge relevant. Die Dauern der einzelnen Vorgänge beeinflussen neben der Gesamtprojektdauer die zeitabhängigen Kosten und die Einwirkzeit der Immissionen auf die lokale Umwelt. Grundlage für die Abschätzung der Vorgangsdauern sind Dauerkennwerte für die einzelnen Techniken bezogen auf das Volumen (m^3) der abzubrechenden Bauteilgruppe (h/m^3). Tabelle 15 enthält auch Angaben zur Anzahl der Arbeitskräfte (AK), die für die einzelnen Techniken zweckmäßig sind bzw. auf die sich die Dauerkennwerte beziehen (vgl. DA (2015), S. 429; Seemann (2003)). Die Anzahl der Arbeitskräfte ist auch für die Berechnung der Kosten im Folgenden relevant.

Der Dauerkennwert wird im Planungsunterstützungswerkzeug in Abhängigkeit von der durch den Nutzer definierten Größe des Baggers ermittelt. Und die Dauer eines Vorgangs wird auf Basis dieses maschinengrößenabhängigen Kennwerts berechnet. Die Gesamtdauer eines Vorgangs setzt sich zusammen aus der Dauer für den eigentlichen Abbruch und die Dauern für das Materialvorzerkleinern und –vorsortieren vor Ort auf der Baustelle.

Tabelle 44: Bauteilvolumenbezogene, materialabhängige Dauerkennwerte von Abbruchtechniken in h/m³ für einen 40-Tonnen-Bagger

Abbruchtechnik		Dauerkennwerte (h/m ³) (bezogen auf die in der letzten Spalte angegebene zweckmäßige Anzahl der AK)										Anzahl der Arbeitskräfte (AK)
#	Verfahren	Mauerwerk					Beton			Sonstiges		
		Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein	Fertigteil	Ortbeton	Unbewehrt	Holz	Stahl*	
1	Abgreifen	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	x	x	0,04	0,03	x	2
2	Einschlagen	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,05	x	x	2
3	Eindrücken	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,08	x	x	0,07	x	2
4	Einziehen	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	x	x	0,07	0,94	2
5	Reißen	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08	0,08	x	x	2
6	Stemmen	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,06	0,06	0,04	x	x	2
7	Pressschneiden	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,06	0,06	0,04	x	x	2
8	Scherschneiden	x	x	x	x	x	x	x	x	0,08	1,56	2
9	Handabbruch mit Handwerkzeug	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2	2	1,6	1,15	19,5	2
10	Material zerkleinern	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,04	0,08	0,98	2
11	Material sortieren	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07	0,07	0,04	0,04	0,98	2

Quellen: Experteneinschätzung, ergänzt durch Weimann et al. (2013); ABW (2012); DA (2015); Seemann (2003); Rentz et al. (2002); Schultmann (1998); Rentz (1993); Willkomm (1990)

x bzw. dunkelgraue Felder: nicht/schlecht geeignet/nicht relevant für das Material

*Annahme einer Stahldichte von 7,6 t/m³

Kosten: Das Planungsunterstützungswerkzeug berechnet als ökonomische Ausprägung die Einzelkosten der Teilleistung, das heißt die einzelnen Kosten eines Abbruchvorgangs. Es werden hierbei Lohn-, Gerätekosten und sonstige Kosten berücksichtigt. Kosten für den Transport und die Entsorgung des Abbruchmaterials sind nicht enthalten.

Die **Lohnkosten** für einen Vorgang werden abhängig von der Anzahl der Arbeitskräfte (vgl. Tabelle 15) und mit einem Mittellohn je Arbeiter nach Girmsheid und Motzko (2013) berechnet. Im Planungswerkzeug wird ein Mittellohn von 41,09 Euro/h als erste Annahme im Werkzeug hinterlegt. Dieser Stundensatz basierend auf dem Tariflohn der Lohngruppe 3 und 4 (BRTV (2014): Bundesrahmentarifvertrag für das Baugewerbe vom 4.07.2002 zuletzt angepasst am 10.12.2014). Der Mittellohn kann vom Nutzer individuell angepasst werden (siehe Kapitel 3.4.2).

Die **Gerätekosten** für einen Vorgang setzen sich zusammen aus den Vorhaltekosten (Abschreibung, Verzinsung und Reparatur) des jeweiligen Träger- und Anbaugeräts; abhängig von deren Art und Anzahl (vgl. Tabelle 2). Auf Basis der monatlichen Kostensätze für Abschreibung, Verzinsung und Reparatur der BGL (2007) und der Annahme von 170 Betriebsstunden pro Monat (Leimböck et al. (2011); BGL (2007)) wurden Stundensätze für die Geräte ermittelt. Abhängig von den Nutzereingaben zu Baggergrößen und dem Berichtsjahr berechnet das Planungsunterstützungswerkzeug unter Beachtung des Erzeugerpreisindex für Baumaschinen (ohne MwSt) des stat. Bundesamtes, 2014 die Gerätekosten für die Dauer eines Vorgangs. Die **sonstigen Kosten** beinhalten die Treib- und Schmierstoffkosten für den Betrieb des Trägergeräts. Die stündlichen Betriebskosten werden in Anlehnung an die BGL (2007) abhängig von der Größe der Trägermaschine kalkuliert. Hierbei werden ein Kraftstoffverbrauch von 137.5 g/kWh und der Umrechnungsfaktor für die Dichte von Dieselpreis von 0.84 kg/l angenommen. Weiter ist ein Dieselpreis von 1.26 €/l⁵ als erste Annahme im Werkzeug hinterlegt. Der Preis kann vom Nutzer individuell angepasst werden (siehe Kapitel 3.4.2). Der Schmierstoffverbrauch wird mit 11% der Kraftstoffkosten angesetzt. Kostenkennwerte, wie der Mittellohn, die Vorhaltekosten für Träger- und

⁵ Statistisches Bundesamt. Statistica: Durchschnittspreis basierend auf den monatlichen Preisen für 1 Liter Diesel in Deutschland innerhalb 1 Jahres von Juli 2014 bis Juli 2015. Online unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/1691/umfrage/preis-fuer-einen-liter-diesel-monatsdurchschnittswerte/>. Abgerufen am: 24.08.2015.

Anbaugeräte und der Treibstoffpreis können auch über die Nutzeroberfläche individuell angepasst werden.

Die Kosten werden (wie die Dauer) im Planungswerkzeug für die einzelnen Teilvorgänge (Abbruch, Materialvorsortieren und –vorzerkleinern) berechnet.

3.2.4 Ökologische Ausprägungen

Zur ökologischen Bewertung von Abbruchtechniken werden in erster Linie die ökologischen Ausprägungen herangezogen. Dies sind Kennzahlen der Immissionshöhen, die auf Basis der Emissionskennzahlen und den Emissionsabnahmeeffekten abh. vom Umfeld berechnet werden. (Neben diesen Ausprägungen kann der Nutzer aber auch die Einwirkzeit der Immissionen über die Dauer (siehe 3.2.3.) in seinen Präferenzen berücksichtigen.) Die folgenden Tabellen enthalten die durch Primärdaten **aktualisierten und erweiterten und auf Basis der** 9 Emissionsklassen (0, 0,5, 1, 1,5, 2, ..., 4) (siehe Kapitel 2.1.3.) gebildeten, **materialbezogenen Kennzahl für die Emissionshöhe** (im Folgenden auch Emissionskennzahlen genannt) der verschiedenen Abbruchtechniken für die Lärm, Staub und Erschütterungen.

Tabelle 45: Materialbezogene Lärmemissionskennzahlen von Abbruchtechniken

Abbruchtechnik		Lärmemissionskennzahlen									
#	Verfahren	Mauerwerk					Beton			Sonstiges	
		Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein	Fertigteil	Ortbeton	unbewehrt	Holz	Stahl
1	Abstreifen	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00			2,00	1,00	
2	Einschlagen	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,50	3,50	3,00		
3	Eindrücken	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,50			1,50	
4	Einziehen	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	2,00			1,50	2,50
5	Reißen	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,50	2,50	2,00		
6	Stemmen	2,50	2,50	2,50	2,00	2,50	3,50	3,50	3,00		
7	Pressschneiden	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,50	2,50	2,00		
8	Scherschneiden									1,50	1,50
9	Handabbruch mit Handwerkzeug	2,50	2,50	2,50	2,00	2,50	3,50	3,50	3,00	2,00	3,50
10	Material zerkleinern	2,00	2,00	2,00	2,00	2,50	3,00	3,00	2,50	1,50	1,50
11	Material sortieren	1,50	1,50	1,50	1,00	1,50	2,00	2,00	1,50	1,00	1,50

0: keine Lärmemissionen/nicht störend, 1: wenig Lärmemissionen/kaum störend, 2: mittlere Lärmemissionen/teilweise störend, 3: hohe Lärmemissionen/störend, 4: starke Lärmemissionen/sehr störend.

Quellen: Expertenbefragung, Versuche und Immissionsmessungen. Literaturangaben sind materialunabhängig, qualitativ und in der Regel binär (Emissionen vorhanden: ja/nein): ABW (2012); Kamrath und Hechler (2011); DIN 18007:2009-03; Mettke, A. (Hrsg.) (2008); DA (2015); Mettke (1995); Mur und Muzeau (1979).

Tabelle 46: Materialbezogene Staubemissionskennwerte von Abbruchtechniken

Abbruchtechnik		Staubemissionskennwerte									
#	Verfahren	Mauerwerk					Beton			Sonstiges	
		Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein	Fertigteil	Ortbeton	Unbewehrt	Holz	Stahl
1	Abgreifen	2,50	2,50	3,00	3,00	2,50			2,50	1,00	
2	Einschlagen	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	3,00		
3	Eindrücken	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50			1,00	
4	Einziehen	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50			1,00	0,00
5	Reißen	3,00	3,00	3,00	3,50	3,00	2,50	2,50	3,00		
6	Stemmen	3,50	3,50	3,50	3,50	3,00	3,00	3,00	3,00		
7	Pressschneiden	2,50	2,50	3,00	3,00	2,50	3,00	3,00	2,50		
8	Scherschneiden									0,50	0,50
9	Handabbruch mit Handwerkzeug	2,00	2,00	2,00	2,50	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50
10	Material zerkleinern	3,00	3,00	3,00	3,50	3,00	2,50	2,50	3,00	1,00	0,50
11	Material sortieren	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50

0: keine Staubemissionen/nicht störend, 1: wenig Staubemissionen/kaum störend, 2: mittlere Staubemissionen/teilweise störend und Atemschutz empfohlen, 3: hohe Staubemissionen/störend und Atemschutz notwendig, 4: starke Staubemissionen/sehr störend/Gesundheit beeinträchtigend/ohne Minderungsmaßen. (z.B. Benetzung, C-Schlauch, Wasserkanone) kein Arbeiten möglich.

Quellen: Expertenbefragung, Versuche und Immissionsmessungen. Literaturangaben sind materialunabhängig, qualitativ und in der Regel binär (Emissionen vorhanden: ja/nein): ABW (2012); Kamrath und Hechler (2011); DIN 18007:2009-03; Mettke, A. (Hrsg.) (2008); DA (2015); Mettke (1995); Mur und Muzeau (1979).

Tabelle 47: Materialbezogene Erschütterungsemissionskennwerte von Abbruchtechniken

Abbruchtechnik		Erschütterungsemissionskennwerte									
#	Verfahren	Mauerwerk					Beton			Sonstiges	
		Naturstein	Ziegel	Kalksandstein	Porenbeton	Betonstein	Fertigteil	Ortbeton	unbewehrt	Holz	Stahl
1	Abgreifen	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			1,00	0,50	
2	Einschlagen	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	3,50	3,50	2,50		
3	Eindrücken	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00			0,50	
4	Einziehen	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00			0,50	1,50
5	Reißen	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,50	2,50	2,00		
6	Stemmen	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,50	3,50	2,50		
7	Pressschneiden	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	2,00	2,00	1,50		
8	Scherschneiden									0,50	0,50
9	Handabbruch mit Handwerkzeug	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,00	1,00	1,50
10	Material zerkleinern	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,00	0,50	0,50
11	Material sortieren	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50

0: keine Erschütterungen spürbar, 1: geringe Erschütterungen mit geringer Intensität, 2: spürbare Erschütterungen/impulsarm, 3: hohe Erschütterungsintensitäten/impulsstark, 4: sehr hohe(s) Erschütterungsereignis(se)/sehr impulsstark.

Quellen: Expertenbefragung, Versuche und Immissionsmessungen. Literaturangaben sind materialunabhängig, qualitativ und in der Regel binär (Emissionen vorhanden: ja/nein): ABW (2012); Kamrath und Hechler (2011); DIN 18007:2009-03; Mettke, A. (Hrsg.) (2008); DA (2015); Mettke (1995); Mur und Muzeau (1979).

Berechnung der Immissionen (Emissionsabnahmeeffekte in Abhängigkeit vom Umfeld):

Für die Berechnung der Immissionen werden im Planungsunterstützungswerkzeug Emissionsabnahmeeffekte in Abhängigkeit von Umfeldeigenschaften berechnet. Insbesondere die Distanz zwischen Emissionsquelle und dem nächsten Schutzgut sowie die Anzahl an Flächen nahe der Emissionsquelle, die in Richtung des nächsten Schutzgutes ausgerichtet sind (und so den Schall dorthin reflektieren können), wurden als relevante Einflussfaktoren auf die Ausbreitung der Immissionen identifiziert (VDI 3783 Blatt 13:2010; DIN 18005-1:2002-07; ISO 9613-2:1996; DIN 4150-1:2001-06). Die Bodeneigenschaften in der nahen Umgebung der Baustelle, die bspw. eine dämpfende Wirkung auf die Ausbreitung der Erschütterungen haben können, wurden bei der Berechnung des Abnahmeeffekts im Werkzeug vernachlässigt. Das Ergebnis liegt mit dieser konservativen Annahme (keine Dämpfung) auf der sicheren Seite und allgemein kann bei Abbrucharbeiten in Innenstädten mit einer eher geringeren Distanz (<20m) zum nächsten Schutzgut ausgegangen werden. Als Annahme für die Distanz zwischen der Emissionsquelle und dem nächstgelegenen Schutzgut, wird vom Werkzeug die minimale Distanz von der Abbruchbaustelle zum nächstliegenden Gebäude (in Meter) vom Nutzer angefragt. Weiter muss der Nutzer die Anzahl der Reflexionsflächen um das Abbruchgebäude herum eingeben.

Für den Fall, dass der Nutzer keine Aussage über diese beiden umfeldabhängigen Einflussfaktoren zur Immissionsberechnung machen kann, wurden im Rahmen des Projekts Umfeldtypen und deren entsprechende immissionsbeeinflussende Eigenschaften in Anlehnung an Siedlungstypologien nach Neuffer et al. (2001), Blesl (2002) und Erhorn-Kluttig et al. (2011) definiert (Tabelle 19).

Tabelle 48: Siedlungstypen/Umfeldtypen und immissionsbeeinflussende Eigenschaften⁶

Siedlungstyp/Umfeldtyp		Minimale Distanz von der Abbruchbaustelle zum nächstliegenden Gebäude	Reflexionsflächen um das Abbruchgebäude
Name	Bez.	[m]	[Anzahl]
Lockere offene Bebauung	ST 1	5	3
Einfamilienhäuser und Doppelhäuser	ST 2	5	5
Städtischer Dorfkern	ST 3a	5	5
Ländlicher Dorfkern	ST 3b	5	5
Reihenhaussiedlung	ST 4	5	6
Kleine Mehrfamilienhäuser	ST 5a	7	4
Zeilenbebauung mit kleinen und größeren Mehrfamilienhäusern	ST 5b	7	4
Zeilenbebauung mit großen hohen Mehrfamilienhäusern und Hochhäusern	ST 6	14,5	3
Blockbebauung niedriger Dichte	ST 7a	5	5
Blockbebauung hoher Dichte	ST 7b	5	6
Citybebauung	ST 8	5	7
Historische Altstadt	ST 9	5	7
Öffentliche Sonderbauten	ST 10a	9,5	3
Gewerbebauten	ST 11b	5	3

⁶ Vgl. Neuffer et al. (2001), Blesl (2002) und Erhorn-Kluttig et al. (2011).

