

r3-Verbundprojekt:

Techno-Ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäude- Bestand – PRRIG

Projektlaufzeit: 01.04.2013 bis 30.06.2016

Förderkennzeichen 033R100A

SCHLUSSBERICHT



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XII
Zusammenfassung	1
1.....Forschungsfragen und Vorgehen.....	3
1.1. Problemstellung	3
1.2. Zielsetzungen der Forschung in PRRIG	4
1.3. Projektregion und Fallstudie.....	5
1.4. Überblick zum methodischen Vorgehen	6
2.....Grundlagen und Definitionen	8
2.1. Gebäude und gebäudebezogene Kenngrößen.....	8
2.2. Rohstoffe und Materialien	10
2.3. Vorgehensweise zur Ermittlung der gebäudespezifischen Kennwerte	11
3.....Typologien.....	13
3.1. Gebäudetypologie	13
3.1.1. Typologien für Wohngebäude	14
3.1.2. Anforderungen an eine Typologie für Nichtwohngebäude	14
3.1.3. Nutzungsbezogene Typologie für Nichtwohngebäude.....	15
3.1.4. Baualtersklassen als Untergliederungsmerkmal	17
3.2. Konstruktionsbezogene Kategorisierung von Gebäuden	19
3.3. Komponententypologie	20
4.....Datenmodellierung und Geodaten	23
4.1. Geodatenbank	23
4.2. Geobasisdaten (ALKIS) – Deutschland	25
4.3. ALKIS Objektartenbereich ‚AX_Gebaeude‘	25
4.4. 3D Stadtmodelle - Der Standard CityGML	26
4.5. ALKIS Flächennutzung – „AX_TatsaechlicheNutzung“	28
4.6. Daten des Regionalverbands Frankfurt Rhein/Main zur historischen Siedlungsentwicklung	29
4.7. Vorgehen der Gebäudetypzuordnung.....	31
5.....Bestandsaufnahmen von Gebäuden.....	35
5.1. Grundlagen zur Bestandsaufnahme	35
5.1.1. Allgemeine Zielsetzung und Anwendungsbereich	36
5.1.2. Begriffliche Einordnung	36
5.1.3. Empfehlungen zur Vorgehensweise	37
5.1.4. Aufbau- und Ablauforganisation einer Bestandsaufnahme.....	38
5.2. Leitfaden mit Material und Gebäudepass	47
5.2.1. Hilfsmittel.....	48

5.2.2.	Material- und Gebäudepass.....	50
5.3.	Übersicht zu Abbruchmaßnahmen.....	51
5.4.	Datenbank.....	54
6.....	Gebäudeuntersuchungen und Ableitung von Rohstoffkennwerten.....	63
6.1.	Vorgehensweisen zur Ermittlung von Rohstoffkennwerten.....	63
6.1.1.	Zugang über „synthetische Gebäude“.....	63
6.1.2.	Zugang über Rohstofffaktoren für Komponenten.....	63
6.1.3.	Zugang über empirische Rohstoffintensitäten für Nichtwohngebäude.....	65
6.2.	Empirische Untersuchungen von Nichtwohngebäuden.....	66
6.2.1.	Vorgehen zur Untersuchung.....	66
6.2.2.	Vorstellung der untersuchten Nichtwohngebäude.....	66
6.2.3.	Ermittlung von Rohstoffintensitäten für Nichtwohngebäude.....	67
7.....	Regionales Gebäudekataster als Grundlage für ein Rohstoffkataster.....	70
7.1.	Methodisches Vorgehen für die Fallstudie Frankfurt-Ost / Maintal.....	70
7.2.	Der Gebäudebestand der Fallstudienregion.....	70
7.3.	Das Materialinventar der Fallstudienregion.....	74
7.4.	Bewertung der Ergebnisse der Fallstudienregion.....	75
7.5.	Übertragung auf die Projektregion.....	76
7.6.	Verteilung der Nichtwohngebäude nach Gebäudetyp in der Projektregion.....	81
8.....	Zukünftige Materialflüsse.....	83
8.1.	Konzept des Materialflussmodells.....	83
8.2.	Prognose zukünftiger Bauabgänge von Nichtwohngebäuden.....	84
8.2.1.	Altersklassenabhängige Prognose.....	86
8.2.2.	Altersklassenunabhängige Szenarientwicklung für den Gebäudeabgang.....	91
8.3.	Entwicklung des Immobilienmarktes Rhein-Main.....	93
8.3.1.	Durchführung von Befragungen.....	94
8.3.2.	Ergebnisse der Befragungen zu Büroimmobilien.....	95
8.3.3.	Ergebnisse der Befragungen zu Lager- und Logistikimmobilien.....	96
8.3.4.	Szenarientwicklung.....	98
8.4.	Dynamische Modellierung der Materialflüsse Rhein-Main.....	103
8.4.1.	Dynamische Berechnung des Materialflussmodells nach Altersklassen.....	103
8.4.2.	Vereinfachte dynamische Berechnung ohne Altersklassen auf BRI-Ebene.....	107
9.....	Brachflächen und Gewerbestandortentwicklungen.....	115
9.1.	Wesentliche Schritte des Entwicklungsprozesses.....	117
9.1.1.	Aufgabe der bisherigen Nutzung.....	117
9.1.2.	Leerstand und Brachliegen.....	118
9.1.3.	Nachnutzungspotenzial von Leerständen und Brachflächen.....	120
9.1.4.	Entscheidung über zulässige Nachnutzungen.....	123
9.1.5.	Städtebau-/Hochbauwettbewerb.....	124
9.1.6.	Investitionsentscheidung.....	124
9.1.7.	Schaffung von Planungsrecht.....	125
9.1.8.	Bodenordnung.....	125
9.1.9.	Bauliche Realisierung der neuen Nutzung.....	126

9.2.	Wesentliche Akteure und deren Interessen	126
9.2.1.	Gemeinde	127
9.2.2.	Eigentümer der bisherigen Grundstücke.....	127
9.2.3.	Investor	128
9.2.4.	Regionalplanung	128
9.2.5.	Nachbarn und sonstige Bürger der Gemeinde.....	129
9.2.6.	Abfall- und Recyclingindustrie.....	129
9.2.7.	Politik- und Medieneinflüsse	129
9.3.	Interventionsmöglichkeiten zur Nutzung von Rohstoffpotenzialen.....	130
9.4.	Informationen zum Rohstoffinventar	131
9.5.	Strategische Ansätze zur Nutzung des Rohstoffinventars	133
10.	..Handlungsstrategien für historisch gewachsene Industriearale (bearbeitet und erstellt von Adam Opel AG)	134
10.1.	Allgemeine Methodik der Bewertung	135
10.2.	Gewichtung der Zielkriterien	136
10.3.	Bewertungssystem.....	137
10.4.	Bewertungskriterien	137
10.5.	Bewertungshierarchie und Gewichtung	139
10.6.	Bewertungshilfen.....	140
10.7.	Bestimmung / Auswahl der Nutzungsalternativen und ihrer Zielkriterien.....	141
10.8.	Zustand der Bausubstanz und der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA)	143
10.9.	Industriegebäudespezifische Einflusskriterien	143
10.10.	Ergebnisdarstellung	145
10.11.	Interpretation des Ergebnisses	146
10.11.1.	Gebäudezustand.....	147
10.11.2.	Nutzungsalternativen	147
11.	..Dienstleistungskonzepte für Rohstoffrückgewinnung, rohstoffbezogene Demontagetiefe (bearbeitet und erstellt von Re2area GmbH)	149
11.1.	Analyse metallischer Baustoffe hinsichtlich Ihrer Relevanz	150
11.2.	Rohstoffbezogene Demontagetiefe.....	152
11.2.1.	Untersuchungsobjekt ehemalige Zuckerfabrik	152
11.2.2.	Untersuchungsobjekt Schulgebäude	153
11.3.	Objekt(Immobilien-)bezogene Planungshilfen	154
11.3.1.	Planungsinstrument: Ausgabe durchschnittlicher Rohstoffmassen und Materialwerte....	155
11.3.2.	Planungsinstrument: Gebäudesteckbrief	156
11.4.	Planungshilfen für Akteure des Gewerbe-Immobilien-sektors	157
11.4.1.	Planungsinstrument: Abschätzung der Rohstoffmassen und Materialwerte eines Gebäudes	158
11.4.2.	Planungsinstrument: Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Rückbaumaßnahme	159
12.	..Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen	163
	Quellenverzeichnis.....	I
	Anhang.....	A-1
A.1.	PRRIG-Gebäudetypen, ihre Nutzung und Codierung	A-1

A.2.	Schematische Darstellung des Informationsprozesses der Bestandsaufnahme	A-4
A.3.	Empfehlungen zur Ablauforganisation einer Bestandsaufnahme	A-5
A.4.	Abbruchverfahren, Abbruchmaschinen und -geräte	A-6
A.5.	Übersicht potentieller Gebäudedokumentations- und Planunterlagen.....	A-7
A.6.	Allgemeiner Objektkatalog zur Erfassung von Bauteilen mit standardisierten Bezeichnungen	A-8
A.7.	Beispielhafte sekundäre Erfassung eines Bauteils und Übertragung in den Aufnahmekatalog	A-9
A.8.	Komponentendetails	A-10
A.8.1	Komponentendetails Gründung	A-10
A.8.2	Komponentendetails Wände	A-14
A.8.3	Komponentendetails Decken	A-19
A.8.4	Komponentendetails Dach	A-20
A.8.5	Komponentendetails Fenster	A-22
A.8.6	Komponentendetails Leuchten.....	A-23
A.8.7	Komponentendetails Wärmeversorgung.....	A-23
A.8.8	Komponentendetails Elektroverteilung.....	A-28
A.8.9	Komponentendetails Mess-, Steuer- und Regelungstechnik für Lufttechnik.....	A-30
A.8.10	Komponentendetails Stationäre Brandbekämpfungs- und Feuerlöschanlagen	A-32
A.8.11	Komponentendetails Aufzugsanlagen.....	A-34
A.8.12	Komponentendetails Fahrtreppen.....	A-35
A.8.13	Komponentendetails Förderanlagen für Stück- und Schüttgüter	A-35
A.9.	Prognostizierter Bauabgang für Büro- und Verwaltungsgebäude sowie Lagergebäude in m ³ BRI	A-38
A.10.	Prognostizierter Bauabgang für Büro- und Verwaltungsgebäude sowie Lagergebäude in m ³ BRI (Modellkonform)	A-39
A.11.	Prognostizierte Bürogebäudefertigstellung [m ³ BRI]	A-40
A.12.	Prognostizierte Lagergebäudefertigstellung [m ³ BRI]	A-41
A.13.	Szenarienberechnung BRI-Entwicklung von Büro- und Verwaltungsgebäuden der Projekt- region	A-42
A.14.	Szenarienberechnung BRI-Entwicklung von Lagergebäuden der Projektregion	A-47
A.15.	Szenario BRI-Entwicklung von Fabrikgebäuden der Projektregion	A-52
A.16.	Szenario BRI-Entwicklung aller Nichtwohngebäude der Projektregion.....	A-53
A.17.	Szenario BRI-Entwicklung der Gesamtheit aller Nichtwohngebäude der Projektregion	A-54
A.18.	ALKIS –Verwendete Objektarten im Deutschland Vergleich	A-55
A.19.	Mapping der Nutzungsarten aus ALKIS	A-56
A.20.	Datenauswertung ALKIS Gesamt Projektregion	A-62
A.21.	Bewertungsergebnis des Gebäudezustandes	A-66
A.22.	Beispielhafter Gebäudepass	A-67
A.23.	Gebäudeaufnahmebogen und Bewertungshilfen für das Praxisbeispiel.....	A-70
A.24.	Referenzwerte für die Nutzungsalternativen Lager / Produktion.....	A-91
A.25.	Bewertungssystem / Bewertungsmatrix	A-93

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektregion und Fallstudie des Projektes PRRIG	5
Abbildung 2: Überblick zum methodischen Vorgehen im Projekt PRRIG	6
Abbildung 3: Gliederungsebenen eines Gebäudes	9
Abbildung 4: Darstellung der theoretischen Herangehensweisen zur Ermittlung von Rohstoffkennwerten eines Gebäudes	12
Abbildung 5: Übersicht Gebäudetypologie PRRIG (eigene Darstellung), in Anlehnung an (BMVBS 2013).....	16
Abbildung 6: Hierarchie Gebäudeaufbau aus Komponenten, Bauteilen und Bauteiltypen.....	21
Abbildung 7: Theoretisches Zieldatenmodell zur Erfassung von NWG im Projekt PRRIG.....	24
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Hauptanforderungen an die Geodatenanalyse / Bereitstellung	25
Abbildung 9: Beispielhafte ALKIS Modellierung „AX_IndustrieUndGewerbe“ und die abstrakte Klasse „AX_TatsaechlicheNutzung“ (UML Modell aus GeoInfoDok 6.0.1 AdV 2008).....	28
Abbildung 10: Beispielhafte Darstellung der RegioMap (Regionalverband FrankfurtRheinMain 2013) Hintergrund: OpenStreetMap (Auszug).....	29
Abbildung 11: Schematisches Ablaufdiagramm Integration ALKIS ‚AX_TatsaechlicheNutzung‘ ...	31
Abbildung 12: Mapping der ALKIS Nutzungen / Funktionen (FME).....	34
Abbildung 13: „AttributeValueMapper“ in FME (Auszug – Zuweisung ALKIS Funktion 3000 zu PRRIG 100)	34
Abbildung 14: Kategorisierung der Bestandsaufnahme.....	36
Abbildung 15: Geometrische Dekomposition.....	43
Abbildung 16: Informationsquellen und deren Analyse.....	45
Abbildung 17: Beispielhafte Aufnahme eines Bauteils aus Verbundbaustoff.	46
Abbildung 18: Aufbau des Leitfadens und Ablauf der Bestandsaufnahme	47
Abbildung 19: Objektbezogener Dekompositionsprozess	48
Abbildung 20: Aufbaustruktur des Gebäude- und Materialpasses.....	51
Abbildung 21: Kombinationsmöglichkeiten der Abbrucharten	52
Abbildung 22: Exemplarische Organisation bei Abbruch.....	52
Abbildung 23: Maske mit Übersicht der in der Datenbank aufgenommenen Gebäude	55
Abbildung 24: Maske zur Aufnahme von Komponenten eines Gebäudes in die Datenbank.....	57
Abbildung 25: Alternative Eingabemöglichkeit von Rohstoffmassen anstelle von Komponenten... ..	58
Abbildung 26: Maske zur Aufnahme bzw. Veränderung von Rohstofffaktoren unabhängig von einer Komponentenaufnahme	60
Abbildung 27: Tab zur Eingabe bzw. Aktualisierung von Rohstoffpreisen.....	61
Abbildung 28: Tab zur Eingabe und Modifikation von Abbruchmethoden und deren Kosten	62
Abbildung 29: Durchschnittliche Rohstoffintensitäten der einzelnen Konstruktionsstile	69
Abbildung 30: Darstellung der PRRIG Fallstudienregion Frankfurt-Ost / Maintal	70
Abbildung 31: Auswertung BRI (m ³) je Gebäude (Hauptkategorien inkl. Wohngebäuden) und Baualtersklassen - Fallstudie Frankfurt-Ost / Maintal	71
Abbildung 32: Auswertung BRI (Mio. m ³) je Gebäude (Hauptkategorien exkl. Wohngebäuden) und Baualtersklassen - Fallstudie Frankfurt Ost – Maintal	72
Abbildung 33: Anzahl der Gebäude (Hauptkategorien exkl. Wohngebäuden) und Baualtersklassen - Fallstudie Frankfurt Ost – Maintal.....	72

Abbildung 34: Darstellung aller Gebäude in Hessen	77
Abbildung 35: Verteilung des BRI (Mio. m ³) nach NWG, Wohngebäude und „Unklar“ in der Projektregion.....	79
Abbildung 36: BRI-Verteilung nach NWG, Wohngebäude und „Unklar“ in Hessen	80
Abbildung 37: Verteilung nach Gebäudetyp der Neubauten in der Projektregion	81
Abbildung 38: Verteilung nach Gebäudetyp des Bauabgangs in der Projektregion	82
Abbildung 39: Struktur des Materialflussmodells	83
Abbildung 40: Ermittlung des Rohstoffoutputs aus dem BRI-Output.....	84
Abbildung 41: Einflussfaktoren auf die Lebensdauer einer baulichen Anlage	85
Abbildung 42: Unmaßstäbliche Darstellung der methodischen Überlegung zu den linearen Funktionen der einzelnen Baualtersklassen	87
Abbildung 43: Verlauf der tatsächlichen und errechneten Bruttorauminhalte, beispielhaft an Büro- und Verwaltungsgebäuden der Baualtersklasse 1949 bis 1962.....	89
Abbildung 44: Verhältnisse der theoretischen Verteilungskurven zwischen Deutschland, Hessen und der Projektregion	89
Abbildung 45: Prognose der errechneten Bruttorauminhalte bis 2030, beispielhaft an Büro- und Verwaltungsgebäuden der Baualtersklasse 1949 bis 1962.....	90
Abbildung 46: Büro- und Verwaltungsgebäude: Altersklassenunabhängige Betrachtung des Bauabgangs.....	92
Abbildung 47: Lagergebäude: Altersklassenunabhängige Betrachtung des Bauabgangs	92
Abbildung 48: BRI-Outputs $O^{(BRI)}_{Ai}$ der einzelnen Altersklassen sowie Aufsummierung zum Gesamtoutput $O^{(BRI)}_i$ für Büro- und Verwaltungsgebäude der Projektregion in einem Trend-Szenario.....	104
Abbildung 49: Beispielhafte Darstellung der Entwicklung des BRI-Lagers $M^{(BRI)}$ unter Einfluss von BRI-Input $I^{(BRI)}$ und BRI-Output $O^{(BRI)}$ für Büro- und Verwaltungsgebäude der Projektregion in einem Trend-Szenario	105
Abbildung 50: Rohstoffoutputs von FE-Metallen, Beton und Mauerwerk für Büro- und Verwaltungsgebäude der Projektregion in einem Trend-Szenario	106
Abbildung 51: Rohstoffoutputs von Glas und Holz für Büro- und Verwaltungsgebäude der Projektregion in einem Trend-Szenario	107
Abbildung 52: Rohstoffoutputs von Aluminium und Kupfer für Büro- und Verwaltungsgebäude der Projektregion in einem Trend-Szenario	107
Abbildung 53: Entwicklung des BRI-Lagers von Büro- und Verwaltungsgebäuden der Projektregion bis 2030 in den neun Szenariokombinationen.....	109
Abbildung 54: Entwicklung des BRI-Lagers von Lagergebäuden der Projektregion bis 2030 in den neun Szenariokombinationen	112
Abbildung 55: Szenario der BRI-Entwicklung von Fabrikgebäuden der Projektregion bis 2030... ..	113
Abbildung 56: Szenario der BRI-Entwicklung aller sonstigen NWG der Projektregion bis 2030 ..	113
Abbildung 57: Trendszenario der BRI-Entwicklung aller NWG in der Projektregion bis 2030	114
Abbildung 58: Ehemaliges Möbel Erbe Gebäude in Hanau Steinheim vor und nach dem Abbruch, sowie die neue Planung eines Einkaufszentrums auf diesem Gelände	115
Abbildung 59: Leerstand der ehemaligen MAN-Roland Montagehalle in Offenbach vor der Umnutzung	116
Abbildung 60: Marktfähigkeit betrieblicher Immobilien.....	121
Abbildung 61: ABCD-Modell zur Typisierung von Brachflächen mit Aktivierungsstrategien.....	122
Abbildung 62: Interventionsmöglichkeiten zur Nutzung von Rohstoffpotenzialen.....	131
Abbildung 63: Bewertungsmatrix am Beispiel Baulicher Zustand.....	139

Abbildung 64: Struktur der Bewertungshierarchie	140
Abbildung 65: Vorgehensweise der Bewertung	140
Abbildung 66: Beispiel für eine Bewertungshilfe	141
Abbildung 67: Bewertungsmatrix mit allen Bewertungsbereichen	142
Abbildung 68: Paarvergleich Lagergebäude	144
Abbildung 69: Paarvergleich Produktionsgebäude	144
Abbildung 70: Übersicht der Bewertung des baulichen Zustandes des Gebäudes M60	146
Abbildung 71: Übersicht der Bewertung der TGA des Gebäudes M60.....	146
Abbildung 72: Bewertungsergebnis der Nutzungsalternativen für Gebäude M60.	148
Abbildung 73: Luftbild der ehemaligen Zuckerfabrik.....	152
Abbildung 74: Startseite des PRRIG Rückbautools	155
Abbildung 75: Planungsinstrument: Ausgabe durchschnittlicher Rohstoffmassen und Materialwerte	156
Abbildung 76: Planungsinstrument: Gebäudesteckbrief	157
Abbildung 77: Planungsinstrument: Abschätzung der Rohstoffmassen und Materialwerte eines Gebäudes	158
Abbildung 78: Eingabemaske zur Erfassung neuer Gebäudekomponenten	160
Abbildung 79: Komponenten des untersuchten Schulgebäudes	160
Abbildung 80: Ausgabe des Planungsinstruments: Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Rückbaumaßnahme.	161
Abbildung 81: Gründungsarten und ihre Subtypen	A-10
Abbildung 82: Überblick über Gründungsarten und -materialien seit 1820	A-11
Abbildung 83: Quadratisches Einzelfundament Vorbemessung.....	A-13
Abbildung 84: Streifenfundament Vorbemessung	A-13
Abbildung 85: Plattenfundament Vorbemessung.....	A-13
Abbildung 86: Wannengründung	A-14
Abbildung 87 (links): Flacheisenwerk Prüß-Wand	A-17
Abbildung 88 (rechts): Prüß-Wand mit Vollziegeln vermauert	A-17
Abbildung 89: Relevante Kostengruppen gem. DIN 276	A-29
Abbildung 90: Leiterquerschnitte und zugehörige Materialzahlen für Cu und Al	A-30
Abbildung 91: Schematischer Aufbau einer Sprinkleranlage.....	A-33
Abbildung 92: Aufbau eines Sprinklerkopfes.	A-33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: In PRRIG betrachtete Metalle	10
Tabelle 2: In PRRIG betrachtete Nichtmetalle	10
Tabelle 3: Vergleich Rohstofffaktor und Rohstoffintensität	12
Tabelle 4: Definition von Baualtersklassen nach	18
Tabelle 5: Definition von Baualtersklassen in PRRIG	18
Tabelle 6: Durchschnittliche spezifische Materialkennwerte für Bürogebäude	20
Tabelle 7: Attributbasierte Darstellung (Idealtypisch)	24
Tabelle 8: Die Level of Detail des 3D CityGML Standards	27
Tabelle 9: Auszug der Mappingtabelle der Gebäudefunktion in ALKIS und PRRIG	32
Tabelle 10: Auszug aus der Zuordnung von ALKIS „AX_TatsaechlicheNutzung“ zur PRRIG- Typologie	33
Tabelle 11: Empfohlene Hilfsmittel für die originäre Erfassung	41
Tabelle 12: Übersicht der Eingabefelder des Objektaufnahmekatalogs	49
Tabelle 13: Erläuterungen der Eingabefelder des Aufnahmekatalogs	49
Tabelle 14: Erläuterungen der beschreibenden Felder des Objektkatalogs	50
Tabelle 15: Eignung und Auswirkung von Abbruchverfahren	54
Tabelle 16: In die Gebäudedatenbank einzugebende Gebäudebasisdaten	56
Tabelle 17: In die Gebäudedatenbank einzugebende Attribute für die Komponentenaufnahme ...	57
Tabelle 18: In die Gebäudedatenbank einzugebende Attribute für die Mengenaufnahme	59
Tabelle 19: In die Gebäudedatenbank einzugebende Attribute für Rohstofffaktoren	60
Tabelle 20: In die Gebäudedatenbank einzugebende Attribute für Rohstoffpreise	61
Tabelle 21: In die Gebäudedatenbank einzugebende Attribute für Rohstoffpreise	62
Tabelle 22: Liste der aufgenommenen Gebäude und ihrer Charakteristika	67
Tabelle 23: Rohstoffintensitäten in kg / m ³ _{BRI} der untersuchten Gebäude	68
Tabelle 24: Analyse der Gebäudegrößen bei ausgewählten und am häufigsten vorkommenden NWG – Fallstudie Frankfurt-Ost / Maintal	73
Tabelle 25: Prozentualer Anteil der PRRIG Gebäudegruppen – Fallstudie Frankfurt-Ost / Maintal	73
Tabelle 26: Materialbestand in Büro- und Verwaltungsgebäuden der Fallstudienregion Frankfurt- Ost / Maintal nach Baualter und Material	74
Tabelle 27: Gebäudenutzungen in ALKIS Datensatz Hessen	78
Tabelle 28: BRI-Bestandswerte der Projektregion in m ³	79
Tabelle 29: Vorgehen zur Berechnung des Brutto-Rauminhalts, beispielhaft an Büro- und Verwaltungsgebäuden der Baualtersklasse 1949 bis 1962	88
Tabelle 30: Bauabgang von Fabrik- und Werkstattgebäuden sowie sonstigen Nichtwohngebäuden in der Projektregion	93
Tabelle 31: Systemelemente der Szenarioentwicklung	98
Tabelle 32: Szenarioeigenschaften Büroimmobilienmarkt Rhein-Main	99
Tabelle 33: Szenarioeigenschaften Logistikimmobilienmarkt Rhein-Main	100
Tabelle 34: Veränderung des Neubauvolumens	100
Tabelle 35: Baufertigstellungen 2013	102
Tabelle 36: Szenarienkombinationen der BRI-Entwicklung von Büro- und Verwaltungsgebäuden der Projektregion bis 2030	108

Tabelle 37: Szenarienkombinationen der BRI-Entwicklung von Lagergebäuden der Projektregion bis 2030	110
Tabelle 38: Bewertungselement des Bewertungsbereiches Gebäudezustand.....	138
Tabelle 39: Beispiel: Bewertungsbereich Rechtliche Rahmenbedingungen.....	142
Tabelle 40: Gewichtungen zur Bewertung des Gebäudezustandes	143
Tabelle 41: Übersicht der Gewichtungen der Nutzungsalternativen Lager-/Produktionsgebäude	145
Tabelle 42: Bewertungsskala des baulichen Zustandes.....	147
Tabelle 43: Bewertungsskala der Nutzungsalternativen.....	147
Tabelle 44: Schrottpreise für verschiedene Metalle	151
Tabelle 45: Schrottwert des Stahl-Innenausbau der ehemaligen Zuckerfabrik.....	153
Tabelle 46: Ertrag Materialwert abzüglich Separations- bzw. Demontagekosten.....	154
Tabelle 47: Streifenfundament nach Opderbecke	A-11
Tabelle 48: Rohstoffzusammensetzung Ziegelsteinmauer aus Vollsteinen im Normalformat.	A-15
Tabelle 49: Verblendete Ziegelsteinmauer in unterschiedlicher Stärke mit Verblendlöchersteinen; Mauerverblendung mit Naturstein: zusätzliche Rohstoffe zur Mauer	A-16
Tabelle 50: Wände aus Betonformsteinen.....	A-18
Tabelle 51: Stahlbetonwände	A-19
Tabelle 52: Steinstärken und Plattengrößen der Bremerschen- Hohlsteindecke	A-19
Tabelle 53: Verschiedene Deckenarten und in ihnen eingesetzte Rohstoffe	A-20
Tabelle 54: Vergleich der spezifischen Stahlmassen für ein Hallendach mit 60m Länge.....	A-20
Tabelle 55: Spezifische Flächengewichte Einfeld-Fachwerkträger für unterschiedliche Schneelasten und Spannweiten	A-21
Tabelle 56: Metalldeckung - Materialien, Profildicken und Gewicht.....	A-21
Tabelle 57: Aufbau Flachdach aus Stahlträgern mit Trapezblechdach	A-21
Tabelle 58: Aufbau Dach mit Folie und Spannbeton	A-21
Tabelle 59: Materialmassen bei Fenster.....	A-22
Tabelle 60: Klassifikation der Leuchtenart nach Leuchtmitteln.....	A-23
Tabelle 61: Vergleich verschiedener Heizkörper mit einer Heizlast von 2,37 kW.....	A-24
Tabelle 62: Durchschnittliche Längengewichte verschiedener Rohre in Abhängigkeit von Durchmesser und Material	A-24
Tabelle 63: Materialeinsatz der Solarkollektoren	A-25
Tabelle 64: Durchschnittliche Heizkesselmasse in Abhängigkeit von Kesselart und Material.....	A-25
Tabelle 65: Durchschnittliches Heizkesselgewicht je kW für Stahlkessel unterschiedlicher Leistung	A-25
Tabelle 66: Massen von Thermostatventilen verschiedener Nennweiten und ihre Materialien mit Maßen.....	A-26
Tabelle 67: Massen von Sicherheitsventilen für Kesselanlagen.....	A-26
Tabelle 68: Schmutzfänger	A-27
Tabelle 69: Pumpen für Warmwasserheizungen	A-27
Tabelle 70: Maße und Gewichte von Kompressoren	A-28
Tabelle 71: Industrieventilatoren.....	A-30
Tabelle 72: Geradsitzventile	A-31
Tabelle 73: Drosselklappen mit rundem Querschnitt.....	A-31
Tabelle 74: Rückschlagklappen	A-32



Tabelle 75: Aufzugsarten	A-34
Tabelle 76: Ermittelte Bauteilgewichte von Aufzügen	A-34
Tabelle 77: Ermittelte Bauteilgewichte von Fahrtreppen	A-35
Tabelle 78: Elemente eines Kreisförderers und ihre Gewichte	A-36
Tabelle 79: Spezifische Gewichte von Bauteilen eines Bandförderers	A-36
Tabelle 80: Berechnungsbeispiele Stahlseilgurt u.a. für Bandförderer	A-36
Tabelle 81: Bauteile einer 10m langen Rollenbahn	A-36
Tabelle 82: Min. und max. Gewichte einzelner Bauteile von Brückenkränen	A-37
Tabelle 83: Hängebahnschienen-Profile und ihre Stahlmassen	A-37

Abkürzungsverzeichnis

AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
ALB	Automatisierte Liegenschaftsbuch
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ALKIS	Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem
ALS	Airborne Laser Scanning
BGF	Brutto-Grundfläche
BRI	Brutto-Rauminhalt
CityGML	City Geography Markup Language
EnEV	Energieeinsparverordnung
FME	Feature Manipulation Engine (Safe Software)
FNP	Flächennutzungsplan
GDI	Geodateninfrastruktur
GIS	Geoinformationssystem
GML	Geography Markup Language
HLBG	Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
LoD	Level of Detail
NAS	Normbasierte Datenschnittstelle (ALKIS)
NF	Nutzfläche
NGDB	Nationale Geodatenbasis
NGF	Netto-Grundfläche
NUTS	Nomenclature of Territorial Units for Statistics
NWG	Nichtwohngebäude
OGC	Open Geospatial Consortium
OK	Objektartenkatalog
PRRIG	Techno-Ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäude-Bestand
RLT	Raumluftechnik / raumluftechnisch
SQL	Structured Query Language
UML	Unified Modeling Language
UTM	Universale Transversale Mercator-Projektion
XML	Extensible Markup Language

Zusammenfassung

Die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen aus dem „anthropogenen Lager“ – d.h. aus dem Bestand an langlebigen Gütern in der Gesellschaft – ist eine wesentliche Handlungsstrategie zur Sicherung der Rohstoffbasis und zur Erreichung der Zielsetzungen einer nachhaltigen Entwicklung. Das größte Inventar an Materialien findet sich im Bestand von Gebäuden und Infrastrukturen. Vor diesem Hintergrund verfolgte das Verbundprojekt „Techno-Ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäude-Bestand“ – im Folgenden mit dem Akronym „PRRIG“ benannt – die Zielsetzung, auf empirischer Basis Informationsgrundlagen über Rohstoffinventare und die Rückflüsse von Sekundärrohstoffen aus dem Baubereich bereitzustellen. Hierfür sollten geeignete Methoden entwickelt sowie an Hand eines realen Beispiels Materialinventare und -flüsse ermittelt werden. Aus den Erkenntnissen sollten bedarfsgerechte Planungshilfen und -instrumente für Akteure des Immobilienbereichs abgeleitet werden, mit denen eine quantitativ und qualitativ weitergehende Rohstoffnutzung aus dem Baubereich gefördert wird.

Das Projekt PRRIG konzentrierte sich auf den Bestand der Nichtwohngebäude (NWG), die bislang wenig untersucht wurden, sowie auf die spezifische Betrachtung der regionalen Ebene, die als eine besonders geeignete Skala für das Management und die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen aus dem Baubestand betrachtet werden kann. Die Untersuchungen wurden in und für die Region Rhein-Main durchgeführt und umfassten Fallstudien mit Gebäudeeigentümern und Kooperationen mit regionalen Akteuren. Eine Mitwirkung von Industriepartnern erfolgte sowohl als Projektpartner (Re2area GmbH, Adam Opel AG) als auch als assoziierte Partner, die für das Verbundprojekt PRRIG Informationen zur Verfügung stellten, als Ansprechpartner für Interviews zur Verfügung standen und Untersuchungen an ihrem Gebäudebestand ermöglichten.

Die Projektergebnisse umfassen Instrumente und methodische Vorgehensweisen, Erkenntnisse zu den gegenwärtigen Rohstoffinventaren, zur zukünftigen Entwicklung des NWG Immobiliensektors und den daraus resultierenden zukünftigen Materialflüssen sowie die Umsetzung der Ergebnisse in praktischen Handlungshilfen. Es wurden eine Typologie für Nichtwohngebäude und ein Leitfaden zur Bestandsaufnahme erarbeitet. Eine flächendeckende Geodatenerfassung („Kataster“) wurde über einen kombinierten Ansatz ermöglicht, bei dem das flächendeckende Geobasisdaten-Modell ALKIS mit weiteren Geodaten ergänzt wurde, um vorhandenen Datenlücken zu schließen. Die Ermittlung von Rohstoffinventaren basierte auf der Definition von Kennwerten für Rohstoffgehalte für NWG, die mit den Informationen zum Gebäudebestand zusammengeführt werden können; als geeignete Referenzgröße wurde der Bruttorauminhalt (BRI) verwendet.

Die Rohstoffgehalte wurden im Projekt durch empirische Untersuchungen von 19 realen NWG ermittelt, die typische Gebäudetypen und Altersklassen umfassten. Die gefundenen spezifischen Materialgehalte je m³ BRI („Rohstoffintensitäten“) stimmten hinsichtlich der Größenordnung mit Ergebnissen anderer Studien überein, zeigten aber auch große individuelle Unterschiede zwischen Gebäuden. Zur Untersuchung von Rohstoffinventaren wurde die entwickelte Vorgehensweise auf Basis von ALKIS an Hand einer der Fallstudie aus der Rhein-Main-Region erprobt: Für das Gebiet Frankfurt-Ost / Maintal wurde eine flächendeckende Erfassung und Analyse des NWG-Bestands

und der entsprechenden Rohstoffinventare realisiert. Dieses Vorgehen konnte in der Gesamtfläche der Rhein-Main-Region nicht in dieser Detailtiefe analog umgesetzt werden. Hier wurde ein alternatives Vorgehen zur Ermittlung des Gebäudebestandes für die gesamte Projektregion Rhein-Main auf Grundlage von Daten und Typisierung der amtlichen Statistik entwickelt. Hiermit wurde der NWG-Bestand für die Projektregion abgeschätzt, der die Grundlage für die Materialflussanalyse (MFA) zur Ermittlung zukünftiger Stoffströme darstellte. Die MFA erfolgte auf Basis von Szenarien zum Zubau und zum Bauabgang (Abbruch): Der jährliche Zubau wurde auf der Basis von Experteninterviews zur Bestandsentwicklung von Gewerbegebäuden prognostiziert; der Bauabgang mittels Extrapolation von Zeitreihen zu Abbruchvorgängen der Vergangenheit. Die Ergebnisse der dynamischen MFA zeigen die Entwicklung von Input (Zubau), Output (Abbruch) und Lager (Bestand) des Bauvolumens [m^3_{BRI}] im Rhein-Main-Gebiet in Abhängigkeit von Szenarien für verschiedene Gebäudetypen bis zum Jahr 2030. In allen untersuchten Fällen lag der Input bis 2030 über dem Output aus dem Abbruch, jedoch zeigen die Entwicklung von Input zu Output und damit das Verhalten des Lagers (Zunahme oder Abnahme) deutliche Unterschiede zwischen Gebäudetypen und Szenarien. Aus den Ergebnissen zum Bauvolumen können über Verknüpfung zu Rohstoffintensitäten Materialströme errechnet werden; dies wurde im Projekt nicht umgesetzt, da aus den Gebäudeuntersuchungen nicht für alle Gebäudetypen und -altersklassen verlässliche Werte zu den Rohstoffintensitäten zur Verfügung standen. Auch die Analyse des Bauabgangs in m^3_{BRI} bietet den regionalen Planungsinstitutionen interessante Informationen, in welchem Umfang Flächen potenziell frei werden könnten und dementsprechend möglicherweise neu überplant werden können. Dieser Aspekt wurde in einem weiteren Arbeitsschritt zu Brachflächen und den Rahmenbedingungen der Gewerbebestandsentwicklung näher beleuchtet.

Die Entwicklung von Planungshilfen und -instrumenten für Akteure des Immobilienbereiches erfolgte durch die beiden Industriepartner des Projekts. Die Adam Opel AG entwickelte am Beispiel des Opel-Standorts in Rüsselsheim eine Bewertungshilfe zur Entwicklung von Handlungsstrategien für historisch gewachsene Industrieareale. Die Re2area GmbH ergänzte die empirischen Gebäudeuntersuchungen durch vertiefte Analysen an Hand eigener Planungsprojekte. Als Ergebnis wurde ein Planungsinstrument zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Rückbaumaßnahme bei weitergehender Erfassung von Rohstoffen entwickelt.

Das Projekts PRRIG stellt insgesamt sowohl Erkenntnisse zum NWG-Bestand des Rhein-Main-Gebietes als auch neue übertragbare methodische Vorgehensweisen und Kenngrößen zur Beschreibung der Rohstoffgehalte von NWG bereit. Die Ergebnisse wurden unmittelbar in praktische Anwendungen umgesetzt, unter anderem in ein Dienstleistungskonzept zur Erstellung von Rohstoffkatastern für Immobilienbesitzer. Im wissenschaftlichen Bereich flossen die Ergebnisse des Projekts PRRIG in nationale und internationale Publikationen ein sowie in den Austausch mit internationalen Forschergruppen auf dem Gebiet des Urban Mining.

1. Forschungsfragen und Vorgehen

1.1. Problemstellung

Ein wesentlicher Anteil der in der Wirtschaft nachgefragten Rohstoffe fließt in den Bausektor. Mengenrelevant sind insbesondere mineralische Baustoffe, deren jährlicher Verbrauch in Deutschland im Jahr 2000 auf 150 Mio. t/a geschätzt wurde (UBA 2010). Aber auch erhebliche Anteile von Materialien wie Stahl und andere Metalle, Kunststoffe und Holz fließen in den Bausektor. Eine umfassende Untersuchung des deutschen sogenannten „anthropogenen Lagers“, d.h. des Bestands an langlebigen Gütern in der Gesellschaft, ergab Materialinventare im Hochbau in Deutschland in Höhe von 11.390 Mio. t, davon 9.898 Mio. t mineralische Materialien und 883 Mio. t Metalle (Ortlepp 2015).

Sowohl die Ressourcenstrategie der Bundesregierung (BMW 2010) als auch die Abfallhierarchie der Kreislaufwirtschaft messen der Rückgewinnung und hochwertigen Verwertung von Sekundärrohstoffen eine zentrale Bedeutung zu, um wesentliche Zielsetzungen der Nachhaltigkeit wie die Verringerung des Verbrauchs an Rohstoffen und Primärenergie zu erreichen. Auf Grund der großen „gespeicherten“ Mengen an Materialien kommt dem Bausektor hier eine wesentliche Rolle zu. Aber auch aus Sicht der Immobilienbesitzer besteht das Interesse, beim Abbruch eines Gebäudes einen möglichst hohen ökonomischen Mehrwert aus der Verwertung der im Gebäude enthaltenen Rohstoffe zu ziehen.

Obwohl die deutsche Abfallstatistik hohe Verwertungsquoten gerade für Abfälle aus dem Baubereich aufweist (UBA 2016), ist die Kreislaufwirtschaft von einer Schließung von Materialkreisläufen in vielen Bereichen noch weit entfernt. So werden die aus mineralischen Abfällen hergestellten Recycling-Baustoffe derzeit überwiegend im Straßen- und Erdbau (z.B. für Verfüllung oder Lärmschutz) eingesetzt, nur ein kleiner Anteil gelangt zurück in den Hochbau (Kreislaufwirtschaft Bau 2015). Von den im Hochbau vorhandenen Metallen wird nur Baustahl so gut wie vollständig in die Metallindustrie zurückgeführt. Für andere Metalle, z.B. Kupfer, ist nicht bekannt, zu welchem Anteil sie beim Abbruch von Gebäuden erfasst werden. Ähnliches gilt für andere Materialien wie Glas und Kunststoffe, bei denen darüber hinaus geeignete Verwertungsverfahren fehlen. Auch über Erfassung und Verwertung von Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung mit spezifischen High-Tech Materialien fehlen Informationen. Zukünftig sind daher weitergehende Maßnahmen sowohl in Bezug auf eine selektive Erfassung von Materialien aus dem Abbruch von Gebäuden als auch hinsichtlich einer Entwicklung neuer und spezifischer Verfahren zur Rückführung in hochwertige Materialkreisläufe erforderlich.

Die Materialinventare im Baubereich wurden in Deutschland und anderen Ländern in einer Reihe von Studien untersucht (UBA 2010). Der Fokus dieser Studien lag überwiegend auf dem Bereich der Wohngebäude und auf der Ermittlung von aggregierten Gesamtmengen. In der Praxis sind jedoch Informationen auf einer detaillierteren Ebene notwendig, um die technische und ökonomische Machbarkeit von organisatorischen und technologischen Maßnahmen der Rückgewinnung von Materialien abzuschätzen. Es wird daher zunehmend diskutiert, dass analog zu primären Rohstoffen auch im Bereich von Sekundärrohstoffen eine Prospektion der vorhandenen Inventare auf

dem Mikrolevel in ausgewählten Bereichen der anthropogenen Materiallager erforderlich ist (Lederer et al. 2016).

1.2. Zielsetzungen der Forschung in PRRIG

Vor diesem Hintergrund verfolgt das Verbundprojekt „Techno-Ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäude-Bestand“ – im Folgenden mit dem Akronym „PRRIG“ benannt – die Zielsetzung, auf empirischer Basis Informationsgrundlagen über Rohstoffinventare und die Rückflüsse von Sekundärrohstoffen aus dem Baubereich bereitzustellen. Hierfür sollten geeignete Methoden entwickelt sowie an Hand eines realen Beispiels Materialinventare und -flüsse ermittelt werden. Aus den Erkenntnissen sollten bedarfsgerechte Planungshilfen und -instrumente für Akteure des Immobilienbereichs abgeleitet werden, mit denen eine quantitativ und qualitativ weitergehende Rohstoffnutzung aus dem Baubereich gefördert wird.

Der Fokus des Projekts PRRIG liegt auf den Rohstoffinventaren im Bestand von Industrie- und Gewerbegebäuden, worunter sowohl Produktions- als auch andere Funktions- und Bürogebäude (nachfolgend zusammenfassend „Gewerbegebäude“ genannt) verstanden werden. Dieser Gebäudesektor zeichnet sich im Vergleich zu Wohngebäuden zum einen durch den höheren Anteil technischer Gebäudeausrüstung aus, zum anderen durch deutlich kürzere „Umlaufzeiten“ bis zu einer Umnutzung, einem teilweisen oder vollständigen Abbruch, was sowohl durch die ökonomische Dynamik der zugehörigen Immobilieneilmärkte als auch durch die Anforderung der Anpassung an die technologische Entwicklung bedingt ist. Dieser Bereich ist daher von besonderem Interesse hinsichtlich des Inventars und der Rückgewinnung hochwertiger Rohstoffe, v.a. von Metallen. Gleichzeitig bestehen hier die größten Defizite an Wissen über vorhandene Potenziale von Rohstoffen sowie an geeigneten Handlungsstrategien zu deren Mobilisierung.

Die Untersuchungen im Verbundprojekt PRRIG wurden in und für die Region Rhein-Main durchgeführt und umfassen Fallstudien mit Gebäudeeigentümern und Kooperationen mit regionalen Akteuren. Eine Mitwirkung von Industriepartnern erfolgte sowohl als Projektpartner (Re2area GmbH, Adam Opel AG) als auch als assoziierte Partner, die für das Verbundprojekt PRRIG Informationen zur Verfügung stellten und Untersuchungen an ihrem Gebäudebestand ermöglichten.

Das Projekt PRRIG untersucht im Einzelnen die folgenden Forschungsfragen:

1. Welche Arten und Mengen von Rohstoffen und Materialien sind in Industrie- und Gewerbegebäuden enthalten?
→ Zielsetzung: Erarbeitung von Kennwerten und Typologien für Gebäude
2. Welche Bestände von Rohstoffen ergeben sich daraus auf der regionalen Ebene?
→ Zielsetzung: Bereitstellung eines regionalen Rohstoffkatasters Frankfurt Rhein-Main
3. Welche Änderung der Bestände und welche Flüsse von Materialien sind für die Zukunft zu erwarten?
→ Zielsetzung: Modellierung zukünftiger (Roh-)Stoffströme und Lagerveränderungen für Szenarien der Entwicklung des Gewerbeimmobiliensektors

Die erarbeiteten Wissensgrundlagen sollten für Akteure des Immobilienbereichs unmittelbar wie folgt nutzbar gemacht werden.

4. Operationalisierung der Erkenntnisse als Planungshilfen zur Steigerung der Ressourceneffizienz für Gebäudeeigentümer und regionale/lokale Planungsinstitutionen;
5. Ableitung spezifischer Handlungsoptionen auf der regionalen Ebene Rhein-Main-Gebiet sowie übertragbarer Erkenntnisse in Form eines Maßnahmenkatalogs.

1.3. Projektregion und Fallstudie

Die Projektregion in PRRIG definiert den räumlichen Rahmen, in welchem Daten erhoben, ausgewertet und begutachtet werden, um in die anschließende Analyse einzufließen. Innerhalb der Projektregion sollen, sofern möglich, alle assoziierten Partner und Verbundpartner lokalisiert sein. Die zunächst auf das Gebiet des Planungsverbandes Frankfurt Rhein-Main begrenzte Projektregion wurde um die Gemeinden Darmstadt, Weiterstadt, Büttelborn und Erzhausen erweitert (Abbildung 1, blau unterlegt), zum einen um sachlich den räumlichen Bezügen der Rhein-Main-Region zu entsprechen, zum anderen um alle Teilregionen mit Standorten der assoziierten Partner zu erfassen. Ziel des Projektes ist es, eine Abschätzung des Ressourceninventars für die gesamte Projektregion zu geben. Hierzu wurden, wie in den einzelnen Kapiteln ausführlich beschrieben, unterschiedliche Statistiken analysiert, Geodaten akquiriert und aggregiert sowie entsprechende in situ-Aufnahmen von NWG durchgeführt.

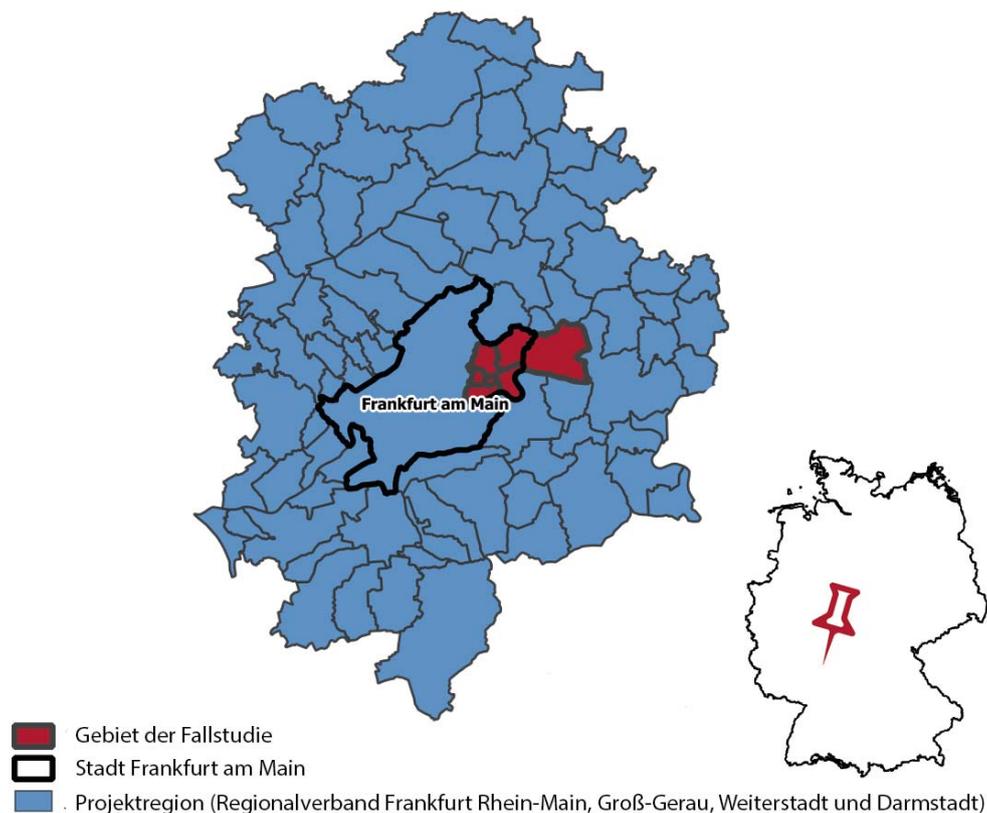


Abbildung 1: Projektregion und Fallstudie des Projektes PRRIG (Datenquelle: GeoBasis-DE / BKG 2014, OpenStreetMap).

Hinsichtlich der Untersuchungen von Gebäuden (in situ) war diese Abgrenzung zielführend, bezüglich einer ersten exemplarischen Umsetzung des geodatenbasierten Gebäudekatasters jedoch zu umfangreich. Daher wurde neben der Projektregion ein kleineres Gebiet als sogenannte Fallstudie Frankfurt-Ost / Maintal identifiziert. Für das Gebiet der Fallstudie konnten entsprechende flächendeckende Daten akquiriert und integriert werden und die Vorgehensweisen der räumlichen Analyse exemplarisch durchgeführt werden (siehe Kapitel 7.1). Das Gebiet der Fallstudie liegt im Osten der Stadt Frankfurt am Main und umfasst die Stadtteile Bergen-Enkheim, Fechenheim, Seckbach, Riederwald, Ostend, Bornheim sowie das Gebiet der Stadt Maintal mit einer Gesamtfläche von ca. 70 km². Der östliche Teil von Frankfurt am Main ist durch die Hanauer Landstraße, das Gebiet um den Osthafen sowie weitere vor ca. 100 Jahren entstandene Gewerbegebiete im Stadtteil Seckbach sehr stark industriell und gewerblich geprägt. Im Bereich der Stadt Maintal kommen Aspekte einer typischen Umlandgemeinde hinzu, welche vordergründig durch Wohnnutzung geprägt ist, jedoch im Bereich der NWG entsprechende Gewerbegebiete mit unterschiedlichster Nutzung (von Produktion bis Einzelhandel) vorweist. Insgesamt kann dieses für die Fallstudie ausgewählte Gebiet als typisch für Gebiete mit einem dynamischen Nichtwohngebäude-sektor innerhalb der Gesamtregion Rhein-Main angesehen werden. Der Gebäudebestand der Fallstudienregion ist jedoch nicht repräsentativ für die Gesamtregion Rhein-Main. Die Ergebnisse der Datenidentifikation und Analyse der Fallstudie flossen im weiteren Verlauf in die Datenaufbereitung für die Gesamtregion (Kapitel 7.5) mit ein.

1.4. Überblick zum methodischen Vorgehen

Das methodische Vorgehen im Projekt PRRIG ist überblicksweise in Abbildung 2 dargestellt.

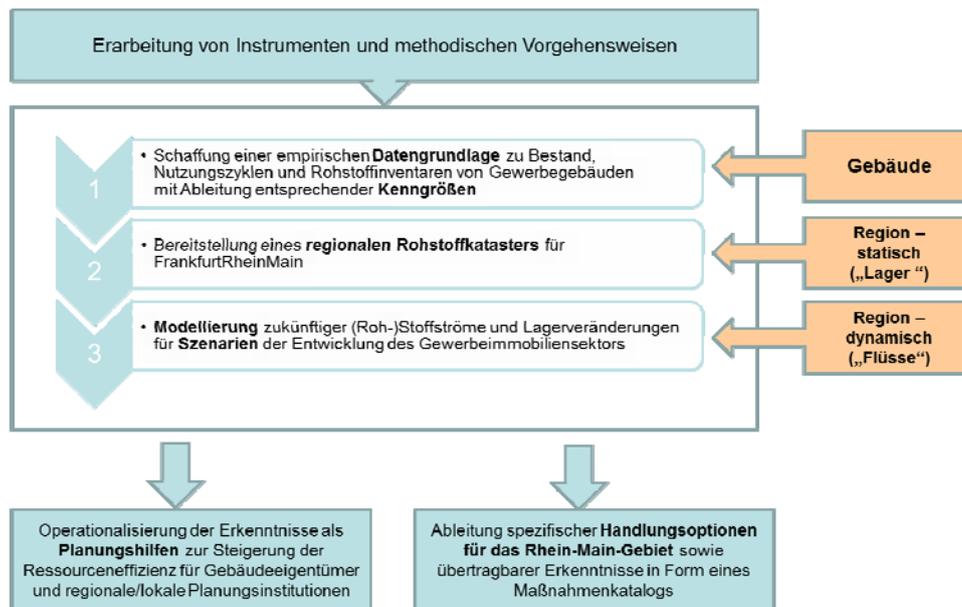


Abbildung 2: Überblick zum methodischen Vorgehen im Projekt PRRIG.

Der Aufbau dieses Abschlussberichts orientiert sich an diesem Vorgehen: Kapitel 2 bis 5 beschreiben die Erarbeitung der Instrumente und methodischen Vorgehensweisen, die für das Projekt verwendet bzw. in seinem Rahmen neu entwickelt wurden. Kapitel 6 stellt die Ergebnisse der Gebäudeuntersuchungen mit der Ableitung von Rohstoffkennwerten dar. Kapitel 7 beschreibt das Vorgehen zur Erstellung eines regionalen Rohstoffkatasters und die Ermittlung von Materialinventaren für die Fallstudie Frankfurt/Ost – Maintal sowie für die gesamte Projektregion. Kapitel 8 untersucht zukünftige Materialflüsse mit Hilfe eines Materialflussmodells und auf Basis von Szenarien des Immobilienmarktes für Industrie- und Gewerbegebäude. In Kapitel 9 schließlich werden Ursachen für langfristige Brachflächen bzw. leerstehende Gebäude thematisiert sowie die notwendigen Prozesse zu einer Um- oder Weiternutzung untersucht. Kapitel 10 beschreibt am Beispiel des Standorts der Adam Opel AG in Rüsselsheim, wie eine Bewertung und erste qualitative Abschätzung einer zukünftigen Nutzung grundsätzlich aussehen kann. Kapitel 11, welches von Re2area erarbeitet wurde, fokussiert sich auf Dienstleistungskonzepte zur Rohstoffrückgewinnung bzw. Abschätzung der möglichen Erträge daraus. Abschließend werden in Kapitel 12 zusammenfassend Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen auf Grundlage der Projektergebnisse abgeleitet.

2. Grundlagen und Definitionen

Im Folgenden werden wichtige Begriffsdefinitionen zusammengefasst, die im gesamten Projekt PRRIG Verwendung finden. Diese Definitionen sind nach den Bereichen Gebäude sowie Rohstoffe/Materialien geordnet.

2.1. Gebäude und gebäudebezogene Kenngrößen

Ein **Gebäude** ist definiert als eine „*selbstständig nutzbare, überdeckte bauliche (Anlage), die von Menschen betreten werden (kann) und geeignet oder bestimmt (ist), dem Schutz von Menschen, Tieren oder Sachen zu dienen*“ (HBO 2011). Aus dieser Definition folgt, dass ein Gebäude folglich immer einen horizontalen Abschluss hat – ein „Dach“ – jedoch nicht zwangsläufig vertikale Abschlüsse. Der horizontale Abschluss kann dabei durchaus begeh- oder befahrbar sein, wie es z.B. bei Parkdecks und teilweise Parkhäusern der Fall ist. Im Projekt PRRIG werden nur solche Bauwerke als Gebäude verstanden, die sich mindestens eine Etage über die Geländeoberkante erheben und vertikale Abschlüsse in Form von Wänden, Brüstungen, Gittern und Geländern oder begrenzt beweglichen Tür- und Torelementen aufweisen. Damit wird eine Abgrenzung zu baulichen Anlagen der Infrastruktur ermöglicht: Brücken sind keine Gebäude im Sinne dieser Definition und liegen daher außerhalb des Untersuchungsrahmens von PRRIG.

Untersuchungsgegenstand im Projekt PRIGG sind Industrie- und Gewerbegebäude. Hierunter werden im engeren Sinn Produktionsgebäude, Lager- und Speichergebäude sowie Büro- und Dienstleistungsgebäude verstanden. Im Projekt PRRIG werden aber auch sonstige Gebäude betrachtet, soweit sie anderen Zwecken als dem Wohnen dienen, so u.a. Lehr-/Lerngebäude wie Objekte aus dem Schul- und Hochschulbau. Der Begriff der Industrie- und Gewerbegebäude wird in PRRIG daher synonym mit dem Begriff der **Nichtwohngebäude (NWG)** gesetzt.

Ein Gebäude kann insbesondere durch Größe, Alter und seine Nutzung charakterisiert werden. Lassen sich aus Grundrissen oder bei der Begehung eines Gebäudes verschiedene Nutzungsabschnitte (z.B. Büro oder Labor) klar räumlich abgrenzen, so werden diese als **Teilgebäude** bezeichnet.

Zur quantitativen Beschreibung der Größe von Gebäuden und späteren Ableitung von Kenngrößen werden die folgenden Bezugsgrößen verwendet:

Brutto-Rauminhalt (BRI): der BRI als das „*Gesamtvolumen des Bauwerks*“ [DIN 277-1] wird im Projekt PRRIG als Bezugsgröße für die spezifische Kenngröße der Materialgehalte von Gebäuden verwendet. Der BRI wurde hierfür als geeignet angesehen, da flächenbezogene Kenngrößen stark vom Gebäudetyp und der jeweiligen Geschoss- bzw. Gebäudehöhe abhängen.

Brutto-Grundfläche (BGF): „*Gesamtfläche aller Grundrisseebenen des Bauwerks*“ [DIN 277-1], in PRRIG jedoch die Fläche eines Grundstücks, die in Karten als bebaut eingetragen ist, ggf. also incl. Parkplätzen o.ä.

Netto-Grundfläche (NGF): Teilfläche der Brutto-Grundfläche (BGF), die vom aufgehenden Baukörper außen umgrenzt ist, also z.B. durch Abschreiten grob ermittelt werden kann. In DIN

277-1 nicht definiert, dort gibt es die Netto-Raumfläche, die als „Teilfläche der BGF, [...] sämtliche Grundflächen der nutzbaren Räume aller Grundrissebenen des Bauwerks umfasst“.

Nutzfläche (NF): Im Gegensatz zu der in DIN 277-1 als „Teilfläche der Netto-Raumfläche, die der wesentlichen Zweckbestimmung des Bauwerks dient“ definierten Nutzungsfläche (NUF) ist die Nutzfläche in PRRIG (NF) die Teilfläche der NGF, die für unterschiedliche Zwecke genutzt werden kann, also abzüglich Konstruktions- und Verkehrsflächen.

Insbesondere im Hinblick auf die Ermittlung von Rohstoffinventaren ist außerdem von Interesse, dass (Teil-)Gebäude auch als Summe einzelner Bestandteile charakterisiert werden können, sowohl was den konstruktiven Bereich betrifft (z.B. Gründung, Wände und Dach) als auch den funktionalen Bereich (z. B. Heizungssystem, Wasserversorgung etc.). Diese Bestandteile von Gebäuden werden in PRRIG als **Komponenten** bezeichnet. Komponenten können zur genaueren Beschreibung in einzelne **Bauteile** untergliedert werden (z.B. ein Heizungssystem in die Bauteile „Heizkessel“ und „Leitungen“), wie in Abbildung 3 verdeutlicht.

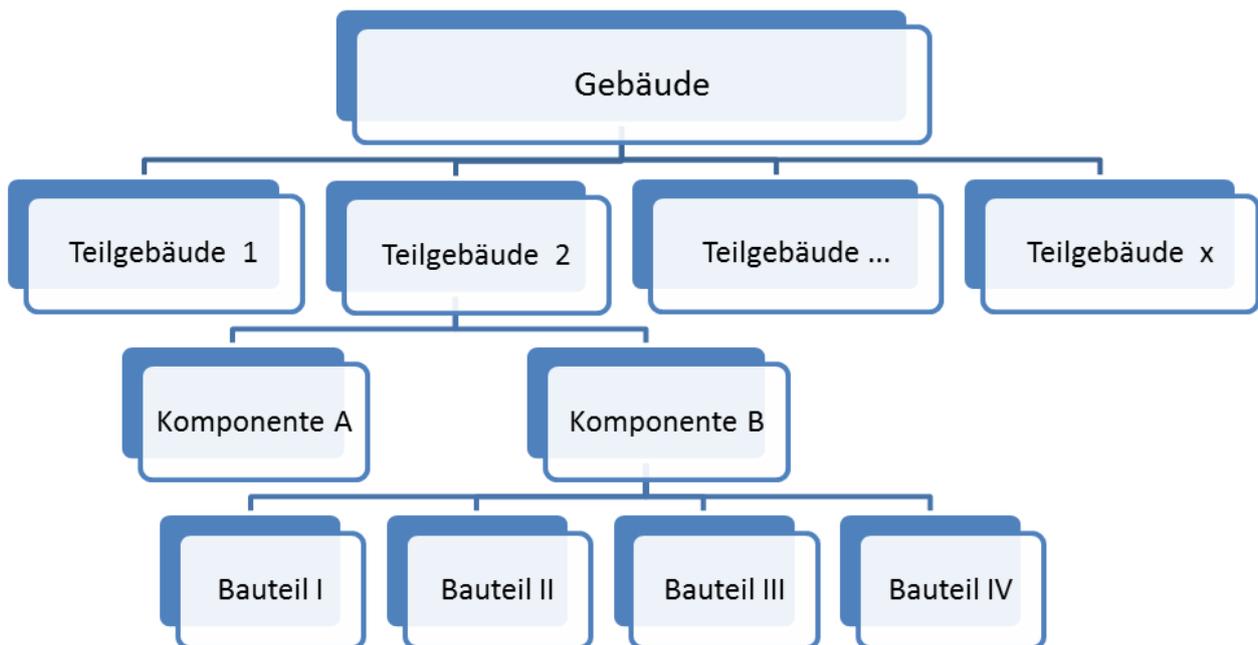


Abbildung 3: Gliederungsebenen eines Gebäudes.

Im Projekt PRRIG gilt als **Baujahr** eines Gebäudes grundsätzlich das Jahr der Bezugfertigung, das Gebäude wird nach seinem tatsächlichen Baujahr eingeordnet. Da im Rahmen der Untersuchungen allerdings auch sehr alte Gebäude einbezogen wurden, ist festzulegen, wie mit in verschiedenen Ursachen begründeten Umbauten hinsichtlich einer Festlegung des Baujahrs umzugehen ist. Bei gänzlich zerstörten und wieder aufgebauten Gebäuden soll das Jahr des Wiederaufbaus als Baujahr gelten. Das Gebäude wird also nach seinem jüngeren oder neu-Baujahr eingeordnet. Bei Um-, An- und Erweiterungsbauten, Sanierungen oder Modernisierungen am Gebäude kann zwischen zwei Alternativen gewählt werden: Zum einen das fiktive Baujahr resp. dem Jahr der letzten Baumaßnahme, zum anderen das tatsächliche oder Original-Baujahr. Welche

Einordnung für das jeweilige Gebäude besser ist, hängt vom Erweiterungs- bzw. Modernisierungsumfang ab und ist im Einzelfall zu entscheiden. Die im Rahmen des Projektes aufgenommenen Modernisierungen gingen mit einer Entkernung des Gebäudes einher, d.h. einem Rückbau bis auf die Tragstruktur, so dass der Abschluss der Maßnahmen als Baujahr gilt.

2.2. Rohstoffe und Materialien

Die Begriffe „Rohstoff“ und „Material“ werden häufig synonym verwendet. Hier wird jedoch unterschieden, wie sehr der Stoff be- oder verarbeitet wurde. So werden unter **Primärrohstoffen** in PRRIG die Stoffe verstanden, welche direkt der Natur entnommen werden und keiner oder nur einer geringfügigen weiteren Verarbeitung unterzogen wurden, d.h. ausschließlich für den Abbau hinsichtlich der Größe, jedoch weder hinsichtlich ihrer Struktur noch ihrer Zusammensetzung verändert wurden. **Sekundärrohstoffe** sind nicht der Natur entnommen, sondern entstammen einer vorherigen Nutzung. Rohstoffe in Form von Feld-, Bruch- oder Quadersteinen z.B. Quarz, Granit, Schiefer und Sandstein können direkt als Baustoff eingesetzt oder mit anderen Rohstoffen gemischt und zu (Bau-)Materialien verarbeitet werden.

Materialien sind vom Menschen in ihrer Struktur veränderte Stoffe, welche aus mehreren Rohstoffen zusammengesetzt sind, beispielsweise das Baumaterial „Ziegel“ aus Erde, ggf. Sand und Wasser, „Mörtel“ aus Kalk, Sand und Wasser oder „Beton“ aus Kies, Sand, Zement und Wasser sowie ggf. weiteren Zuschlagstoffen. In Bezug auf die zu ermittelnden Materialien liegt der Schwerpunkt in PRRIG auf metallischen Materialien. Insbesondere sind dies:

Tabelle 1: In PRRIG betrachtete Metalle

FE-Metalle	NE-Metalle
- Baustahl	- Aluminium
- Eisen	- Blei
- Gusseisen	- Kupfer
- Edeltähle	- Zink

Insbesondere aus der Perspektive von Immobilienbesitzern ist jedoch die Kenntnis aller mengen- bzw. kostenmäßig interessanten Materialien von Interesse. Unter diesen Aspekten werden auch die in Tabelle 2 gelisteten Nichtmetalle ermittelt.

Tabelle 2: In PRRIG betrachtete Nichtmetalle

Künstliche Steine	Brennbares	Andere
- Beton	- Holz	- Sonstige
- Mauerwerk/Mörtel	- Kunststoff	
- Ziegel		

Für die Beschreibung des Inventars von Gebäuden werden in PRRIG spezifische **Rohstoffkennwerte** definiert. Sie geben an, welche Menge eines Baustoffs in etwas enthalten ist. Diese Kenngrößen bilden eine der Voraussetzungen für die im Projekt zu erarbeitenden Modelle zu Material-

flüssen.¹ Da sie Kennwerte zum Gehalt von Materialien sind, müssten sie eigentlich „Materialkennwerte“ heißen. Hierunter werden jedoch traditionell die chemischen und thermischen Eigenschaften eines Materials wie Schmelz- und Siedepunkte, Festigkeits-, Steifigkeitswerte, Dichten und diverse Beständigkeiten summiert. Um dahingehenden Missverständnissen vorzubeugen, wurde in PRRIG der Begriff „Rohstoffkennwerte“ verwendet.

Die Rohstoffkennwerte umfassen sowohl **Rohstofffaktoren** als auch **Rohstoffintensitäten**. Rohstofffaktoren sind die Angaben von Rohstoffmengen pro komponentenspezifischer Einheit [kg/„Einheit“_{Komponente}], z.B. bei Kabeln oder Rohren $\text{kg}_{\text{Cu}} / \text{lfm}_{\text{Kabel}}$ oder $\text{kg}_{\text{Cu}} / \text{lfm}_{\text{Rohr}}$. Rohstoffintensitäten hingegen geben die aufsummierte Rohstoffmenge pro Gebäude-Bezugseinheit an. In der Literatur und insbesondere in der Statistik werden dabei verschiedene Einheiten, häufig Flächen, verwendet. Für die Untersuchung in PRRIG wurden die Materialgehalte pro Brutto-Rauminhalt (BRI) gemäß DIN 277-1 (DIN 277-1, 2015) berechnet, als Einheit ergibt sich daraus $[\text{kg}/\text{m}^3_{\text{BRI}}]$.

2.3. Vorgehensweise zur Ermittlung der gebäudespezifischen Kennwerte

In der Literatur findet sich eine Reihe von Studien, in denen Rohstoff- bzw. Materialgehalte von Gebäuden untersucht wurden. Einen Überblick über diese Studien, die sich auf unterschiedliche Materialien und Gebäudetypen (v.a. Wohngebäude) konzentrieren, bietet (Ortlepp et al. 2015). Bereits die Durchsicht dieser Studien zeigt, dass es unterschiedliche methodische Herangehensweisen für die Ermittlung von Rohstoff-/Materialgehalten von Gebäuden gibt. Prinzipiell kann unterschieden werden danach, ob eine Ermittlung empirisch an Hand der Untersuchung realer Gebäude erfolgt, oder ob eine theoretische Ableitung an Hand einer theoretischen / modellgestützten Betrachtung erfolgt. Abbildung 4 verdeutlicht drei prinzipielle Wege zur Ermittlung von Kennwerten von Materialien / Rohstoffen in Gebäuden:

- a) top-down, (theoretisch), Rohstoffkennwerte werden für bestimmte Gebäudetypen an Hand von sogenannten „synthetischen Gebäuden“ ausgewiesen, die im Bestand identifiziert werden,
- b) bottom-up, (theoretisch), Rohstoffkennwerte für Gebäude bzw. Gebäudetypen werden ermittelt ausgehend von Rohstoffgehalten der Komponenten, aus denen das Gebäude konstruiert ist, und
- c) direkt, (praktisch), reale Gebäude werden aufgenommen und hieraus Rohstoffgehalte ermittelt.

¹ Eine andere Basis ist der gegenwärtige Gebäudebestand mit sind Annahmen über die Lebens- bzw. Nutzungsdauern verschiedener Gebäudetypen. Hieraus lassen sich letztlich Mengenangaben für spezifische Stoffströme sowie für Bestandsveränderungen pro Zeiteinheit ableiten.

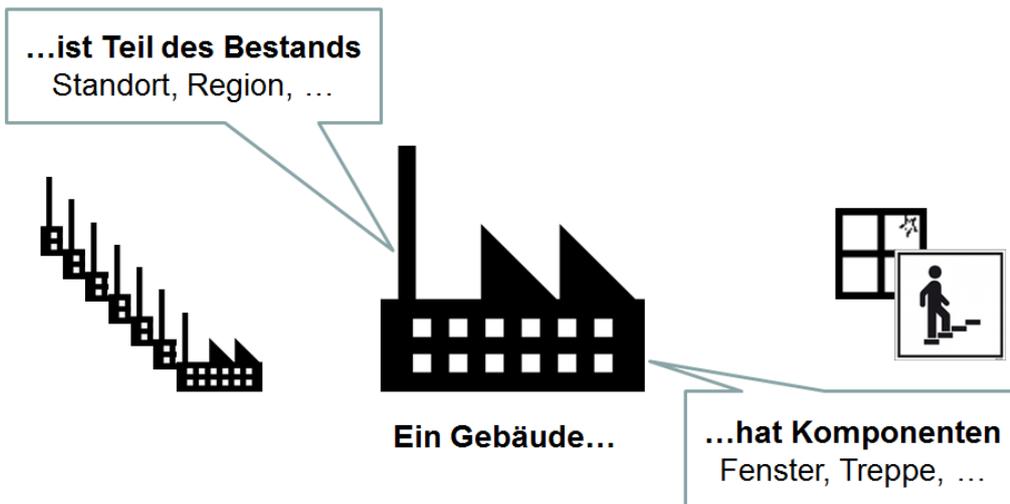


Abbildung 4: Darstellung der theoretischen Herangehensweisen zur Ermittlung von Rohstoffkennwerten eines Gebäudes.

Offensichtlich beziehen sich bei diesen Vorgehensweisen Angaben zu Rohstoffen einmal auf ganze Gebäude, zum anderen auf Komponenten von Gebäuden. Um dies deutlich zu machen, werden in PRRIG zwei unterschiedliche Arten von Kennwerten für Rohstoffe und Materialien ermittelt. Diese Kenngrößen setzen sich aus einer Material-/Baustoffmengenangabe und einer Bezugsgröße zusammen:

Die **Rohstofffaktoren** geben an, welche Menge eines Materials (oder Baustoffs) in einer Komponente enthalten ist. Diese kann eine aus einem Gebäude ausgebaute Komponente (z.B. Heizungsrohr) oder neu einzubauende (z.B. Elektrokabel) sein. Theoretisch können die Rohstofffaktoren auf eine geeignete gebäudespezifische Bezugsgröße umgerechnet werden. Kennwerte mit einer solchen Bezugsgröße heißen **Rohstoffintensitäten** (siehe Tabelle 3). Beide werden insbesondere für metallische, aber auch für nicht-metallische Materialien ermittelt.

Tabelle 3: Vergleich Rohstofffaktor und Rohstoffintensität

	Rohstofffaktor	Rohstoffintensität
Definition	Rohstoffmenge pro komponentenspezifische Einheit	Rohstoffmenge pro Gebäudevolumen
Einheit	[kg _{Rohstoff} / "Einheit" _{Komponente}]	[kg _{Rohstoff} / m ³ _{BR}]

3. Typologien

Typologien dienen dazu, in großen Gruppen oder Mengen individueller und heterogener Objekte Strukturen zu bilden, die als Grundlage für übertragbare Aussagen herangezogen werden können. Ähnlich wie Modelle müssen Typologien daher notwendigerweise die Realität abstrahieren und vereinfachen, um trotz der vorhandenen Unterschiede zwischen Individuen auf diejenigen Charakteristika zu fokussieren, die letztlich die Zusammenfassung bestimmter individueller „Objekte“ zu homogenen Typen (Kategorien, Untergruppen) zulassen.

Typologien sind also Kategorisierungen bzw. Gruppierungen, im vorliegenden Projektbericht PRRIG zum einen der Gebäude (siehe Kapitel 3.1), zum anderen der Komponenten (siehe Kapitel 3.3). Über die jeweiligen Untergruppen werden die Objekte nach bestimmten Kriterien aufgenommen, ihre zugehörigen Eigenschaften erfasst und in Kennwerte/Faktoren umgerechnet.