Über die Nutzeroberfläche des Planungswerkzeugs kann für jedes Abbruchprojekt ein Umfeldtyp ausgewählt werden. Die mit dem Umfeldtyp verbundene minimale Distanz von der Abbruchbaustelle zum nächsten Gebäude und die Anzahl der Reflexionsflächen um das Abbruchobjekt werden zur Berechnung des umfeldabhängigen Emissionsabnahmeeffekts übernommen (siehe Abbildung 13 in Kapitel 3.1.2).

3.2.5 Technikbewertung

Aus den technisch möglichen Abbruchtechniken wird abhängig von den Präferenzen des Nutzers (siehe Kapitel 3.1.3) die „geeignetste“ Technik je Bauteilgruppe auf Basis der ökologischen und ökonomischen Ausprägungen der alternativen Abbruchvorgänge bestimmt. Die Bestimmung erfolgt unter Verwendung der „Multi-attribute value theory“ (MAVT), einer Methode der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung (Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)).

3.3 Werkzeugausgabe

Die Werkzeugausgabe umfasst die folgenden Elemente:

- **Technikauswahl:** in Form einer Tabelle der vorgeschlagenen Techniken je Bauteil/Vorgang
- **Rückbauablaufplan:** Balken-/Zeitplan der Aktivitäten mit Histogrammen zur Immissionsauslastung, Kostenverteilung und Ressourcenverteilung über die Zeit
- **Gesamtprojektinformationen**

Abbildungen 21 und 24 und Tabelle 22 im Kapitel 3.4.3. veranschaulichen diese Elemente der Werkzeugausgabe am Beispiel des Testprojekts.

Weiter kann das Planungswerkzeug einen **Hinweis auf mögliche Schadstoffe** geben. Nähere Informationen zu den betrachteten Schadstoffen und deren material- und bauteilbezogenen Zuordnung, sind Kühlen et al. 2014, Kapitel 5.1.6. zu entnehmen.

3.4 Werkzeugtest: Planung eines realen Abbruchvorhabens

Der Prototyp des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs wurde bei einem Abbruchvorhaben des Praxispartners getestet, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu überprüfen. Das Vorgehen und die Ergebnisse werden im Folgenden erläutert.

3.4.1 Vorhabenbeschreibung

Das Abbruchvorhaben umfasst den Rückbau der Tragstruktur eines Wohngebäudes aus dem Jahr 1945 des Gebäudetyps C (vgl. Tabelle 1): Mauerwerkswände (Ziegel) mit Holzdecken und einer Dachtragkonstruktion aus Holz. Das Abbruchgebäude besteht aus drei Geschossen über GOK und einem Fundament aus Stahlbeton. Die inneren Trennwände sind massiv in Ziegelbauweise errichtet. Das nächstliegende Gebäude grenzt direkt an das Abbruchgebäude an und die Verhältnisse für den Rückbau sind sehr beengt (es stehen nur kleine Flächen für die Baustelleneinrichtung und für kleine Geräte zur Verfügung). Der Schall kann von 2 Flächen um das Abbruchobjekt herum zum angrenzenden Gebäude reflektiert werden. Auf Grund der hauptsächlich sehr beengten Platzverhältnisse auf der Abbruchbaustelle, ist der Rückbau von Dach und des 1. Obergeschosses nur mit Handabbruch durchführbar (1. Phase). Das Erdgeschoss mit Fundament wird mit einem 24-Tonnen-Hydraulikbagger mit Anbaugeräten (Schere bzw. Hammer) abgebrochen (Phase 2). Die Materialzerkleinerung und –sortierung erfolgt allgemein mit dem 24-Tonnen-Hydraulikbagger mit Sortiergreifer.

3.4.2 Nutzereingabe

In Anlehnung an die 2 Rückbauphasen, Handabbruch und Abbruch mit Hydraulikbagger, wird die Gebäudeeingabe unterteilt in den Rückbau von:

1. Dach und 1. Obergeschoss
2. Erdgeschoss mit Fundament.

Die **Abmessungen und Materialien** der einzelnen Gebäudeelemente der Phase 1 und 2 wurden auf Basis von Gebäudeplänen ermittelt und über die Eingabemasken des Planungsunterstützungswerkzeugs (Kapitel 3.1.1.: Abbildung 17 und Abbildung 18) entsprechend eingegeben. Tabelle 20 und Tabelle 21 stellen Auszüge der vom Werkzeug aus den Eingabedaten jeweils generierten (qualifizierten) Stücklisten der einzelnen Gebäudeelemente von Phase 1 und 2 dar.

Tabelle 49: Auszug der qualifizierten Stückliste der einzelnen Gebäudeelemente der Phase 1

Geschoss #	Geschoss	Element	Material	Max. Elementdicke (m)	Materialvolumen (m3)	Höhe über GOK (m)
3	Dachgeschoss	Dach	Holz	0,02	0,80	10,30
3	Dachgeschoss	Außenwand	Ziegel-Mauerwerk	0,5	29,50	10,30
3	Dachgeschoss	Innenwand	Ziegel-Mauerwerk	0,13	2,70	10,30
2	1.Obergeschoss	Decke	Holz	0,03	2,30	5,26
2	1.Obergeschoss	Außenwand	Ziegel-Mauerwerk	0,5	37,70	5,26
2	1.Obergeschoss	Innenwand	Ziegel-Mauerwerk	0,5	4,30	5,26

Tabelle 50: Auszug der qualifizierten Stückliste der einzelnen Gebäudeelemente der Phase 2

Geschoss #	Geschoss	Element	Material	Max. Elementdicke (m)	Materialvolumen (m ³)	Höhe über GOK (m)
1	Erdgeschoss	Decke	Holz	0,03	13,80	2,59
1	Erdgeschoss	Außenwand	Ziegel-Mauerwerk	0,5	42,40	2,59
1	Erdgeschoss	Innenwand	Ziegel-Mauerwerk	0,5	6,80	2,59
1	Erdgeschoss	Fundament	Stahlbeton	0,2	7,95	0

Die **Baustellenrahmen- und Umgebungsbedingungen** wurden dem Bebauungsplan der Umgebung des abzubrechenden Gebäudes und einer Beschreibung des Rückbauvorhabens entnommen. Die folgenden Daten wurden über die Eingabemaske des Werkzeugs zur Beschreibung der Baustellenrahmen- und Umgebungsbedingungen (Kapitel 3.1.2.: Abbildung 19) eingegeben:

- Anzahl der einsetzbaren Maschinen: 1 Hydraulikbagger (Handabbruchgeräte werden im Werkzeug allgemein als vorhanden angenommen)
- Größe der einsetzbaren Maschinen: 145 kW (24 Tonnen)
- Bezugsjahr für die Kosten: 2014
- Dieselpreis: 1,17 Euro/l⁷

⁷ Nutzerspezifische Anpassung des im Werkzeug voreingestellten Dieselpreises (siehe Kapitel 3.2.3).

- Platzverhältnisse um das Abbruchobjekt herum: Phase 1: 1 = „sehr begrenzt“; Phase 2: 2 = „begrenzt“
- Minimale Distanz von der Abbruchbaustelle zum nächsten Gebäude: 0 m
- Anzahl der Reflexionsflächen um das Abbruchobjekt herum: 2
- Schutzmaßnahmen: keine

Zur **Berechnung der Kosten** wird ein Mittellohn von 26,15 Euro/h⁸ angesetzt. Die vom Planungswerkzeug vorgeschlagenen maschinenbezogenen Stundenkostensätze werden übernommen.

3.4.3 Werkzeugausgabe

Die Werkzeugausgabe umfasst die im Kapitel 3.3. beschriebenen Elemente Technikauswahl, Rückbauablaufplan und Gesamtprojektinformationen. Auf Grund der „sehr begrenzten“ Platzverhältnisse, ist in der **1. Phase** nur der Handabbruch möglich. In der **2. Phase** unter „begrenzten“ Platzverhältnissen und mit einer Präferenz für die minimalen Kosten bzw. der minimalen Dauer schlägt das Werkzeug den Rückbau mit Hydraulikbagger und entsprechenden Anbaugeräten in Form von Pressschneiden und Hämmern vor. Abbildung 21 bis 24 zeigen jeweils die vom Werkzeug generierten zeitbezogenen Ausgabeinformationen für die Phase 1 bzw. 2. In Tabelle 22 werden die Gesamtprojektinformationen über Phasen 1 und 2 gelistet.

⁸ Nutzerspezifische Anpassung des im Werkzeug voreingestellten Mittellohns (siehe Kapitel 3.2.3).

Tabelle 51: Gesamtprojektinformationen

Phase	Gesamtdauer (h)	Gesamtkosten (€)	Durchschnittliche Schallimmissionshöhe am Nachbargebäude	Durchschnittliche Staubimmissionshöhe am Nachbargebäude	Durchschnittliche Erschütterungsimmissionshöhe am Nachbargebäude	Ressourcen
1	122 (244 Personenstunden (PS))	14.386	Störend/ hohe Immissionen: durchschnittlicher Tages- Beurteilungspegel 100 dB(A)	Teilweise störend/ mittlere Immissionen und Atemschutz empfohlen: durchschnittliche Staubkonzentration von einatembarem Staub (E-Staub) 25 mg/m ³	Kaum störend/ geringe Erschütterungen mit geringer Intensität: durchschnittliche Erschütterungsimmission/ Schwingstärke 0,25 mm/s	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Arbeiter • 2 Handabbruchgeräte
2	13 (26 PS)	2.321	Sehr störend/ sehr hohe Immissionen: durchschnittlicher Tages- Beurteilungspegel 110 dB(A)	Teilweise störend/ mittlere Immissionen und Atemschutz empfohlen: durchschnittliche Staubkonzentration von einatembarem Staub (E-Staub) 25 mg/m ³	Teilweise störend/ spürbare Erschütterungen, impulsarm durchschnittliche Erschütterungsimmission/ Schwingstärke 0,4 mm/s	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Arbeiter • 1 Hydraulikbagger • Anbaugeräte: Sortiergreifer, Hammer,
Σ	135 (270 PS)	16.707				

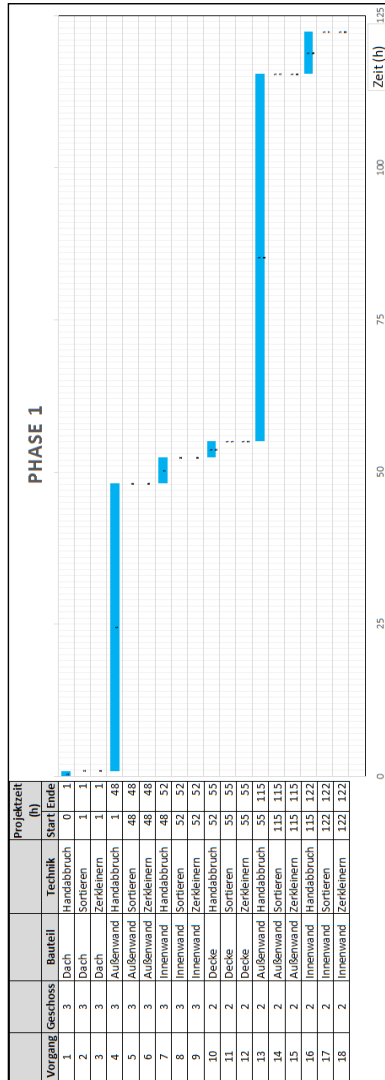


Abbildung 54: Rückbauprojekttafelplan der Phase 1 des realen Abbruchvorhabens inklusive Technikauswahltable

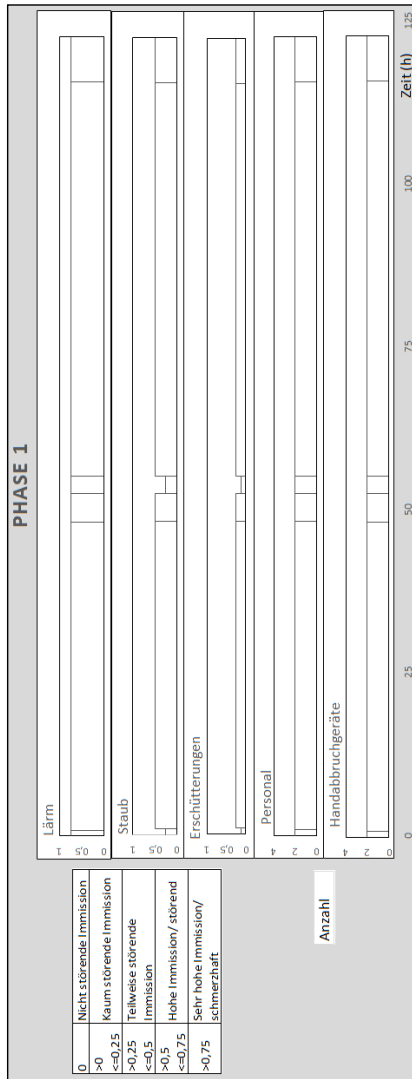


Abbildung 55: Zeitliche Verteilung und Anzahl der Ressourcen sowie Höhe der Immissionsauslastungen (0-1) am angrenzenden Gebäude der Phase 1 des realen Abbruchvorhabens

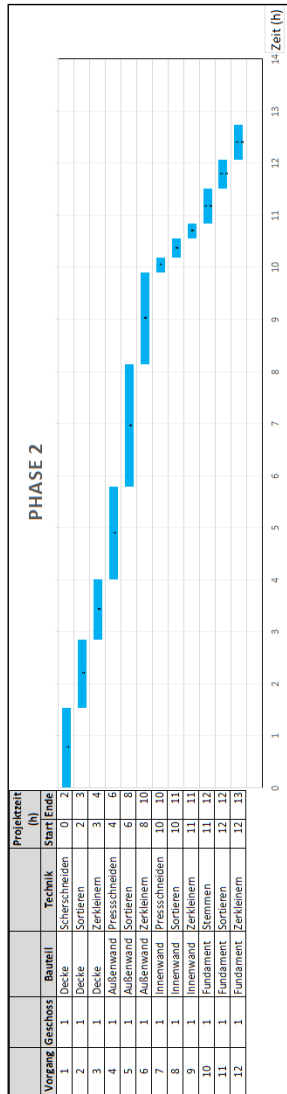


Abbildung 56: Rückbauprojekttafelplan der Phase 2 des realen Abbruchvorhabens inklusive Technikauswahltable

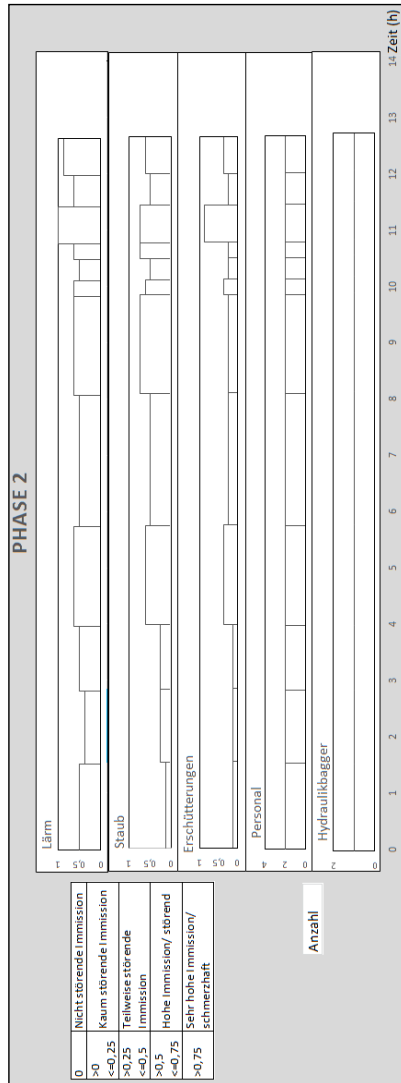


Abbildung 57: Zeitliche Verteilung und Anzahl der Ressourcen sowie Höhe der Immissionsauslastungen (0-1) am angrenzenden Gebäude der Phase 2 des realen Abbruchvorhabens

3.4.4 Vergleich der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Planungsunterstützungswerkzeug zeigt bzgl. Kosten, Personenstunden und Geräteeinsatz ähnliche Ergebnisse wie das tatsächlich realisierte Projekt (die beiden Projektphasen). Das Werkzeug berechnet, wie unter 3.2.3 beschrieben, die Einzelkosten der Teilleistungen. In der Phase 1 und 2 entstanden Einzelkosten der Teilleistungen in Höhe von insgesamt 16.707 Euro (Personal + Geräte). Real sind Euro entstanden. Somit **weicht das Werkzeug bezüglich der Kosten um 7,8% (1.307 Euro)** von den im Projekt entstandenen Kosten ab. Weiter wurden 270 Personenstunden für den gesamten Rückbau aufgewendet. Real wurden 272 Personenstunden benötigt. **Die Abweichung in den Personenstunden ist mit 1,5% (4 Std)** sehr gering. Zum Einsatz kamen 1 Hydraulikbagger mit den Anbaugeräten, Sortiergreifer, Hammer und Schere, sowie Handabbruchgeräte. **Der Geräteeinsatz entspricht der Ressourcenausgabe des Werkzeugs** und spiegelt auch die einzelnen durch das Werkzeug vorgeschlagenen Rückbautechniken wider.

Die Verteilung der Immissionen über den Rückbauablauf sowie entsprechende Immissionshöhen am Nachbargebäude können nicht mit Daten des realisierten Projekts verglichen werden. Entsprechende Informationen liegen von dem realisierten Projekt nicht vor. Dafür wären kontinuierliche Immissionsmessungen während des Rückbaus notwendig gewesen. Da solche kontinuierlichen Immissionsmessungen derzeit bei Abbruchprojekten allgemein nicht erfolgen, ist dies auch Teil des vorliegenden Projekts. Für eine erste Einschätzung lassen sich insbesondere die durch das Werkzeug ausgegebenen Schallimmissionshöhen mit Angaben aus der Literatur vergleichen. Da das Nachbargebäude direkt an das Abbruchobjekt angrenzt, wurde der Abstand zwischen Emissionsquelle und Immissionsort mit 0 m angenommen und somit entspricht die Emissionshöhe der Immissionshöhe. Beispielsweise der Schallpegel eines Presslufthammers, der in der Regel beim Handabbruch zum Einsatz kommt, wird in der Literatur mit etwa 100 dB(A) angesetzt und als störend eingestuft wird (BG Bau (2015), Wikipedia-1 (2014)). Einen entsprechenden durchschnittlichen Tages-Beurteilungspegel und entsprechende Höhen der Immissionsauslastungen gibt

das Planungswerkzeug über die Projektdauer für die Rückbauvorgänge der 1. Phase aus (vgl. Abbildung 22).

Neben den im Rahmen des Projekts erfolgten Tests und umfassenden Anpassungen des Prototyps, bedarf es für die Weiterentwicklung des Werkzeugs zur Praxistauglichkeit noch weitere Tests und es werden möglicherweise weitere Anpassungen notwendig (siehe auch Ausblick, Kapitel 6.2).

4 Immissionserfassungssystem

4.1 Systemaufbau

Der grundlegende Aufbau des Immissionserfassungssystems (im Folgenden auch KIT-System genannt) hat sich bzgl. der 2. Projektphase nicht geändert. Daher folgt hier eine stark gekürzte Zusammenfassung. Details zum Systemaufbau sind in Kühlen et al. 2014 (Kapitel 6.1.) zu finden.

Das System soll in Zukunft eine kostengünstige und zuverlässige technische Lösung bieten für die permanente Überwachung temporärer Rück-/Baumaßnahmen bezüglich Emissionen/Immissionen. Dadurch soll die Umgebung vor hohen Belastungen geschützt und dem Bauherren respektive dessen Beauftragten (Planer) und Auftragnehmer/Abbruchunternehmer eine zügige, nicht unterbrochene Durchführung ihres Vorhabens erlaubt werden, wenn kein Verstoß gegen Immissionsgrenzwerte vorliegt.

Aktuell werden solche Messungen nur unter permanenter Anwesenheit gut ausgebildeten Bedienpersonals und mit sehr teuren Messgeräten durchgeführt. Daher wird aus Kostengründen, wenn überhaupt, dann nur punktuell und zeitlich befristet gemessen, was dem Charakter einer Baustelle nicht gerecht werden kann.

Deshalb waren wichtige Forderungen für die Entwicklung des neuen Systems zur Immissionserfassung zu Grunde zu legen:

- niedrige Kosten,
- einfache Bedienbarkeit/Handhabung: niedriger Aufwand beim Aufbau, bei der Inbetriebnahme, Wartung und Bedienung und
- durchgängiger Einsatz des Systems.

Folglich kommt in dem am KIT entwickelten System eine einfache und günstige Messtechnik zum Einsatz, deren Qualität nicht ausreicht, nach DIN die entsprechenden Immissionen zu erfassen. Auch die verschiedenen Messpunkte und die hohe Messfrequenz können die Messqualität nicht ausgleichen, sodass

auch die Ergebnisse des Systems nach aktuellen Normen nicht belastbare Ergebnisse darstellen. Indessen ist es für den Bauherren und Auftragnehmer/Abbruchunternehmer finanziell nicht machbar, nach DIN zugelassene Messgeräte flächendeckend und ununterbrochen einzusetzen. Beispielsweise würde allein die Sensorik für die Überwachung der genannten Größen, Lärm, Staub und Erschütterungen, für 6 Messpunkte mindestens 100.000€ kosten (die genannte Summe setzt sich zusammen aus den Kosten für je 6 Sensoren für Schall je ca. 1.000€, Erschütterung min. je 5.000€ und Staub je ca. 10.000€). Aber weniger Sensoren könnten insbesondere bei Staub dazu führen, dass der Wind den Staub an den Sensoren vorbei bläst und das Ergebnis entscheidend verfälscht wird. Daher muss die Normung angepasst werden, wenn eine gezielte, durchgängige Überwachung der Immissionen in der Nähe von Abbruch-/Rückbaustellen gewünscht wird.

Weiter sind die einfache Bedienbarkeit und geringer Aufwand für die Inbetriebnahme und den Aufbau Voraussetzungen, um die laufenden Kosten gering zu halten. Idealerweise sollte das Messsystem durch das auf der Baustelle verfügbare Personal aufgebaut und in Betrieb genommen/gehalten werden. Nach Abbau des Systems sollte das Gerät möglichst einfach durch das eigene Unternehmen/Personal auf den nächsten Einsatz vorbereitet werden können. Bei derzeit üblichen Messungen müssen jedoch immer gut ausgebildete Messtechniker oder Ingenieure vor Ort sein.

Darüber hinaus erlaubt die neu entwickelte Sensorplattform die rudimentäre, permanente Überwachung der Messgrößen Lärm, Staub und Erschütterungen an mehreren relevanten Messpunkten. Die einzige Arbeit die nach dem Aufbau des Systems vor Ort zu leisten ist, ist das Sicherstellen der Stromversorgung. Datensammlung und -verteilung erfolgen automatisiert und können auch über Mobilfunknetze erfolgen. Aktuelle Messungen hingegen werden normalerweise maximal einen Tag lang durchgeführt und dann im Anschluss ausgewertet. Neben einer nur punktuellen Aufzeichnung von relevanten Messgrößen, führen solche kurzen/vorübergehenden Messungen oft zu anderen, optimierten Abläufen auf der Baustelle (oft auch unbewusst, da eine Messung mit heutigen Geräten immer auffällt). Wenn die Messungen permanent ausgeführt werden,

ist das immer der Normalzustand. Somit werden beispielsweise Überschreitungen auch registriert, wenn den Arbeitern nicht bewusst ist, dass sie gerade überwacht werden, bzw. es entwickelt sich auf der Baustelle ein allgemeines Bewusstsein, das zur Begrenzung von Immissionen führen wird.

Der Aufbau des prototypisch entwickelten Immissionserfassungssystems ist in Abbildung 25 dargestellt. Um die Rück-/Baustelle werden Messknoten (MK) an allen relevanten Messpunkten in der gewünschten Höhe installiert. Die Messknoten sind in ein selbstorganisierendes Zigbee Netzwerk eingebunden und liefern dem Server (der Auswerteeinheit) vor Ort alle Messdaten. Der Server wertet die Daten aus und stellt die Auswertung und die Rohdaten über ein beliebiges Datennetz zur Verfügung. Der Maschinenführer erhält die Auswertung direkt, um so auf die aktuelle Immissionslage reagieren zu können (Rückkopplung). Durch eine Aufnahme der Verhältnisse vor Ort kann auch die Umgebung mit berücksichtigt werden. So kann durch die Kenntnis der Umgebungsbedingungen eine Verknüpfung der Messwerte mit Wetterdaten (Wind) erfolgen und dadurch die Staubausbreitung in der Umgebung überschlägig in nahezu Echtzeit abgeschätzt werden.

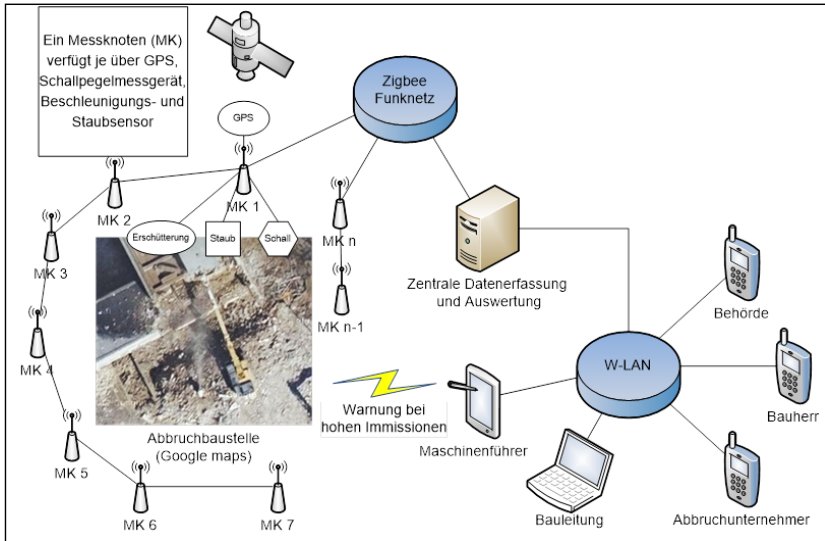


Abbildung 58: Aufbau des Immissionserfassungssystems um die Abbruchbaustelle herum (links) mit dem Koordinator zwischen dem Zigbee Funknetz und der Auswerteeinheit (rechts) und mit der Rückkopplung (Mitte, unten)

Ein Messknoten, wie in Abbildung 26 dargestellt, besteht aus einer Stromversorgung, der Hauptplatine (Funkeinheit) und den daran angeschlossenen Sensoren. Ziel ist es dabei, die Sensoren dort zu positionieren, wo die entsprechende Messgröße wesentlich auftritt. Die Erschütterungssensoren können bspw. durch Erdschrauben ausreichend tief in das Erdreich eingebracht werden und so kann die Erschütterungsimmission z.B. auf Höhe des benachbarten Fundamentes gemessen werden.

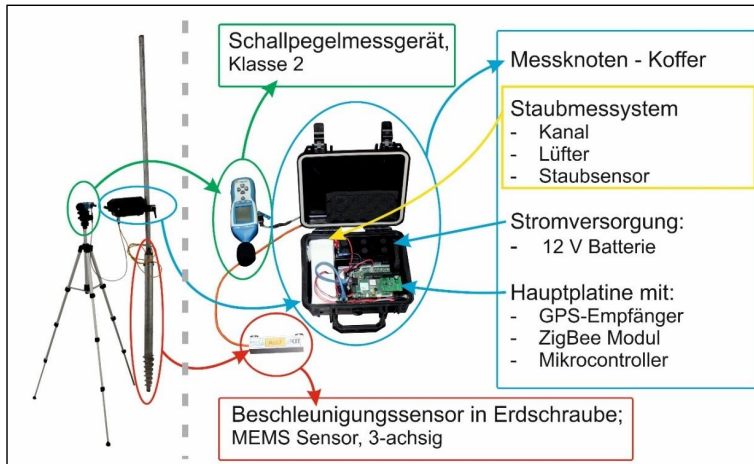


Abbildung 59: Aufbau eines Messknotens mit Schall- (grün), Staub- (gelb) und Erschütterungssensoren (rot), die an die Funkeinheit (blau) angeschlossen werden.

4.2 Datenerfassung und Auswertung

Grundlegend hat sich die reine Datenerfassung gegenüber der zweiten Phase in der dritten Projektphase nicht geändert (vgl. Kühlen et al. 2014, Kapitel 6.1.). Es erfolgten primär Anpassungen im Bereich der Software. So wurden Möglichkeiten eingefügt, Grenzwerte für zulässige Immissionshöhen einzustellen, bei denen eine Alarmierung ausgelöst wird. Da die von dem System aufgenommenen Messgrößen jedoch keine absoluten Immissionsgrößen nach DIN darstellen, ist die exakte Einhaltung der absoluten Grenzwerte mit diesem System nur eingeschränkt möglich. Es wird daher ein System mit Warnstufen verwendet. Bis jetzt wurden hierzu die Grenzen bei 90 und 110% gesetzt, so dass bei der Warnstufe „Grün“ (90) davon auszugehen ist, dass die Grenzwerte eingehalten werden und bei „Rot“, dass eine Überschreitung eintritt. Ab Stufe „Gelb“ sollte an alternative Verfahren gedacht werden, auch wenn eine Überschreitung der Grenzwerte ab diesem Level nicht sicher ist. Über den qualitativen Verlauf der Messergebnisse über die Zeit, ist ein relativer Vergleich der Immissionshöhen möglich und davon können

wiederm absolute Immissionshöhen ableitet werden. Bei starken Temperaturschwankungen können sich die Messwerte jedoch - bei gleichen Immissionen - bedeutend ändern, was bei der Analyse zu berücksichtigen ist. Daher müssen für die Überführung des prototypischen Systems in die Praxis unter anderem noch Kalibrierungskurven mit den Parametern Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Sonneneinstrahlung erstellt werden, die mit den Mitteln dieses Projektes nicht möglich waren.

Für die (nachträgliche) Auswertung der Immissionen durch Rück-/Bauarbeiten wurde ein Programm erstellt, mit dem es möglich ist, den Verlauf der gemessenen Immissionen aller Sensoren auf der Baustelle schnell zu erfassen und darzustellen. Eine entsprechende schematische Darstellung der Immissionsverläufe zeigt Abbildung 27. Hier ist bspw. gut zu sehen, dass bei den Größen Schall und Erschütterung, alle Sensoren des Systems sofort und mit ähnlich großer Amplitude messen, während beim Staub die Staubwolken sich langsam von Sensor zu Sensor mit abnehmender Amplitude bewegen. Weiter können über die Darstellung der Verläufe relevante Immissionsspitzen schnell erkannt werden.