Die methodische Vorgehensweise des Projekts PRRIG setzt insbesondere die Verwendung von Typologien für Gebäude und Komponenten voraus. Für beide Bereiche existieren bereits solche Typologien, die jedoch nicht vollständig den Anforderungen an die Verwendung im Projekt entsprechen. Insbesondere im Hinblick auf Gebäudetypologien ist festzustellen, dass diese vor allem den Bereich der Wohngebäude fokussieren. Im Bereich der Nichtwohngebäude (NWG) wird bislang keine einheitliche Typologie verwendet und je nach Verwendungszweck bzw. Schwerpunkt unterscheiden sich die jeweiligen Klassifizierungsansätze. Aus diesem Grund wurden in PRRIG eigene Typologien entwickelt bzw. erweitert, die jedoch weitestgehend anschlussfähig sind an die in der praxisrelevanten Literatur und im Bereich der Statistik verwendeten Typologien.

Gebäude unterscheiden sich nicht nur in ihrer Bauart, ihrer Nutzung bzw. Funktion, sondern auch im Inventar an Rohstoffen, in der Dynamik des Immobilienteilmarktes und dadurch letztendlich auch in ihrer Nutzungsdauer. Komponenten unterscheiden sich im Rohstoffgehalt, ihrer Sanierbarkeit und letztlich in ihrer Lebensdauer. Durch das Clustern dieser Differenzen lassen sich Komponenten ebenso wie Gebäude typisieren. Auf diesen Typologien basieren die Strukturen des theoretischen Modells eines Gebäudekatasters (siehe Kapitel 4 und Kapitel 7.1) sowie der Datenaufnahme bei den Praxisuntersuchungen (siehe Kapitel 5.1). Erfahrungen aus letzteren wurden wiederum induktiv für die Typologien genutzt, um sie zu validieren und anzupassen. Auch in der Berechnung der zukünftigen Materialflüsse (siehe Kapitel 8) finden die Typologien Anwendung.

3.1. Gebäudetypologie

Das nachfolgende Kapitel stellt die Gebäudetypologie für NWG vor, welche im Rahmen des Projektes erarbeitet wurde. Ausgehend von einem Überblick über vorhandene Typologien und den allgemeinen Anforderungen an eine Typologie für NWG wird eine für das Projekt sinnvoll nutzbare Typologie abgeleitet und deren Typisierung erläutert.

In der Literatur und für die Verwendung der amtlichen Statistik sind verschiedene Typologien von Gebäuden entwickelt worden. Mit diesen z.T. fachspezifischen Gebäudetypologien werden oftmals Ansätze vorangetrieben, die sehr anwendungs- oder nutzungsspezifische Modellierungen darstellen. Gebäudetypologien können meist nur einen Aspekt der Realwelt idealtypisch abbilden und

vergleichen, z.B. die Gebäudenutzung, die Konstruktionsweise, Nutzungsklasse, regionale Besonderheiten, Energieverbrauch oder verbaute Ressourcen (Hassler und Kohler 2011; Kohler 1999). Insbesondere für den Bereich der Wohngebäude liegen in der Literatur verschiedene Betrachtungen des deutschen Gebäudebestandes und entsprechende Typologien vor.

3.1.1. Typologien für Wohngebäude

Mit der sogenannten ‚Deutschen Gebäudetypologie‘ oder ‚IWU-Typologie‘ (Loga et al. 2011; Loga et al. 2012; Deutsche Wohngebäudetypologie 2015) wurde eine gerade für energetische Gesichtspunkte weitreichend anerkannte Typologie definiert. Bislang erfolgt, auch bei der IWU-Typologie, hauptsächlich eine Gliederung nach Gebäudetypen (funktional) und Baualtersklassen. Für energetische Aspekte wie die Energieeffizienz und Sanierung (BMVBS 2013; BMVBS und BBSR 2011, 2009) bestehen ebenfalls entsprechende Ansätze. Die hinsichtlich der Typisierung in der Vergangenheit erfolgte Fokussierung auf den Bereich von Wohngebäuden und deren mengenmäßigen Erfassung hat unterschiedliche Gründe. Vorwiegend kann hier angeführt werden, dass die Bereitstellung von ausreichend Wohnraum für die Bevölkerung und deren staatliche Förderung immer schon eine spezifischere Erfassung des Bestandes notwendig erscheinen ließ. Weiter sind die vorliegenden Disparitäten bei Wohngebäuden nicht so umfangreich wie im Bereich der NWG.

3.1.2. Anforderungen an eine Typologie für Nichtwohngebäude

Im Unterschied zu Wohngebäuden existiert bislang keine vergleichbar allgemein anerkannte und zusammenfassende Typologie für den deutschen NWG-Bestand. Folglich sind auch verlässliche Aussagen zu Qualität und Quantität des NWG-Bestands in Deutschland derzeit nicht möglich (Stein et al. 2012). Eine europaweite Übersicht aktueller Typisierungsansätze für NWG gibt das TABULA-Projekt (Stein et al. 2012). Häufig wird die fehlende Datenbasis zu NWG mit der großen Heterogenität der Gebäudesubstanz begründet. Trotz der großen Disparitäten sind in diesem Bereich Gemeinsamkeiten vorhanden, die als Ausgangspunkt zur Definition von Gebäudetypen genutzt werden können. Für die Arbeiten im Forschungsprojekt PRRIG wurden daher diejenigen Gebäudetypologien untersucht und auf ihre Anwendbarkeit geprüft, die speziell für den Bereich von NWG entwickelt wurden. Als relevant identifiziert wurden folgende Typologien:

1. Systematische Datenanalyse im Bereich der NWG – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen (BMVBS 2013; BMVBS und BBSR 2011)
2. Weiterentwicklung der IWU-Typologie hinsichtlich NWG (Loga et al. 2012; Stein et al. 2012)
3. Bauwerkszuordnungskatalog (Bauministerkonferenz 2010)
4. Baukosteninformationszentrum (BKI) (BKI Baukosteninformationszentrum 2013)
5. Systematik der Bauwerke (Statistisches Bundesamt (Destatis) 1978, 2014)
6. Gebäudegliederung im ALKIS-Objektartenkatalog (AdV 2014b)

Die Prüfung für die Anwendbarkeit in PRRIG beinhaltete speziell die Eignung einer Typologie zur Abbildung des Ressourceninventars aber auch hinsichtlich der Dynamik des Immobilienmarktes, so dass die Typologie auch als Grundlage einer Szenarienbildung (Kapitel 8.3) verwendbar ist. Keine der untersuchten Typologien nimmt jedoch konkreten Bezug zu verwendeten Materialien

und konstruktionstypischen Merkmalen. Um diese Disparitäten abzubilden und in ihrer spezifischen Art zu gliedern, ist demnach eine spezifische Gebäudetypologie notwendig, die als Grundlage für die Abschätzung des Rohstoffrückgewinnungspotenzials aus Gebäuden dienen kann. Die bestehenden Typologien bringen wichtige Erkenntnisse bezüglich Gliederungsmerkmalen, Gebäudetypen und Typologieaufbau, jedoch kann keine der vorgestellten Typologien ohne Anpassungen übernommen werden, da sie sowohl für andere Anwendungen als auch für teilweise andere Gebäudetypen entwickelt wurden.

Eine über die Gebäudeart sowie deren Altersklasse differenzierende Typologie erscheint jedoch für die hier vorliegenden Fragestellungen zielführend, im Besonderen auch um die Nutzung von vorhandenen Datenbeständen zu ermöglichen. Ziel war es daher, eine Typologie zu definieren, welche so einfach wie möglich gehalten ist und trotzdem eine hohe Aussagekraft in der Analyse ermöglicht. Die entwickelte Typologie stellt dabei vordergründig auf ein theoretisches Modell ab und soll anschließend mit entsprechenden Datensätzen gefüllt werden. Die Typologie ist dabei bewusst mit einem hohen Detaillierungsgrad definiert, spätere Abstraktionen (wie beispielsweise im Kapitel der Szenarienbildung, hervorgehend aus der amtlichen Statistik) werden in Kauf genommen.

3.1.3. Nutzungsbezogene Typologie für Nichtwohngebäude

Allen untersuchten Typologien gemeinsam ist, dass die aktuelle Nutzung bzw. Funktion eines Gebäudes die oberste Gliederungsebene darstellt, immer davon ausgehend, dass sie die grundsätzliche Gestalt des Gebäudes maßgeblich bestimmt. Diese Gliederungsmethodik wurde auch in PRRIG beibehalten.

Die Funktion eines Gebäudes stellt wie bereits erwähnt die oberste Gliederungsebene der PRRIG-Typologie dar (Nutzungstypisierung). Diese Typisierung folgt der grundsätzlichen Annahme, dass Gebäude gleicher Nutzung in ihrer Ausprägung grundlegende Gemeinsamkeiten ausweisen. Als Grundlage für die nutzungsbezogene Strukturierung wurde die Typologie des BMVBS 2013 verwendet. Fokussierend auf energetische Aspekte von NWG stellt die BMVBS-Strukturierung einen ersten umfassenden Ansatz dar, eine „Grundlage für die mengenmäßige Abschätzung des Bestandes an NWG und deren energetische Qualitäten“ zu entwickeln. Unterschiedliche Aspekte wie Gebäudehülle, Gebäudealter, Wärmedurchlasskoeffizienten oder potenzielle Sanierungsstände werden in der Gebäudetypisierung mit einbezogen. Stark im Fokus sind jedoch EnEV-relevante Kategorisierungen, weshalb eine Erweiterung und Anpassung der Typologie notwendig erschien.

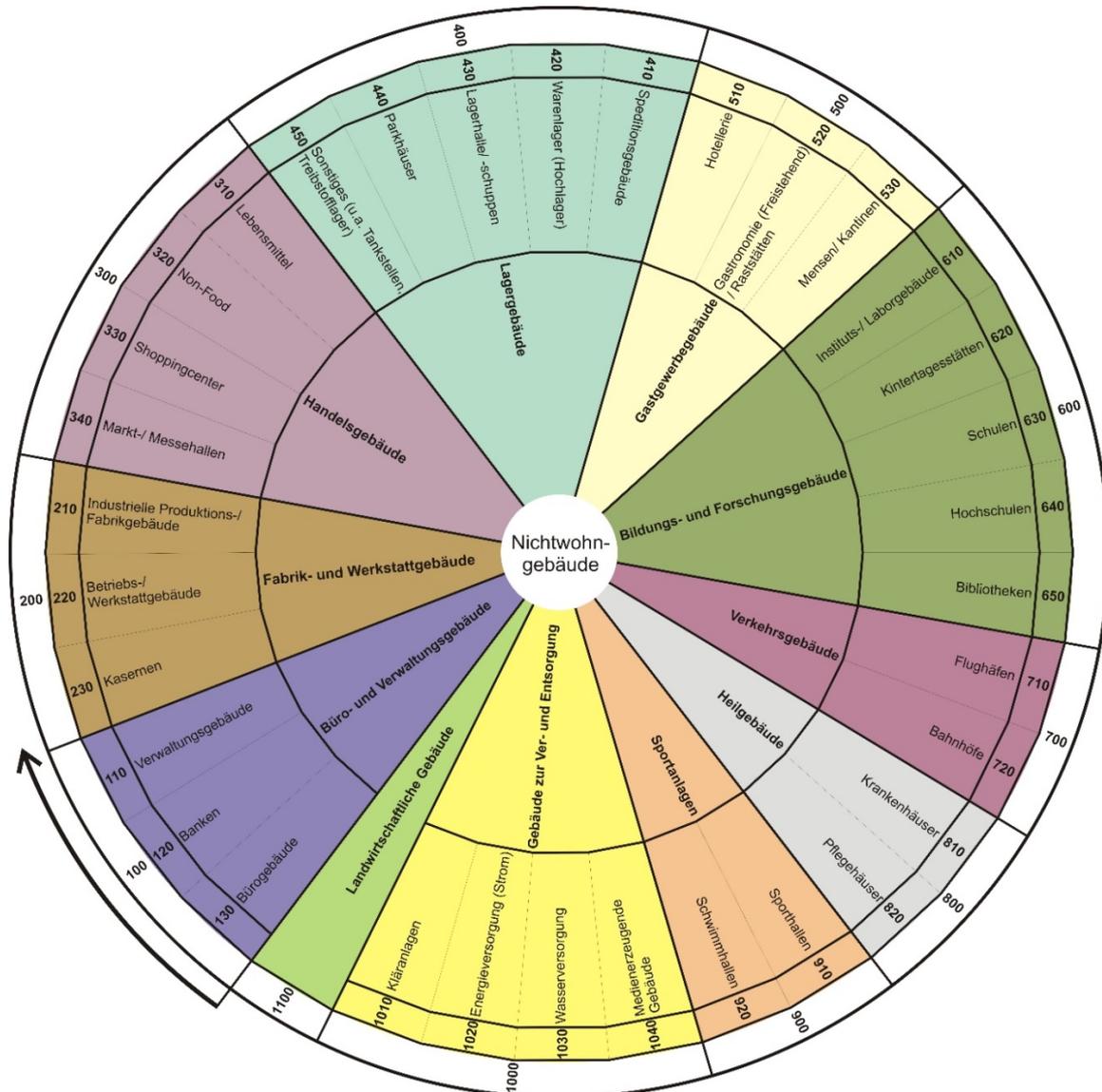


Abbildung 5: Übersicht Gebäudetypologie PRRIG (eigene Darstellung), in Anlehnung an (BMVBS 2013).

Abbildung 5 stellt die in PRRIG verwendete Typologie im Überblick dar. Diese nutzungsbezogene PRRIG-Typologie kann als eine Weiterentwicklung der in (BMVBS 2013) entwickelten Typologie interpretiert werden. Die Anpassung bezieht sich v.a. auf drei Aspekte:

- Es sind neben beheizbaren auch unbeheizte NWG enthalten. Wie die Analyse des Baubestands im Jahr 2013 ergab, ist davon auszugehen, dass gut die Hälfte des Bestandes an NWG unbeheizt sind (BMVBS 2013).
- Es wurde versucht, neben der Funktion des Gebäudes auch dessen konstruktive Gestalt als Merkmal zu verwenden und diese in die Funktionstypisierung einzubeziehen.
- Kulturelle und kirchliche Gebäude (Oper, Theater, Konzerthallen, Gebetshäuser etc.) wurden ausgeschlossen, da sie einerseits eine besondere Heterogenität aufweisen und andererseits zumeist einen architektonischen oder städtebaulichen Wert besitzen und

daher unter dem Aspekt der Rohstoffrückgewinnung kurz- bis mittelfristig eher irrelevant sind.

Die PRRIG-Typologie beinhaltet zwei Gliederungsebenen in Form von Haupt- und Unterkategorien. Die Hauptkategorien, deren Definitionen dabei zu Teilen an Beschreibungen aus dem ALKIS-Objektartenkatalog in (AdV 2014b) angelegt sind (näher beschrieben in Anhang 1), stehen im inneren Kreis, die Unterkategorien im äußeren Kreis. Die beiden Ebenen dienen der besseren Übersichtlichkeit, der direkten Erläuterung und der optimierten Handhabbarkeit von differenzierbaren Komplexitätsleveln. Es handelt sich demnach um eine ‚hierarchische‘ Typologie.

Die PRRIG-Typologie stellt einerseits ein umfassendes Gliederungsschema für alle NWG dar und bietet gleichzeitig für die später an die Bestandserfassung anknüpfenden Materialinventarbetrachtungen und -flussberechnungen die Möglichkeit des Rückgriffs auf unterschiedliche Abstraktionsebenen. Erste Erhebungen nehmen dabei die Oberkategorien in den Betrachtungsrahmen auf, spätere, mehr ins Detail gehende Betrachtungen, können je nach Datenlage auf wesentlich exakteren Subkategorien aufbauen.

Zur vereinfachten Handhabung der Typologie wurde neben begrifflichen Definitionen sowie Kurzbeschreibungen der einzelnen Typen eine Codierung eingeführt. Dies hat vor allem technische Gründe, können hiermit mögliche Schreib- und Tippfehler von vornherein ausgeschlossen werden, wodurch die spätere automatisierbare Auswertung der Daten erleichtert wird. Ebenfalls zur Vereinfachung und um den Detaillierungsgrad der Typologie zu begrenzen, wurde auf die genaue Betrachtung von Gebäuden mit Mischnutzungen, bspw. bei einer Produktionshalle mit zugehörigem Lager und angeschlossenen Büroflächen, verzichtet und folglich festgesetzt, dass die jeweils vordergründige Nutzung eines Gebäudekomplexes die Typzuordnung bestimmt (Dominanzprinzip).

Eine ausführliche Beschreibung und Definition der Gebäudetypen findet sich in Anhang 1.

3.1.4. Baualtersklassen als Untergliederungsmerkmal

Ein weiteres entscheidendes Untergliederungsmerkmal von Gebäuden ist deren Baujahr respektive das Gebäudealter. Baujahre können dabei in Form konkreter Jahreszahlen erfasst oder aber in Baualtersklassen zusammengefasst werden. Die Grundannahme von Baualtersklassen ist, dass jede Epoche der Baugeschichte die jeweils errichteten Gebäude mit charakteristischen Merkmalen prägt, welche dann als typisch für diese Altersklasse gelten können. Typische Merkmale sind dabei Konstruktionsarten, Fenstergrößen und -arten, definierte Größen für die jeweiligen Anforderungen z.B. (Lagernutzung) oder Frei- und Aufenthaltsflächen in Bürogebäuden sowie verwendete Materialien.

Eine anerkannte Zusammenfassung von Baualtersklassen stellt die Definition des IWU dar (Klauß et al. 2009). Diese wurde zwar initial für Wohngebäude entworfen, lässt sich allerdings aufgrund ihrer Orientierung an zeitlichen Kriterien wie dem Zweiten Weltkrieg oder der Ölkrise in den 1970er Jahren in diesem Anwendungsfall übertragen. Für die weitere Betrachtung wird auf nachfolgende bereits etablierte Baualtersklassen zurückgegriffen.



Tabelle 4: Definition von Baualtersklassen nach (Hörner 2011; Deutsche Wohngebäudetypologie 2015)

Baualtersklassen	vor 1918	1919-1948			1949-1978			1979-1994		1995 - 2001	ab 2002	
Subkategorien	1850 - 1918	1919 - 1928	1929 - 1938	1939 - 1948	1949 - 1957	1958 - 1968	1969 - 1978	1979 - 1983	1984 - 1994	1995 - 2001	2002 - 2009	ab 2010

Für PRRIG wurde mit einer Ausnahme auf die obere Gliederungsebene zurückgegriffen. In der Altersklasse 1949-1978 wurde die Subdifferenzierung verwendet, um bautypische Merkmale des Nichtwohngebäudebaus in der Nachkriegszeit (Wiederaufbau) und des anschließenden Wirtschaftswunders zu differenzieren.

Tabelle 5: Definition von Baualtersklassen in PRRIG

Baualtersklassen	vor 1918	1919-1948	1949-1957	1958-1968	1969-1978	1979-1994	1995-2001	ab 2002
------------------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	---------

Im Zusammenhang mit den Baualtersklassen ist im Zuge der Modellierung und Datenerfassung festzuhalten, dass diese immer eine mögliche Ausprägung bzw. bereits vorgenommene Abstraktion des Informationsgehaltes darstellen. Im Fokus einer Datenaufnahme sollte das exakte Baujahr eines Gebäudes stehen. Die Überführung dieses in entsprechende Klassen ist in der Modellumsetzung möglich. Dies gilt insbesondere in der Geodatenmodellierung und Erfassung.

Weiterhin sind durchaus auch andere Gliederungen als die nach Baualtern oder Baualtersklassen möglich. Gerade in der Immobilienwirtschaft sind es Hierarchien wie beispielweise A, B, C, D Gliederungen, welche für die Beschaffenheit oder im weiteren Sinne auch die Qualität einer Immobilie verwendet werden (vgl. Kapitel 8.3.1). Diese haben zwar einen starken Bezug zum Alter des Gebäudes, müssen aber nicht zwingend damit korrelieren. Bereits in der Vergangenheit wurden bestimmte Immobilien anwendungsneutral mit sehr flexiblen Raumaufteilungen (z.B. in der Logistik) gebaut. Durch gewisse (kleinere oder auch größere) Umbauten in jüngerer Zeit können diese heute in A-Kategorien fallen, trotz ihres grundsätzlich hohen Baualters. Das initiale Gebäudealter ist damit nicht zwingend das relevante für alle weiteren Betrachtungen. Was benötigt wird, sind aktuelle, den Lebenszyklus des Gebäudes abbildende Informationen. Typische Annahmen und Festlegungen für bereits erfolgte Umbaumaßnahmen oder Sanierungen lassen sich dabei vom wirklichen Baujahr der Immobilien ableiten und sozusagen „virtuell“ festlegen.

Im Projekt PRRIG gilt als Baujahr eines Gebäudes grundsätzlich das Jahr der Bezugsfertigstellung, das Gebäude wird nach seinem tatsächlichen Baujahr eingeordnet. Da im Rahmen der Untersuchungen allerdings auch sehr alte Gebäude einbezogen wurden, ist festzulegen, wie mit in verschiedenen Umbauten hinsichtlich einer Festlegung des Baujahrs umzugehen ist.

Bei gänzlich zerstörten und wieder aufgebauten Gebäuden soll das Jahr des Wiederaufbaus als Baujahr gelten. Das Gebäude wird also nach seinem jüngeren oder Wiedererrichtungs-Baujahr eingeordnet.

Bei Um-, An- und Erweiterungsbauten, Sanierungen oder Modernisierungen am Gebäude kann zwischen zwei Alternativen gewählt werden: Zum einen das fiktive Baujahr resp. dem Jahr der letzten Baumaßnahme, zum anderen das tatsächliche oder Original-Baujahr. Welche Einordnung für das jeweilige Gebäude besser ist, hängt vom Erweiterungs- bzw. Modernisierungsumfang ab und ist im Einzelfall zu entscheiden.

Allgemein ist jedoch festzuhalten, dass im Projekt PRRIG grundlegend das Baujahr der Bezugserfertigstellung entscheidend ist, mögliche Umbauten und Sanierungen können und müssen in die entsprechenden Annahmen zu Materialkennziffern einfließen. Auch können beispielweise typische Sanierungen für bestimmte Baualtersklassen und Typen (auch in Abhängigkeit des Standortes) in die spätere Modellbildung einfließen.

3.2. Konstruktionsbezogene Kategorisierung von Gebäuden

Die Nutzungsart bzw. Funktion eines Gebäudes lässt in der Regel nur in geringem Maße Rückschlüsse auf dessen Konstruktionsart zu. Da die konstruktive Bauweise jedoch mehr Informationen über die verwendeten Materialien bieten kann, wird diese als ein zusätzliches Kategorisierungsmerkmal herangezogen. Die technische oder konstruktive Ausbildung der Gebäude kann hinsichtlich der Fügung der Bauteile unterschieden werden nach:

- Skelettbau: Rohbauelemente (Holz, Stahl, Stahlbeton) haben tragende Funktion
- Massivbau: Keine Trennung zwischen tragender und raumabschließender Funktion
- Verbundbau: Formschlüssige Verbindung von Querschnitten (insbesondere Träger, Stützen, Decken) aus unterschiedlichen Materialien
- Fertigteilbau: Bauwerkserstellung durch Zusammenfügen vorgefertigter Konstruktionselemente
- Sonderformen

Die konstruktionsbezogene Typisierung findet im späteren Verlauf bei der Festlegung von Rohstoffgehalten für einzelne Gebäudetypen Anwendung. Aus den im Projekt durchgeführten Aufnahmen von Gebäuden und den dort erfassten Rohstoffkennwerten erfolgt zur Abschätzung eine prozentuale Verteilung nach Tabelle 6. Die detaillierten Rohstoffkennwerte einzelner, genau bekannter Gebäude- und Konstruktionstypen, werden über diese Methode auf die gesamte Klasse aggregiert.

Auf Basis von Experten- und Literaturinformation wurde der Anteil der am meisten vertretenen Konstruktionsarten Skelett- und Massivbau je Altersklasse abgeschätzt. Die oben erwähnten Sonderformen werden für Bürogebäude vernachlässigt, da sie selten sind. Verbundbauten sind unter Leichtbauten summiert und Fertigteilbauten je nach Art der Fertigteile in die anderen Gruppierungen integriert; Bauten aus Betonfertigteilen z.B., die ggf. einem Skelettbau aus Beton mit Betonausfachung (SBB) gleichkämen und damit von dem Baustoffgehalt einem Massivbau aus Beton (MBB) entsprechen, sind in der entsprechenden Gruppe unter SBB bzw. MBB eingegliedert.

Tabelle 6: Durchschnittliche spezifische Materialkennwerte für Bürogebäude

Verteilung der Konstruktionstypen				
% / m ³				
Altersklasse	SSB*, SSL*, SSM*	MMM*	MBB*, SBM*, SBB*	SHM*, SHL*
Bis 1918	5	75	10	10
1919 bis 1948	10	60	20	10
1949 bis 1957	10	70	20	0
1958 bis 1968	15	55	30	0
1969 bis 1978	15	35	50	0
1979 bis 1994	15	25	60	0
1995 bis 2001	15	20	65	0
2002 +	15	10	75	0

*Skelettbauten:

SSM: Skelettbau aus Stahl mit Ausfachung aus Mauerwerk
 SSB: Skelettbau aus Stahl mit Ausfachung aus Beton
 SSL: Skelettbau aus Stahl mit Ausfachung aus Leichtbauelementen
 SBM: Skelettbau aus Beton mit Ausfachung aus Mauerwerk
 SBB: Skelettbau aus Beton mit Ausfachung aus Beton
 SBL: Skelettbau aus Beton mit Ausfachung aus Leichtbauelementen
 SHM: Skelettbau aus Holz mit Ausfachung aus Mauerwerk
 SHL: Skelettbau aus Holz mit Ausfachung aus Leichtbauelementen

*Massivbauten:

MMM: Massivbau aus Mauerwerk
 MMB: Massivbau aus Beton

3.3. Komponententypologie

Bestandteile von Gebäuden sind in PRRIG allgemein als Komponenten definiert, die sich wiederum in Bauteile strukturieren. Es handelt sich bei Komponenten um (geometrische) Konstrukte, die sich gegeneinander hinsichtlich Art, Nutzen bzw. Zweck unterscheiden. Eine Komponente besteht aus verschiedenen Bauteilen² (siehe Abbildung 6); die Komponente Fenster z.B. aus den Bauteilen Rahmen, Scheibe, Band, Griff. Neben Bauteilen können auch Typen einer Komponente unterschieden werden, z.B. Holz(rahmen)fenster und Metall- oder Kunststofffenster.

² Ein einzelnes Element, das in Kombination mit anderen Bauteilen eine Komponente ergibt.

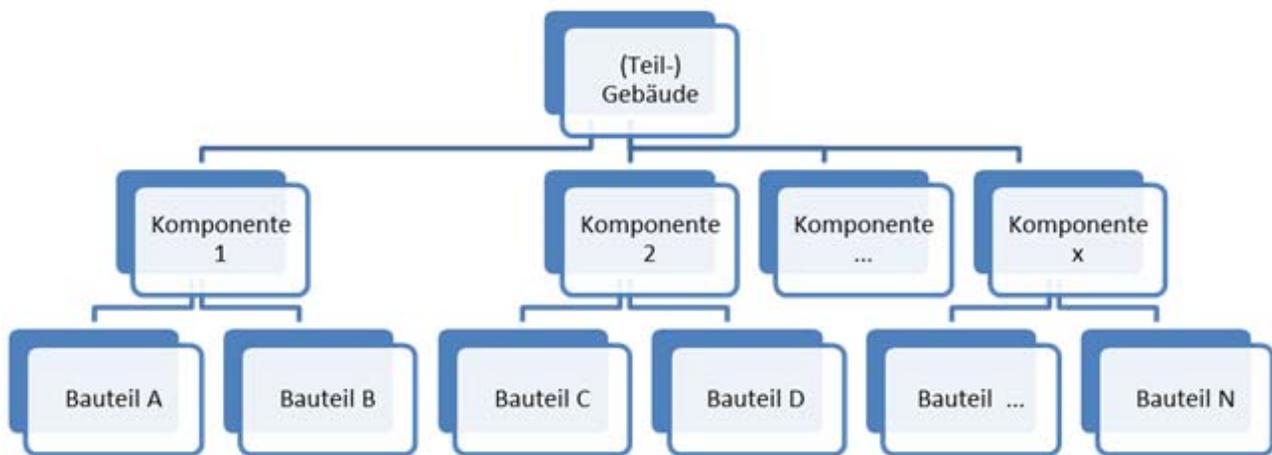


Abbildung 6: Hierarchie Gebäudeaufbau aus Komponenten, Bauteilen und Bauteiltypen.

Zusammenfassend über alle Disziplinen handelt es sich bei Komponenten und Bauteilen um den Bestandteil oder ein Element eines Ganzen, beim Bauteil um ein Einzelteil für ein (technisches oder Bau-)Werk. Sinngemäß werden diese Begriffe jedoch im Baubereich für unterschiedliche Zwecke benötigt und damit auch definiert. Diese können daher prinzipiell als Grundlage einer Typologie verwendet werden. In PRRIG wurde die Verwendung insbesondere folgender Schemata geprüft:

- Industry Foundation Classes (IFC): die IFC wurden als offener Standard vom Verein buildingSMART als Basisdatenmodell für den modellbasierten Datenaustausch im Bauwesen als Grundlage des Building Information Modeling entwickelt. Sie sind als ISO-Standard - ISO 16739:2013 publiziert (buildingSMART 2016).
- Die Kostenermittlung für die Planung von Gebäuden basiert auf einem komponentenbezogenen Denken ähnlich wie in Abbildung 6 gezeigt, und ist damit auch auf keine allgemeingültige Typologie zurückzuführen. Insbesondere enthält die DIN 276-1:2006-11 in der Gliederungsebene der Bauwerkskosten eine bauteilorientierte Struktur, die das Gebäude in einzelne Bauelemente (Grobelemente in der zweiten Gliederungsebene und Feinelemente in der dritten Gliederungsebene) strukturiert.

Praktikabler/Sinnvoller für PRRIG erschien die Wahl der DIN 266 und 276 als Grundlage, da in den Bauunterlagen ggf. vorhandene Detailpläne zu Ausführungen sich an diesen Gliederungen orientieren.

Zur Ableitung der in PRRIG verwendeten Typologie wurden die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

1. Auflistung aller Komponenten eines Gebäudes gem. DIN 266 und 276.
2. Ergänzung durch Bauteile gem. DIN 276
3. Gezielte Recherchen zu Details der jeweiligen Komponente und ihren Bauteilen.

-
4. In Abhängigkeit des Recherche-Ergebnisses evtl. Umgruppierung von Bauteilen bzw. Komponenten, insbesondere wenn die Bauteil-Gruppe sich als sehr umfangreich hinsichtlich einer weiteren Untergliederungsstufe darstellt, oder verschiedene Komponenten identische Bauteile aufweisen.

Die in PRRIG entwickelte Typologie für Komponenten ist in Anhang A.6 dokumentiert.

4. Datenmodellierung und Geodaten

4.1. Geodatenbank

Ziel dieses Kapitels ist es, die theoretischen Voraussetzungen für ein GIS-basiertes Gebäudekataster für Nichtwohngebäude (NWG) zu schaffen sowie entsprechende Datenquellen zu identifizieren und diese zu beschreiben. Die flächendeckende Geodatenerfassung in der Zielregion erfolgt über einen kombinierten Ansatz. Geobasisdaten (ALKIS / CityGML LoDI (Level of Detail)) werden, soweit möglich, mit weiteren Geodaten angereichert, um vorhandenen Datenlücken zu schließen. Das methodische Vorgehen beinhaltet neben einer Beschreibung der Datenakquise die Definition eines theoretischen Zielmodells. Primäres Ziel der Geodatenbereitstellung ist es, ein möglichst exaktes Abbild aller Gebäude der Zielregion zu erhalten. Dies kann im Idealfall durch Datensätze mit möglichst detaillierter Gebäudemodellierung und semantischem Detailreichtum erfolgen.

Die räumliche Perspektive der Bestandsdatenerfassung soll auf vorhandenen räumlichen Datenbeständen aufbauen. Deren Kombination mit Hilfe von Geoinformationssystemen (GIS), konkret der flächendeckenden Zuordnung aller NWG in die spezifische Gebäudetypologie, ermöglicht eine spätere umfassende Kartierung der Materialbestände. Für die einheitliche Modellierung und Aufbereitung der Geodaten ist es notwendig, ein geeignetes Zielmodell zu definieren. Dies erfolgte in Form eines konzeptionellen Datenbankmodells, welches in Abbildung 7 dargestellt ist. Ziel war es, alle möglichen Attribute und Abhängigkeiten des Geodatenmodells zu definieren, um diese im weiteren Verlauf in der Datenbank als Zielmodell zu modellieren. Weiter dient das Modell dazu, notwendige Detailgrade der Ausgangsdaten zu spezifizieren.

Aus der vorangegangenen Beschreibung lassen sich vereinfacht für den Bereich der NWG und den regionalen Betrachtungsrahmen die folgenden Kerninformationen von hoher Relevanz ableiten:

- Geometrisch
 - räumliche Verortung / räumlicher Bezug
 - Fläche
 - Höhe
 - Bruttorauminhalt; Grund- und Nutzflächen
- Semantisch
 - Nutzungsart/-klasse des Gebäudes
 - Gebäudealter / Baujahr / Baualtersklasse
 - Bau- oder Konstruktionsarten

Die Kerninformationen stellen nur einen groben Bezugsrahmen dar und können in Form von konkreten Attributen mit deren Beschreibung zum jetzigen Zeitpunkt konkretisiert werden.³

³ An dieser Stelle ist eine detaillierte Modellierung in Form von Objektarten und möglichen Codelisten zur Definition und Einschränkung der Attribute nicht Ziel der Analyse. Die Beschreibung dient einer rein konzeptionellen Orientierung.

Tabelle 7: Attributbasierte Darstellung (Idealtypisch)

Attribut	Beschreibung / Definition
Gebäudeart	Spezifische Art eines Gebäudes
Gebäudetyp (Nutzung)	Gemäß vorhandener oder eigener Gebäudetypologie
Gebäudehöhe	Absolut (optional Stockwerke)
Volumen (m ³ BRI)	Abgeleitet aus Gebäudehöhe des Gesamtgebäudes oder Teilhöhen der Gebäudeteile
Baujahr	Jahr der Errichtung - Als Baujahr des Gebäudes gilt das Jahr der Bezugfertigstellung
Baualtersklasse	Festlegung des Baujahrs in Form einer Baualtersklasse
Tragwerk- / Konstruktionsmerkmale	Optionale Informationen zum Gebäude

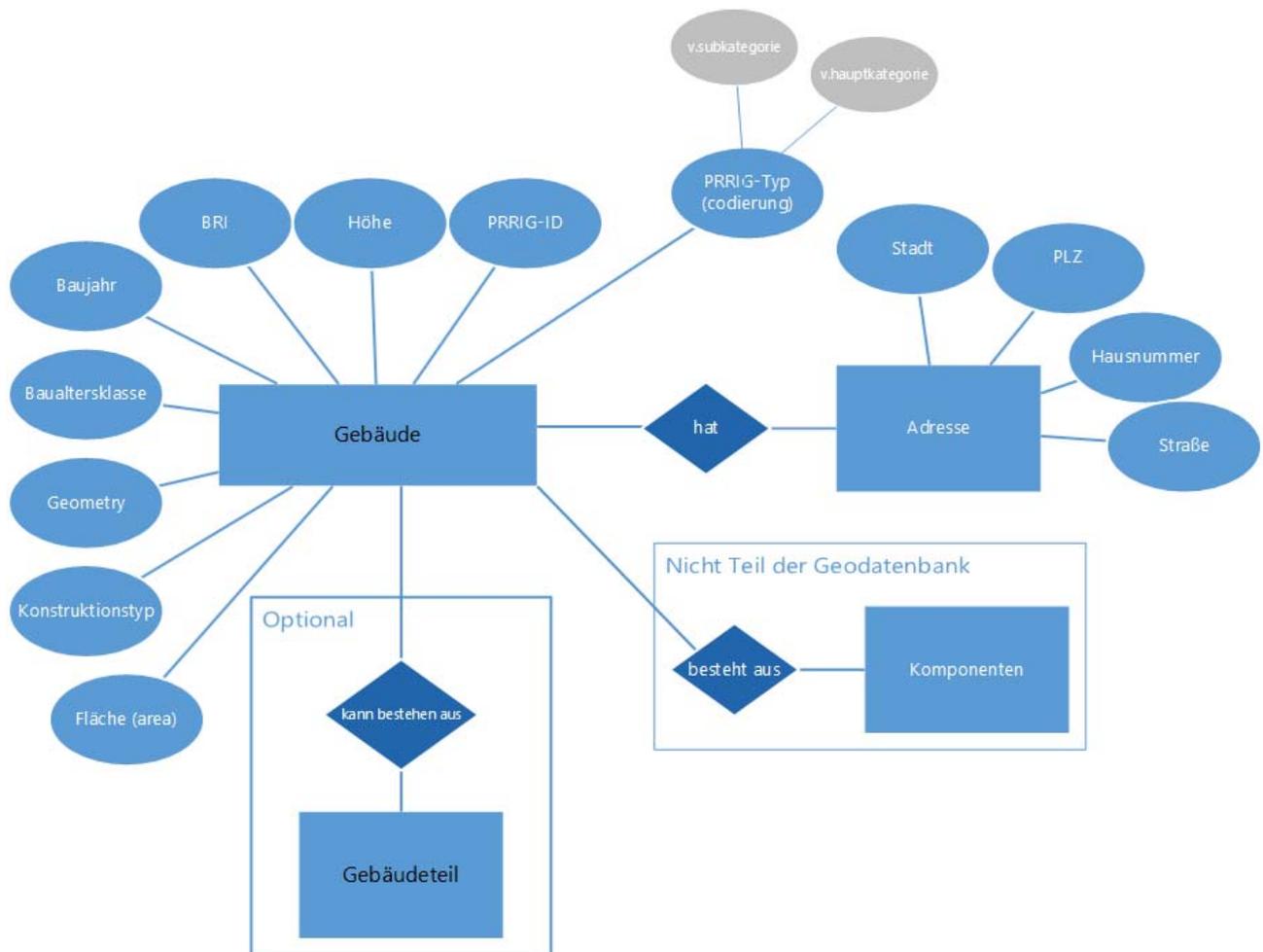


Abbildung 7: Theoretisches Zieldatenmodell zur Erfassung von NWG im Projekt PRRIG.

Neben der konzeptionellen Beschreibung des Zielmodells stellt sich die Frage der konkreten inhaltlichen Erfassung der Daten. Im Bereich der räumlichen Perspektive waren im Projekt PRRIG keine flächendeckenden Datenerfassungen angedacht. Es wurde somit der Ansatz gewählt, vorhandene Geodatenätze zu identifizieren und in das Zielmodell zu übertragen.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Hauptanforderungen, welche mit dem zu erstellenden Gebäudekataster zur Bestandserhebung von NWG erfüllt werden müssen:

- Der Bruttorauminhalt jedes Gebäudes muss ermittelt werden.
- Alle NWG im Projektgebiet müssen der in PRRIG definierten Gebäudetypologie zugeordnet werden.
- Jedem Gebäude muss ein Baualter bzw. eine Baualtersklasse zugewiesen werden. Die Baualtersklassen sind ebenfalls im PRRIG-Projekt definiert.



Abbildung 8: Schematische Darstellung der Hauptanforderungen an die Geodatenanalyse / Bereitstellung.

4.2. Geobasisdaten (ALKIS) – Deutschland

„Geobasisdaten sind Daten des amtlichen Vermessungswesens, welche die Landschaft, die Liegenschaften und die Georeferenzierung auf der Grundlage eines einheitlichen Raumbezugs anwendungsneutral darstellen und beschreiben. Sie sind Grundlage für Fachanwendungen mit Raumbezug.“ (AdV AK Liegenschaften, zitiert aus: Ostrau 2010)

Das AFIS-ALKIS-ATKIS (AAA)-Modell wird auch als die nationale Geodatenbasis in Deutschland bezeichnet. Die sogenannten „Objektartenkataloge“ stellen eine möglichst einheitliche Realweltmodellierung dar und wurden in einem umfassenden Prozess „sinnvoll semantisch harmonisiert“ (AdV 2008). Für eine detaillierte Darstellung des AAA-Modells sei an dieser Stelle auf die entsprechende Fachliteratur sowie deren zu Grunde liegende Spezifikationen verwiesen (AdV 2014a, 2012b, 2014c, 2008; Kummer et al. 2014). Als grundsätzlich homogener, flächendeckender amtlicher Geobasisdatenbestand stellen die ALKIS Daten die logische Grundlage für die flächendeckende Erfassung der Gebäudestruktur dar.

4.3. ALKIS Objektartenbereich ‚AX_Gebäude‘

Definiert ist ein Gebäude nach ALKIS wie folgt:

„Gebäude ist ein dauerhaft errichtetes Bauwerk, dessen Nachweis wegen seiner Bedeutung als Liegenschaft erforderlich ist sowie dem Zweck der Basisinformation des Liegenschaftskatasters dient.“ (HLBG 2013a)

Die in ALKIS definierte Gebäudefunktion wurde bei der Erstellung der 3D-Modelle im CityGML Standard übernommen und ist somit auch bei Analysen der 3D-Datenbestände anwendbar. Relevant für die Zuordnung zu entsprechenden Gebäudetypen ist das Attribut Gebäudefunktion, definiert als *„zum Zeitpunkt der Erhebung vorherrschende funktionale Bedeutung des Gebäudes (Dominanzprinzip).“* (HLBG 2013a) Zum Thema des Sanierungszustands, möglichen Um-

nutzungen und im Besonderen Umbauten der Gebäude können keine Informationen aus den Geobasisdaten gewonnen werden. Eine Datenerhebung findet in der Regel nur zum Errichtungszeitpunkt des Gebäudes statt. In Hessen werden 22 Wertarten zur Definition der Gebäudefunktion geführt. Eine Übersicht zur länderspezifischen Auswahl der Gebäudefunktion findet sich in Anhang A.18 - ein Auszug aus dem Dokument der AdV zum „*Grunddatenbestand und länderspezifischen Inhalten*“ (AdV 2012a).

4.4. 3D Stadtmodelle - Der Standard CityGML

CityGML (ausgeschrieben: „City Geography Markup Language“) ist ein durch das OGC standardisiertes XML-basiertes Austauschformat für 3D-Stadtmodelle, das als Anwendungsschema der Geographic Markup Language (GML) realisiert wurde (OGC 12-019). Mit dem auf XML (Extensible Markup Language) basierenden GML ist sichergestellt, dass die Beschreibung der raumbezogenen Objekte und insbesondere der verwendeten geometrischen Elemente konform zu den ISO-Standards 19107 (Spatial Schema) und 19137 (Core profile of Spatial Schema) ist (Coors 2015). In der aktuellen CityGML Version 2.0 von 2012 umfasst die Modellierung Gelände, Gebäude, Vegetation, Gewässer, Transportwege, Straßenmöblierung, Tunnel und Brücken.

In Deutschland ist in den nächsten Jahren die Bereitstellung eines flächendeckenden 3D-Katasters geplant (Gruber et al. 2014). Für ein 3D-Gebäudemodell in Level of Detail (LoD) I strebte die AdV die flächendeckende Verfügbarkeit der bundesweit über 51 Millionen Gebäudeobjekte für das Jahr 2015 an, dieses Ziel wurde nicht ganz erreicht (Oestereich und Schleyer 2015). Als Datengrundlage werden hierbei die Gebäudegrundrisse aus ALKIS sowie Höheninformationen aus luftgestütztem Laserscanning (Airborne Laser Scanning – ALS) oder photogrammetrischer Auswertung verwendet. Eine flächendeckende Modellierung in LoD2 ist derzeit noch unklar, befindet sich aber bereits in Planung (Oestereich und Schleyer 2015). LoD2 umfasst im Gegensatz zu LoD I u.a. eine exakte Gebäudedachmodellierung.

Tabelle 8: Die Level of Detail des 3D CityGML Standards, Bildquelle: (Kaden und Coors 2015)

Level of Detail	Beschreibung	Beispiel
LoD0	Regionalmodell (2,5D; DGM)	
LoD1	Klötzchenmodell ohne Dachformen	
LoD2	Detailliertes Modell mit differenzierten Dachformen	
LoD3	Fein ausdifferenziertes Architekturmodell	
LoD4	Innenraummodell	

Mit dem Aufbau und der flächendeckenden Verfügbarkeit von 3D-Gebäudemodellen (LOD I) ist eine essentielle Geodatengrundlage vorhanden, die prinzipiell flächendeckend verfügbare Geodatensätze des amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystems (ALKIS) des Landes Hessen nutzt. Für das Bundesland Hessen steht seit dem Jahr 2016 erstmalig ein flächendeckender LoD I Datensatz zur Verfügung. Dieser fand im Rahmen des Projektes Anwendung. Allerdings befand sich das flächendeckende Modell für das Bundesland Hessen während der Projektlaufzeit noch im Aufbau, so dass zu Beginn nur Ausschnitte zu Testzwecken und einer exemplarischen Umsetzung herangezogen werden konnten. Aus diesem Grund wurde eine erste Umsetzung anhand der vorgestellten Fallstudie Frankfurt-Ost / Maintal vorgenommen.

Datensatzbeschreibung LoD I – Hessen

„Ein 3D-Gebäudemodell ist ein digitales, numerisches Modell der Erdoberfläche, reduziert auf die in ALKIS definierten Objektbereiche Gebäude und Bauwerke. Unterirdische Gebäude und Bauwerke werden nicht berücksichtigt. Das 3D Gebäudemodell ist eine Erweiterung des Datensatzes der ALKIS-Gebäudeumringe um die dritte Dimension.“ (HVBG Hessen 2014)

Der Datensatz enthält damit dieselben Gebäudegrundrisse wie jene aus dem hessischen ALKIS-Datenbestand. Auch ist eine spätere Verknüpfung der beiden Datensätze (ALKIS und LOD I 3D Modell) über die identisch geführte GML_ID möglich. Die Daten liegen in ETRS89 / UTM (Zone 32) vor. Die Lagegenauigkeit entspricht der aus ALKIS mit einer Höhengenaugigkeit von größtenteils ± 5 m (Ausnahmen sind bei komplexen Dachformen möglich). Die Berechnung der

Höhe des LoD I „Klötzchenmodells“ erfolgt über die Bildung des Mittelwerts aus Trauf- und Firsthöhe. In Einzelfällen, wenn keine Daten aus einer Befliegung mittels ALS vorhanden sind, wird eine Standardhöhe von 9 Metern definiert. Als Datenquelle für die Bodenhöhe wird ein digitales Geländemodell (DGM1, Grundlage ALS) verwendet, für die Dachhöhe 3D-Punkte aus verschiedenen ALS-Befliegungen zwischen 2007 und 2014 (HVBG Hessen 2014). Geringere Abweichungen im Modell sind somit durchaus vorhanden und müssen toleriert werden, wobei hier die nicht verifizierte Annahme getroffen werden kann, dass Abweichungen bei größeren Gebäudekomplexen und insbesondere solchen mit Flachdächern als unwesentlich eingestuft werden können. Größere Abweichungen in der Ermittlung der Gebäudehöhen treten vor allem bei kleineren Gebäuden mit umgebender Vegetation (Höhenwert wird übernommen) und komplexeren Dachformen auf (HVBG Hessen 2014).

Die Berechnung des BRI kann somit vereinfacht über folgende Formel durchgeführt werden:

$$\text{BRI} = \text{Grundfläche} \times \text{Gebäudehöhe}$$

Formel: vereinfachte Berechnung des Bruttorauminhalts

Neben dem LOD I Datensatz kommen Daten für die Projektregion aus dem ALKIS Liegenschaftskataster (2D) zum Einsatz, hier vorwiegend die Objektklassen zur Flächennutzung.

4.5. ALKIS Flächennutzung – „AX_TatsaechlicheNutzung“

Zur weiteren Identifizierung der Gebäudenutzung liegt im ALKIS Datenbestand die abstrakte Objektart „AX_TatsaechlicheNutzung“ vor, diese enthält allgemeingültige Eigenschaften zur Flächennutzung (OK ALKIS - HE V3.1 2014). Die tatsächliche Nutzung enthält dabei die Objektgruppen Gewässer, Siedlung, Vegetation und Verkehr. Als abstrakte Objektklasse beinhaltet sie vor allem die für die Fragestellung relevante Objektgruppe „AX_IndustrieUndGewerbeflaeche“ mit der Kennung 41002. Definiert wird diese als „[...] eine Fläche, die vorwiegend industriellen oder gewerblichen Zwecken dient“ (OK ALKIS - HE V3.1 2014).

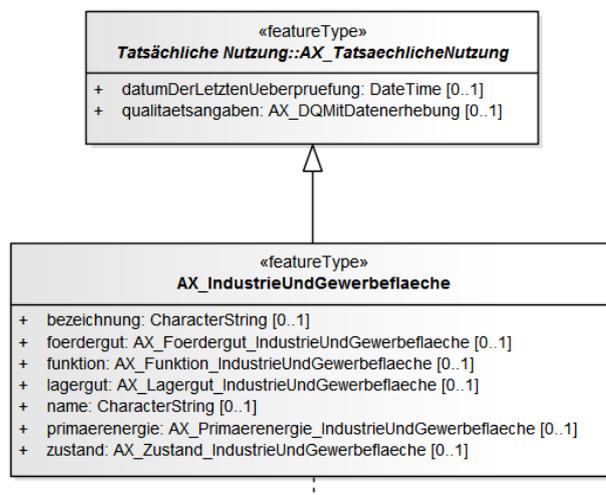


Abbildung 9: Beispielhafte ALKIS Modellierung „AX_IndustrieUndGewerbe“ und die abstrakte Klasse „AX_TasaechlicheNutzung“ (UML Modell aus GeoInfoDok 6.0.1 AdV 2008)

Die Objektklasse „AX_TatsaechlicheNutzung“ unterscheidet in die „Nutzung“ z.B. 41002 (IndustrieUndGewerbefläche) sowie in die einzelnen Funktionen, z.B. die Funktion (41002:2501) für „Gebäude- und Freifläche Versorgungsanlage“ (OK ALKIS - HE V3.1 2014). Die Funktion ist definiert als „die zum Zeitpunkt der Erhebung vorherrschende Nutzung (Dominanzprinzip)“.

4.6. Daten des Regionalverbands Frankfurt Rhein/Main zur historischen Siedlungsentwicklung

Wie die vorangegangenen Beschreibungen bereits verdeutlicht haben, ist gerade die Abschätzung und Erfassung des Gebäudealters bzw. der Einordnung dieser in Baualtersklassen eine wichtige Grundinformation. Die vorliegenden Geobasisdaten des HLBG enthalten diese Information nicht. Das Gebäudealter ist zwar in der ALKIS Datenmodellierung vorhanden, wird im Hessischen Kataster jedoch seit der Umstellung von ALK auf ALKIS nicht mehr geführt. Auf die Hintergründe warum diese Information zwar im Datenmodell explizit modelliert ist, jedoch nicht gefüllt, kann an dieser Stelle nicht vertiefend eingegangen werden. Die nicht rechtlich verpflichtende Erfassung des Gebäudealters kann jedoch als ursächlich angesehen werden. Zur Erfassung der Gebäudealtersstruktur bedarf es daher anderer Datensätze oder statistischer Annahmen.

Die Verschneidung der Gebäudeflächen mit Datenquellen zur historischen Siedlungsentwicklung (RegioMap) stellt eine erste Orientierung zum Gebäudealter der Gebäude dar.



Abbildung 10: Beispielhafte Darstellung der RegioMap (Regionalverband FrankfurtRheinMain 2013)
Hintergrund: OpenStreetMap (Auszug)

Auszugsweise Beschreibung des Datensatzes nach (Regionalverband FrankfurtRheinMain 2013):

„Die Historische Karte des Regionalverbandes dient dem langfristigen Monitoring der Veränderungen an Bebauungs-, Luftverkehrs-, Wald- und Gewässerflächen sowie der Abdeckung durch das Autobahn- und Schienennetz.“

Der vorliegende Datenbestand umfasst die Bebauung. Erfasst ist der Zeitraum von etwa 1800 bis 2009 für das Gebiet der 75 Mitgliedskommunen.“

Bedingungen für die Nutzung

Diese Daten sind im Rahmen des §5 Urheberrechtsgesetz geschützt. Es gilt für Dritte ein Änderungsverbot und das Gebot der Quellenangabe.

Räumliche Auflösung

Zielmaßstab: 1 : 25000

Räumliches Referenzsystem

Geographisches Koordinatensystem: GCS_ETRS_1989

Projektion: ETRS_1989_UTM_Zone_32N

Datenquelle und Erhebungsmethode

„Erfasst sind vier Zeitpunkte für das jeweilige Betrachtungsgebiet (meist ein Straßengebiet): a) Älteste verwendete Quelle, b) letzte Quelle für noch fehlende Bebauung, c) erste Quelle für Bebauung und d) letzte Quelle für Bebauung.“

„Die Grundstücke in einem Straßengebiet werden in ihrer Gesamtheit (also inkl. Nutz- und Wirtschaftsgärten) als bebaut verstanden, wenn ein wesentlicher Anteil (kann unter einem Viertel liegen) mit Gebäuden bestanden ist. Bei jedoch unterproportionalen Anteilen von Gebäuden an der Grundstücksfläche (weit unter einem Fünftel) sind die Grundstücke unterteilt und nur der kleinere Teil als "Bebauung" gekennzeichnet. Die hintere Bebauungsgrenze folgt meist den jeweiligen rückwärtigen Gartenflächen und nicht den Baufluchten.“ [sic!]

Der Datensatz hat die folgenden relevanten Attribute (Auszug):

- JAHR0A - Früheste genutzte Quelle für das Betrachtungsgebiet (meist 1.1.1797, auch wenn unbebaut),
- JAHR0E - Letzte genutzte Quelle, die das Fehlen des Objektes anzeigt,
- JAHR1A - Früheste genutzte Quelle, welche die Existenz des Objektes anzeigt (zusätzlich als Attribut JAHR vom Typ Integer abgelegt),
- JAHR1E - Früheste genutzte Quelle, welche auf Industriebrachen, Konversionsflächen und ähnlichen das erneute Fehlen des Objektes anzeigt. Weist die Angabe pauschal in die nahe Zukunft (1.1.2020), besteht die Bebauung noch.
- GH_QUEL01: Quellen für die Bebauungserfassung (TK, Realnutzung etc.)

Für die weitere Umsetzung und eine erste Orientierung dient das Attribut „JAHR1A“ als erster Beleg für „bebaut“. „JAHR1E“ könnte in die Betrachtung aufgenommen werden, es wird an dieser Stelle jedoch davon ausgegangen, dass Gebäude, welche bereits seit längerem nicht mehr bestehen, bereits nicht mehr im ALKIS-Datenbestand vorhanden sind. Ansätze für weitere Untersuchungen sind jedoch gegeben.

Eine Integration der Daten kann somit weitestgehend automatisch erfolgen. Zu evaluieren ist, in wie weit sich die Datensätze „semi-automatisch“, kombiniert mit einer visuellen Kontrolle, durch

den Bearbeiter validieren lassen und ob zukünftig weitere Datensätze zur Qualitätssicherung mit einbezogen werden können.

4.7. Vorgehen der Gebäudetypzuordnung

Das definierte Zielmodell sowie die in Kapitel 3.1 erläuterte Gebäudetypologie stellen den theoretischen Betrachtungsrahmen der zu definierenden Gebäudekategorisierung dar. Um eine konkrete Zuordnung des Gebäudebestandes, respektive einzelner Gebäude, zur Gebäudetypisierung vorzunehmen, sind aus den vorhandenen Datenbeständen Überführungen notwendig. Diese können in erster Instanz theoretisch in Form von Transformationstabellen oder auch „Mappingtabellen“ vorgenommen werden.

Alle Analysen und Zuordnungen beziehen sich auf im Bundesland Hessen zur Verfügung stehende ALKIS-Datensätze (Basisdaten). Ein Mapping der Nutzungen und Gebäudefunktionen wurde auch für den gesamten ALKIS Objektartenkatalog durchgeführt, wird an dieser Stelle aber nicht weiter erörtert. Bundesweit sind z.B. hinsichtlich der Gebäudefunktion nur die Objektarten Wohnen, Wirtschaft und Gewerbe sowie Gemeinwesen verpflichtend erfasst und vollumfänglich differenziert. Nicht erfasst sind Informationen zu Nichtwohnnutzungsanteilen in Wohngebäuden. Für die Umsetzung und aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nur die in Hessen zur Anwendung kommenden Teile des ALKIS-Objektartenkataloges (HLBG 2013a) praktisch umgesetzt.

Vorteil eines Ansatzes auf Basis von 3D-Gebäudemodellen ist die damit mögliche direkte Ableitung des Brutto-Rauminhalts (BRI). Dieser kann für alle Gebäude aus den 3D-Gebäudedaten berechnet werden. Als einzige Einschränkung ist hierbei anzuführen, dass mögliche Unter- und Kellergeschosse nicht aus den 3D Gebäudedaten berechnet werden können. Die derzeitigen LoD I Datensätze modellieren Gebäude erst ab der Erdoberfläche. Mögliche spezielle Dachformen und deren Volumina können ebenfalls nicht aus den Daten abgeleitet werden. Die im LoD I angegebene Gebäudehöhe stellt jedoch immer die mittlere Gebäudehöhe dar, was die Annahme ermöglicht, dass Dachvolumen bei NWG grundsätzlich gut abgebildet sind.

Zentrale Anforderung an die Geodatenaufbereitung war, eine geeignete Methodik zu definieren, um die Gebäudefunktionen, welche im ALKIS-Datensatz vorhanden sind, in die Zielmodellierung in PRRIG zu überführen (sog. Funktionsmapping).



Abbildung 11: Schematisches Ablaufdiagramm Integration ALKIS ‚AX_TatsaechlicheNutzung‘

AX_Gebaeude

Die Zuordnung zu den im ALKIS Objektartenkatalog (OK) V 3.1 – Profil Hessen (OK ALKIS - HE V3.1 2014) verwendeten Gebäudekategorien (AX_Gebaeude) gestaltet sich allgemein als schwierig. Wie der nachfolgende Auszug verdeutlicht, sind es vordergründig sehr allgemeingültige Gebäudefunktionen, welche im OK Verwendung finden. Diese detaillierten Nutzungen in der Zieltypologie zuzuordnen, ist daher nicht möglich. Relativ gut zuzuordnen sind die Bereiche der

Ver- und Entsorgung oder andere spezifische Nutzungen wie z.B. Krankenhäuser. Nutzungen wie „Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe“ lassen sich fast allen Zielnutzungen in irgendeiner Form zuordnen. Für die weitere Umsetzung wurde daher das Vorgehen gewählt, entsprechende Oberkategorien aus ALKIS der (in diesem Fall regional vorwiegenden) Nutzung der Zieltypologie zuzuordnen, in diesem Fall denen der Fabrik- und Werkstattgebäude. Nachfolgend ist in Tabelle 9 ein Auszug der Mappingtabelle dargestellt, auf der einerseits die Zieltypologie aus PRRIG, auf der anderen die zugeordneten Gebäudefunktionen aus ALKIS.

Tabelle 9: Auszug der Mappingtabelle der Gebäudefunktion in ALKIS und PRRIG

PRRIG Gebäudetypologie				ALKIS _ Gebäudefunktion (Hessen)	
Nr.	Typ(Nutzung)	Unter-Nr.	Unterkategorie	Wert	Bezeichnung
100	Büro- und Verwaltungsgebäude			3000	Gebäude für öffentliche Zwecke
		110	Verwaltungsgebäude	3010	Verwaltung
		120	Banken		
		130	Bürogebäude		
200	Fabrik- und Werkstattgebäude			2000	Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe <i>(Hinweis: Die meisten Gebäude aus dem Bereich der Nichtwohnnutzung befinden sich in ALKIS Hessen in dieser Kategorie)</i>
		210	Industrielle Produktions-/ Fabrikgebäude		
		220	Betriebs-/ Werkstattgebäude		
		230	Kasernen		

Die vollständige Mappingtabelle aller Gebäudefunktionen aus ALKIS zu denen der Zieltypologie - Nutzungsarten aus ALKIS ist in Anhang A.19 gegeben (Hessen, GeoInfoDok 6.0.1).

AX_TatsaechlicheNutzung

Zur weiteren Detaillierung der Gebäudefunktion wird die Objektklasse „AX_TatsaechlicheNutzung“ mit den Gebäuden räumlich verschnitten und eine Attributaktualisierung durchgeführt. Eine Zuordnung zur PRRIG-Gebäudetypologie erfolgt anhand der kombinierten Nutzung mit, sofern vorhanden, detaillierten Funktionen. Generell ist eine Zuordnung in einigen Bereichen schwer durchführbar. Beispielsweise fallen Krankenhäuser, Hochschulen, Bibliotheken und weitere in vielen Fällen in ALKIS in die identische Kategorisierung „Gebäude für Öffentliche Zwecke“. Bildungs- und Forschungsgebäude sowie Heilgebäude sind damit nicht aus ALKIS (Hessen) zuzuordnen. Vergleichbar unklare Zuordnungen ergeben sich auch in anderen Bereichen. Eine Zuordnung kann zwar in den meisten Fällen über die Beschreibung des Objektartenkataloges vorgenommen werden, in Fällen von unklaren Zuordnungen oder sehr offen formulierten Definitionen wurde anhand einer Häufigkeitsanalyse in der Projektregion die vorwiegend feststellbare Nutzung zugeordnet. Beispielhaft nachfolgend die Definition der Nutzung „AX_FlaecheGemischterNutzung“ laut Objektartenkatalog:

„Fläche gemischter Nutzung‘ ist eine bebaute Fläche einschließlich der mit ihr im Zusammenhang stehenden Freifläche (Hofraumfläche, Hausgarten), auf der keine Art der baulichen Nutzung vorherrscht. Solche Flächen sind insbesondere ländlich - dörflich geprägte Flächen mit land- und forstwirtschaftlichen Betrieben, Wohngebäuden u.a. sowie städtisch geprägte Kerngebiete mit Handelsbetrieben und zentralen Einrichtungen für die Wirtschaft und die Verwaltung“ (OK ALKIS - HE V3.1 2014, S. 114)

Diejenigen Flächen mit definierter Funktion lassen sich noch zuordnen. Ist keine Funktion definiert, können sich jedoch die unterschiedlichsten Nutzungen hinter der Festlegung „Fläche gemischter Nutzung“ verbergen. Eine Zuordnung erfolgt in diesem Beispiel somit zur PRRIG Klasse 9998: Sonstige Nichtwohngebäude.

Tabelle 10: Auszug aus der Zuordnung von ALKIS „AX_TatsaechlicheNutzung“ zur PRRIG-Typologie (Vollständiges Mapping im Anhang A.19)

PRRIG Gebäudetypologie				ALKIS Flächennutzung (ax_Tatsächliche Nutzung) - Hessen			
Nr.	Typ(Nutzung)	Unter-Nr.	Unterkategorie	Kennung	Bezeichner		
1100	Landwirtschaftliche Gebäude			Gärtnerei	41002	1490	41002:1490
				Gebäude- und Freifläche Land- und Forstwirtschaft	41006	2700	41006:2700
				Landwirtschaftliche Betriebsfläche	41006	6800	41006:6800
				Forstwirtschaftliche Betriebsfläche	41006	7600	41006:7600
				AX_Landwirtschaft	43001	*	43001:*
9998	Sonstige Nichtwohngebäude (keine Unterkategorie)			Förderanlage	41002	2510	41002:2510
				Deponie (oberirdisch)	41002	2630	41002:2630
				Deponie (untertägig)	41002	2640	41002:2640
				AX_FlaecheGemischterNutzung	41006	*	41006:*

Umsetzung des Funktionsmapping

Neben der Zuordnung von Gebäude- und Flächenfunktionen bzw. Nutzungen in Form von Tabellen ist die praktische Umsetzung des Schema- oder Funktionsmappings möglichst unabhängig vom konkreten Datensatz zu definieren. Eine Übertragbarkeit und Mehrfachverwendung der Umsetzung ist anzustreben, um die spätere Übertragbarkeit auf weitere Regionen sicherzustellen, Fehlerquellen im Nachgang identifizieren zu können und Mehraufwand zu vermeiden. Zur Umsetzung des Schemamappings wurde die Software FME verwendet (Safe Software, FME 2015). Für die Zuordnung und Aktualisierung der Gebäudetypen konnte mit einem eigenen „Custom-Transformer“ ein entsprechendes Zielschema angelegt werden, in diesem Fall die PRRIG-Gebäudetypologie. Über einen Input-Parameter kann bei der Verwendung des Transformers zwischen den Ausgangsschemata (Codelisten) gewählt werden. Umgesetzt wurde der Custom-Transformer anhand der ALKIS-Gebäudefunktion sowie der Tatsächlichen Nutzung (Flächen). Vereinfacht nimmt der Transformer das Attribut der Ausgangsnutzung entgegen (z.B. Verwaltung - ALKIS 3010) und weist die PRRIG Zielfunktion (110 = Verwaltungsgebäude) zu.

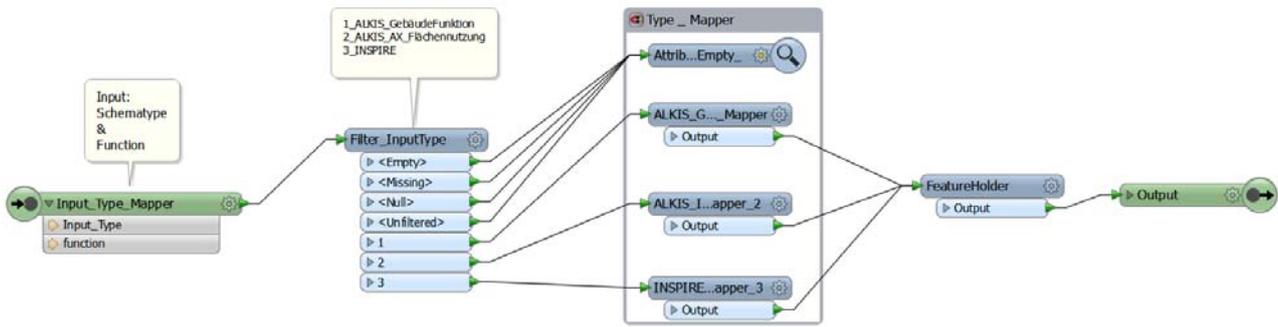


Abbildung 12: Mapping der ALKIS Nutzungen / Funktionen (FME)

Zur Zuordnung der Attribute kommt der FME „AttributeMapper“ zum Einsatz, welcher Ausgangswerte entsprechenden Zielwerten zuweist.

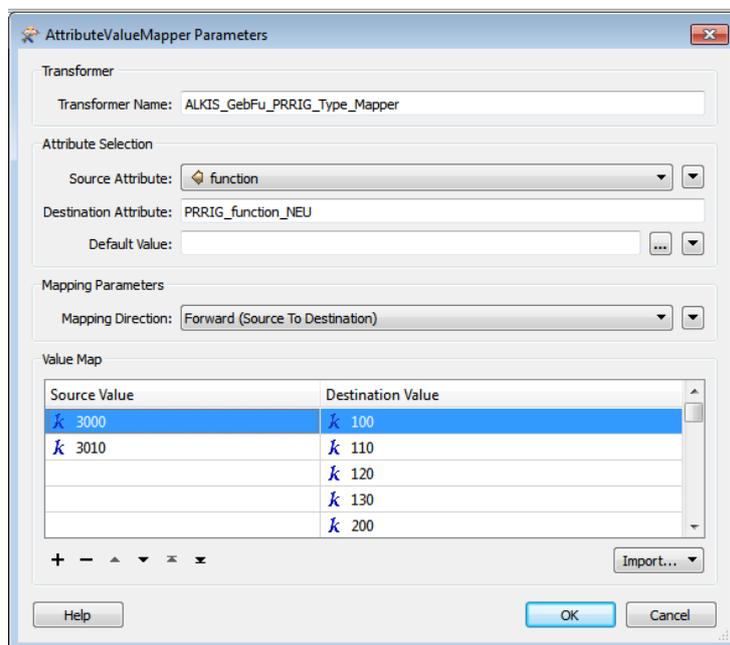


Abbildung 13: „AttributeMapper“ in FME (Auszug – Zuweisung ALKIS Funktion 3000 zu PRRIG 100)

Vorteile dieser Lösung sind vor allem die Übertragbarkeit sowie die Möglichkeit einer späteren Anpassung und Erweiterung. Über die Workflow Steuerung in FME sind Prozesse beliebig oft wiederholbar und variabel einsetzbar. Der Custom-Transformer für das Mapping von Nutzungsarten wird damit unabhängig vom Input-Datenformat. ALKIS-Daten können so beispielsweise direkt per NAS (Normbasierte Datenschnittstelle in ALKIS), über 3D-Modelle im CityGML-Standard oder aber auch in Form von einfachen Vektordatensätzen (z.B. ESRI Shape) importiert und zugeordnet werden, ohne den eigentlichen Transformer anpassen zu müssen.

Eine Beschreibung der Ergebnisse für die Fallstudie Frankfurt-Ost / Maintal erfolgt in Kapitel 7.1.

5. Bestandsaufnahmen von Gebäuden

Das Ziel des nachfolgend beschriebenen Arbeitspaketes ist die Erstellung eines projektspezifischen Untersuchungs- und Dokumentationsschemas mit Anleitung zur Durchführung von Datenerhebungen. Dies erfolgt durch die Entwicklung eines Leitfadens zur Bestandsaufnahme von Art und Mengen verbauter Stoffe in Gebäuden.

Im Folgenden (Kapitel 5.1) werden zunächst die notwendigen theoretischen Grundlagen erläutert. Diese umfassen die Grundlagen

- zum Gebäude als Untersuchungsgegenstand mit besonderem Fokus auf NWG aufgrund deren besonderem Stellenwert bzgl. verbauten Materialien,
- zu allgemein in Gebäuden verbauten Stoffen, welche besondere Relevanz im Hinblick auf eine Kreislaufwirtschaft im Zusammenhang mit Urban Mining besitzen sowie zu Stoffen, die Probleme bei der Verwertung erzeugen,
- zum Gebäude in situ und zu bauwerksbezogenen Unterlagen als potentielle Träger von Informationen sowie zu den verbundenen Problemstellungen bei der Beschaffung von relevanten Dokumenten,
- zu Vorgehensweisen bei einer Auswertung von Informationsquellen sowie
- zur allgemeinen Vorgehensweise bei einer Bestandsaufnahme als organisatorischer Rahmen der Identifizierung, Auswertung und Dokumentation von materialbezogenen Informationen.

Als zusätzliche Grundlage werden die allgemeinen Einflussfaktoren einer Bestandsaufnahme erläutert, da sie u.a. als Kriterien einer Bewertung des Leitfadens auf Plausibilität herangezogen werden.

Aus den erarbeiteten Grundlagen wird unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren und den allgemeinen Anforderungen einer Bestandsaufnahme der Leitfaden entwickelt (Kapitel 5.2), welcher Anwendung bei den durchgeführten Gebäudeuntersuchungen findet. Fortlaufend kann die Prüfung des Leitfadens mithilfe der Erfahrung aus der Anwendung, den Ausprägungen der Einflussfaktoren und des Erfüllungsgrads der Anforderungen hinsichtlich seiner Plausibilität erfolgen.

In Abschnitt 5.3 wird ein Überblick zu Abbruchmaßnahmen gegeben.

Die erarbeiteten Grundlagen werden umgesetzt in eine Datenbank (Abschnitt 5.4).

5.1. Grundlagen zur Bestandsaufnahme

Ziel dieses Kapitels ist eine umfassende Einführung in die Thematik einer Bestandsaufnahme. Dafür wird der Begriff im Kontext der Einordnung der Bestandsaufnahme weiter differenziert und darauffolgend die Grundlagen vermittelt. Des Weiteren werden zwei unterschiedliche Vorschläge zum Ablauf bzw. zur Durchführung einer Bestandsaufnahme von Gebäuden gegenübergestellt. Die Erkenntnisse dieses Kapitels dienen als Basis für die Konzeption eines Leitfadens zur

Durchführung einer Bestandsaufnahme mit dem Ziel der Quantifizierung von verbauten Materialien.

5.1.1. Allgemeine Zielsetzung und Anwendungsbereich

Anhand einer Bestandsaufnahme sollen die Charakteristika eines Bauwerks identifiziert, gesammelt und anschließend dokumentiert werden. Zu den wichtigsten Charakteristika gehören u.a. die Bauart und Bauweise, Baumaterialien und -mengen, die Geometrie und Abmessungen, das Lebensalter und die Obsoleszenz (Veralterung eines Produkts bzw. Gebäudes) des Bauwerks (Klingenberger 2007).

Eine Bestandsaufnahme im Zusammenhang von Gebäuden kann für verschiedene Aufgabenstellungen Anwendung finden, darunter z.B.

- für eine bautechnische Beschreibung des Gebäudes,
- zur Hilfestellung für die Planung eines Um- bzw. Rückbaus von baulichen und technischen Anlagen,
- zur Massenermittlung von verbauten Rohstoffen und
- als Hilfsmittel zur Erfassung und zur nachvollziehbaren Dokumentation der gebäude-relevanten Daten (Rommel 1999). bspw. für eine Bewertung von Immobilien im Rahmen der Technischen Due Dilligence.

5.1.2. Begriffliche Einordnung

Die Fachliteratur liefert keine einheitliche Definition, sodass eine begriffliche Abgrenzung notwendig erscheint. Der Begriff „Bestandsaufnahme“ wird häufig als die Aufgaben zur Identifizierung und Dokumentation gebäudetechnischen Daten aus vorhandener Substanz definiert.

Die HOAI vergibt mit der Bestandsaufnahme als eine mögliche Leistung der Objektplanung in den Leistungsphasen 1 und 2 keine Regelung bezüglich des Umfangs, der Vorgehensweise sowie der Ergebnisdokumentation. Die inhaltliche und fachliche Ausgestaltung einer Bestandsaufnahme soll der Planer, orientiert am jeweiligen Einzelfall, mit dem Auftraggeber abstimmen und anschließend festlegen. Als Vereinbarung festzuhalten sind dabei z.B. die aufzunehmenden Daten, die Genauigkeit der Erfassung sowie der Umfang der Dokumentation (Rommel 1999).



Abbildung 14: Kategorisierung der Bestandsaufnahme.

Nach (Klingenberger 2014) kann die Bestandsaufnahme in drei Kategorien unterschieden werden (siehe Abbildung 14). Wesentliches Unterscheidungsmerkmal für die Kategorisierung stellt der Fokus auf die zu gewinnenden Daten bzw. Informationen dar. Die maßliche Bestandsaufnahme

umfasst unter anderem die Erfassung der Längen-, Höhen- und Winkelmaße, die Kontrolle und ggf. Aktualisierung von Bestandsplänen oder, sofern erforderlich, die Anfertigung neuer Bestandspläne, sowie das quantitative Dokumentieren des geometrischen Bestands. Die Technische Bestandsaufnahme dagegen umfasst die Identifikation der Komponenten von Gebäuden sowie die Erfassung der Konstruktionen und Materialien, Anlagen und deren Funktionen nach Art und Zustand. Die Nutzungsbezogene Bestandsaufnahme dient der Erfassung der Nutzerdaten, darunter der Aufnahme von aktuellen und historischen Informationen über die Gebäudenutzung wie bspw. die Verbrauchsdaten von technischen Anlagen.

Das Ergebnis der Bestandsaufnahme ist somit eine qualitative Überprüfung und Dokumentation des Bestands. Mit dem Ziel einer mengenmäßigen Erfassung von Baumaterialien liegen die Untersuchungsschwerpunkte auf der technischen sowie der maßlichen Bestandsaufnahme. Die Nutzerdaten sind im Kontext des Forschungsprojektes von nachrangigem Interesse, weshalb auf eine detaillierte Ausführung zur nutzungsbezogenen Bestandsaufnahme verzichtet werden kann.

Anhang A.2 liefert eine grobe schematische Darstellung der Bestandsaufnahme in Verbindung mit den Erfassungsmethoden zur Bestimmung der Eigenschaften eines Gebäudes und der Generierung von Informationen.

5.1.3. Empfehlungen zur Vorgehensweise

Aufgrund der hohen Individualität von Bauwerken stellen sich für jedes Vorhaben einer Bestandsaufnahme andere Anforderungen. Allein der Umfang oder das Ziel einer Bestandsaufnahme besitzen wesentlichen Einfluss auf deren Ablauf. In der Fachliteratur verschiedener gebäudebezogener Sachbereiche werden Empfehlungen zur Durchführung einer Bestandsaufnahme beschrieben, die sich im Wesentlichen in der Umsetzung unterscheiden. Es sind jedoch auch Analogien zu erkennen, welche folgend anhand einer Gegenüberstellung zweier Ansätze vermittelt werden sollen (siehe Anhang A.3).

Ihren Ursprung besitzen die Vorschläge zur Vorgehensweise zum einen in der Abbruch- und Verwertungsplanung von (Rommel 1999) (siehe Alternative 1 in Anhang A.3) und zum anderen im Kontext der Gebäudeinstandhaltung sowie im Themenbereich des Bauens im Bestand (Klingenberg 2014) (siehe Alternative 2 in Anhang A.3).

Die Auswahl der beiden Ansätze liegt in deren Nähe zum Themenkomplex der vorliegenden Untersuchung, da in beiden Bereichen eine Bestandsaufnahme des Bauwerks hohe Bedeutung hat und die Aufnahme von Baumaterialart, -menge und -zustand Elemente einer solchen Bestandsaufnahme darstellen.

Unabhängig von Ursprung und Ablauf der Empfehlungen zur Durchführung einer Bestandsaufnahme zeigen beide Vorgehensweisen ähnliche Funktionsprinzipien in der Analyse eines Bauwerks, darunter z.B.

- ein systematisches Auswerten von Plänen und anderen Bauunterlagen,
- eine Zerlegung des Gebäudes in seine Teile und Komponenten (Dekomposition) und ein darauf aufbauendes methodisches Erfassen und Beschreiben der Eigenschaften,

-
- die Ermittlung der Baustoffe und ggf. gezielte Probennahmen, sowie
 - die Erstellung von Berichten und ggf. Plänen als Dokumentation der Bestandsaufnahme.

Obwohl die Durchführung einer Bestandsaufnahme nach (Rommel 1999), die auf die Ermittlung der Bau- und Schadstoffen sowie deren Mengen zielt, eher dem Kontext der Arbeit zuzuordnen wäre, wird für die weitere Ausarbeitung die Vorgehensweise nach (Klingenberger 2014) gewählt, da zur Reduzierung des Aufwands eine Aufnahme überwiegend mithilfe der Dokumentation durchgeführt werden sollte. Zudem nehmen Probenahmen zur Feststellung der Bausubstanz und möglicher Schadstoffe eine untergeordnete Rolle für die Zielsetzung der Arbeit ein, somit sind weniger Begehungen an einem aufzunehmenden Gebäude vorzunehmen, um eine Aufnahme insgesamt zu beschleunigen und mithilfe technischer Hilfsmittel zu vereinfachen. Des Weiteren sollen weitere technische Hilfsmittel zum Einsatz kommen, um eine Bestandsaufnahme effektiv zu unterstützen.

5.1.4. Aufbau- und Ablauforganisation einer Bestandsaufnahme

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Phasen einer Bestandsaufnahme auf Grundlage der Gliederung nach (Klingenberger 2014) (siehe Anhang A.3) näher erläutert. Bezüglich der Beschreibung ist hervorzuheben, dass sie den Ablauf einer Bestandsaufnahme mit dem Ziel der Ermittlung in Gebäuden verbauter Materialmengen in Teilen konkretisiert. Aufgrund dessen sind geringfügige Änderungen zum allgemeinen Ablauf einer Bestandsaufnahme möglich.

5.1.4.1. Identifikation und Beschaffung der vorhandenen Gebäudedokumentation

Zu Beginn einer Bestandsaufnahme sind alle Unterlagen des zu untersuchenden Gebäudes zusammenzutragen. In Anhang 1.A.5 ist eine Übersicht möglicher Elemente einer Gebäudedokumentation gegeben, ergänzt um die Bezugsquellen wie Bauherr, Eigentümer, Planer oder Nutzer, welche Hinweise auf den Verbleib bzw. zur Aufbewahrung von gebäuderelevanten Unterlagen liefern können. Neben der reinen Auflistung möglicher Unterlagen sind zusätzlich durch Fettdruck solche gekennzeichnet, die ein hohes Potential im Vorhalten von Informationen zu Material und Masse von verbauten Stoffen aufweisen. Diese sollten vorrangig begutachtet werden, um eine zügige Durchführung der Aufnahme zu gewährleisten.

Bei relativ simpel gehaltenen Gebäuden ermöglichen vorhandene Pläne eine einfache, schnelle und damit kostengünstige sekundäre Aufnahme (Abschnitt 5.1.4.6 a), so dass der Aufwand einer originären Aufnahme (Abschnitt 5.1.4.6 b) sukzessive verringert werden kann (Ebner 2002). Eine umfangreiche Recherche und Ansammlung verfügbarer Dokumentationen zum Gebäude ermöglichen somit ein hohes Zeitsparpotential im weiteren Verlauf der Bestandsaufnahme (Schmitz 1989). Höchste Priorität und Nützlichkeit bei der Massenermittlung von Baustoffen besitzen Unterlagen wie die Grundrisspläne aller Geschosse, die Gebäudeschnitte und -ansichten, sowie die Pläne der Gründung und Fundamente.

Für eine Massenermittlung sind beispielsweise die Grundrisspläne von essentieller Wichtigkeit, da in ihnen die Abmessungen von Bauteilen enthalten sind, über welche mithilfe von Baustoffkennwerten die Massen berechnet werden können (Rommel 1999).

Die Sammlung aller verfügbaren Daten und Informationen im Kontext der Bauwerksdokumentation besitzt zu Beginn einer Bestandsaufnahme die höchste Priorität. Die beschafften Unterlagen, allen voran Pläne, sollten während der Kurzbegehung (Kapitel 5.1.4.3) zur Hand sein, um die Aktualität der Unterlagen stichprobenartig überprüfen zu können. Gerade bei älteren Gebäuden sollten mehrere Prüfungen von Maßen und von Bauteilen durchgeführt werden, um deren Aufzeichnungen in den Unterlagen zu verifizieren.

5.1.4.2. Klärung der Rahmenbedingungen, Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Art des Vorgehens einer Bestandsaufnahme hängt u.a. von deren Aufgabenstellung, des zu Grunde liegenden Projekts und dessen Größe ab. Daher unterscheidet sich beispielsweise eine Bestandsaufnahme, welche der Gebäudeverwaltung bzw. dem Facility Management dient, von einer Aufnahme zur Abrechnung von Bauleistungen. Jede Ausgestaltung einer Bestandsaufnahme weist einen speziellen Schwerpunkt auf und bedarf einer entsprechenden Auswahl einzusetzender Verfahren und Systeme zur Bauwerkserfassung (z.B. auch technische Hilfsmittel) (Donath 2009).

Anlässlich der Bestandsaufnahme wird in dieser Phase festgestellt, welche Vorhaben realisiert bzw. Maßnahmen am Bauwerk durchgeführt werden sollen. So kann beispielsweise bei Abbruch oder Demontage eines Objekts besondere Aufmerksamkeit auf Schadstoffe gelegt werden (Ebner 2002).

Unter Berücksichtigung der Zielsetzung sollte vor der Durchführung der Bestandsaufnahme z.B. geklärt werden, welcher Detailgrad einer Erfassung erforderlich ist, ggf. auf welche Objekte, Materialien, Anlagen, etc. ein besonderer Schwerpunkt bei der Erfassung gelegt werden sollte und welche Daten zur Erfüllung der Zielsetzung zu erfassen sind. Die ausgewählten Kategorien einer Bestandsaufnahme nehmen Einfluss auf die Auswahl der durchzuführenden Verfahren und die dazu notwendigen technischen Hilfsmittel.

Eine Aufnahme von Objekten unmittelbar aus dem Bestand eines Bauwerks wird folgend als originäre Erfassung, eine Aufnahme anhand vorhandener Bestandspläne oder Gebäude-dokumentationen als sekundäre Erfassung bezeichnet.

Detailgrad der Bestandsaufnahme

Zur Vorbereitung der Aufnahme gehört u.a. die Klärung, welche Arten von Materialien aufgenommen werden sollen. Eine Konzentration auf die massenmäßigen Hauptbestandteile eines Gebäudes, darunter die konstruktiven Komponenten wie Wände, Stützen, Träger oder Decken, wird eine kürzere Aufnahmezeit in Anspruch nehmen. Bei einer sehr detaillierten Aufnahme eines Gebäudes inklusive seiner massenmäßig untergeordneten Bestandteile wie z.B. Heiz- und Beleuchtungskörper, elektrischer Installation, etc. erhöht sich mitunter der zeitliche Aufwand einer Aufnahme.

Zusätzlich zum Umfang der Aufnahme sollte gerade für ältere Gebäude die Toleranz bezüglich der Abweichungen zwischen den Daten aus der Dokumentation und den tatsächlich vorzufinden Maßen bzw. Materialien festgelegt werden. Die festgestellten Abweichungen der Daten während der Aufnahme sollten sich im vorher festgelegten Rahmen bewegen. Falls gravierende Abweichungen auftreten, empfiehlt sich eine rein originäre Aufnahme unter vorsichtiger Zuhilfenahme der vorhandenen Unterlagen.

Umfang und Kategorien der Bestandsaufnahme

Ziel der Bestandsaufnahme ist eine vollständige Erfassung aller verbauten Materialien. Bauteile und Komponenten, technische Anlagen, Gebäudeteile oder Räume sind nicht originär erfassbar, wenn sie nicht begehbar bzw. nicht einsehbar sind. Fehlen darüber hinaus beschreibende Dokumente dieser Objekte, ist auch eine sekundäre Erfassung nicht möglich. Aufgrund der erwarteten Vollständigkeit der Informationslage einer Bestandsaufnahme sollten nicht erfasste Objekte im Gebäude- und Materialpass angegeben werden.

5.1.4.3. Kurzbegehung des Gebäudes zur Orientierung

Nach der Beschaffung von Gebäudedokumentation, Bestandsplänen und sonstigen beschreibenden Unterlagen sowie dem Festlegen der Zielsetzung der Bestandsaufnahme wird eine Kurzbegehung des zu untersuchenden Bauwerks empfohlen. Sie vermittelt einen ersten Eindruck über das Gebäude und stellt mit den gewonnenen Erkenntnissen die Grundlage für die weitere Planung und Vorbereitung der Bestandsaufnahme dar. Mit ihr können einige der Einflussfaktoren einer Bestandsaufnahme vorab identifiziert und eventuelle Problemstellungen, die sich bei einer Aufnahme ergeben könnten, geklärt werden (Schmitz 1989).

Überdies können weitere, bisher unbekannte Randbedingungen und mögliche Problemfelder festgestellt werden. Diese Erkenntnisse sollten ebenfalls in die Planung für das weitere Vorgehen der Bestandsaufnahme eingebracht werden (Ebner 2002). Eine ausführliche Besichtigung des Bestandes und dessen Umgebung ist deshalb zwingend erforderlich (Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. 2008). Nachfolgend sind einige Aspekte aufgezählt, die es während der Kurzbegehung sicherzustellen gilt.

- Alle Gebäudeteile, Räume und Anlagen, die erfasst werden sollen, sind zugänglich bzw. notwendige Schlüssel sind vorhanden.
- Alle aufzunehmenden Bauteile und Komponenten sind einsehbar. Nicht einsehbare Bauteile müssen sekundär erfasst werden wie beispielsweise Fundamente und Gründungselemente.
- Wesentliche Baustoffe können während der Begehung erkannt werden, um den notwendigen Detailgrad einer möglichst vollständigen Bestandsaufnahme bestimmen zu können.
- Vorhandenen Unterlagen sind für eine zielgerichtete Erfassung ausreichend oder müssen ggf. nachträglich beschafft werden.
- Gefahren wie das Einstürzen des Gebäudes, Schadstoffemissionen, etc., die eine Erfassung erschweren bzw. beeinträchtigen können oder besondere (Schutz-)Vorkehrungen erfordern, sind bekannt.

- Die stichprobenartige Überprüfung der Unterlagen zeigt, dass diese dem aktuellen Stand entsprechen.
- Die Anzahl aufzunehmender Bauteile und Komponenten wurden zur Vorbereitung des Objektaufnahmekatalogs hinsichtlich Gebäudeteile, Stockwerke oder Anlagen abgeschätzt.

Um alle wichtigen Aspekte und Besonderheiten, welche im Verlauf der Kurzbegehung auffallen, zu berücksichtigen, wird das Abarbeiten von Checklisten während der Kurzbegehung empfohlen (Donath 2009). Mit dem ersten Eindruck durch die Kurzbegehung sollten das Abschreiten des Gebäudes und die dabei durchzuführende Erfassung der Bauteile und Komponenten festgelegt werden. Mittels eines durchdachten Abschreitens können kurze Wege und damit verbunden eine Zeiteinsparung ermöglicht werden. Des Weiteren können bei der Kurzbegehung Vorbereitungen für den Aufnahmekatalog getroffen werden. So können zur besseren Übersichtlichkeit beispielsweise bei größeren Gebäuden mit einer Vielzahl an Komponenten für verschiedene Stockwerke oder Teilanlagen unterschiedliche Arbeitsblätter im Aufnahmekatalog erstellt werden.

5.1.4.4. Technische Hilfsmittel, beteiligte Personen und organisatorischer Ablauf

Für eine Aufnahme stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, welche nach den Anforderungen und dem Ziel der Bestandsaufnahme auszuwählen sind (Ebner 2002). Mit der Auswahl des durchzuführenden Verfahrens werden auch die notwendigen Hilfsmittel und Gerätschaften sowie die Anzahl an beteiligten Personen der Bestandsaufnahme definiert.

Durchzuführendes Verfahren und technische Hilfsmittel

Im Kontext des Forschungsprojektes PRRIG bietet sich zur kritischen Bewertung und gegebenenfalls Digitalisierung vorhandener Pläne insbesondere das computergestützte Handaufmaß sowie die Tachymetrie als Aufnahmeverfahren an. Je nach Gebäudetyp und -größe ist abzuwägen, welches der Verfahren den zuvor festgelegten Anforderungen bestmöglich genügt. Bei einer großen Anzahl gleichartiger Räume bietet sich das computergestützte Handaufmaß an, insbesondere wenn eine Generalisierung durch angenommene Rechtwinkligkeit der Räume bzw. Anlagen möglich ist. Die Tachymetrie eignet sich zur präzisen Erfassung der Umrissgeometrie sowie der Hauptachsen des Gebäudes. Innerhalb eines Gebäudes ist abzuwägen, ob dieses Verfahren aufgrund des erhöhten Zeitaufwandes der Stationierung des Gerätes rentabel ist. Bei größeren und komplexen Räumen sowie bei nicht rechtwinkligen Grundrissen ist dies jedoch wahrscheinlich (Donath 2009).

Für eine originäre Erfassung mittels einer Begehung des zu erfassenden Bauwerks wird das Vorhalten von verschiedenen Hilfsmitteln und Unterlagen empfohlen. Die Auflistung in Tabelle 11 dient dabei als Checkliste zur Vollständigkeit der Mitnahme aller notwendigen Hilfsmittel.

Tabelle 11: Empfohlene Hilfsmittel für die originäre Erfassung

Empfehlung zur Mitnahme von Hilfsmitteln & -geräten	
Allgemein	
Notizblock und Stift	<ul style="list-style-type: none"> • Schnelles Anfertigen von Skizzen

	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellen von Notizen und Kommentaren auf den vorhandenen Bestandsunterlagen
Vorhandene Bestandspläne	<ul style="list-style-type: none"> • Übersicht über das aufzunehmende Bauwerk • Kennzeichnen bereits aufgenommener Objekte
Überprüfen und Erfassen von Objekten	
Mobiles Endgerät mit Aufnahmekatalog	<ul style="list-style-type: none"> • Stichprobenartige Überprüfung und Vergleich bereits erfasster Objekte aus der sekundären Erfassung mit denen des Gebäudes in situ, um beispielsweise Abweichungen festzustellen • Sofortige Neuaufnahme nicht erfasster Objekte und Übertragen in Aufnahmekatalog
Zollstock, Maßband, evtl. Laserdistanzmessgerät	<ul style="list-style-type: none"> • Unterschiedliche Messgeräte zur Bestimmung von Längen, welche einer Überprüfung der Daten aus der sekundären Erfassung oder einer Neuaufnahme von Maßen dienen

Die stichprobenartige Überprüfung der aufgenommenen Bauteile und Komponenten aus der sekundären Erfassung kann mittels eines mobilen Endgeräts wie Laptop oder Tablet vereinfacht werden. Nach dem Übertragen des Aufnahmekatalogs auf das Endgerät können während der Begehung bereits erfasste Objekte ausgewählt und auf Abweichungen überprüft sowie ggf. vor Ort korrigiert werden. Dies eröffnet ein erhebliches Zeiteinsparungspotential, da Auffälligkeiten während der Aufnahme unmittelbar geklärt werden können.

Beteiligte Personen

Neben der Festlegung der beteiligten Personen sind ggf. Gruppen zur Bestandsaufnahme zu bilden. Unter der fachlichen Auswahl des Personals sollte die leitende Rolle mindestens eine erfahrene Person übernehmen, welche im günstigsten Fall das zugrundeliegende Vorhaben bis zur Abwicklung unterstützt (Ebner 2002).

Eine wichtige Rolle spielt die Anzahl beteiligter Personen. Für eine Bestandsaufnahme ist sie zwar nicht zwingend vorgeschrieben, jedoch bleibt festzuhalten, dass sie die benötigte Zeit einer Bestandsaufnahme beeinflusst. So können durch Arbeitsteilung Synergieeffekte erzielt werden: Während eine Person die Längen und technischen Daten erfasst, erledigt eine weitere Person die Eintragungen in eine Checkliste bzw. in ein EDV-System. (Schmitz 1989) empfiehlt anhand von Erfahrungswerten für die Phase der Kurzbegehung mindestens eine Person, für die maßliche Aufnahme zwei und für die technische Aufnahme mindestens drei Personen.

Organisatorischer Ablauf der Bestandsaufnahme

Für die Erstellung einer Systematik zur Durchführung der Bestandsaufnahme sollten der Ablauf der zu erfassenden Bauteile und Anlagen festgelegt, die dazugehörigen Bestandsunterlagen angepasst und sortiert werden, sowie die Abschreitrichtung der Aufnahme des Bauwerks (z.B. Stockwerk für Stockwerk) geplant werden (Weiterentwickelt nach Ebner 2002).

Vor der Durchführung sollte für eine strukturierte Erfassung eine Gliederungssystematik festgelegt werden, die den Anforderungen und der Zielsetzung der Bestandsaufnahme gerecht wird. Als Beispiel einer Gliederung kann das Bauwerk in seine Gebäudeteile, Geschosse, Räume sowie Teilräume gegliedert werden (Rommel 1999). Eine derartige Aufgliederung wird beispielsweise als geometrischer Dekompositionsprozess bezeichnet. In Abbildung 15 ist eine solche geometrische Dekomposition eines Bauwerks dargestellt.

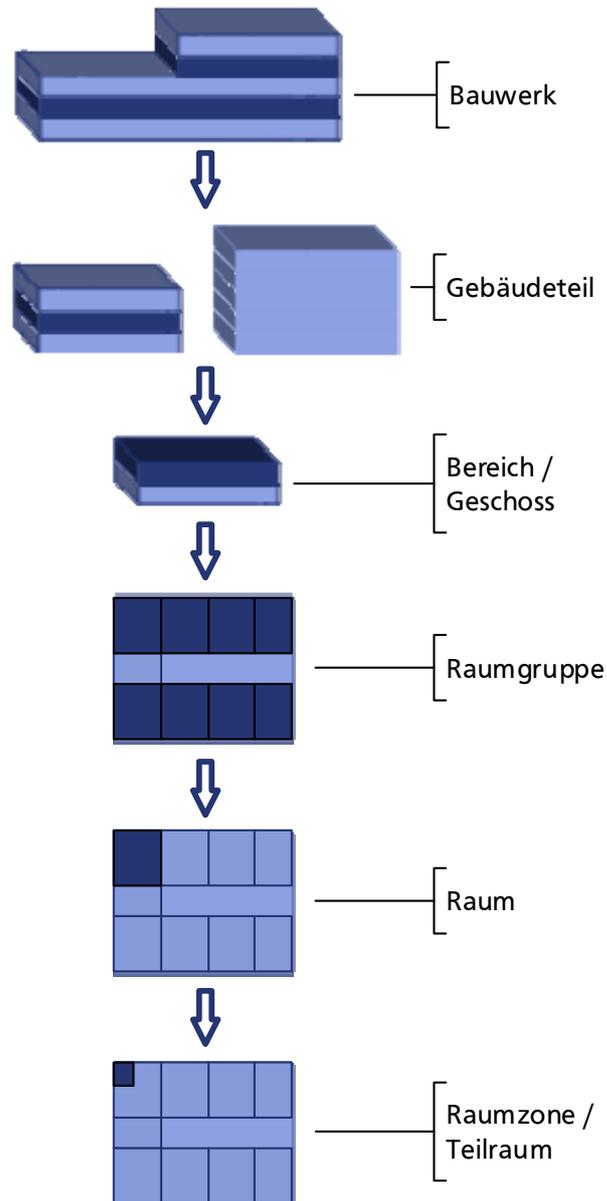


Abbildung 15: Geometrische Dekomposition.

Zudem sollte der Ablauf der Bestandsaufnahme z.B. durch einen Terminplan koordiniert werden (Ebner 2002). Um eine unterbrechungsfreie Bestandsaufnahme gewährleisten zu können, sollten für Vorbereitung und Planung einer Bestandsaufnahme Checklisten verwendet werden (Schmitz 1989).

5.1.4.5. Durchführung der Bestandsaufnahme

Die Aufnahme im eigentlichen Sinne basiert auf einem Wechsel zwischen einer Auswertung der Unterlagen wie den Bestandsplänen und weiteren Bauwerksdokumentationen und einer örtlichen Begehung des zu untersuchenden Gebäudes.

Die Erfassung der Bauwerks- und Bauteilgeometrie aus den Gebäudeplänen kann bereits vor der Begehung des Gebäudes erfolgen. Aus Erfahrungen der Praxis ist jedoch davon auszugehen, dass gerade bei älteren Gebäuden keine Pläne vorhanden sind oder dass die Bau- und Bestandspläne mangels Fortschreibung nicht den aktuellen Stand widerspiegeln (Schultmann 1998). Selbst im Falle des umfangreichen Vorhandenseins von Unterlagen zum Bestand des Gebäudes ist eine Begehung unerlässlich (Rommel 1999). In diesem Fall sollte während der Begehung die Übereinstimmung von Gebäudedokumentation und bestehenden baulichen und technischen Anlagen vor Ort stichprobenartig überprüft werden. Mögliche Inhalte einer Kontrolluntersuchung liegen u.a. in der Kontrolle der Bauteilabmessungen, der Lichtraumprofile und Durchgangshöhen sowie in der Feststellung von Maßabweichungen zwischen Plan und Gebäude (Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. 2008). Im Fall von Unstimmigkeiten sind die Angaben und Daten aus den Bauunterlagen zu prüfen und zu aktualisieren. Ebenso können neben der Erfassung und Ergänzung fehlender Daten der Dokumentation auch erkannte Faktoren festgehalten werden, welche für eine Verwertung bzw. einen wirtschaftlichen Rückbau des Gebäudes relevant sind (Rommel 1999).

Das Kernstück der Bestandsaufnahme stellt der Aufnahmekatalog dar. In ihn werden alle erfassten Bauteile, Komponenten sowie technische Anlagen eingepflegt.

5.1.4.6. Erfassungsmethodik

Als potentielle Informationsquellen zur Ermittlung von Baustoffen sowie deren Art und Masse stehen zum einen das Gebäude selbst, zum anderen die im Laufe eines Gebäudelebens angefertigte Gebäudedokumentation zur Verfügung. In Abbildung 16 sind die beiden Arten der potentiellen Informationsquellen gegenübergestellt. Eine Analyse der Informationsquellen stellt im Rahmen der Bestandsaufnahme dieses Leitfadens die Erfassung von Objekten dar. Eine Aufnahme von Objekten unmittelbar aus dem Bestand eines Bauwerks wird folgend als originäre Erfassung, eine Aufnahme anhand vorhandener Bestandspläne oder Gebäudedokumentationen als sekundäre Erfassung bezeichnet.

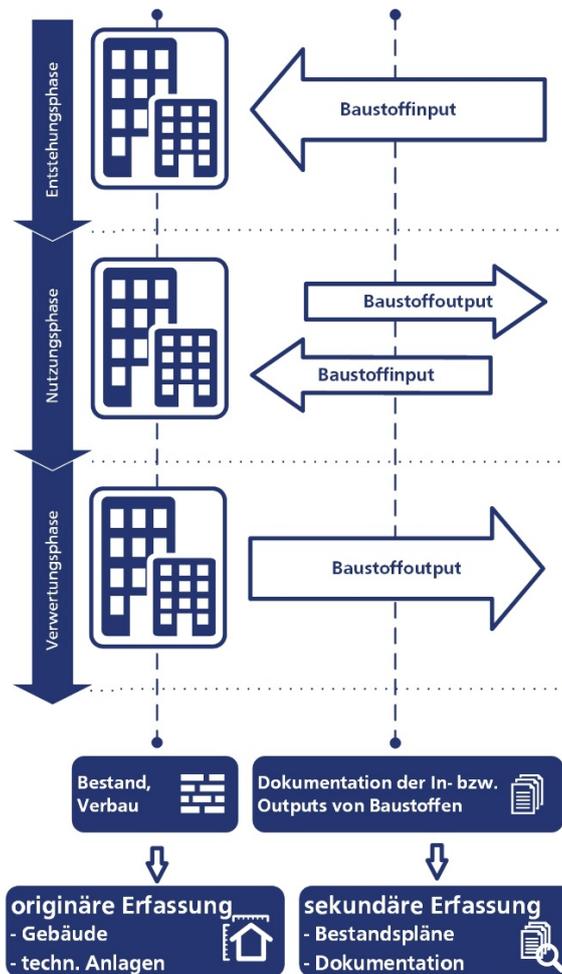


Abbildung 16: Informationsquellen und deren Analyse.

a) Sekundäre Erfassung

Vor einer originären Erfassung sollte eine sekundäre Erfassung auf Basis der beschafften Unterlagen und Plänen des Bauwerks durchgeführt werden. Die Erfassung von Objekten aus qualitativen Unterlagen und Plänen ermöglicht eine Reduzierung der Gesamtaufnahmezeit, da eine sekundäre Erfassung den Aufwand einer Begehung und Bemaßung von Bauteilen erheblich senken kann. Aus qualitativer Dokumentation können die wichtigsten Daten exzerpiert und in den Aufnahmekatalog übernommen werden.

Da in den geringsten Fällen in den Unterlagen die Massen von Objekten notiert sind, müssen diese über charakteristische Eigenwerte, (Roh-)Dichten oder Materialeigenschaften hergeleitet werden. Mittels ergänzender Fachliteratur bspw. Tabellenwerke für Architekten und Bauingenieure können die notwendigen Baustoffkennwerte ermittelt und die Massen von Bauteilen berechnet werden.

Eine beispielhafte sekundäre Erfassung eines Bauteils ist in Anhang A.7 dargestellt und beschrieben.

b) Originäre Erfassung

Die originäre Erfassung stellt die unmittelbare Aufnahme der Bauteile eines Bauwerks in situ dar. Sie dient der stichprobenartigen Überprüfung der erfassten Objekte der sekundären Erfassung sowie als Ersatz dieser, sofern keine Dokumente über den Bestand vorhanden sind.

Eine originäre Erfassung der Bauteile ist unverzichtbar sofern die beschafften Unterlagen und Pläne nicht ausreichen, um eine Erfassung im geplanten Umfang, Kategorie oder Detail durchführen zu können, oder diese nicht den aktuellen Bestand widerspiegeln⁴.

Vorhandene Bestandspläne suggerieren oftmals die Richtigkeit der Maße, Winkel und Längen des Bestands. Gerade bei älteren Gebäuden ist festzustellen, dass in der Ausführung eines Gebäudes Abweichungen zu den Plänen auftreten. Selbst bei einer Vielzahl an Dokumenten ist eine zusätzliche, stichprobenartige originäre Erfassung von Bauteilen empfehlenswert. Neben den Maßen der Pläne sollten die Baumaterialien auf ihre korrekte Bezeichnung in den Unterlagen geprüft werden.

Mögliche Inhalte einer Kontrolluntersuchung liegen u.a. in der Kontrolle der Bauteilabmessungen, der Lichtraumprofile und Durchgangshöhen, sowie in der Feststellung von Maßabweichungen zwischen Plan und Gebäude. Im Falle von Unstimmigkeiten sind die Angaben und Daten aus den Bauunterlagen zu prüfen und zu aktualisieren.

Der Aufwand einer originären Erfassung richtet sich dabei nach dem Umfang der zur Verfügung stehenden Unterlagen. Bei einer geringen Anzahl an Plänen und Dokumenten zum Bauwerk kann mit einem höheren Zeitbedarf zur Bestandsaufnahme gerechnet werden.

c) Erfassung mehrschichtiger Bau- sowie Verbundstoffe

Die Spalte „Objektverbund“ des Aufnahmekatalogs in Anhang A.6 dient der Zuordnung mehrerer Stoffarten zu einem Objekt. Durch Einfügen der statischen Objekt-ID in die Spalte wird eine Verbindung der erfassten Stoffarten ermöglicht. In Abbildung 17 ist beispielhaft die Erfassung einer Rampe aus Stahlbeton aufgezeigt. Zur Aufnahme von Verbundbaustoffen werden die Anteile der einzelnen Komponenten aufgezählt und anschließend deren Massenanteile berechnet. Im Beispiel wird die Masse eines Stoffs über eine Aufteilung der Gesamtmasse durch den angenommenen Baustoffanteil berechnet.

Obj.-ID	DIN 276 (Bezeichnung)	DIN 276 (Bezeichnung)	DIN 276 (Schlüssel)	Baustoff [Art]	Länge [m]	Breite/ Höhe [m]	Fläche [m ²]	Dicke [m]	Volumen [m ³]	Dichte o. Gewichtsf. akt. [kg/m ³ , kg/m ² , kg/m]	Masse [kg]	Objekt- verbund [mit Obj. ID]	Hinweis, Beschreibung, Annahmen
1	Decke	Deckenbelag	352	Stahl			76,38	0,09	6,87	7900,000	1086	2	Rampe - Anteil Stahl (A: 2%)
2	Decke	Deckenbelag	352	Beton			76,38	0,09	6,87	2200,000	14821	1	Rampe - Anteil Beton (A: 98%)

1) Modifizieren der Berechnungsformel (Bsp.: Anteil Stahl 2%, Berechnungsformel mit 0,02 multiplizieren)
2) Zuordnung über eintragen der Objekt-ID, des/der zusätzlichen, verbundenen Baustoffe (Bsp.: 1 zu 2)

Abbildung 17: Beispielhafte Aufnahme eines Bauteils aus Verbundbaustoff.

⁴ Ein Aufgabenteil der Kurzbegehung ist die stichprobenartige Überprüfung verschiedener Objekte des aufzunehmenden Bauwerks.

5.2. Leitfaden mit Material und Gebäudepass

Der Leitfaden (Abbildung 18) dient den folgenden Zwecken:

- Verdeutlichung der notwendigen Arbeitsschritte einer Bestandsaufnahme, an denen sich der Bearbeiter orientieren soll.
- Vorgabe des Schemas zur Dokumentation des Ablaufs einer Bestandsaufnahme in Form eines Berichts.

Abbildung 18 stellt den Aufbau des Leitfadens im Überblick dar:



Abbildung 18: Aufbau des Leitfadens und Ablauf der Bestandsaufnahme.

Über die im vorigen Abschnitt vorgestellten Grundlagen der Bestandsaufnahme hinaus wurden weitere Hilfsmittel entwickelt, die im Folgenden vorgestellt werden. Ferner wurde zur Zusammenfassung des Aufnahmeergebnisses ein Material- und Gebäudepass entwickelt.

5.2.1. Hilfsmittel

Bauwerksdekomposition

Je nach Gebäudetyp stellen die konstruktiven Komponenten eines Bauwerks wie Wände, Decken oder das Dach nur einen Bruchteil der verbauten Massen an Materialien dar. Die technische Gebäudeausrüstung, Produktions- oder Prozessanlagen sowie Leitungen innerhalb von Bauwerken können ebenfalls einen erheblichen Umfang im Materialhaushalt annehmen.

Um die Massen von verbauten Stoffen und technischen Anlagen etc. zu ermitteln, wird im Rahmen der Bestandsaufnahme ein objektbezogener Dekompositionsprozess (Abbildung 19) angewandt. Im Gegensatz zur geometrischen Dekomposition (Abbildung 15) basiert die Erfassung hierbei auf einer Systematik der Bauteilgliederung, welche auf der Kostengliederung nach DIN 276 aufbaut. Mit einer solchen objektbezogenen Dekomposition und Erfassung eines Bauwerks kann die Aufnahme aller Elemente sichergestellt und somit eine ganzheitliche Erfassung und Massenermittlung gewährleistet werden.

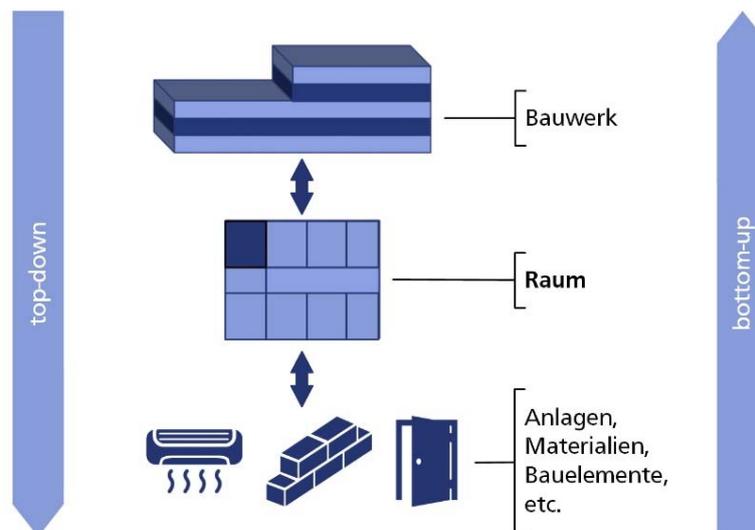


Abbildung 19: Objektbezogener Dekompositionsprozess.

Objektaufnahmekatalog

Zur Mengenermittlung der verbauten Stoffe des zu untersuchenden Bauwerks wird folgend der Aufnahmekatalog vorgestellt, welcher auf Basis einer Excel-Tabellenkalkulation die vollständige Erfassung unterstützt.

Der Aufnahmekatalog gewährleistet eine einfache Aufnahme von Komponenten und deren Bauteilen, die jeweilige Materialart und Masse. Die Felder des Aufnahmekatalogs werden in Tabelle 12 beispielhaft aufgezeigt und anhand der Beschreibungen in Tabelle 13 erläutert. Die Beschreibung

der Feldeigenschaften von links nach rechts ist dabei in Tabelle 13 von oben nach unten angeordnet.

Tabelle 12: Übersicht der Eingabefelder des Objektaufnahmekatalogs

Massenermittlung													
Gebäude	Parkhaus Lichtwiese												
Stockwerk/Raumbezeichnung	Tabelle1												
Obj.-ID	DIN 276 (Bezeichnung)	DIN 276 (Bezeichnung)	DIN 276 (Schlüssel)	Baustoff	Länge	Breite/ Höhe	Fläche	Dicke	Volumen	Dichte o. Gewichtsfakt.	Masse	Objekt- verbund	Hinweis, Beschreibung, Annahmen
				[Art]	[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[kg/m ³ , [kg/m ²], [kg/m]	[kg]	[mit Obj. ID]	
1	Stützen(vertikale Linien)	tragende Innen- und Außenstützen	333	Stahl	2,97					105,133	312		HEB280 S355

Tabelle 13: Erläuterungen der Eingabefelder des Aufnahmekatalogs

Feld	Feldfunktion
Obj.-ID	<ul style="list-style-type: none"> Einmalige Bezeichnung eines Bauteils Einmalige Bezeichnung des Stoffanteil eines Bauteils (bei Verbundstoffen)
DIN 276 (Bezeichnung)	<ul style="list-style-type: none"> übergeordnete Einordnung des Bauteils
DIN 276 (Bezeichnung)	<ul style="list-style-type: none"> spezifische Bezeichnung eines Bauteils
DIN 276 (Schlüssel)	<ul style="list-style-type: none"> Schlüssel der spezifischen Bezeichnung eines Bauteils (in Anlehnung an DIN 276)
Baustoff	<ul style="list-style-type: none"> Bezeichnung des Baustoffs für das aufzunehmende Bauteil
Länge, Breite, Höhe, Fläche, Dicke, Volumen	<ul style="list-style-type: none"> Hilfsfelder zur Berechnung z.B. des Volumens für die Massenermittlung (Felder ohne Funktion hinterlegt, diese dienen vornehmlich als Berechnungsgrundlage)
Dichte o. Gewichtsfaktor	<ul style="list-style-type: none"> Charakteristische Materialkennwerte, Rohdichten (Werte zur Herleitung der Masse aus Volumen, Flächen, Längen)
Objektverbund	<ul style="list-style-type: none"> Bezeichnung nur mehrschichtige, mehrlagige Bauteile und Verbundbaustoffe (dient der Zuordnung von mehreren Stoffanteilen eines Bauteils)
Hinweis, [...]	<ul style="list-style-type: none"> Weitere Beschreibung, Beschreiben von Annahmen, etc.

Der Objektkatalog (in Anhang A.6) gibt eine Übersicht über die standardisierten Bezeichnungen zu erfassender Bauteile, Komponenten und technischer Anlagen für den Aufnahmekatalog. Anhand der einheitlichen Bezeichnung kann neben einer systematischen Aufnahme auch eine bauteilbezogene Auswertung des Materialhaushalts erstellt werden.

Essentiell für die Auswertung und die Diagrammerstellung des Gebäudesteckbriefs ist die genaue Übernahme der standardisierten Bezeichnungen, da die zu Grunde liegenden Berechnungsformeln in Abhängigkeit zu den Bauteilbezeichnungen stehen.

Standardisierter Objektkatalog

Die beschreibenden Felder des Objektkatalogs werden vor seiner Vorstellung in Tabelle 14 erläutert.

Tabelle 14: Erläuterungen der beschreibenden Felder des Objektkatalogs

Feld	Feldfunktion
Gliederung	<ul style="list-style-type: none">• Übergeordnete Einordnung eines Bauteils• (für zweites Feld des Aufnahmekatalogs)
Bezeichnung nach DIN 276 (2. Ebene)	<ul style="list-style-type: none">• Schlüssel der zweiten Kostengliederungsebene (nach DIN 276)
Bezeichnung nach DIN 276 (3. Ebene)	<ul style="list-style-type: none">• Schlüssel der dritten Kostengliederungsebene (nach DIN 276)• (für viertes Feld des Aufnahmekatalogs)
Bauteilbezeichnung (Anlehnung an DIN 276)	<ul style="list-style-type: none">• Detaillierte Beschreibung von Bauteil, Komponente oder technischer Anlage
spezifische Materialien	<ul style="list-style-type: none">• Ausgewählte Materialien, welche dem Bauteil, der Komponente oder technischen Anlage im Allgemeinen zugeordnet werden können

Erweiterungsmöglichkeiten des Aufnahmekatalogs

Das Auswertungsmodul des Objektkatalogs berechnet die Summen und die Verteilung der verschiedenen Baustoffe. Durch einfache Erweiterung der Auswertungstabellen und Übertragung der Berechnungsformeln in den Arbeitsblättern *Report*, *Gesamtverteilung* sowie *Detailverteilung Bauteile* können zusätzliche Baustoffarten erfasst und ausgewertet werden. Darüber hinaus bietet der Aufnahmekatalog auf diese Weise auch die Basis zur Erweiterung der Aufnahme von Schad- und Gefahrenstoffen.

5.2.2. Material- und Gebäudepass

Das Ziel der Planungshilfe liegt in der Kenntnis von Arten und Massen bzw. Mengen sowie in einer Übersicht der Verteilung von verbauten Stoffen eines Gebäudes. Diese Informationen werden aggregiert in einem Gebäude- und Materialpass festgehalten, welcher als Dokumentation der Bestandsaufnahme anzusehen ist. Die Erfassung kann mithilfe eines EDV-gestützten Aufnahmekatalogs erfolgen, welcher mit Standard-Tabellenkalkulationssoftware wie Microsoft Excel bearbeitet werden kann.

Zum Erreichen des Ziels wird mithilfe dieses Leitfadens eine Zusammenstellung von nützlichen Informationen und Handlungsempfehlungen für die Planung und Durchführung einer Bestandsaufnahme von Bauwerken vorgestellt.

Die Erkenntnisse der Bestandsaufnahme werden im Gebäude- bzw. Materialpass als Dokumentation festgehalten. Die Informationen zu Materialien und ihrer Zusammensetzung im Gebäude werden aus der Excel-Tabelle in die Textvorlage für den Gebäude- und Materialpass übernommen und stellen einen Report der Aufnahme dar (siehe Abbildung 20), der insbesondere folgende Punkte umfasst:

- einen Steckbrief mit den wichtigsten Informationen zum Gebäude wie
 - Anschrift des Gebäudes,
 - allgemeine Informationen zu Eigentümer/n, Planer/n und bauausführenden Unternehmen,
 - allgemeine Beschreibung des Gebäudes inklusive einem Foto des Objekts,
 - Gebäudeabmessungen wie Länge, Höhe, Breite, etc.,
 - Bezugsgrößen (Brutto-Grundfläche, Brutto-Rauminhalt, Baujahr und Alter) für übergeordnete Systeme⁵,
 - Nutzungsklasse und ggf. Identifikationsnummer, welche aus einem Nutzungskatalog entnommen werden kann, sowie
 - Informationen zum Erfasser und dem Datum der Durchführung der Bestandsaufnahme.
- Zwei Übersichten über die Art und Menge der Materialien des Gebäudes:
 - die Summen der verbauten Stoffe mit Gegenüberstellung ihrer Verteilung sowie
 - eine Zuordnung der Gesamtmengen der Materialien auf die einzelnen Objekte des Objektteilkatalogs.

Ein beispielhafter Gebäude- bzw. Materialpass ist in Anhang A.22 gegeben.



Abbildung 20: Aufbaustruktur des Gebäude- und Materialpasses.

5.3. Übersicht zu Abbruchmaßnahmen

Allgemein bezeichnet der Abbruch „die Beseitigung von technischen und/oder baulichen Anlagen oder deren Teilen [...]“ (Lippok und Korth 2007). Die Hessische Bauordnung charakterisiert bauliche Anlagen als „[...] mit dem Erdboden verbundene, aus Bauprodukten hergestellte Anlagen.“ (HBO 2012).

⁵ Die Weitergabe von Bezugsgrößen dient übergeordneten Systemen wie beispielsweise einem Rohstoffkataster der Zuordnung der Gebäudeart sowie zur Erstellung von Statistiken und Reports.

Der Abbruch wird in verschiedene Kategorien (siehe Abbildung 21) unterteilt: Teilabbruch oder Totalabbruch mit den jeweiligen Ausführungen der selektiven bzw. konventionellen Abbruchweise.

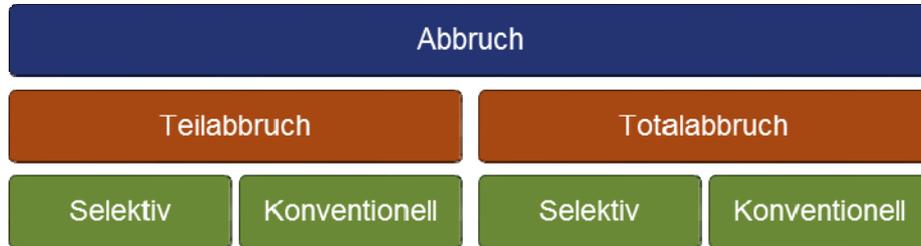


Abbildung 21: Kombinationsmöglichkeiten der Abbrucharten (In Anlehnung an (Lippok und Korth 2007)).

Abbrucharbeiten können differenziert werden in „Arbeiten an einem Grundstück“ und „Arbeiten an einem Bauwerk“ (Kniffka und Koeble 2008). Zu den „Arbeiten an einem Grundstück“ zählen u.a. Gartengestaltung, Verlegen einer Drainage oder Abbrucharbeiten und Entsorgung von Altlasten, sofern diese in keinem Zusammenhang mit der Errichtung eines Bauwerks stehen. Zu den „Arbeiten an einem Bauwerk“ zählen alle Arbeiten, die zur Herstellung eines neuen Bauwerks sowie der Erneuerung respektive Änderung des Bestandes dienen. Abbruchmaßnahmen in der Bundesrepublik Deutschland unterliegen dem formalen Bauordnungsrecht und ihr Verfahrensablauf ist in den Landesbauordnungen geregelt. Hierbei ist zu differenzieren zwischen Baugenehmigungsverfahren (genehmigungspflichtig/genehmigungsfrei) und Bauanzeigeverfahren (anzeigespflichtig/anzeigefrei). Hieraus ist erkennbar, dass Abbruchmaßnahmen mit Planungsprozessen und Leistungserstellungsprozessen in komplexen Projektorganisationen mit einem spezifischen Rechtsrahmen verbunden sind (siehe Abbildung 22). Untrennbar mit den Abbruchmaßnahmen ist die Entsorgung von freigewordenen Massen gekoppelt.

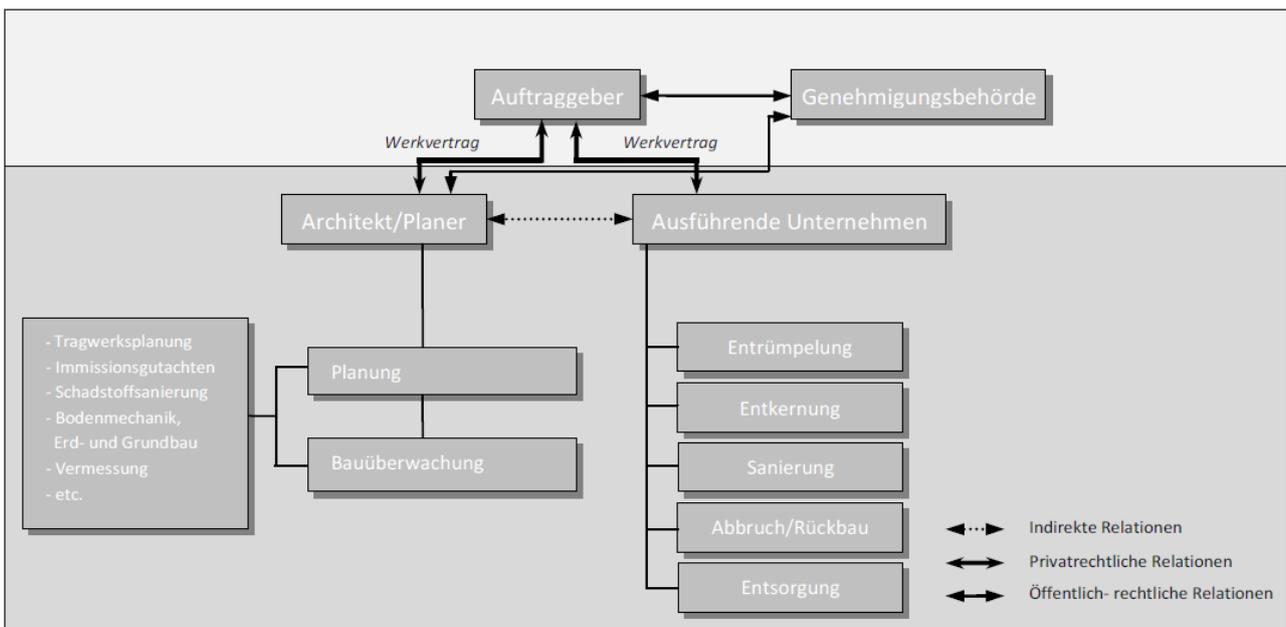


Abbildung 22: Exemplarische Organisation bei Abbruch (Löhr 2013).

Aus baubetrieblicher Sicht ist für jede Abbruchmaßnahme eine individuelle Analyse möglicher Abbruchverfahren durchzuführen, um den werkvertraglich geschuldeten Erfolg unter Einhaltung der geltenden rechtlichen und umweltrechtlichen Vorgaben sowie in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit, verbunden mit Sicherstellung des Schutzes von Mensch und Umwelt, herbeizuführen.

Abbruchverfahren können in drei Abbrucharten kategorisiert werden:

- Konventioneller Abbruch: Die Bausubstanz wird üblicherweise durch das Zertrümmern zerstört und in transportable Einheiten geteilt. Das Abbruchmaterial bildet ein heterogenes Abfallgemisch, welches anschließend aufwendig nachsortiert wird.
- Teilselektiver Rückbau: Durch eine teilweise Entrümpelung und Entkernung des Objekts wird die Vermischung der Abfallfraktionen gegenüber dem konventionellen Abbruch reduziert. Nach erfolgtem Abbruch verbleiben jedoch gewisse Nachsortierarbeiten.
- Selektiver Rückbau: Das Objekt wird vollständig durch Demontage zurückgebaut. Alle Bau-, Konstruktions- und Ausrüstungsteile werden getrennt nach ihrer Funktion und nach der Materialbeschaffenheit zerlegt. Ein solches Vorgehen erschließt ein hohes Wiederverwendungs- und Verwertungspotenzial. Notwendig dafür sind ein hoher Planungsaufwand, eine höhere Qualifizierung der Ausführenden, gegebenenfalls längere Ausführungsfristen sowie spezielle Anforderungen an die Ausrüstung.

Eine Übersicht über die verschiedenen Abbruchverfahren ist Anhang A.4 zu entnehmen. Als technischer Prozess sind Abbruchverfahren in DIN 18007:2000-05 in die nachfolgenden Hauptgruppen systematisiert:

- Mechanische Abbruchverfahren: Bauteile werden mittels kinematischer Energie maschinell oder manuell abgebrochen.
- Thermische Verfahren: Abbruch mittels thermischer Energie, die bei der Verbrennung entsteht oder durch einen Lichtbogen respektive Plasmabogen. Beim Schneidbrennen (von Stahl- oder Eisenbauteilen) wird ein Gemisch aus Brenngas und Sauerstoff verbrannt, beim Pulverschneidbrenner (für Beton-, Stahlbeton- und Stahlbauteile) Eisen- und Aluminiumpulver im Sauerstoffstrom, bei einer Kern- oder Pulverlanze (für Beton-, Stahlbeton-, Stahl-, Gusseisen- und Natursteinbauteile) das Brennrrohr und Kerndrähte im Sauerstoffstrom. Der Plasma- oder Lichtbogen entsteht beim Plasmabrenner, der z.B. für elektrisch leitfähige Werkstoffe eingesetzt wird.
- Chemische Abbruchverfahren: Zum Abbruch von Bauteilen und Bauelementen kommen entweder Expansivstoffe (Quellmittel) oder Explosivstoffe zur Anwendung.
- Hydrodynamische Verfahren: Hierbei werden Hochdruckwasserstrahler mit Drücken von 60 bis 2500 bar, gegebenenfalls mit zugegebenen Abrasivmitteln wie Eisenkies, Granatkies und Quarz zum Zerschneiden von Bauteilen verwendet.

In Tabelle 15 ist ein Auszug aus DIN 18007:2000-05 abgebildet, der die Eignung und die Auswirkung von Abbruchverfahren bezogen auf unterschiedliche Konstruktionen, Bauteile und Baustoffe zusammenfasst.

Tabelle 15: Eignung und Auswirkung von Abbruchverfahren (Auszug aus DIN 18007:2000-05)

Eignung und Auswirkung von Abbruchverfahren	Konstruktion						Bauteil				Baustoff						Anwendungshinweise/ Auswirkungen								
	Flach- und Hallenbauten	mehrgeschossige Skelettbauten	mehrgeschossige Wandkonstruktionen	kompakte Bauwerke	Brücken	usw.	Decken/Sohlen	Gewölbe	Dächer	Unterzüge/Binder	usw.	Holz	Mauerwerk	Asphaltbeton	unbewehrter beton	bewehrter beton	Stahl	usw.	Lärm	Staub	Erschütterungen	Wasser-/Feuchteanfall	Streufzug	fallende Massen	usw.
Abgreifen	●	○	●						○	○		●	●		○ ¹	○ ¹	○ ¹			x				x	
Einschlagen	●	●	●	○	○		●	●	●	●		●	●	●	●	○			x	x	x			x	x
Eindrücken	●	○	●						○			●	●				○			x	x			x	
Einziehen	●	●	○						○			●	●		○	● ¹	● ¹			x	x			x	
Reißen							●					●	●	●	○						x				
Stemmen	○	○	○	●	●		●	○	○	●		●	○	●	●				x	x	x			x	
Preßschneiden	●	●	●		○		○		○	●		●	○	●	●					x				x	
Scherschneiden	●	●	○		●				○	●		○				●								x	

● = besonders geeignet ○ = geeignet

x = muss ggf. durch andere Verfahren aus dem Verbund gelöst werden

¹ = Emissionen sind gegebenenfalls zu berücksichtigen

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass am Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt eine Bewertungsmatrix entwickelt wurde, welche in Bezug auf Technik, Bauzeit, Baukosten und Ökologie einen Verfahrensvergleich verschiedener Abbruchverfahren ermöglicht (Motzko et al. 2015).

5.4. Datenbank

Zur Verwaltung und Auswertung der bei Gebäudeaufnahmen gesammelten Daten wurde im Rahmen von PRRIG eine relationale Gebäudedatenbank in MySQL mit Benutzeroberfläche in Java Swing angelegt. Die Benutzeroberfläche unterteilt sich in verschiedene Masken zur Ein- und Ausgabe von Daten. Draus wurden vier Tools entwickelt, welche verschiedene Datenausgaben je nach Anwendungszweck bzw. Adressat ermöglichen. Die Tools sowie ihre Datenausgaben werden in den Kapiteln 11.3 und 11.4 näher vorgestellt. Sie beinhalten zudem jeweils einige der in diesem Kapitel vorgestellten Masken für Dateneingaben bzw. -modifikationen, um die für die Ermittlung der ausgegebenen Daten notwendigen Attribute bereitzustellen.

Um Redundanzen durch unterschiedliche Schreibweisen, Schreibfehler etc. zu vermeiden, geschieht die Dateneingabe sofern möglich über drop-down-Listen bzw. Auswahlmenüs. Die Daten werden mobil vor Ort oder nachträglich aus Aufzeichnungen erfasst. Dazu muss eine Internet-Verbindung zum Server bestehen, auf welchem die Datenbank abgelegt wurde.

Zwei verschiedene Aufnahmemethoden werden durch die Datenbank unterstützt: einerseits das im Rahmen von PRRIG entwickelte Untersuchungs- und Dokumentationsschema mittels Zählung bzw. Abmessung von Komponenten mit Rohstofffaktoren, andererseits die Aufnahme mittels Wiegung ermittelter Rohstoffmengen aus spezifischen Komponenten oder dem gesamten Gebäudeteil. Dies ist beispielsweise hilfreich, wenn bestimmte Komponenten bereits demontiert und in einem Container gesammelt wurden oder die Mengen aus einem Gebäudepass bereits bekannt sind.

In allen Tabs können über den Button "neue Eingabe" Eingabefenster geöffnet werden, in welchen die in den Tabellen aufgezählten Attribute eingetragen werden können. Sofern nicht anders angegeben, öffnet sich durch Doppelklick auf existierende Einträge in den Auflistungen der Tabs eine zu diesem Eingabefenster analoge Übersicht, welche alle Attribute des Eintrages darstellt, auch solche, die ggf. in der Auflistung aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht angezeigt wurden. Sie können in diesem Fenster editiert werden, ebenfalls kann der Eintrag mittels Klick auf den Button "Löschen" aus der Datenbank entfernt werden. Bevor dies geschieht, muss der Nutzer jedoch eine Sicherheitsabfrage bestätigen.

1. Schritt: Gebäudebasisdaten

Für jedes Gebäude bzw. jeden Gebäudeteil, dessen Komponenten oder Rohstoffmassen in die Gebäudedatenbank eingegeben werden sollen, müssen zunächst die Gebäudebasisdaten, d.h. grundlegende Informationen wie Name, Baujahr, Gebäudetyp etc. aufgenommen werden. Dies geschieht in der ersten Maske, welche in Abbildung 23 dargestellt ist. In der Liste werden alle bereits eingegebenen Gebäude aufgezählt. Tabelle 16 erläutert die einzugebenden Attribute der Gebäudebasisdaten.

1. Schritt: Gebäudebasisdaten | 2. Schritt: Komponentenaufnahme | Alternative: Mengenaufnahme | Ausgabe Rohstoffmassen per Gebäudetyp

Bedienung:
Vor Aufnahme der einzelnen Komponenten müssen grundlegende Informationen zum Gebäude aufgenommen werden. Wählen Sie dazu unten links den Button "neue Eingabe". Um bereits eingegebene Informationen zu einem Gebäude zu betrachten oder zu modifizieren, wählen Sie dieses bitte mit einem Klick aus der Liste aus.

Übersicht aufgenommener Gebäude

Gebäude_ID	Name	Baujahr	BRI (m3)	Aufnahmedatu...
PRRIG_00002	Verwaltungsgebäude A1 Merck Darmstadt	1996	1386.32	11.2014
PRRIG_00003	Gebäudekomplex B1/B2 Merck Darmstadt	1908	2820.02	11.2014
PRRIG_00004	Logistikhalle Alzenau1	2008	213180.00	04.2014
PRRIG_00005	Logistikhalle Alzenau2	2013	374100.00	04.2014
PRRIG_00006	Institutsgebäude L1 01 TU-Lichtwiese	1970	121800.00	12.2014
PRRIG_00007	Versuchshalle L5 02 TU-Lichtwiese	1970	28070.00	04.2014
PRRIG_00008	Institutsgebäude L5 06 TU-Lichtwiese	2002	36000.00	12.2014
PRRIG_00009	Lederfabrik Offenbach am Main	1935	11688.25	01.2015
PRRIG_00010	Lagerhalle Opel Rüsselsheim2	1963	65183.00	01.2015
PRRIG_00011	Lagerhalle Opel Rüsselsheim2	1959	119952.00	12.2014
PRRIG_00012	Lager K139 Opel Rüsselsheim	1992	10130.00	
PRRIG_00013	Parkdeck Liwi-Bauling	1970	5272.00	01.2014
PRRIG_00014	Parkhaus Lichtwiese	2014	32963.00	2014
PRRIG_00017	Schulgebäude	1960		05.2015
PRRIG_00018	Fabrikgebäude	1955	121735.00	07.2015
PRRIG_00019	Fabrikgebäude - nur Metall für Hr. Seemann	1955	121735.00	07.2015
PRRIG_00020	Verwaltungsgebäude	1970	5612.00	
PRRIG_00021	Maschinenwerkstatt	1960	6240.00	
PRRIG_00022	Werkstattkomplex mit Dachgeschoss	1965	3966.00	
PRRIG_00023	Elektrowerkstatt		5045.00	
PRRIG_00024	K88	1965	40018.63	2014/2015

neue Eingabe | Liste aktualisieren | Schließen

Abbildung 23: Maske mit Übersicht der in der Datenbank aufgenommenen Gebäude.



Tabelle 16: In die Gebäudedatenbank einzugebende Gebäudebasisdaten

Attribut	Erläuterung	Eingabe ist
Gebäudename	Name des Gebäudes bzw. des Gebäudeteils.	notwendig
Gebäude-ID	Als Identifikationsnummer kann eine Kombination aus Buchstaben und Zahlen eingegeben werden, bspw. für eine Kombination aus Stadt und laufender Nummer wie "Musterheim_002". Sollte die ID bereits vergeben sein, so wird ein Hinweis angezeigt.	notwendig
Baujahr	Baujahr des Gebäudes, z.B. "1984".	
Jahr der letzten Modernisierung	Jahr, in dem die letzte Modernisierung stattfand, z.B. "2012".	optional
Aufnahmedatum	Datum der Gebäudeaufnahme (z.B. möglich im Format MM.JJJJ).	optional
Ablage Dokumentation	Hinweis, wo schriftliche Dokumente zur jeweiligen Aufnahme hinterlegt sind.	optional
Aufnahmeperson	Person oder Kürzel der Person, welche die Aufnahme erstellt hat.	optional
Anmerkung	Für Anmerkungen, beispielsweise ob aus Plänen oder durch Vorortbegehung, eventuelle Einschränkungen und Unsicherheiten etc.	optional
Bruttorauminhalt (BRI)	Brutto-Rauminhalt nach DIN 277 in m ³	notwendig für spätere Berechnungen
Bebaute Fläche (BF)	Bebaute Fläche nach DIN 277 in m ²	
Bruttogrundfläche (BGF)	Brutto-Grundfläche nach DIN 277 in m ²	
Gebäudetyp	Dropdownmenü zur Auswahl der Gebäudetyp-Kategorie nach PRRIG, in welche das Gebäude bzw. Gebäudeteil am ehesten einzuordnen ist. Eine Beschreibung des aktuell zugeordneten Gebäudetyps wird im unteren Bereich des Fensters angezeigt.	notwendig
Gebäudetyp Unterategorie	Dropdownmenü zur weiteren Konkretisierung des Gebäudetyps.	notwendig
Konstruktionsart	Dropdownmenü für die Auswahl der Konstruktionsart des Gebäudes bzw. Gebäudeteils. Eine Erläuterung der Abkürzungen wird jeweils unterhalb des Dropdownmenüs angezeigt.	notwendig

2. Schritt: Komponentenaufnahme

Die in Abbildung 24 dargestellte Maske dient der Komponentenaufnahme für ein Gebäude, für welches im vorangegangenen Schritt bereits Basisinformationen eingegeben wurden. Der Komponentenaufnahme liegt das im Rahmen von PRRIG entwickelte Untersuchungs- und Dokumentationsschema zugrunde, bei welchem Komponenten gezählt oder abgemessen werden und Rohstofffaktoren zugeordnet bekommen. Falls für das aufgenommene Gebäude keine detaillierte Aufnahme in Form von einzelnen Komponentenzählungen vorliegt bzw. möglich ist, so können in der nachfolgenden Maske "Alternative: Mengenaufnahme" stattdessen auch durch Wiegung ermittelte Rohstoffmassen eingegeben werden.

Es muss zunächst das gewünschte Gebäude aus dem Dropdownmenü im oberen Bereich ausgewählt werden. Alle dafür bereits eingetragenen Komponenten werden anschließend aufgelistet dargestellt. Zu jeder Komponente können die in Tabelle 17 aufgezählten Attribute eingegeben werden.

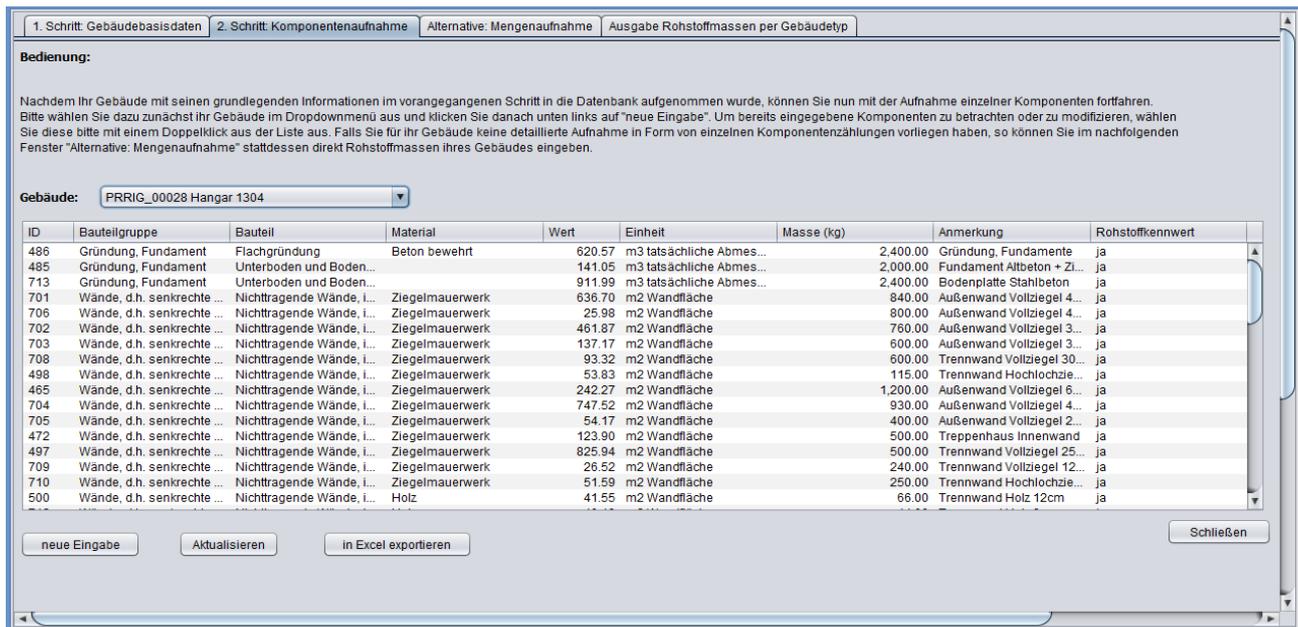


Abbildung 24: Maske zur Aufnahme von Komponenten eines Gebäudes in die Datenbank.

Tabelle 17: In die Gebäudedatenbank einzugebende Attribute für die Komponentenaufnahme

Attribut	Erläuterung	Eingabe ist
Bauteilgruppe	Dropdownmenü zur Auswahl der ersten Konkretisierungsstufe für die Komponentenzuordnung nach dem in PRRIG entwickelten Untersuchungs- und Dokumentationsschema. Eine Beschreibung der ausgewählten Bauteilgruppe wird unterhalb der Dropdownmenüs angezeigt.	notwendig
Bauteil	Dropdownmenü zur Auswahl der zweiten Konkretisierungsstufe. Eine Beschreibung des ausgewählten Bauteils wird unterhalb der Menüs angezeigt.	notwendig
Material	Dropdown-Menü zur Auswahl der dritten Konkretisierungsstufe. Diese ordnet der Komponente noch nicht direkt einen Rohstoff zu, sondern dient nur der weiteren Konkretisierung. So ist bei Türblättern mit dem Material "Holz" beispielsweise nicht nur der Rohstoff Holz enthalten, sondern zusätzlich Beschläge, Scharniere, Klinke etc. aus anderen Rohstoffen. Bei Komponenten welche nur zwei Konkretisierungsstufen besitzen (z.B. aus der Bauteilgruppe "Feuerlöschanlagen") entfällt die Auswahl.	notwendig sofern auswählbar
Anzahl	Gemessene bzw. abgezahlte Einheiten der Komponente. Je nach Komponente geschieht dies beispielsweise in m ³ , laufenden Metern, Stück etc. Die jeweils zu verwendende Einheit wird hinter dem Eingabefeld angezeigt.	notwendig
Masse pro Einheit	Die Masse pro Einheit der Komponente (bspw. 2400 kg/m ³) kann durch einen Klick auf den nebenstehenden Button automatisch berechnet werden, sobald ein Rohstoffkennwert zugewiesen wurde. Sie dient der Plausibilitätsüberprüfung.	Plausibilitätsüberprüfung
Gesamtmasse	Zur Plausibilitätsüberprüfung kann auch die Gesamtmasse für die eingegebene Anzahl (bspw. 7200 kg für 3 m ³) durch Klick auf den nebenstehenden Button berechnet werden, sobald ein Rohstofffaktor zugewiesen wurde.	Plausibilitätsüberprüfung
Anmerkung	Für Anmerkungen, beispielsweise ob die Anzahl exakt gemessen oder nur abgeschätzt wurde etc.	optional
vorgegebene Rohstofffaktoren	Das Dropdownmenü zeigt bereits verfügbare Rohstofffaktoren für die ausgewählte Komponente an. Statt dieser kann mittels der Auswahloption "neu eintragen" ein eigener Rohstofffaktor erstellt werden. Dieser wird ebenfalls gespeichert und steht danach ebenfalls als auswählbare Vorgabe zur Verfügung. Soll zunächst noch kein Rohstofffaktor zugewiesen werden, so ist die Eintragung "nicht vergeben" auszuwählen.	notwendig

Bezeichnung Rohstofffaktor	Nach Auswahl eines vorgegebenen Rohstofffaktors aus dem Dropdownmenü wird in diesem Feld dessen Name angezeigt. Wurde stattdessen ausgewählt, dass ein neuer Rohstofffaktor eingetragen werden soll, so ist hier ein möglichst aussagekräftiger Name für diesen einzutragen.	notwendig bei neuem Rohstofffaktor
Quelle	Nach Auswahl eines vorgegebenen Rohstofffaktors aus dem Dropdownmenü wird in diesem Feld dessen Quelle angezeigt. Wurde stattdessen ausgewählt, dass ein neuer Rohstofffaktor eingetragen werden soll, so kann hier die Quelle bzw. ein Hinweis zur Generierung des Wertes eingetragen werden.	optional bei neuem Rohstofffaktor
Mineralische/sonstige Rohstoffe	Nach Auswahl eines vorgegebenen Rohstofffaktors wird in diesen Feldern für jeden einzelnen Rohstoff die Masse pro Einheit der Komponente angezeigt (z.B. 23 kg Stahl / m ³). Wurde stattdessen ausgewählt, dass ein neuer Rohstofffaktor eingetragen werden soll, so müssen die Felder aller in der Komponente vorhandenen Rohstoffe ausgefüllt werden. Zu beachten ist dabei, dass eine mögliche Restmasse, welche keinem Rohstoff mehr zugeordnet werden kann, unter "sonstige" eingetragen werden muss.	notwendig bei neuem Rohstofffaktor

Alternative: Mengenaufnahme

Falls für das aufgenommene Gebäude keine detaillierte Aufnahme in Form von einzelnen Komponentenzählungen vorliegt bzw. möglich ist, so können stattdessen in dieser Maske durch Wiegung ermittelte Rohstoffmassen eingegeben werden. Diese können entweder Komponenten zugeordnet sein (beispielsweise "21 kg Stahl aus Türblättern") oder sich auf das Gebäude allgemein beziehen ("3 423,6 kg Stahl aus dem gesamten Gebäude").

Es muss zunächst wieder das gewünschte Gebäude im Dropdownmenü ausgewählt werden. Alle dafür bereits eingetragenen Rohstoffmassen werden anschließend in einer Liste dargestellt, wie in Abbildung 25 gezeigt. Während bei der vorangehend beschriebenen Komponentenaufnahme unabhängig von der Anzahl der enthaltenen Rohstoffe pro Komponente nur ein Eintrag erforderlich ist, muss bei der Mengenaufnahme je Rohstoff (und ggf. je Komponente, sofern dies zugeordnet wird) ein separater Eintrag mit den in Tabelle 18 erläuterten Attributen erstellt werden.

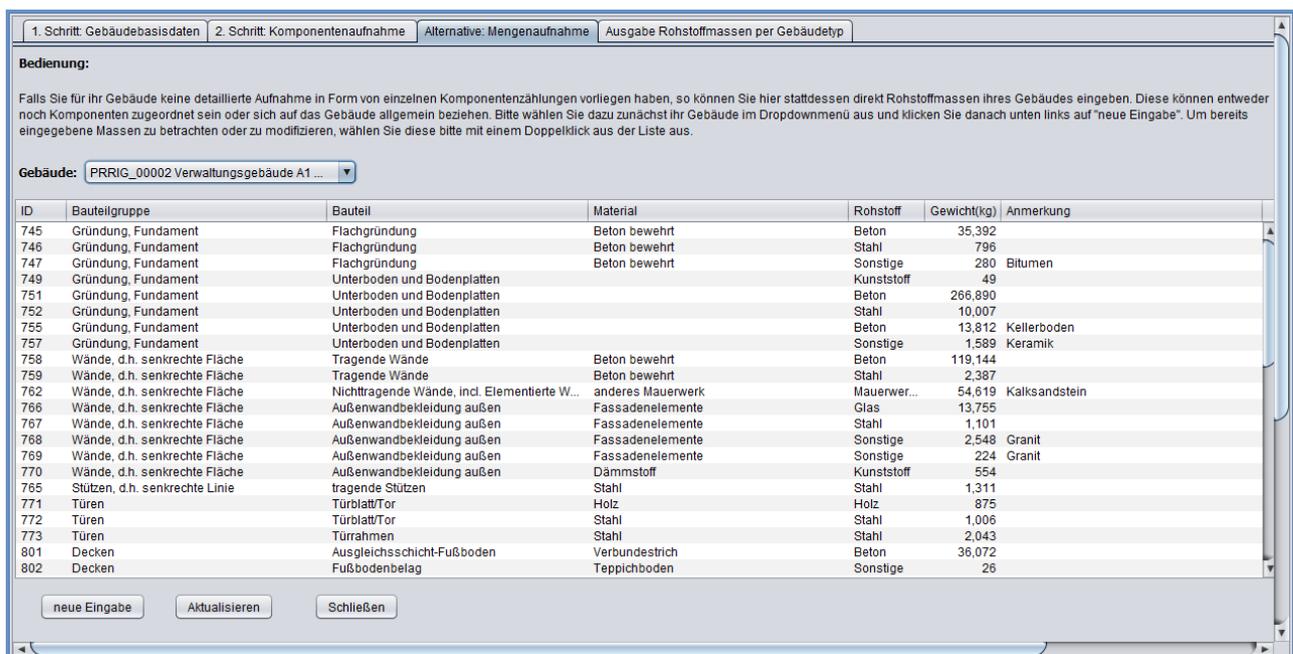


Abbildung 25: Alternative Eingabemöglichkeit von Rohstoffmassen anstelle von Komponenten.