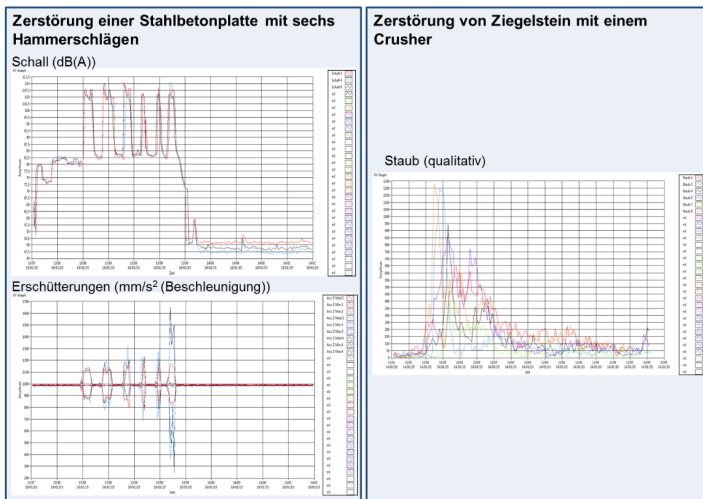


Abbildung 60: Schematische Darstellung der Immissionsverläufe für die Auswertung

4.3 Verknüpfung mit dem Werkzeug zur Planungsunterstützung

Der über das oben beschriebene Programm für die Auswertung erstellte Immissionsverlauf, sollte ursprünglich mit dem Planungstool verknüpft werden. Dadurch sollte bspw. bei Immissionsüberschreitungen mit dem Vorschlag alternativer Abbruchtechniken über einen Tablet-PC im Bagger in den Baustellenablauf eingegriffen werden (Abbildung 28). Es wurden Gespräche mit Maschinenführern geführt, bei denen der Ansatz der Verknüpfung eher kritisch gesehen wurde. Der Maschinenführer müsste den Tablet-PC parallel zu seiner regulären Arbeit bedienen. Es gab insbesondere Einwände bezüglich dieser zusätzlichen Belastung, die auch die Sicherheit und Leistung beeinflussen können. Weiter sollte die Entscheidung für den Wechsel der Abbruchtechnik nicht der Maschinenführer treffen müssen. Aus diesen durchaus berechtigten Gründen wurde die Verknüpfung zwischen dem Immissionserfassungssystem und dem Planungsunterstützungswerkzeuges nicht weiter verfolgt.

Eine zielführendere und einfache Alternative könnte bspw. eine Tabelle der Abbruchtechniken sein, mit den zu erwartenden Emissionshöhen (Emissionskennzahlen) und Informationen zu deren technischer Eignung. Diese Tabelle würde dem Polier oder Baustellenleiter ausgedruckt vorliegen. Bei der oben beschriebenen Alarmierung bei Grenzwertüberschreitungen, könnte der Maschinenführer den Polier oder Baustellenleiter informieren, die dann eine Entscheidung bezüglich einer möglichen alternativen Abbruchtechnik treffen.

Darüber hinaus ist eine Verknüpfung der Systeme für den Unternehmer weiterhin interessant für eine bessere Leistungsabschätzung der Arbeiten und für die Dokumentation des Baufortschritts. Auf Grund der oben genannten Punkte, müsste hierfür jedoch ein Weg gefunden werden, den Maschinenführer aus der Pflicht für Erfassung des Baufortschritts zu nehmen. Denkbar wären z.B. Videoanalysen. Auch der Prozess der Digitalisierung aller Informationen im Bauwesen durch das Building Information Modeling (BIM), der in Zukunft sicher auch beim Rückbau (evtl. mit einer Verzögerung gegenüber dem

Neubau) eine Rolle spielen wird, kann in diesem Zusammenhang unterstützen. Durch BIM und eine Digitalisierung aller Informationen auf der Rückbau-/Baustelle könnte der Zustand des Gebäudes und der Umgebung, die Position des Baggers und die Position des Anbauwerkzeuges erfasst werden, um dann qualifizierte Informationen des Rück-/Bauablaufs an die Akteure (Unternehmer, Bauherr, Behörden) weiterzugeben.



Abbildung 61: Ansatz der Verknüpfung zwischen Immissionserfassungssystem und Planungsunterstützungswerkzeug

4.4 Systemtest

Das prototypische Immissionserfassungssystem wurde einem Test gegenüber konventionellen Messtechniken unterzogen (siehe auch Kapitel 2.2.). Bei diesen Versuchen wurde festgestellt, dass die quantitativen Verläufe der Messwerte des KIT-Systems gut mit jenen der kalibrierten Messsysteme übereinstimmen. Unter den nahezu konstanten Rahmenbedingungen bei den Versuchen wurden Faktoren zur Kalibration ermittelt. Nach einer entsprechenden Kalibrierung des Immissionserfassungssystems hat dieses unter den gegebenen konstanten Versuchsbedingungen ähnlich genau gemessen wie die hochpreisige Technik der Vergleichsgeräte. So wurden in den Versuchen auch mit dem KIT-System belastbare und vergleichbare Ergebnisse generiert, die so wie die Daten der konventionellen Geräte als Datenbasis in das Planungsunterstützungswerkzeug einfließen können.

4.4.1 Weiter bestehende Herausforderungen

In manchen Bereichen traten bei dem Prototyp noch Probleme im Praxistest auf, die weiter bestehende Herausforderungen des Systems darstellen und die in Zukunft bei der Weiterentwicklung des Systems zu lösen sind. Im Folgenden sind die Probleme, die bei verschiedenen kleinen Praxiseinsätzen und in den Versuchen festgestellt werden konnten, gelistet:

- **Teilsystemausfall:** Bei der Aktivierung/beim Einsatz von mehr als 6 der derzeit 10 Sensoren/Messknoten des Systems fällt ein Teil der Sensoren/Messknoten aus.
- **Wettereinfluss:** Die Messwerte der Sensoren sind wetterabhängig.
- **Messfehler:** Es wurden teilweise falsche/sehr unwahrscheinliche Werte gemessen, die auf sehr selten auftretende Fehler der Hard- und Software bei den Sensorknoten hindeuten.

Teilsystemausfall: Beim Einsatz des kompletten Systems mit 10 Sensoren fällt ein Teil der Sensoren wiederholt aus. Die genaue Ursache konnte noch nicht herausgefunden werden, aber vermutlich ist dies ein Problem der Leistungsfähigkeit des Controllers/des Koordinatorboards. Mit Hilfe des verwendeten Zigbee Funknetzes kann das selbstorganisierende Netzwerk stabil gehalten und den Ausfall einzelner Messknoten schnell ausgeglichen werden. Allerdings entsteht hierdurch und in Kombination mit dem Datentransfer ein sehr hoher Rechenbedarf auf dem Koordinatorboard. Hierdurch können nicht immer alle Daten verlustfrei über den Controller abgebildet werden. Der Ausfall eines Teilsystems konnte nur beim Einsatz von mehr als 6 Sensoren beobachtet werden. Beim Einsatz von 6 oder weniger Messknoten trat dieses Problem nicht auf. Die Lösung des Problems müsste hardware- und evtl. softwaretechnisch erfolgen, was eine neue Generation der Platinen erfordert.

Wettereinfluss: Der starke Einfluss des Wetters auf die Messwerte, insbesondere bei der Staubmessung, hatte zur Folge, dass ein Vergleich der Messwerte ausschließlich über die Zeitspanne hinweg möglich ist, in der relativ konstante Wetterbedingungen vorliegen. Ein Vergleich von Messwerten über

Zeiten spannen mit variierenden Wetterverhältnissen ist nicht möglich. Eine Untersuchung der Kalibrierungsfaktoren des KIT-Systems, die im Spätsommer erfolgte, und die Ergebnisse der Versuche aus Kapitel 2.2, die Mitte Januar stattfanden, stützen die Vermutung, dass eine Kalibrierung nicht einfach linear erfolgen kann. Jeder Staubsensor hat eine Grundspannung, die auch ohne Staub übertragen wird und einen Wert im Auswertungsprogramm generiert. Dieser Wert der Grundspannung war im Winter deutlich höher, was auf die Ursache einer erhöhten Luftfeuchte/niedrigeren Temperatur schließen lässt. Um das Problem zu beheben, wären umfangreiche Versuche in einer Klimakammer mit bekannter Staubkonzentration nötig mit dem Ziel einer Kalibrierung des Systems unter Verwendung von Klimafaktoren.

Messfehler: Falsche/unwahrscheinliche Messwerte waren ein weiteres, aber eher seltenes Problem im Praxistest. Ursachen dieser Messfehler waren sehr wahrscheinlich Übertragungsfehler zwischen dem Sensor und dem Controller der einzelnen Messknoten. Das Problem der Messfehler wurde mit einem Programm weitgehend behoben, indem der Server diese aussortiert. Da das Problem jedoch nur selten (ca. 1 von 10.000 Messwerten) auftrat und die Detektion sehr aufwändig ist, ist anzunehmen, dass weiterhin die Möglichkeit von einzelnen Datenfehlern besteht, die noch nicht identifiziert wurden.

4.4.2 Erkenntnisse

Neben den drei genannten Problemen, wurden im Praxistest vor allem die folgenden positiven Erfahrungen gemacht bzw. Erkenntnisse unter anderem hinsichtlich der oben genannten wichtigen Grundlagen für die Entwicklung des Messsystems (siehe Kapitel 4.1.) erlangt:

- **Niedrige Kosten:** die einfachen, kostengünstigen Komponenten der Messtechnik reichen für die Erfassung der Immissionen aus.
- **Einfache Handhabung:** einfacher Aufbau, Inbetriebnahme und Bedienung des Systems.
- **Durchgängiger Einsatz des Systems:** permanente Messungen.
- **Verwertbare Ergebnisse.**

Niedrige Kosten: Eines der Hauptziele war es, ein günstiges System zu entwickeln. Jeder Messknoten benötigt Hardware inkl. Sensoren für etwa 200€. Dieser Betrag kann bei einer größeren Charge sicherlich noch reduziert werden. Insgesamt 6 Messknoten und ein zentraler Koordinator (eine zentrale Verbindung zwischen dem Zigbee Funknetz und der Auswerteeinheit) stellen hier eine sinnvolle Systemkonstellation dar. Zusätzlich wird ein einfacher Rechner als Server benötigt. Aufwändiger und teurer sind die Entwicklung und die Kalibrierung der Messtechnik, um sie belastbar und kommerziell einzusetzen. Auch dieser Kostenpunkt kann mit einer steigenden Stückzahl der produzierten Geräte reduziert werden. Damit liegt ein realistischer Preis für ein System bei ca. 5.000 €, wenn eine Überwachung innerstädtischer Baustellen notwendig wird und entsprechende Geräte in einer größeren Anzahl gefertigt werden.

Einfache Handhabung: Das System kann vor Ort auf der Baustelle sehr zügig aufgebaut werden. Für die Installation eines Messknotens mit Erdschraube wird etwa eine halbe Stunde benötigt. Der Aufbau des Gesamtsystems inklusive dem Aufbau und der Installation des Servers kann an einem halben Arbeitstag erfolgen. Das System kann vom Baustellenpersonal selbst aufgebaut werden und es wird kein ausgebildeter Messtechniker benötigt. Für die Inbetriebnahme muss jeder Messknoten lediglich per Schlüsselschalter aktiviert werden und sobald der Rechner mit dem in Labview erstellten Programm zur Datenerfassung läuft, erfolgt alles automatisiert. So ist auch die Bedienung des Systems über den Messablauf hinweg sehr einfach, da das System alle Grundfunktionen selbst übernimmt. Während den Messungen kann der Maschinenführer auf einem Tablet die für ihn wichtigen Sensoren mit einfachen Befehlen zuschalten. Lediglich für die Analyse der Messungen sind besondere Kenntnisse nötig, die jedoch innerhalb einer kurzen Einarbeitungszeit vermittelt werden können. Alle Teile des Systems sind in der Ausführung des Prototyps sehr robust, sodass auch Zusammenstöße während der Messungen auf Rück-/Baustellen nur zu geringen Schäden an dem System führten.

Durchgängiger Einsatz des Systems: Das System erlaubt mit den oben genannten Einschränkungen eine dauerhafte und permanente Erfassung von Immissionswerten. Das System wurde mit 6 Sensoren über 8 Tage erfolgreich getestet. Bei 10 Sensoren kam es dagegen zu den oben genannten Problemen (siehe 4.4.1.).

Verwertbare Ergebnisse: Die Versuche aus Kapitel 2.2. und weitere Vorversuche und Untersuchungen zeigten, dass das prototypische Immissionserfassungssystem funktioniert und verwertbare Ergebnisse für die Abschätzung von Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen liefert.

4.4.3 Fazit

Das Immissionserfassungssystem ist im jetzigen Zustand ein Prototyp, der unter definierten Bedingungen einsatzfähig ist. Allerdings bestehen noch die genannten Probleme (siehe Kapitel 4.4.1.), die für den regelmäßigen Einsatz unter realen Bedingungen behoben werden müssen. Es konnte allerdings der Nutzen und die prinzipielle Verwendbarkeit (siehe Kapitel 4.4.2.) des Systems gezeigt werden. Somit wurde mit dem Prototypen ein funktionales und erweiterbares Grundsystem geschaffen, auf dem aufbauend ein kommerzielles System entwickelt werden kann. Um aus dem Prototyp ein allgemein einsatzfähiges System zu machen, ist noch einige Arbeit notwendig. Die letzte Entwicklungsstufe des Systems sollte in der Industrie erfolgen, für die dieses System interessant wird, wenn die unter Kapitel 5.2.2. genannten Maßnahmen in Zukunft umgesetzt werden.

5 Hineintragen der Ergebnisse in die Praxis

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden relevanten Akteuren in der Praxis (Bauherr, Planungsingenieur und Abbruchunternehmer) sowie Interessierten aus Wissenschaft und Forschung vorgestellt. Die Ergebnisverbreitung zielte darauf ab, einen größeren Interessentenkreis für die Problematik zu gewinnen und die Integration der im Rahmen des Forschungsprojekts erarbeiteten Ergebnisse in der Praxis anzustoßen. Im Folgenden werden die einzelnen Beiträge zur Ergebnisverbreitung näher beschrieben.

5.1 Beitrag zur Erreichung des übergeordneten Projektziels

Übergeordnetes Ziel des Forschungsprojekts war die **(1.) Analyse der Einflussfaktoren** von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen und -immissionen bei Abbruchvorgängen und die **(2.) Integration des Immissionsschutzes in den Projektablauf** (siehe Kapitel 1.2.). Das zur Zielerreichung entwickelte Gesamtkonzept für die Rückbauplanung vom Objekt über die Planung zur Abbruchdurchführung (Abbildung 6) wurde im Rahmen des Projekts durch die Entwicklung und Erstellung der drei Instrumente,

1. der Datenbank,
 2. dem prototypischen IT-basiertem Planungsunterstützungswerkzeug
- und
3. dem prototypischen Immissionserfassungssystem
- erfolgreich umgesetzt.

Alle drei Instrumente tragen jeweils zu beiden Komponenten (1. Analyse der Einflussfaktoren und 2. Integration des Immissionsschutzes) des übergeordneten Ziels bei: Die Datenbank und das

Planungsunterstützungswerkzeug bauen zum einen auf der **Analyse der Einflussfaktoren** von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen und –immissionen bei Abbruchvorgängen auf und können für eine vorab Analyse dieser Faktoren bei Abbruchprojekten eingesetzt werden. Durch die beiden Instrumente wird **der Immissionsschutz** zielgerichtet und effektiver in die Planungsphase von Rückbauprojekten **integriert**. Das Immissionserfassungssystem ermöglicht durch das Messen, Dokumentieren und die Auswertung der realen relevanten Immissionen **die Analyse der Einflussfaktoren** von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen und -immissionen bei Abbruchvorgängen während der Ausführung sowie in der Nachbereitung von Abbrucharbeiten. Durch das System wird **der Immissionsschutz** besser in die Durchführungs- und in die Nachbereitungsphase von Rückbauprojekten **integriert**.