Tabelle 18: In die Gebäudedatenbank einzugebende Attribute für die Mengenaufnahme

Attribut	Erläuterung	Eingabe ist
Bauteilgruppe	Dropdownmenü zur Auswahl der ersten Konkretisierungsstufe für die Komponenten-zuordnung nach dem in PRRIG entwickelten Untersuchungs- und Dokumentations-schema. Eine Beschreibung der ausgewählten Bauteilgruppe wird im unteren Bereich des Fensters angezeigt. Wenn keine Komponente zugeordnet werden soll/kann, so ist die Option "Sonstige" zu wählen.	notwendig
Bauteil	Dropdownmenü zur Auswahl der zweiten Konkretisierungsstufe. Eine Beschreibung des ausgewählten Bauteils wird im unteren Bereich des Fensters angezeigt. Wenn keine Komponente zugeordnet werden soll/kann, so ist die Option "unbekannte Bauteile" zu wählen.	notwendig
Material	Dropdownmenü zur Auswahl der dritten Konkretisierungsstufe. Diese ordnet der Komponente noch nicht direkt einen Rohstoff zu, sondern dient nur der weiteren Konkretisierung. So ist bei Türblättern mit dem Material "Holz" beispielsweise nicht nur der Rohstoff Holz enthalten, sondern zusätzlich Beschläge, Scharniere und Klinke etc. aus anderen Rohstoffen. Bei Komponenten welche nur zwei Konkretisierungsstufen besitzen (z.B. aus der Bauteilgruppe "Feuerlöschanlagen") entfällt die Auswahl. Wenn keine Komponente zugeordnet werden soll/kann, so ist die Option "Sonstige" zu wählen.	notwendig sofern auswähl- bar
Rohstoff	Dropdownmenü zur Auswahl des Rohstoffes, dessen Masse eingegeben werden soll.	notwendig
Wert	In dieses Feld ist die Gesamtmasse des ausgewählten Rohstoffes in der ausgewählten Komponente einzugeben.	notwendig
Anmerkung	Für Anmerkungen, beispielsweise ob die Anzahl exakt gemessen oder nur abgeschätzt wurde etc.	optional

Rohstofffaktoren

Über die in Abbildung 26 dargestellte Maske lassen sich sowohl neue Rohstofffaktoren in die Datenbank eintragen als auch bereits bestehende, beispielsweise über Gebäudeaufnahmen eingegebene Werte bearbeiten oder löschen. Für einen Rohstofffaktor können die in Tabelle 19 erläuterten Attribute eingegeben werden.

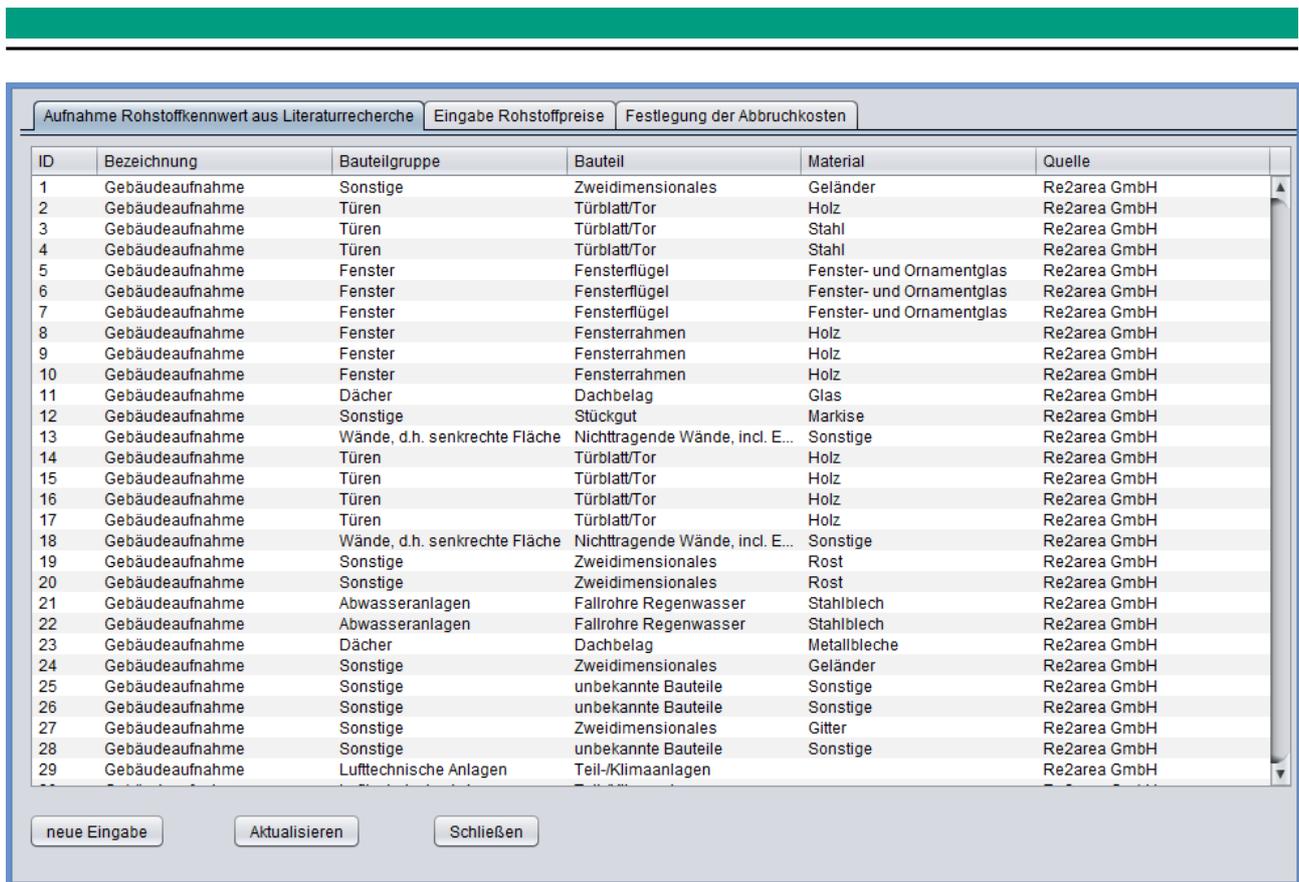


Abbildung 26: Maske zur Aufnahme bzw. Veränderung von Rohstofffaktoren unabhängig von einer Komponentenaufnahme.

Tabelle 19: In die Gebäudedatenbank einzugebende Attribute für Rohstofffaktoren

Attribut	Erläuterung	Eingabe ist
Bauteilgruppe	Dropdownmenü zur Auswahl der ersten Konkretisierungsstufe für die Komponentenzuordnung nach dem in PRRIG entwickelten Untersuchungs- und Dokumentationsschema. Eine Beschreibung der ausgewählten Bauteilgruppe wird unterhalb der Dropdownmenüs angezeigt.	notwendig
Bauteil	Dropdownmenü zur Auswahl der zweiten Konkretisierungsstufe. Eine Beschreibung des ausgewählten Bauteils wird unterhalb der Dropdownmenüs angezeigt.	notwendig
Material	Dropdownmenü zur Auswahl der dritten Konkretisierungsstufe. Diese ordnet der Komponente noch nicht direkt einen Rohstoff zu, sondern dient nur der weiteren Konkretisierung. So ist bei Türblättern mit dem Material "Holz" beispielsweise nicht nur der Rohstoff Holz enthalten, sondern zusätzlich Beschläge, Scharniere, Klinke etc. aus anderen Rohstoffen. Bei Komponenten welche nur zwei Konkretisierungsstufen besitzen (z.B. aus der Bauteilgruppe "Feuerlöschanlagen") entfällt die Auswahl.	notwendig sofern auswählbar
Bezeichnung Rohstofffaktor	Hier ist ein möglichst aussagekräftiger Name für den neuen Rohstofffaktor einzutragen.	notwendig
Quelle	Hier kann die Quelle bzw. ein Hinweis zur Generierung des Wertes eingetragen werden.	optional
Mineralische/ sonstige Rohstoffe	Die Masse aller in der Komponente vorhandenen Rohstoffe je Komponenteneinheit muss eingetragen werden. Zu beachten ist dabei, dass eine mögliche Restmasse, welche keinem Rohstoff mehr zugeordnet werden kann, unter "sonstige" eingetragen werden muss.	notwendig

Rohstoffpreise

In der in Abbildung 27 dargestellten Maske werden die derzeit in der Datenbank gespeicherten Rohstoffpreise dargestellt. Zur Bearbeitung muss im Dropdownmenü der gewünschte Rohstoff ausgewählt werden. Eingegeben werden können die in Tabelle 20 gelisteten Attribute.

Abbildung 27: Tab zur Eingabe bzw. Aktualisierung von Rohstoffpreisen.

Tabelle 20: In die Gebäudedatenbank einzugebende Attribute für Rohstoffpreise

Attribut	Erläuterung	Eingabe ist
Rohstoff	Dropdownmenü zur Auswahl des jeweiligen Rohstoffes.	notwendig
Preis	Der Preis wird in Euro je kg angegeben, beispielsweise "0.160".	notwendig
Datum	Um den Stand des Preises anzugeben, kann hier das Datum eingetragen werden (z.B. möglich im Format MM.JJJJ).	optional
Anmerkung	Hier können die Quelle sowie weitere Anmerkungen zum Preis eingetragen werden.	optional

Zu beachten ist, dass der Rohstoffpreis nur den Materialwert der verbauten Rohstoffe angibt. Um den Ertrag für den ausgebauten Rohstoff abzuschätzen, müssen zusätzlich Personal- und Materialkosten betrachtet werden. Diesbezüglich wurde ein Tool entwickelt, welches in Kapitel 11.4.2 näher erläutert wird.

Abbruchmethoden

Die in Abbildung 28 dargestellte Maske zeigt in einer Liste verschiedene mögliche Abbruchmethoden sowie die dabei zu erwartenden Personal- und Gerätekosten. Diese sind für das in Kapitel 11.4.2 vorgestellte Tool zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit eines Rückbaus notwendig. Für eine Abbruchmethode können die in Tabelle 21 aufgezählten Attribute eingegeben werden.

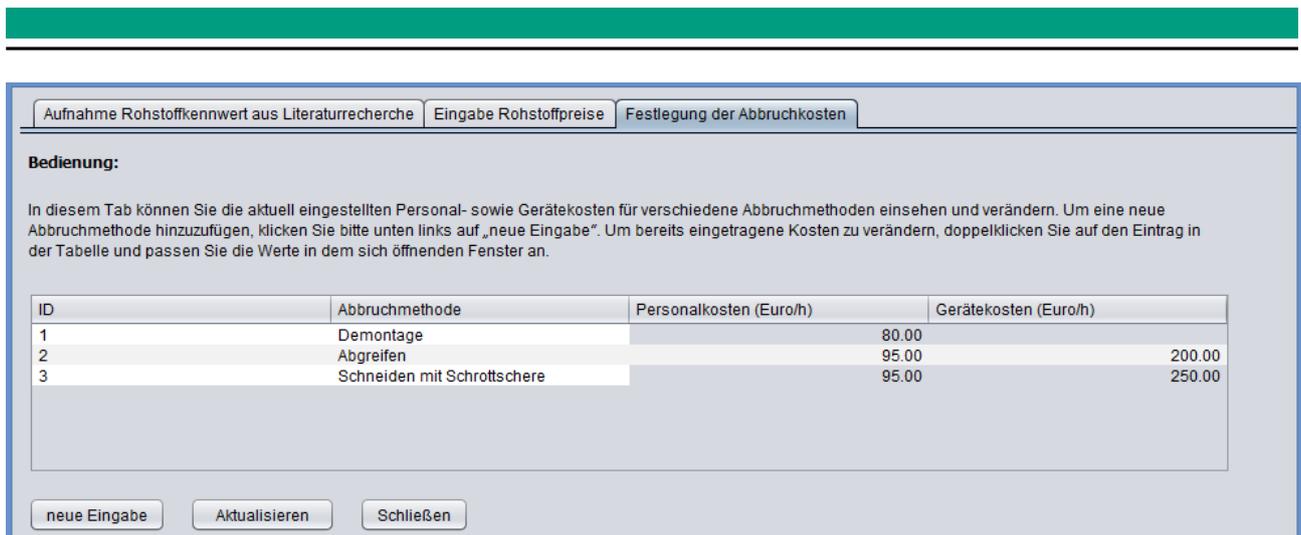


Abbildung 28: Tab zur Eingabe und Modifikation von Abbruchmethoden und deren Kosten.

Tabelle 21: In die Gebäudedatenbank einzugebende Attribute für Rohstoffpreise

Attribut	Erläuterung	Eingabe ist
Abbruchmethode	Name der Abbruchmethode.	notwendig
Personalkosten	Die Kosten werden in Euro je Arbeitsstunde angegeben.	notwendig
Gerätekosten	Die Kosten werden in Euro je Arbeitsstunde angegeben.	notwendig
Beschreibung	Hier kann eine Beschreibung der Methode, die Quelle oder das Datum der Erhebung der Kosten sowie weitere Anmerkungen eingetragen werden.	optional

6. Gebäudeuntersuchungen und Ableitung von Rohstoffkennwerten

Das Kapitel beschäftigt sich mit Rohstoffkennwerten, wie sie in Abschnitt 2.3 beschrieben sind, und deren Ermittlung. Dargestellt werden zunächst die unterschiedlichen Vorgehensweisen zur Ableitung von Rohstoffkennwerten mit den theoretischen Grundlagen der Definition von synthetischen Gebäuden, des bottom-up Ansatzes über Komponenten, und schließlich der in Kapitel 5 beschriebenen Gebäudeuntersuchungen. Die ermittelten Ergebnisse der in PRRIG beschriebenen Vorgehensweise der empirischen Untersuchungen von Nichtwohngebäuden (NWG) sowie ihre Diskussion runden das Kapitel ab.

6.1. Vorgehensweisen zur Ermittlung von Rohstoffkennwerten

6.1.1. Zugang über „synthetische Gebäude“

Real existierende Gebäude können charakteristisch und damit typisch für eine bestimmte (Bau-)Art von Gebäuden sein und damit als Vertreter dieser Art oder einer Region herhalten. Gibt es kein passendes Vertretergebäude, kann ein passendes sog. „synthetisches Gebäude“ zahlenmäßig berechnet werden. Dies ist in der Literatur ein gängiger Ansatz, um z.B. den energetischen Zustand der Gebäude verschiedener Altersklassen zu errechnen. Hierbei werden flächendeckende Informationen aus gebäudebezogenen Informationen durch das Verknüpfen der Gebäudetypen mit den gewünschten Daten oder Merkmalen gewonnen.

Über den Gebäudebestand sowie das Materialinventar der Region Frankfurt-Ost / Maintal (Abschnitte 7.2 und 7.3) können für die Fallstudienregion synthetische NWG bestimmt werden. Dies ist möglich über eine Division der gebäudetypspezifischen ermittelten Materialgesamtmengen (Tabelle 26) durch die Anzahl der entsprechenden Gebäude. Im Rahmen des Projektes wurde das nicht umgesetzt, da die Ermittlung der Basisdaten über die Gebäudeaufnahmen zeitintensiv war und sich bei der Zusammenstellung der im Rahmen der Phase I des Projektes aufgenommenen Gebäude zeigte, dass es nicht möglich sein würde, bis zum Ende der Phase II statistisch signifikante Stichproben für jeden Gebäudetyp in entsprechender Tiefe aufzunehmen.

6.1.2. Zugang über Rohstofffaktoren für Komponenten

Wie in Kapitel 3.3 erläutert, verwendet PRRIG eine Komponententypologie aufbauend auf DIN 267 mit einer bauteilorientierten Struktur. Sind (standardisierte) Rohstoffkennwerte für die entsprechenden Bauteile bekannt, so muss in einem realen Gebäude nur die Anzahl dieser Bauteile ermittelt werden, um den Rohstoffgehalt eines Gebäudes zu ermitteln. In der Literatur sind jedoch nur in wenigen Fällen Rohstoffkennwerte dokumentiert. In PRRIG wurde daher ein Vorgehen zur Ermittlung von Rohstofffaktoren entwickelt, in dem die folgenden Schritte einzeln oder kombiniert ausgeführt werden:

- Recherche zu Produktdetails in Literatur und Internet
- Abfrage von Herstellerinformationen per mail und Telefon
- Praktische / Händische Analyse einzelner Exemplare der Komponente
- Auswertung der ermittelten Informationen

- Auswertung der bei den Gebäudeaufnahmen erhobenen Informationen über real verbaute Komponenten
- Aufstellen geeigneter Rohstofffaktoren, inklusive Abweichungen u. Unsicherheiten

Da sich unterschiedliche Varianten von Komponenten durchaus stark in Bezug auf die Rohstoffgehalte unterscheiden können, müssen Rohstofffaktoren für jede einzelne Variante von Komponenten bekannt sein. Beispielsweise nicht nur ein Faktor, der pauschal z.B. für die Komponente „Heizungsrohr“ gilt, sondern unterschieden nach dem jeweiligen Durchmesser, der Wandstärke sowie ggf. des Produktionsjahres. Diese lassen sich z.T. aus Hersteller- und Lieferantenkatalogen ermitteln oder sind bei einer sekundären Erfassung (siehe Abschnitt 5.1.4.6 a)) vereinzelt in den Bauunterlagen enthalten und genannt. Als dritter Weg bleibt die händische / analytische Bestimmung, d.h. der Ausbau einer Probe (bei Rohren, Leitungen etc. beispielsweise 1 m Länge), die Zerlegung in die einzelnen Materialien (Isolationsmaterial A – Isolationsmaterial B – ... Leiter/Rohr) und die Bestimmung der jeweiligen Massen. Durch diese Methode sind die Hauptmaterialien ermittelbar. Sollen daneben Spurengehalte der einzelnen Fraktionen ebenfalls ermittelt werden, wäre eine laboranalytische Untersuchung anzuschließen. Für flächige Komponenten bietet es sich an, einen Quadratmeter entsprechend zu zerlegen und ggf. zu analysieren. Hierbei ist auf Inhomogenitäten zu achten, die sich z.B. durch Säulen, Ständer oder Fachwerk ergeben können. Dann ist zusätzlich das Volumen- oder bei gleicher Stärke das Flächenverhältnis bzgl. der gesamten Wand von Ständermaterial zu Füllmaterial zu berücksichtigen und entsprechend einzurechnen.

Um eine spätere Umrechnung von Rohstofffaktoren (Komponente) in Rohstoffintensitäten (Gebäude) zu ermöglichen, müssen die Rohstofffaktoren bezogen werden auf die Größen, die bei einer Aufnahme von Gebäuden ermittelt werden können. Ist dies gegeben, dann können die entsprechend der o.g. Beschreibung ermittelten Rohstofffaktoren mit den Längen bzw. Flächen oder Volumina, ggf. auch Stückzahlen der jeweiligen Komponenten multipliziert werden und sodann die errechneten Gehalte addiert werden, um die Gesamtmasse des gesuchten Materials aus der Komponente für das vorliegende Gebäude zu ermitteln. Sind die Gesamtmassen für alle Komponenten ermittelt, werden sie addiert und durch das Volumen des Gebäudes (Bruttorauminhalt, BRI) geteilt.

Ermittelte Rohstofffaktoren

Mit der zuvor beschriebenen Vorgehensweise wurden in PRRIG 12 Komponenten untersucht. Für die Recherche zu Komponentendetails wurden unterschiedliche Quellen herangezogen: von historischen Lehr- und Nachschlagewerken über (online-)Kataloge und Lieferlisten bis hin zu Interviews mit Herstellern. Das Nachvollziehen ihrer zeitlichen und regionalen Entwicklung hinsichtlich der eingesetzten Materialarten und -mengen bildet die Grundlage, um signifikante Änderungen feststellen zu können. Somit sind Einsatzort und Einbaujahr charakteristische Größen für die Rohstoffgehalte einer Komponente. Das Auswerten der Quellen sowie das händische Analysieren von einzelnen Exemplaren einer Komponente führen zu spezifischen Rohstoffmassen bzw. -anteilen bei Bauteilen oder Typen der Komponente eines Herstellers. Mit den Unter-

suchungen einzelner Komponenten konnten komponenten-spezifische Faktoren ermittelt werden. Manche Bauteile wurden grob gruppiert, so dass größenabhängige Mittelwerte vorliegen, für andere wurde ein allgemeiner Mittelwert errechnet – je nach Art der Angabe⁶ in den Quellen⁷.

Ermittelt wurden die Rohstofffaktoren für einige der Materialien wie Eisen/Stahl, Aluminium, Kupfer, Beton, Mauerwerk, Ziegel und Holz. Die Auswahl der Materialien erfolgte zunächst auf der Grundlage der erwarteten Häufigkeit eines Materials und seinem wirtschaftlichen Wert. Materialien, die bei den Aufnahmen der Gebäude nur selten oder in sehr geringen Mengen vorgefunden wurden und nicht als Massengut vorkamen, wurden zwar eigenständig aufgenommen, letztlich jedoch nicht mehr gesondert betrachtet. Dies gilt z.B. für Zink, welches in den Gebäude-Komponenten fast nur in Form von verzinkten Elementen wie Dachrinnen u.ä. vorliegt.

Ihre Nutzung für die Ermittlung der gebäudespezifischen Einheit (m^3 umbauter Raum bzw. BRI oder m^2 BF bzw. NF) konnte allerdings aus zwei Gründen nicht erfolgen:

- Kein Gebäude war so zugänglich, dass es entsprechend in die einzelnen Komponenten zerlegt werden konnte, um diese komplett zu zählen bzw. auszumessen. Sofern Pläne zur Verfügung standen, beschränkten diese sich auf Risse und Schnitte; nur von einem nicht zugänglichen Gebäude gab es alte Pläne zu einer Sprinkleranlage und deren Leitungen.
- Die Komponentenuntersuchungen waren sehr aufwendig und zeigten eine große Variabilität. Aus diesem Grund konnten nicht alle für Gebäudeuntersuchungen erforderlichen Komponenten die Rohstoffkennwerte ermittelt werden, so dass eine vollständige Berechnung der Rohstoffintensitäten für Gebäude nicht möglich war.

Die Ergebnisse zu den Rohstofffaktoren für die Komponenten sind im Anhang gemäß der Gruppierung Rohbau⁸, Ausbau⁹ und Einbau¹⁰ dokumentiert. Eine Nutzung entsprechender Faktoren ist von besonderem Interesse für die künftige Untersuchung von Renovierungen. Denkbar ist, die Komponenten zu Gruppen zusammenzufassen, die bei einem Typ von Renovierung ausgetauscht werden, im Rahmen der energetischen Ertüchtigung der Gebäudehülle z.B. Fenster, Dach und Außenwände, bei einfachen Umnutzungen Innenwände, Elektroversorgung und Leuchten. Je nach Jahr der Sanierung bzw. Umbaumaßnahme kämen ggf. noch Brandbekämpfungs- und Feuerlöschanlagen hinzu.

6.1.3. Zugang über empirische Rohstoffintensitäten für Nichtwohngebäude

Im Unterschied zu synthetischen Gebäuden (Absatz 6.1.1) sind nach (Schwaiger 2003) Referenz- oder Vertretergebäude real existierende Gebäude, die räumlich und semantisch sehr detailliert beschrieben sind. Beim Blick in die Literatur scheint das standardisierte Beschreiben der Referenzgebäude, wie bei anderen Projekten z.B. in Form harmonisierter Bauprofile vorgenommen, wesentlich zu sein, obwohl dort die stoffliche Zusammensetzung des Bestands der NWG eher

⁶ Min./Max.-Werte, aufgeschlüsselte oder gruppierte Werte

⁷ DIN- u.a. Normen, Herstellerkataloge und -homepages

⁸ Gründung, Wand, Decke, Dach, Fenster

⁹ Leuchten, Wärme-, Wasser- und Elektroversorgung, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik

¹⁰ Brandbekämpfungs- und Feuerlöschanlagen, Aufzüge, Fahrtreppen, Transportanlagen für Schütt- und Stückgüter

selten aufgenommen wurde. Sofern Materialinhalte von konkreten Gebäuden untersucht wurden, konzentrieren sich die meisten Autoren auf mineralische Bestandteile und / oder Wohngebäude wie (Ortlepp et al. 2015) zusammenfasst. Daten für NWG werden allenfalls summarisch am Rand erwähnt. Informationen über einzelne in NWG enthaltene Metalle werden von (Kleemann 2016) für Stahl, Aluminium und Kupfer, von (Michel 2012) für Stahl und von (Wittmer 2006) für Kupfer zur Verfügung gestellt. (Ortlepp et al. 2015) selbst fokussierten sich auf NWG und werteten hierfür Daten des Baukosteninformationszentrums der Bundesarchitektenkammer aus. Metalle geben sie jedoch nur zusammengefasst in einer Kategorie wieder.

Bei den Referenzgebäuden in PRRIG liegen Daten zu allen drei Kategorien – Material, räumliche und semantische Komponente – vor, wodurch sie die umfangreichsten Informationen aller Gebäude in der Datenbank bieten. Weiterhin bilden Referenzgebäude die empirische Basis für Gebäudetypen und somit für das weitere Vorgehen hinsichtlich Bestandsermittlung, Modellierung und regionaler Extrapolation. Definition und Identifizierung von spezifischen Eigenschaften der Referenzgebäude erfolgten in PRRIG auf die Weise, dass zunächst die Gebäude aufgenommen und danach in die Typ-Alters-Matrix einsortiert bzw. entsprechend referenziert wurden. Für jedes Gebäude wurden die Rohstoffintensitäten berechnet und über diese die durchschnittlichen spezifischen Materialkennwerte für die jeweilige Typ-Alters-Kombination ermittelt.

6.2. Empirische Untersuchungen von Nichtwohngebäuden

6.2.1. Vorgehen zur Untersuchung

Zunächst wurden insgesamt 25 Gebäude als Fallstudien sowohl sekundär als auch originär aufgenommen. Für die Gebäudeaufnahmen wurde auf Basis der Beschreibung in Abschnitt 5.1.4.6 vorgegangen – angepasst auf die jeweilige Quellenlage des aufzunehmenden Objekts. Neben der Sichtung der Unterlagen fand in fast allen Fällen auch eine Standortbegehung statt, unter anderem um nicht eindeutige Angaben der Pläne richtig interpretieren zu können und Abweichungen festzustellen oder fehlende Abmessungen zu ermitteln (Mandler; Böhle). Von den 25 Gebäuden konnten die in Tabelle 22 gelisteten 19 Gebäude identisch hinsichtlich Struktur und Tiefe klassifiziert und analysiert werden.

6.2.2. Vorstellung der untersuchten Nichtwohngebäude

Bei den untersuchten Objekten handelt es sich überwiegend um bisher statistisch nicht erfasste NWG. Somit soll ein wissenschaftlicher Beitrag zur Zusammensetzung des gebäudebezogenen anthropogenen Materiallagers geleistet werden. Nachfolgender Übersicht (Tabelle 22) sind die als Untersuchungsobjekt ausgewählten Gebäude zu entnehmen. Der Umfang der Erfassung entspricht jeweils dem Zustand eines entrümpelten Gebäudes.

Umfasst ein Gebäude von der Bodenplatte bis zum Dach auf dem Großteil der Grundfläche einen großen zusammenhängenden Raum, ist seine Bauart ein „Hallenbau“, enthält es zwei oder mehr Etagen, ist es ein „Geschossbau“. Um den Konstruktionstyp (vgl. Kapitel 3.2) in der Gebäudetypologie zu ergänzen, wurden typische Baukonstruktionen von Nichtwohngebäuden (NWG) aufgestellt. Die dick umrahmten Spaltenabschnitte in Tabelle 22 verdeutlichen das Baukasten-

prinzip, nach dem jeder Konstruktionstyp durch eine Kombination von Rahmen und Ausfachung bzw. deren Materialien auszudrücken ist.

Tabelle 22: Liste der aufgenommenen Gebäude und ihrer Charakteristika

Legende: c...concrete (Beton); m...masonry (Mauerwerk); s...steel (Stahl); w...wood (Holz); l...lightweight (Leichtbau)

Ifd. Nr.	Gebäudetyp	BRI [m ³]	Baujahr	Konstruktionstyp			Bauart
				Rahmen (F) Massivbau (S)	Rahmen-Material	Ausfachung	
1	Bürogebäude	2.820	1908	S	M	M	Geschoßbau
2	Fabrikgebäude	11.690	1935	S	M	M	Hallenbau
3	Fabrikgebäude	121.735	1955	S	M	M	Hallenbau
4	Bürogebäude	5.612	1970	S	M	M	Geschoßbau
5	Fabrikgebäude	5.045	1960	S	M	M	Hallenbau
6	Bürogebäude	36.000	2002	S	C	C	Geschoßbau
7	Lagergebäude	213.180	2008	F	C	C	Hallenbau
8	Bürogebäude	121.800	1970	F	C	C	Geschoßbau
9	Lagergebäude	374.100	2013	F	C	L	Hallenbau
10	Fabrikgebäude	6.240	1960	F	C	M	Hallenbau
11	Fabrikgebäude	3.966	1965	F	C	M	Hallenbau
12	Verwaltungsgebäude	1.390	1996	F	S	L	Geschoßbau
13	Lagergebäude	28.070	1970	F	S	L	Hallenbau
14	Lagergebäude	5.272	1970	F	S	L	Geschoßbau
15	Lagergebäude	32.960	2014	F	S	L	Geschoßbau
16	Lagergebäude	119.950	1959	F	S	M	Hallenbau
17	Lagergebäude	65.183	1963	F	S	M	Hallenbau
18	Lagergebäude	94.996	1936	F	S	M	Hallenbau
19	Lagergebäude	92.590	1941	F	S	M	Hallenbau

6.2.3. Ermittlung von Rohstoffintensitäten für Nichtwohngebäude

Die einzelnen Klassen betrafen die Kategorien des Gebäudes, d.h. in erster Linie die Überschriften in Tabelle 22: Baujahr, bzw. Alter; den Konstruktionstyp bzw. seine Hauptmaterialien und die Bauart. Hierüber wurden die Materialwerte aller Gebäude der jeweiligen Sub-Kategorie gemittelt. Von jedem Gebäude wurden Materialien und ihre Mengen auf den BRI umgerechnet und z.T. zusammengefasst (Tabelle 23).

Tabelle 23: Rohstoffintensitäten in kg / m³_{BRI} der untersuchten Gebäude
 0,0 steht für einen Wert <0,005 kg/m³, "n.d." für "nicht detektiert"

kg/m ³ _{BRI} Nr.	FE-Metalle	Kupfer	Aluminium	Beton	Ziegel	Glas	Holz	Sonstige	gesamt
1	29,29	0,27	n.d.	149,14	166,70	1,16	1,08	2,11	349,75
2	4,52	0,50	1,13	83,22	113,10	n.d.	21,73	9,39	233,59
3	25,24	0,07	0,03	73,17	40,75	1,13	n.d.	6,93	147,32
4	23,40	n.d.	n.d.	178,10	144,59	n.d.	2,83	1,53	350,45
5	1,25	n.d.	n.d.	105,33	174,89	n.d.	2,41	0,00	283,88
6	26,94	0,16	0,12	174,50	7,28	5,10	1,09	3,64	218,83
7	2,99	0,01	0,02	55,14	0,52	0,03	n.d.	1,13	59,84
8	41,61	0,04	0,14	840,60	52,64	1,41	n.d.	35,79	972,23
9	3,75	0,00	0,02	57,70	0,00	0,06	n.d.	1,11	62,64
10	17,32	n.d.	0,30	143,46	52,03	0,60	n.d.	11,43	225,14
11	23,86	n.d.	n.d.	204,43	94,64	n.d.	0,69	9,02	332,64
12	23,72	0,40	0,37	419,00	39,40	10,90	0,63	11,06	505,48
13	191,12	0,09	1,78	195,17	3,43	1,06	0,68	0,36	393,69
14	21,26	0,00	n.d.	284,28	0,00	n.d.	n.d.	0,09	305,63
15	16,00	0,00	n.d.	162,00	0,00	0,00	n.d.	0,00	178,00
16	10,05	0,05	0,00	121,55	37,91	6,15	0,34	0,01	176,06
17	3,45	0,01	0,01	47,88	6,81	0,11	0,38	0,01	58,66
18	3,00	2,00	n.d.	72,00	53,00	0,00	7,00	6,00	143,00
19	2,00	0,00	n.d.	50,00	27,00	0,00	0,00	3,00	82,00

Deutlichen Einfluss auf die Materialzusammensetzung eines Gebäudes hat die Art seiner Konstruktion (siehe Abbildung 29). Dieses Attribut wird in anderen Studien nicht berücksichtigt und daher in Datenbanken für die räumliche Analyse i.d.R. nicht zur Verfügung gestellt.

Wie zu erwarten machen Beton, Mauerwerk und Stahl bzw. FE-Metalle die größten (Massen-) Anteile der Materialien aus. Ihr Anteil steht im Zusammenhang mit den Bauteilen. Allerdings zeigt Abbildung 29 keinen eindeutigen Einfluss der Bauart, wie man ihn erwartet hätte.

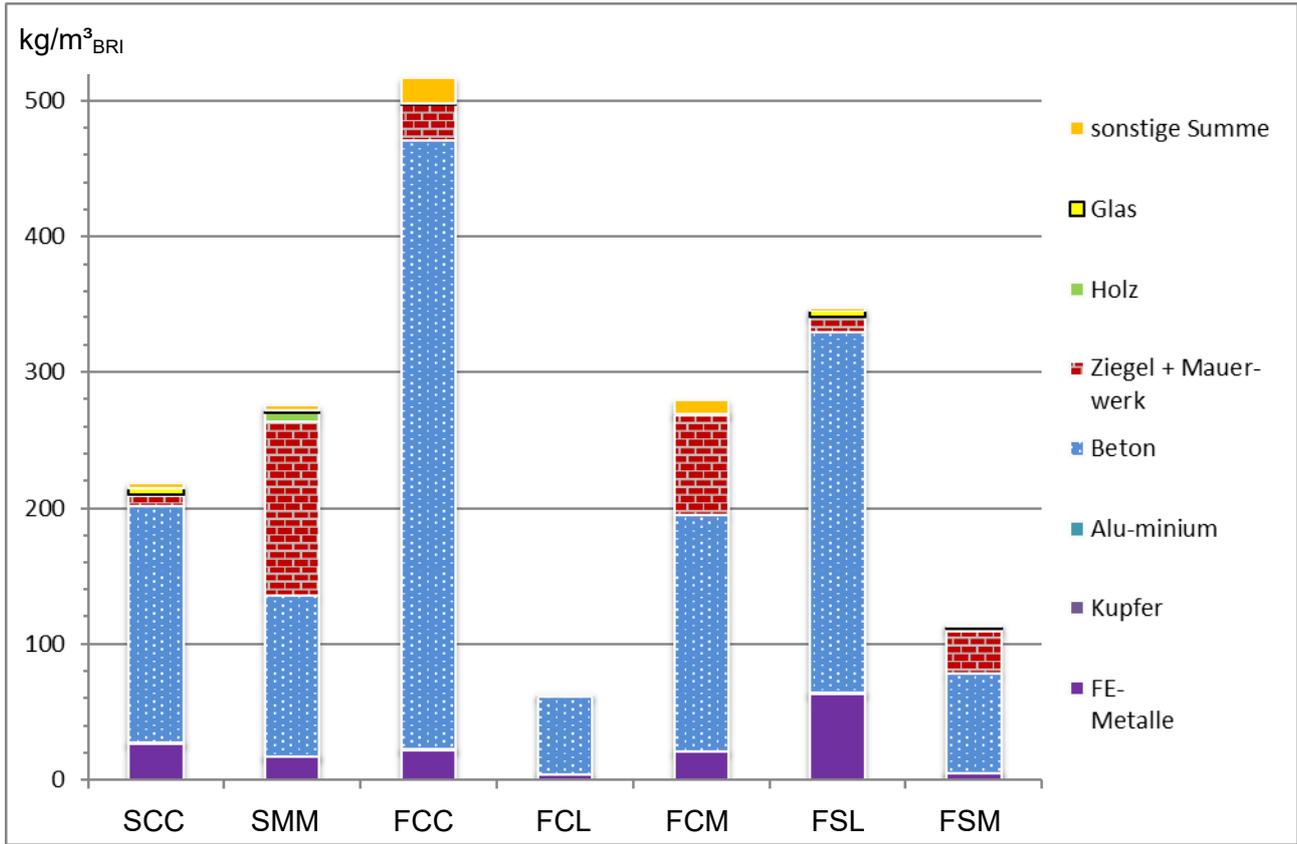
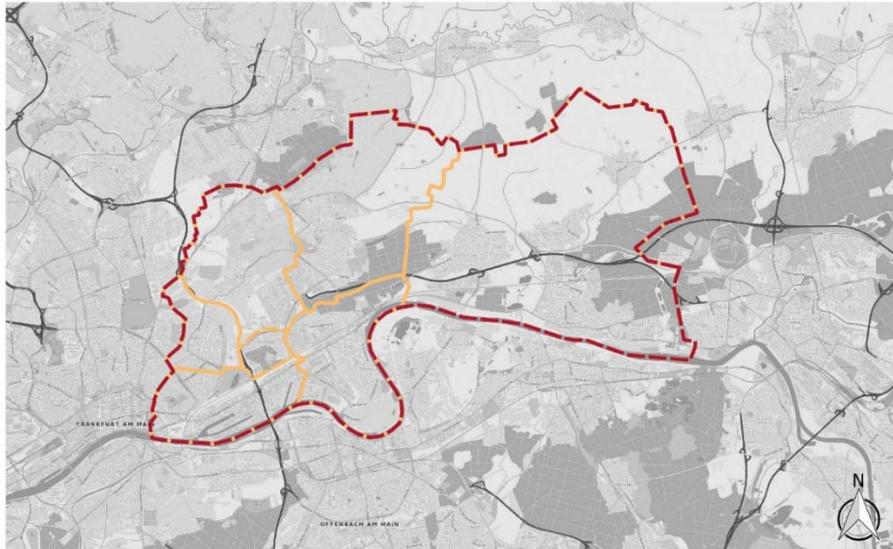


Abbildung 29: Durchschnittliche Rohstoffintensitäten der einzelnen Konstruktionsstile.

7. Regionales Gebäudekataster als Grundlage für ein Rohstoffkataster

7.1. Methodisches Vorgehen für die Fallstudie Frankfurt-Ost / Maintal

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es, den aktuellen Gebäudebestand so grundlegend zu beschreiben, dass er sowohl für die Inventarisierung von Rohstoffen mit dem Ziel eines Rohstoffkatasters als auch für das darauf aufbauende Materialflussmodell genutzt werden kann. Das Vorgehen erfolgt anhand der in Kapitel 4.7 beschriebenen Methodik.



Projektregion Frankfurt Ost / Maintal

■ Projektgebiet
■ Projekt - Stadtteile

Datengrundlage: OpenStreetMap-Mitwirkende 2015
Stadtteilgrenzen FFM: Stadt Frankfurt (Bürgeramt,
Statistik und Wahlen) dl-de/by-2-0

Abbildung 30: Darstellung der PRRIG Fallstudienregion Frankfurt-Ost / Maintal.

7.2. Der Gebäudebestand der Fallstudienregion

Die Ergebnisse der räumlichen Untersuchungen auf Basis der erweiterten ALKIS-Datengrundlage zeigen die nachfolgenden Abbildungen. Dargestellt ist der Gesamtbestand der Nichtwohngebäude (NWG) als BRI (in m³) nach den Kategorien der Nutzung und der Altersklasse. Der vorhandene NWG-Bestand macht im Fallbeispiel etwa die Hälfte des BRI des Gesamtgebäudebestands aus. Innerhalb des NWG-Bereichs entfällt wiederum die Hälfte des Bestands auf die beiden Gebäudetypen "Fabrik- und Werkstatt" und "Handel". Zusammen mit den Typen "Lager" und "Büro und Verwaltung" tragen sie zu einem Großteil des gesamten BRI der NWG bei. Eine parallele Auswertung nach Anzahl der Gebäude innerhalb der jeweiligen Typen ergab, dass diese vier Gruppen jedoch weniger als die Hälfte der Zahl aller NWG vertreten. Ihre Gebäude sind demnach im Durchschnitt größer als die der anderen Kategorien. Dies zeigt, dass die Auswertung nach BRI sinnvoll ist, da sie die Größe der Gebäude berücksichtigt und damit den direkten Bezug zu Materialgehalten darstellt. Auch die Tatsache, dass die Kategorie der „sonstigen NWG“ zwar die größte Anzahl an Gebäuden aufweist, aber nur etwa 11 % des BRI ausmacht, unterstützt die Fokussierung auf den BRI.

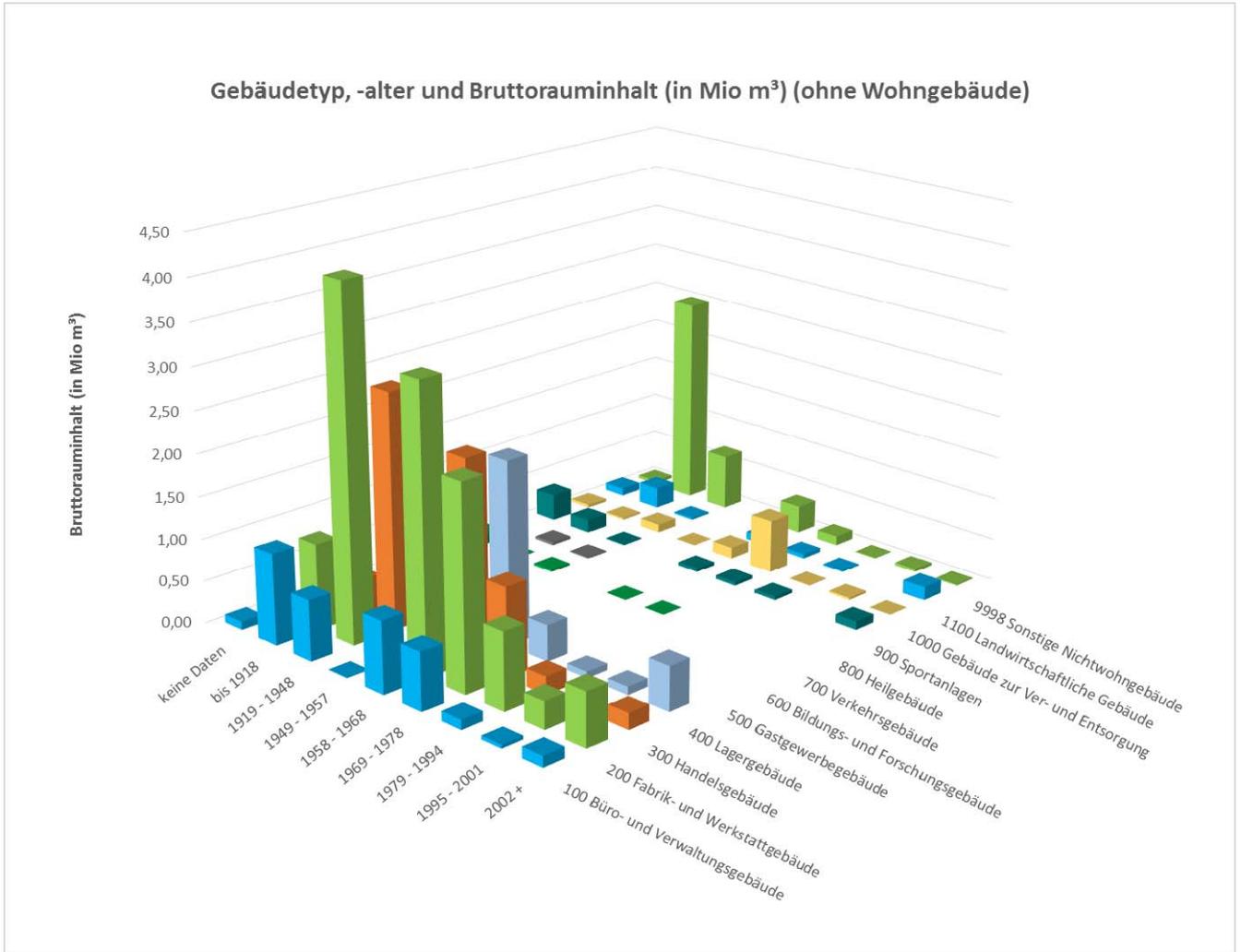


Abbildung 31: Auswertung BRI (m³) je Gebäude (Hauptkategorien inkl. Wohngebäuden) und Baualtersklassen - Fallstudie Frankfurt-Ost / Maintal.

Sowohl bei der Analyse nach BRI (Abbildung 32) als auch nach Anzahl der Gebäude (Abbildung 33) fällt auf, dass in der Klasse "sonstige NWG" ein großer Anteil von Gebäuden aus Baujahren vor 1918 (orange) besteht. Dies ist unter anderem der Tatsache geschuldet, dass die aus RegioMap angenommenen Baualtersklassen lediglich die Erstbebauung der Fläche angeben und eventuelle Abbrüche und Neubauten nicht registriert wurden. Es handelt sich dabei vor allem um kleinere Bauten, die früher als Werkstatt, Schuppen, für diverse Tätigkeiten in der Landwirtschaft o.ä. gedient haben dürften und bei denen sich vermutlich häufig Wohn- und Gewerbenutzungen überschneiden. Zudem sind viele Wohnnebengebäude wie Garagenanlagen in dieser Kategorie zu finden. Über diese Gebäude lassen die Katasterinformationen nur wenige Rückschlüsse auf die aktuelle Nutzung zu. Da dies einer detaillierteren Analyse auf Basis weiterer Informationserhebungen (ggf. Vergleichen vor Ort) bedurft hätte, wurde dieser Gebäudetyp bei den weiteren Auswertungen zunächst vernachlässigt.

Bei der Betrachtung der Verteilung der Baualtersklassen insgesamt ist weiterhin auffällig, dass die Klasse 1949-1957 (dunkelgrün) unterrepräsentiert ist. Dies liegt womöglich wiederum daran, dass die Wiederaufbautätigkeiten während dieser Zeit (kurz nach dem zweiten Weltkrieg) mit den

historischen Datengrundlagen der RegioMap nicht abgebildet werden können. Die Ableitung von Gebäudealtern aus den Daten der RegioMap zur historischen Siedlungsentwicklung zeigt hier deutliche Schwächen und Ungenauigkeiten.

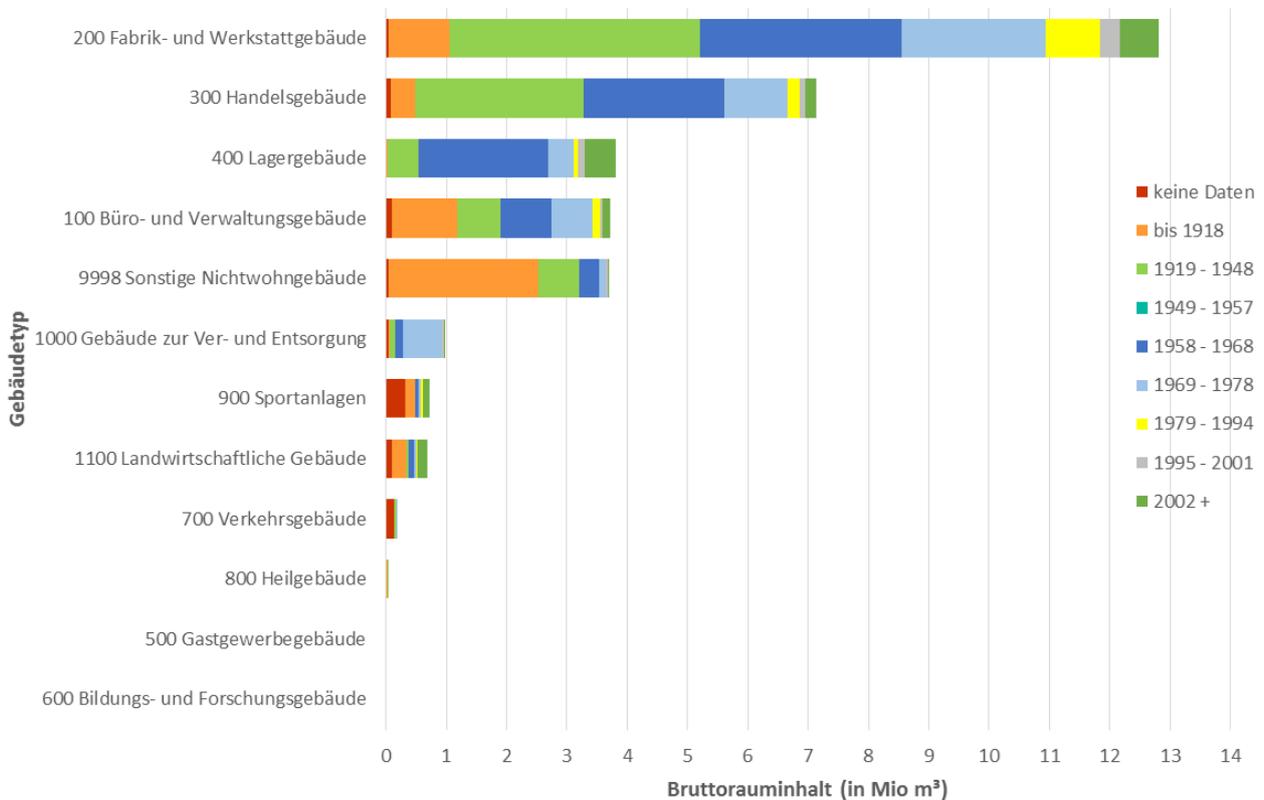


Abbildung 32: Auswertung BRI (Mio. m³) je Gebäude (Hauptkategorien exkl. Wohngebäuden) und Baualterklassen - Fallstudie Frankfurt Ost – Maintal.

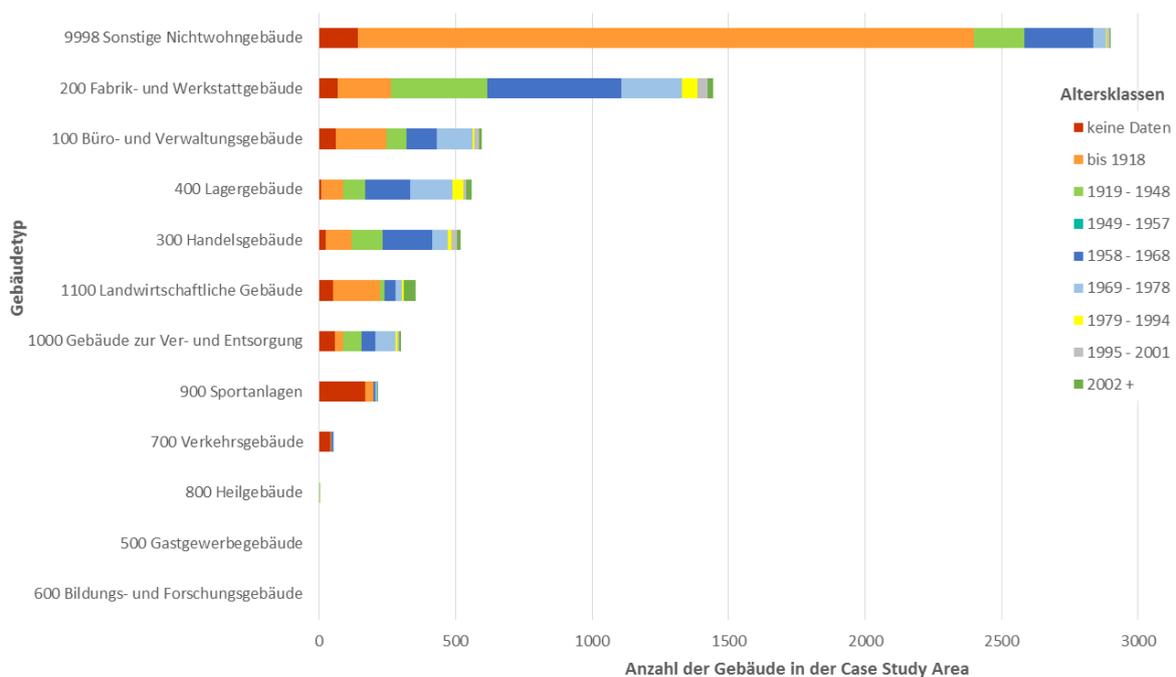


Abbildung 33: Anzahl der Gebäude (Hauptkategorien exkl. Wohngebäuden) und Baualterklassen - Fallstudie Frankfurt Ost – Maintal.

Für die Kategorien „Gastgewerbe“, „Bildung- und Forschung“ sowie „Heilgebäude“ konnten in der Fallstudie kaum oder keine Gebäude identifiziert werden, wenngleich in der untersuchten Region sicherlich Hotels, Schulgebäude und Krankenhäuser vorhanden sind. Dies verdeutlicht die unzureichenden Informationen im zugrundeliegenden Datensatz von ALKIS. Wie aus der Beschreibung von ALKIS (Kapitel 4.3 und 4.5) hervorging, werden in Hessen zu den einzelnen Gebäudedaten keine direkten Informationen zu den entsprechenden Gebäudegruppen (Gastgewerbe, Bildung- und Forschung etc.) geführt. Eine Zuordnung über die Flächennutzung ist für diese Gruppen nicht möglich, da diese in die Obergruppe „Öffentliche Zwecke“ fallen, welche der PRRIG Hauptgruppe „Verwaltungsgebäude“ zugeordnet wurde. Dass diese in der dargestellten Statistik nicht vorkommen, lässt sich damit erklären. Wie die unterschiedlichen Darstellungen zeigen, konnte dennoch bereits ein relativ umfassendes Bild des Gesamtbestandes erzeugt werden.

Tabelle 24: Analyse der Gebäudegrößen bei ausgewählten und am häufigsten vorkommenden NWG – Fallstudie Frankfurt-Ost / Maintal

Gebäudetyp	Anzahl der Gebäude		Bruttorauminhalt		Gebäude <500m³				Gebäude >10.000m³			
	Anzahl Gebäude	%-Anteil an allen NWG	BRI (in m²)	%-Anteil am Gesamt-BRI aller NWG	Anzahl Gebäude <500m³	%-Anteil an Anzahl Gebäude des Gebäudetyps	Gesamt-BRI der Gebäude <500m³ (in m³)	%-Anteil am BRI des Gebäudetyps	Anzahl Gebäude >10.000m³	%-Anteil an Anzahl der Gebäude des Gebäudetyps	Gesamt-BRI der Gebäude >10.000m³ (in m³)	%-Anteil am BRI des Gebäudetyps
100 Büro & Verwaltung	595	8,6%	3.719.959	11,0%	194	32,6%	32.752	0,9%	90	15,1%	2.661.329	71,5%
200 Fabrik & Werkstatt	1.444	20,8%	12.810.082	38,0%	453	31,4%	90.551	0,7%	284	19,7%	10.376.922	81,0%
300 Handelsgebäude	517	7,5%	7.134.594	21,1%	120	23,2%	23.101	0,3%	139	26,9%	6.199.864	86,9%
400 Lagergebäude	559	8,1%	3.812.485	11,3%	341	61,0%	61.653	1,6%	47	8,4%	3.261.634	85,6%
9998 Sonstige NWG	2.897	41,8%	3.693.600	10,9%	1.581	54,6%	231.289	6,3%	24	0,8%	456.085	12,3%

Die Auswertung der Daten ergab zudem, dass ein Großteil des Gesamt-BRI von nur wenigen Gebäudetypen und Altersklassen geprägt ist – nur 15 Typen aus der 12x8 Matrix, also aus 96 Möglichkeiten der Kombination Nutzung und Altersklasse, machen etwa 80 % des Gesamt-BRI aus (siehe Tabelle 25). Diese Auswertung ermöglicht damit eine weitere Fokussierung der Datenerfassung spezifisch für diese Typen.

Tabelle 25: Prozentualer Anteil der PRRIG Gebäudegruppen – Fallstudie Frankfurt-Ost / Maintal

Gebäudetyp (PRRIG)	Altersklasse	Bruttorauminhalt (BRI in m³)	Anteil	Summarisch
200 Fabrik- und Werkstattgebäude	1919 - 1948	4.149.330	12,3%	
200 Fabrik- und Werkstattgebäude	1958 - 1968	3.340.674	9,9%	22,2%
300 Handelsgebäude	1919 - 1948	2.782.875	8,2%	30,4%
9998 Sonstige Nichtwohngebäude	bis 1918	2.494.297	7,4%	37,8%
200 Fabrik- und Werkstattgebäude	1969 - 1978	2.386.621	7,1%	44,9%

Gebäudetyp (PRRIG)	Altersklasse	Bruttorauminhalt (BRI in m ³)	Anteil	Summarisch
300 Handelsgebäude	1958 - 1968	2.331.462	6,9%	51,8%
400 Lagergebäude	1958 - 1968	2.148.379	6,4%	58,2%
100 Büro- und Verwaltungsgebäude	bis 1918	1.080.399	3,2%	61,4%
300 Handelsgebäude	1969 - 1978	1.044.995	3,1%	64,5%
200 Fabrik- und Werkstattgebäude	bis 1918	1.018.366	3,0%	67,5%
200 Fabrik- und Werkstattgebäude	1979 - 1994	909.472	2,7%	70,2%
100 Büro- und Verwaltungsgebäude	1958 - 1968	844.402	2,5%	72,7%
100 Büro- und Verwaltungsgebäude	1919 - 1948	715.633	2,1%	74,8%
100 Büro- und Verwaltungsgebäude	1969 - 1978	685.813	2,0%	76,9%
9998 Sonstige Nichtwohngebäude	1919 - 1948	664.981	2,0%	78,8%

7.3. Das Materialinventar der Fallstudienregion

Auf Grundlage der dargestellten Auswertung zum BRI des Gebäudebestandes nach Gebäudetypen und Baualtersklassen wurde ein Vorgehen entwickelt, um die Gesamtmengen von Materialien in einem Gebiet zu bestimmen. Dies wurde exemplarisch für die Fallstudienregion umgesetzt, indem zunächst eine Zuordnung der aus den Gebäudeuntersuchungen ermittelten spezifischen Materialgehalte nach den Hauptkomponenten der Konstruktion (Stahl, Mauerwerk, Beton, Holz) eines Gebäudetyps, hier: Bürobauten, vorgenommen wurde. Für den betrachteten Gebäudetyp wurde auf Grundlage von Experten- und Literaturinformationen der Anteil der verschiedenen Konstruktionstypen in einer Altersklasse geschätzt. In Abhängigkeit von diesen Anteilen wurden durchschnittliche spezifische Materialkennwerte für jede Altersklasse gebildet. Diese zunächst in kg/m³_{BRI} ausgewiesenen Werte wurden anschließend mit dem Wert des in einer Region vorhandenen BRI des entsprechenden Gebäudetyps pro Altersklasse multipliziert, um die Materialgehalte in der Untersuchungsregion zu berechnen. Die Ergebnisse für Büro- und Verwaltungsgebäude sind in Tabelle 26 beispielhaft dargestellt. Werden diese Berechnungen für sämtliche Gebäudetypen durchgeführt und die Einzelergebnisse aufsummiert, kann das Gesamtergebnis, das Rohstoffkataster, neben der tabellarischen Darstellung auch in Form von Karten räumlich abgebildet und z.B. auf Stadtteil- oder Baublockebene aggregiert ausgegeben werden.

Tabelle 26: Materialbestand in Büro- und Verwaltungsgebäuden der Fallstudienregion Frankfurt-Ost / Maintal nach Baualter und Material.

Altersklasse	BRI [m ³] der Fallstudienregion	FE- Metalle [t]	Kupfer [t]	Aluminium [t]	Beton [t]	Mauerwerk, Ziegel [t]	Holz [t]	Glas [t]	Sonstige [t]
- 1918	1 080 399	25 543	258	236	174 069	129 038	1 740	2 080	2 465
1919 - 1948	715 633	16 867	167	151	125 216	70 695	1 043	2 008	2 094
1949 - 1957	8 272	217	2	2	1 583	946	14	24	26

Alters- klasse	BRI [m ³] der Fallstudien-	FE- Metalle [t]	Kupfer [t]	Aluminium [t]	Beton [t]	Mauerwerk, Ziegel [t]	Holz [t]	Glas [t]	Sonstige [t]
1958 - 1968	844 402	22 066	217	193	173 264	79 122	1 266	3 211	3 168
1969 - 1978	685 813	18 003	161	139	142 215	43 911	909	3 149	2 823
1979 - 1994	114 842	3 021	26	22	23 939	5 649	142	572	494
1995 - 2001	43 403	1 143	9	8	9 071	1 813	52	225	191
2002 +	129 888	3 429	27	22	27 288	3 499	144	724	594
	Summe	90 289	867	773	676 645	334 673	5 310	11 993	11 855

7.4. Bewertung der Ergebnisse der Fallstudienregion

Die Datenzusammenführung auf Grundlage von ALKIS und Altersklassen aus Daten zur historischen Siedlungsentwicklung ermöglicht eine grundlegende Kartierung der Gebäudestruktur auf der regionalen Ebene. Derzeit ist die Anwendung dieses Ansatzes jedoch noch eingeschränkt, da z.T. Informationen zum Gebäudebestand in ALKIS nicht flächendeckend oder detailgenau vorliegen. Insgesamt bietet das umfassende Datenmodell von ALKIS durch seine funktionelle Typologie umfangreiche Möglichkeiten zukünftig weitere Informationsquellen über einzelne Gebäude, sowohl aus Literatur oder Expertenschätzung als auch aus neuen Datenquellen auf der Basis mobiler Geräte, zu ergänzen. Deutlich wird hierbei, dass bei der Auswahl der Nutzungsarten in Hessen (ALKIS Profil (HLBG 2013a, 2013b)) nie an eine Anwendung im Sinne eines Ressourcenkatasters oder auch Fragestellungen aus dem Bereich der energetischen Sanierung gedacht wurde. Die Daten sind auf diese Weise allein von ihrer grundlegenden Beschaffenheit immer mit einer entsprechenden Ungenauigkeit behaftet. Als vorteilhaft hat sich in diesem Zusammenhang die hierarchische Gliederung der Gebäudetypologie erwiesen. Je nach Ausgangsdatensatz können Zuordnungen zu Ober- oder Unterkategorien erfolgen, ohne dabei direkt Informationsverluste in Kauf nehmen zu müssen. Die schrittweise Detaillierung des Datenbestandes konnte über die Hierarchie gut abgebildet werden. Problematisch bei der Neudefinition von Gebäudenutzungsgruppen sind jedoch mögliche doppeldeutige Zuweisungen. Das Beispiel „Gebäude für Öffentliche Zwecke“ als Hauptgruppe in ALKIS und die unterschiedlichen Gebäudegruppen in PRRIG machen diese Problematik deutlich. Vorstellbar ist eine prozentuale Zuweisung der Gesamtsumme aus ALKIS auf die entsprechenden Gruppen der PRRIG Typologie, die individuelle Gebäudebetrachtung (u.a. im GIS) würde zumindest für diese Gruppen damit aufgegeben werden. Auch müsste die prozentuale Verteilung aus weiteren statistischen Daten hergeleitet und begründet werden. Im aktuellen Fall ergibt sich durch die vollständige Zuweisung zu einer Gruppe in PRRIG eine deutliche Verzerrung der Ergebnisse.

Die exemplarische Integration der ALKIS Objektarten zur tatsächlichen Flächennutzung konnte einen erheblichen Mehrwert im Besonderen für die speziellen Gebäudebereiche wie Lagergebäude, Bahnhöfe, Energieversorgung oder Sportanlagen erzielen. Hier zeigt sich der deutlich höher einzustufende semantische Detailreichtum des gesamten ALKIS Objektartenkatalogs im Vergleich zu den aggregierten Hauskoordinaten und Hausumringen des deutschen Liegenschafts-

katasters (AdV 2013). Für eine qualitätsgesicherte Datengrundlage müssen weitere Daten in den Gesamtprozess einbezogen werden. Der ALKIS-Datenbestand stellt in geometrischer Hinsicht einen ausreichenden Basisdatensatz dar, nicht aber in den geforderten semantischen Detaillierungsgraden. Hier bestehen deutliche Datenlücken und Inkonsistenzen.

Die Analyse der Geobasisdaten zeigte im Rahmen des Projektes damit, dass vor allem hinsichtlich der Semantik noch erhebliches Optimierungspotenzial vorhanden ist. Baujahre von Gebäuden sind z.B. im Bundesland Hessen flächendeckend nicht im amtlichen Kataster vermerkt. Durch die Hinzunahme und räumliche Verschneidung mit Datensätzen des Regionalverbandes zur historischen Siedlungsentwicklung konnte diese Lücke ansatzweise geschlossen werden. Die RegioMap erfasst jedoch nur den Bebauungszustand einer Parzelle zum Zeitpunkt einer ersten Bebauung, keine Änderungen wie Rekonstruktion oder Renovierung von Gebäuden. Folglich lässt sich die (Wiederauf-)Bautätigkeit nicht ablesen, die beginnende Bautätigkeit auf einer zuvor „grünen Wiese“ hingegen sehr gut.

Der vorgestellte Ansatz eignet sich damit grundlegend dazu eine ausreichende Datenbasis für den Bereich der NWG zu generieren, zeigt jedoch deutliche Schwäche in der Integrität der Datengrundlage.

7.5. Übertragung auf die Projektregion

Neben den konkreten und detaillierten Ergebnissen der Fall-Studien-Region, insbesondere zur Verifizierung der Methodik, bestand die Fragestellung einer Quantifizierung des NWG-Bestandes für die gesamte Projektregion.

Unterschiedliche Ansätze wie beispielsweise die statistische Hochrechnung der Fallstudie auf die Projektregion sind in der Theorie möglich und werden teilweise in der Literatur in ähnlicher Weise angewandt. Ziel der Fallstudie war allerdings nicht die Erfassung eines sogenannten „Sample“ zur Hochrechnung, sondern, wie beschrieben, eine hinsichtlich der Datenakquise und Datenproblematik exemplarische Definition einer Region. Eine Hochskalierung wurde auf Grund der damit einhergehenden Ungenauigkeit und fehlenden Nachvollziehbarkeit daher verworfen.

Zum Projektende wurde für die Projektregion ein alternatives Vorgehen auf Basis der zum Zeitpunkt 2016 flächendeckend verfügbaren Gebäudedaten des Landes Hessens herangezogen. Wie die detaillierte Analyse der Fallstudienregion gezeigt hat, ist die geometrische Genauigkeit sowie die grundlegende Unterscheidung zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden im ALKIS LoD I Datensatz des Land Hessen gut abgebildet. Mit dem Vorliegen der flächendeckenden 3D Gebäudemodelle für Hessen¹¹ konnte somit eine Auswertung der Gebäudeflächen und Brutto-Rauminhalte für die gesamte Projektregion erfolgen. Eine Verschneidung mit Daten zum Gebäudealter und Daten der Flächennutzung wurde für die Gesamtregion nicht durchgeführt.

¹¹ Die flächendeckenden Geodaten für die gesamte Projektregion konnten erst zum Ende der Projektlaufzeit Anfang 2016 bezogen werden.

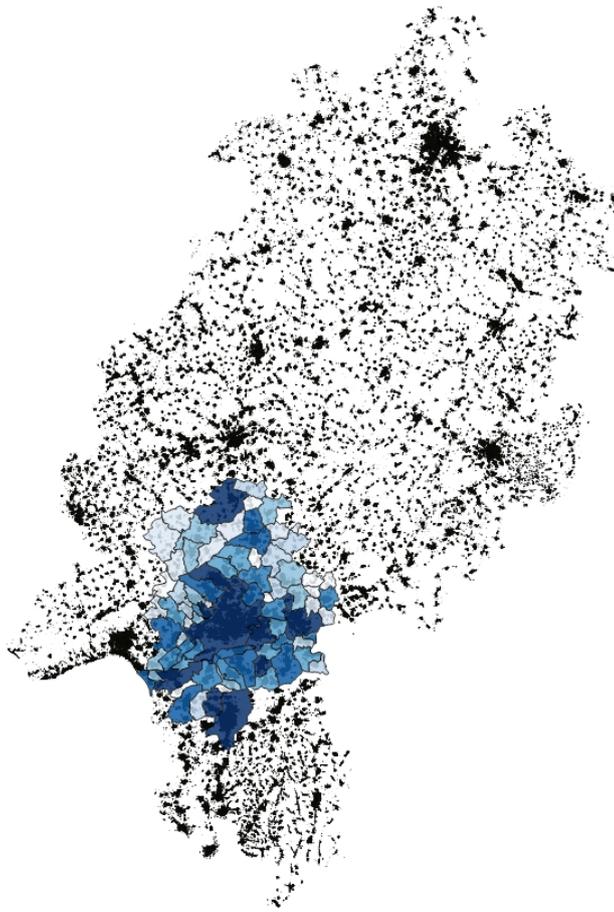


Abbildung 34: Darstellung aller Gebäude in Hessen (blau: Projektregion PRRIG) Datengrundlage: (HLBG 2016).

Datengrundlage

Der für die Analyse verwendete Datensatz wurde von der Hessischen Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation für das gesamte Bundesland bereitgestellt. Der Datensatz enthält 4.827.821 3D-Gebäudemodelle, aufgeteilt in 5.642 Kacheln im Koordinatenreferenzsystem ETRS89_UTM32*DE_DHHN92_NH. Wie schon bei dem Testdatensatz für die Fallstudie liegt dem 3D-Gebäudemodell ein ALKIS Auszug aus dem Jahr 2013 zu Grunde (2D Geometrie). Die Gebäudehöhen in Form von 3D-Punkten aus ALS stammen aus den Jahren 2007 bis 2014. Die Datengröße liegt bei ca. 30 Gigabyte im CityGML LoD I AdV Profil.

Beschreibung Blockmodell („Klötzchenmodell mit Flachdach“) – LoD I nach (HLBG 2016):

- Gebäude werden als Objekte mit einfacher Topologie und / oder unabhängiger Geometrie abgebildet
- Gebäude ist ein „Solid“ (geschlossener Körper, bestehend aus Boden-, Wand- und Dachflächen)
- Gebäudegrundrisse werden ALKIS entnommen
- Lagegenauigkeit entspricht der des Gebäudes in ALKIS
- Höhengenaugigkeit beträgt i.d.R. ± 5 m, Ausnahmen sind bei komplexen Dachformen möglich

- automatische Berechnung der Höhe des Klötzchens: Bildung des Mittelwerts aus Trauf- und Firsthöhe
- falls in Einzelfällen keine Laserdaten vorhanden sind, wird eine Default-Höhe von 9 Metern definiert

Vorgehen

Die CityGML Daten wurden über eine FME (Safe Software, FME 2015) Workbench vollständig für ganz Hessen in die Postgres/PostGIS Datenbank importiert. Während des Imports wurde aus der Gebäudegrundfläche und Gebäudehöhe der BRI berechnet. Anschließend konnte über verschiedene SQL Statements eine Aggregation der Daten auf Gemeindeebene durchgeführt werden. Hierbei konnten Summen der Gebäudeflächen je Typ, BRI und Anzahl berechnet werden. Über die räumliche Komponente wurden daraufhin alle Städte und Gemeinden der PRRIG Projektregion gefiltert.

Die Klassifizierung der Gebäudetypen erfolgte anhand von 3 Kategorien: Wohngebäude, NWG und „unklar“. Alle weiteren, teilweise in ALKIS vorhandenen, detaillierten Gebäudetypisierungen wurden für die statistische Aggregation verworfen.

Wie die nachfolgende Tabelle 27 zeigt, sind einzig die Gebäudetypen 1000 (Wohnen), 2000 (Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe) und 3000 (Gebäude für Öffentliche Zwecke) von relevanter Anzahl. Die Gruppen wurden entsprechend der farblichen Unterteilung der Tabelle gestaltet.

Tabelle 27: Gebäudenutzungen in ALKIS Datensatz Hessen (Region: Gesamt-Hessen) – Stand (Datenaktualität 2013)

ALKIS Code	Typ	Anzahl Gebäude (ganz Hessen)
Wohngebäude		
1000	Wohngebäude	3946582
1010	nicht spezifiziert	2
1120	nicht spezifiziert	1
NWG		
2000	Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe	655126
2010	nicht spezifiziert	2
2073	Hütte (mit Übernachtungsmöglichkeit)	38
2120	nicht spezifiziert	1
2142	nicht spezifiziert	2
2211	Windmühle	27
2460	Parkhaus & Gebäude zum Parken	64040
2461	Parkhaus & Gebäude zum Parken	49
2462	nicht spezifiziert	1
2463	nicht spezifiziert	2
2465	Tiefgarage	40
2512	Pumpstation	10
2513	Wasserbehälter	52
2523	Umformer	9192

2700	Gebäude für Land- und Forstwirtschaft	1
2723	nicht spezifiziert	1
2740	Treibhaus, Gewächshaus	3181
3000	Gebäude für Öffentliche Zwecke	134971
3010	Verwaltungsgebäude	34
3031	Schloss	27
3038	Burg, Festung	8
3040	Gebäude für religiöse Zwecke	88
3041	Kirche	3515
3043	Kapelle	26
3051	Krankenhaus	81
3281	Schutzhütte	26
„Unklar“		
9998	nicht spezifiziert	50513

Die nachfolgende Abbildung 35 zeigt die prozentuale Verteilung von Wohn- und Nichtwohngebäuden in der Projektregion (HVBG 2016; Datenaktualität 2013). Insgesamt liegt der Anteil des NWG-BRI bei 42%. Räumlich ergeben sich große Unterschiede in der Verteilung.