5.2 Beitrag zur Zielerreichung und praktischer Nutzen – Integration des Immissionsschutzes

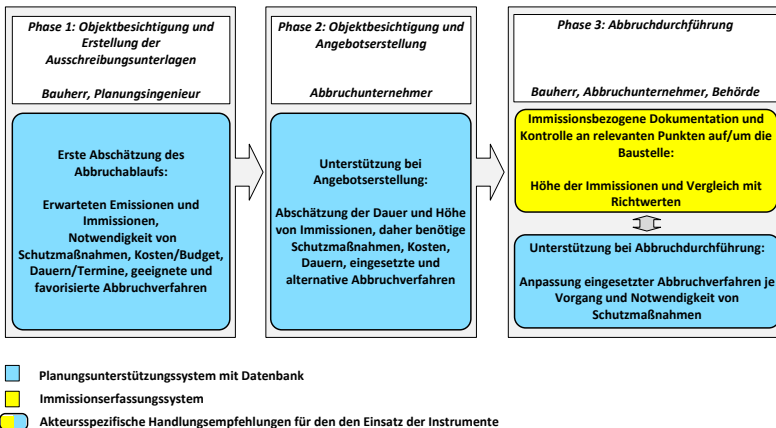


Abbildung 62: Nutzen der Instrumente in den einzelnen Phasen eines Abbruchprojekts¹

¹ Kühlen et al. 2015.

Durch vermehrte Abbruchaktivitäten in Innenstädten und steigendes Bewusstsein der Bevölkerung für schädliche Umwelteinflüsse nimmt für den Bauherren, die Planungsingenieure, Abbruchunternehmer und Behörden die Notwendigkeit zu, Immissionen, wie Lärm, Staub und Erschütterungen, bei Abbrucharbeiten zu berücksichtigen und zu kontrollieren. Hierbei können die entwickelten Instrumente, wie in Abbildung 29 (Kühlen et al. 2015) dargestellt, in Zukunft die Akteure in den einzelnen Phasen des Abbruchprojekts unterstützen.

5.2.1 Planungsunterstützungswerkzeug mit Datenbank

Mit dem IT-basierten Planungswerkzeug mit Datenbank, das in diesem Forschungsprojekt prototypisch erstellt wurde, können die betroffenen Akteure, wie Bauherr, Planungsingenieure und Abbruchunternehmen, in Zukunft bei der Planung und Bewertung von Abbrucharbeiten insbesondere hinsichtlich der Minderung von lokalen Umweltwirkungen unterstützt werden. Durch die Wahl von adäquaten Abbruchtechniken, wie sie durch das Planungswerkzeug vorgeschlagenen werden, können die Immissionen auf die lokale Umwelt entscheidend gemindert werden. Der Vorschlag des Planungsunterstützungswerkzeugs kann vom Bauherren und Planungsingenieur für emissions- und immissionsbedingte Rahmenbedingungen für eine erste Abschätzung des Abbruchablaufs in der Ausschreibung (Abbildung 29, links) und vom Abbruchunternehmer für emissions- und immissionsbedingte Spezifikationen im Angebot herangezogen werden (Abbildung 29, Mitte). Der Vorschlag enthält bspw. spezifische Abbruchverfahren, eine Abschätzung der Höhe und des zeitlichen Verlaufs von Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen sowie die Kosten für Maschinen und Personal des Abbruchs. Weiter könnte das Werkzeug den Abbruchunternehmer während der Abbruchdurchführung durch Vorschläge zur Anpassung eingesetzter Abbruchverfahren unterstützen (Abbildung 29, rechts).

Da auch technische und ökonomische Kriterien neben den lokalen Umweltwirkungen (ökologischen Kriterien) bei der Wahl geeigneter Abbruchtechniken berücksichtigt werden können, erlaubt das

Planungsunterstützungswerkzeug die Umsetzung von Prinzipien des Nachhaltigen Bauens bei der Abbruchplanung. Der Abbruchprozess allgemein und insbesondere die dabei möglichen Einwirkungen auf die lokale Umwelt werden in den derzeitigen Nachhaltigkeitsbetrachtungen noch wenig thematisiert.

5.2.2 Maßnahmen zur Einführung des Immissionserfassungssystems

Mit dem Immissionserfassungssystem können die Immissionshöhen vor Ort auf der Baustelle an relevanten Punkten während der Abbruchdurchführung erfasst werden (Abbildung 29, rechts). Auf diese Weise lassen sich die Belastungen für die Anwohner bspw. durch den Bauherrn, den Abbruchunternehmer oder Behörden kontrollieren und in Folge dessen begrenzen. In diesem Zusammenhang ist es jedoch wichtig, zu erwähnen, dass es aktuell in der Regel nicht möglich ist eine Abbruchbaustelle mit Nachbarbebauung unter Einhaltung der Richtwerte und mit einem bezahlbaren Aufwand durchzuführen. Eine Einführung des Immissionserfassungssystems würde somit zunächst dazu führen, dass Abbrucharbeiten in Städten nahezu unmöglich gemacht werden. Daher müssen in diesem Zusammenhang dringend angepasste Regelungen geschaffen werden. Denn der aktuelle Zustand, dass eine Einhaltung der Grenz-/Richtwerte in der Regel nicht möglich ist, wird sich nicht durch eine Verschärfung der jetzt schon nicht einhaltbaren Richtwerte verbessern. Der einzige Weg einen höheren Immissionsschutz neben der Planung auch bei der Durchführung von Rückbauarbeiten zu garantieren, ist die Einführung erfüllbarer Richtlinien mit einer effektiven Kontrolle deren Einhaltung. Für diesen Lösungsweg zur Integration des Immissionsschutzes in der Durchführungsphase werden **zwei grundsätzliche Änderungen der Verordnungen und ein Werkzeug** benötigt.

1. Verordnungen müssen einen effektiven, maschinellen Rückbau erlauben. Dies erfordert eine Anpassung derzeitiger Verordnungen. Zunächst bietet sich hierbei die Möglichkeit an, dass Grenz-/Richtwerte zum Immissionsschutz für kurzzeitige Maßnahmen angepasst werden können. So

sollte auf Antrag, beispielsweise der reguläre maximale Schallpegel für den Abbruch eines Wohnhauses z.B. für eine Woche um 10-20 dB(A) erhöht werden können. Der genaue Wert der Erhöhung sollte durch eine entsprechende Untersuchung gefunden werden. Zusätzlich sollten Vorbelastungen in die Bewertung mit einfließen. Sind die Grenzwerte z.B. in der Innenstadt bereits durch alltägliche Belastungen übertroffen, so müsste die temporäre Erhöhung der Immissionen auf den Ausgangswert bezogen angepasst werden. Die Erhöhung wäre dann beispielsweise auf die realen Bedingungen anzurechnen. Außerdem könnte gemeinsam mit den Anwohnern ein Zeitfenster (z.B. 8-12h) gefunden werden, in denen Immissionsüberschreitungen akzeptiert werden. In diesem Zeitraum bestände dann die Möglichkeit, die lärmintensiven Arbeiten durchzuführen. Insgesamt muss erreicht werden, dass durch eine vernünftige und flexible Regelung die nötigen Arbeiten durchgeführt werden können und dabei aber der Schutz der Anwohner sichergestellt werden kann.

2. Der Bauherr muss stärker in den Immissionsschutz während der Durchführungsphase (zusätzlich zur Planungsphase) eingebunden werden und seine Verantwortung wahrnehmen. Eine Übergabe der Überwachungspflichten an den Abbruchunternehmer beispielsweise durch den Satz bei der Auftragsvergabe: "Der Auftragnehmer sorgt für die Einhaltung des Immissionsschutzes während der Rückbauarbeiten", muss verhindert werden. Eine Möglichkeit dafür wäre die Erstellung und Einreichung eines Immissionsschutzgutachtens/-konzeptes durch den Bauherrn zusammen mit den Planungsunterlagen. Eine weitere Möglichkeit wäre die zwangsweise Integration eines Fachberaters für Abbruch/Immissionsschutz durch den Bauherrn. Insgesamt muss die Planung und Überwachung des Immissionsschutzes stärker in den Verantwortungsbereich des Bauherrn treten. Alle diese Maßnahmen sollten aber erst ab einer gewissen Gebäudegröße bzw. Komplexität nötig sein.

3. Um den Nutzen und die Wirkung der beiden oberen Punkte zu bewerten, wird immer ein Werkzeug wie das hier prototypisch entwickelte Immissionserfassungssystem benötigt, das die auftretenden Immissionen erfasst und dokumentiert. Ohne diese Überwachung würde ein Verstoß gegen

Grenzwerte nicht bemerkt und nicht geahndet. Diese Situation ist aktuell die Regel bei Abbrucharbeiten. Werden Immissionen nicht gemessen und abgeglichen, ist eine Einhaltung der Grenzwerte zufällig und auch unwahrscheinlich, da Maßnahmen zur Minderung der Lärm-, Staub- und Erschütterungsimmissionen zusätzliche Kosten verursachen und daher im Zweifel nicht eingesetzt werden.

5.3 Akteurspezifische Handlungsempfehlungen

Um zukünftig die Emissionen (Lärm, Staub und Erschütterungen) beim Abbruch von Gebäuden sowie die damit verbundenen Immissionen auf Mensch und Umwelt zu vermindern, besteht dringender Handlungsbedarf den Immissionsschutz als integralen Bestandteil in den beiden Phasen Abbruchplanung und -durchführung zu etablieren. In Abbildung 30 sind die wesentlichen Handlungs- und Entscheidungsabläufe in den beiden Phasen schematisch dargestellt.

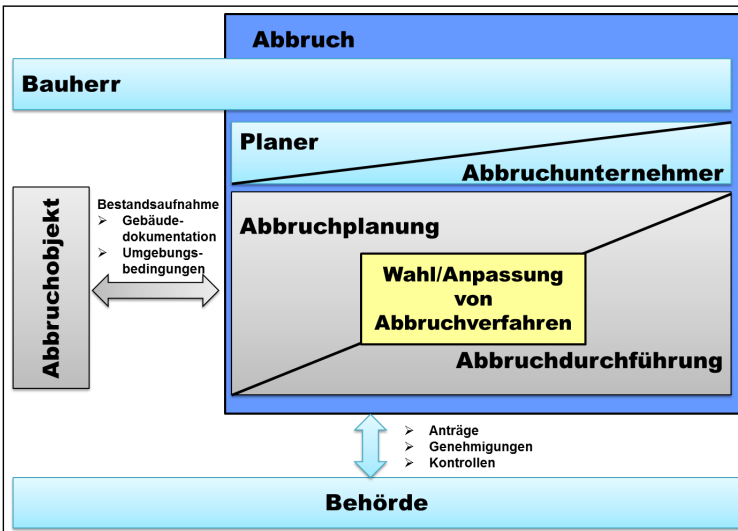


Abbildung 63: Übersicht über die wesentlichen Handlungs- und Entscheidungsabläufe bei der Planung und Durchführung einer Rückbaumaßnahme

Wie aus der Abbildung ersichtlich, sind die relevanten Akteure, die hier handeln und Entscheidungen treffen, der Bauherr, Planer/Planungsingenieure, Abbruchunternehmer/Bauunternehmer und Behördenvertreter. Daher wurden genau für diese Akteure Handlungsempfehlungen für die Integration des Immissionsschutzes in der Planungs- und Durchführungsphase entwickelt. Diese akteurspezifischen Handlungsempfehlungen werden im Folgenden beschrieben.

Vorangestellt wird, dass der Bauherr generell die Gesamtverantwortung einer Abbruchmaßnahme trägt. Unter Beachtung der vom Deutschen Abbruchverband herausgegebenen Checkliste hinsichtlich der Aufgaben und Verantwortung des Bauherrn beim Abbruch baulicher Anlagen (DA (2013)) werden nachfolgend weitergehende akteurspezifische Empfehlungen gegeben.

5.3.1 Allgemeine Empfehlungen

Um die bei der Durchführung entstehenden Emissionen und Immissionen frühzeitig berücksichtigen zu können, ist es wichtig, den Immissionsschutz von Beginn an in die Planung zu integrieren. Dies kann beispielsweise durch die Wahl adäquater Abbruchverfahren/-techniken erfolgen. Zusätzlich kann durch den Einsatz von technischen Schutzmaßnahmen an der Quelle, auf dem Ausbreitungsweg sowie am Schutzgut die Höhe der zu erwartenden Immissionen stark reduziert werden. Darüber hinaus sind auch organisatorische Maßnahmen wichtig, wie eine frühzeitige Information (und zukünftig sogar ein frühzeitige Einbindung) der Nachbarschaft. Wie nachfolgend empfohlen, sollte der Funktionsumfang/das Arbeitsfeld des Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordinators (SiGeKo) um die Fachkenntnisse zum Immissionsschutz erweitert werden, so dass er auch hier beratend Einfluss nehmen kann. Damit wird sichergestellt, dass spezifische Immissionsschutzvorgaben eingehalten werden.

5.3.2 Handlungsempfehlungen für Bauherren und Planungsingenieure

5.3.2.1 Empfehlungen für die Planungsphase

Der Bauherr ist verantwortlich, dass frühzeitig, d.h. von Beginn der Rückbauplanung an, Maßnahmen für den Immissionsschutz integriert werden und somit ihren Niederschlag in den Ausschreibungen haben. Soweit der Bauherr diesbezüglich nicht über eine eigene Fachkunde verfügt - und das ist die Regel -, sind leistungsfähige und zuverlässige Fachkundige (Fachplaner/Planungsingenieur) mit der Planung der Abbruchmaßnahme und mit der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen/Leistungsbeschreibung zu beauftragen. Die Fachkenntnisse über die der Planer verfügen sollte, sind in der VDI 6210 E aufgeführt. Es wird generell empfohlen, einen weiteren unabhängigen Fachmann mit der Überwachung/der Integration des Immissionsschutzes zu beauftragen, der der Verantwortung des Bauherrn in diesen Fragen gerecht wird. Hierzu könnte zum Beispiel der Funktionsumfang eines SiGeKo erhöht werden (siehe 5.3.1.).

Für die Erarbeitung der Leistungsbeschreibung sind Kenntnisse über die Gebäudeeigenschaften (Bauart/-weise, Material, Bauteildicke, Bauteilmasse, Anzahl der Geschosse und die Gebäudehöhe) sowie den angrenzenden Umgebungsbedingungen (Platzverhältnisse, Nachbarbebauung, Einstufung des bebauten Umfeldes gemäß TA Lärm – Industrie-, Gewerbe-, Dorf- und Misch- sowie Kurgebiete) von grundlegender Bedeutung. Hier kann in Zukunft **ein Planungsunterstützungswerkzeug, wie es im Forschungsprojekt prototypisch entwickelt wurde**, Hilfestellung geben. Mit dem Werkzeug kann beispielsweise sichergestellt werden, dass entsprechend notwendige Informationen (z.B. emissionsrelevante Gebäudeeigenschaften, immissionsrelevante Umgebungsbedingungen, die Wahl eines geeigneten Abbruchverfahrens in Abhängigkeit von Gebäude- und Umgebungseigenschaften und mögliche Schutzmaßnahmen) eingeholt und bei der Vorabplanung und Erstellung der Leistungsbeschreibung berücksichtigt/integriert werden. Entsprechende Auskünfte und Informationen

können beispielsweise bei dem Eigentümer (der oft auch der Bauherr selbst ist) und bei der zuständigen Baubehörde eingeholt werden. Außerdem ist eine eingehende Vorortbesichtigung zur Aufnahme des Abbruchobjekts und den Umgebungsbedingungen zu empfehlen. Es sollte auch ein Gutachten erstellt werden, welches die Immissionssituation beschreibt und das dem Bau-/Abbruchartrag beigelegt wird. Sollten sich aus diesen Erkenntnissen zwingend anzuwendende Schutzmaßnahmen zur Verminderung bzw. Eindämmung von Lärm-, Staub- und Erschütterungsemissionen ergeben, sind diese als „Besondere Leistungen“ oder besser als reguläre eigenständige Leistung in einer ausführlichen Leistungsbeschreibung anzugeben. Dadurch kann das Risiko von Nachträgen, die aufgrund von zusätzlichem Arbeits- und Zeitaufwand unumgänglich zu höheren Kosten führen, verringert werden. Bauherren der öffentlichen Hand sollten diesbezüglich eine Vorreiterrolle einnehmen. Insbesondere kann durch eine Aufnahme des Immissionsschutzes in die Leistungsbeschreibung verhindert werden, dass derjenige, der diese einfach ignoriert, gegenüber Konkurrenten einen Vorteil bei der Auftragsvergabe hat.