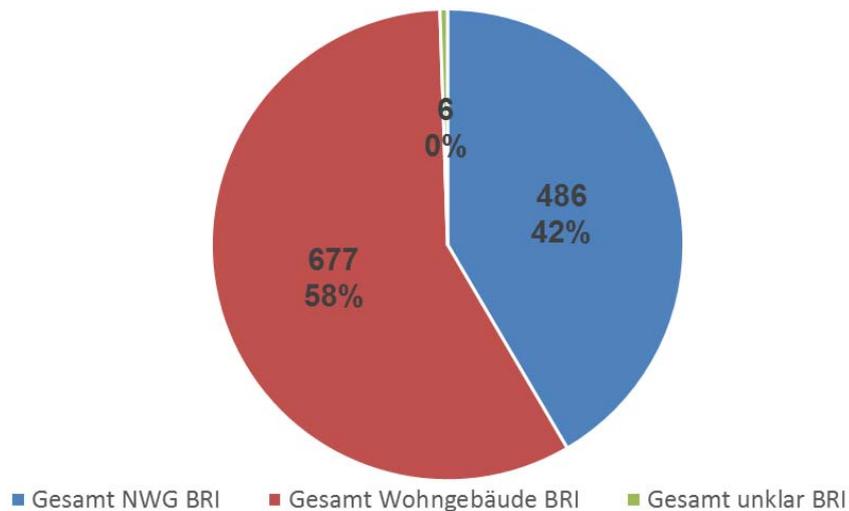
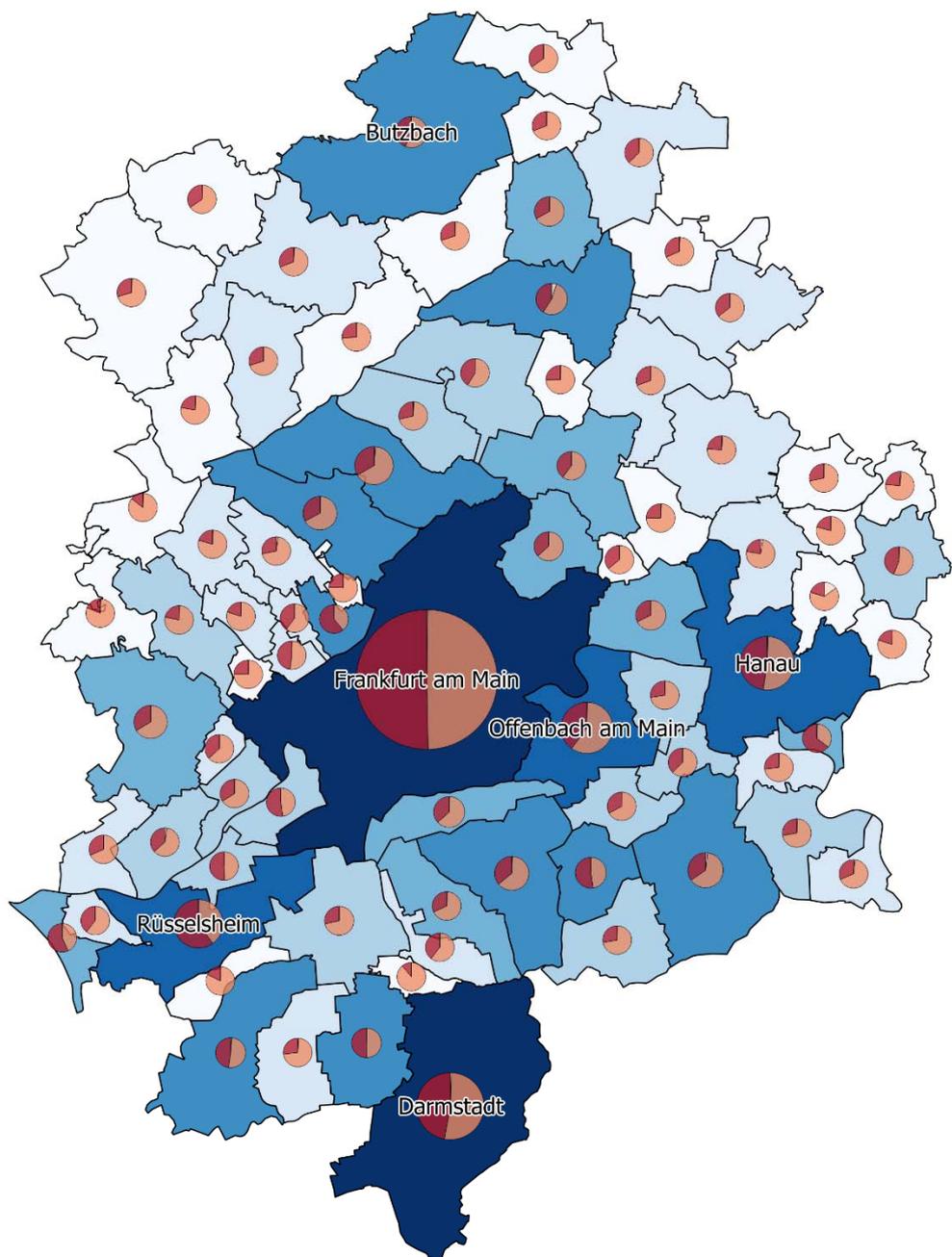


Abbildung 35: Verteilung des BRI (Mio. m³) nach NWG, Wohngebäude und „Unklar“ in der Projektregion.

Für die Projektregion ergab die Datenanalyse folgende Gesamtwerte:

Tabelle 28: BRI-Bestandswerte der Projektregion in m³

Gesamt NWG BRI	485.851.086
Gesamt unklar BRI	6.107.574
Gesamt Wohngebäude BRI	677.309.631
Gesamt BRI	1.169.268.285



Städte und Gemeinden (BRI NWG absolut in m³) Diagramm (BRI nach Gebäudetyp)

- 300000 - 1400000
- 1400000 - 2500000
- 2500000 - 4000000
- 4000000 - 6200000
- 6200000 - 17500000
- 17500000 - 35000000
- 35000000 - 165000000

- BRI Nichtwohngebäude Total
- BRI Wohngebäude Total
- BRI Unklar Total

Datengrundlage: Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation; 2016; Datenaktualität 2013)

Abbildung 36: BRI-Verteilung nach NWG, Wohngebäude und „Unklar“ in Hessen.

7.6. Verteilung der Nichtwohngebäude nach Gebäudetyp in der Projektregion

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben beträgt der BRI-Gesamtbestand an NWG in der Projektregion 485.851.086 m³. Zur Analyse im Materialflussmodell wird dieser Gesamtbestand noch hinsichtlich der Gebäudetypen „Büro- und Verwaltungsgebäude“, „Lagergebäude“, „Fabrik- und Werkstattgebäude“ sowie „sonstige NWG“ unterschieden. Um eine Schätzung der Verteilung des Gesamtbestands durchführen zu können werden dazu die Baufertigstellung sowie der Bauabgang der vergangenen Jahre betrachtet und deren Verteilung auf den Gesamtbestand übertragen.

Bei der Analyse der Baufertigstellung bzw. der Brutto-Rauminhalte der Neubauten kann ein starkes Schwanken der einzelnen Werte festgestellt werden (vgl. Abbildung 37). Zudem ist die Zeitreihe stark begrenzt. Aus diesen Gründen werden keine Trends fortgeführt, sondern lediglich durchschnittliche Werte ermittelt.

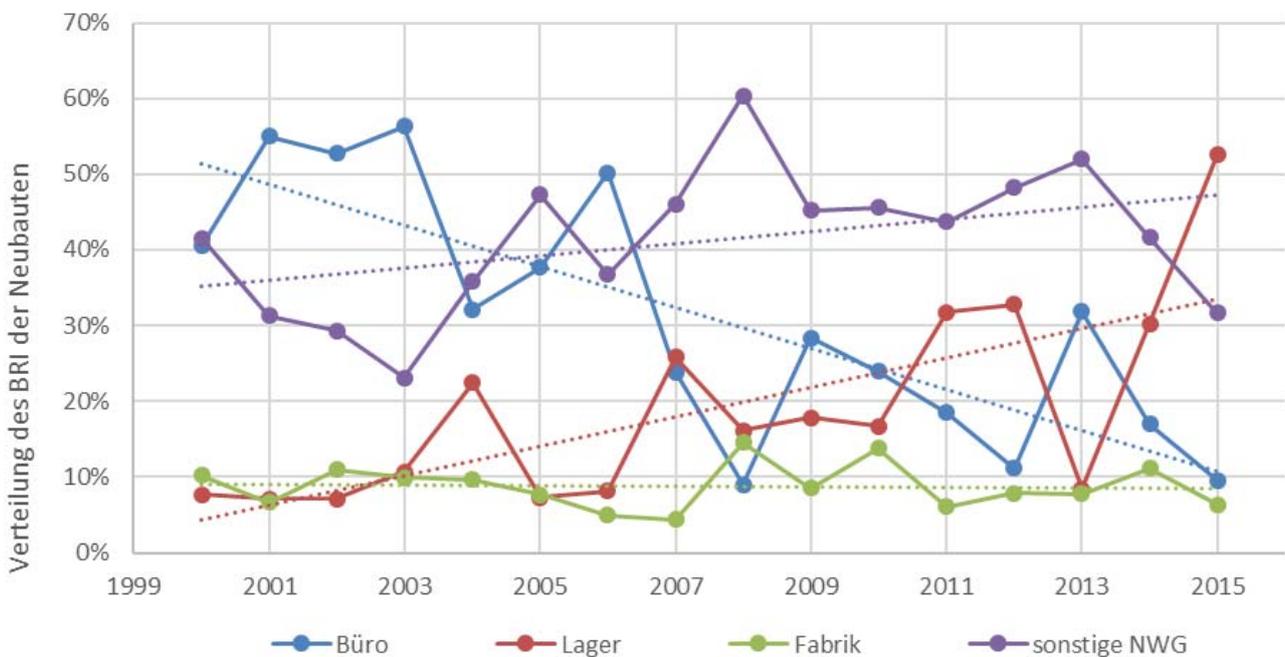


Abbildung 37: Verteilung nach Gebäudetyp der Neubauten in der Projektregion (Hessisches Statistisches Landesamt, Statistik der Baufertigstellung, 2000 - 2015, eigene Berechnungen).

Die sich über den Zeitraum der Jahre 2000 bis 2015 ergebende durchschnittlichen Verteilung der Baufertigstellung nach Gebäudetypen beträgt für

- Büro- und Verwaltungsgebäude: 30,27 %
- Lagergebäude: 19,36 %
- Fabrik- und Werkstattgebäude: 8,67 %
- Sonstige Nichtwohngebäude: 41,70 %.

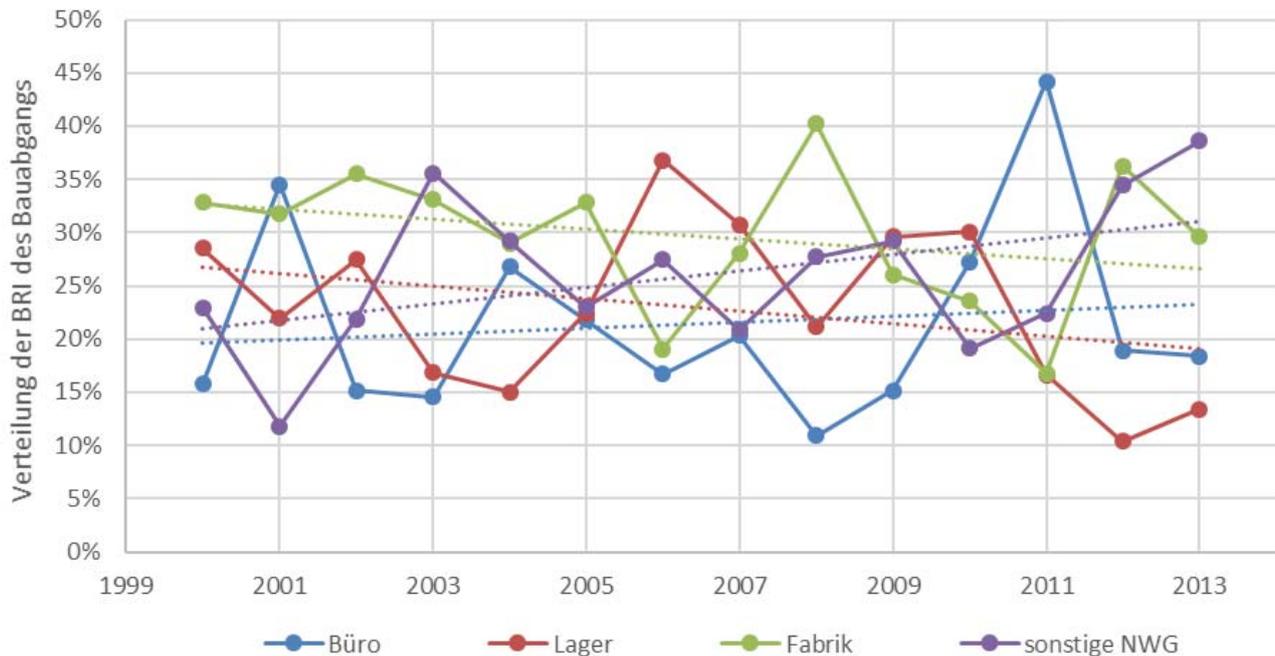


Abbildung 38: Verteilung nach Gebäudetyp des Bauabgangs in der Projektregion (FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Bauabgangsstatistik, 2000 - 2013, eigene Berechnungen).

Ähnliche Schwankungen bei der Verteilung der Gebäudetypen ergibt die Analyse des Bauabgangs (vgl. Abbildung 38). Ebenfalls werden lediglich die Durchschnittswerte und keine Tendenzen berechnet. Die sich über den Zeitraum der Jahre 2000 bis 2015 ergebende durchschnittlichen Verteilung des Bauabgangs nach Gebäudetypen beträgt:

- Büro- und Verwaltungsgebäude: 21,90 %
- Lagergebäude: 23,31 %
- Fabrik- und Werkstattgebäude: 29,66 %
- Sonstige Nichtwohngebäude: 25,12 %.

Aus den Verteilungen der Baufertigstellung und des Bauabgangs werden schließlich Schätzungen für die Verteilung des Gesamtbestands der Projektregion abgeleitet. Hierzu wird der BRI der Baufertigstellungen des betrachteten Zeitraums (81.383.000 m³) mit dem BRI des Gesamtbestands (485.851.086 m³) ins Verhältnis gesetzt und somit der Anteil der Baufertigstellung der Jahre 2000 bis 2015 am Gesamtbestand bestimmt. Dieser Anteil beträgt in der Projektregion 16,75%. Anschließend wird die Verteilung der Gebäudetypen mittels der Gewichtung bestimmt und liefert folgende Werte:

- Büro- und Verwaltungsgebäude: 23,30 % ≈ 23 %
- Lagergebäude: 22,65 % ≈ 23 %
- Fabrik- und Werkstattgebäude: 26,14 % ≈ 26%
- Sonstige Nichtwohngebäude: 27,90 % ≈ 28 %

8. Zukünftige Materialflüsse

8.1. Konzept des Materialflussmodells

In einem dynamischen Materialflussmodell (dyMFM) werden die Flüsse der in PRRIG betrachteten Rohstoffe aus Nichtwohngebäuden (NWG) dargestellt. Es modelliert das Bestandsvolumen in m^3 BRI, die Rohstofflager im Bestand sowie zukünftige Inputs von Rohstoffen und BRI durch Baufertigstellungen und Outputs von Rohstoffen und BRI durch Abbruchtätigkeiten, d.h. Gebäudeabgänge im Bestand.

Pro betrachtetem Rohstoff muss ein eigenes MFM erstellt werden. Zusätzlich kann jeweils für einen spezifischen Gebäudetyp bzw. Gebäudeuntertyp oder aber auch für alle Gebäudetypen insgesamt ein Modell erstellt werden. Die verwendete Struktur für ein MFM ist in Abbildung 39 dargestellt. Sie besteht aus zwei Betrachtungsebenen: dem Bauvolumen der Projektregion, ausgedrückt in m^3 BRI, sowie darunter dargestellt der Masse des jeweiligen Rohstoffes in t. Die Verknüpfung dieser beiden Betrachtungsebenen geschieht durch einen Faktor der jeweiligen Rohstoffintensität (siehe Kapitel 6.2.3).

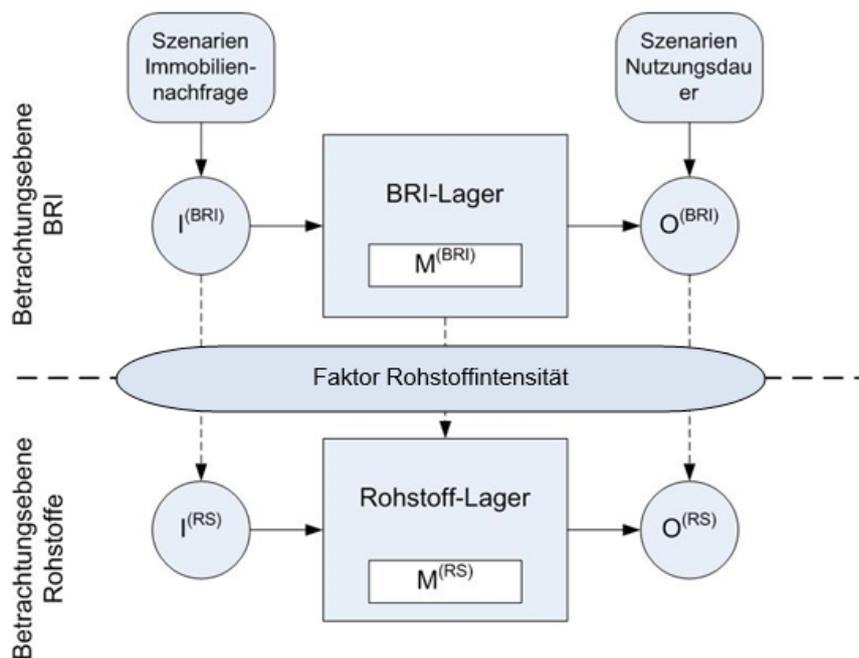


Abbildung 39: Struktur des Materialflussmodells.

Die Grundlage des Modells ist der gegenwärtige Gebäudebestand, d.h. das BRI-Lager $M^{(BRI)}$ der betrachteten Gebäude. Das darin gebundene Rohstoff-Lager $M^{(RS)}$ errechnet sich durch Multiplikation mit der Rohstoffintensität. Als Eingangsgrößen zur Modellierung der zeitlichen Veränderungen des Gebäudebestands dienen Szenarien zu Bestandsveränderungen im entsprechenden Immobilienbereich. Die Szenarien wurden mit einem Zeithorizont bis 2030 entwickelt (siehe Kapitel 8.2 und 8.3).

Ein Output $O^{(BRI)}$ an BRI entsteht durch Gebäudeabgänge. Er stellt daher eine Verminderung des BRI-Lagers dar. Multipliziert man den BRI-Output mit der Rohstoffintensität, so ergibt sich die

Funktion des Outputs des betrachteten Rohstoffes $O^{(RS)}$, wie in Abbildung 40 beispielhaft für FE-Metalle dargestellt. Diese Rohstoffmenge wird freigesetzt, d.h. ist für das Recycling verfügbar.

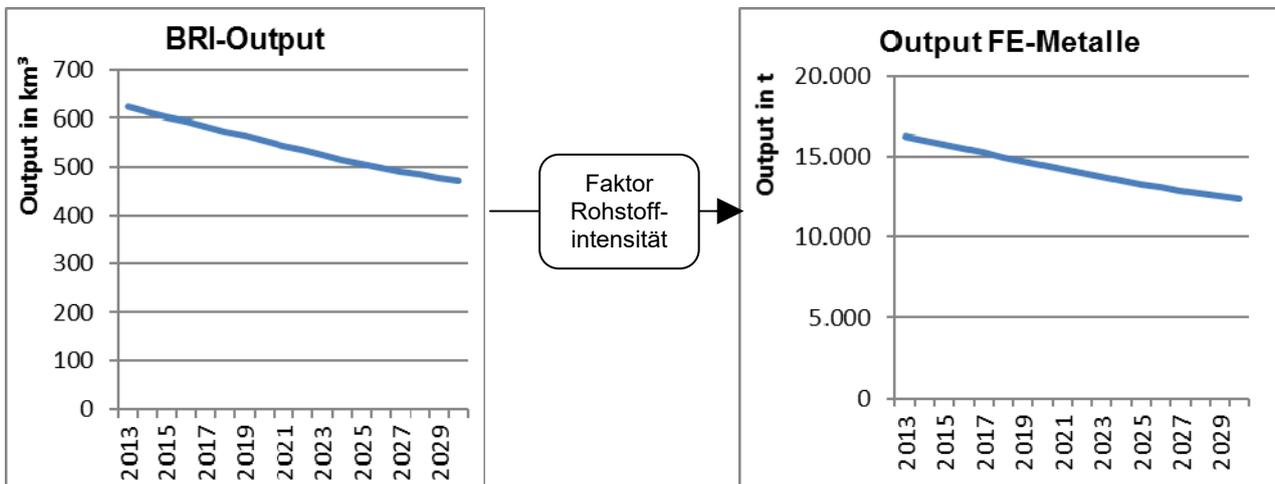


Abbildung 40: Ermittlung des Rohstoffoutputs aus dem BRI-Output.

Ein Input $I^{(BRI)}$ an BRI hingegen entsteht durch Nachfrage nach weiteren Immobilien und daraus resultierenden Baufertigstellungen. Er zeigt das zum BRI-Lager hinzugekommene Bauvolumen. Multipliziert man dieses mit dem Faktor Rohstoffintensität, so ergibt sich analog der Input des betrachteten Rohstoffes $I^{(RS)}$. Dieser stellt die im entsprechenden Jahr im Lager neu gebundene Rohstoffmenge dar, d.h. die für die Baufertigstellungen notwendigen Rohstoffe.

8.2. Prognose zukünftiger Bauabgänge von Nichtwohngebäuden

Um zukünftige Rohstoffströme abschätzen zu können, ist eine Prognose des zukünftigen Bauabgangs notwendig, genauer welches Volumen an unterschiedlichen Gebäudetypen aus welchen Baualtersklassen zukünftig abgebrochen wird. Daher ist es Ziel dieses Kapitels, eine Methodik aufzuzeigen, welche es ermöglicht, Bauabgänge bis zum Jahr 2030 schätzen zu können. Hierbei ist zu beachten, dass der Abbruch eines Gebäudes von unterschiedlichen Faktoren abhängig ist, die in materielle und immaterielle Einflussfaktoren unterschieden werden können (Bahr und Lennerts 2010; Ritter 2011). Die technische Lebensdauer einer baulichen Anlage wird dabei durch die materiellen Einflussfaktoren bedingt, während die wirtschaftliche Lebensdauer häufig von immateriellen Einflussfaktoren abhängt (vgl. Abbildung 41).

Das Ende der technischen Lebensdauer wird durch den Zustand definiert, dass das Gebäude auch durch Reparatur oder Sanierung keine Funktion mehr erfüllt und lediglich als Ruine fortbestehen kann (Kurzrock 2011). Dieser Zustand kann durch entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen weit hinausgezögert werden, sodass technische Lebensdauern von weit über 100 Jahren keine Seltenheit darstellen, auch bei Gewerbeimmobilien. Der Begriff der Funktionserfüllung bereitet dabei Schwierigkeiten bei der Abgrenzung. Der Ausfall von Subsystemen wie der Heizungsanlage führt grundsätzlich zu einer Funktionsuntüchtigkeit. Dieser Defekt kann allerdings durch Reparatur oder Ersatz beseitigt werden, sodass das Gebäude wieder funktionstüchtig ist (Kortmann 2008). In der hier vertretenen Sichtweise endet die technische Lebensdauer eines Gebäudes erst dann,

wenn der Rohbau seine Funktion der Grundtragstruktur und der grundsätzlichen äußeren Gestaltung nicht mehr erfüllt (Holzner und Renner 2005; Johnstone 2001). Die technische Lebensdauer kann, bei den in neuerer Zeit verwendeten Materialien im Rohbau, nahezu beliebig durch Instandhaltungsmaßnahmen verlängert werden (Grob 2006).

Die wirtschaftliche Lebensdauer endet hingegen schon, wenn das Grundstück durch eine alternative Nutzung eine höhere Rendite erwirtschaften kann (Kurzrock 2011). Hierbei müssen allerdings alle entstehenden Aufwendungen durch Abbruch und Neubau berücksichtigt werden. Eine andere Definition der wirtschaftlichen Lebensdauer stellt die Betriebs- und Instandhaltungskosten dem Herstellungsaufwand gegenüber. Dabei werden die Aufwendungen der Baumaßnahmen während der Nutzung den Kosten der Errichtung eines neuen Gebäudes gegenübergestellt. Sobald die Kosten während der Nutzung größer werden als der Herstellungsaufwand, ist das Ende der wirtschaftlichen Lebensdauer erreicht (Görg 1997). Dieser zweiten Definition wird dabei in diesem Projekt nicht nachgegangen, da gerade bei den betrachteten gewerblich genutzten Grundstücken der Renditegedanke im Vordergrund steht. Das Erzielen einer höheren Rendite durch eine Kernsanierung oder einen Abbruch wird demnach in den meisten Fällen nachgegangen, soweit keine vertraglichen oder normativen Belange entgegenstehen.

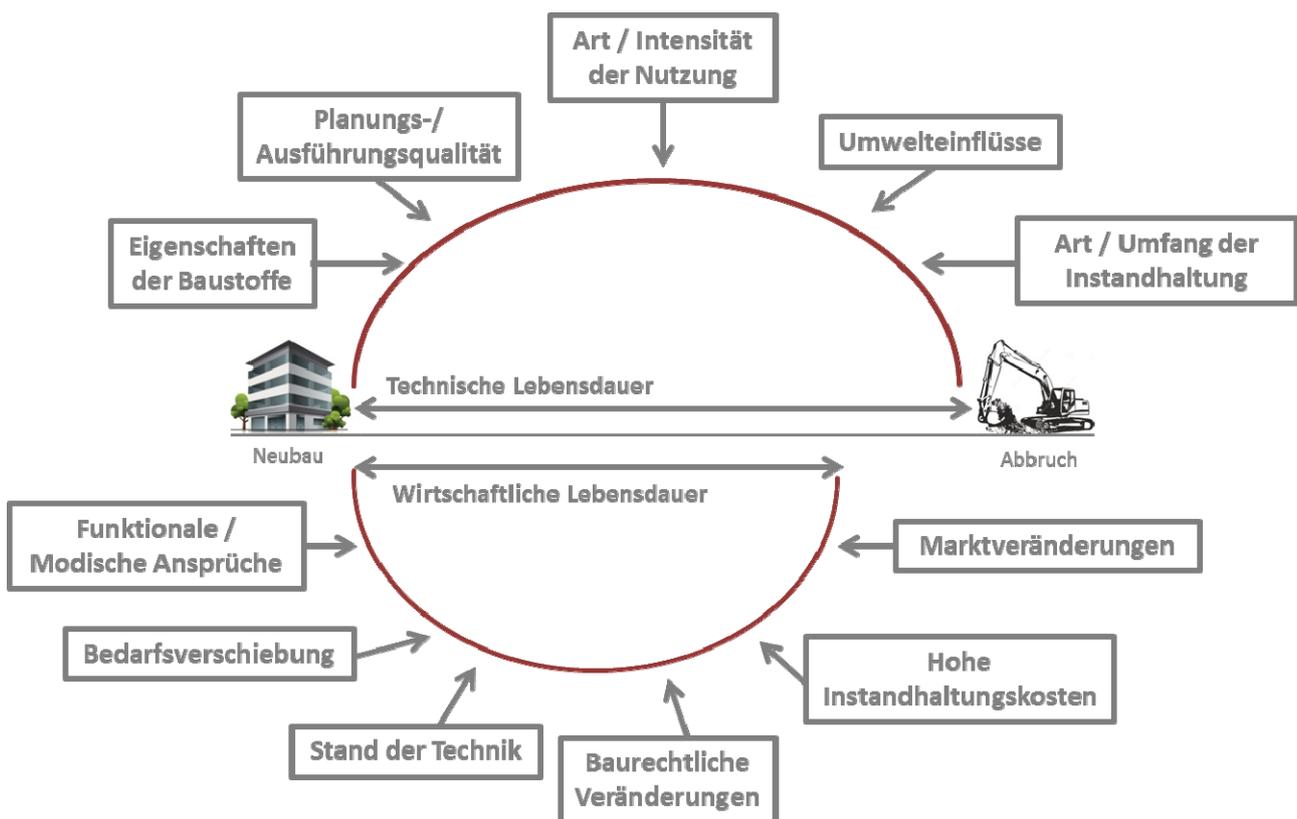


Abbildung 41: Einflussfaktoren auf die Lebensdauer einer baulichen Anlage (Pfarr 1984).

Für die Ressourcenrückgewinnung ist grundsätzlich die tatsächliche Lebensdauer interessant, die allerdings nicht bestimmbar ist, da gerade die wirtschaftlichen Einflussfaktoren, bedingt durch

Immobilienmarktveränderungen, relativ kurzfristig ein Gebäude obsolet machen können, welches den Abbruch und damit das Anfallen der gebundenen Ressourcen zur Folge hat. Um die zukünftigen Stoffströme bestimmen zu können, ist es demnach notwendig, Prognosen für das zukünftige Volumen des Gebäudeabgangs zu treffen, ohne auf einzelne Gebäude eingehen zu müssen. In der bisherigen Forschung wurde daher mit modellhaften Funktionen gearbeitet, mit denen der Bauabgang abhängig vom Bestand bzw. Bestand zum Baujahr bestimmt wurde. So hat z.B. (Müller 2006) unter der Annahme von Normalverteilungskurven mit unterschiedlichen Erwartungswerten für die durchschnittliche Lebensdauer verschiedene Szenarien zur Entwicklung des Bestands bestimmt, um daraus die zukünftigen Stoffströme zu identifizieren. Anders haben (Tanikawa und Hashimoto 2009) mit logistischen Funktionen operiert, um bestimmen zu können, wie viele Gebäude aus einer Baualtersklasse bereits abgebrochen sein müssten. Schätzungen der genauen Funktionen für unterschiedliche Gebäudetypen und Baualtersklassen wurden auf Grundlage von Daten aus Geoinformationssystemen, Karten, Luftbildaufnahmen und Fotos mit unterschiedlichsten Erstellungs-, bzw. Aufnahmedatum bestimmt. Beide Forschungsrichtungen gehen von einem bekannten Bestand an Gebäuden aus und leiten daraus mit ihren Modellannahmen den Teil des Gebäudeabgangs pro Jahr ab, woraus sich wiederum der Anfall an Materialien bestimmen lässt. Daraus folgt, dass der Bestand an Gebäuden hinsichtlich Gebäudetypen und Baualtersklassen zunächst bekannt sein muss.

8.2.1. Altersklassenabhängige Prognose

Bei einem unbekanntem Gebäudebestand kann diese Methodik nicht angewendet werden, um plausible Werte für den prognostizierten Bauabgang zu errechnen. Da die großflächige Analyse des Gebäudebestands in der in diesem Projekt benötigten Detailtiefe zwar parallel erfolgte, allerdings auch auf Hochrechnungen beruht und hinsichtlich der Anteile der Baualtersklassen am Bestand als sehr ungenau einzustufen ist, wurde eine Methodik entwickelt, welche zur Prognose der zukünftigen Bauabgänge den derzeitigen vorhandenen Gebäudebestand nicht benötigt. Bei der hier entwickelten Methode wird daher nicht versucht, Verteilungskurven für jeden Gebäudetyp und jede Baualtersklasse genauer zu beschreiben und mit zu erwartenden Lebensdauern zu arbeiten. Stattdessen werden mittels der Analyse der Bauabgänge der vergangenen 14 Jahre (Jahrgänge 2000 bis 2013) Funktionen bestimmt, mit denen sich, fortgeschrieben bis zum Jahr 2030, die Bauabgänge direkt prognostizieren lassen. Diese linearen Funktionen können als Tangenten oder Sekanten der eigentlichen Verteilungskurve interpretiert werden, welche sich bestimmen lassen, ohne die eigentliche Verteilungskurve kennen zu müssen (Vgl. Abbildung 42). Hierbei wird für jeden Gebäudetyp und jede Baualtersklasse eine eigene lineare Funktion abgeleitet.

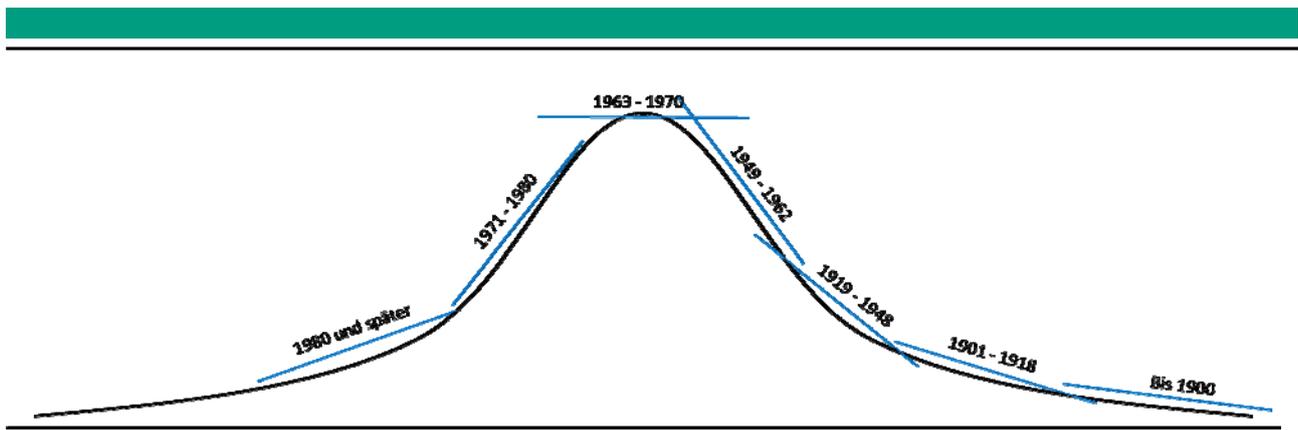


Abbildung 42: Unmaßstäbliche Darstellung der methodischen Überlegung zu den linearen Funktionen der einzelnen Baualtersklassen.

Diese Vorgehensweise vermindert die Unsicherheit durch getroffene Annahmen und gibt zudem Werte für den Bauabgang in m³ Bruttorauminhalt (BRI) wieder.

Als Datengrundlage wurde die Bauabgangsstatistik des Forschungsdatenzentrums genutzt (FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Bauabgangsstatistik, 2000 - 2013, eigene Berechnungen). In dieser Statistik befinden sich sämtliche Abbrüche eines Jahres, welche mittels eines Fragebogens erfasst werden. Dies beinhaltet die Ausweisung des Gebäudetyps nach einer von den Statistischen Ämtern entwickelten Gebäudetypologie, die Angabe zur abgehenden Nutzfläche und auch eine Zuweisung zu einzelnen Gemeinden, sodass gemeindescharf der jeweilige Bauabgang berechnet werden kann. Auch hat das Forschungsdatenzentrum in den jeweiligen Statistiken eine eigene Einteilung der Baualtersklassen festgelegt, welche von der Baualtersklasseneinteilung des Projektes abweicht. Diese Abweichung wird zum jetzigen Zeitpunkt nicht beachtet, sondern ausschließlich mit der Baualtersklasseneinteilung des Forschungsdatenzentrums gearbeitet und später bei der Umsetzung des Materialflussmodells berücksichtigt. Um die Gebäudetypologie der Statistischen Ämter in die PRRIG-Gebäudetypologie zu überführen und dementsprechend für das Forschungsprojekt PRRIG absolute Werte des BRIs für Büro- und Verwaltungsgebäude und Lagergebäude zu erhalten, wurden ähnliche Gebäudetypen in der Baufertigstellungsstatistik gesucht wie diejenigen, welche in der PRRIG-Gebäudetypologie vorhanden sind. Hierzu wurden für den PRRIG-Gebäudetyp „100 Büro- und Verwaltungsgebäude“ die Gebäudetypen „308 Büro- und Verwaltungsgebäude (außer 395)“ und „395 Büro- und Verwaltungsgebäude der Polizei, des Bundesgrenz-, Feuer- und zivilen Bevölkerungsschutzes (auch Bundespolizei)“ der Baufertigstellungsstatistik zusammengefasst. Für den PRRIG-Gebäudetyp „400 Lagergebäude“ wurde aus der Baufertigstellungsstatistik die Gebäudetypen 731 bis 737, also Warenlagergebäude genutzt. Durch die Auswertung der Jahrgänge 2000 bis 2013 konnten somit für 14 Jahre sowohl die deutschlandweiten Abgänge als auch die Abgänge in Hessen und der Projektregion ermittelt werden.

Tabelle 29: Vorgehen zur Berechnung des Brutto-Rauminhalts, beispielhaft an Büro- und Verwaltungsgebäuden der Baualtersklasse 1949 bis 1962

Hessen			
Büro der Altersklasse 1949-1962			
		Umrechnungsfaktor 5,705	
Jahrgang	Nutzfläche [m ²]	Bruttorauminhalt [m ³]	Errechneter Bruttorauminhalt [m ³] mit dem Faktor 5,10 aus dem deutschlandweiten Bauabgang
2000	25 778	147 063	239 590
2001	59 071	337 000	221 456
2002	26 749	152 603	251 875
2003	25 142	143 435	216 553
2004	63 428	361 857	201 893
2005	78 515	447 928	284 160
2006	14 913	85 079	282 651
2007	33 871	193 234	240 945
2008	22 089	126 018	182 525
2009	25 117	143 292	171 501
2010	42 646	243 295	139 879
2011	85 941	490 293	225 817
2012	10 103	57 638	186 484
2013	9 779	55 789	139 172

Zum grundsätzlichen Berechnungsvorgang (vgl. Tabelle 29) ist festzuhalten, dass aus der Bauabgangsstatistik lediglich die abgegangenen Nutzflächen ermittelt werden können, da der BRI nicht angegeben wird. Allerdings kann die Nutzfläche in m² mittels des Faktors 5,705 m für Büro- und Verwaltungsgebäude und dem Faktor 7,775 m für Lagergebäude zu m³ BRI umgerechnet werden. Diese Faktoren ergeben sich aus der Baufertigstellungsstatistik des Jahres 2013 (FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Baufertigstellungsstatistik, 2013, eigene Berechnungen). In dieser werden sowohl die Nutzflächen, als auch die BRI der Gebäude ausgewiesen, so dass über alle Baualtersklassen hinweg ein deutschlandweiter Faktor errechnet werden kann. Eine Regionalisierung ist aufgrund der zunehmenden Unsicherheiten bei kleineren Datenmengen unangebracht. Lediglich durch eine Ausweitung der Datenmenge, beispielweise durch die Analyse mehrerer Jahrgänge der Baufertigstellungsstatistik, wäre dies möglich, bringt allerdings nach erster Einschätzung nur einen begrenzten zusätzlichen Informationsgewinn. Um die BRI berechnen zu können, werden zunächst die Nutzflächen eines jeden Bauabgangsjahrgangs sowohl für gesamt Deutschland als auch für Hessen und für die Projektregion ermittelt. Anschließend werden Faktoren berechnet, indem pro Baualtersklasse der gesamte Bauabgang Deutschlands durch den Bauabgang Hessens oder der Projektregion geteilt wird. Dies hat zur Folge, dass man den Anteil des Bauabgangs von Hessen bzw. der Projektregion am deutschlandweiten Bauabgang erhält. Danach wird der deutschlandweite BRI des Bauabgangs pro Jahr durch diesen Faktor geteilt, so dass man einen theoretischen, errechneten Wert für Hessen bzw. die Projektregion erhält, der vom

tatsächlichen Wert abweicht, aber den Vorteil hat, weniger anfällig für Ausreißer zu sein und demnach besser geeignet ist, den zukünftigen Bauabgang zu schätzen (vgl. Tabelle 29 und Abbildung 43).

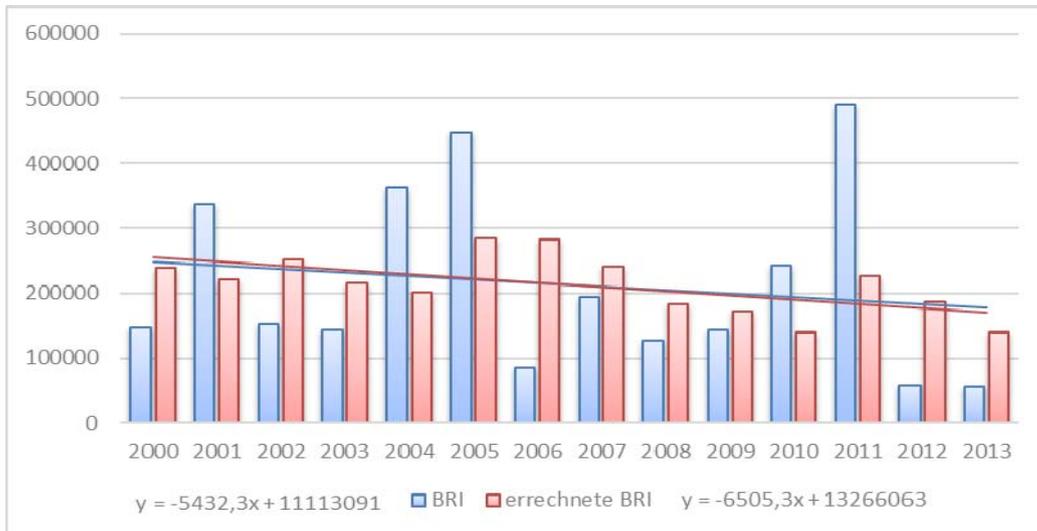


Abbildung 43: Verlauf der tatsächlichen und errechneten Bruttorauminhalte, beispielhaft an Büro- und Verwaltungsgebäuden der Baualtersklasse 1949 bis 1962.

Dieses Vorgehen wurde unter der Annahme gewählt, dass grundsätzlich die Verteilungskurven des Bauabgangs und somit auch die Lebensdauern je Gebäudetyp und je Baualtersklasse deutschlandweit gleich sind. Bei kleineren Stichproben, wie etwa nur Hessen oder der Projektregion, können Abbrüche einzelner sehr großer Gebäude einen derartigen Einfluss haben, dass die Prognose zukünftiger Bauabgänge stark verzerrt wird. Um diese Ausreißerwerte zu umgehen, wird deshalb die deutschlandweite Stichprobe genutzt und die absolute Größe des BRI auf das kleinere Gebiet angepasst. Die theoretischen Verteilungskurven (Vgl. Abbildung 44) bleiben demzufolge für Deutschland, Hessen, die Projektregion oder alle anderen Teilstichproben gleich. Die Angabe des tatsächlichen BRI soll dabei lediglich eine Vergleichsgröße zum errechneten BRI darstellen, um die Ergebnisse besser einschätzen zu können und die Transparenz der Ergebnisse zu erhöhen.

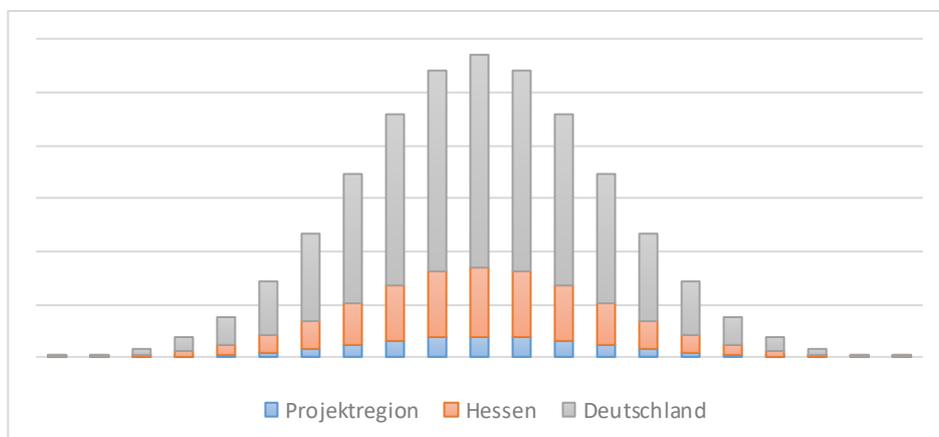


Abbildung 44: Verhältnisse der theoretischen Verteilungskurven zwischen Deutschland, Hessen und der Projektregion.

Anschließend wird mittels Ausgleichsrechnung nach dem Prinzip der kleinsten Quadrate eine Schätzfunktion über die insgesamt 14 Jahrgänge der errechneten BRI bestimmt (vgl. Abbildung 43). Hierbei stellt y den Bauabgang in m^3 BRI dar; um diesen zu errechnen ist in x der entsprechende Jahrgang einzusetzen (2000: $x = 1$). Diese Funktion wird anschließend genutzt, um bis zum Projekthorizont im Jahr 2030 die kommenden Bauabgänge zu prognostizieren, indem die Funktion bis zum Jahre 2030 verlängert und dementsprechend angenommen wird, dass der Bauabgang der einzelnen Gebäudetypen und Baualtersklassen sich linear verhält (vgl. Abbildung 45).

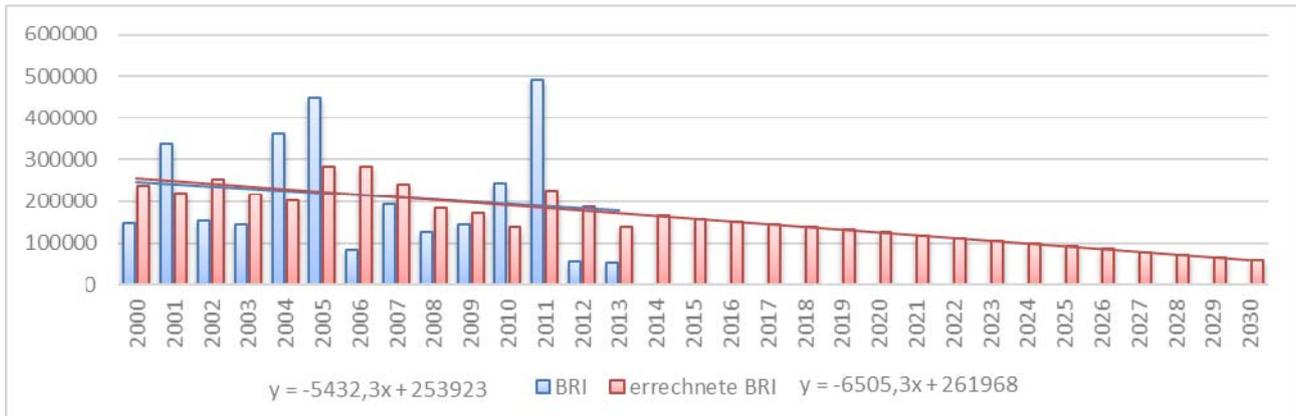


Abbildung 45: Prognose der errechneten Bruttorauminhalte bis 2030, beispielhaft an Büro- und Verwaltungsgebäuden der Baualtersklasse 1949 bis 1962.

Diese Methodik liefert nun für Büro- und Verwaltungsgebäude sowie Lagergebäude die in Anhang A.8 prognostizierten Werte.

Bei der Analyse der Ergebnisse fällt auf, dass es je nach Baualtersklasse entweder eine Zunahme oder Abnahme des Bauabgangs gibt. Dies ist jeweils abhängig von der Baualtersklasse, da ältere Gebäude bereits vermehrt abgerissen wurden und auch noch werden, aber in Zukunft der Bauabgang rückläufig ist, da schon relativ viel des ehemaligen Gebäudebestands abgebrochen wurde. Bei neueren Gebäuden ist dieses Verhältnis umgekehrt. Es muss dabei von einer Steigerung des Bauabgangs ausgegangen werden, da diese Gebäude zunehmend altern und deshalb auch davon ausgegangen wird, dass zunehmend mehr Gebäude abgebrochen werden müssen (vgl. Anhang A.8). Verwendet man die Orientierungswerte für die übliche Gesamtnutzungsdauer der Sachwertrichtlinie (Sachwertrichtlinie 2012) als Näherung für das Maximum bei der Verteilung der Bauabgänge einer Baualtersklasse¹², so fällt auf, dass es bei den Ergebnissen zwei Entwicklungen gibt, welche der Logik des Modells widersprechen. Zum einen wäre dies die Baualtersklasse „1980 und später“ der Büro- und Verwaltungsgebäude, welche nach der Berechnung zukünftig weniger Bauabgänge prognostiziert, diese aber zumindest konstant oder ansteigend sein müssen. Zum anderen sind dies die Werte der Baualtersklasse „1971-1980“ der Lagergebäude, die auch abnehmende Bauabgänge prognostizieren, welche aber nach der Logik des Modells zumindest konstant sein müssten. Für diese beiden Gebäudekategorien werden deshalb die durchschnittlichen Werte des errechneten BRIs der Jahre 2000 bis 2013 als konstant angenommen. Für Büro- und Verwaltungsgebäude der Baualtersklasse „1980 und später“ sind dies jährlich $131.816 m^3$ in

¹² Für Bürogebäude werden dort 60 Jahre, für Lagergebäude 40 Jahre angegeben.

Hessen und 116.850 m³ in der Projektregion. Für Lagergebäude der Baualtersklasse „1971-1980“ sind dies jährlich 207.034 m³ in Hessen und 122.450 m³ in der Projektregion. Des Weiteren gibt es anzumerken, dass die Prognose auch negative Werte für den Bauabgang angibt. Dies ist allein der Methodik geschuldet und muss dahingehend interpretiert werden, dass es keinen Bauabgang mehr gibt, da davon ausgegangen wird, dass alle Gebäude der betreffenden Baualtersklasse entweder bereits abgebrochen wurden oder aus anderen Gründen, wie z.B. dem Denkmalschutz, nicht mehr abgebrochen werden. Aus diesen Annahmen ergeben sich die angepasste und dadurch modellkonforme Bauabgangswerte, welche für das Stoffstrommodell verwendet werden (vgl. Anhang A.10).

Insgesamt muss zu den Ergebnissen angemerkt werden, dass die Prognose auf einem zur Gebäudelebensdauer relativ kurzen Zeitraum von lediglich 14 Jahren beruht. Eine Ausweitung des Beobachtungszeitraums, um darauf aufbauend Prognosen erstellen zu können, wird erst in Zukunft möglich sein, da die nach heutigem Aufnahmeschema erstellte Datenreihe des Forschungszentrums nur bis zum Jahr 2000 zurückreicht, allerdings in Zukunft weiter fortgeführt wird und sich dadurch eine größere Datenmenge ergibt. Die angewendete Methodik wird deshalb in Zukunft noch genauere Werte liefern können und auch eine Anpassung der Funktionen, eventuell weg von linearen Funktionen, mit sich bringen. Die genutzten linearen Funktionen bringen eine weitere Unsicherheit mit sich, die nach derzeitigem Stand nicht zu beheben ist. Wie bereits beschrieben, können die linearen Funktionen als Sekanten oder Tangenten der Verteilungsfunktion interpretiert werden. Dies bedeutet allerdings auch, dass vor allem in Grenzbereichen, wie dem Scheitelpunkt, die Verlängerung der linearen Funktion ungenauere Werte liefert als eine Funktion, welche sich an die tatsächliche Verteilungskurve besser anschmiegt. Die Verwendung von linearen Funktionen mit der aufgezeigten Problematik ist allerdings wieder der relativ kurzen Erhebungsdauer der Daten geschuldet. Eine Veränderung der Funktionen weg von der Linearität würde lediglich eine Scheingenauigkeit suggerieren, die die Methodik zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht liefern kann. Aus diesem Grund wurde die Verwendung der linearen Funktionen beibehalten, auch um eine größere Transparenz zu gewährleisten und die Methodik zu verdeutlichen.

8.2.2. Altersklassenunabhängige Szenarienentwicklung für den Gebäudeabgang

Zusätzlich zu der zuvor beschriebenen Methodik der Bauabgangsprognose mittels der Betrachtung einzelner Baualtersklassen wird eine generalisierte altersklassenunabhängige Betrachtung des Bauabgangs von Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie Lagergebäuden durchgeführt, um eine weitere Variante der Materialflussanalyse zu ermöglichen. Hierzu wurde über alle Altersklassen hinweg wiederum der Bauabgang in der Projektregion (vgl. Abbildung 46, blaue Balken) mittels der Bauabgangsstatistik für die Jahre 2000 bis 2013 ermittelt. Auch wurde wie bereits für die einzelnen Altersklassen der Bauabgang als Anteil der Projektregion am gesamtdeutschen Bauabgang errechnet (rote Balken) und dieser linear bis zum Jahr 2030 weitergeführt. Um eine Spannweite möglicher Bauabgänge zu erhalten, werden insgesamt drei Szenarien für den altersklassenunabhängigen Bauabgang angenommen:

- Szenario 1 führt den tatsächlichen Bauabgang der Projektregion bis zum Jahr 2030 fort (blaue Balken).

- Szenario 2 führt den aus dem gesamtdeutschen Bauabgang ermittelten Bauabgang fort (rote Balken).
- Szenario 3 wird mittels des Durchschnittswertes des Bauabgangs in der Projektregion zwischen den Jahren 2000 und 2013 gebildet, welcher für Büro- und Verwaltungsgebäude 588.651 m³ BRI beträgt.

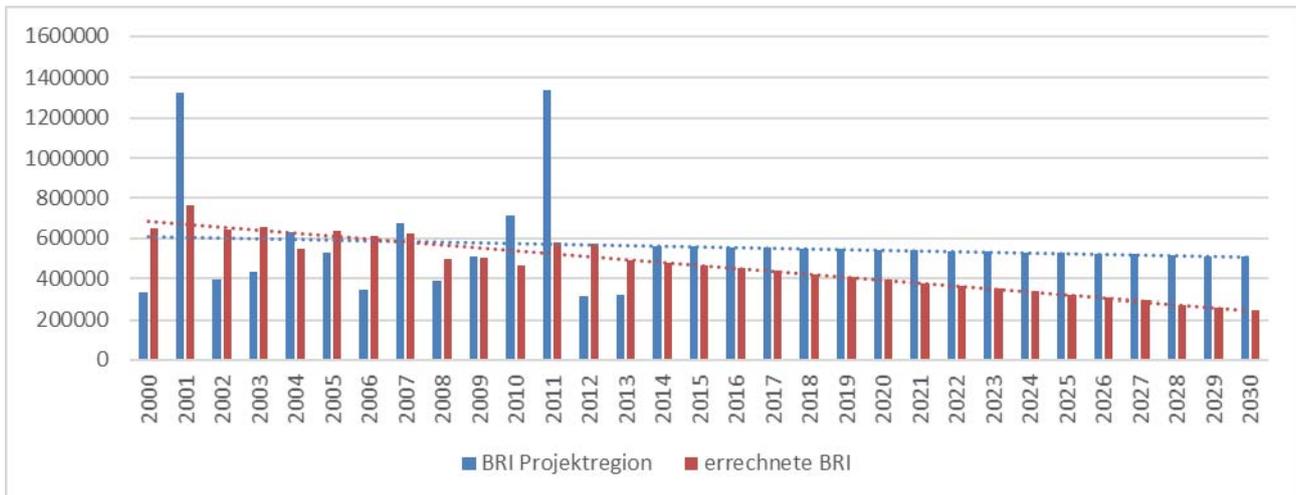


Abbildung 46: Büro- und Verwaltungsgebäude: Altersklassenunabhängige Betrachtung des Bauabgangs.

Dieses Vorgehen wird auch für Lagergebäude durchgeführt (vgl. Abbildung 47) was zu einem durchschnittlichen altersklassenunabhängigen Bauabgang von 626.666 m³ BRI führt.

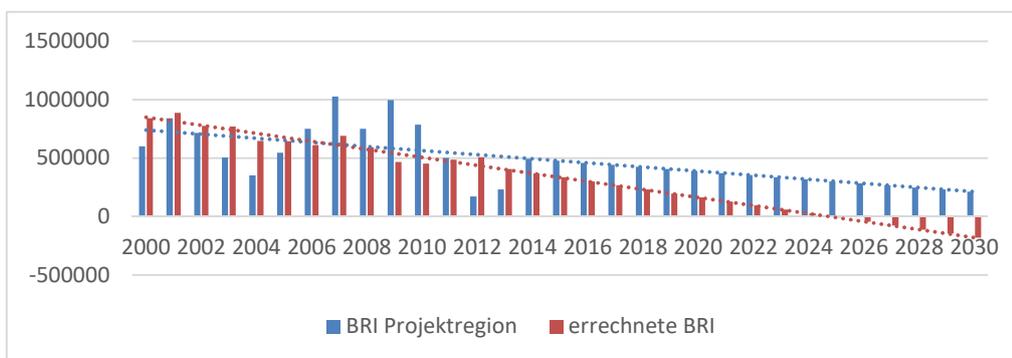


Abbildung 47: Lagergebäude: Altersklassenunabhängige Betrachtung des Bauabgangs.

Die exakten Werte für die nach dieser Methodik prognostizierten Bauabgänge bis zum Jahr 2030 sind in Anhang A.11 bzw. A.12 einzusehen.

Um das Materialflussmodell nicht nur für Büro- und Verwaltungsgebäude sowie Lagergebäude zu entwickeln, sondern dies auch auf Fabrik- und Werkstattgebäude sowie alle sonstigen NWG auszuweiten, wird eine vereinfachte Methodik angewendet. Hierzu wird ebenfalls nicht in Altersklassen unterschieden, sondern der gesamte Bauabgang eines Jahres betrachtet. Auch in diesem Fall wird die Nutzfläche mittels einer Auswertung der Baufertigstellungsstatistik wie bereits bei

Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie Lagergebäuden in BRI umgerechnet. Als Ergebnis erkennt man ein starkes Schwanken des Bauabgangs (vgl. Tabelle 30), weswegen die Durchschnittswerte über die Jahre 2000 bis 2013 errechnet und als konstant bis 2030 angenommen werden. Dies bedeutet, dass in das Materialflussmodell jährlich 797.361 m³ BRI als Bauabgang des Gebäudetyps „200 Fabrik- und Werkstattgebäude“ und 675.301 m³ BRI an sonstigen NWG eingehen.

Tabelle 30: Bauabgang von Fabrik- und Werkstattgebäuden sowie sonstigen Nichtwohngebäuden in der Projektregion

Projektregion	Fabrik- und Werkstattgebäude Umrechnungsfaktor 8,216 m ² Nutzfläche m ³ BRI		sonstige Nichtwohngebäude Umrechnungsfaktor 5,992 m ² Nutzfläche m ³ BRI	
Jahrgang				
2000	84.146	691.344	80.646	483.231
2001	148.014	1.216.083	75.572	452.827
2002	112.548	924.694	95.075	569.689
2003	120.730	991.918	178.010	1.066.636
2004	82.735	679.751	114.098	683.675
2005	97.276	799.220	93.569	560.665
2006	47.262	388.305	93.582	560.743
2007	113.896	935.770	116.330	697.049
2008	173.738	1.427.431	164.299	984.480
2009	106.644	876.187	163.943	982.346
2010	75.147	617.408	83.545	500.602
2011	61.731	507.182	113.440	679.732
2012	72.723	597.492	94.615	566.933
2013	62.107	510.271	111.083	665.609
Durchschnitt	97.050	797.361	112.701	675.301

8.3. Entwicklung des Immobilienmarktes Rhein-Main

Für eine Abschätzung der zukünftigen Materialflüsse ist die Gewerbeentwicklung in der Region Rhein-Main ein maßgeblicher Faktor, welcher vor allem den Neubau von Gewerbegebäuden, aber auch den Abbruch alter Gebäude beeinflusst. Da der zukünftige Abbruch der Gewerbegebäude bereits in Kapitel 8.2 bestimmt wurde, soll nun mit den Szenarien zur Entwicklung des Immobilienmarktes eine Methode zur Vorhersage des Neubaus von Gewerbegebäuden entwickelt und am Fallbeispiel der Büro- und Verwaltungsgebäude sowie Lagergebäude in der Projektregion erprobt werden. Um die nach (Scholles 2008) notwendige Systemanalyse als Grundlage der Szenarioentwicklung durchzuführen und daraus Systemelemente, welche die zukünftige Entwicklung der Gewerbemärkte beeinflussen, zu generieren, wurden zum einen Studien zur Bevölkerungsentwicklung (Van den Busch 2010), der Branchenverteilung (Ebner; Raschke 2013) und der generellen Arbeitsmarktentwicklung im Projektgebiet analysiert und zum anderen Expertenbefragungen durchgeführt. Die daraus entwickelten Systemelemente wurden anschließend

geclustert und deren Entwicklungsmöglichkeiten bis zum Jahr 2030 abgeschätzt.¹³ Auf Grundlage der bisherigen Entwicklung des Neubauvolumens für gesamt Deutschland aus der Bautätigkeitsstatistik (Gorning et al. 2013) und der durch die Baufertigstellungsstatistik erhobenen Baufertigstellungen (FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Baufertigstellungsstatistik, 2013, eigene Berechnungen) im Jahr 2013 sowie den entwickelten Szenarien wurde anschließend die Baufertigstellung bis zum Jahr 2030 prognostiziert. Die tatsächliche Prognose der Baufertigstellung in m³ BRI für das Projektgebiet bis zum Jahr 2030 für Büro- und Verwaltungsgebäude sowie Lagergebäude kann demnach nur direkt für ein bestimmtes Gebiet ermittelt werden. Hierzu wurde zunächst die allgemein erstellte Szenarioentwicklung an das Projektgebiet angepasst und die Entwicklung des dortigen BRI ermittelt.

Um den Bereich der Gewerbeentwicklung mit ihrer Vielzahl an Gewerbegebäudetypen und jeweils eigenen Immobilienmärkte notwendigerweise einzugrenzen, wurde sich hier auf die Sektoren Büro/Verwaltung und Lager fokussiert, womit zwei große und zukunftssträchtige Gewerbebereiche in der Projektregion abgedeckt wurden. Diese zwei Sektoren sind in der Region zum einen mit einer Vielzahl an Gebäuden vertreten, zum anderen aufstrebend und damit mit einer großen Dynamik der Investmentmärkte verbunden. Bei der Einteilung der Sektoren und der Abgrenzung der dazu gehörenden Gebäudearten orientierte man sich auch an den Einteilungen der großen Immobilienberatungsunternehmen, aus denen sich auch der Kreis der befragten Experten zusammensetzt. Diese unterteilen den Immobilienmarkt meist in die Bereiche Logistik, Büro, Einzelhandel, Hotels und Industrie (vgl. z.B. JonesLangLaSalle 2016). Nicht beachtet in der Szenarioentwicklung wurden demzufolge u.a. die Bereiche der Fabrik- und Werkstattgebäude, Handelsgebäude sowie die Bildungs- und Forschungsgebäude. Die grundlegende Vorgehensweise der Szenarioentwicklung ist allerdings auch auf diese Gebäudetypen zu übertragen, wobei gegebenenfalls weitere Anpassungen bei den Systemelementen vorgenommen werden müssen, soweit dies die Experteninterviews und/oder die herangezogenen Studien ergeben. Um hinsichtlich der zukünftigen Baufertigstellungen in der Projektregion eine Prognose zum gesamten NWG-Bestand zu ermöglichen, werden auch an dieser Stelle der Gebäudetyp „200 Fabrik- und Werkstattgebäude“ und alle sonstigen NWG mit einer vereinfachten Methodik betrachtet. Hierzu wird mittels der Baufertigstellungsstatistik die Baufertigstellungen im Jahr 2013 in der Projektregion ermittelt und für die Folgejahre bis 2030 mit dem deutschlandweiten Trend für Fabrik- und Werkstattgebäude sowie sonstige NWG (Gorning et al. 2013) errechnet.

8.3.1. Durchführung von Befragungen

Wie bereits beschrieben wurde zur Generierung der Systemelemente der Szenarioentwicklung zunächst eine Expertenbefragung durchgeführt und die oben aufgeführten Studien analysiert. Bezüglich der Expertenbefragungen wurden die Forschungsfragen hauptsächlich hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung und der Marktlage im Gewerbeimmobiliensektor formuliert. Diese ergab die folgenden Leitfragen:

¹³ Beim Vorgehen wurde sich dabei an den Ausführungen von (Scholles 2008) zur Szenariotechnik orientiert und diese an die bestehenden Gegebenheiten im Forschungsprojekt angepasst.

- Welche Entwicklung nimmt das Gewerbe im Rhein-Main-Gebiet hinsichtlich der Branchenzusammensetzung und der räumlichen Verteilung?
- Wo finden Beschäftigungszu- und -abnahmen statt und wie verändert dies den Bestand an Gewerbeimmobilien in bestimmten Bereichen des Rhein-Main-Gebiets?
- Welche Immobilien werden zukünftig hinsichtlich Art und Altersklasse nachgefragt? Gibt es Gebäude, die trotz einer Marktnachfrage nicht mehr marktgängig sind?
- Wie sieht das Verhältnis von Umnutzung und Abriss und Neubau aus und welchen Einfluss hat der Neubau von Gebäuden auf den Abriss von bestehenden?
- Wie sehen die Nutzungs- und Lebenszyklen von bestehenden und neu gebauten Gewerbegebäuden aus und wie haben sich diese verändert?

Um die Expertenbefragung vorzubereiten, wurden Interviewleitfäden entwickelt. Hierbei wurde sich insgesamt an dem Vorgehen von (Gläser und Laudel 2010) orientiert, wonach zur Beantwortung der Forschungsfrage(-n) zunächst Leitfragen entwickelt werden und darauf aufbauend der eigentliche Interviewleitfaden formuliert wird. Die Leitfragen wurden in fünf Kategorien geclustert, so dass die Themenbereiche klar unterschieden werden können. Diese Themenbereiche sind

- (1.) die Entwicklung des Marktes hinsichtlich der regionalen Konzentration und dem Verhältnis zu anderen Gewerbearten,
- (2.) der strukturelle Leerstand und die räumliche Verteilung im Rhein-Main-Gebiet,
- (3.) die zukünftige Nachfrage hinsichtlich des Baualters, die Art der Konstruktion und der verwendeten Materialien,
- (4.) die Nutzungsdauer der einzelnen Baualtersklassen des jeweiligen Gebäudetyps und
- (5.) die zukünftige Veränderung in der Bauweise, der Baustoffe und der Funktionalität der Gebäude.

Für die Durchführung der Experteninterviews wurden große, internationale Immobilienberatungsunternehmen angeschrieben, bzw. auf der internationalen Immobilienmesse „Expo Real“ angesprochen und um Interviews mit zuständigen Mitarbeitern gebeten, die vertraut mit dem jeweiligen Immobilienmarkt in der Projektregion sind. So konnten letztlich mit mehreren Experten unterschiedlicher Unternehmen Interviews durchgeführt werden, so dass eine objektive Bewertung der Gewerbeimmobilienmärkte stattfinden konnte. Trotz der unabhängig voneinander durchgeführten Interviews zeichnete sich relativ schnell ein klares Meinungsbild bezüglich des aktuellen Bestands und der aktuellen Situation auf dem jeweiligen Immobilienmarkt und auch der zukünftigen Entwicklung der jeweiligen Gewerbesektoren ab.

8.3.2. Ergebnisse der Befragungen zu Büroimmobilien

Letztlich konnten aus den Experteninterviews folgende Kernaussagen für die Entwicklung der Büroflächen und der Büroimmobilienmärkte mit Bedeutung für die Szenarienentwicklung gezogen werden:

- Durch boomende Büroimmobilienmärkte und eine steigende Nachfrage nach Büroimmobilien auf Investorenmenseite ist ein steigender Bedarf zu verzeichnen, wodurch Nebenlagen wieder interessanter werden.
- Als wichtige Einflussfaktoren werden der (Boden-)Preis, die Mietpreise, die Gewerbesteuer, das (nutzerspezifische) Flächenangebot und die soziale Infrastruktur gesehen. Vor allem in den Nebenlagen mangelt es an Infrastruktur, welche jedoch mittlerweile zum Teil aufgebaut wird.
- Derzeit herrscht ein großes Angebot an Büroflächen, so dass es in jedem Preissegment leerstehende Flächen gibt. Dem steht eine relativ geringe Flächennachfrage gegenüber, welche in Zukunft keinen signifikanten Anstieg verzeichnen wird.
- Ungefähr 600.000 m² bis 800.000 m² Bürofläche sind in Frankfurt am Main von strukturellem Leerstand betroffen. Betroffen sind davon meist zu teure und nicht mehr nachfragegerechte (lichte Raumhöhe, Doppelboden, Kühlung) Flächen.
- Der strukturelle Leerstand wird in Zukunft umgenutzt oder abgebrochen, selten kernsaniert, da dann Raumhöhen nicht veränderbar sind. Die Entwicklung der strukturell leerstehenden Flächen ist sehr eng mit dem Bauplanungsrecht und der sich daraus ergebenden zulässigen Nutzung verknüpft, wodurch eine Umnutzung zum Teil nicht möglich, ein Abbruch allerdings nicht rentabel ist.
- Baualtersklassen kann man in vier Kategorien einteilen: Nach dem Jahr 2000 gebaut, 1980-2000, 1960-1980 und 1950-1960. Hierbei wird angenommen, dass Gebäude bis 1980 zunehmend abgebrochen und erst Gebäude, die nach 2000 gebaut wurden, als nachhaltig angesehen werden. Hier sind vor allem die technischen Voraussetzungen (Deckenhöhe, Flächengröße, Doppelboden, Flächeneffizienz) entscheidend. Grundsätzlich kann bei dem hohen Angebotsdruck angenommen werden, dass Bürogebäude nach 15 Jahren modernisiert werden müssen, um weiterhin marktfähig zu sein.
- Gerade in der Frankfurter Innenstadt werden aufgrund der Flächenknappheit ältere Bürogebäude abgebrochen, um Neubauprojekte zu verwirklichen. Dies können allerdings auch Gebäude mit einer Standzeit von nur 25 bis 30 Jahren sein.

Zu den gemachten Aussagen entwickeln sich die mit einer Bürotätigkeit verbundenen Branchen wie zum Beispiel das Finanzwesen oder Unternehmensdienstleistungen in der Projektregion überdurchschnittlich (Regionalverband FrankfurtRheinMain 2015a). Auch sind diese Branchen im nationalen und internationalen Bereich in der Projektregion sehr stark vertreten, was sich zusätzlich auf eine positivere Entwicklung der Büroflächennachfrage auswirkt (Ebner; Raschke 2013).

8.3.3. Ergebnisse der Befragungen zu Lager- und Logistikimmobilien

Folgenden Kernaussagen wurden für den Logistikmarkt und die Logistikimmobilienbestände getroffen:

- Die Logistiklagen befinden sich meist in den peripheren Lagen, wobei vor allem die Gebiete am Flughafen und im Süd-Osten des Rhein-Main-Gebiets stark nachgefragt werden, auch

aufgrund topographischer Gegebenheiten. Zunehmend verdrängen Wohnraum und Büroflächen die Logistikflächen in den weniger peripheren Lagen, so dass Logistikstandorte ausweichen müssen. Hierbei ist die Flächenverfügbarkeit aufgrund zu geringer Flächenausweisung mittlerweile ein limitierender Faktor in der Untersuchungsregion.

- Welche Fläche für welches Produkt passt, ist sehr wichtig, weshalb es bei gleichzeitigem Leerstand eine große Nachfrage nach Logistikflächen gibt. Unpassende Logistikflächen stehen dabei vor allem in ungünstigeren Lagen leer. Der Leerstand ist allerdings im Rhein-Main-Gebiet sehr gering (~2%).
- Struktureller Leerstand¹⁴ ist bei Logistikgebäuden in der Projektregion praktisch nicht vorhanden. Treiber hierfür sind vor allem Outsourcing und E-Kommerz. Allerdings stehen angeschlossene Büroflächen oft leer, da diese zu peripher sind, um für die Nutzung als Bürofläche ohne Bezug zur angeschlossenen Logistikfläche genutzt zu werden.
- Daraus ergibt sich, dass die Gebäude mit einem Baujahr vor 1970 in näherer Zukunft abgebrochen werden und auch 30%-40% der Gebäude, die vor 1995 gebaut wurden, in den kommenden 10 Jahren abgebrochen werden. Allerdings ist ein Abbruch eines noch (teil-)genutzten Gebäudes zum Neubau eines Logistikgebäudes von den Experten als unwirtschaftlich betrachtet worden.
- Die Akzeptanz von Logistikflächen in unmittelbarer Nachbarschaft ist in der Bevölkerung sehr gering, woraus sich eine zusätzliche Verknappung der Flächenverfügbarkeit ergibt.
- In Zukunft wird es im Gegensatz zur Gegenwart auch spekulative Neubauten geben, was zu einer steigenden Zahl an Neubauten im Bereich Logistik führen wird.

Zu diesen Einschätzungen der interviewten Experten geben auch verschiedene Studien eine Einschätzung, bzw. geben Rahmenbedingungen vor, die zur Szenarioentwicklung beitragen. So ist zum einen der Bereich Logistik und Verkehr eine der größten Branchen bezogen auf die Anzahl der Beschäftigten in der Rhein-Main-Region (Regionalverband FrankfurtRheinMain 2015a). Auch gibt es im Zeithorizont bis 2030 voraussichtlich ein stabiles Bevölkerungswachstum, was gleichzeitig zu einem größeren Bedarf an Logistikdienstleistungen führt (Van den Busch 2010). Neben dem absoluten Bevölkerungswachstum verfügt die Bevölkerung der Rhein-Main-Region bereits jetzt über eine überdurchschnittliche Kaufkraft, dessen Wachstumsrate zudem bei durchschnittlich 2 % liegt (Michael Bauer Research GmbH 2015). Hieraus ist zu schließen, dass vermehrt Waren nachgefragt werden und sich dementsprechende Logistikdienstleistungsunternehmen ansiedeln. Weitere Stärken liegen in der Lage der Rhein-Main-Region als internationale Drehscheibe mit einem starken regionalen Markt, was insgesamt zu einer positiven Entwicklung der Logistikbranche führt (Ebner und Raschke 2013).

¹⁴ Als struktureller Leerstand im Bereich der Logistikgebäude verstehen die befragten Experten übereinstimmend Flächen, welche in Zukunft ohne größere Investitionen nicht mehr nutzbar sind. Dies betrifft lediglich beschädigte Gebäude, für die es keine Nachfrage gibt, da diese nicht nutzbar sind.

8.3.4. Szenarienentwicklung

Aus den oben genannten Kernaussagen zu den einzelnen Immobilienmärkten wurden für die Szenarioentwicklung des Büro- und Logistikgewerbes die in Tabelle 31 aufgeführten Systemelemente identifiziert.

Tabelle 31: Systemelemente der Szenarioentwicklung

	Systemelemente	stabil/dynamisch - Büro	stabil/dynamisch - Lager/Logistik
1	Wirtschaftsstärke	stabil	stabil
2	Branchenzusammensetzung	stabil	stabil
3	Flächenangebot	stabil	dynamisch
4	Lage der Gewerbeflächen	stabil	dynamisch
5	Topographie	stabil	stabil
6	Bodenpreise	stabil	stabil
7	Mietflächennachfrage	dynamisch	stabil
8	struktureller Leerstand	dynamisch	stabil
9	Mietpreise	stabil	stabil
10	allgemeines Investitionsklima	dynamisch	dynamisch
11	Bevölkerungsentwicklung	dynamisch	dynamisch
12	soziale Infrastruktur	dynamisch	dynamisch
13	Baualter + Marktfähigkeit Bestandsgebäude	stabil	stabil
14	aktuelle Baufertigstellung	-	-
15	bestehende Trends der Baufertigstellung	-	-

Zu diesen Systemelementen wurde aus den Aussagen der Experteninterviews auch die Dynamik der einzelnen Systemelemente abgeleitet. Die Dynamik beschreibt dabei, ob die einzelnen Systemelemente sich ständig wandeln, also dynamisch oder gleichbleibend, d.h. stabil sind. Durch diese Einschätzung ob ein Systemelement stabil oder dynamisch ist kann der individuelle Immobilienmarkt eingeschätzt werden, unterschiedliche Annahmen können bezüglich der Veränderung des jeweiligen Systemelements in den einzelnen Szenarien besser berücksichtigt werden. Die dynamischen Elemente wirken sich also direkt auf die jeweiligen Szenarien aus, wohingegen die als stabil angenommenen Systemelemente keinen Einfluss auf die Szenarien haben. Die als stabil eingestuften Systemelemente dienen daher grundlegend zur Abgrenzung zu anderen Immobilienmärkten und sind zumindest über den Zeithorizont der Szenarien als gleichbleibend zu betrachten. Hierbei sind auch die Rahmenbedingungen der Szenarioentwicklung zu beachten.

Als Rahmenbedingungen wurde zum einen angenommen, dass keine unvorhersehbaren Ereignisse, welche die bisherigen Bedingungen eines geregelten Wirtschaftsverkehrs, außer Kraft setzen, eintreten, zum anderen wurde der Zeithorizont der Szenarioabschätzung bis zum Jahr 2030 festgelegt. Da der Zeithorizont, abgeleitet aus dem Projektantrag, bis zum Jahr 2030 festgelegt wurde, werden einige Systemelemente, welche langfristig dynamisch sind, als stabil be-

trachtet, da sich diese über deutlich längere Zeit verändern können als dies der Zeithorizont des Projektes zulässt. Die aktuelle Baufertigstellung und die bestehenden Trends der Baufertigstellung sind zwar grundsätzlich auch Systemelemente, sind allerdings stichtagsbezogene Werte, die für die Zukunft keiner Dynamik unterliegen.

Diese entwickelte Vorgehensweise wird im Rahmen des Forschungsprojekts auf die Rhein-Main-Region und dort speziell auf Büro- und Logistikkimmobilienmärkte angewendet, was zu den in Tabelle 32 und Tabelle 33 aufgezeigten Szenarioeigenschaften führt. Hierbei spiegelt jeweils ein Szenario den deutschlandweiten Trend aus der Bautätigkeitsstatistik (Gornig et al. 2013) wider. Bei den anderen Szenarien wird das Zeichen „0“ für Elemente mit keinem zusätzlichen Einfluss auf die Zubauaktivitäten, das Zeichen „+“ als den Zubau verstärkendes Element und das Zeichen „-“ als die Entwicklung des Zubaus abschwächendes Element verwendet. Das Zeichen „1“ steht zusätzlich für festgelegte Elemente, die den allgemeinen Trend widerspiegeln, welcher im Folgenden analysiert wird, jedoch grundsätzlich Bestandteil der Szenarien sind.

Tabelle 32: Szenarioeigenschaften Büroimmobilienmarkt Rhein-Main

	Systemelemente	Büro - Szenario 1	Büro - Szenario 2	Büro - Szenario 3
1	Wirtschaftsstärke	Trendzenario - bisheriger Deutschlandtrend	0	0
2	Branchenzusammensetzung		stabil	0
3	Flächenangebot		0	0
4	Lage der Gewerbeflächen		0	0
5	Topographie		0	0
6	Bodenpreise		0	0
7	Mietflächennachfrage		0	+
8	struktureller Leerstand		+	+
9	Mietpreise		0	0
10	allgemeines Investitionsklima		+	+
11	Bevölkerungsentwicklung		0	+
12	soziale Infrastruktur		+	+
13	Baualter + Marktfähigkeit Bestandsgebäude		0	0
14	aktuelle Baufertigstellung		-	-
15	bestehende Trends der Baufertigstellung		-	-

Tabelle 33: Szenarioeigenschaften Logistikimmobilienmarkt Rhein-Main

	Systemelemente	Lager - Szenario 1	Lager - Szenario 2	Lager - Szenario 3
1	Wirtschaftsstärke	Trendzenario - bisheriger Deutschlandtrend	0	0
2	Branchenzusammensetzung		0	0
3	Flächenangebot		-	+
4	Lage der Gewerbeflächen		-	-
5	Topographie		0	0
6	Bodenpreise		0	0
7	Mietflächennachfrage		0	0
8	struktureller Leerstand		0	0
9	Mietpreise		0	0
10	allgemeines Investitionsklima		+	+
11	Bevölkerungsentwicklung		0	+
12	soziale Infrastruktur		0	+
13	Baualter + Marktfähigkeit Bestandsgebäude		0	0
14	aktuelle Baufertigstellung		0	0
15	bestehende Trends der Baufertigstellung		1	1

Wie bereits beschrieben, wurden die einzelnen Einschätzungen der zukünftigen Entwicklung der jeweiligen Immobilienmärkte bzw. der Systemelemente ebenso wie die Systemelemente selbst aus oben benannten Studien und der Expertenbefragung generiert. Die Summe der Einschätzungen der einzelnen Systemelemente bildet die Grundlage für die Festlegung der Veränderung der zukünftigen Baufertigstellung.

Als nächstes Element, um die zukünftige Entwicklung der ausgewählten Gewerbeimmobilienmärkte zu ermitteln, wird die Bautätigkeitsstatistik analysiert. Die Bautätigkeitsstatistik wird auf Grundlage von Baugenehmigungen und Fertigstellungen von den Statistischen Ämtern erhoben und gibt unter anderem die Veränderung des Neubauvolumens in Prozent an, die sich allerdings auf gesamt Deutschland beziehen. Hierbei wird bei Gewerbeobjekten unter anderem unterschieden in Büro- bzw. Verwaltungsgebäude und Produktions-, Handels- und Lagergebäude. Um einen Richtwert für die Veränderung des jährlichen Neubaus zu erhalten, wurden die relativ stark schwankenden Zeitreihen aus Tabelle 34 gemittelt.

Tabelle 34: Veränderung des Neubauvolumens (Gorning et al.2013)

Neubauvolumen	Veränderung zum Vorjahr in %									
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Büro-, Verwaltungsgebäude	-28,4	-15,3	-13,4	0	2,2	4,0	8,0	-21,6	16,7	-4,9
Hotels, Gaststätten, Anstaltsgebäude	-2,0	-6,4	-5,1	-10,0	22,6	-2,9	9,3	-10,8	-0,8	-8,8
Produktions-, Handels-, Lagergebäude	-9,3	-6,4	-7,8	12,2	11,0	16,4	-14,9	-8,5	18,3	-1,1

Sonstige Nichtwohngebäude	-2,5	-3,3	-4,7	0,6	2,9	12,1	13,2	0	2,9	-6,0
Bauleistung an bestehenden Gebäuden	0,9	1,9	6,2	10,5	12,5	9,2	0,6	10	3,8	-0,6
Bauvolumen Nichtwohngebäude insgesamt	-5,5	-2,5	0,2	7,9	11,2	9,7	-0,5	2,8	6,3	-1,8

Hieraus ergibt sich für Büro- und Verwaltungsgebäude eine mittlere Veränderung zum Vorjahr von -5,3 % und bei Lagergebäuden eine mittlere Veränderung zum Vorjahr von +1 %. Eine Zyklusprognose wurde nicht angestellt, da langfristige Trends für die langfristige Entwicklung und den dadurch entstehenden Neubau aussagekräftiger sind als kurzfristige Zyklusbewegungen. Ausgehend von diesen deutschlandweiten Werten werden mittels der Szenarioentwicklung für die Projektregion zukünftige Prognosen für die jährliche Veränderung des Neubauvolumens getroffen.

Für Bürogebäude wurden aus den vorgenannten Tabellen und Daten die folgenden Szenarien entwickelt:

- Szenario 1: Der Deutschlandtrend wird fortgeführt. Dies bedeutet, dass die Annahme, die Bürogebäudefertigstellung entwickelt sich gleich wie im deutschen Durchschnitt, eine zukünftige Veränderung des Neubaus von -5,3 % jährlich des Bauvolumens von 2013 bewirkt.
- Szenario 2: Es wird davon ausgegangen, dass es aufgrund der wirtschaftsstarke Lage mehr Neubauten in der Rhein-Main-Region gibt und dementsprechend der Büroneubau jährlich lediglich um 1 % zurückgeht.
- Szenario 3: Es wird davon ausgegangen, dass es eine positive Entwicklung der Bautätigkeit in der Rhein-Main-Region aufgrund boomender Bürogebäudemärkte und zukünftiger Flächenknappheit gibt, woraus sich eine Veränderung des Neubauvolumens von +1 % ergibt.

Bei Lagergebäuden ist aufgrund der positiven Entwicklung des Logistiksektors die Entwicklung des Neubauvolumens generell positiver als bei Bürogebäuden. Hieraus ergeben sich folgende Szenarien:

- Szenario 1: Entspricht wiederum dem Deutschlandtrend, welcher leicht positiv ist, woraus sich eine Veränderung des jährlichen Neubauvolumens von +1 % ergibt.
- Szenario 2: Es wurde mit einer gleich bleibenden Bautätigkeit und demzufolge einer langfristigen Entwicklung des Neubauvolumens von 0 % gerechnet.
- Szenario 3: Es wird von einer stark positiven Entwicklung des Logistikmarktes und demnach einer positiven Entwicklung des Lagergebäudebaus ausgegangen, wodurch sich das jährliche Neubauvolumen um +4 % steigert.

Letztlich ist es eines der Ziele dieses Forschungsprojekts, die Materialflüsse in einer genau definierten Region zu bestimmen. Hierzu ist es notwendig u.a. das Neubauvolumen dieser abgegrenzten Region prognostizieren zu können. Da dementsprechend das Neubauvolumen in

m³ BRI pro Jahr und pro Gebäudetypp im Materialflussmodell benötigt wird, muss hierzu die absolute Höhe der Baufertigstellungen in m³ BRI aus der Baufertigstellungsstatistik (FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Baufertigstellungsstatistik, 2013, eigene Berechnungen) ermittelt und anschließend mittels der zuvor erstellten Prognoseszenarien die absolute Höhe des Neubauvolumens prognostiziert werden. Die absolute Größe des zugebauten BRI je Gebäudetypp im Basisjahr des Projekts 2013 wird demnach aus der Baufertigstellungsstatistik entnommen (FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Baufertigstellungsstatistik, 2013, eigene Berechnungen). In dieser Statistik befinden sich, ähnlich der Bauabgangsstatistik, sämtliche fertiggestellten Neu- und Umbauten eines Jahres, welche mittels eines Fragebogens erfasst werden. Dies beinhaltet zum einen die Ausweisung des Gebäudetyps nach einer von den Statistischen Ämtern entwickelten Gebäudetypologie, die Angabe zur fertiggestellten Nutzfläche und des BRIs, als auch eine Zuweisung zu einzelnen Gemeinden, so dass gemeindescharf die jeweiligen Fertigstellungen berechnet werden können. Um die Gebäudetypologie der Statistischen Ämter in die PRRIG-Gebäudetypologie zu überführen und dementsprechend für das Forschungsprojekt PRRIG absolute Werte des BRI zu erhalten, wurden ähnliche Gebäudetypen in der Baufertigstellungsstatistik gesucht wie diejenigen, welche in der PRRIG-Gebäudetypologie vorhanden sind. Hierzu wurde für den PRRIG-Gebäudetypp „100 Büro- und Verwaltungsgebäude“ die Gebäudetypen „308 Büro- und Verwaltungsgebäude (außer 395)“ und „395 Büro- und Verwaltungsgebäude der Polizei, des Bundesgrenz-, Feuer- und zivilen Bevölkerungsschutzes (auch Bundespolizei)“ der Baufertigstellungsstatistik zusammengefasst. Für den PRRIG-Gebäudetypp „400 Lagergebäude“ wurde aus der Baufertigstellungsstatistik die Gebäudetypen 731 bis 737, also Warenlagergebäude genutzt. Der PRRIG-Gebäudetypp „200 Fabrik- und Werkstattgebäude“ ergibt sich aus dem Gebäudetypp „719 sonstige Fabrik- und Werkstattgebäude“ und alle weiteren Gebäudetypen der Gebäudetypologie des Forschungsdatenzentrums (FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2016) werden unter sonstigen NWG zusammengefasst. Aus der Auswertung der Baufertigstellungsstatistik ergeben sich für die Nutzfläche und den BRI die in Tabelle 35 zusammengefassten Ergebnisse.

Tabelle 35: Baufertigstellungen 2013 (FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Baufertigstellungsstatistik, 2013, eigene Berechnungen)

Gebäudetypp	Baufertigstellungen - Projektgebiet		Baufertigstellungen - Hessen	
	Nutzfläche [m ² nach DIN 277]		Nutzfläche [m ² nach DIN 277]	
100 Büro- & Verwaltungsgebäude	Nutzfläche [m ² nach DIN 277]	319.934	Nutzfläche [m ² nach DIN 277]	376.389
	Bruttorauminhalt [m ³]	1.802.559	Bruttorauminhalt [m ³]	2.090.626
400 Lagergebäude	Nutzfläche [m ² nach DIN 277]	191.973	Nutzfläche [m ² nach DIN 277]	247.976
	Bruttorauminhalt [m ³]	1.051.308	Bruttorauminhalt [m ³]	2.285.877

Nach der Erstellung der Szenarien und der Berechnung der Baufertigstellung in absoluter Höhe ergeben sich nun durch Zusammenführung dieser Erkenntnisse die im Anhang A.11 und 0 gelisteten Entwicklungen der Baufertigstellungen bzw. Neubauvolumina bis zum Jahr 2030 für die Gebäudetypen „100 Büro- und Verwaltungsgebäude“ sowie „400 Lagergebäude“.

Für die Gebäudetypen „200 Fabrik- und Werkstattgebäude“ sowie sonstige NWG wird die Baufertigstellung in der Projektregion im Jahr 2013 als Ausgangswert genutzt und der Deutschland-

trend aus Tabelle 34 als Prognoseinstrument für den zukünftigen Zubau bis 2030 errechnet. Als Ergebnis wurden im Jahr 2013 vom Gebäudetyp „200 Fabrik- und Werkstattgebäude“ 421.294 m³ BRI fertiggestellt und 2.837.472 m³ BRI an sonstigen NWG. Als Deutschlandtrend lässt sich eine jährliche Veränderung des Neubauvolumens von ungefähr 1 % bei Fabrik- und Werkstattgebäuden errechnen, bei sonstigen NWG wird davon ausgegangen, dass sich keine Änderung bei der Veränderung der Baufertigstellung ergibt.

8.4. Dynamische Modellierung der Materialflüsse Rhein-Main

Mithilfe des in Kapitel 8.1 dargestellten Materialflussmodells wurde an verschiedenen Gebäudetypen beispielhaft eine dynamische Modellierung der Materialflüsse in der Projektregion Rhein-Main durchgeführt. Für Büro- bzw. Verwaltungsgebäude wurde das Modell mit einer Differenzierung nach Altersklassen beispielhaft für eine Szenariokombination erstellt, des Weiteren in einer vereinfachten Methodik ohne Altersklassendifferenzierung für jeweils 9 Szenariokombinationen bei Büro-/Verwaltungs- und Lagergebäuden sowie eine Kombination für Fabriken und für die Gesamtheit aller NWG.

8.4.1. Dynamische Berechnung des Materialflussmodells nach Altersklassen

Für diese Berechnungsmethode müssen das BRI-Lager $M_{\text{Basis}}^{(\text{BRI})}$ zum Ende des Basisjahres sowie die BRI-Outputs $O_i^{(\text{BRI})}$ nach Altersklassen differenziert vorliegen. Weiterhin sollten für jede Altersklasse des betrachteten Gebäudetyps spezifische Rohstoffintensitäten vorliegen. Diese Variante des Modells benötigt somit eine detaillierte Datengrundlage, kann dafür jedoch die je nach Alter der Gebäude variierenden Rohstoffintensitäten berücksichtigen.

Die dynamische Berechnung erfolgt zunächst auf der Betrachtungsebene des BRI. Pro Altersklasse A wird zunächst der voraussichtliche Gebäudeabgang, d.h. der BRI-Output $O_{Ai}^{(\text{BRI})}$ für jedes Jahr i benötigt. Es ist dabei ebenfalls möglich, Szenarien zu verwenden. In diesem Beispiel für Büro- und Verwaltungsgebäude wurde für die BRI-Outputs $O_i^{(\text{BRI})}$ die nach Kapitel 8.2.1 erstellte Prognose für Gebäudeabgänge bis 2030 herangezogen (siehe Anhang A.10). Die Gebäudeabgänge lagen bedingt durch die verfügbaren Datenquellen für eine andere Altersklasseneinteilung vor. Daher mussten sie teilweise in die in PRRIG genutzten Altersklassen konvertiert werden. Dazu wurden die ursprünglichen Altersklassen der Prognose in die Anzahl ihrer Jahre unterteilt und jedem dieser Jahre der entsprechende Anteil am Gesamtabgang dieser Altersklasse zugeschrieben. Beträgt beispielsweise der Abgang der Altersklasse 1949-1962 insgesamt 127.183 m³, so wird jedem der 14 Jahre dieser Altersklasse ein Abgang von 127.183 m³ / 14 zugeordnet. Vereinfachend wird also davon ausgegangen, dass der Gebäudeabgang einer Altersklasse sich gleichmäßig auf alle ihre Baujahre verteilt. Anschließend wurden die Abgänge dieser einzelnen Jahre wieder entsprechend der in PRRIG genutzten Baualtersklassen addiert. Um z.B. den Abgang der Altersklasse 1949 - 1957 zu erhalten, werden 9 Jahre der oben erwähnten ursprünglichen Altersklasse 1949 - 1962 benötigt, d.h. $9 * 127.183 \text{ m}^3 / 14$. Altersklassen wie 1958-1968 werden aus einzelnen Jahren verschiedener ursprünglicher Altersklassen zusammenaddiert.

Um den gesamten Output $O^{(BRI)}_i$ im Jahr i zu erhalten, werden die Outputs aller Altersklassen aufsummiert, wie in Abbildung 48 beispielhaft gezeigt.

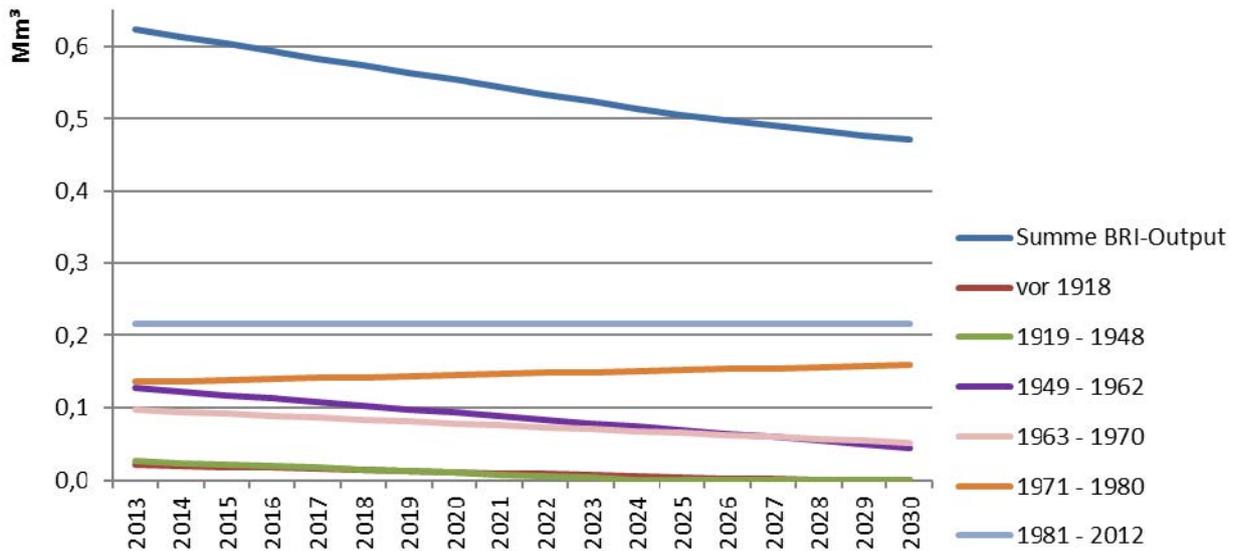


Abbildung 48: BRI-Outputs $O^{(BRI)}_{Ai}$ der einzelnen Altersklassen sowie Aufsummiierung zum Gesamtoutput $O^{(BRI)}_i$ für Büro- und Verwaltungsgebäude der Projektregion in einem Trend-Szenario.

Aus den BRI-Outputs $O^{(BRI)}_{Ai}$ kann für jede Altersklasse A das BRI-Lager $M^{(BRI)}_{Ai}$ im Jahr i berechnet werden. Dieses zeigt an, wie groß der BRI im Jahr i aus der jeweiligen Altersklasse noch ist. Dazu wird vom BRI-Lager des Vorjahres $M^{(BRI)}_{A(i-1)}$ der BRI-Output des aktuellen Jahres $O^{(BRI)}_{Ai}$ subtrahiert: $M^{(BRI)}_{Ai} = M^{(BRI)}_{A(i-1)} - O^{(BRI)}_{Ai}$.

Es ist also zunächst das BRI-Lager $M^{(BRI)}_{A 2013}$ jeder Altersklasse im Basisjahr notwendig. Da für die Projektregion keine Daten zu den BRI-Beständen der einzelnen Gebäudetypen oder deren Altersklassen im Basisjahr vorlagen, mussten diese abschätzig ermittelt werden. Der Eingangswert für das Modell ist zunächst der BRI aller Büro- und Verwaltungsgebäude in der Projektregion. Für das Jahr 2011 betrug dieser geschätzt $111.745.750 \text{ m}^3$ (siehe Kapitel 7.6). Die Anteile der Baualtersklassen wurden aus den angenäherten Angaben der Erstbebauung aus RegioMap der Fallstudie Frankfurt Ost / Maintal für die Projektregion Rhein Main beibehalten (vgl. Kapitel 7.1). Aufgrund dieser nur sehr groben Näherungsmöglichkeit ist auffällig, dass ein sehr hoher Anteil der Altersklassen von Vorkriegsbauten besteht, da eventuelle Abgänge und Neubauten auf diesen Grundstücken in RegioMap nicht berücksichtigt wurden. In der Realität ist jedoch eher mit einem größeren Anteil von Bauten jüngerer Altersklassen zu rechnen. Für die beispielhafte Demonstration des Materialflussmodells wird mangels detaillierterer Daten dennoch diese genäherte Aufteilung weiterverwendet. Da RegioMap wiederum andere Altersklasseneinteilungen verwendet als PRRIG, mussten sie zudem analog der BRI-Outputs ebenfalls in die in PRRIG genutzten Altersklassen konvertiert werden. Um vom vorliegenden BRI-Lager aus dem Jahr 2011 auf das Basisjahr 2013 zu gelangen, wurden die 2011 und 2012 ermittelten BRI-Outputs der jeweiligen Altersklassen abgezogen. Es ergab sich insgesamt über alle Altersklassen das BRI-Lager $M^{(BRI)}_{2013} = 111.116.620 \text{ m}^3$ für Büro- und Verwaltungsgebäude.

Die BRI-Inputs $I^{(BRI)}_i$ der kommenden Jahre wurden auf Grundlage von Szenarien zur Baufertigstellung ermittelt (Kapitel 8.3.4). Gibt das Szenario z.B. eine Fertigstellung von jährlich 1% mehr Bauvolumen als im Vorjahr an, so wird die Baufertigstellung des Basisjahres $I^{(BRI)}_{Basis}$ benötigt. Von diesem wird für jedes Jahr ein Anteil von 1% fortlaufend addiert: $I^{(BRI)}_i = (1 + 0,01) * I^{(BRI)}_{i-1}$.

Aufgrund des geringen Zeithorizonts des Modells im Vergleich zu der Lebensdauer eines Gebäudes kann in den meisten Fällen vereinfachend davon ausgegangen werden, dass vom BRI-Input während der Laufzeit des Modells keine Abgänge zu verzeichnen sind. Prinzipiell kann jedoch auch ein Szenario zum Gebäudeabgang in dieser Altersklasse erstellt und mitberücksichtigt werden. Der BRI-Input $I^{(BRI)}_{2013}$ für die nachfolgend beispielhaft verwendeten Büro- und Verwaltungsgebäude in der Projektregion beträgt $1.802.559 \text{ m}^3$, es wird das Trendszenario von einer jährlichen Verringerung des Wertes um 5,3% angenommen (siehe Kapitel 8.3.4). Die konkreten Werte sind im Anhang A.11 gegeben.

Das Gesamtlager $M^{(BRI)}_i$ eines jeden Jahres kann schließlich berechnet werden, indem die Summe der Lager der verschiedenen Altersklassen $M^{(BRI)}_{Ai}$ zu der Summe der vom Basisjahr bis einschließlich dem Jahr i ermittelten BRI-Inputs $I^{(BRI)}_i$ addiert werden. Abbildung 49 zeigt beispielhaft die Entwicklung eines BRI-Lagers unter dem Einfluss des jährlichen In- und Outputs.

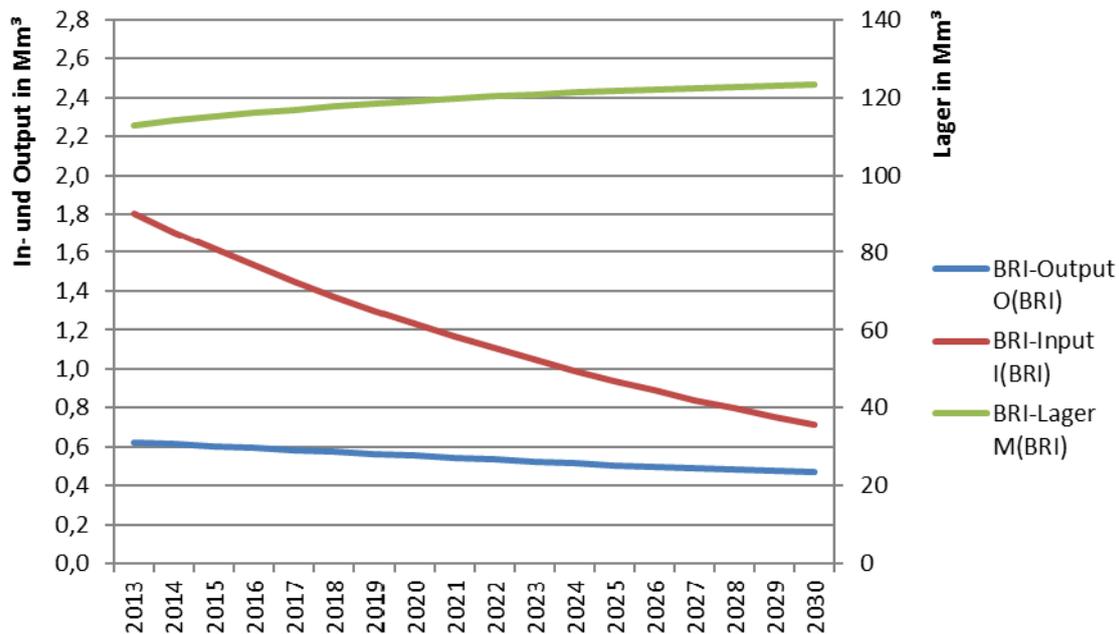


Abbildung 49: Beispielhafte Darstellung der Entwicklung des BRI-Lagers $M^{(BRI)}$ unter Einfluss von BRI-Input $I^{(BRI)}$ und BRI-Output $O^{(BRI)}$ für Büro- und Verwaltungsgebäude der Projektregion in einem Trend-Szenario.

Im gezeigten Fall ist der Input jeweils größer als der Output, so dass das Lager insgesamt jedes Jahr um den Differenzbetrag größer wird. Da das Lager deutlich größer ist als die In- und Outputs, wurde es auf einer Sekundärachse mit einer anderen Skalierung angezeigt.

Um von der BRI-Betrachtungsebene auf die Rohstoff-Betrachtungsebene zu gelangen, müssen lediglich die Werte aus der BRI-Ebene mit dem Faktor Rohstoffintensität des zu betrachtenden Rohstoffes multipliziert werden wie bereits in Abbildung 40 in Kapitel 8.1 gezeigt. Die Differenzierung in Altersklassen ermöglicht in diesem Fall altersklassenspezifische Rohstoffintensitäten,

d.h. für die Rohstoffoutputs bzw. Rohstofflager jeder Altersklasse kann jeweils ein spezieller Faktor verwendet werden, bevor alle Outputs bzw. Lagerinventare aufsummiert werden. Für das Beispiel der Büro- und Verwaltungsgebäude wurden die Rohstoffintensitäten auf Grundlage der in PRRIG durchgeführten Gebäudeuntersuchungen verwendet, siehe 6.2.3. Diese sind aufgrund der geringen Zahl an untersuchten Objekten nur als Beispielwerte zu verstehen, um die Funktionsweise der Methodik zu erläutern.

In Abbildung 50 bis Abbildung 52 sind die für das Beispiel Büro- und Verwaltungsgebäude ermittelten Rohstoffoutputs für FE-Metalle, Mauerwerk, Beton, Kupfer, Aluminium, Holz und Glas dargestellt. Aufgrund der teils sehr unterschiedlichen Größenordnungen der Outputs sind diese in drei Darstellungen mit jeweils unterschiedlicher Skalierung aufgeteilt. Massebaustoffe wie Beton, Mauerwerk und auch FE-Metalle sind in sehr großen Mengen zu erwarten, wohingegen Kupfer und Aluminium, aufgrund der sehr ähnlichen Rohstoffintensitäten fast gleich groß und sich daher im Diagramm überlappend, nur in eher geringen Mengen freigesetzt werden. Analog zum langsam sinkenden BRI-Output sinken auch die Rohstoffoutputs bis 2030 ab.

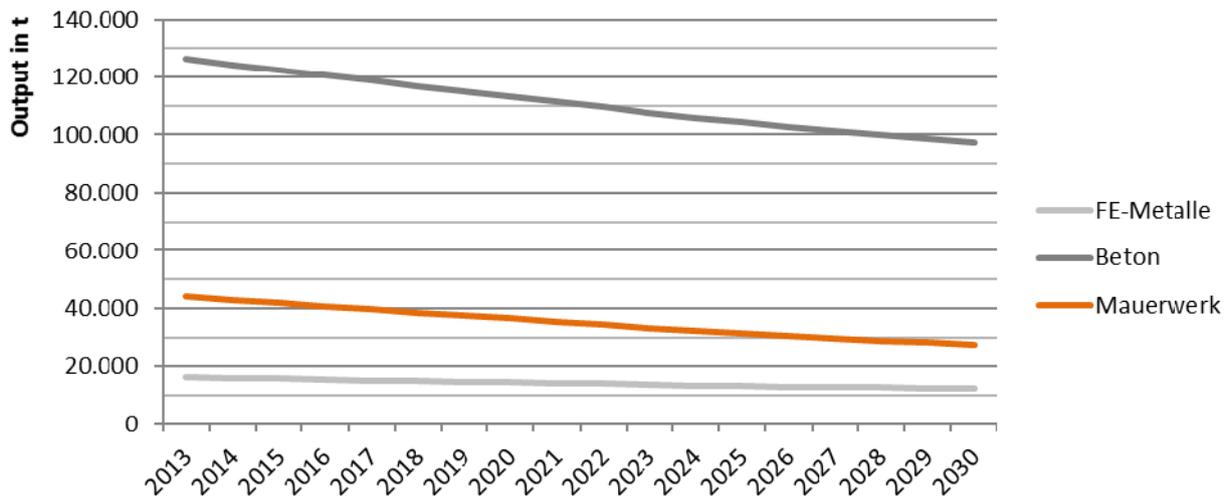


Abbildung 50: Rohstoffoutputs von FE-Metallen, Beton und Mauerwerk für Büro- und Verwaltungsgebäude der Projektregion in einem Trend-Szenario.

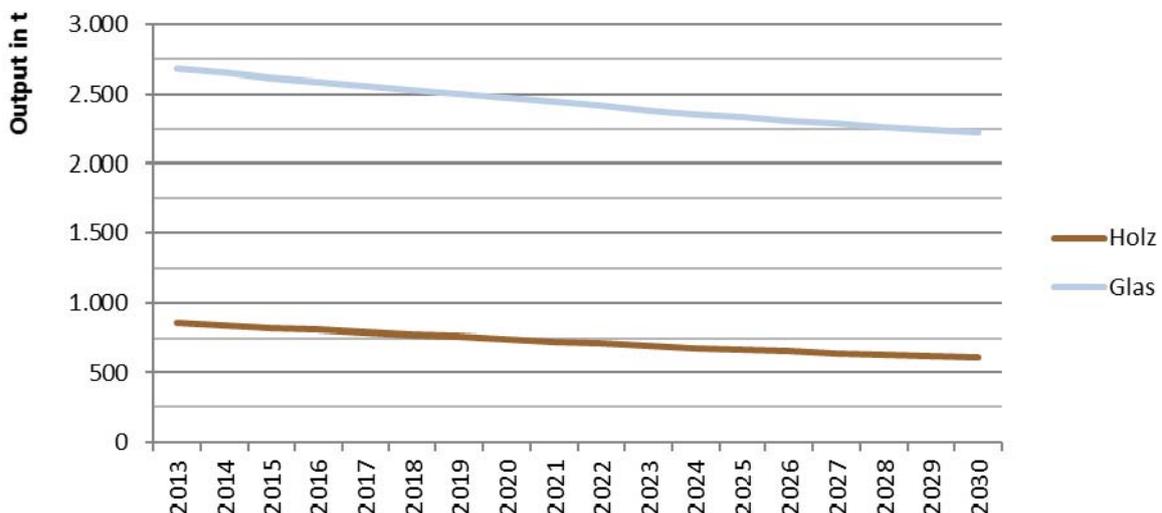


Abbildung 51: Rohstoffoutputs von Glas und Holz für Büro- und Verwaltungsgebäude der Projektregion in einem Trend-Szenario.

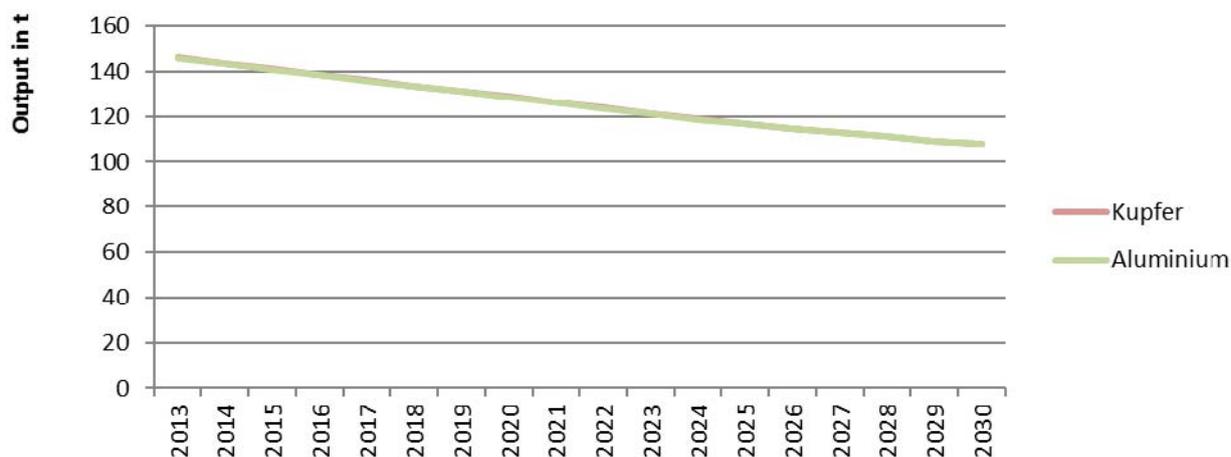


Abbildung 52: Rohstoffoutputs von Aluminium und Kupfer für Büro- und Verwaltungsgebäude der Projektregion in einem Trend-Szenario. Die Outputs sind annähernd gleich und überlagern sich daher in dieser Abbildung.

Als Ergänzung zu den hier betrachteten Veränderungen des BRI-Lagers bzw. Rohstofflagers aufgrund von Gebäudeabgängen und Baufertigstellungen können auch Veränderungen berücksichtigt werden, welche in Folge von Modernisierungsmaßnahmen entstehen. Dazu wird als Szenario der Zeitabstand benötigt, in welchem davon auszugehen ist, dass ein bestimmter Prozentsatz des BRI modernisiert wird, d.h. spezielle Komponenten wie Fenster oder nicht tragende Innenwände ausgetauscht werden. Analog zur oben beschriebenen Vorgehensweise wird in einem additionalen Materialflussmodell der In- und Output dieses BRI-Anteils dargestellt. Die Umrechnung auf die Betrachtungsebene Rohstoffe kann jedoch nicht direkt durch die Rohstoffintensitäten geschehen, da diese sich auf ein gesamtes Gebäude beziehen. Es werden daher auch spezielle Rohstoffintensitäten, welche nur die üblicherweise bei Modernisierungsmaßnahmen ausgetauschten Komponenten beinhalten.

8.4.2. Vereinfachte dynamische Berechnung ohne Altersklassen auf BRI-Ebene

Wenn keine nach Altersklassen differenzierten BRI-Bestände und Abgangsszenarien vorliegen oder keine differenzierten Rohstoffintensitäten verfügbar sind, so ist auch eine Vereinfachung ohne Altersklassen und mit einer für alle Altersklassen repräsentativen durchschnittlichen Rohstoffintensität möglich. Diese führt jedoch zu weiteren Unsicherheiten im Ergebnis. Die Berechnung wird analog der Anleitung im vorangegangenen Kapitel durchgeführt. Da jeweils nur eine Datenreihe für den BRI-Output und das BRI-Lager besteht, muss keine Summierung der Werte der verschiedenen Altersklassen mehr vorgenommen werden.

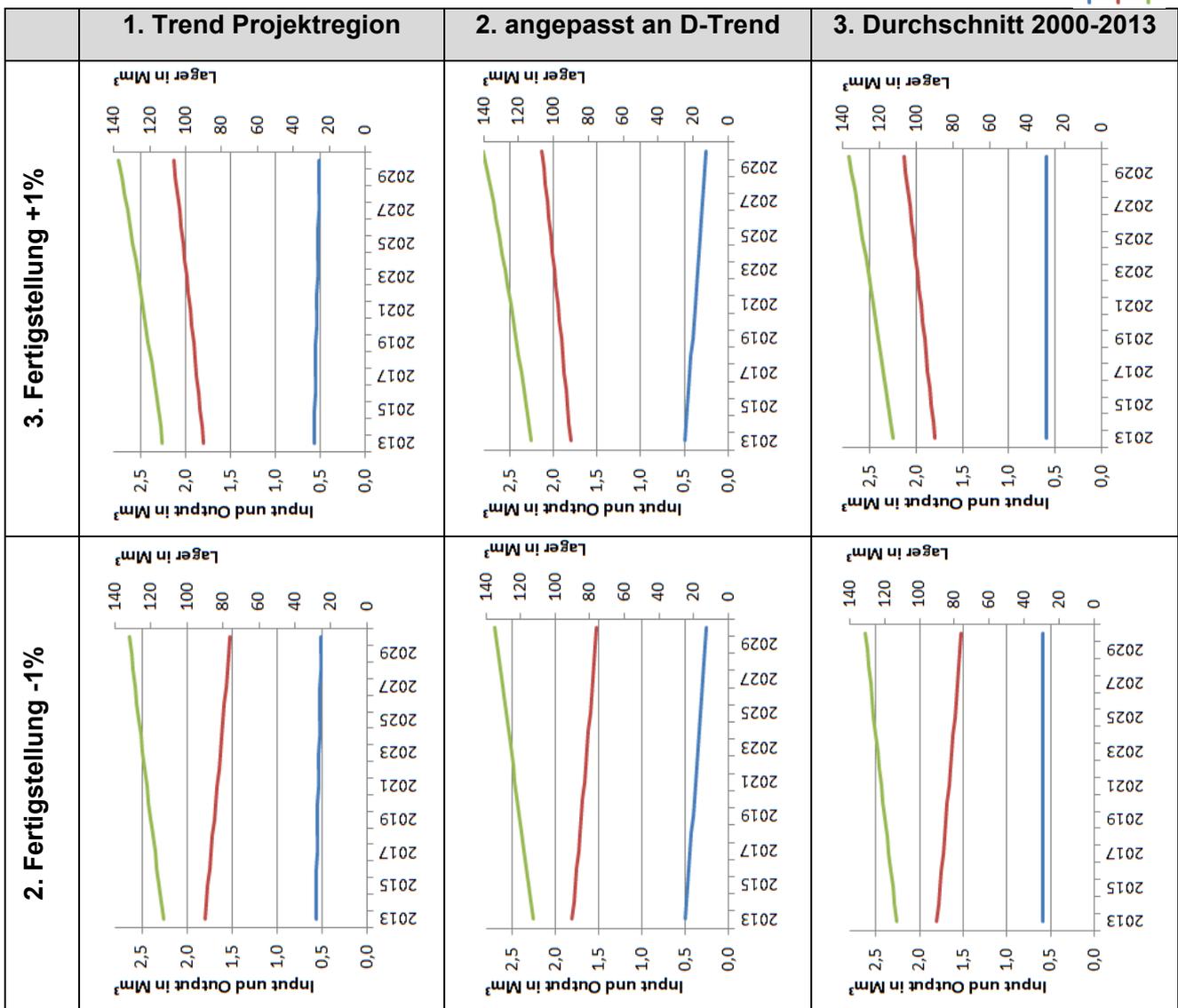
In PRRIG wurde aufgrund der nicht verfügbaren Altersklassenverteilung im Gebäudebestand hauptsächlich mit dem vereinfachten Materialflussmodell gearbeitet. Da die im Projekt ermittelten Rohstoffintensitäten sich jeweils nur auf wenige Gebäudeaufnahmen stützen konnten und daher für quantitative Aussagen nicht herangezogen werden sollten, wurde jeweils lediglich die Betrachtungsebene des BRI erstellt.

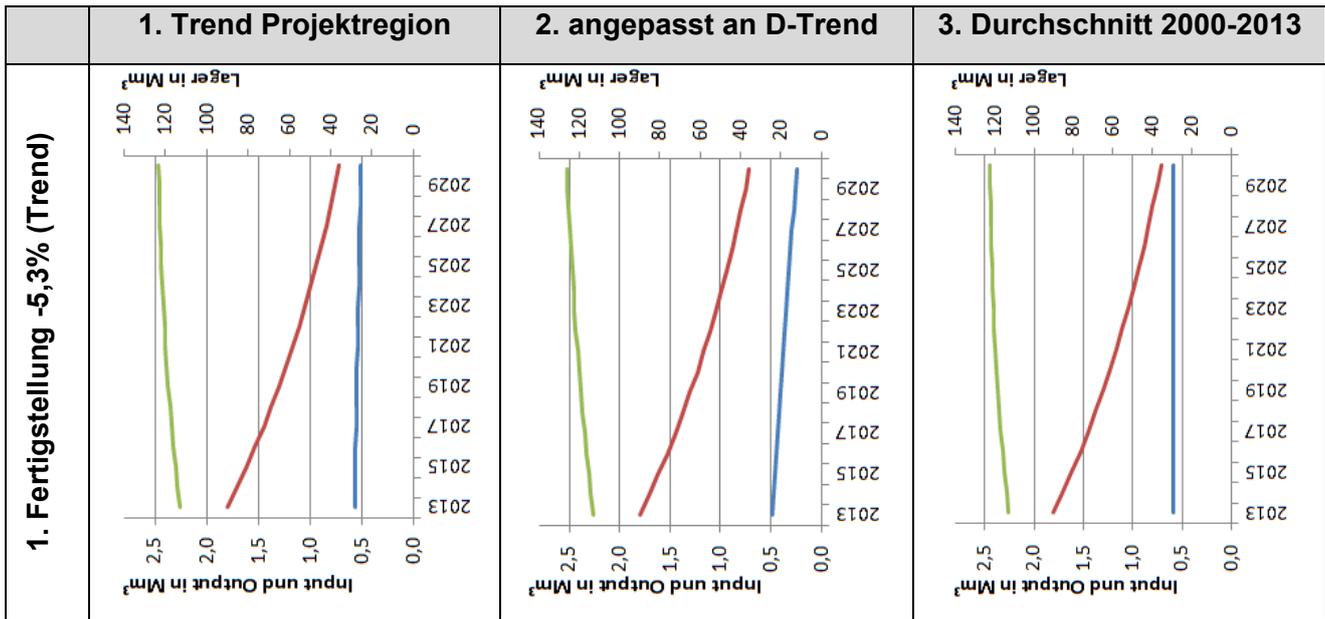
Büro- und Verwaltungsgebäude

Für die Entwicklung des BRI der Büro- und Verwaltungsgebäude in der Projektregion wurden vereinfachte Modelle der 9 Kombinationen der jeweils drei Szenarien für den Gebäudeabgang und Baufertigstellungen bis 2030 erstellt (siehe Kapitel 8.2.2 und 8.3.4). Diese Kombinationen sind in Tabelle 36 gezeigt. Dabei sind die Teilszenarien für den Gebäudeabgang jeweils in den Zeilen und die Teilszenarien für Baufertigstellungen in den Spalten angeordnet. Aufgrund der unterschiedlichen Größenordnungen von In-/Outputs und Lagern sind die Lager auf einer Sekundärachse mit anderer Skalierung dargestellt. Die ermittelten Zahlenwerte der Szenarien sind in Anhang A.13 gegeben.

Tabelle 36: Szenarienkombinationen der BRI-Entwicklung von Büro- und Verwaltungsgebäuden der Projektregion bis 2030.

BRI-Output
BRI-Input
BRI - Lager





In Abbildung 53 ist zusammenfassend die Entwicklung der BRI-Lager in allen neun Szenariokombinationen dargestellt. Eine Szenariokombination wird dabei zunächst mit der Nummer des Teilszenarios für den Gebäudeabgang und danach mit der Nummer des Teilszenarios für die Baufertigstellung benannt. Es ist darauf zu achten, dass die y-Achse zur besseren Sichtbarkeit der einzelnen Graphen gekürzt wurde.

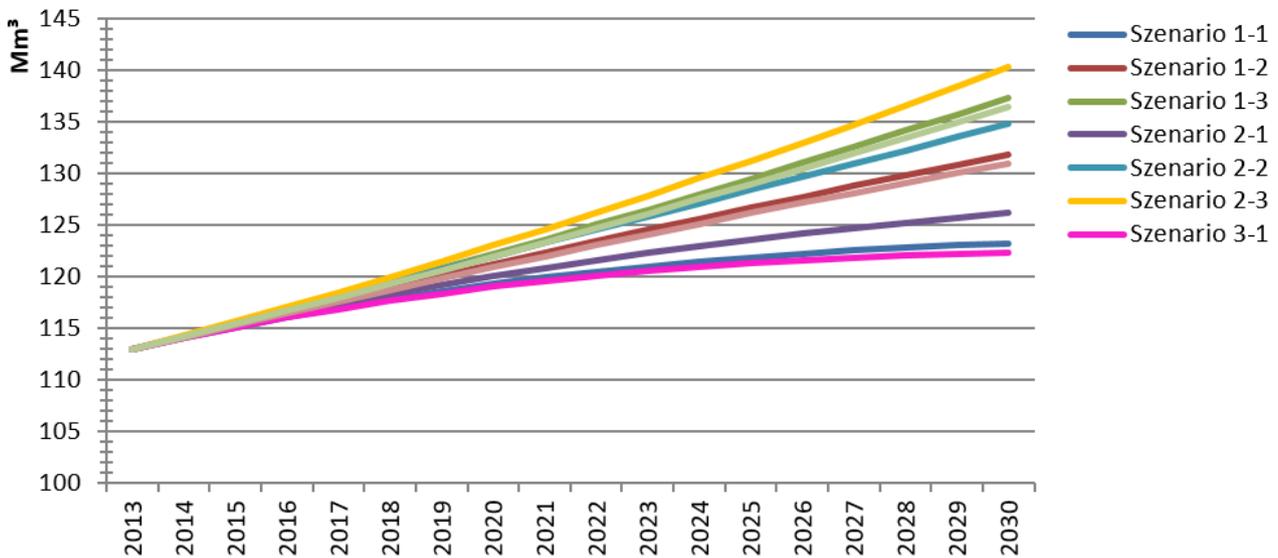


Abbildung 53: Entwicklung des BRI-Lagers von Büro- und Verwaltungsgebäuden der Projektregion bis 2030 in den neun Szenariokombinationen.

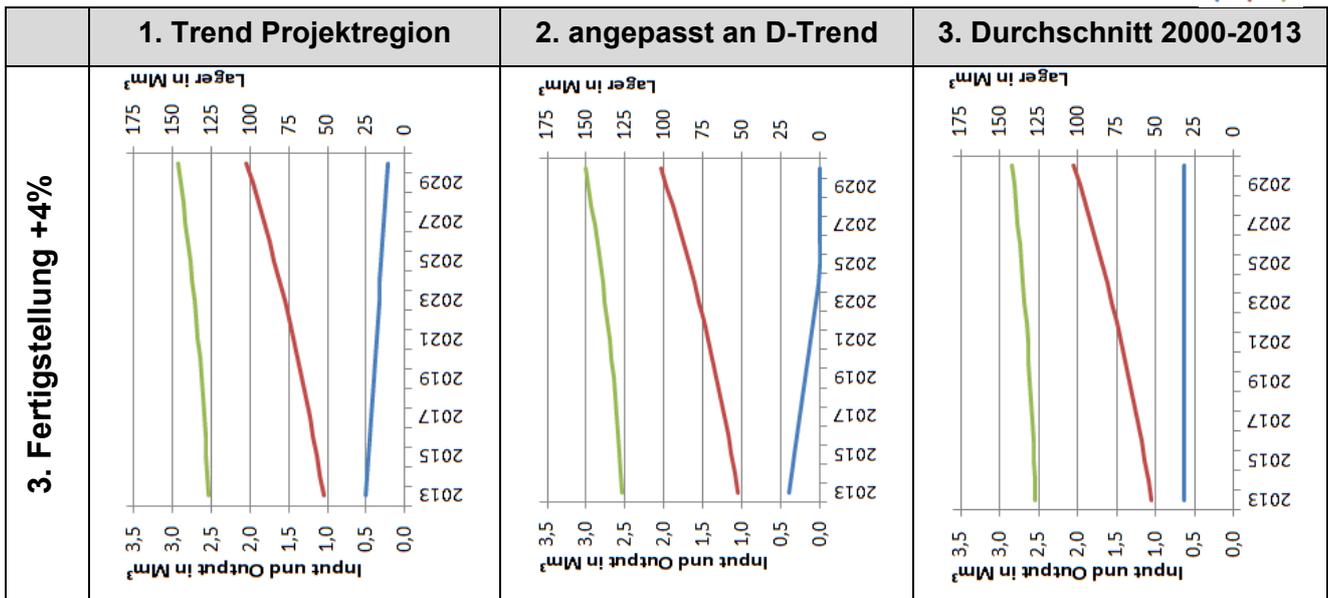
Das nach diesen Szenariokombinationen im Jahr 2030 zu erwartende BRI-Lager von Büro- und Verwaltungsgebäuden der Projektregion liegt zwischen ca. 122 Mm³ (Szenario 3.1) und 140 Mm³ (Szenario 2.3) gegenüber ca. 113 Mm³ im Basisjahr 2013. Dies entspricht einem Zuwachs an BRI von ca. 9 Mm³ bis ca. 27 Mm³ bzw. zwischen rund 7,9% und rund 23,9%.

Bezüglich ihres Verlaufs entsprechen die Entwicklungen der Rohstofflager und Rohstoffoutputs bei dieser Berechnungsvariante der Entwicklung des BRI-Lagers bzw. des BRI-Outputs. An dieser Stelle wird lediglich ein repräsentativer Faktor für die jeweilige Rohstoffintensität über alle Altersklassen benötigt, um die Werte des BRI-Outputs bzw. BRI-Lagers auf die Rohstoffebene umrechnen zu können.

Lagergebäude

Es wurden ebenfalls vereinfachte MFM in 9 Szenariokombinationen für Lagergebäude in der Projektregion erstellt. Dem zugrunde liegen die Fertigstellungsszenarien aus Kapitel 8.3.4 sowie die Gebäudeabgangsszenarien aus Kapitel 8.2.2. Die sich bis 2030 ergebenden Entwicklungen des BRI sind in dargestellt. Dabei sind die Teilszenarien für den Gebäudeabgang sind wiederum in den Zeilen und die Teilszenarien für Baufertigstellungen in den Spalten dargestellt, ebenfalls sind die Lager jeweils auf einer Sekundärachse mit anderer Skalierung dargestellt. Die ermittelten Zahlenwerte der Szenarien befinden sich in Anhang A.14.

Tabelle 37: Szenariokombinationen der BRI-Entwicklung von Lagergebäuden der Projektregion bis 2030



	1. Trend Projektregion	2. angepasst an D-Trend	3. Durchschnitt 2000-2013
2. Fertigstellung +0%			
1. Fertigstellung +1% (Trend)			
1. Trend Projektregion			
2. angepasst an D-Trend			
3. Durchschnitt 2000-2013			

Die Entwicklung der BRI-Lager in allen Szenariokombinationen ist in Abbildung 54 dargestellt. Eine Szenariokombination wird dabei wiederum mit der Nummer des Teilszenarios für den Gebäudeabgang und danach mit der Nummer des Teilszenarios für die Baufertigstellung benannt; die y-Achse wurde zur besseren Sichtbarkeit der einzelnen Graphen gekürzt.

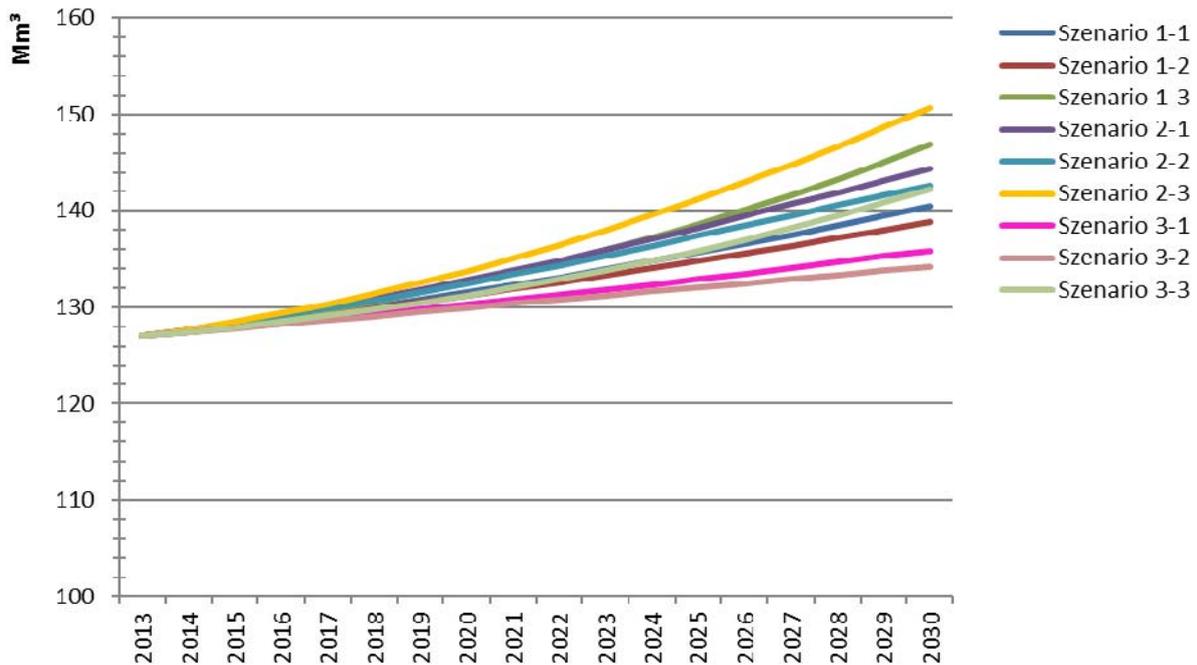


Abbildung 54: Entwicklung des BRI-Lagers von Lagergebäuden der Projektregion bis 2030 in den neun Szenariokombinationen.

Bei Lagergebäuden ist der jährliche Zuwachs an BRI in allen Kombinationen bis auf Szenario 3.2 wachsend, da die Baufertigstellungen steigen oder konstant bleiben und die Gebäudeabgänge geringer sind und ebenfalls sinken bzw. konstant bleiben. Bei Szenario 3.2 hingegen sind sowohl die Baufertigstellungen als auch die Gebäudeabgänge konstant, d.h. der jährliche Zuwachs ist in diesem Fall ebenfalls konstant, das BRI-Lager wächst linear.

Das nach diesen Szenariokombinationen im Jahr 2030 zu erwartende BRI-Lager von Lagergebäuden in der Projektregion liegt zwischen ca. 134 Mm³ (Szenario 3.2) und ca. 151 Mm³ (Szenario 2.3) gegenüber knapp 127 Mm³ im Basisjahr 2013. Dies stellt einen Zuwachs von zwischen 7 Mm³ und 24 Mm³ bzw. um ca. 5,5% bis ca. 18,9% dar, was in der gleichen Größenordnung mit dem zu erwartenden Zuwachs von Büro- und Verwaltungsgebäuden liegt.

Wie bei der vereinfachten Berechnungsvariante für Büro- und Verwaltungsgebäude entsprechen die Entwicklungen der Rohstofflager und Rohstoffoutputs vom Verlauf her der Entwicklung des BRI-Lagers bzw. des BRI-Outputs; d.h. können mit einem repräsentativen Faktor für die jeweilige Rohstoffintensität über alle Altersklassen aus diesen umgerechnet werden.

Fabrikgebäude

Für den Gebäudetyp Fabrik innerhalb der Projektregion wurde die BRI-Ebene des dynamischen Materialflussmodells bis 2030 mit einer Szenariokombination erstellt. Diese geht jeweils vom Trend im Basisjahr 2013 aus und nimmt eine jedes Jahr um 1% steigende Baufertigstellung an (siehe Kapitel 8.3.4) sowie einen konstanten Gebäudeabgang in der Höhe des Durchschnittswertes von 2000 bis 2013 (siehe Kapitel 8.2.2). Abbildung 55 zeigt die ermittelte Entwicklung des BRI. Die

Werte für das Lager sind aufgrund der unterschiedlichen Größenordnungen auf einer Sekundärachse dargestellt. Die konkreten Werte der Berechnung sind in Anhang A.16 gegeben.

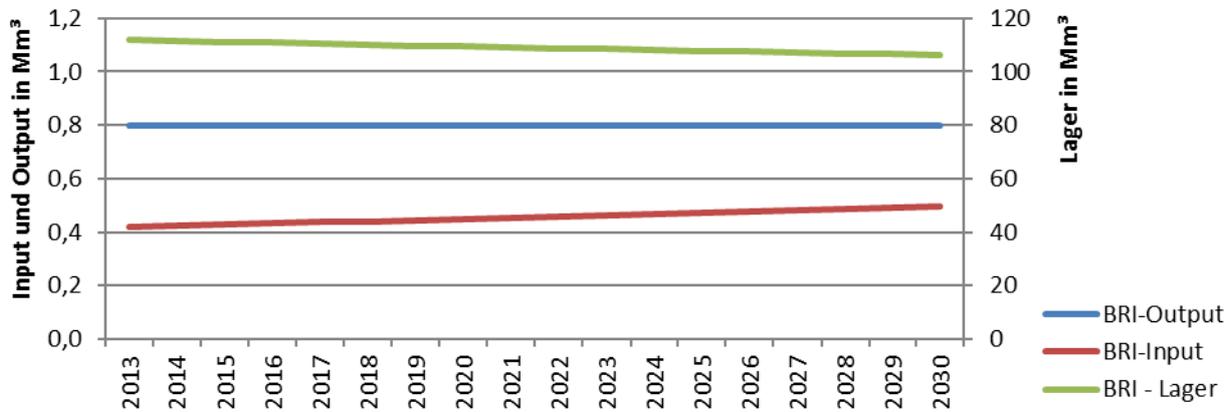


Abbildung 55: Szenario der BRI-Entwicklung von Fabrikgebäuden der Projektregion bis 2030.

Trotz des geringen Anstiegs der Baufertigstellungen ist der Gebäudeabgang in jedem Jahr deutlich höher. Dadurch sinkt der Gesamtbestand, d.h. das BRI-Lager geringfügig von ca. 112 Mm³ im Basisjahr 2013 auf etwa 106 Mm³ im Jahr 2030. Dies entspricht einem Rückgang von ca. 6 Mm³ bzw. um 5,4%.

Sonstige Nichtwohngebäude

Für alle NWG, welche nicht zu den Typen Büro/Verwaltung, Lager oder Fabrik gehören, wurde analog zu den Fabrikgebäuden eine Szenariokombination auf BRI-Ebene berechnet. Dabei wird ebenfalls ein konstanter Gebäudeabgang entsprechend dem Durchschnitt von 2000 bis 2013 verwendet, es wurde davon ausgegangen, dass die Baufertigstellungen ebenfalls konstant bleiben (siehe Kapitel 8.2.2 und 8.3.4). Es ergaben sich die in Anhang A.16 gegebenen Werte, welche in Abbildung 56 dargestellt sind.

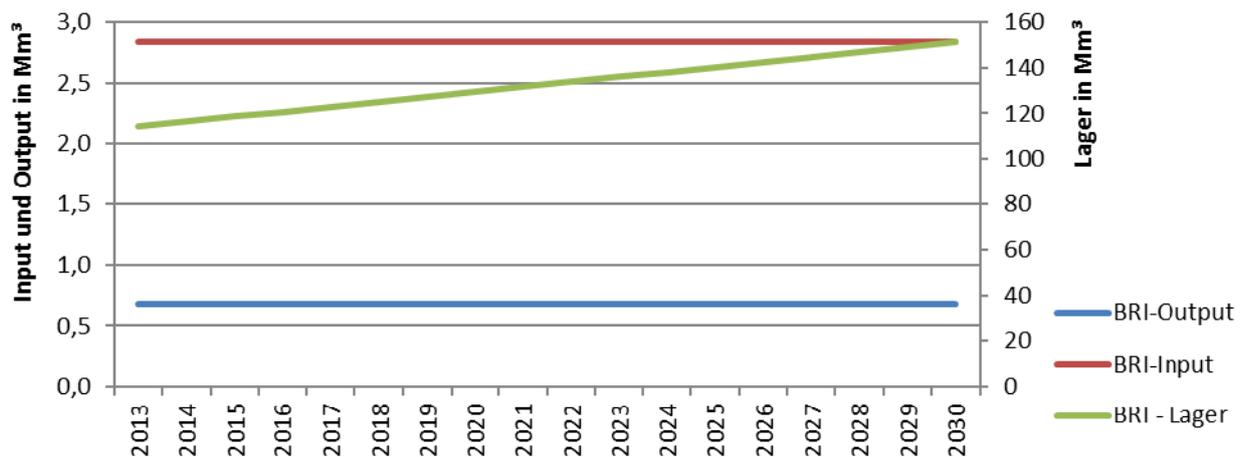


Abbildung 56: Szenario der BRI-Entwicklung aller sonstigen NWG der Projektregion bis 2030.

Aus dem konstanten BRI-Input und dem kleineren, ebenfalls konstanten BRI-Output ergibt sich ein gleichbleibender Zuwachs pro Jahr. Das Lager entwickelt sich in dieser Szenariokombination von ca. 114 Mm³ in 2013 auf ca. 151 Mm³ in 2030. Dies entspricht einem Zuwachs von 37 Mm³ bzw.

um 32,5%. Im Vergleich zu den betrachteten Gebäudetypen Büro/Verwaltung (7,9% bis 23,9% Zuwachs), Lager (5,5% bis 18,9%) und Fabriken (ca. 5,4%) erscheint dies sehr hoch.

Alle Nichtwohngebäude insgesamt

Für die Gesamtheit aller NWG wurde die BRI-Entwicklung im Trendszenario abgeschätzt, indem die Szenarien 1.1 von Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie von Lagergebäuden, welche jeweils den Trend für Gebäudefertigstellungen und Abgänge annehmen, sowie die Trendszenarios für Fabriken und alle sonstigen NWG aufaddiert wurden. Es ergibt sich die in Abbildung 57 gezeigte Entwicklung, die konkreten Zahlenwerte sind im Anhang A.17 verfügbar.

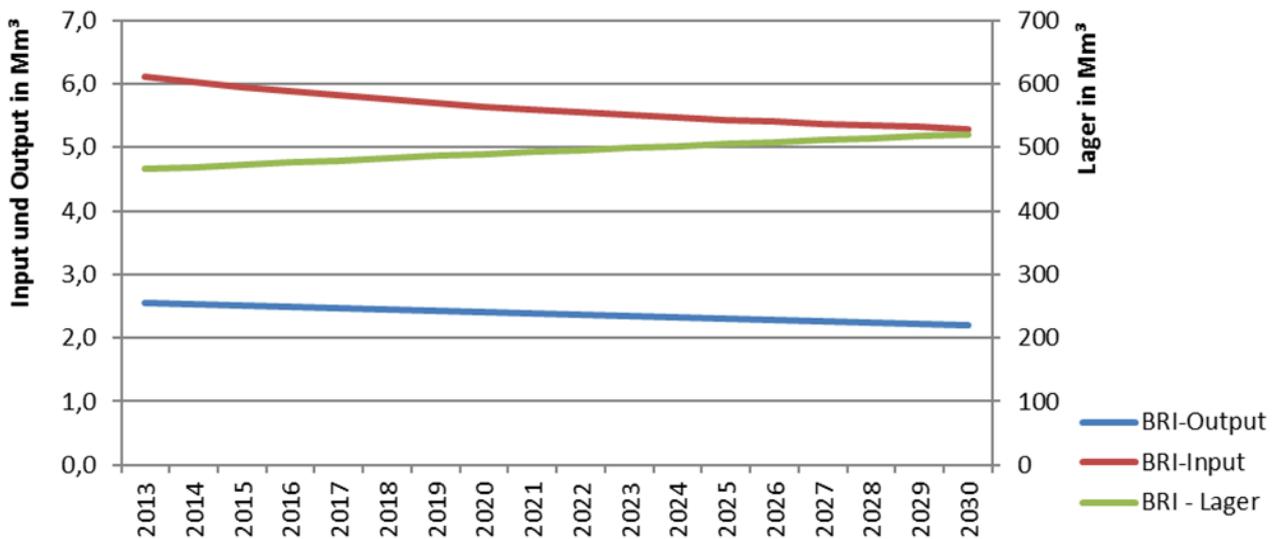


Abbildung 57: Trendszenario der BRI-Entwicklung aller NWG in der Projektregion bis 2030.

Es ist zu erkennen, dass im Trendszenario sowohl die Gebäudeabgänge als auch die Baufertigstellungen bis 2030 kontinuierlich sinken. Da die Fertigstellungen jedoch durchgängig mehr als doppelt so groß sind wie die Abgänge, steigt der BRI insgesamt von rund 466 Mm³ im Jahr 2013 auf 521 Mm³ im Jahr 2030. Dies entspricht einem Anstieg von 55 Mm³ bzw. 11,8%.

9. Brachflächen und Gewerbestandortentwicklungen

In der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung aus dem Jahr 2002 und ebenfalls in deren Fortschrittsbericht 2008 wurde durch die Politik festgelegt, die anhaltend hohe Flächeninanspruchnahme von Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland bundesweit bis zum Jahr 2020 auf 30 ha pro Tag zu reduzieren (Bundesregierung 2002; Nachhaltigkeitsstrategie 2008). Essenzieller Bestandteil dieser Strategie ist dabei die Wiedernutzung von Brachflächen sowie die gezielte Förderung der Innenentwicklung und Bestandserneuerung. „Flächenrecycling ist ökologisch notwendig, ökonomisch sinnvoll und sozial verantwortlich; es ist der zentrale Baustein für eine nachhaltige Siedlungsflächenpolitik“ (Nachhaltigkeitsstrategie 2008). Leerstände und Brachflächen rücken demnach zunehmend in den Fokus der Siedlungsentwicklung und es stellt sich regelmäßig die Frage nach Abbruch oder Umnutzung.

Innerhalb der Projektregion existiert eine erhebliche Anzahl an Gewerbebrachen, für die aus raum- und stadtplanerischen Gründen im nahen Zeithorizont neue Nutzungen gesucht werden. Die Liegenschaft des ehemaligen Möbel Erbes in Hanau Steinheim, die eine Fläche von etwa 3 ha umfasst, nahezu zehn Jahre lang leer stand und verwahrloste, während immer wieder neue Vorschläge zur Beseitigung des „Schandflecks“ verworfen wurden, ist ein Beispiel aus der Projektregion. Das Gebäude wurde während der PPRIG-Laufzeit im Jahr 2015 abgerissen und die Liegenschaft befindet sich nun in der Realisierung einer neuen Planung – eines großflächigen Einkaufszentrums, dem sogenannten „Rondo Steinheim“ (siehe Abbildung 58 rechts) (Retailconsult 2016).



Abbildung 58: Ehemaliges Möbel Erbes Gebäude in Hanau Steinheim vor und nach dem Abbruch (Fotos: Benjamin Schnitzer), sowie die neue Planung eines Einkaufszentrums auf diesem Gelände (www.rondo-steinheim.com/projektbeschreibung).

Ein weiteres veranschaulichendes Beispiel aus der Untersuchungsregion ist die ebenfalls etwa 3 ha große Industriebrache des ehemaligen MAN-Roland Werks in Offenbach, das nach Verlagerung der Produktion des Druckmaschinenherstellers im Jahr 2004 stillgelegt wurde (siehe Abbildung 59). Die Planung des Umnutzungsprozesses startete hier zwar bereits im Jahr 2005 mit der Aufnahme des Geländes in das Programm "Stadtumbau West", die ersten Baumaßnahmen begannen allerdings erst im Jahr 2013. Denkmalschutz, Altlasten und Investorenwechsel waren unter anderem der Grund für den langwierigen Prozess. Heute befindet sich in der denkmalgeschützten Montagehalle mit markantem Sheddach ein Nahversorgungszentrum und auf dem übrigen Gelände wurden nach Rückbau der alten Strukturen eine Wohnbebauung sowie Grün- und Freiflächen realisiert (BMUB 2014).



Abbildung 59: Leerstand der ehemaligen MAN-Roland Montagehalle in Offenbach vor der Umnutzung (Fotos: Christoph Diepes).

Die Entwicklung dieser Brachflächen und nicht mehr genutzten Gewerbestandorte ist eine wesentliche Aufgabe der Regional-/Kommunalplanung und stellt einen sehr komplexen, unter Einbindung von zahlreichen Akteuren ablaufenden Prozess dar. Solche Gewerbebrachen sind, wie auch die Beispiele zeigen, häufig relativ große Gebiete über 0,5 ha. Die Frage, ob es hier überwiegend zu Abbruch respektive Rückbau oder eher zu Umnutzungen kommt, ist in Bezug auf das Forschungsprojekt PRRIG besonders hinsichtlich der Einschätzung der Mobilisierbarkeit vorhandener Rohstoffpotenziale in der Region relevant. Während in Kapitel 8.2 auf Grundlage von Statistikanalysen zwar schon generelle Markteinschätzungen, Prognosen und Trendszenarien für den zukünftigen Bauabgang verschiedener Gebäudetypen in der Projektregion entwickelt wurden, soll an dieser Stelle der Fokus noch einmal verstärkt auf den eigentlichen (Entscheidungs-) Prozess der Brachflächen- und Gewerbestandortentwicklung sowie die wesentlichen Akteure gelegt werden. Die Berücksichtigung der potenziellen Rückgewinnung von Rohstoffen soll als zusätzlicher Aspekt in den Prozess integriert werden, da dieser bislang eher im Hintergrund stand, was ebenfalls anhand der Beispiele deutlich wird. So wurden in beiden Fällen zugängliche werthaltige Ressourcen wie bspw. Kupfer größtenteils in den Jahren der Nichtnutzung aus ihren Ummantelungen illegal entwendet. Auch die ersichtlichen metallischen Bestandteile regten nicht wesentlich dazu an, den Rückbau voranzutreiben. Die Langwierigkeit der meisten Entwicklungsprozesse führt weiterhin dazu, dass mit dem Leerfallen einer Immobilie eben nicht unmittelbar mit einer Materialrückgewinnung gerechnet werden kann.

Als Entwicklungsprozess eines vorhandenen Gewerbe- und Industriestandortes werden hier die Schritte von der Entscheidung über die Aufgabe der bestehenden Nutzung bis hin zur Verwirklichung einer neuen Nutzung verstanden, die zunächst kurz beschrieben werden sollen. Wesentliche Faktoren für unterschiedliche Nutzungskonzepte und insbesondere für die Entscheidung Abbruch oder Umnutzung werden dargelegt, ebenso wie die Interessen der maßgeblichen Akteure. Daraufhin wird herausgearbeitet, in welchen Schritten des Entwicklungsprozesses Möglichkeiten der Intervention zur Nutzung von Rohstoffpotenzialen bestehen und mit welcher Aussagetiefe hierfür Informationen zu Rohstoffinventaren vorliegen müssen. Letztlich werden strategische Ansätze zur Nutzung des Rohstoffinventars formuliert, bevor in den nachfolgenden Kapiteln 10 und 11 mit den Praxispartnern entwickelte Planungshilfen und Instrumente vorgestellt werden.