Bei der Auftragsvergabe wird angeraten, sich von dem zu beauftragenden Abbruchunternehmen den Nachweis einer ausreichenden Sachkunde und Erfahrungen auf den Gebieten Arbeitsschutz, Immissionsschutz, der Unfallverhütungsvorschriften sowie der ordnungsgemäßen Beseitigung von Bauschutt belegen zu lassen. Eine neutrale Beurteilung der fachlichen Eignung und Qualifikation eines Abbruchunternehmens geht z.B. aus der Zertifizierung nach dem RAL Gütezeichen Abbrucharbeiten (RAL-GZ 509) (Abbildung 31) hervor.



Abbildung 64: RAL Gütezeichen Abbrucharbeiten²

5.3.2.2 Empfehlungen für die Durchführungsphase

Obwohl der ausführende Akteur dieser Phase der Abbruchunternehmer ist, obliegt während der Durchführungsphase die Verantwortung, speziell die Überwachungsverantwortung dem Bauherrn bzw. dem Fachplaner/Planungsingenieur. Aus diesem Grund wird die Kontrolle der Ausführung, insbesondere die Einhaltung des Immissions- und Arbeitsschutzes seitens des Bauherrn dringend empfohlen. Hier kann in Zukunft **ein Immissionserfassungssystem, wie es im Forschungsprojekt prototypisch erstellt** wurde, vom Bauherrn zur Dokumentation und Kontrolle auf der Baustelle eingesetzt werden. Der SiGeKo (wie unter 5.3.1 und 5.3.2 empfohlen) kann hierbei seine Fachkompetenz einbringen und den Bauherren entsprechend beraten.

5.3.3 Handlungsempfehlungen für Bau- und Abbruchunternehmer

5.3.3.1 Empfehlungen für die Planungsphase

Der Bau-/Abbruchunternehmer trägt dem Immissionsschutz durch die Wahl geeigneter, emissionsarmer Abbruchverfahren/-techniken Rechnung. In Zukunft kann auch hier ein **Planungsunterstützungswerkzeug, wie es prototypisch entwickelt wurde**, den Bau-/Abbruchunternehmer bei der Wahl

² Quelle: <http://www.ral.de/>.

geeigneter Abbruchverfahren/-techniken gemäß den Vorgaben der Leistungsbeschreibung unterstützen. Verfügt der Abbruchunternehmer nicht über die entsprechenden Ressourcen (Maschinen, Geräte, usw.) sind adäquate Möglichkeiten, wie z.B. die Anmietung oder Unterauftragserteilung auszuschöpfen. Da die Gebäudeeigenschaften sowie das direkt angrenzende Umfeld einen wesentlichen Einfluss auf die Auswahl der Abbruchverfahren nehmen, ist bei Abbruchmaßnahmen vor Angebotsabgabe eine Vorortbesichtigung durch den/die Bieter zu empfehlen. Gleichwohl können bei diesem Termin die notwendigen technischen Schutzmaßnahmen (an der Emissionsquelle, auf dem Ausbreitungsweg und am Schutzgut bzw. durch einen entsprechenden Arbeitsschutz) gewählt werden. Die durch den Bauherren und dessen Planungsingenieur erstellte Leistungsbeschreibung sollte diese Aspekte vorsehen/einen Rahmen dafür bieten.

5.3.3.2 Empfehlungen für die Durchführungsphase

In erster Linie sollte der Bau-/Abbruchunternehmer die in der Planungsphase ausgewählten geeigneten, emissionsarmen Abbruchverfahren/-techniken in der Durchführungsphase tatsächlich auch einsetzen. Darüber hinaus sind die geplanten technischen Schutzmaßnahmen zu errichten und von einem Beauftragten zu kontrollieren. Das können beispielsweise Vertreter der Behörden oder der SiGeKo sein. Insbesondere beim Nachweis der Einhaltung von Immissionsgrenzwerten gegenüber Behörden und der Nachbarschaft, kann in Zukunft **ein Immissionserfassungssystem**, das wie oben beschrieben vom Bauherrn eingesetzt werden sollte, den Unternehmer unterstützen. Durch die Dokumentation der Immissionsverläufe können unnötige Bauunterbrechungen verhindert werden.

Zur Eindämmung von Staubemissionen wird angeraten, bereits vor Beginn der Abbrucharbeiten vorhandene Staubablagerungen – auch wenn sie meist nur einen geringen Anteil an der gesamten Staubentwicklung ausmachen – zu beseitigen (DA (2015), S. 29). Während der Abbrucharbeiten sowie bei der Zerkleinerung und dem Verladen der Bauabfälle sind grundsätzlich die Staubemissionen mit geeigneten Maßnahmen einzudämmen. Folgende

Abbildung gibt einen Überblick zu Möglichkeiten der Staubbekämpfung vor und während der Abbrucharbeiten.

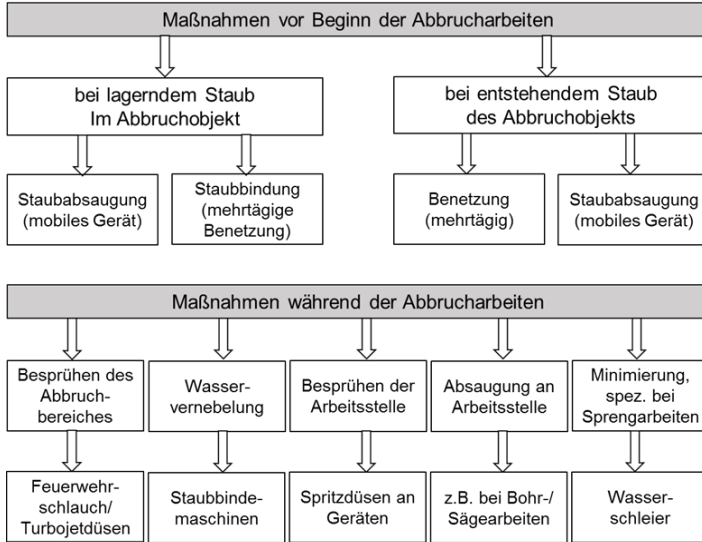


Abbildung 65: Möglichkeiten der Staubbekämpfung bei Abbrucharbeiten³

Zur Begrenzung von Lärmemissionen wird empfohlen, Baugeräte einzusetzen, die den Anforderungen der 32. BImSchV entsprechen, einzusetzen. Nur diese werden dem aktuellen Stand der Technik gerecht. Die Immissionsrichtwerte innerhalb und außerhalb von Gebäuden gemäß TA Lärm sind zwingend einzuhalten (dies erfordert wie unter 5.2.2. näher beschrieben eine Anpassung der derzeitigen Verordnung). Liegen zu schützende Bebauungen in Richtung des Schallausbreitungsweges, sind während der Abbrucharbeiten geeignete Maßnahmen zur Schallabschirmung zu ergreifen.

³ DA (2015), S. 29, Abbildung 1.8.

5.3.4 Handlungsempfehlungen für Behörden

5.3.4.1 Empfehlungen für die Planungsphase

Notwendig ist, vor Beginn der Abbruchmaßnahme die installierten Schutzmaßnahmen gegen Immissionen zu kontrollieren. **Ein Planungsunterstützungswerkzeug, wie es hier prototypisch entwickelt wurde**, kann der Behörde in Zukunft helfen, die „kritischen“ Situationen/Abbruchprojekte vorab zu identifizieren. Beispielsweise kann auf Grund der geplanten Abbruchverfahren/-techniken, der Siedlungsstruktur um die Abbruchbaustelle herum und der Nutzungsart der Nachbarschaft das mögliche Ausmaß der Immissionsbelastung (Höhe, Dauer und Bedeutung) abgeschätzt werden. Es wird empfohlen, eine Einschätzung der zu erwartenden Immissionen jedem Abbruchartrag beizulegen, auch wenn der Einschätzung zu entnehmen ist, dass keine bedenklichen Immissionen zu erwarten sind. Geht aus den Planungsunterlagen hervor, dass für die Arbeitnehmer auf der Baustelle als auch für das angrenzende Umfeld kein ausreichender Schutz existiert, sind behördlicherseits Auflagen zu erteilen. Diese sind dann auch zu kontrollieren.

5.3.4.2 Empfehlungen für die Durchführungsphase

Die Nichteinhaltung bzw. Verstöße gegen geltendes Recht (z.B. Bundesimmissionsschutzgesetz, Arbeitsschutzgesetz, Baustellenverordnung, usw.) können von der Bauaufsichtsbehörde durch die Festsetzung von Bußgeldern oder durch Baustopp geahndet werden. Dazu wird auch dringend geraten, denn mündliche Verwarnungen erfüllen nur selten ihren angedachten Zweck. Durch regelmäßige Prüfungen und gegebenenfalls Ahndungen der zuständigen Behörde (z.B. Arbeitsschutzbehörde, Untere Bauaufsichtsbehörde) können durch Immissionen verursachte Gefahren für Mensch und Umwelt vermieden werden. Bei der regelmäßigen Prüfung/Kontrolle der Immissionen kann in Zukunft **ein Immissionserfassungssystem, wie es im Projekt prototypisch erstellt wurde**, die Behörden unterstützen.

5.4 Weitere Maßnahmen zur Ergebnisverbreitung

Im Forschungsprojekt wurde bereits mit der Auswahl der Projektpartner der Grundstock für eine überregionale Verbreitung der Ergebnisse gelegt. Von Projektbeginn an wurden die umwelttechnischen Hintergründe und Gegenmaßnahmen zur Abwehr der gesundheitstechnischen Risiken bei Rückbaumaßnahmen in den Vordergrund gestellt. Das zentrale Anliegen bestand darin, nicht nur die theoretischen Grundlagen zusammenzufassen, sondern Fachleute und die Öffentlichkeit für diese Thematik zielgerichtet zu interessieren. So wurden bspw. der Deutsche Abbruchverband (DA) und das Umweltbundesamt (UBA) in das Vorhaben involviert indem im Rahmen von Treffen der Austausch von Erfahrungen und Kenntnissen eingeflossen sind. Die Integration von Vertretern aus Wirtschaft, Behörden und Wissenschaft macht eine zukünftige Umsetzung der Projektergebnisse möglich. Nachfolgend werden weitere wesentliche Aktivitäten zur Ergebnisverbreitung in Anlehnung an die Struktur/Elemente der Ergebnisverbreitungsstrategie aufgeführt.

5.4.1 Veröffentlichung in Fachzeitschriften und Journals

Um die Projektergebnisse an die Fachleute aus der Bau-, Abbruch- und Recyclingindustrie sowie an Wissenschaftler in diesem Forschungsgebiet heranzutragen, erfolgten Veröffentlichung zum Projekt und den Ergebnissen in verschiedenen nationalen und internationalen Fachzeitschriften und Journals. Diese werden im Folgenden gelistet:

5.4.1.1 Beiträge in nationalen Fachzeitschriften und nationale Berichte

„**VDI Technische Sicherheit**“ (Fachzeitschrift mit Praxisnähe und hohem Bekanntheitsgrad bei Unternehmen der Bau-/Rückbau- und Recycling-Industrie):

Kühlen, A.; Reinhardt, M.; Schultmann, F.; Haghsheno, S.; Mettke, A. (2015):
Verbesserung des Immissionsschutzes bei Abbrucharbeiten durch

Planungsunterstützung und Überwachung. Technische Sicherheit. Ausgabe 7/8/2015. Springer-VDI-Verlag GmbH Co. KG, Düsseldorf, S.36-41.

„Abbruch aktuell“ (Fachmagazin und Mitteilungsblatt des Deutschen Abbruchverbandes (DA)):

DA (2014): Online-Umfrage zur Sammlung von Expertenwissen für ein Rückbauplanungswerkzeug zum Immissionsschutz. Ankündigung der Umfrage in „Abbruch aktuell“, Ausgabe 4/2014.

Ein weiterer Beitrag ist für die Ausgabe von „Abbruch aktuell“ im 2. Quartal 2016 geplant.

„BG Bau BauPortal“ (Fachzeitschrift mit Praxisnähe und hohem Bekanntheitsgrad bei Unternehmen der Bau-/Rückbau-Industrie):

BG Bau (2015): Immissionsschutz beim Gebäudeabbruch - Forschungsprojekt: Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen) beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien aus Gebäudeabbruch. Fachzeitschrift der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft. Heft 2, 127. Jahrgang, März 2015. ISSN 1866-0207 6693. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG, Berlin, S. 10.

„DBU aktuell“:

DBU (2015): Rückbau von Gebäuden – geräuscharm und umweltfreundlich. Newsletter der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Heft 2, 2015.

Forschungsberichte:

- Kühlen, A.; Stengel, J.; Volk, R.; Schultmann, F.; Reinhardt, M.; Schlick, H.; Haghsheno, S.; Asmus, S; Mettke, A.; Harzheim, J. (2014): Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen)

beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien aus Gebäudeabbruch (Phase 2). Endbericht zur 2. Phase des gleichnamigen Forschungsprojekts AZ 29014/02-23, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, 07.08.2014, 123 S.

- Kühlen, A.; Stengel, J.; Volk, R.; Schultmann, F.; Reinhardt, M.; Schlick, H.; Hagsheno, S.; Asmus, S; Mettke, A.; Harzheim, J. (2014): Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen) beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien aus Gebäudeabbruch (Phase 2). Zwischenbericht zum gleichnamigen Forschungsprojekt AZ 29014/02-23, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, unveröffentlicht, 101 S.
- Kühlen, A.; Stengel, J.; Volk, R.; Schultmann, F.; Reinhardt, M.; Markus, M.; Schlick, H.; Gentes, S.; Asmus, S; Mettke, A.; Reis, B.; Görisch, U.; Harzheim, J. (2013): Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen) beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien aus Gebäudeabbruch (Phase 1). Endbericht zum gleichnamigen Forschungsprojekt AZ 29014-23, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, 01.2013, 101 S.

5.4.1.2 Beiträge in internationalen Tagungsbänden

(Tagungsbände von internationalen Konferenzen aus den Bereichen Bau-, Projekt- und Umweltmanagement)

- Kühlen, A.; Volk, R.; Stengel, J.; Schultmann, F. (2014): Deconstruction Project Planning Considering Local Environmental Impacts. In: Proceedings of the 2014 (5th) International Conference on Engineering, Project and Production Management. 26.-28 November 2014, Port Elizabeth, South Africa, pp. 22-33.

- Reinhardt, M.; Kühlen, A.; Haghsheno, S. (2014): Developing a Pollution Measuring System to Manage Demolition Projects Complying with Legal Regulations. In: Proceedings of the 2014 (5th) International Conference on Engineering, Project and Production Management. 26.-28 November 2014, Port Elizabeth, South Africa, pp. 116-125.
- Kühlen, A.; Drogemüller, R.; Schultmann, F. (2013): What Information is Necessary to Assess the Environmental Impacts of Deconstruction? In: Proceedings of 30th CIB W78 International Conference on Application of IT in the AEC Industry, 9-12 October 2013, Beijing, pp. 306-315.

5.4.2 Projektvorstellungen vor Fachpublikum

Neben Veröffentlichungen, wurden die Ergebnisse auch über die Präsentation des Projekts den Fachleuten aus Wissenschaft und der Bau-, Abbruch- und Recyclingindustrie in Workshops, auf Messen und Konferenzen vorgestellt:

- **Auf dem Symposium "Umweltschutz auf der Baustelle - Wettbewerbsvorteil oder unbezahlter Mehraufwand?"** am 10. März 2015 am Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) in Bonn. Das Karlsruher Institut für Technologie war neben dem BBSR und der Bergischen Universität Wuppertal Mitveranstalter des Symposiums. Die Veranstaltung richtete sich an Bauherren, Planer, Bauausführende und Vertreter von Verwaltung und Behörden.
- **Auf der „BAU 2015“**, der Weltleitmesse für Architektur, Materialien und Systeme, vom 19. bis 24.01.2015 in München auf dem DBU-Gemeinschaftsstand zum Thema „Ressourcenschonend und energieeffizient Bauen“.
- **Auf der “5th International Conference on Engineering, Project and Production Management”** vom 26.-28.11.2014 in Port Elizabeth, Südafrika.
- **Auf der “30th CIB W78 International Conference on Application of IT in the AEC Industry”** vom 9.-12.10.2013 in Peking.

Über die Projektpartner wird des Weiteren auf vielfältige Art und Weise in ehrenamtlichen Gremien und regelmäßigen Veranstaltungen über die erzielten Projektergebnisse berichtet, z.B. im AK „Bau- und Bodenabfälle“ der DWA-HA KEK und in den jährlichen Beiträgen anlässlich der Baufachtagungen der Fa. Ecosoil. 2016 sind weitere Vorträge zu dem Thema des Forschungsprojekts geplant, wie auf dem Berlin-Brandenburgischen Recyclingtag in Cottbus am 16.02.2016.

5.4.3 Vorstellung der Systeme bei einzelnen mittelständischen Unternehmen

Neben der Vorstellung des Projekts beim DA und UBA, wurde das Projekt und die Ergebnisse ausgewählten mittelständischen Unternehmen, einem Abbruchunternehmen, zwei Ingenieur-/Planungsbüros, der Gewerbeaufsicht in Freiburg, dem TÜV Hessen und der Hessischen Landesanstalt für Umwelt (HLfU) individuell vorgestellt.

5.4.4 Integration in die Lehre

Darüber hinaus wird das Forschungsthema von den universitären Projektpartnern regelmäßig in die Lehre eingebunden. So wird das Thema in Form von Vorlesungen, Übungen und Abschlussarbeiten an die Studierenden der Studiengänge Bau-, Wirtschafts- und Umweltingenieurwesen vermittelt und somit an die zukünftigen Fachleuten der Bau-, Abbruch- und Recyclingindustrie herangetragen.

Vorlesungen und Übungen:

- „Abbruch und Entsorgung“: Vorlesung und Übungen in den Studiengängen Bauingenieurwesen, Wirtschaftsingenieurwesen und Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik an der BTU.
- „Project Management“: Vorlesung und Übungen im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen am KIT.

- „Schwerpunktmodul 6: Umwelt- und recyclinggerechte Demontage von Bauwerken“ und „Baubetriebstechnik“: Vorlesung und Übungen im Studiengang Bauingenieurwesen am KIT.
- Sommerschools an der Sibirischen Föderalen Universität Krasnojarsk

Weiter wurden durch die Projektpartner diverse Abschlussarbeiten (Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten) zu dem Thema des Forschungsprojekts am KIT und der BTU betreut, deren Ergebnisse zum Teil auch in die Projektergebnisse eingeflossen sind.

Ebenfalls in Verbindung mit dem Forschungsprojekt und aufbauend auf den dort gewonnenen Erkenntnissen wird eine Dissertation verfasst, die kurz vor dem Abschluss steht.

Darüber hinaus wird zur Verbreitung der Projektergebnisse der vorliegende Bericht zum einen über die Webseite der DBU (www.dbu.de) sowie über die Webseiten der Projektpartner (IIP: www.iip.kit.edu/773.php/; DFIU: www.dfiu.kit.edu/258.php/; TMB: www.tmb.kit.edu/957.php ; BTU: <http://www.tu-cottbus.de/fakultaet4/de/altlasten/fachgruppen/bauliches-recycling/downloads-ausgewaehlter-forschungsberichte.html>) für die Öffentlichkeit/Praxis zugänglich gemacht.

6 Fazit

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit den in diesem Endbericht (sowie den Endberichten der 1. und 2. Phase) dokumentierten Erkenntnisse können der Bauherr, Planer, ausführende Unternehmen und Behörden zu Fragen und Herausforderungen des Immissionsschutzes bei Abbruchprojekten umfassende Antworten finden. Außerdem wurden Lösungsansätze für eine zukünftige Integration des Immissionsschutzes in die Planungs- und Durchführungsphase in Form von drei Instrumenten erarbeitet:

5. eine Datenbank mit ökonomischen, ökologischen und technischen Kennwerten für die Planung des Abbruchprozesses.
6. ein prototypisches IT-basiertes Planungsunterstützungswerkzeug, das auf die Datenbank zugreift.
7. ein prototypisches Immissionserfassungssystem, zur permanenten Immissionsüberwachung.

Die Instrumente wurden in Teilen in den beiden vorherigen Projektphasen bearbeitet und in der 3. Phase wie folgt vervollständigt und abgeschlossen:

Die Datenbank konnte um Daten zum Ressourceneinsatz und Bewertung der Wirtschaftlichkeit, zu Schutzmaßnahmen, zu Emissionsabnahmeeffekten abhängig vom Umfeld des Abbruchobjekts erweitert werden. Eingeflossen sind zudem Erkenntnisse aus **Expertenbefragungen** und **Immissionsmessungen unter Versuchsbedingungen**.

Das prototypische IT-basierte Planungsunterstützungswerkzeug konnte ebenfalls um die Bereiche der Datenbankerweiterung ausgebaut werden. Weiter wurde das Werkzeug mittels der Planung eines realen Abbruchvorhabens getestet.

Das prototypische Immissionserfassungssystem wurde um ein Programm zur Auswertung der Immissionen ergänzt und umfassend für Abbrucharbeiten unter Versuchs- und Praxisbedingungen getestet.

Zur Übertragung der Forschungsergebnisse in die Praxis und zur Sensibilisierung relevanter Akteure für das Thema des Immissionsschutzes bei Abbrucharbeiten wurden **zum einen diverse Aktivitäten zur Ergebnisverbreitung** umgesetzt und **zum anderen aktorspezifische Handlungsempfehlungen** erstellt.

Aufbauend auf den Endberichten der ersten beiden Phasen **enthält** der vorliegende Endbericht alle finalen Projektergebnisse.

6.2 Ausblick

Um in Zukunft für die meist mittelständisch organisierten Unternehmen, Behörden und Bürger einen reibungslosen, ordnungsgemäßen und rechtskonformen Ablauf von Rückbaumaßnahmen zu ermöglichen, ist die **Sicherstellung der Einhaltung von Immissionsgrenzwerten** zur Minderung von Konfliktpotenzialen unerlässlich. Die Berücksichtigung dieser Immissionen als integraler Bestandteil in Planung und Durchführung von Abbrucharbeiten **erfordert in erster Linie eine Verankerung des Immissionsschutzes in der Ausschreibung**. Hier wären nicht nur technische Anforderungen sondern auch immissionsschutzrelevante Anforderungen im Detail zu spezifizieren, wie die Angabe von geeigneten und favorisierten Abbruchverfahren bezugnehmend auf die Minderung der relevanten Emission(en) und die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen zur Minderung der Immissionen. Insbesondere der öffentliche Bauherr sollte hierbei eine Vorreiterrolle einnehmen und seine Ausschreibungen entsprechend ergänzen/anpassen. Hierzu können die im Rahmen des Projekts erlangten und dokumentierten Erkenntnisse herangezogen werden.

Weiter wäre es erstrebenswert **in Zukunft Instrumente** für die Planung und Durchführung von Abbrucharbeiten, so wie sie im Projekt prototypisch erstellt wurden, **einzusetzen**. Sowohl das Planungsunterstützungswerkzeug mit

Datenbank als auch das Immissionserfassungssystem sind aktuell prototypisch umgesetzt. Die Eignung beider Systeme zur Lösung der Problemstellung konnte nachgewiesen werden, allerdings bedarf es zur Weiterentwicklung der Systeme hinsichtlich der Praxistauglichkeit noch weiterer Anstrengungen. Die größten Herausforderungen sind hier die Steigerung der Nachfrage nach solchen Instrumenten und das Finden von Partnern mit denen die Systeme weiterentwickelt werden können. Erst wenn gefordert wird, dass Immissionen in Leistungsbeschreibungen zu integrieren sind, wird die Nachfrage nach solchen Instrumenten akut. Die Grundlagen dafür sind im Rahmen des vorliegenden Projektes gelegt. Wenn zukünftig die **Nachfrage/der Markt** für solche Instrumente vorhanden ist, können die Instrumente unter Einbindung der Forschungspartner und zusammen mit Partnern aus der Praxis **hin zu konventionellen Lösungen weiterentwickelt werden**. Und es kann eine **Überführung aus dem Bereich der universitären Forschung heraus in die Praxis** erfolgen.

7 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsprojekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert. Wir bedanken uns auch herzlich bei unserem Kooperationspartner aus der Praxis, der Jean Harzheim GmbH & Co. KG, und anderen Praxispartnern für die wertvolle Unterstützung, wie dem Deutschen Abbruchverband e. V. (DA), dem Umweltbundesamt (UBA), der Gewerbeaufsicht in Freiburg, dem TÜV Hessen und der Hessischen Landesanstalt für Umwelt (HLfU).

8 Literaturverzeichnis

ABW (Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung e.V.) (2012): Vorlesung C/Kapitel 6 Abbruchverfahren. Online unter: <http://www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/Lehre/Wintersemester/>

ModulC_Abbruch_Rueckbau/WS_12_13/neu_Prof/6_Abbruchverfahren_ABW.pdf. Abgerufen am: 06.11.2013.

BG Bau (2015): Frequenzbewertung, Spitzen- und Dauerschallpegel. Online unter: <http://www.bgbau.de/praev/fachinformationen/gesundheitschutz/laerm/pegel>. Abgerufen am 17.12.2015.

BGL (2007): Baugeräteliste. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (Herausgeber). Oktober 2007.

BKK (2012): Glossar. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. Online unter: http://www.bbk.bund.de/DE/Servicefunktionen/Glossar/_function/glossar. Aufgerufen am: 17.12.2012.

BMWFI (2013). Technische Grundlage zur Beurteilung diffuser Staubemissionen, Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend.

DA (Deutscher Abbruchverband) (2015): Abbrucharbeiten - Grundlagen, Planung, Durchführung. Deutscher Abbruchverband e.V. (Hrsg). 3. aktualisierte und erweiterte Auflage 2015, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln, 2015.

DA (Deutscher Abbruchverband) (2013): Checklisten und Handlungsanleitungen. Online unter: <http://www.deutscher-abbruchverband.de/index.php?page=vorlagen-und-checklisten>. Abgerufen am: 13.12.2013.

EK-SMU (1998): Konzept Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Umsetzung. Abschlussbericht der Enquete-Kommission - Schutz des Menschen und der Umwelt, Bonn, 1998.

EK-SMU (Hrsg.); Paschen, H.; Kohler, N.; Hassler, U. (1999): Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen, Springer-Verlag, Heidelberg, 1999.

Girmsheid und Motzko (2013): Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, ISBN 978-3-642-36636-9, 2013.

Görg, H. (2001): Bauen für den Umweltschutz: Es gibt viel zu tun – nur wissen wir nicht wann! Altlasten Spektrum 3/2001, S. 152-153.

Grünthal, G. (1998): European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 99 pp., 1998.

Haltenorth, I.; Weber, L.; Leistner, P.; Mehra, S.-R. (2007): Neuartige Maßnahmen zur Minderung von Baulärm – Systeme, Methoden, Wirkungen. Forschungsbericht FZKA-BWPLUS. Universität Stuttgart, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, 28. Februar 2007.

HAZUS (2003): National Institute of Building Sciences and Federal Emergency Management Agency, 2003. Multi-hazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model, HAZUS®MH Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 2003.

Kamrath und Hechler (2011): On the sustainability of deconstruction and recycling: A closer view to end-of-lifetime measures. Bauingenieur, 86, Juni 2011, pp. 269-280.

Klauß, S.; Kirchhof, W.; Gissel, J. (2009): Katalog regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklassen und Ableitung typischer Bauteilaufbauten. ZBU, Kassel, Oktober, 2009.

- Kühlen, A.; Reinhardt, M.; Schultmann, F.; Haghsheno, S.; Mettke, A. (2015): Verbesserung des Immissionsschutzes bei Abbrucharbeiten durch Planungsunterstützung und Überwachung. Technische Sicherheit. Ausgabe 7/8/2015. Springer-VDI-Verlag GmbH Co. KG, Düsseldorf, S.36-41.
- Kühlen, A.; Stengel, J.; Volk, R.; Schultmann, F.; Reinhardt, M.; Schlick, H.; Haghsheno, S.; Asmus, S.; Mettke, A.; Harzheim, J. (2014): Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen) beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien aus Gebäudeabbruch (Phase 2). Endbericht zur 2. Phase des gleichnamigen Forschungsprojekts AZ 29014/02-23, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, 07.08.2014, 123 S.
- Kummer, M. (2013): Konzept zum Umgang mit Baustellenlärm in der Bauaufsicht Frankfurt. 18.03.2013. Online unter: http://www.bauaufsicht-frankfurt.de/fileadmin/Downloads__alle/
- Sonstige/Konzept_Baulaerm_18.03.2013.pdf. Abgerufen am: 03.12.2013.
- Leimböck, E.; Klaus, U. R.; Hölkermann, O. (2011): Baukalkulation und Projektcontrolling unter Berücksichtigung der KLR Bau und der VOB. Vieweg + Teubner Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, 2011.
- Mattenklott, M.; Höfert, N. (2009): Stäube an Arbeitsplätzen und in der Umwelt – Vergleich der Begriffsbestimmungen. In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 69 (2009), Nr.4, S. 127-129.
- Mettke, A. (2010): Material- und Produktrecycling – am Beispiel von Plattenbauten, Habilitationsschrift, Cottbus, 2010.
- Mettke, A. (Hrsg.); Heyn, S.; Asmus, S. et.al. (2008): Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, Teil 1: „Krangeführter Rückbau“, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (FKZ 0339972), BTU Cottbus, Fachgruppe Bauliches Recycling, 01/2008.

Mettke, A. (1995): Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus. Dissertation. Reihe Umweltwissenschaften Band 5. Eberhard Blottner Verlag. Taunusstein.

Mur und Muzeau (1979): Comparative Study of Various Demolition Procedures. Annales de l'Institut technique du batiment et des travaux publics, Issue 377, November 1979, S. 53-86.

Neuffer, H und Witterhold, F.-G. (2001): Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativer Energien. AGFW-Hauptstudie – Erster Bearbeitungsabschnitt Band 2: Wärmeversorgung des Gebäudebestandes und Technologieentwicklung und –bewertung. Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V., Frankfurt a.M., 2001.