9.1. Wesentliche Schritte des Entwicklungsprozesses

Der Gebäudesektor der Nichtwohngebäude (NWG) und darunter insbesondere der Gewerbe- und Industriegebäude zeichnet sich im Vergleich zu Wohngebäuden durch deutlich kürzere „Umlaufzeiten“ bis zu einer Umnutzung, einem Teilabbruch oder dem vollständigen Abbruch aus, was sowohl durch die ökonomische Dynamik der zugehörigen Immobilienteilmärkte als auch durch die Anforderung der Anpassung an die technologische Entwicklung bedingt ist. Der Prozess einer (Brach-)Flächenentwicklung oder Umnutzung findet hier dementsprechend häufiger statt. Er lässt sich dabei in folgende Schritte unterteilen, die im weiteren Verlauf dieses Kapitels näher beschrieben werden:

- Aufgabe der bisherigen Nutzung
- Leerstand und Brachliegen (mit eventueller Zwischennutzung)
- Entscheidung über zulässige Nachnutzungen/ Nutzungsänderungen
- Städtebau-/Hochbauwettbewerb
- Investitionsentscheidung
- Schaffung von Planungsrecht
- Bodenordnung
- Bauliche Realisierung der neuen Nutzung

Dabei sind nicht in jedem Entwicklungsprozess alle Schritte erforderlich. Einige Schritte, z.B. Leerstand und die nachfolgend dargestellten Schritte, können auch zeitlich parallel verlaufen.

9.1.1. Aufgabe der bisherigen Nutzung

Die Entscheidung über die Aufgabe einer bisherigen Nutzung kann vielfältige Ursachen haben. Wirtschaftliche, strukturelle, politische, technische oder auch persönliche Gründe können dafür ausschlaggebend sein. Meist können diese jedoch nicht klar voneinander abgegrenzt werden und treten in Kombination auf. Der wirtschaftliche und technische Strukturwandel beispielsweise, der insbesondere neue gesellschaftliche Rahmenbedingungen in den räumlichen Schwerpunkten des wirtschaftlichen Handelns mit sich bringt und damit einhergehend vielerorts die Nachfrage nach Flächen verschiebt (Böhme et al. 2006), ist eine Ursache, die bereits in der Vergangenheit aber auch in Zukunft in nahezu allen Kategorien einwirkt.

Eine Nutzungsaufgabe aus wirtschaftlichen Gründen ist wohl die am häufigsten vertretene Variante. Entweder wird sie vom Eigentümer getroffen, weil sich die bisherige Nutzung als unwirtschaftlich herausstellt und nicht weitergeführt werden kann, oder sie ergibt sich durch die Insolvenz des Eigentümers ohne dass ein neuer Eigentümer gefunden wird, der die bisherige Nutzung fortführt. Ein weiterer Grund für die Aufgabe einer Nutzung aus wirtschaftlichen Gründen ist die Möglichkeit zur Entwicklung einer neuen finanziell höherwertigen Nutzung an gleicher Stelle. Können strukturelle oder technische Objektanforderungen des Nutzers an dem bisherigen Standort unter wirtschaftlichen Bedingungen nicht mehr erfüllt werden, kommt es häufig ebenfalls zu einer Nutzungsaufgabe in Form eines Standortwechsels. In diesem Falle ist oft die Obsoleszenz des Bauwerks Ursache für die Nutzungsaufgabe. Obsoleszenz kann dabei einerseits eine konkrete

Veralterung bedeuten, andererseits aber auch nur eine Unnützlichkeit der Immobilie ausdrücken (siehe auch Kap. 8.2 zum Thema technische und wirtschaftliche Lebensdauer) (Huff 2009).

Unter strukturellen Gesichtspunkten können weiterhin veränderte Standortanforderungen seitens des Immobiliennutzers im Verlauf des Projektlebenszyklus angeführt werden. Eine Verlagerung ausgereifter Produktion vom Zentrum in die Peripherie im Rahmen der Dezentralisierung, beschränkte Erweiterungsmöglichkeiten am bisherigen Standort, aber auch Rationalisierungen oder Verlagerungen aufgrund von Internationalisierung lassen die bisherigen Standorte leerfallen. Eine Sonderstellung bei der Entstehung von Brachen durch strukturelle Veränderungen nehmen Flächen von ehemals staatlichen Unternehmen ein. Im Zusammenhang mit der Privatisierung und Umstrukturierung der Bahn, Post und Telekom sind zahlreiche Grundstücke aufgegeben worden, die in Form von ungenutzten Verkehrs- und Infrastrukturf lächen in die Brachflächenstatistik eingeflossen sind (Böhme et al. 2006). Aufgrund einer marktorientierten Liegenschaftspolitik sowie von Rationalisierungs- und Konzentrationsmaßnahmen dieser Großbetriebe stehen Flächen auch oft in innerstädtischen Bereichen zur Disposition (Dransfeld et al. 2002).

Aus dem politischen Bereich ist weiterhin die gewandelte Militärstrategie seit der Wiedervereinigung Deutschlands und die damit verbundene Reduzierung von Streitkräften als ein relevanter Faktor der Brachflächenerzeugung zu nennen (Dransfeld et al. 2002). Nicht nur die Aufgabe von Standorten der Bundeswehr, auch der Abzug von alliierten Streitkräften ging mit einer erheblichen Freigabe von militärischen Liegenschaften einher. Es handelt sich dabei zwar um eine Kategorie, die keine wesentlichen Zunahmen mehr verzeichnen wird, dennoch wird mit den bisherigen Leerständen und Brachflächen militärischer Vornutzung noch langfristig umzugehen sein.

Zu all den bisher genannten Gründen für eine Nutzungsaufgabe können vereinzelt auch persönliche oder subjektive Entscheidungskriterien hinzukommen. Modische oder stilistische Aspekte des bisherigen Standorts oder persönliche Lebensumstände, wie die Einstellung eines Familienbetriebs aufgrund von Todesfällen oder Nachwuchsmangel, seien hier nur als Beispiele genannt.

Klassifizierung:

- Aufgabe der Nutzung durch bisherigen Eigentümer mit gesicherter (höherwertiger) Nachnutzung
- Aufgabe der Nutzung durch bisherigen Eigentümer ohne absehbare Nachnutzung

9.1.2. Leerstand und Brachliegen

Ein Leerstand der vorhandenen baulichen Anlagen und der Freiflächen tritt immer dann ein, wenn sich dem Zeitpunkt der Aufgabe der bisherigen Nutzung nicht unmittelbar eine Realisierung einer neuen Nutzung anschließt. Ein kurzfristiger Leerstand ist für einen funktionierenden Immobilienmarkt als Fluktuations- und Mobilitätsreserve in der Regel unerlässlich und tritt nur in seltenen Fällen nicht ein. Der Zeitpunkt der Realisierung einer neuen Nutzung kann sich trotz Vermarktungs- und Nachnutzungsbestrebungen aufgrund verschiedener Umstände jedoch wesentlich verzögern, sodass längerfristige, strukturelle Leerstände und Brachflächen entstehen.

Gerade die allgemeinen Gegebenheiten wie beispielsweise die Bausubstanz oder die Standortfaktoren der leerfallenden, oftmals veralteten Gebäude sind wohl die ausschlaggebendsten Gründe, die einen strukturellen oder dauerhaften Leerstand bedingen. So hängt die Marktgängigkeit bei diesen Immobilien und Objekten häufig davon ab, welche Möglichkeiten zur Anpassung an die heutige Nachfrage und die damit verbundenen Standards hinsichtlich Raumaufteilung, Energieeffizienz, technischer Ausstattung etc. existieren und mit welchem Aufwand diese Anpassungen verbunden sind. Ein hoher Standard gerade im Bereich der Energie lässt sich zumeist mit Neubauten wesentlich leichter realisieren, da beispielsweise der gegebenenfalls vorhandene Denkmalschutz der Altimmobilien bei Wärmedämmungen an Fassaden in der Regel nur Kompromisslösungen zulässt (vgl. Voigtländer 2011; Strack 2010).

Die im Fall von Industrieanlagen eventuell notwendige Dekontaminierung und Altlastensanierung der Gebäude und Grundstücke, die Beachtung vorhandener Planungsvorgaben¹⁵, Brandschutzauflagen oder teilweise allein die Größe der Areale in Kombination mit ungeklärten Eigentumsverhältnissen oder Interessenskonflikten führt weiterhin meist zu wesentlich längeren Entwicklungszeiträumen bei Um- bzw. Wiedernutzungsprojekten, was Investoren oftmals abschreckt (vgl. Strack 2010; Oswald et al. 2013).

Auch das privatwirtschaftliche Kalkül von Grundstückseigentümern kann zu Schwierigkeiten bei der Wiedernutzung von Flächen führen. Einerseits können durch Spekulationen auf eine Wertsteigerung die Flächen langfristig ungenutzt bleiben und andererseits können bilanziell nur schwer zu verkraftende Wertberichtigungen eine Nutzung verhindern (Westermann 2006).

Während der kompletten Zeit eines Leerstands müssen die baulichen Anlagen und Freiflächen jedoch durch den Eigentümer vor Vandalismus und Diebstahl geschützt werden sowie der Verkehrssicherungspflicht entsprochen werden, was teilweise mit erheblichen Unterhaltungsaufwendungen verbunden ist. Da in Deutschland bislang nur in wenigen Fällen eine Rückbauverpflichtung insbesondere bei Objekten im Außenbereich (§ 35 Abs. 5 Satz 2 BauGB) besteht, bleiben nicht nachfragegerechte Immobilien dennoch oftmals längerfristig ungenutzt stehen und fallen brach.

Lässt sich zum Zeitpunkt der Aufgabe der bisherigen Nutzung eindeutig abschätzen, dass die aufstehenden baulichen Anlagen oder Teile davon für eine nachfolgende Nutzung nicht mehr benötigt werden, hängt ein Abbruch der baulichen Anlagen zur Reduzierung der vorgenannten Unterhaltungsaufwendungen insbesondere von der finanziellen Leistungsfähigkeit des bisherigen Eigentümers ab. Werden die baulichen Anlagen vom bisherigen Eigentümer oder der Gemeinde jedoch schon vor einer Weitergabe an einen Investor abgebrochen, verfügt dieser über eine höhere Sicherheit bezüglich der Zulässigkeit (entgegenstehen könnte beispielsweise der Denkmalschutz) und der Kosten des Abbruchs.

Lässt sich zum Zeitpunkt der Aufgabe der bisherigen Nutzung noch nicht abschließend abschätzen, ob die aufstehenden baulichen Anlagen oder Teile davon für eine nachfolgende Nutzung erhalten werden sollen (wirtschaftlicher Vorteil der Nachnutzung) oder müssen (Denkmalschutz),

¹⁵ (insofern Entscheidungen über zulässige Nachnutzungen schon getroffen wurden, speziell notwendige Genehmigungen der Wasser- oder Naturschutzbehörde)

können die vorhandenen baulichen Anlagen und Freiflächen grundsätzlich auch für Zwischennutzungen zur Verfügung gestellt werden (z.B. Künstlerateliers o.Ä.). So können zum einen Einnahmen generiert werden, die die finanziellen Aufwendungen der Unterhaltung der baulichen Anlagen und Freiflächen zumindest teilweise decken, zum anderen kann Vandalismus und Diebstahl entgegengewirkt werden. Die Dauer einer Zwischennutzung kann dabei stark variieren, angefangen von einigen Wochen bis hin zu Jahrzehnten. Ist eine solche Zwischennutzung wegen fehlender Nachfrage nicht möglich oder ist das Risiko zu hoch, dass eine spätere Zurücknahme der Zwischennutzung auf Widerstand z.B. in der Bevölkerung stößt, könnte ein Rückbau der baulichen Anlagen in einen Rohbauzustand erfolgen, wenn die bisherige technische Gebäudeausrüstung nicht für die neue Nutzung weiterverwendet werden kann. Dies ist jedoch wiederum abhängig von der finanziellen Situation des bisherigen Eigentümers und ob für ihn daraus ein wirtschaftlicher Mehrwert entsteht.

Klassifizierung:

- Kein Leerstand
- Sofortiger Abbruch der baulichen Anlagen
- Leerstand ohne Abbruch ohne Zwischennutzung
- Leerstand ohne Abbruch mit Zwischennutzung

9.1.3. Nachnutzungspotenzial von Leerständen und Brachflächen

Das Nachnutzungs- oder auch Umnutzungspotenzial eines aufgegebenen gewerblichen Standorts hängt von mehreren Faktoren ab. Einerseits spielt natürlich die funktionale, gestalterische und konstruktive Qualität der einzelnen Gebäude eine maßgebliche Rolle. Je nach Entstehungszeitraum können sich dabei baukonstruktive, politische und ökonomische Besonderheiten ergeben haben. Wirtschaftsaufschwung, Weltkriege, Ressourcenknappheit, Wiederaufbau, Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnungen sind nur einige Stichworte, die auf die eine oder andere Weise mit der Bauqualität in Zusammenhang stehen (vgl. Strack 2010; Huhn 2013). Auch die bisherige Instandhaltungsstrategie und die Dauer des Leerstands sind dabei maßgebend. Eine Bestandsanalyse bzw. Zustandsbewertung zur Entscheidungsfindung, wie mit dieser Immobilie umgegangen werden kann (Weiter-/ Umnutzung oder Abbruch und Neubau), ist demnach unerlässlich. Aus dieser Zustandsanalyse sind die notwendigen oder möglichen Konsequenzen zu erfassen, die dann in weiteren Schritten mit Kosten zu hinterlegen sind. Ist eine Rückführung eines Bauteils in einen funktionsfähigen Zustand nicht möglich oder zu teuer, sollte das Bauteil rückgebaut, ersetzt oder erneuert werden. Ist die Summe der zu erneuernden Bauteile so groß, dass sich eine Sanierung nicht lohnt oder eine Sanierung bzw. Reparatur nicht den gewünschten Zustand erreicht, sollte das gesamte Objekt neu erstellt werden (Bogusch und Brandhorst 2013). Erhebliche Bauschäden und Schadstoffe in den zu entwickelnden baulichen Anlagen führen demnach in der Regel zum Abbruch der altindustriellen Strukturen.

Wirtschaftlich betrachtet wird ein Abbruch und Neubau auch immer dann die erste Wahl sein, wenn dadurch eine höhere Rendite erwirtschaftet werden kann und keine vertraglichen oder

normativen Belange, wie etwa der Denkmalschutz, entgegenstehen (vgl. Kap. 8.2 zur wirtschaftlichen Lebensdauer). Gerade in städtischen Lagen kann der Wert eines Grundstücks je nach Größe und Bebaubarkeit deutlich über dem Wert des Althausbestands liegen. In eher ländlich geprägten Regionen hingegen ist der Abbruch meist kaum eine wirtschaftliche Alternative, auch wenn die Altbausubstanz in keinem guten Zustand ist. Die Entscheidung Abbruch oder Sanierung ist daher in erster Linie von der Situation des einzelnen Objektes abhängig (Bogusch und Brandhorst 2013).

Was eine Umnutzung betrifft, so eignet sich eine Immobilie je nach früherer Nutzung bzw. Gebäudetyp mehr oder weniger gut für eine Nachnutzung anderer Art. (Glatte 2014) bewertet hierzu verschiedene Immobilien nach ihrer Standardisier- und Drittverwendbarkeit (siehe Abbildung 60).

Immobilienart	Klassifikation	Standardisierbarkeit	Externalisierung Bewirtschaftung	Drittverwendbarkeit
Freiflächen & Verkehrsflächen	einfache produktionsferne Immobilien	hoch	einfach (nicht kerngeschäfts-kritisch)	hoch
Verwaltungsgebäude				
Handelsimmobilien				
Lagerhäuser				
Sozialgebäude	komplexe produktionsferne Immobilien	mittel	eingeschränkt (bedingt kerngeschäfts-kritisch)	eingeschränkt
Laborgebäude				
Bauten für Pilotanlagen				
Werkshallen	Produktionsnahe und Produktionsimmobilien	hoch	schwer (kerngeschäfts-kritisch)	gering
Gefahrgutlager	Spezialimmobilien	gering		
Bauten für Ver- und Entsorgung				
Komplexe Produktion				

Abbildung 60: Marktfähigkeit betrieblicher Immobilien (Glatte 2014).

Wenn eine Immobilie demnach nur für die Bedürfnisse einer speziellen Nutzung konzipiert wurde und in ihre Architektur danach zugeschnitten ist, bedeutet eine Umnutzung häufig einen unwirtschaftlich großen Aufwand, weshalb in diesem Fall der Gebäudeabbruch und Neubau die bevorzugte Variante ist. Die Standortfaktoren der nach- bzw. umzunutzenden Immobilie spielen ebenfalls eine wesentliche Rolle bei der Entscheidungsfindung. So wird ein Verwaltungsbau innerhalb eines Produktionsstandortes in der Regel nicht in eine Wohnnutzung überführt werden. Diese Entscheidung ist jedoch weiterhin sehr eng mit dem Bauplanungsrecht und der sich daraus ergebenden zulässigen Nutzung verknüpft (vgl. Kap. 9.1.4), wodurch eine Umnutzung zum Teil gar nicht möglich, ein Abbruch allerdings auch nicht rentabel ist.

In der Praxis hat sich zur Kategorisierung von Brach- und Entwicklungsflächen ein 3-Stufenmodell bzw. ABC-Modell etabliert. Dieses Denkmodell wurde von dem europäischen Brachflächen-Forschungsverbund CABERNET (Concerted Action on Brownfield and Economic Regeneration

Network) entwickelt und basiert auf einem finanziellen Ansatz, bei dem die anfallenden Kosten für die Revitalisierung einer Brachfläche, also die Entwicklungskosten, in Relation zu den Immobilienpreisen beziehungsweise dem Bodenwert nach der Sanierung gebracht werden (Ferber et al. 2006). Dem wirtschaftlichen Kalkül von privaten Investoren folgend ist „das Verhältnis von Grundstückswert und Aufbereitungskosten maßgebend für die Wiedernutzung einer Brachfläche“ (Preuß 2007). Um eine Stufe erweitert zu einem ABCD-Modell wurde dieser Ansatz durch (Butzin et al. 2006), wie in Abbildung 61 dargestellt.

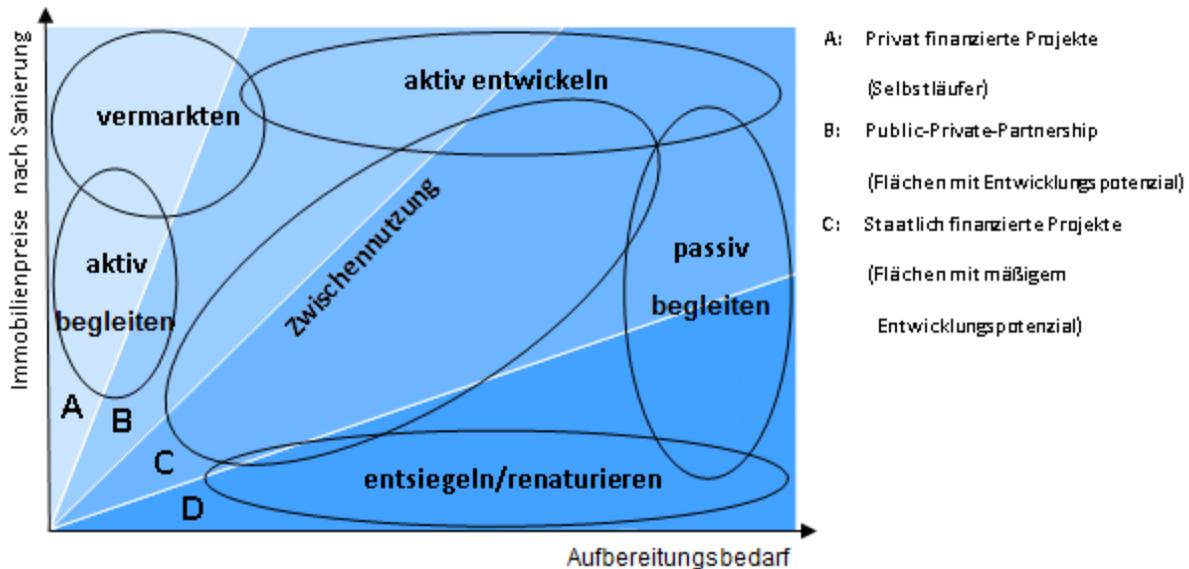


Abbildung 61: ABCD-Modell zur Typisierung von Brachflächen mit Aktivierungsstrategien (nach Ponitka et al. 2009b, eigene Änderung).

An der Einstufung einer Fläche in eine der drei bzw. vier Kategorien orientiert sich auch die jeweilige Aktivierungsstrategie. Bei Flächen des Typ A handelt es sich um marktgängige Flächen, bei denen sich die Revitalisierungskosten vollständig durch die anschließend erzielbaren Immobilienpreise decken lassen oder gar deutlich über den Kosten liegen (Schüler 2008). Vorhaben auf diesen Flächen, wie beispielsweise die Errichtung von attraktiven Wohnflächen, werden ausnahmslos privat finanziert. In die Kategorie des Typ B fallen Flächen, die teilweise im Rahmen von Public-Private-Partnership-Maßnahmen durchgeführt werden. Diese Art der Kooperationsform empfiehlt sich aufgrund möglicher Risiken, die eine rentable Nutzung gefährden könnten (Ferber et al. 2010). Die Kategorie C umfasst Flächen, die ohne staatliche Unterstützung nicht realisiert werden können, da die Kosten der Aktivierung deutlich über dem nachfolgend erzielbaren Ertrag liegen. Diese Flächen können unter Zuhilfenahme öffentlicher Gelder aufbereitet werden, sodass eine Wiedernutzung wahrscheinlicher wird. Unter Berücksichtigung der angespannten Finanzlage können staatliche Hilfen allerdings auch nur auf einem kleinen Teil der Brachflächen Anwendung finden. Unter der Kategorie D werden alle Flächen zusammengefasst, bei denen aufgrund hoher Sanierungskosten auch langfristig kaum Entwicklungspotenzial besteht (Schüler 2008). Brachflächen dieses Typs treten gehäuft in schrumpfenden Regionen auf und eignen sich vor allem für Renaturierungen. Beim Renaturieren besteht allerdings das Problem, dass bei Umwidmungen Buchwertverluste zu verzeichnen sind und vorher trotzdem Aufwand betrieben werden muss, um

die Fläche in einen entsprechenden Zustand zu bringen. Diese Option wird bei Eigentümern nur schwer durchzusetzen sein, weshalb eine Renaturierung nur in besonderen Fällen durchgeführt werden kann. Mögliche Erträge durch das Recycling von Rohstoffen schaffen jedoch Anreize zur Entlassung einer solchen Fläche aus dem Nutzungskreislauf.

9.1.4. Entscheidung über zulässige Nachnutzungen

Da der Gemeinde die Entscheidung über das gültige Bauplanungsrecht obliegt, bedarf es immer dann einer solchen gemeindlichen Entscheidung, wenn die zukünftige Nutzung nach dem bisher gültigen Planungsrecht in Form von Bebauungsplänen (§ 30 BauGB) oder im Zusammenhang bebauter Ortsteile (§ 34 BauGB) nicht zulässig wäre. Lediglich in dem eher seltenen Fall, dass die zukünftige Nutzung den Festsetzungen eines rechtswirksamen Bebauungsplans entspricht oder sich in die Eigenart der näheren Umgebung einfügt, entfällt die Einbindung der Gemeinde in den Entwicklungsprozess, es sei denn diese nutzt ihre Planungshoheit aus eigenem Antrieb, um für eine bisher nicht zulässige Nutzung neues Planungsrecht zu schaffen.

Für den Regelfall der Schaffung neuen Planungsrechts ergeben sich folgende unterschiedliche Vorgehensweisen in Abhängigkeit von dem Zeitpunkt in dem sich die neue Nutzung konkretisiert. Stehen ein Investor und dessen Nutzungsvorstellungen bereits vor der Aufgabe der bisherigen Nutzung fest, kann die Gemeinde anhand dieser Nutzungsvorstellungen entscheiden, ob diese zu den von ihr verfolgten städtebaulichen Zielen am Standort passen und sie daher bereit ist, das hierzu erforderliche Bauplanungsrecht zu schaffen. Gibt es zum Zeitpunkt der Aufgabe der bisherigen Nutzung noch keinen Investor, obliegt es der Gemeinde mögliche Szenarien für eine neue Nutzung zu formulieren. Diese sollen möglichen Investoren als Grundlage für ihre Investitionsentscheidung dienen. Hierzu ist es nicht erforderlich, dass bereits ein Bebauungsplan mit engen Grenzen bezüglich der dort getroffenen Festsetzungen aufgestellt wird (Angebotsbebauungsplan), sondern es bedarf der Formulierung von Rahmenbedingungen z.B. hinsichtlich der Art der baulichen Nutzung, der Dichte der Bebauung und der zulässigen Höhe von Gebäuden sowie von Restriktionen, wie z.B. Denkmalschutzaufgaben. Dies ermöglicht einerseits, geeignete Investoren zu werben, andererseits kann entschieden werden, ob die bisher vorhandenen baulichen Anlagen voraussichtlich weitergenutzt oder abgebrochen werden können (siehe Kap. 9.1.2).

Die Aufstellung eines neuen Bebauungsplans als klassischer Bebauungsplan nach § 30 BauGB, als Bebauungsplan der Innenentwicklung nach § 13a BauGB oder als vorhabenbezogener Bebauungsplan nach § 12 BauGB kann dann nach einer grundsätzlichen Investitionsentscheidung eines interessierten Investors erfolgen.

Klassifizierung:

- Zulässigkeit der neuen Nutzung nach bestehendem Planungsrecht gegeben
- Neues Planungsrecht für bekannte Investition erforderlich
- Neues Planungsrecht für bisher unbekannte Investition erforderlich

9.1.5. Städtebau-/Hochbauwettbewerb

Wenn die Gemeinde den zu entwickelnden Standort als ortsbildprägend einstuft, kann sie selbst einen Städtebau- und/oder Hochbauwettbewerb durchführen oder vom Investor fordern. Bei einem städtebaulichen Wettbewerb werden alternative Planungsvorschläge für die bauliche und damit zusammenhängende Nutzung für einen fachlich zusammenhängenden Bereich entwickelt. Ein Hochbauwettbewerb wird für die optimale Gestaltung eines Bauwerks unter Berücksichtigung von Raumprogrammen und durch das Bauwerk zu übernehmende Funktionalitäten bestimmt. Städtebauwettbewerbe oder Hochbauwettbewerbe führen zu einer zeitlichen Verlängerung des Entwicklungsprozesses. Gegebenenfalls wird erst aufgrund eines solchen Wettbewerbs entschieden, welche baulichen Anlagen wie weitergenutzt und welche abgebrochen werden.

Klassifizierung:

- Städtebauwettbewerb/Hochbauwettbewerb nicht gefordert
- Städtebauwettbewerb/Hochbauwettbewerb gefordert für von vorhandenen baulichen Anlagen freigeräumte Fläche
- Städtebauwettbewerb/Hochbauwettbewerb gefordert für von vorhandenen baulichen Anlagen nicht freigeräumte Fläche

9.1.6. Investitionsentscheidung

Die Entscheidung eines Investors über eine bauliche Investition erfolgt grundsätzlich in mehreren Stufen in Abhängigkeit von der jeweiligen Investitionshöhe. Dabei kommt der rechtlichen Sicherheit der Verwirklichung der Investition und der Sicherheit der Erwirtschaftung eines Gewinns besondere Bedeutung zu. Die rechtliche Sicherheit der Verwirklichung einer Investition hängt maßgeblich von der bauplanungsrechtlichen Situation ab, d.h. dem Vorhandensein oder der Erwartung des für das Bauvorhaben erforderlichen Planungsrechts (Kap. 9.1.7). Die Sicherheit der Erwirtschaftung eines Gewinns hängt von der zukünftigen Art der Nutzung in Form einer Eigennutzung bzw. der Vermietung oder Veräußerung des Bauvorhabens ab. Während sich bei einer Eigennutzung der Gewinn aus der Deckung des bestehenden eigenen Bedarfs ergibt, muss bei einer Vermietung oder Veräußerung des Bauvorhabens entweder eine solche zum Zeitpunkt der abschließenden Investitionsentscheidung schon vertraglich gesichert oder zumindest mit hoher Wahrscheinlichkeit aufgrund eines gegebenen Bedarfs zu erwarten sein. Die Bereitschaft eines Investors in die Erlangung von Planungsrecht (z.B. mittels städtebaulichen Vertrages (§ 11 BauGB) oder Durchführungsvertrages (§ 12 BauGB)) und in die Akquise von Mietern oder Käufern zu investieren, wächst mit der Steigerung der Planungssicherheit. Finanzielle Aufwendungen vor der abschließenden Investitionsentscheidung wird er nur in dem Umfang tätigen, wie er dadurch wirtschaftliche Vorteile erfährt. Dazu gehört auch der Abbruch baulicher Anlagen.

Klassifizierung:

- Keine besonderen Aufwendungen für Abbruch von baulichen Anlagen vor Investitionsentscheidung
- Wirtschaftlicher Vorteil durch der Investitionsentscheidung vorlaufende Aufwendungen

9.1.7. Schaffung von Planungsrecht

Soll durch die Gemeinde für ein spezifisches Bauvorhaben eines Investors (Kap. 9.1.6) neues Planungsrecht geschaffen werden und entspricht dieses Vorhaben den städtebaulichen Zielen der Gemeinde (Kap. 9.1.4), wird die Gemeinde erst dann ein Bebauungsplanaufstellungsverfahren zum Abschluss bringen, wenn eine entsprechende Sicherheit bezüglich der Realisierung des Bauvorhabens durch den Investor gegeben ist. Diese Forderung wird von der Gemeinde umso intensiver erhoben werden, je geringer der Kreis möglicher anderer Investoren ist, die das spezielle Bauvorhaben ebenfalls realisieren könnten, wenn der aktuelle Investor ausfällt. Andernfalls wären die Aufwendungen der Gemeinde umsonst.

Dementsprechend wird eine Gemeinde von einem Investor, der ein sehr spezifisches Bauvorhaben verwirklichen will, regelmäßig einen Vorhaben- und Erschließungsplan mit einem entsprechenden Durchführungsvertrag nach § 12 BauGB fordern, da sie den darauf aufbauenden vorhabenbezogenen Bebauungsplan im Falle der Nichtverwirklichung des Bauvorhabens entschädigungslos aufheben kann. Bei allgemeineren Vorhaben kann die Gemeinde auch auf einen klassischen Bebauungsplan ergänzt um einen städtebaulichen Vertrag zurückgreifen. Der mit der BauGB-Novelle 2007 eingeführte Bebauungsplan der Innenentwicklung (§ 13a BauGB) dient insbesondere der Beschleunigung des klassischen Aufstellungsverfahrens bei Wiedernutzung von Brachflächen, die sich im innerstädtischen Bereich befinden.

Klassifizierung:

- Klassischer Bebauungsplan mit städtebaulichem Vertrag
- Bebauungsplan der Innenentwicklung mit städtebaulichem Vertrag
- Vorhabenbezogener Bebauungsplan

9.1.8. Bodenordnung

Bodenordnungsbedarf ergibt sich immer dann, wenn nicht nur Grundstücke eines Eigentümers in eine Baulandentwicklung einbezogen werden müssen. Ein solcher Bedarf kann die Entwicklung eines Baugebietes verzögern, wenn dieser nicht frühzeitig identifiziert und im Entwicklungsprozess berücksichtigt wird.

Soll das Bauvorhaben eines Investors auf Grundstücken verwirklicht werden, die unterschiedlichen Eigentümern gehören, obliegt es in der Regel dem Investor, die für das Vorhaben benötigten Flächen von den bisherigen Immobilieneigentümern mittels eines Kaufvertrages zu erwerben. Dies ist Voraussetzung für die Aufstellung eines vorhabenbezogenen Bebauungsplans (§ 12 BauGB). Im Bereich des Vorhaben- und Erschließungsplans ist im Einzelfall die Enteignung zulässig, um Flächen für öffentliche Zwecke nach § 9 BauGB bereitzustellen.

Sollen mehrere Bauvorhaben unterschiedlicher Investoren auf Grundstücken unterschiedlicher Eigentümer verwirklicht werden, kann ein hierdurch entstehender Bodenordnungsbedarf auch mittels einer Umlegung nach §§ 45 ff BauGB oder einer vereinfachten Umlegung nach §§ 80 ff BauGB verwirklicht werden, wenn die Zulässigkeitsvoraussetzungen des jeweiligen Verfahrens

gegeben sind und die Grundstückseigentümer sich nicht auf eine privatrechtliche Lösung verständigen.

Klassifizierung:

- Kein Bodenordnungsbedarf besteht
- Bodenordnungsbedarf besteht nur durch Bereitstellung von Flächen für öffentliche Zwecke
- Umfassende Bodenordnung ist erforderlich

9.1.9. Bauliche Realisierung der neuen Nutzung

Die bauliche Realisierung der neuen Nutzung obliegt in der Regel dem Investor. Wird zwischen Gemeinde und Investor im Zuge der Aufstellung eines neuen Bebauungsplans ein städtebaulicher Vertrag (§ 11 BauGB) abgeschlossen, enthält dieser regelmäßig eine Bauverpflichtung mit der Benennung von Fertigstellungsterminen. Bei einem Durchführungsvertrag im Kontext eines vorhabenbezogenen Bebauungsplans ist eine solche Bauverpflichtung obligatorisch.

Obliegt dem Investor auch der Abbruch vorhandener baulicher Anlagen, kann der städtebauliche Vertrag bzw. der Durchführungsvertrag dazu genutzt werden, zusätzliche Anforderungen im Kontext der Nutzung von Rohstoffpotenzialen gegenüber dem Investor festzulegen. Hierzu zählen beispielsweise besondere Aufwendungen zur Trennung von Materialien zwecks erleichtertem Recycling. Voraussetzung ist die Einhaltung der Grundsätze von städtebaulichen Verträgen (Angemessenheit, Kausalität, Koppelungsverbot).

Klassifizierung:

- Städtebaulicher Vertrag/Durchführungsvertrag enthält keine Regelungen zum Recycling von Materialien
- Städtebaulicher Vertrag/Durchführungsvertrag enthält Regelungen zum Recycling von Materialien

9.2. Wesentliche Akteure und deren Interessen

Maßgebliche Akteure eines Baulandentwicklungsprozesses sind die Gemeinde, die bisherigen Eigentümer sowie der Investor bzw. der zukünftige Nutzer der zu entwickelnden Grundstücke. Weitere Akteure, die den Fortgang eines Entwicklungsprozesses beeinflussen können, sind die Regionalplanungsbehörde und die Bürger einer Gemeinde, insbesondere Nachbarn des geplanten Bauvorhabens. Akteure der Abfall- und Recyclingindustrie kommen insbesondere beim Abbruch von Anlagen sowie der insgesamt angestrebten Integration der Rückgewinnung von Rohstoffen hinzu. Einfluss durch Politik und Medien ist in diesem Zusammenhang ebenfalls möglich.

Die Interessen der verschiedenen Akteure sind während des betrachteten Prozesses der Brachflächen- und Gewerbestandortentwicklung teilweise gegenläufig.

9.2.1. Gemeinde

Die Gemeinde ist daran interessiert, dass brach gefallene Flächen oder Flächen, deren derzeitige Nutzung aufgegeben werden soll, schnellstmöglich wieder einer den städtebaulichen Zielen entsprechenden Nutzung zugeführt werden. Dabei soll der gemeindliche Haushalt in möglichst geringem Umfang finanziell belastet werden. Dementsprechend wird die Gemeinde versuchen, die ihr entstehenden Entwicklungskosten (z.B. für die Aufstellung des Bebauungsplans) dem bisherigen Eigentümer oder einem neuen Investor über einen städtebaulichen Vertrag bzw. einen Durchführungsvertrag zu übertragen. Allerdings wird dies nur dann möglich sein, wenn die planungsbedingten Bodenwertsteigerungen für den Grundstückseigentümer bzw. Investor so hoch ausfallen, dass nicht nur die von ihm zu tragenden Kosten gedeckt werden, sondern ihm auch ein gewisser Gewinn verbleibt. Daher bestehen bei geringen planungsbedingten Bodenwertsteigerungen weniger Möglichkeiten, durch städtebauliche Verträge vom Eigentümer zusätzliche Leistungen zu fordern wie z.B. Maßnahmen zur Nutzung von Rohstoffpotenzialen.

Die Gemeinde kann auch, sofern sie eigene finanzielle Mittel bereitstellen kann und will, die Umsetzung von Maßnahmen zur Nutzung von Rohstoffpotenzialen fördern. Dies kann durch Mit-erledigung im laufenden Entwicklungsprozess erfolgen, indem die Gemeinde die zu entwickelnden Flächen erwirbt und die nicht mehr nutzbaren baulichen Anlagen frühzeitig beseitigt, um damit eine kurzfristige Nachnutzung durch einen Investor zu ermöglichen. Hierdurch kann sie die in den baulichen Anlagen enthaltenen Rohstoffpotenziale frühzeitig dem Stoffkreislauf zuführen und gleichzeitig einem Diebstahl der Rohstoffe aus einem leerstehenden Gebäude vorbeugen. Maßgebliches Kriterium für eine solche Entscheidung ist, in wie weit eine zukünftige (werthaltige) Vermarktung der Flächen möglich sein wird, sowie die grundlegende Kenntnis oder zumindest Abschätzbarkeit des enthaltenen Rohstoffpotenzials. Alternativ kann die Gemeinde dem bisherigen Eigentümer oder dem Investor finanzielle Förderung zukommen lassen, um nicht kostengedeckte Mehraufwendungen zur Trennung von Materialien zwecks erleichtertem Recycling zu finanzieren.

9.2.2. Eigentümer der bisherigen Grundstücke

Das Spektrum der Eigentümer reicht von kleinen privaten Flächeneigentümern über Unternehmen mit nicht mehr betriebsnotwendigen Grundstücken, Banken, Gemeinden bis hin zu den institutionellen "Großeigentümern" einschließlich des Bundes. Die spezifischen Rahmenbedingungen und Hindernisse für die Entwicklung der Brachflächen variieren zwischen diesen Gruppen stark (Ferber 2006). Dennoch sind alle, soweit sie nicht selbst die Investoren sind, in der Regel an einer Vermarktung ihres Grundeigentums zu einem möglichst hohen Kaufpreis interessiert. In Ausnahmefällen können auch subjektive Erwägungen, wie eine nicht oder nicht nur an finanziellen Kriterien festgemachte Entscheidung bei der Auswahl des Käufers, eine Rolle spielen (z.B. Zusicherung des Käufers auf Erhalt einer bestimmten baulichen Anlage, an die der bisherige Eigentümer eine emotionale Bindung hat, auch wenn dies aus wirtschaftlicher Sicht nachteilig ist).

Sind mehrere Grundstücke mit unterschiedlichen Eigentümern von der Entwicklung betroffen, bedarf es vielfach einer intensiven und zeitlich aufwendigen Abstimmung zwischen den Grundstückseigentümern, um einen Entwicklungsprozess zu initiieren. Vielfach ist hierbei professionelle externe Hilfe erforderlich, damit von den Eigentümern befürchtete Ungleichbehandlungen ver-

mieden und entsprechende Bedenken ausgeräumt werden können. Eine solche Moderation kann durch die Gemeinde selbst oder durch externe Fachleute erfolgen.

Um bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt die in baulichen Anlagen vorhandenen Rohstoffpotenziale zu nutzen, müssen die bisherigen Eigentümer entsprechend eingebunden werden. Diese werden aber nur dann finanzielle Mittel aufbringen, um vorhandene Rohstoffpotenziale zu nutzen, wenn Ihnen auch ein finanzieller Mehrwert entsteht. Dieser kann sich aus der Veräußerung der entnommenen Rohstoffe oder aus einer besseren Veräußerbarkeit der zu entwickelnden Flächen ergeben. Voraussetzung hierfür ist jeweils die Kenntnis oder zumindest eine Abschätzbarkeit über das recycelbare Rohstoffpotenzial der nicht mehr benötigten baulichen Anlagen.

9.2.3. Investor

Ein Investor möchte die von ihm zur Verwirklichung des Vorhabens zu investierenden Mittel minimieren und ist daher an einer möglichst kurzen Aufschließungszeit interessiert. Allen Maßnahmen, die die Aufschließungszeit verlängern, wird er nur zustimmen, wenn er hierdurch an anderer Stelle eine Kompensation erhält. Dies kann in Form eines finanziellen Vorteils durch die Schaffung höherwertigen Baurechts oder durch eine unmittelbare finanzielle Kompensation erfolgen.

Außerdem ist er an einer Minimierung der Baukosten interessiert. Zusätzlich von ihm zu tragende Kosten für die Trennung von Abbruchmaterialien, die über das gesetzlich geforderte Maß hinausgehen, wird er ebenfalls nur bei einer der vorgenannten Kompensationen durchführen.

9.2.4. Regionalplanung

Die Gemeinde hat bei der Änderung ihrer Bauleitplanung die Ziele der Raumordnung zu berücksichtigen (§ 1 Abs. 4 BauGB). Diese sind in dem maßgebenden Regionalplan dokumentiert, in Ausnahmefällen auch in Regionalen Flächennutzungsplänen (wie z.B. RegFNP FrankfurtRhein-Main). Insofern bedarf es einer Überprüfung durch die Gemeinde, ob für die Neuaufstellung eines Bebauungsplans eine Änderung des gemeindlichen Flächennutzungsplans erforderlich ist (Entwicklungsgebot § 8 (2) BauGB)). Sofern dies der Fall ist (z.B. wenn der Flächennutzungsplan bisher gewerbliche Nutzung darstellt, zukünftig aber eine wohnbauliche Nutzung verwirklicht werden soll) muss überprüft werden, ob die neue Darstellung des Flächennutzungsplans den im Regionalplan dargestellten Zielen der Raumordnung entspricht. Bestehen Differenzen, bedarf es zunächst einer Darstellung der raumordnerischen Ziele im Regionalplan. Dies kann mittels eines Zielabweichungsverfahrens erfolgen, wenn die Abweichung unter raumordnerischen Gesichtspunkten vertretbar ist und die Grundzüge der Planung nicht berührt werden (§ 6 Abs. 2 ROG). Ist dies nicht möglich, bleibt der Gemeinde nur die Möglichkeit ein Änderungsverfahren des Regionalplans anzustoßen. Ein solches Änderungs- oder Neuaufstellungsverfahren des Regionalplans ist in der Regel sehr zeitaufwendig. Folgt die Regionalversammlung dieser neuen raumordnerischen Zielvorstellung der Gemeinde nicht, muss die Gemeinde ihre planerischen Ziele für den zu entwickelnden Bereich entsprechend anpassen.

9.2.5. Nachbarn und sonstige Bürger der Gemeinde

Auch wenn die Gemeinde grundsätzlich zu einer Änderung des Planungsrechts bereit ist und eine solche Änderung mit den Zielen der Raumordnung übereinstimmt, ist eine verbindliche Zusage der Gemeinde von bestimmten Festsetzungen im Bebauungsplan vor dem Abschluss des Bebauungsplanaufstellungsverfahrens nicht möglich. Vielmehr muss die Gemeinde bei der Aufstellung des Bebauungsplans die privaten und öffentlichen Belange gerecht unter- und gegeneinander abwägen, um so zu einer bauleitplanerischen Lösung zu kommen, die einzelne von der Planung Betroffene nicht mehr beeinträchtigt. Insofern sind die Nachbarn des beabsichtigten Vorhabens möglichst frühzeitig in den Planungsprozess einzubeziehen, um deren Belange zu berücksichtigen und eine entsprechende Transparenz herzustellen.

Dies ist insbesondere auch auf informeller Basis dann sinnvoll, wenn vor Aufstellung eines neuen Bebauungsplans bereits Abbrüche oder Teilabbrüche zur Nutzung von Rohstoffpotenzialen erfolgen sollten. Typischerweise erzeugen Baumaßnahmen auf benachbarten Grundstücken tatsächlich befristete Beeinträchtigungen, zumindest aber Befürchtungen bei den Nachbarn, die ihnen im Vorfeld bekannt gegeben und dabei positiv dargestellt werden sollten (z.B. Sicherung von Rohstoffpotenzialen und Vermeidung von Vandalismus).

9.2.6. Abfall- und Recyclingindustrie

Sobald ein Abbruch bzw. Rückbau von bestehenden Anlagen mit einer Brachflächen- und Gewerbestandortentwicklung verbunden ist, treten Akteure der Abfall- und Recyclingindustrie in Erscheinung. Erzielbare Preise für Recyclingmaterialien sowie angepasste und wirtschaftliche Abbruch- und Rückbaustrategien (Kapitel 5.3 und Kapitel 11.2) sind in diesem Bereich maßgebend für die Nutzung von Rohstoffpotenzialen aus dem Baubestand. Die Vorgehensweise und Sorgfalt des Abbruchunternehmens sind dabei wesentlich für den Umfang des möglichen Recyclingmaterials. Bislang besteht allerdings ein Mangel insbesondere an Informationen über den Materialerlös und an Steuerungsmöglichkeiten des Eigentümers, diese liegen vollständig in der Hand des Abbruchunternehmers.

9.2.7. Politik- und Medieneinflüsse

Durch die vertretenen Sichtweisen und Einstellungen von Politik, Medien und potenziellen Abnehmern gegenüber Recyclingmaterialien können sich soziale Hindernisse bei der Nutzung des Rohstoffpotenzials aus Brachflächen- und Gewerbestandortentwicklungen ergeben. Positive Erfahrungen mit konventionellen Baustoffen lassen Firmen aus Gewohnheit an der Qualität und der Umweltverträglichkeit der Recyclingstoffe zweifeln. Im Rahmen der Aufbereitung von Abfall- und Schuttmaterial kann es weiterhin zu ungleichmäßiger Struktur oder Färbung kommen. Genügt das Material dann nicht mehr den ästhetischen Ansprüchen der Käufer, sehen diese von einer Weiterverwendung ab, obwohl keine Einschränkungen in der technischen Funktion bestehen. Nach (Gabriel 2014) gelten für Politiker *„die meisten Sekundärrohstoffe noch immer als Abfälle [...] In den Köpfen der Politik und Verwaltung geht es dabei immer noch um das Beseitigen von Abfällen und nicht um das Rückgewinnen von wertvollen Rohstoffen.“*

9.3. Interventionsmöglichkeiten zur Nutzung von Rohstoffpotenzialen

In Abbildung 62 werden die in Kapitel 9.1 zuvor beschriebenen Schritte des Prozesses einer Brachflächen-/Gewerbstandortentwicklung noch einmal mit ihren möglichen Kategorien dargestellt, wobei sie hier nacheinander aufgeführt werden, auch wenn sie durchaus zeitlich parallel laufen können und nicht in jedem Entwicklungsprozess alle Schritte erforderlich sind. Orange hervorgehoben sind dabei diejenigen Stellen, an denen eine Intervention zur Rohstoffnutzung möglich ist, entweder in Form einer direkten Rückgewinnung von Materialien, als Einflussnahme auf die Entscheidung eines Rückbaus und die daraus folgende Nutzung des Rohstoffpotenzials oder als Vorgabe für den Umgang mit den anfallenden Rückbaumaterialien.

Im Einzelnen bedeuten die Stellen von A bis F folgendes:

- A. Mögliche (Kern-)Sanierung/Modernisierung, die zum Ausbau von veralteten Materialien führt.
- B. (Teil-) Abbruch der baulichen Anlagen (aus wirtschaftlichen oder sicherheitsrelevanten Gründen), direkt nach Aufgabe der bisherigen Nutzung oder im Laufe des Entwicklungsprozesses.
- C. Möglichkeit des zeitnahen Rückbaus in den Rohbauzustand, wenn technische Gebäudeausrüstung nicht weiter nutzbar ist.
- D. Gemeinde kann über neues Planungsrecht, wenn bislang keine konkreten Nachnutzungsbestrebungen bestehen, entscheiden, ob vorhandene bauliche Anlagen voraussichtlich weitergenutzt oder abgebrochen werden sollen.
- E. Gegebenenfalls wird erst aufgrund eines Städtebau-/Hochbauwettbewerbs entschieden, welche baulichen Anlagen wie weitergenutzt und welche abgebrochen werden.
- F. In das neue Planungsrecht können über Inhalte im städtebaulichen Vertrag oder im Durchführungsvertrag Vorgaben zum Recycling von Materialien integriert werden.

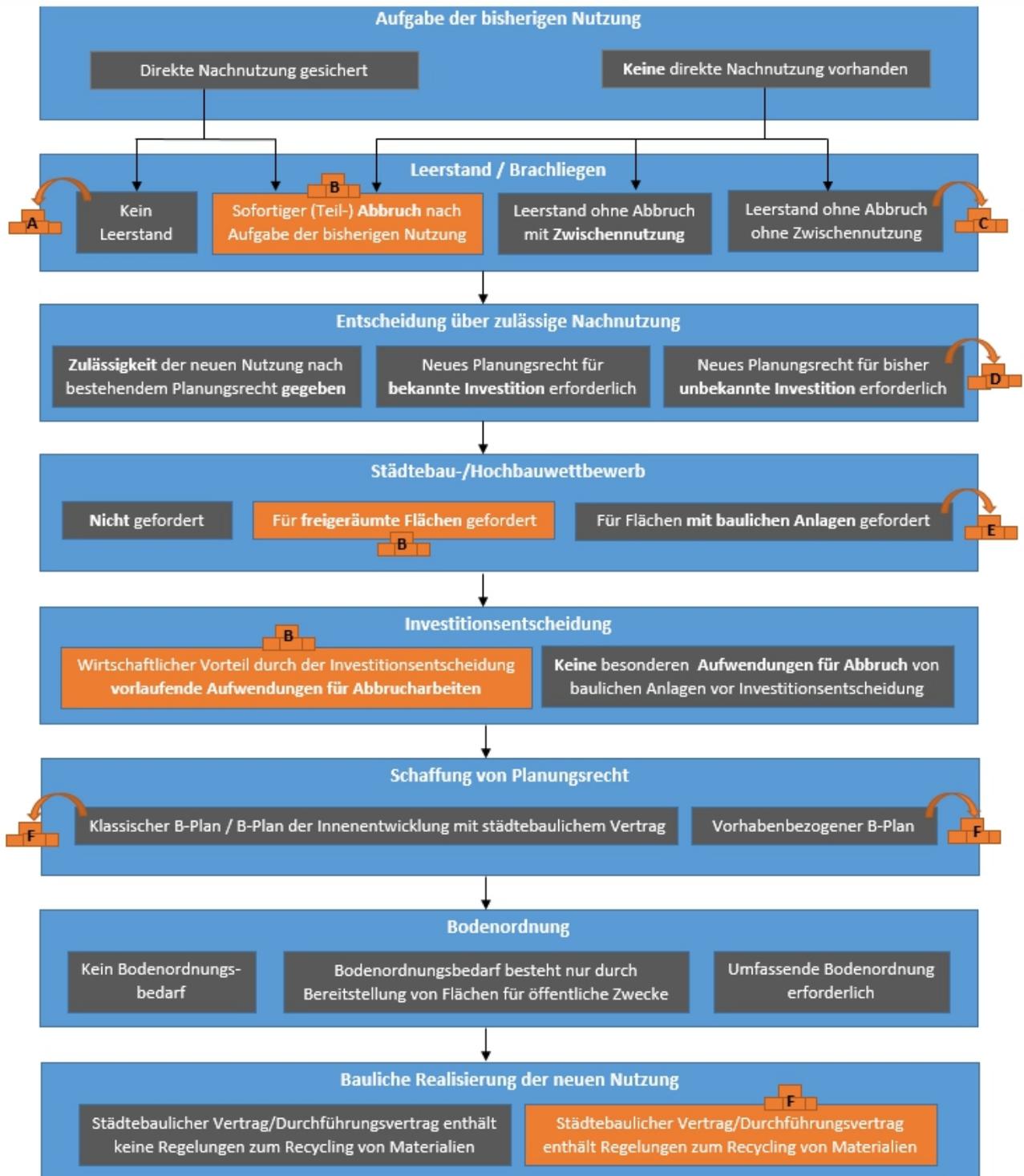


Abbildung 62: Interventionsmöglichkeiten zur Nutzung von Rohstoffpotenzialen.

9.4. Informationen zum Rohstoffinventar

Grundstein der Entscheidung über den Umgang mit einer leerstehenden Immobilie oder Brachfläche ist in der Regel eine Bestandsaufnahme und Zustandsbewertung der bestehenden baulichen Anlagen. Insbesondere die Schadstoffuntersuchung ist dabei bereits heute ein wesentlicher Bestandteil des Entwicklungsprozesses, der die Entscheidung über eine Nachnutzung oder einen

Abbruch der baulichen Anlagen maßgeblich beeinflusst. Für die Mehrzahl der Industrie- und Gewerbeflächenentwicklungen stellt ein Schadstoffkataster (vgl. Kapitel 11) sogar eine Notwendigkeit dar. Die Erfassung werthaltiger Materialien vor einem Rückbau, wie die metallischen Anteile, ist hingegen eher eine Seltenheit.

Eine Verpflichtung zur Vorabplanung und Dokumentation verwendeter Güter und Stoffe bei Gebäudeprojekten besteht derzeit noch nicht. Hinzu kommt, dass gerade bei älteren Gebäuden Bau- und Bestandspläne mangels Fortschreibung meist nicht den aktuellen Stand widerspiegeln und auch Montage- und Installationspläne der technischen Gebäudeausrüstung oder gar Schalt-schemata und Instandhaltungspläne nicht zur Standarddokumentation eines Gebäudes gehören, so dass das Wissen über Rohstoffinventare in der Regel eher begrenzt und nicht ohne erheblichen Aufwand generierbar ist. Dadurch verfügen jedoch weder die bisherigen Eigentümer, noch die Investoren, noch kommunale Planungsinstitutionen bislang über die erforderlichen Grundlagen für die proaktive Entwicklung von eigenen Recyclingstrategien, die gerade vor dem Hintergrund steigender Rohstoffpreise für sie von hohem Interesse sein könnten.

Neben der Wissensbasis über die jeweiligen Rohstoffinventare ist der Demontage- und Separationsaufwand eine weitere Größe, die die praktische Umsetzung des Urban Minings beeinflusst. Ganzheitliche Kostenbetrachtungen, die Investitions- und Betriebskosten den Einsparungen und Gewinnen gegenüberstellen, sind wesentlich für die Entscheidung zur Durchführung von angepassten Abbruch- und Rückbauprozessen, da in der Regel nur ein wirtschaftlicher Mehrwert ein Anreiz für die jeweiligen Stakeholder ist.

Was die zuvor beschriebenen Interventionspunkte zur Nutzung des Rohstoffinventars im Rahmen von Brach- und Gewerbeflächenentwicklungen in Abbildung 62 betrifft, so sind bei den Punkten A bis C umfangreiche Informationen sowohl zum Rohstoffinventar als auch zum Ausbau- bzw. Erneuerungsaufwand notwendig:

- A. Rohstoffinventar - insbesondere Informationen zu Schadstoffen, Erneuerungs-/Sanierungs-/Wartungsaufwand z.B. der technischen Gebäudeausrüstung
- B. Rohstoffinventare, erzielbare Rohstoffpreise, Demontage- und Separationsaufwand werthaltiger Materialien, Kosten der Entsorgung von Schadstoffen
- C. Rohstoffinventare, erzielbare Rohstoffpreise, Demontage- und Separationsaufwand werthaltiger Materialien (z.B. Rohrleitungssysteme und ihre vertikale und horizontale Durchdringung des Gebäudes)

Der Detaillierungsgrad der benötigten Informationen an den Punkten D bis F ist vergleichsweise gering. Bei D und E handelt es sich um eine Grundeinschätzung über den Umgang mit dem Gebäudebestand und bei F geht es um die Formulierung allgemeiner Vorgaben zum Recycling von Materialien im städtebaulichen Vertrag oder im Durchführungsvertrag. Hierzu ist zwar eine grobe Abschätzung des Rohstoffinventars (ggf. auf empirische Art und Weise) interessant, jedoch nicht zwingend notwendig.

9.5. Strategische Ansätze zur Nutzung des Rohstoffinventars

Mit der gezielten Forderung und Förderung der Innenentwicklung wurde im Wesentlichen schon der Grundstein für das Urban Mining gelegt, da Leerstände und Brachflächen sowie die dort verbauten Materialien dadurch zunehmend in den Fokus der Siedlungsentwicklung rücken. Das Baurecht auf Zeit (§ 9 Abs. 2 BauGB) und Rückbauverpflichtungen im Außenbereich (§ 35 Abs. 5 Satz 2 BauGB) sowie Überlegungen zur verpflichtenden Dokumentation von Rohstoffinventaren in Form von Gebäudepässen und dem Building Information Modeling (BIM) sind weiterführende Instrumente, die das Urban Mining in Zukunft erleichtern werden.

Um zu untersuchen, welche Ansätze im Rahmen des Entwicklungsprozesses von Brach- und Gewerbeflächen bereits heute dazu beitragen können, das Rohstoffinventar des Bestands zu nutzen, wurde in PRRIG unter anderem ein Leitfaden zur Bestandsaufnahme und mengenmäßigen Erfassung von Baumaterialien entwickelt. Eine solche Bestandserfassung könnte durch die Vermittlung von Sachverständigen durch die Gemeinde unterstützt werden, sowie durch die grundsätzliche mediale Informationsbereitstellung. Insofern es die Haushaltslage zulässt, sind natürlich auch finanzielle Förderungen durch die öffentliche Hand zur Erfassung des Rohstoffinventars im Baubestand möglich. Eine Verpflichtung zur Rohstofffassung über einen städtebaulichen Vertrag, der eine Zusage der Gemeinde einen Bebauungsplan aufzustellen an eine frühzeitige Entnahme des Rohstoffinventars koppelt, stellt eine weitere Option dar.

Was die Konkretisierung und Operationalisierung weiterer Planungshilfen und Instrumente zur Steigerung der Ressourceneffizienz für Gebäudeeigentümer und regionale/lokale Planungsinstitutionen betrifft, so werden in den nachfolgenden Kapiteln 10 und 11 Werkzeuge und Instrumente vorgestellt, die einerseits eine Bewertung vorhandener baulicher Anlagen ermöglichen und andererseits eine gezielte Einflussnahme auf die Rohstoffrückgewinnung aus dem Brachflächen- und Gebäudebestand ansteuern.

10. Handlungsstrategien für historisch gewachsene Industriearale (bearbeitet und erstellt von Adam Opel AG)

Historisch gewachsene Industriearale wie der Campus Rüsselsheim der Adam Opel AG bieten neben den erforderlichen nutzungsbegleitenden Maßnahmen von Instandhaltung und Instandsetzung, Modernisierung, Umbau und Sanierung zur Aufrechterhaltung der aktuellen Gebäudenutzung auch Potentiale für Revitalisierung und Redevelopment des nicht mehr genutzten Gebäudebestandes.

Das Stammwerk der Adam Opel AG ist über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren organisch gewachsen. Die neu entstandenen Gebäude trugen den veränderten Produkten und den technologischen Fortschritte der Produktionsprozesse Rechnung. Der allgemeine Wandel von einem reinen Produktionsstandort zu einem kombinierten Produktions- und Dienstleistungsstandort mit großen Bereichen für Forschung, Produktentwicklung, Produktionsanlagenplanung, Qualitätskontrolle, Logistik und erweiterte Verwaltungsaufgaben führen neben geringerer Fertigungstiefe und neuen Geschäftsfeldern zu veränderten Anforderungen an den Gebäudebestand.

In der Vergangenheit wurden nicht mehr nutzbare Gebäude an der Peripherie des Campus verkauft, abgebrochen oder einer neuen Nutzung zugeführt. Dennoch existieren nicht mehr betriebsnotwendige Gebäude, die vermeidbare Strukturkosten erzeugen. Bedingt durch eine nachhaltige struktur- und anforderungsgerechte Standortentwicklung unter Berücksichtigung der übergeordneten Unternehmensziele sowie Reduzierung von extern angemieteten Flächen und Rückführung von Funktionen auf den Campus Rüsselsheim ist ein hoher Komprimierungs- und Restrukturierungsdruck vorhanden. Im Sinne einer optimalen Nutzung der vorhandenen Bausubstanz werden neue Formen der Nutzung gesucht. Voraussetzung hierfür ist eine Einschätzung des aktuellen Zustandes der Gebäude und möglicher zukünftiger Nutzungsalternativen. Hierzu wurde ein Werkzeug mit einem zweigeteilten Bewertungssystem entwickelt. Teil 1 beschäftigt sich mit der gewichteten Bewertung des Zustandes der wesentlichen Elemente der Bausubstanz und der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) eines Gebäudes; Teil 2 behandelt die gewichtete Bewertung von industriegebäudespezifischen Einflusskriterien zur Beurteilung von industriellen Nutzungsalternativen für Lager- und Produktionsgebäude. Das Werkzeug ermöglicht eine erste qualitative / nicht-monetäre Abschätzung von Handlungsempfehlungen für das betrachtete Gebäude hinsichtlich seiner zukünftigen Nutzung als Produktions- oder Lagergebäude und dient als Entscheidungsgrundlage für die erforderlichen nächsten Schritte. Das Werkzeug ist offen und erweiterbar, um ergänzende Kriterien aufzunehmen.

Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Nutzung des entwickelten Werkzeuges läuft in folgenden Schritten ab:

- Sammeln und Sichten der Dokumente und Unterlagen
- Auswertung der Dokumente und Unterlagen
- Eintrag der Ergebnisse der Auswertung in den Gebäudeaufnahmebogen (siehe Anhang A.23) Abschnitt 1.1 „Allgemeine Angaben“ und 1.3 „Allgemeine Angaben zum Gebäude“
- Begehungen vor Ort mit Fotodokumentation inkl. Bewertung

- Eintrag der Ergebnisse der vor-Ort-Bestandsanalyse in den Gebäudeaufnahmebogen (siehe Anhang A.23)
- Eintrag der Ergebnisse der Auswertung der Informationen aus den Datenquellen und der Bestandsanalyse für die Nutzungsalternativen in den Gebäudeaufnahmebogen (Siehe Anhang A.23)
- Übertrag der Daten zur Auswertung in das Bewertungssystem (Excel-Datei) für den Gebäudezustand und der Bewertung der Nutzungsalternativen (siehe Anhang A.24)
- Interpretation des Ergebnisses

Zur Entscheidungsfindung im Anschluss an die Interpretation der Ergebnisse sind ggf. detailliertere Untersuchungen und Bewertungen unter Hinzuziehung von entsprechenden Experten bezüglich des Zustandes des Gebäudes und der Untersuchung der erforderlichen Maßnahmen für eine zukünftige Nutzung einschließlich der monetären Bewertung erforderlich.

Die Methodik, die Struktur des entwickelten Werkzeuges, die Auswertung und die Interpretation der Ergebnisse anhand des Praxisbeispiels (Gebäude M60 auf dem Campus der Adam Opel AG) werden in den folgenden Ausführungen ausführlich beschrieben und erläutert. Das Werkzeug wurde für das erwähnte Gebäude validiert.

10.1. Allgemeine Methodik der Bewertung

Für die Bestandsanalyse werden je nach Gebäude und gewünschtem Detaillierungsgrad unter anderem folgende Datenquellen herangezogen:

1. Objektdaten: Lageplan, Baugenehmigung, Baubeschreibung, Brandschutztechnische Begutachtung, Architekten- und Bestandsdokumentation, Grundrisse und Schnitte des Gebäudes, Technische Unterlagen zur TGA, Gutachten und Abnahmeprotokolle von Sachverständigen, u.a.
2. Amtliche Dokumente: Bebauungsplan, Bauanträge und -akten, Grundbuchauszug, ggf. Denkmalschutzkataster
3. Gebäude selbst: Begehungen vor Ort, Fotos

Im Hinblick auf die gewünschten Ergebnisse ist die Nutzwertanalyse eine geeignete Bewertungsmethode zur Entscheidungsfindung. Hierbei werden die Alternativen an nicht-monetären Kriterien gemessen. Die Nutzwertanalyse wurde durch (Zangemeister 1976) in Deutschland bekannt. Die Nutzwertanalyse wird darin definiert als „die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen.“ Hierbei können Alternativen miteinander verglichen werden. Präferenzen des Anwenders finden Berücksichtigung. Die Nutzwertanalyse folgt grundsätzlich einem einheitlichen Schema (vgl. (Bechmann 1978), (Busse von Colbe et.al. 2015), (Zangemeister 1976)):

1. Bestimmung von Zielkriterien: Aufstellen eines Zielsystems, welches die Ziele hierarchisch auflistet und die Ableitung von Kriterien zulässt, nach denen die Alternativen bewertet werden.
2. Bestimmung der Alternativen & Ableiten von Kriterien: Es werden nur solche Alternativen berücksichtigt, die alle definierten KO-Kriterien erfüllen.
3. Gewichtung der Zielkriterien: Die abgeleiteten Bewertungskriterien werden gemäß ihrer relativen Bedeutung zueinander gewichtet. Dabei wird jedem Kriterium eine Zahl zwischen 0 und 1 (bzw. 0 und 100 %) zugeordnet, wobei die Summe einer Hierarchieebene genau 1 oder 100 (%) ergeben muss. Diese Gewichtungen sind rein subjektiv und werden vom Entscheidungsträger gemäß seinen Präferenzen vorgenommen.
4. Bewertung mit Zielerfüllungsgraden / -punkten oder Erfüllungspunktzahl (EPZ): Ermittlung für jedes Kriterium, wie gut eine Alternative dieses erfüllt. Die Kriterien werden in unterschiedlichen Dimensionen (z.B. Nutzfläche [m²], Anzahl der Fenster [1, 2] oder Zustand der Fassade [gut, mittel, schlecht]) gemessen. Um eine Vergleichbarkeit der Kriterien zu gewährleisten, müssen diese in einer gemeinsamen Dimension durch sogenannte „Zielerfüllungsgrade“ zusammengefasst werden. Jeder Merkmalsausprägung eines Kriteriums wird ein Zielerfüllungsgrad bzw. eine Erfüllungspunktzahl (EPZ) zugeordnet, die angibt, inwiefern das Kriterium erfüllt wird. Die Punktzahl der Zielerfüllungsgrade muss dabei für alle Kriterien die gleiche Höchstzahl besitzen und erstreckt sich meist zwischen 0 (nicht erfüllt) und 10 (Kriterium herausragend erfüllt).
5. Ermittlung der Teilnutzen: Multiplizieren der Kriteriengewichte mit den zugehörigen Zielerfüllungsgraden bzw. Erfüllungspunktzahl (EPZ).
6. Ermittlung des Nutzwertes: Summieren aller ermittelten Teilnutzenwerte einer Alternative. Die Alternative mit dem höchsten Nutzwert wird als Beste ausgewählt. Zu beachten ist, dass die erzielten Nutzwerte nur relativ zueinander gesehen werden können. Sie bieten keine absolute Aussagefähigkeit und sind dimensionslose Zahlen.

Auswahl der Gewichtung und Bewertung der Zielerfüllung erfolgen nach subjektiven Gesichtspunkten. Daher täuscht die mathematische Genauigkeit eine Objektivität vor.

10.2. Gewichtung der Zielkriterien

Zur Gewichtung der Zielkriterien werden folgende Methoden angewandt:

A. Paarvergleich

Ziel der Methode ist es, mehrere Zielkriterien miteinander zu vergleichen und die einzelnen Prioritäten zu ermitteln.

Der grundsätzliche Ablauf stellt sich wie folgt dar (Koch 2015):

1. Vorbereitung: Die zu gewichtenden Kriterien oder Ziele werden formuliert und die Voraussetzung der Unabhängigkeit dieser muss erfüllt sein.

-
2. Durchführung: Daraufhin werden die formulierten Kriterien in eine Kreuztabelle eingetragen und Zeile für Zeile paarweise miteinander verglichen (Kühnapfel 2014). Die Punktevergabe stellt sich wie folgt dar:

Kriterium 1 wichtiger als Kriterium 2 → Wert 2 eintragen

Kriterium 1 gleichgewichtig mit Kriterium 2 → Wert 1 eintragen

Kriterium 1 ist weniger wichtig als Kriterium 2 → Wert 0 eintragen

3. Auswertung: Zeilenweise werden die vergebenen Punkte addiert. Das Kriterium mit der höchsten Punktzahl bekommt den ersten Rang zugeordnet, die weiteren folgen. Zur Bestimmung der Gewichtung wird jede Zeilensumme durch die Summe aller Zeilensummen dividiert.

Sinnvollerweise werden die Bewertungen von mehreren Personen durchgeführt. Hierdurch wird trotz Subjektivität der einzelnen Bewertungen eine Annäherung an eine Objektivität erreicht.

B. Gruppierung der Zielkriterien

Die vielen Kriterien werden nach Oberkriterien geordnet. Die Oberkriterien werden zunächst derart gewichtet, dass die Summe der Gewichte 1 oder 100 (%) beträgt. Anschließend werden die Kriterien innerhalb eines Oberkriteriums nach gleicher Methode gewichtet.

Durch Multiplikation der Gewichtungen des Oberkriteriums mit den Kriteriengewichten innerhalb des Oberkriteriums ergibt sich das Gesamtgewicht eines Kriteriums. Werden nun Kriterien einem Oberkriterium hinzugefügt, verändern sich lediglich die Gewichtungen der Kriterien innerhalb des Oberkriteriums, die Gewichtung des Oberkriteriums bleibt konstant (Kühnapfel 2014).

10.3. Bewertungssystem

Das Bewertungssystem gliedert sich in mehrere Stufen:

1. Bewertungskriterien / Zielkriterien für den Gebäudezustand (baulichen Zustandes und der Zustand der Technischen Gebäudeausrüstung)
2. Bestimmung / Auswahl der Nutzungsalternativen und deren Zielkriterien
3. Bewertungshierarchie
4. Gewichtung
5. Bewertung mit Hilfe von Zielerfüllungsgraden -/ punkten (Erfüllungspunktzahl EPZ)
6. Bewertungshilfen
7. Ergebnisdarstellung
8. Interpretation des Ergebnisses

10.4. Bewertungskriterien

Die einzelnen Bewertungskriterien werden in zwei Kategorien gegliedert: baulicher Zustand sowie Zustand der TGA. Für den baulichen Zustand werden relevante Strukturen z.B. Tragwerk,

Gebäudehülle, Innenausbau und Schadstoffe betrachtet. Die TGA teilt sich in die Bereiche Raumlufttechnische Anlagen (RLT-Anlagen), Wärmeanlagen, Elektrotechnik, Wasserversorgung, Sprinkleranlage, Sanitäranlagen, Beleuchtung und Sonstige Ausstattung auf. Die vollständige Übersicht ist im Gebäudeaufnahmebogen (siehe Anhang A.23) abgebildet. Die jeweiligen Bewertungselemente werden entsprechend gruppiert und in die Bewertungsmatrix (Tabelle 38) übernommen.

Tabelle 38: Bewertungselement des Bewertungsbereiches Gebäudezustand

Teilbewertungskriterium	Bewertungselemente	
Bewertungsbereich Gebäudezustand		
Baulicher Zustand	Tragwerk	
	Gebäudehülle	
	Fassade	
	Fassade Dämmung	
	Dach	
	Dach Dämmung	
	Innenausbau	
	Wände	
	Boden	
	Einbauten	
	Aufenthalts- und Pausenräume	
	Schadstoffe	
	Zustand der Technischen Technische Gebäudeausrüstung (TGA)	Raumlufttechnische (RLT)-Anlagen
		Wärmeanlagen
Elektrotechnik		
Wasserversorgung		
Sprinkleranlage		
Sanitäranlage		
Beleuchtung		
Sonstige Ausstattung		
Krananlage		
Rolltore		

In der Bewertungssystem /-matrix wird diese Aufteilung wie folgt (Abbildung 63) dargestellt.

Baulicher Zustand	
Gebäudehülle	
Fassade	
	Zustand Fassade
	Fenster
	Wärmedämmung f
Dach	
	Zustand Dach
	Wärmedämmung l
Tragwerk	
Tragwerk	
	Zustand Tragwerk
Innenbereich	
	Boden
	Innenwände
	Einbauten
	Decken
	Aufenthaltsraum
Schadstoffbelastung	
	Schadstoffe

Abbildung 63: Bewertungsmatrix am Beispiel Baulicher Zustand.

10.5. Bewertungshierarchie und Gewichtung

Die generelle Bewertungshierarchie und die Vorgehensweise auf Basis der Nutzwertanalyse sind für beide Teile (Baulich, TGA) identisch. Bewertungskriterien erfordern nicht unbedingt Teilkriterien oder Bewertungselemente mit hohem Detaillierungsgrad. Die Bewertungshilfe (Kapitel 10.6) bezieht sich in diesem Fall auf die jeweils letzte Bewertungsebene.

Die nachfolgende Abbildung 64 zeigt den schematischen Aufbau der Bewertungshierarchie mit einem Beispiel.



Abbildung 64: Struktur der Bewertungshierarchie.

Die anschließende Bewertung erfolgt in mehreren Stufen:

1. Bewertung der Bewertungsbereiche, der einzelnen Teilbewertungskriterien / Bewertungselemente mit Erfüllungspunktzahlen (EPZ) unter Zuhilfenahme der Bewertungshilfen
2. Festlegung bzw. Ermittlung der Gewichtungen der Bewertungskriterien, der einzelnen Teilbewertungskriterien und Bewertungselemente
3. Multiplizieren der EPZ mit den Gewichtungen. Hieraus ergeben sich die Teilbewertungsergebnisse.

Die Summe aller Teilergebnisse ergibt das Gesamtergebnis. Dieses kann abschließend mit den Ergebnissen anderer Alternativen verglichen werden oder durch Division mit der maximal zu erreichenden Punktzahl ein relatives Maß (G_{rel}) für die Erfüllung angeben.

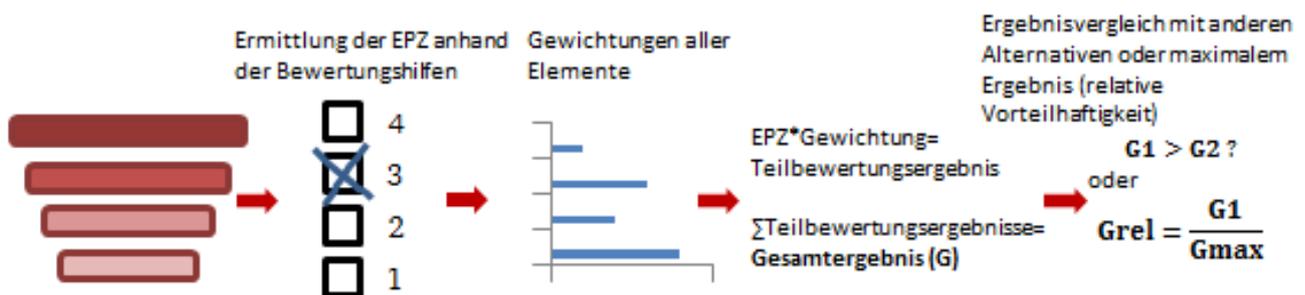


Abbildung 65: Vorgehensweise der Bewertung.

Für die Gewichtung der einzelnen Bereiche werden die weiter vorne diskutierten Methoden angewandt.

10.6. Bewertungshilfen

Die Bewertungshilfen wurden aus Literaturrecherchen und Expertenbefragungen für die vier Kategorien des Erfüllungsgrades entwickelt und erleichtern die Bewertung der Kriterien. So kann trotz der Subjektivität der Bewertung eine verbesserte Vergleichbarkeit bei unterschiedlichen Gebäuden erreicht werden.

Zusätzlich können Anmerkungen oder weitere Information bei der Bewertung der Kriterien angegeben werden.

Tragwerk: Stahltragwerk Stahlbetontragwerk

Mögliche Schäden: Risse Korrosion Betonschäden Salzschäden

Andere: _____

Kriterium	Zustand	Ausprägung	%-Anteil	EPZ	
Tragwerk	gut	Tragwerk in gutem statischen Zustand; keine oder vernachlässigbare Abnutzungen; keine Schäden erkennbar	_____ %	4	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	Das Tragwerk weist Abnutzungen auf, die das Tragverhalten jedoch nicht beeinträchtigen; mit vertretbarem Aufwand zu beheben	_____ %	3	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	Tragwerk weist Bauschäden auf; Risse oder Verformungen die das Tragverhalten beeinflussen können.	_____ %	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Starke Bauschäden wie Risse oder Verformungen, Konstruktionsteile	_____ %	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Abbildung 66: Beispiel für eine Bewertungshilfe.

10.7. Bestimmung / Auswahl der Nutzungsalternativen und ihrer Zielkriterien

Die zu betrachtenden Nutzungsalternativen sind individuell frei wählbar. Für das Praxisbeispiel wurden Lager- und Produktionsgebäude ausgewählt, da dies eine typische Fragestellung für den Campus der Adam Opel AG ist.

Aus Expertengesprächen und Literaturangaben werden die zu betrachtenden Bewertungskriterien und Referenzinformationen für die Vergabe der Erfüllungsgrade bzw. die Erfüllungspunktzahl (EPZ) entnommen und in den Bewertungshilfen eingebaut. Die vollständige Übersicht der Kriterien (Gebäudeaufnahmebogen) und die Referenzinformationen finden sich im Anhang A.23 bzw. Anhang A.24. Einzelne Bewertungselemente werden in Teilbewertungselementen zusammengefasst und diese in die Bewertungsbereiche

1. Rechtliche Rahmenbedingungen
2. Gebäudestruktur
3. TGA/ Sonstige Ausstattung

gruppiert (Tabelle 39) und in die Matrix des Bewertungssystems (Abbildung 67) überführt.

Tabelle 39: Beispiel: Bewertungsbereich Rechtliche Rahmenbedingungen

Teilbewertungskriterium	Bewertungselement
Bewertungsbereich Rechtliche Rahmenbedingungen	
Bauplanungsrecht	Zulässigkeit der Nutzung
Bauordnungsrecht	Nutzungsänderung
	Brandschutz
Sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften	Denkmalschutz
	Anpassungsverlangen an weitere öffentlich-rechtliche Vorschriften

Rechtliche Rahmenbedingungen		
	EPZ Lager	EPZ Produktion
Bauplanungsrecht		
Zulässigkeit der Nutzung	4	4
Bauordnungsrecht		
Nutzungsänderung	2	2
Brandschutztechnische Anpassungen	3	3
Sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften		
Denkmalschutz	4	4
Weitere Anpassungsverlangen	2	2

Gebäudestruktur und -geometrie		
Lage	4	3
Primärstruktur		
Lichte Raumhöhe	3	2
Nutzungsfläche	4	4
Tragkonstruktion	4	4
Stützenabstand	3	4
Anhängelasten	1	2
Bautyp und Geschossigkeit	4	3
Sekundärstruktur		
Nicht-tragende Innenwände	4	4
Bodenbelag	4	4
Bodentragfähigkeit	4	4

Technische Gebäudeausrüstung (TGA) / Sonstige Ausstattung		
Industrielle Medienversorgung		
Gas	4	2
Druckluft	4	2
Sonstige Ausstattung		
Krananlagen	3	3
Rolltore/Verladerampen	3	4

Abbildung 67: Bewertungsmatrix mit allen Bewertungsbereichen.

Unter „Nutzungsfläche“ wird die Fläche verstanden, die für die jeweilige Nutzung tatsächlich genutzt werden kann. Mit Primärstruktur sind die baulichen Gegebenheiten gemeint, die sich nicht ändern lassen. Die Sekundärstruktur hingegen kann grundsätzlich mit vertretbarem Aufwand verändert werden.

10.8. Zustand der Bausubstanz und der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Für diesen Bereich wird die Methode der „Gruppierung der Zielkriterien“ (siehe Kapitel 10.4 B) angewandt. Die Gewichtungen wurden mittels Expertengespräche ermittelt. Diese können jederzeit individuell angepasst werden.

Tabelle 40: Gewichtungen zur Bewertung des Gebäudezustandes

Gebäudezustand		Gewichtung
Baulicher Zustand		60%
	Tragwerk	30%
	Gebäudehülle	
	Fassade	10%
	Fenster	6%
	Fassade Dämmung	4%
	Dach	17,5%
	Dach Dämmung	7,5%
	Innenausbau	
	Wände	3%
	Boden	12%
	Einbauten	2%
	Aufenthalts- und Pausenräume	3%
	Schadstoffe	
Zustand der Technischen Gebäudeausrüstung		40%
	Raumlufttechnische (RLT) -Anlage	15%
	Wärmeanlage	17%
	Elektrotechnik	17%
	Wasserversorgung	15%
	Sprinkleranlage	15%
	Sanitäranlage	8%
	Beleuchtung	8%
	Sonstige Ausstattung	
	Krananlage	3%
Rolltore	3%	

10.9. Industriegebäudespezifische Einflusskriterien

Die Gewichtung ergibt sich aus der Methode des Paarvergleichs. Hierbei werden die verschiedenen Kriterien gegenübergestellt und miteinander gemäß verglichen.

Gewichtung für ein Lagergebäude	Lichte Raumhöhe	Nutzungsfläche	Tragkonstruktion	Stützenabstand	Anhängelasten	Bautyp und Geschossigkeit	Nicht-tragende Innenwände	Bodenbelag	Bodentragfähigkeit	Lage	Summe	Gewichtung
	Lichte Raumhöhe		2	2	1	2	1	2	1	1	2	14
Nutzungsfläche	0		1	1	2	2	2	1	1	1	11	12,94%
Tragkonstruktion	0	1		0	2	0	2	0	1	0	6	7,06%
Stützenabstand	1	1	2		2	2	2	1	1	1	13	15,29%
Anhängelasten	0	0	0	0		0	1	0	0	0	1	1,18%
Bautyp und Geschossigkeit	1	0	2	0	0		2	1	1	1	8	9,41%
Nicht-tragende Innenwände	0	0	0	0	0	0		0	1	1	2	2,35%
Bodenbelag	1	1	2	1	2	1	2		1	2	13	15,29%
Bodentragfähigkeit	1	1	1	1	2	1	1	1		2	11	12,94%
Lage	0	1	2	1	0	1	1	0	0		6	7,06%
											85	100%

2	ist wichtiger als ...
1	ist gleich wichtig wie ...
0	ist weniger (von Zeile nach Spalte gelesen)

Abbildung 68: Paarvergleich Lagergebäude.

Gewichtung für ein Produktionsgebäude	Lichte Raumhöhe	Nutzungsfläche	Tragkonstruktion	Stützenabstand	Anhängelasten	Bautyp und Geschossigkeit	Nicht-tragende Innenwände	Bodenbelag	Bodentragfähigkeit	Lage	Summe	Gewichtung
	Lichte Raumhöhe		1	2	0	1	1	1	1	1	1	9
Nutzungsfläche	1		2	1	2	1	1	1	1	1	11	12,64%
Tragkonstruktion	0	0		0	0	1	1	0	0	0	2	2,30%
Stützenabstand	2	1	2		1	1	2	1	1	1	12	13,79%
Anhängelasten	1	0	2	1		1	2	1	1	1	10	11,49%
Bautyp und Geschossigkeit	1	1	1	1	1		1	0	0	0	6	6,90%
Nicht-tragende Innenwände	1	1	1	0	0	1		1	1	0	6	6,90%
Bodenbelag	1	1	2	1	1	1	1		1	0	9	10,34%
Bodentragfähigkeit	1	1	2	1	1	1	1	1		1	10	11,49%
Lage	1	1	2	1	1	1	2	2	1		12	13,79%
											87	100%

2	ist wichtiger als ...
1	ist gleich wichtig wie ...
0	ist weniger (von Zeile nach Spalte gelesen)

Abbildung 69: Paarvergleich Produktionsgebäude.

Zusätzlich wurden die Gewichtungen für den Bereich TGA und rechtliche Rahmenbedingungen aus Expertengesprächen erstellt. Hieraus ergeben sich zusammengefasst folgende Gewichtungen (Tabelle 41):

Tabelle 41: Übersicht der Gewichtungen der Nutzungsalternativen Lager-/Produktionsgebäude

Bewertung Nutzungsalternativen		
	Gewichtung Lager	Gewichtung Produktion
Rechtliche Rahmenbedingungen		30%
Zulässigkeit der Nutzung	35%	35%
Nutzungsänderung	13%	13%
Brandschutztechnische Anpassungen	20%	20%
Denkmalschutz	16%	16%
Weitere Anpassungsverlangen	16%	16%
Gebäudestruktur und -geometrie		40%
Lage	7,06%	13,79%
Lichte Höhe	16,47%	10,34%
Nutzungsfläche	12,94%	12,64%
Tragkonstruktion	7,06%	2,3%
Stützenabstand	15,29%	13,79%
Anhängelasten	1,18%	11,49%
Bautyp/Geschossigkeit	9,41%	6,90%
Nicht-tragende Innenwände	2,35%	6,90%
Bodenbelag	15,29%	10,34%
Bodentragfähigkeit	12,94%	11,49%
Technische Gebäudeausrüstung (TGA) / Sonstige Ausstattung		30%
Medienversorgung Gas	5%	35%
Medienversorgung Druckluft	5%	35%
Krananlagen	10%	10%
Rolltore/Verladerampe	80%	20%

10.10. Ergebnisdarstellung

Die Erfüllungspunktzahl (EPZ) ergibt sich aus dem Grad der Erfüllung des jeweiligen Kriteriums. Dabei erstreckt sich die Erfüllungspunktzahl von 1 (geringster Erfüllungsgrad, d.h. dieses Kriterium wird schlecht erfüllt) bis 4 (höchster Erfüllungsgrad, d.h. dieses Kriterium wird gut erfüllt). Dieser Erfüllungsgrad lässt sich über einen Vergleich der vorherrschenden Zustände festlegen und unterliegt einer gewissen Subjektivität. Daher wurden zur Verteilung der Erfüllungspunktzahl Bewertungshilfen erarbeitet.

Das Resultat der Bewertung ergibt sich durch Multiplikation der Erfüllungspunktzahlen mit den Gewichtungen und der Addition aller Teilergebnisse. Diese Vorgehensweise gilt gleichermaßen für den Gebäudezustand wie auch für die Bewertung der Nutzungsalternativen.

In Anhang A.25 ist das Ergebnis der Untersuchung des Gebäudes M60 auf dem Campus der Adam Opel AG dargestellt. Ergänzend zu dieser Übersicht sind die Bewertungen des baulichen

Zustandes (Abbildung 70) und der TGA (Abbildung 71) separat dargestellt. Hieraus lassen sich positive und negative Aspekte des Gebäudes schnell identifizieren.

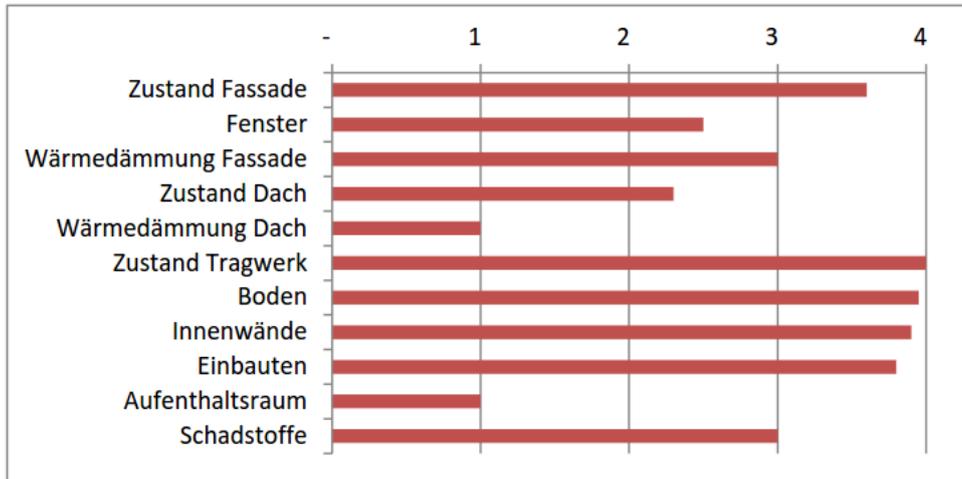


Abbildung 70: Übersicht der Bewertung des baulichen Zustandes des Gebäudes M60.

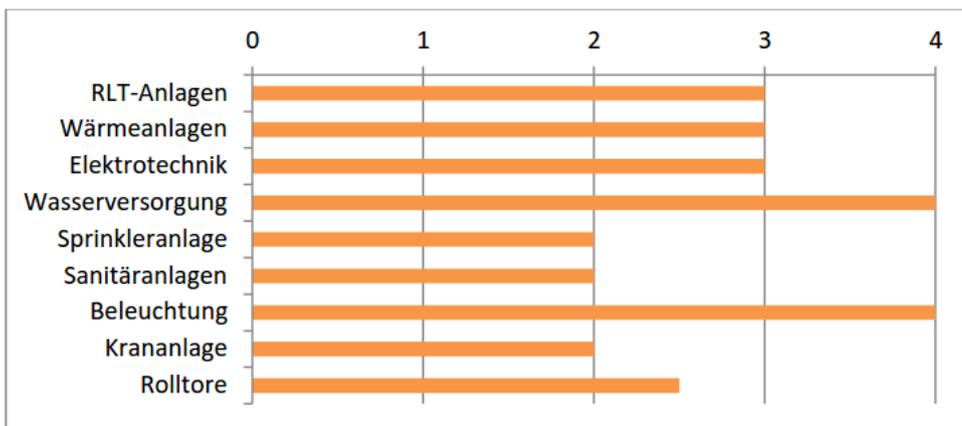


Abbildung 71: Übersicht der Bewertung der TGA des Gebäudes M60.

10.11. Interpretation des Ergebnisses

Zur Interpretation der Ergebnisse werden Punktkorridore bzw. Prozentkorridore vorgegeben, die eine abschließende Aussage bezüglich des Gebäudezustandes bzw. zur Bewertung der Nutzungsalternativen ermöglichen.

10.11.1. Gebäudezustand

Tabelle 42: Bewertungsskala des baulichen Zustandes

EPZ	EPZ Gesamt	Zustand	Weiternutzung	Handlungsbedarf/ Maßnahme
4	3,6-4,0	Optimal	Optimal zur Weiternutzung, möglicherweise geringe Anpassungen	Kein bis kaum Handlungsbedarf, Instand halten
3	2,8-3,5	Gut	Weiternutzung gut möglich; mit geringem Aufwand verbunden. Auf lange Sicht besteht vor allem aus wirtschaftlicher Sicht Handlungsbedarf	Geringer Handlungsbedarf, kleinere bis mittlere Instandsetzungen
2	1,9-2,7	Schlecht	Weiternutzung ist mit großem Aufwand verbunden	Großer Handlungsbedarf; große Instandsetzung
1	1,0-1,8	Mangelhaft	Keine Weiternutzung, muss erneuert werden, sehr großer Aufwand	Dringender und großer Handlungsbedarf/ Evtl. Notsicherung; Erneuern/Austausch

Auf Basis der Bewertungsskala und des Bewertungsergebnisses für das Praxisbeispiel lässt sich die Aussage treffen, dass der Zustand des Gebäudes bei einem Wert von 3,15 und der Zustand der TGA bei einem Wert von 3,15 eine prinzipielle Weiternutzung bei geringem Aufwand möglich macht. Die Interpretation der graphischen Darstellung des baulichen Zustandes zeigt insbesondere Schwachstellen hinsichtlich der Wärmedämmung des Daches und der Aufenthaltsräume. Hieraus ergibt sich ein Handlungsbedarf.

10.11.2. Nutzungsalternativen

Tabelle 43: Bewertungsskala der Nutzungsalternativen

EPZ	Eignung		Handlungsbedarf
3,6-4	Optimal	Das Gebäude eignet sich optimal für die geprüfte Nutzung; möglicherweise geringe Anpassungen nötig	Kein bis kaum Handlungsbedarf im Zuge einer Umnutzung
2,8-3,5	Gut	Das Gebäude eignet sich gut für die geprüfte Nutzung; geringe Anpassungen nötig	Geringer Handlungsbedarf
1,9-2,7	Schlecht	Das Gebäude eignet sich schlecht für die geprüfte Nutzung; große Anpassungen nötig	Großer Handlungsbedarf
1-1,8	Nicht geeignet	Das Gebäude ist für angestrebte Nutzung ungeeignet	Sehr großer Handlungsbedarf, vergleichbar mit Neubau

Der Vergleich der Nutzungsalternativen „Lagergebäude“ versus „Produktionsgebäude“ am Beispiel des Gebäudes M60 lässt bei Werten für das Lagergebäude von 3,32 und für das Produktionsgebäude von 3,06 gemäß Bewertungsskala und Bewertungsergebnis den Schluss zu, dass für das

Gebäude die zukünftige Nutzung als Lager vorteilhafter ist, wobei beide Werte der gleichen Kategorie zugeordnet sind.

Bewertungssystem									
Bewertung der Nutzungsalternativen									
Rechtliche Rahmenbedingungen									30%
	EPZ Lager	EPZ Produktion	Gewichtung	Angep. Gewichtung	Gew. Lager	Gew. Produktion	Lager	Produktion	
Bauplanungsrecht			35%						
Zulässigkeit der Nutzung	4	4	100%	35%			1,40	1,40	
Bauordnungsrecht			33%						
Nutzungsänderung	2	2	40%	13%			0,26	0,26	
Brandschutztechnische Anpassungen	3	3	60%	20%			0,59	0,59	
Sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften			32%						
Denkmalschutz	4	4	50%	16%			0,64	0,64	
Weitere Anpassungsverlangen	2	2	50%	16%			0,32	0,32	
			100%						
							3,22	3,22	
Gebäudestruktur und -geometrie									40%
Lage	4	3			7,06%	13,79%	0,28	0,41	
Primärstruktur									
Lichte Raumhöhe	3	2			16,47%	10,34%	0,49	0,21	
Nutzungsfläche	4	4			12,94%	12,64%	0,52	0,51	
Tragkonstruktion	4	4			7,06%	2,30%	0,28	0,09	
Stützenabstand	3	4			15,29%	13,79%	0,46	0,55	
Anhängelasten	1	2			1,18%	11,49%	0,01	0,23	
Bautyp und Geschossigkeit	4	3			9,41%	6,90%	0,38	0,21	
Sekundärstruktur									
Nicht-tragende Innenwände	4	4			2,35%	6,90%	0,28	0,28	
Bodenbelag	4	4			15,29%	10,34%	0,41	0,41	
Bodentragfähigkeit	4	4			12,94%	11,49%	0,46	0,46	
					100,00%	100,00%			
							3,57	3,36	
Technische Gebäudeausrüstung (TGA) / Sonstige Ausstattung									30%
Industrielle Medienversorgung									
Gas	4	2			5%	35%	0,20	0,70	
Druckluft	4	2			5%	35%	0,20	0,70	
Sonstige Ausstattung									
Krananlagen	3	3			10%	10%	0,30	0,30	
Rolltore/Verladerampen	3	4			80%	20%	2,40	0,80	
					100%	100%			
							3,10	2,50	
Nutzung als Lagergebäude	83%						3,32		
Nutzung als Produktionsgebäude		76%						3,06	
							Gesamt Lager	Gesamt Produktion	

Abbildung 72: Bewertungsergebnis der Nutzungsalternativen für Gebäude M60.

11. Dienstleistungskonzepte für Rohstoffrückgewinnung, rohstoffbezogene Demontagetiefe (bearbeitet und erstellt von Re2area GmbH)

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für Bauleistungen sehen den Bauherrn als Auftraggeber in Verantwortung für Schäden, die von der Bautätigkeit ausgehen. Der Bauherr muss daher sicherstellen, dass Maßnahmen zur Schadensabwehr getroffen werden. Dies spiegelt sich auch in den Paragraphen §645 und §823 des Bürgerlichen Gesetzbuches (BGB) wider.

Bei Rückbaumaßnahmen schreiben die Mehrzahl der Landesbauordnungen in Deutschland vor, dass ab einem Rückbauvolumen von über 500 m³ BRI eine Anzeige- oder Bauantragspflicht besteht. Bestehen Verdachtsmomente hinsichtlich Gebäudeschadstoffe, so wird in der Regel eine systematische Untersuchung verdächtiger Bauteile und Bausubstanz mit der Erstellung eines Schadstoffkatasters von den Behörden gefordert. In der Praxis bedeutet die beschriebene rechtliche Situation, dass beim Rückbau größerer Bauwerke, zu denen Gewerbe- und Industriebauten mehrheitlich gehören, eine systematische Untersuchung der Bausubstanz auf Gebäudeschadstoffe erfolgt. Daraus wird dann von den beauftragten Planern ein Schadstoffkataster erstellt. Es enthält Aussagen über Art und Lage der in den Gebäuden vorhandenen Schadstoffe. Zudem werden üblicherweise die Massen der schadstoffhaltigen Bauteile ermittelt, um dem beauftragten Abbruchunternehmen eine entsprechende Angebotskalkulation zu ermöglichen. Die Aufgabe des Planers bei der Erstellung eines Schadstoffkatasters ist es, die vom Bauherrn bereitgestellten Unterlagen zu sichten und bei Bedarf zu ergänzen.

Da hinsichtlich der Gebäudeschadstoffe üblicherweise keine Informationen vorliegen, ist eine Erfassung und Analyse des betreffenden Gebäudes erforderlich. Diese gliedert sich in folgende Schritte:

- Erfassung und Bewertung des Rückbauobjektes (Bestandsaufnahme)
- Erfassung und Bewertung der Gefährdung durch Schadstoffe/Gefahrstoffe
- Darstellung des ordnungsgemäßen Entsorgungswegs
- Textliche und zeichnerische rechnerische Festlegung des Rückbaus

Als Fazit kann festgehalten werden, dass die Erstellung eines Schadstoffkatasters beim Rückbau der Mehrzahl der Industrie- und Gewerbegebäude eine Notwendigkeit darstellt, die für den Eigentümer zu erhöhten Kosten, jedoch auch zur Sicherstellung einer ordnungsgemäßen Entsorgung der anfallenden Bauabfälle führt.

Die Anteile metallischer Baustoffe hingegen sind nur in Ausnahmefällen vor dem Rückbau eines Gebäudes bekannt. Entsprechend finden sie auch nur ungenügend Berücksichtigung beim Abbruchgeschehen. Bei Gebäuden mit erkennbar hohem Metallanteil werden teilweise Angaben zur Vergütung der enthaltenen Metalle im Rahmen von Ausschreibungen gefordert. Allerdings entziehen sich die Verwertung der Metalle und damit auch die enthaltenen Werte dem Zugriff und der Steuerungsmöglichkeit des Eigentümers. Der Umfang des Recyclings der enthaltenen Metalle hängt von der Vorgehensweise und Sorgfalt des Abbruchunternehmens ab. Eine systematische Kenntnis über die in den Gebäuden enthaltenen Metalle und die Wirtschaftlichkeit ihrer Rückgewinnung besteht nicht.

Das entwickelte Dienstleistungskonzept für klein- und mittelständische Ingenieurdienstleister setzt bei der erforderlichen Erstellung des Schadstoffkatasters an. Ist das Schadstoffkataster nur eine Notwendigkeit für den ordnungsgemäßen Umgang mit den enthaltenen Schadstoffen, so ermöglicht das Rohstoffkataster gezielt die Rückgewinnung der in einem Gebäude enthaltenen Rohstoffe. Für den Eigentümer eines Gebäudes ergibt sich damit im Rahmen des Rückbaus die Möglichkeit, zusätzliche Erlöse über den Wert der in einem Gebäude enthaltenen Rohstoffe zu erzielen.

Das Rohstoffkataster wird von dem beauftragten Ingenieurbüro parallel zu dem erforderlichen Schadstoffkataster erstellt. Es enthält Aussagen über die in dem Gebäude enthaltenen metallischen Rohstoffe und den Materialwert. Die Auflistung und Quantifizierung der in einem Gebäude enthaltenen Metalle sowie der Materialwert dieser Metalle ist für eine gezielte Steuerung der Metallverwertung durch den Gebäudeeigentümer nicht ausreichend. Zusätzlich werden Informationen über den Aufwand zur Separation oder Demontage der metallhaltigen Bauteile aus dem Gebäude benötigt.

Es werden gezielt Handlungsansätze auf Bauteil- sowie Baustoffebene herausgearbeitet, um diese in Ansätze für Dienstleistungen einfließen zu lassen. Diese Dienstleistungen sollen zukünftig in Kombination mit den derzeit schon üblichen Ingenieurdienstleistungen bei Gebäuderückbau angeboten werden. Die Bedarfsanalyse stützt sich einerseits auf die Auswertung von bestehend und neu erhobene Gebäude- und Bauteildaten hinsichtlich ihrer materiellen Zusammensetzung. Anhand von Referenzgebäuden wird analysiert, welche Bauteile mit welcher stofflichen Zusammensetzung erfolgversprechende Ansätze zur Metallrückgewinnung bieten. Basierend auf der Bedarfsanalyse wird strukturiert ermittelt, für welche Baustoffe, Bauteile bzw. Gebäudetypen eine erfolgversprechende Metallrückgewinnung angestrebt werden kann. Die Ergebnisse werden anschließend in Anwendungsinstrumenten für Gebäudeeigentümer und Entscheidungsträger zusammengeführt.

11.1. Analyse metallischer Baustoffe hinsichtlich ihrer Relevanz

Ausgehend von der derzeitigen Praxis des Gebäuderückbaus ist eine gezielte Einflussnahme auf die Rückführung metallischer Baustoffe in den Stoffkreislauf nicht möglich. Ziel des vorliegenden Projektteils ist es daher, eine strukturierte Erarbeitung bestehender Handlungsansätze zur Steuerung der Metallverwertung aus dem Gebäuderückbau abzuleiten.

Die Preise für Recyclingmetalle sind während der Laufzeit des Projekts sehr stark gefallen. Von der aktuellen Krise bei den Ölpreisen sind auch die metallischen Rohstoffe betroffen. Teilweise betragen die Preise für Recyclingmetalle heute nur noch 30% bis 50% der Werte, welche noch vor ca. drei Jahren im Altmittelhandel bezahlt wurden. Die nachstehende Tabelle 44 gibt die aktuellen Altmittel- und Schrottpreise mit dem Stand Januar 2016 wieder. Diese Werte wurden auch den Berechnungen des erstellten Tools zugrunde gelegt.

Tabelle 44: Schrottpreise für verschiedene Metalle. Quelle: EUWID. Stand: Januar 2016.

Schrottart	Euro/ Kg
Mischschrott	0,140 €
Scherenschrott	0,160 €
Aluminium	0,850 €
Blei	1,150 €
Edelstahl	0,50 €
Kupferschrott	3,700 €
Messing	2,20 €
Zink	1,050 €

Preise sind von der Qualität des Schrotts abhängig

Nachfolgend werden typische Anwendungsbereiche der unterschiedlichen Metalle in der Bauindustrie erläutert.

- **Stahl:** Stahl wird vor allem für die Bewehrung von Beton verwendet. Die Preise beim Stahlschrott richten sich danach, welche Metalle in welchen Mengen vorhanden sind. Pauschal kann gesagt werden, dass sortenreiner Schrott immer wertvoller ist als Schrott der erst noch getrennt werden muss. Zudem sollte der Schrott keine Anhaftungen, wie etwa Holz oder Plastik, enthalten, da diese sonst in der Weiterverarbeitung erst aufwendig entfernt werden müssen. Stahlträger (Scherenschrott) erzielen daher aufgrund Ihrer definierten Qualität einen höheren Schrottpreis.
- **Aluminium:** In der Bauindustrie werden aus Aluminium Dächer, Beschläge, Griffe, Garagentore, Fenster, Türen und Carports hergestellt. Durch seine hohe Belastbarkeit werden teilweise auch Hallen und Zelte aus Aluminium produziert.
- **Blei:** Blei wird heute im Bausektor kaum noch eingesetzt. In der Vergangenheit gab es jedoch verschiedene Verwendungen für Bauteile aus Blei wie z.B. Blattblei für Dacharbeiten, Bleirohre oder Bleikabel.
- **Kupfer:** Im Bausektor wird Kupfer und die Kupferlegierung Messing für Rohrleitungen, Wasserhähne, Armaturen und Heizungsanlagen eingesetzt. Auf den Dächern kommt es in Form von Kupferdächern oder Regenrinnen zum Einsatz. Größere Mengen Kupfer fallen bei Kabeln, Heizungsanlagen, Dachrinnen und teilweise Wasserrohren an.
- **Zink:** Zink kommt im Baubereich in Brücken, Außengeländern, Außentreppen, Spielgeräten, Gartenmöbeln, Wintergärten, Terrassenüberdachungen sowie Garagen und Carports zum Einsatz.

11.2. Rohstoffbezogene Demontagetiefe

Ein wesentlicher Schritt zur Sicherstellung einer wirtschaftlichen Materialtrennung ist die Kategorisierung der Gebäudekomponenten nach Demontagekriterien, d.h. die Beantwortung der Fragen, mit welchem Demontageaufwand bei welchen Bauteilen Metalle zurückgewonnen werden können und wie die Gesamtwirtschaftlichkeit aus Demontageaufwand zu Materialerlös zu beurteilen ist. Unter Zuhilfenahme des im Rahmen des vorliegenden Projekts entwickelten Planungswerkzeugs wurden Modellrechnungen zur Wirtschaftlichkeit der Demontage und Separation metallhaltiger Bauteile durchgeführt.

In dem neu entwickelten Planungswerkzeug wurde hierzu die Funktion: "Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Metallrückgewinnung aus einem Gebäude" implementiert (vgl. Kapitel 11.4.2). Diese Planungskomponente arbeitet auf Basis einzelner Bauteile und Komponenten eines Gebäudes. Bei der Gebäudeerfassung werden alle metallhaltigen Komponenten eines Gebäudes erfasst. Ausgehend von ihrem Metallgehalt, dem erforderlichen Demontage- und Separationsaufwand sowie dem Wert der darin enthaltenen Metalle wird anschließend eine Prioritätenliste zur Separation der metallhaltigen Bauteile erstellt.

Wichtigstes Kriterium ist das Verhältnis aus Separationskosten und erzielbarem Materialwert der enthaltenen Metalle. Zusätzlich wird unterschieden, ob eine Gebäudekomponente separat demontiert werden kann oder ob die Separation im Rahmen des Abbruchvorgangs zu bevorzugen ist. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden verschiedene Gebäude auf Bauteilebene erfasst und die wirtschaftlich rückgewinnbaren Metallbauteile identifiziert.

11.2.1. Untersuchungsobjekt ehemalige Zuckerfabrik

Bei dem Untersuchungsobjekt handelt es sich um ein ehemaliges Raffineriegebäude. Die Auswertung erfolgte auf Basis vorhandener Daten bzw. Planunterlagen, die dem Verfasser vorlagen.



Abbildung 73: Luftbild der ehemaligen Zuckerfabrik.

Folgende Aspekte wurden erfasst:

- Die Materialzusammensetzung des Gesamtgebäudes
- Die Zusammensetzungen des als Stahlbaukonstruktion errichteten Innenausbau
- Die Zusammensetzung der Nebengebäude
- Die noch vorhandene Anlagentechnik, die nicht mehr weiterverwendet werden konnte.

Die vorgefundene Situation ist typisch für Industriebauten, die im Laufe der Jahre immer wieder an veränderte Produktionstechniken angepasst wurden. Im Inneren der Gebäude befindet sich eine – zumeist aussteifende - Konstruktion, welche die Produktionsanlagen und Maschinen trägt. Für die Ermittlung der wirtschaftlichen Demontierbarkeit wurde insbesondere diese Stahlkonstruktion im Innenausbau des Gebäudes herangezogen, welche auf Grundlage von Plänen bauteilscharf ermittelt wurde. Sie lässt sich vergleichsweise einfach im Rahmen des Rückbaus zurückgewinnen. Die Auswertung mit dem entwickelten Planungswerkzeug hat jedoch gezeigt, dass bei den zugrunde gelegten Stahlpreisen (Stand Januar 2016) nicht alle Teile der Stahlkonstruktion wirtschaftlich zurückgewonnen werden können. Insgesamt hatten die untersuchten Bauteile einen Schrottwert von rund 75.000 Euro, entsprechend einer Masse von rund 470 t Stahl (vgl. Tabelle 45).

Tabelle 45: Schrottwert des Stahl-Innenausbau der ehemaligen Zuckerfabrik

Bauteilgruppe	Bauteil	Hauptsächliches Material	Metalle	Gesamtmasse (kg)	Gesamtmaterialwert (Euro)	
Stützen, d.h. senkrechte Linie	Tragende Stützen	Stahl	Stahl	154.194	24.671	Euro
Decken	Deckenkonstruktion	Unterzüge aus Metall	Stahl	231.945	37.111	Euro
Dächer	Dachkonstruktion	Dachtragwerk aus Metall	Stahl	83.403	13.344	Euro
Gesamtmaterialwert:					75.127	Euro

11.2.2. Untersuchungsobjekt Schulgebäude

Als weiteres Untersuchungsobjekt wurden in einem Schulgebäude aus den 1960er Jahren die metallhaltigen Bauteile erfasst. Vergleichbar mit dem Vorgehen bei der ehemaligen Zuckerfabrik wurde auch hier der Wert der enthaltenen metallhaltigen Bauteile mit den Kosten für die Separation oder Demontage der Bauteile verglichen. Abweichend von der Situation bei dem Fabrikgebäude, welches zahlreiche Einbauten aus Stahl besaß, fanden sich in dem Schulgebäude nur wenige Bauteile, deren Material- oder Schrottwert so hoch ist, dass dieser Wert die Kosten für die Separation übersteigt. Als Konsequenz muss festgehalten werden, dass bei den sehr niedrigen Rohstoffpreisen (Stand Januar 2016) das vorgeschlagene Dienstleistungsmodell mit der Erstellung eines Rohstoffkatasters nicht immer wirtschaftlich umgesetzt werden kann. Tabelle 46 zeigt den Ertrag (Materialwert abzüglich Separations- bzw. Demontagekosten) für metallhaltige Bauteile in dem untersuchten Schulgebäude als Beton-Massivbau. Die Tabelle enthält jedoch lediglich die Bauteile mit positivem Ertrag. Das Gebäude enthielt noch 45 weitere metallhaltige Komponenten- gruppen, deren Demontage zu einem negativen Ertrag (Verlust) geführt hätte.

Tabelle 46: Ertrag Materialwert abzüglich Separations- bzw. Demontagekosten

Bauteilgruppe	Bauteil	Metalle	Gesamt- masse (kg)	Abbruch- methode	Ertrag (Euro)	
Elektroversorgungsanlagen, incl. Leitungen und Netze	Leitungen, Verteiler und Netze	Kupfer	1.950	Demontage	4.726	Euro
Elektroversorgungsanlagen, incl. Leitungen und Netze	Leitungen, Verteiler und Netze	Kupfer	190	Demontage	429	Euro
Lufttechnische Anlagen	Teil-/Klimaanlagen	Gusseisen, Kupfer	300	Abgreifen	289	Euro
Lufttechnische Anlagen	Teil-/Klimaanlagen	Gusseisen, Kupfer	300	Abgreifen	289	Euro
Lufttechnische Anlagen	Teil-/Klimaanlagen	Gusseisen, Kupfer	200	Abgreifen	184	Euro
Wärmeversorgungsanlagen	Wärmeerzeugungsanlage	Stahl	1.000	Abgreifen	111	Euro
Lufttechnische Anlagen	Teil-/Klimaanlagen	Gusseisen, Kupfer	80	Abgreifen	59	Euro

11.3. Objekt(Immobilien-)bezogene Planungshilfen

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts wurden zahlreiche NWG detailgenau analysiert. Die Ergebnisse wurden systematisch und untergliedert in die zugrunde gelegten Nutzungskategorien, Konstruktionstypen und Baualtersklassen in der Projektdatenbank gespeichert. Diese Datenbank bildet die Informationsplattform für die im Projekt PRRIG erforderlichen Berechnungen sowie die Ableitung von Handlungsempfehlungen und Planungshilfen.

Basierend auf der PRRIG Projektdatenbank wurden vier unterschiedliche Planungswerkzeuge entwickelt. Die Planungswerkzeuge werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben. Abbildung 74 zeigt die Startseite des PRRIG Rückbautools, von welcher die Anwender zu den unterschiedlichen Planungswerkzeugen gelangen können.

Für die Nutzung der Datenbank (Kapitel 5.4) ist zunächst jeweils der BRI der analysierten Gebäude erforderlich. Die Materialzusammensetzung der Gebäude kann auf zwei unterschiedliche Arten eingegeben werden, entweder in Form abgemessener oder abgezählter Komponenten und ihrer Rohstofffaktoren oder in Form von Rohstoffmassen. Zur Planung der wirtschaftlichen Rückgewinnung von Rohstoffen ist die erste Variante erforderlich, sie wird ebenfalls in dem Planungswerkzeug zur „Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Materialrückgewinnung“ (vgl. Kapitel 11.4.2) ermöglicht.

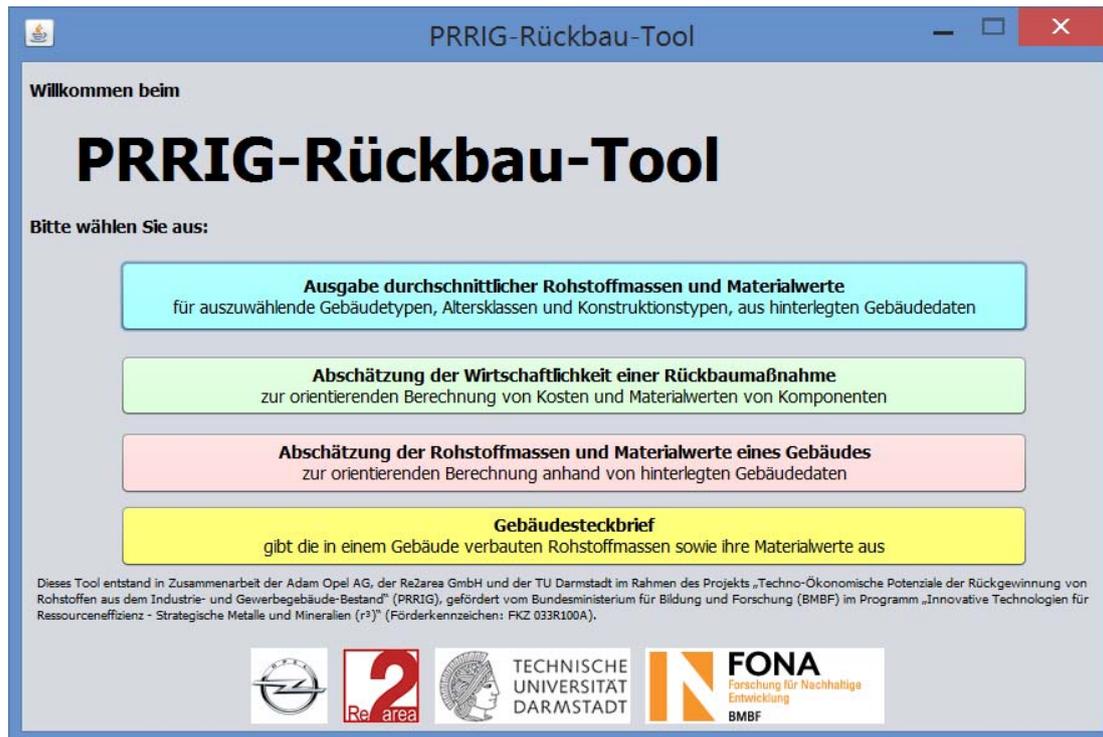


Abbildung 74: Startseite des PRRIG Rückbautools.

11.3.1. Planungsinstrument: Ausgabe durchschnittlicher Rohstoffmassen und Materialwerte

Das erste Planungswerkzeug dient der Ermittlung der durchschnittlichen Materialzusammensetzung von NWG und zielt auf regionale Stoffstromberechnungen bzw. auf die materielle Zusammensetzung von Gebäudebeständen ab. Das Planungswerkzeug generiert aus dem Datenbestand von PRRIG Durchschnittswerte für NWG, welche für erste Abschätzungen und regionale Berechnungen eingesetzt werden können.

Das Planungsinstrument greift auf die Gesamtheit der in PRRIG ermittelten stofflichen Zusammensetzungen von NWG zurück. Aus dem Datenbestand werden die Mittelwerte für die entsprechenden Gebäudetypen, Baualtersklassen sowie Konstruktionsarten ausgegeben. Die Ergebnisse werden jeweils in den Kennwerten „Rohstoffe je m³ BRI“, „Rohstoffe je m² BF“ (bebaute Fläche, also die Projektion des Gebäudes) sowie „Rohstoffe je m² BGF“ (Bruttogrundfläche) dargestellt.

Zur Nutzung des Planungswerkzeugs müssen die Parameter Gebäudetyp (z.B. Fabrik- und Werkstattgebäude), Baualtersklasse (z.B. 1958 bis 1968) sowie Konstruktionsweise (z.B. Massivbau) angegeben werden. Für den Fall, dass für die entsprechenden Parameter keine Gebäudedaten vorhanden sind bzw. Parameter nicht bekannt sind, kann für jede Kategorie auch „Unbekannt“ gewählt werden. In diesem Fall wird bei den in die Berechnung eingehenden Gebäuden nicht nach diesem Parameter gefiltert.

Die Ergebnisse des Planungsinstruments wurden als Grundlage für die Berechnung der regionalen Rohstoffinventare in der Untersuchungsregion Rhein-Main eingesetzt.

1. Schritt: Gebäudebasisdaten | 2. Schritt: Komponentenaufnahme | Alternative: Mengenaufnahme | **Ausgabe Rohstoffmassen per Gebäudetyp**

Rohstoffmassen und Materialwerte je BRI/BF/BGF für einen ausgewählten Gebäudetyp

Bedienung:
 In diesem Fenster können Sie Rohstoffmassen je m³ Brutto-rauminhalt (BRI) bzw. m² Bebaute Fläche (BF) und m² Brutto-Grundfläche (BGF) abfragen. Diese werden aus den in der Datenbank hinterlegten Gebäudeaufnahmen ermittelt. Wählen Sie dazu in den Dropdownmenüs einen Gebäudetyp, eine Baualterklasse und eine Konstruktionsart aus und klicken Sie anschließend auf "Berechnen". Wenn Sie bei der Baualterklasse oder Konstruktionsart "unbekannt" auswählen, so erfolgt die Berechnung über alle vorliegenden Altersklassen bzw. Konstruktionsarten.

Ergebnis:
 gefolgt von der ID des Gebäudes, in welchem dieser vorgefunden wurde. Die Spannweite gibt zusätzlich die Differenz zwischen dem kleinsten und größten Wert an. Auf der rechten Seite werden analog die Materialwerte der Rohstoffmassen angezeigt. Diese berücksichtigen noch keine Demontagerkosten. Durch Klick auf den Button "In Excel exportieren" wird für die jeweilige Tabelle eine Exceldatei erzeugt und auf Ihrem PC im Verzeichnis "C:"

Gebäudetyp: Büro- und Verwaltungsgebäude | **Baualterklasse:** unbekannt | **Berechnen**

Konstruktion: unbekannt | alle Konstruktionsart

Erklärung Gebäudetyp:
 oder zur Verwaltung genutzt werden. Gebäude der öffentlichen Verwaltung, wie z.B. Rathaus, Gericht, Gemeinde- oder Kreisverwaltung fallen ebenso wie Gebäude in denen Unternehmen gewerbsmäßig (z.B.) Geldgeschäfte betreiben unter diese Kategorie. Büro- und Verwaltungsgebäude der Polizei, des Bundesgrenz-, Feuer- und zivilen Bevölkerungsschutzes (auch Bundespolizei, Bundeswehr und Hilfsorganisationen) werden ebenfalls hierunter subsummiert.

Der Berechnung liegen Daten von 4 Gebäuden zugrunde.

Rohstoffmassen | **Materialwerte**

pro m3 BRI | **in Excel exportieren** | pro m3 BRI | **in Excel exportieren**

Rohstoff	Durchschnitt...	Min. (kg/m3)	Geb_ID	Max. (kg/m3)	Geb_ID	Spannweite
Stahl	25.78	2.30	PRRIG_000...	53.75	PRRIG_000...	51.45
Gusseisen	0.48	0.05	PRRIG_000...	0.91	PRRIG_000...	0.86
Kupfer	0.15	0.01	PRRIG_000...	0.40	PRRIG_000...	0.39
Aluminium	0.18	0.01	PRRIG_000...	0.37	PRRIG_000...	0.36
Zink	0.00	0.00	PRRIG_000...	0.00	PRRIG_000...	0.00
Beton	458.79	71.40	PRRIG_000...	1166.68	PRRIG_000...	1095.28
Holz	1.73	0.63	PRRIG_000...	2.83	PRRIG_000...	2.20

Rohstoff	Durchschnitt...	Min. (Euro/...)	Geb_ID	Max. (Euro/...)	Geb_ID	Spannweite
Stahl	4.12	0.37	PRRIG_000...	8.60	PRRIG_000...	8.23
Gusseisen	0.08	0.01	PRRIG_000...	0.15	PRRIG_000...	0.14
Kupfer	0.55	0.04	PRRIG_000...	1.48	PRRIG_000...	1.44
Aluminium	0.15	0.01	PRRIG_000...	0.32	PRRIG_000...	0.30
Zink	0.00	0.00	PRRIG_000...	0.00	PRRIG_000...	0.00
Beton	-2.29	-0.36	PRRIG_000...	-5.83	PRRIG_000...	5.48
Holz	0.00	0.00	PRRIG_000...	0.00	PRRIG_000...	0.00

pro m2 BF | **in Excel exportieren** | pro m2 BF | **in Excel exportieren**

Rohstoff	Durchschnitt...	Min. (kg/m2)	Geb_ID	Max. (kg/m2)	Geb_ID	Spannweite
Stahl	1839.23	18.25	PRRIG_000...	6964.52	PRRIG_000...	6946.27
Gusseisen	59.06	0.29	PRRIG_000...	117.83	PRRIG_000...	117.53
Kupfer	2.35	0.09	PRRIG_000...	4.80	PRRIG_000...	4.72
Aluminium	6.89	0.12	PRRIG_000...	18.52	PRRIG_000...	18.40
Zink	0.00	0.00	PRRIG_000...	0.00	PRRIG_000...	0.00
Beton	38970.07	567.58	PRRIG_000...	151172.01	PRRIG_000...	150604.43
Holz	16.56	3.42	PRRIG_000...	29.71	PRRIG_000...	26.29

Rohstoff	Durchschnitt...	Min. (Euro/...)	Geb_ID	Max. (Euro/...)	Geb_ID	Spannweite
Stahl	294.28	2.92	PRRIG_000...	1114.32	PRRIG_000...	1111.40
Gusseisen	9.45	0.05	PRRIG_000...	18.85	PRRIG_000...	18.81
Kupfer	8.69	0.32	PRRIG_000...	17.77	PRRIG_000...	17.45
Aluminium	5.85	0.10	PRRIG_000...	15.74	PRRIG_000...	15.64
Zink	0.00	0.00	PRRIG_000...	0.00	PRRIG_000...	0.00
Beton	-194.85	-2.84	PRRIG_000...	-755.86	PRRIG_000...	753.02
Holz	0.00	0.00	PRRIG_000...	0.00	PRRIG_000...	0.00

pro m2 BGF | **in Excel exportieren** | pro m2 BGF | **in Excel exportieren**

Rohstoff	Durchschnitt...	Min. (kg/m2)	Geb_ID	Max. (kg/m2)	Geb_ID	Spannweite
Stahl	130.23	82.39	PRRIG_000...	216.78	PRRIG_000...	134.39
Gusseisen	1.93	0.19	PRRIG_000...	3.67	PRRIG_000...	3.48
Kupfer	0.77	0.15	PRRIG_000...	1.39	PRRIG_000...	1.24
Aluminium	0.94	0.58	PRRIG_000...	1.30	PRRIG_000...	0.72
Beton	2286.67	696.51	PRRIG_000...	4705.35	PRRIG_000...	4008.85
Holz	6.63	2.20	PRRIG_000...	11.06	PRRIG_000...	8.86
Mauerwerk...	304.97	137.11	PRRIG_000...	565.47	PRRIG_000...	428.36

Rohstoff	Durchschnitt...	Min. (Euro/...)	Geb_ID	Max. (Euro/...)	Geb_ID	Spannweite
Stahl	20.84	13.18	PRRIG_000...	34.68	PRRIG_000...	21.50
Gusseisen	0.31	0.03	PRRIG_000...	0.59	PRRIG_000...	0.56
Kupfer	2.84	0.55	PRRIG_000...	5.14	PRRIG_000...	4.58
Aluminium	0.80	0.49	PRRIG_000...	1.11	PRRIG_000...	0.62
Beton	-11.43	-3.48	PRRIG_000...	-23.53	PRRIG_000...	20.04
Holz	0.00	0.00	PRRIG_000...	0.00	PRRIG_000...	0.00
Mauerwerk...	-4.57	-2.06	PRRIG_000...	-8.48	PRRIG_000...	6.43

Abbildung 75: Planungsinstrument: Ausgabe durchschnittlicher Rohstoffmassen und Materialwerte.

11.3.2. Planungsinstrument: Gebäudesteckbrief

Mit Hilfe der Gebäudesteckbriefe kann die stoffliche Zusammensetzung für jedes der in PRRIG untersuchten Gebäude abgerufen werden. Es eignet sich insbesondere für Vergleiche zu in anderem Zusammenhang ermittelten stofflichen Gebäudedaten aus der Literatur oder aus Ermittlung an realen Gebäuden.

Über das Drop-Down-Menü im oberen Bereich können alle Gebäude, die sich in der Datenbank befinden, ausgewählt werden. Der ausgegebene Gebäudesteckbrief gibt anschließend die stoffliche Zusammensetzung sowie die Werte der enthaltenen Sekundärrohstoffe in Euro an. Die Ausgabe der Werte erfolgt als absoluter Wert für das gesamte Gebäude sowie umgerechnet auf die Einheiten BRI, BF und BGF. Zusätzlich wird der Wert der gesamten Sekundärrohstoffe des Gebäudes als Summe angezeigt.

Die Berechnung des Wertes der enthaltenen Sekundärrohstoffe basiert auf den in dem Planungsinstrument hinterlegten Preisen für Sekundärrohstoffe. Diese Preise können jederzeit im Expertenmodus des Planungsinstruments editiert und den aktuell gültigen Sekundärrohstoffpreisen angepasst werden.

1. Schritt: Gebäudebasisdaten | 2. Schritt: Komponentenaufnahme | Alternative: Mengenaufnahme | **Gebäudesteckbrief**

Gebäudesteckbrief

Bedienung:
Wählen Sie im Dropdownmenü eines der in der Datenbank befindlichen Gebäude aus.

Ergebnis:
Ihnen werden dann die darin befindlichen Rohstoffmassen sowie Materialwerte insgesamt sowie pro m3 Bruttorauminhalt (BRI), m² bebauter Fläche (BF) und m² Brutto-Grundfläche (BGF) angezeigt.

Gebäude:
PRRIG_00023 Elektrowerkstatt

Rohstoffmassen:

Rohstoff	Massen (kg)	pro BRI(kg/m3)	pro BF(kg/m2)	pro BGF(kg/m2)
Stahl	6,305	1.25	14.56	5.48
Beton	531,390	105.33	1,227.23	462.08
Ziegel	30,826	6.11	71.19	26.81
Holz	12,149	2.41	28.06	10.56
Mauerwerk_Moertel	851,483	168.78	1,966.47	740.42

Materialwerte:

Rohstoff	Wert (Euro)	pro BRI(Euro/m3)	pro BF(Euro/m2)	pro BGF(Euro/m2)
Stahl	1009	0.20	2.33	0.88
Beton	-2657	-0.53	-6.14	-2.31
Ziegel	-462	-0.09	-1.07	-0.40
Holz	0	0.00	0.00	0.00
Mauerwerk_Moertel	-12772	-2.53	-29.50	-11.11

Gesamtmaterialwert: -14882 Euro

Abbildung 76: Planungsinstrument: Gebäudesteckbrief.

11.4. Planungshilfen für Akteure des Gewerbe-Immobiliensektors

Nachdem in Kapitel 11.3 die entwickelten Planungsinstrumente zu Ermittlung der durchschnittlichen Materialzusammensetzung von NWG vorgestellt wurden, werden im Folgenden die Planungshilfen vorgestellt, mit deren Hilfe sich konkrete Gebäude untersuchen oder planen lassen. Für die Akteure des Gewerbeimmobiliensektors wurden hierzu zwei sich ebenfalls im PRRIG Rückbautool befindliche einfache Planungswerkhilfen entwickelt, welche sich sowohl an Eigentümer von Gewerbeimmobilien, als auch an Akteure der Rückbau- und Recyclingbranche richten. Insbesondere auf Basis des Planungsinstruments „Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Metallrückgewinnung aus einem Gebäude“ können zukünftig auch Dienstleitungen von klein- und mittelständischen Firmen zur Optimierung der Metallrückgewinnung beim Gebäuderückbau angeboten werden.

11.4.1. Planungsinstrument: Abschätzung der Rohstoffmassen und Materialwerte eines Gebäudes

Mit Hilfe der orientierenden Ermittlung von Rohstoffgehalten von Gebäuden kann eine erste Voreinschätzung getroffen werden, welche Zusammensetzung und welchen Wert die in einem Gebäude enthaltenen Sekundärrohstoffe haben.

Die Planungshilfe erfordert die Eingabe des Gebäudetyps sowie der Baualtersklasse und der Konstruktionsweise. Auch hier ist für den Fall, dass Parameter nicht bekannt sind vorgesehen, in der entsprechenden Kategorie die Auswahl „unbekannt“ zu treffen. In diesem Fall wird bei den in die Berechnung eingehenden Gebäuden nicht nach diesem Parameter gefiltert. Zusätzlich wird eine Erklärung zu dem gewählten Gebäudetyp gegeben, so dass die Übereinstimmung mit dem untersuchten Gebäude einfacher geprüft werden kann.

Neben den genannten Parametern werden die Abmessungen des Gebäudes über die Eingabemaske erfasst. Über die Funktion „berechnen“ wird das Volumen des Gebäudes in m³ errechnet, welches näherungsweise als BRI des Gebäudes verwendet wird. Auf Basis des genäherten BRI wird anschließend die stoffliche Zusammensetzung des Gebäudes angegeben. Das Planungsinstrument errechnet hierbei einen Durchschnittswert und gibt zusätzlich den minimalen sowie den maximalen Wert für den gewählten Gebäudetyp aus der Datenbank an.

Neben der stofflichen Zusammensetzung wird der Wert der enthaltenen Sekundärrohstoffe in dem Gebäude errechnet und bezogen auf den einzelnen Rohstoff sowie als Summe ausgegeben.

Mit Hilfe des Planungsinstruments können Immobilienbesitzer oder Planer durch Eingabe von nur sehr wenigen Werten einen ersten Eindruck über die in einem Gebäude enthaltenen Sekundärrohstoffe und deren Wert gewinnen. Für das weitere Vorgehen bei der Planung eines anstehenden Rückbaus kann damit schnell eingeschätzt werden, ob eine Rückgewinnung der metallhaltigen Rohstoffe eine relevante Größenordnung bei der weiteren Planung einnehmen sollte.

Bedienung:
Dieses Tool ermöglicht eine interpolierte Abschätzung der in einem Gebäude befindlichen Rohstoffmassen und Materialwerte auf Grundlage der in der Datenbank hinterlegten Gebäudeaufnahmen. Bitte wählen Sie zunächst in den Dropdownmenüs den Gebäudetyp, die Baualtersklasse und die Konstruktionsart für das abzuschätzende Gebäude aus. Falls Ihnen die Baualtersklasse oder Konstruktionsart unbekannt ist, so werden Gebäudedaten aller Baualtersklassen bzw. Konstruktionsarten für die Abschätzung verwendet. Geben Sie danach Höhe, Breite und Länge des Gebäudes ein und klicken Sie auf "Berechnen".

Ergebnis:
Der Bruttorauminhalt (BRI) wird automatisch ermittelt. Für die abgeschätzten enthaltenen Rohstoffmassen und deren Materialwerte werden Ihnen jeweils der Durchschnitt aller aufgenommenen Gebäude mit der von Ihnen ausgewählten Konfiguration angezeigt, außerdem der jeweils niedrigste (Min) und höchste (Max) vorhandene Wert. Durch Klick auf den Button "in Excel exportieren" wird für die jeweilige Tabelle eine Exceldatei erzeugt und auf Ihrem PC im Verzeichnis "C:" gespeichert.

Gebäudetyp: Büro- und Verwaltungsgebäude
Baualtersklasse: unbekannt
Konstruktion: unbekannt alle Konstruktionstyp
Höhe: 12 m **Breite:** 35 m **Länge:** 52 m
BRI: 21840,00 m³ **Berechnen**

Erklärung Gebäudetyp:
Büro- und Verwaltungsgebäude sind Nichtwohngebäude, die überwiegend Flächen in Form von Büros und Verwaltungsräumen bereitstellen. Es handelt sich um Gebäude, die nahezu ausschließlich gewerblich oder zur Verwaltung genutzt werden. Gebäude der öffentlichen Verwaltung, wie z.B. Rathaus, Gericht, Gemeinde- oder Kreisverwaltung fallen ebenso wie Gebäude in denen Unternehmen gewerbsmäßig (z.B.) Geldgeschäfte betreiben unter diese Kategorie. Büro- und Verwaltungsgebäude der Polizei, des Bundesgrenz-, Feuer- und zivilen Bevölkerungsschutzes (auch Bundespolizei, Bundeswehr und Hilfsorganisationen) werden ebenfalls hierunter

Der Berechnung liegen Daten von 4 Gebäuden zugrunde.

Rohstoffmassen

Rohstoff	Durchschnitt (kg)	Min. (kg)	Max. (kg)
Stahl	563035	50232	1173900
Gusseisen	10483	1092	19874
Kupfer	3276	218	8736
Aluminium	3931	218	8081
Zink	0	0	0
Beton	10019974	1559376	25480291
Holz	37783	13759	61807

Materialwerte

Rohstoff	Durchschnitt (Euro)	Min. (Euro)	Max. (Euro)
Stahl	89981	8081	187824
Gusseisen	1747	218	3276
Kupfer	12012	874	32323
Aluminium	3276	218	6989
Zink	0	0	0
Beton	-50014	-7862	-127327
Holz	0	0	0

in Excel exportieren **in Excel exportieren** **Gesamtmaterialwert:** 5023 Euro

Abbildung 77: Planungsinstrument: Abschätzung der Rohstoffmassen und Materialwerte eines Gebäudes.

11.4.2. Planungsinstrument: Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Rückbaumaßnahme

Der Einsatz des Planungsinstruments zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Rohstoffrückgewinnung von insbesondere Metall aus einem Gebäude schließt sich an die orientierende Ermittlung der Rohstoffgehalte an. Bei Gebäuden mit einem hohen Anteil metallischer Bauteile ist die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit der verbauten Metalle zu empfehlen.

Der Einsatz des Planungsinstruments erfolgt als externe Dienstleistung. Der Auftraggeber oder Eigentümer des Gebäudes erhält hierbei Informationen, welche Bauteile mit welchen Materialwerten sich wirtschaftlich aus dem Gebäude ausschleusen und direkt verwerten lassen. Ziel des Dienstleistungsmodells ist es, dass die erbrachten Vorleistungen und Planungskosten durch die erzielten Verwertungserlöse bzw. gesenkten Kosten beim Gebäuderückbau mindestens ausgeglichen werden müssen.

Die Nutzung des Planungsmodells erfordert die Erfassung des zu untersuchenden Gebäudes auf Basis von Bauteilen und Komponenten. Zumeist ist es jedoch ausreichend, nur die metallhaltigen Gebäudeteile zu erfassen und die mineralischen Anteile der Kalkulation des Rückbauunternehmens zu überlassen. Für die Erfassung der Komponenten verfügt das Planungsinstrument über eine gesonderte Eingabemaske. Rohstofffaktoren zu den jeweiligen Bauteilen sind bereits hinterlegt und werden vom Planungsinstrument vorgeschlagen, so dass diese nicht erneut ermittelt werden müssen.

Abbildung 78 stellt beispielhaft die Eingabe einer neuen Komponente Kupferkabel mit der Bezeichnung „NHMH-J 5 x 25 mm²“ dar. Es handelt sich dabei um ein 5-adriges Kabel mit einem Leitungsquerschnitt von 5 x 25 mm². Die Gesamtlänge des Kabels im Gebäude beträgt 79 m. Das Planungsinstrument errechnet aus den hinterlegten Daten den Kupferanteil von rund 2,1 kg pro Meter sowie die Gesamtmasse an Kupfer von 94,80 kg. In der nachfolgenden Berechnung und Auswertung wird der Sekundärrohstoffwert des Kabels ermittelt und den Kosten, für seine Demontage gegenübergestellt. Aus der Differenz ergibt sich die Empfehlung des Programms, ob eine gesonderte Demontage des Kupferkabels für den Auftraggeber oder Gebäudeeigentümer wirtschaftlich empfehlenswert ist.

Das gesamte Gebäude oder auch nur die metallhaltigen Komponenten werden so in das Planungsinstrument eingegeben. Bei Komponenten, für welche noch keine Rohstoffkennwerte vorliegen oder die von den vorgeschlagenen Rohstoffkennwerten abweichen, können eigene Werte für Gewicht und Materialzusammensetzung erfasst werden. Einen Ausschnitt aus dem Bestand der Gebäudekomponenten am Beispiel eines Schulgebäudes zeigt Abbildung 79.

Zur Aufnahme einer Komponente wählen Sie bitte zunächst die Bauteilgruppe, das Bauteil und das hauptsächlichste Material der Komponente aus. Zu Bauteilgruppe und Bauteil werden Ihnen Informationen angezeigt, die die Zuordnung der Komponente erleichtern sollen.
 Geben Sie anschließend unten links die vorhandene Anzahl der Komponenten ein. Beachten Sie dazu auch die angezeigte Einheit, in welcher die Komponente gemessen werden soll. Für Anmerkungen wie beispielsweise Messungenauigkeiten steht Ihnen ein entsprechendes Eingabefeld zur Verfügung.
Bitte beachten Sie, dass als Dezimaltrennzeichen ein Punkt statt Komma verwendet werden muss!
 Auf der rechten Hälfte dieser Eingabemaske können Sie der Komponente einen Rohstoffkennwert zuweisen. Dieser gibt die Rohstofffaktoren an, d.h. die Mengen jedes einzelnen Rohstoffes, die pro Einheit der Komponente zu erwarten sind.
 Sie können im Dropdownmenü aus bereits vorgegebenen Rohstoffkennwerten wählen. Alternativ können Sie eigene Kennwerte eingeben, die Ihnen auch für spätere Komponentenaufnahmen zur Verfügung stehen. Wählen Sie dazu im Dropdownmenü "neu eintragen" aus und geben Sie eine möglichst aussagekräftige Bezeichnung sowie eine Quelle für die Werte ein. Füllen Sie dann bei allen enthaltenen Rohstoffen die entsprechenden Mengen aus.
 Falls Sie noch keinen Rohstoffkennwert zuordnen möchten, so wählen Sie im Dropdownmenü bitte "nicht vergeben" aus.
 Durch Klicken auf den Button "Speichern" wird sowohl die Komponente als auch ein möglicherweise neu generierter Rohstoffkennwert gespeichert.

Gebäude: PRRIG_00017 Schulgebäude

Bauteilgruppe:

Bauteil:

Material:

vorgegebene Rohstofffaktoren:

Bezeichnung Rohstofffaktoren:

Quelle:

Bauteilgruppe:
 Starkstromanlagen resp. „Niederspannungsanlagen“ sind elektrische Anlagen, die mit Wechselspannungen unter 1 kV betrieben werden. Hierunter fallen alle Anlagen zur Erzeugung, Umwandlung, Speicherung, Fortleitung, Verteilung und zum Verbrauch elektrischer Energie. Insbesondere fallen darunter alle Kabel und Leitungen incl. ihrer Verlegesysteme etc.

Bauteil:
 In diese Kategorie zählt bei PRRIG alles, was den elektrischen Strom von der Erzeugung bzw. Grundstücksanschlussstelle zu seinem Verbrauchsort leitet, also das gesamte Netz bestehend aus Kabel, Leitern und Verteilern und seinem zugehörigen Verlegesystem.

Anzahl: m Leitung

Masse pro Einheit: kg / m Leitung

Gesamtmasse: kg

Anmerkung:

Metallische Rohstoffe:

Stahl: kg / m Leitung
 Edelstahl: kg / m Leitung
 Gusseisen: kg / m Leitung
 Kupfer: kg / m Leitung
 Aluminium: kg / m Leitung
 Zink: kg / m Leitung
 Blei: kg / m Leitung

Sonstige Rohstoffe:

Beton: kg / m Leitung
 Ziegel: kg / m Leitung
 Holz: kg / m Leitung
 Mauerwerk+Mörtel: kg / m Leitung
 Glas: kg / m Leitung
 Kunststoff: kg / m Leitung
 sonstige: kg / m Leitung

Abbildung 78: Eingabemaske zur Erfassung neuer Gebäudekomponenten.

1. Schritt: Gebäudebasisdaten | 2. Schritt: Komponentenaufnahme | 3. Schritt: Festlegung der Abbruchkosten | Abschätzung Wirtschaftlichkeit | Gebäudesteckbrief

Bedienung:
 Nachdem Ihr Gebäude mit seinen grundlegenden Informationen im vorangegangenen Schritt in die Datenbank aufgenommen wurde, können Sie nun mit der Aufnahme einzelner Komponenten fortfahren. Bitte wählen Sie dazu zunächst Ihr Gebäude im Dropdownmenü aus und klicken Sie danach unten links auf "neue Eingabe". Um bereits eingegebene Komponenten zu betrachten oder zu modifizieren, wählen Sie diese bitte mit einem Doppelklick aus der Liste aus. Falls Sie für Ihr Gebäude keine detaillierte Aufnahme in Form von einzelnen Komponentenzählungen vorliegen haben, so können Sie im nachfolgenden Fenster "Alternative: Mengenaufnahme" stattdessen direkt Rohstoffmassen ihres Gebäudes eingeben.

Gebäude:

ID	Bauteilgruppe	Bauteil	Material	Wert	Einheit	Masse (kg)	Anmerkung	Rohstoffkennwert
13	Wände, d.h. senkrechte ...	Nichttragende Wände, i...	Sonstige	0.03	m2 Wandfläche	112.00	m²	ja
18	Wände, d.h. senkrechte ...	Nichttragende Wände, i...	Sonstige	1.60	m2 Wandfläche	12.24	m²	ja
5	Fenster	Fensterflügel	Fenster- und Ornamentg...	19.14	m2 Scheibenfläche	0.07	m²	ja
6	Fenster	Fensterflügel	Fenster- und Ornamentg...	514.92	m2 Scheibenfläche	0.13	m²	ja
7	Fenster	Fensterflügel	Fenster- und Ornamentg...	64.18	m2 Scheibenfläche	0.17	m²	ja
8	Fenster	Fensterrahmen	Holz	8.00	Stück	0.08	Stück	ja
9	Fenster	Fensterrahmen	Holz	25.00	Stück	0.30	Stück	ja
10	Fenster	Fensterrahmen	Holz	81.00	Stück	0.45	Stück	ja
2	Türen	Türblatt/Tor	Holz	16.63	m2 Türblattfläche	0.58	m²	ja
14	Türen	Türblatt/Tor	Holz	13.02	m2 Türblattfläche	3.43	m²	ja
15	Türen	Türblatt/Tor	Holz	13.44	m2 Türblattfläche	5.65	m²	ja
16	Türen	Türblatt/Tor	Holz	23.52	m2 Türblattfläche	4.76	m²	ja
17	Türen	Türblatt/Tor	Holz	5.88	m2 Türblattfläche	1.02	m²	ja
3	Türen	Türblatt/Tor	Stahl	3.36	m2 Türblattfläche	59.52	m²	ja
4	Türen	Türblatt/Tor	Stahl	1.68	m2 Türblattfläche	29.76	m²	ja
11	Dächer	Dachbelag	Glas	5.62	m2 Dachbelagsfläche	11.50	m²	ja
23	Dächer	Dachbelag	Metallbleche	1,771.48	m2 Dachbelagsfläche	7.00	m²	ja

Abbildung 79: Komponenten des untersuchten Schulgebäudes.

Basierend auf allen aufgenommenen Gebäudekomponenten erfolgen die Berechnungen zur Auswertung. Für jede Komponente wird das Verhältnis von Demontage- oder Separationskosten zu dem Wert der enthaltenen Sekundärrohstoffe errechnet.

In die Berechnung fließen folgende Parameter ein:

- **Materialzusammensetzung der Komponente:** Die Materialzusammensetzung wird bei der Gebäudeaufnahme ermittelt. Unterstützt wird dies durch die im Planungswerkzeug hinterlegten Rohstofffaktoren. Das Editieren der Daten ist im Expertenmodus möglich.
- **Preise für Sekundärrohstoffe:** In dem Planungswerkzeug sind die Preise für Sekundärrohstoffe hinterlegt. Eine Anpassung an regionale Unterschiede oder veränderte Rohstoffpreise ist im Expertenmodus möglich.
- **Aufandswerte für die Separation oder Demontage der Komponenten:** Jeder Komponente muss im Expertenmodus eine Abbruchmethode zur Separation oder Demontage sowie ein Zeit-Aufandswert zugeordnet werden. Diese Bearbeitung ist nur mit Expertenwissen möglich. Zur Unterstützung sind jedoch bereits Aufandswerte für einzelne Komponenten hinterlegt.
- **Kosten für die eingesetzten Abbruchtechniken:** Zur erleichterten Eingabe wurden bereits folgende drei Abbruchtechniken in dem Planungsinstrument implementiert: Demontage, Abgreifen mit einem Longfrontbagger, Schneiden mit Schrottschere und Longfrontbagger. Im Expertenmodus können die hinterlegten Werte bearbeitet und ergänzt werden.

Die nachstehende Abbildung 80 zeigt die Ausgabe des Planungsinstruments zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Metallrückgewinnung aus einem Gebäude.

Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Metallrückgewinnung aus einem Gebäude

Bedienung:
Dieses Tool ermöglicht Ihnen eine Abschätzung der möglichen Erträge bzw. Kosten der Metallrückgewinnung aus einem Gebäude, für dessen Komponenten Anzahl und Rohstoffkennwerte in der Datenbank vorhanden sind. Wählen Sie dazu im Droppedownmenü das gewünschte Gebäude aus.

Ergebnis:
In der oberen Tabelle werden Ihnen zunächst die zusammengezählten Rohstoffmassen der Metalle aus den verschiedenen Komponententypen angezeigt sowie der Gesamtmaterialewert. Dieser beinhaltet noch keine Personal- bzw. Gerätekosten für den Rückbau. In der unteren Tabelle sind alle metallhaltigen Komponenten einzeln aufgelistet. Wählen Sie eine Komponente mit Doppelklick aus, und es erscheint ein neues Fenster, in welchem Sie die Parameter für den Rückbau festlegen. Danach erscheint in der Tabelle der Rückbauertrag für die Komponente. Unterhalb der Tabelle wird der Gesamtertrag aus allen Komponenten angezeigt, für welche Rückbauparameter angegeben wurden. Durch Klick auf den Button "in Excel exportieren" wird für die jeweilige Tabelle eine Exceldatei erzeugt und auf ihrem PC im Verzeichnis "C:" gespeichert. Über "Drucken" kann die Tabelle direkt ausgedruckt werden.

Gebäudename: PRRIG_00019 Fabrikgebäu...

Vorkommen von Metallen:

Bauteilgruppe	Bauteil	Material	Metalle	Gesamtmasse (kg)	Gesamtmaterialewert (Euro)
Stützen, d.h. senkrechte Linie	tragende Stützen	Stahl	Stahl	154194.36	24671.10
Decken	Deckenkonstruktion	Unterzüge aus Metall	Stahl	231945.00	37111.20
Dächer	Dachkonstruktion	Dachtragwerk aus Metall	Stahl	83402.71	13344.43

Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Metallrückgewinnung:

ID	Bauteilgruppe	Bauteil	Material	Metalle	Masse (kg/Einheit)	Gesamtmasse (kg)	Abbruchmethode	Ertrag (Euro)
54	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	42.60	1495.26	Schneiden mit Schro...	-164.41
55	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	51.20	563.20	Schneiden mit Schro...	-36.39
56	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	71.50	1254.83	Schneiden mit Schro...	-1.05
57	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	117.00	14433.12	Schneiden mit Schro...	536.00
58	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	248.00	5198.08	Schneiden mit Schro...	530.39
59	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	187.00	9630.50	Schneiden mit Schro...	800.57
60	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	125.00	1462.50	Schneiden mit Schro...	65.81
61	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	189.00	105932.61	Schneiden mit Schro...	10503.58
62	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	238.00	1225.70	Schneiden mit Schro...	122.08
63	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	248.00	5198.08	Schneiden mit Schro...	530.39
64	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	248.00	5198.08	Schneiden mit Schro...	530.39
65	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	278.00	1626.30	Schneiden mit Schro...	159.30
66	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	42.00	245.70	Schneiden mit Schro...	-27.96
67	Stützen, d.h. senkrechte...	tragende Stützen	Stahl	Stahl	33.20	730.40	