Rentz, O. (1993): Selektiver Rückbau und Recycling des Hotel Post in Dobel, Landkreis Calw. Im Auftrag des Umweltbundesministeriums Baden-Württemberg, Karlsruhe, 1993.

Rentz, O.; Seemann, A.; Reass, C.; Schultmann, F. (2002): Entwicklung optimierter Rückbau- und Recyclingverfahren durch Kopplung von Gebäudedemontage und Bauschutttaufbereitung - Zwischenbericht. Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Karlsruhe, 2002.

Schiller, G. and Deilmann, C. (2010). Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung. Dessau-Roßlau. 56/2010.

Schultmann, F. (1998): Kreislaufführung von Baustoffen - Stoffflußbasiertes Projektmanagement für operative Demontage- und Recyclingplanung von Gebäuden. Dissertation. Breitschaft, G.; Dütz, W.; Scholz, R.; Sonnenberg, H.J.; Wike, D. (Hrsg). Baurecht und Bautechnik, Band 10, 1998, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Seemann, A. (2003): Entwicklung integrierter Rückbau- und Recyclingkonzepte für Gebäude - ein Ansatz zur Kopplung von Demontage, Sortierung und Aufbereitung. Dissertation. Shaker Verlag, Aachen, 2003.

Stmug (2012): Umwelt-Lexikon. Bayrischen Lebensministeriums. Online unter: <http://www.stmug.bayern.de/service/lexikon/>. Abgerufen am 17.12.2012.

Strohbusch, A. (2011): Vermeidung und Verminderung von Staubemissionen auf Baustellen - ein Leitfaden für die Praxis. Referat Industrieanlagen, Abfallströme und Lärmbekämpfung, Senatsverwaltung für die Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Berlin, 08.2011.

UBA (2011a): Themen - Luft - Regelungen und Strategien - Luftreinhaltung in der EU. Online unter: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/regelungen-strategien/luftreinhaltung-in-der-eu>. Geändert am 25.05.2011. Abgerufen am: 15.07.2014.

UBA (2011b): Daten – Umwelt und Gesundheit – Lärmwirkungen. Online unter: <http://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/laermwirkungen>. Geändert am 10.07.2013. Abgerufen am: 14.07.2014.

Weimann, K.; Matyschik, J.; Adam, C.; Schulz, T.; Linß, E.; Müller, A. (2013): Optimierung des Rückbaus/Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung. Umweltbundesamt, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungskennzahl 370933317, UBA-FB 001676, 05/2013.

Wikipedia-1 (2014): Lautstärke. Online unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Lautst%C3%A4rke>. Aufgerufen am: 14.07.2014.

Willkomm, W. (1990): Abbruch und Recycling. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1990.

9 Gesetz-, Normen- und Richtlinienverzeichnis

9.1 Gesetze, Verordnungen und Vorschriften

AVV (1970): Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen - vom 19. August 1970 (Beil. zum BAnz. Nr. 160).

BImSchG (2012): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz). Zuletzt geändert am 02.07.2013 (BGBl. I S. 1943).

16. BImSchV: Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung) vom 19. September 2006 (BGBl. I S. 2146).

32. BImSchV: Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung) vom 29. August 2002. Zuletzt geändert am 8.11.2011 (BGBl. I S. 2178).

BRTV (2014): Bundesrahmentarifvertrag für das Baugewerbe vom 4.07.2002 zuletzt angepasst am 10.12.2014.

EU-Richtlinie 2008/50/EG: Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa.

GefStoffV (2010): Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung) vom 26. November 2010 (BGBl. I S 1643) geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 28. Juli 2011 (BGBl. I S 1622), durch Artikel 2 der Verordnung vom 24. April 2013 (BGBl. I S 944), Artikel 2 der Verordnung vom 15. Juli 2013 (BGBl. I S 2514) und Artikel 2 der Verordnung vom 03. Februar 2015 (BGBl. I S 49).

KrWG (2012): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz), vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 212).

9.2 Technische Regeln

DIN 4150: Erschütterungen im Bauwesen. Deutsches Institut für Normung.
DIN 4150-1:2001-06: Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen; DIN 4150-2:1999-06: Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden; DIN 4150-3:1999-02: Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen. Berlin, Beuth-Verlag.

DIN 18005-1:2002-07: Schallschutz im Städtebau - Teil 1: Grundlagen und Hinweise für die Planung. Berlin, Beuth-Verlag, 2002.

DIN 18007:2009-03: Abbrucharbeiten - Begriffe, Verfahren, Anwendungsbereiche. Berlin, Beuth-Verlag, 2009.

ISO 9613-2:1999-10: Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO 9613-2:1996), Deutsch Fassung. Berlin, Beuth-Verlag, 1999.

TA Lärm (1998): Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm), vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503).

TA Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft), vom 24. Juli 2002.

TRGS 559 (2010): Technische Regeln für Gefahrstoffe – Mineralischer Staub (2010-02). Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), Geschäftsführung: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2010.

TRGS 900 (2006): Technische Regeln für Gefahrstoffe – Arbeitsplatzgrenzwerte (2006-01). Zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2013 S. 943-947 v. 19.9.2013 [Nr. 47]. Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), Geschäftsführung: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2006.

9.3 VDI-Richtlinien und Merkblätter

SBUV (Senator für Bau, Umwelt und Verkehr) (2005): Richtlinie für die Konkretisierung immissionsschutzrechtlicher Betreiberpflichten zur Vermeidung und Verminderung von Staub-Emissionen durch Bautätige. Bremen, 26.07.2005. Online unter:
http://www.umwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/Baustellen_Erlass.pdf.
Abgerufen am: 03.12.2013.

VDI/GvSs 6202-Blatt1:2013: Sanierung schadstoffbelasteter Gebäude und Anlagen - Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten. Verein Deutscher Ingenieure, Gesamtverband Schadstoffsanierung. Oktober, 2013.

VDI 6210 E: Entwurf VDI 6210 Blatt 1 Abbruch von baulichen Anlagen, März 2014, S.10.

VDI 3782 Blatt 1:2009-08: Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Gauß'sches Fahnenmodell zur Bestimmung von Immissionskenngrößen.

VDI 3783 Blatt 13:2010-01: Umweltmeteorologie. Qualitätssicherung in der Immissionsprognose. Anlagenbezogener Immissionsschutz. Ausbreitungsrechnung gemäß TA Luft

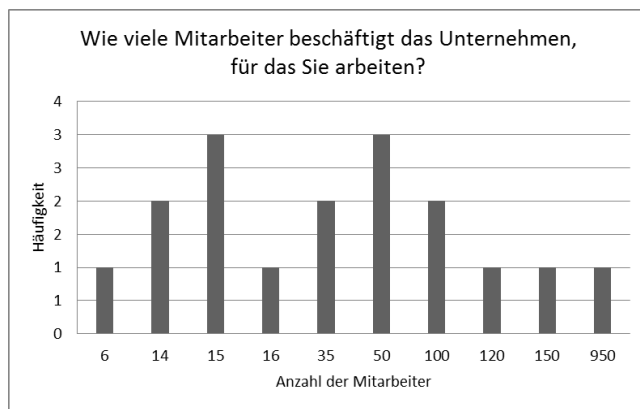
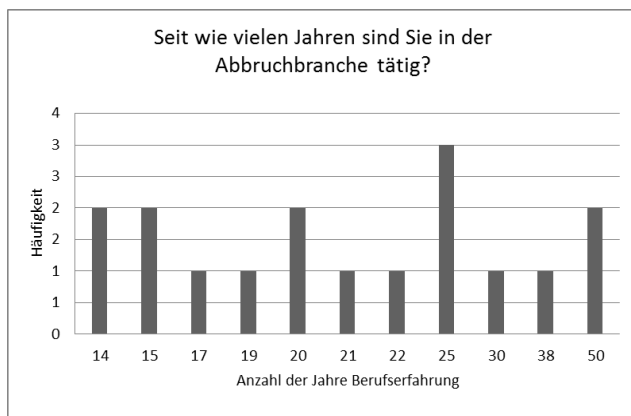
VDI 3790: Blatt 1:2005-01 Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Grundlagen. VDI-Richtlinie 3790-Blatt 3:2010-01 Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen. Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern. Blatt 3:2010-01-00 Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern.

10 Anhang

Anhang A: Ausgewählte Auswertungen der Online-Umfrage für die Experteneinschätzung

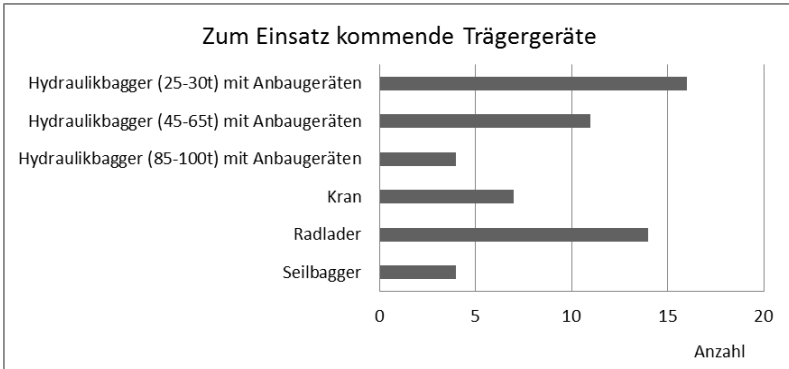
Die folgenden Ergebnisse basieren auf den 18 abgeschlossenen Umfragen.

Ergebnisse basieren auf der freiwilligen Angabe von 17 der 18 Befragten

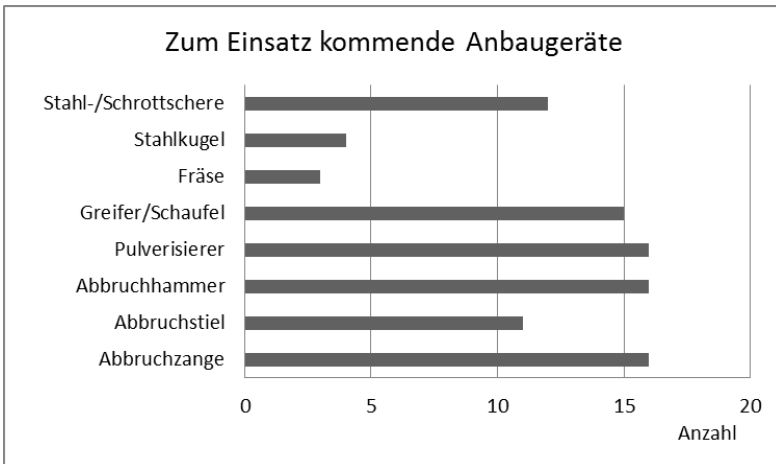


Ergebnisse basieren auf den 18 abgeschlossenen Umfragen

Mehrfachnennungen möglich:



Mehrfachnennungen möglich:



PRODUKTION UND ENERGIE

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion

Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung



ISSN 2194-2404

- Band 1** **National Integrated Assessment Modelling zur Bewertung umweltpolitischer Instrumente.**
Entwicklung des otello-Modellsystems und dessen Anwendung auf die Bundesrepublik Deutschland. 2012
ISBN 978-3-86644-853-7
- Band 2** **Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Eisen-, Stahl- und Zinkindustrie (ERESTRE).** 2013
ISBN 978-3-86644-857-5
- Band 3** Frederik Trippe
Techno-ökonomische Bewertung alternativer Verfahrenskonfigurationen zur Herstellung von Biomass-to-Liquid (BtL) Kraftstoffen und Chemikalien. 2013
ISBN 978-3-7315-0031-5
- Band 4** Dogan Keles
Uncertainties in energy markets and their consideration in energy storage evaluation. 2013
ISBN 978-3-7315-0046-9
- Band 5** Heidi Ursula Heinrichs
Analyse der langfristigen Auswirkungen von Elektromobilität auf das deutsche Energiesystem im europäischen Energieverbund. 2013
ISBN 978-3-7315-0131-2

- Band 6** Julian Stengel
**Akteursbasierte Simulation der energetischen
Modernisierung des Wohngebäudebestands
in Deutschland.** 2014
ISBN 978-3-7315-0236-4
- Band 7** Sonja Babrowski
**Bedarf und Verteilung elektrischer Tagesspeicher im
zukünftigen deutschen Energiesystem.** 2015
ISBN 978-3-7315-0306-4
- Band 8** Marius Wunder
**Integration neuer Technologien der
Bitumenkalthandhabung in die Versorgungskette.** 2015
ISBN 978-3-7315-0319-4
- Band 9** Felix Teufel
**Speicherbedarf und dessen Auswirkungen auf
die Energiewirtschaft bei Umsetzung der politischen
Ziele zur Energiewende.** 2015
ISBN 978-3-7315-0341-5
- Band 10** D. Keles, L. Renz, A. Bublitz, F. Zimmermann, M. Genoese,
W. Fichtner, H. Höfling, F. Sensfuß, J. Winkler
**Zukunftsfähige Designoptionen für den deutschen
Strommarkt: Ein Vergleich des Energy-only-Marktes
mit Kapazitätsmärkten.** 2016
ISBN 978-3-7315-0453-5
- Band 11** Patrick Breun
**Ein Ansatz zur Bewertung klimapolitischer Instrumente
am Beispiel der Metallerzeugung und -verarbeitung.** 2016
ISBN 978-3-7315-0494-8
- Band 12** P. Ringler, H. Schermeyer, M. Ruppert, M. Hayn,
V. Bertsch, D. Keles, W. Fichtner
**Decentralized Energy Systems,
Market Integration, Optimization.** 2016
ISBN 978-3-7315-0505-1

- Band 13** Marian Hayn
Modellgestützte Analyse neuer Stromtarife für Haushalte unter Berücksichtigung bedarfsorientierter Versorgungssicherheitsniveaus. 2016
ISBN 978-3-7315-0499-3
- Band 14** Frank Schätter
Decision support system for a reactive management of disaster-caused supply chain disturbances. 2016
ISBN 978-3-7315-0530-3
- Band 15** Robert Kunze
Techno-ökonomische Planung energetischer Wohngebäudemodernisierungen: Ein gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsmodell auf Basis einer vollständigen Finanzplanung. 2016
ISBN 978-3-7315-0531-0
- Band 16** A. Kühlen, J. Stengel, R. Volk, F. Schultmann, M. Reinhardt, H. Schlick, S. Haghsheno, A. Mettke, S. Asmus, S. Schmidt, J. Harzheim
ISA: Immissionsschutz beim Abbruch - Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen) beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien aus Gebäudeabbruch. 2018
ISBN 978-3-7315-0534-1



Im Rahmen des Projektes wurden drei Instrumente entwickelt, mit deren Hilfe der Immissionsschutz zukünftig in die Planung und Durchführung von Abbruch- und Rückbauvorhaben integriert werden kann. Erstens eine Datenbank mit ökonomischen, ökologischen und technischen Kennwerten für die Planung des Abbruch- und Rückbauprozesses, deren Datenbasis, neben Literatur- und Herstellerdaten, auch Erkenntnisse aus Expertenbefragungen und Immissionsmessungen unter Versuchsbedingungen umfasst. Zweitens ein auf die Datenbank zurückgreifender Prototyp eines IT-gestützten Planungsunterwerkzeuges, der an realen Rückbau- und Abbruchprojekten getestet wurde. Drittens ein prototypisches Immissionserfassungssystem zur permanenten Immissionsüberwachung, das unter Versuchs- und Praxisbedingungen getestet wurde. Zur Übertragung der Forschungsergebnisse in die Praxis und zur Sensibilisierung relevanter Akteure für das Thema des Immissionsschutzes bei Abbrucharbeiten wurden aktorspezifische Handlungsempfehlungen erstellt.

ISSN 2194-2404
ISBN 978-3-7315-0534-1

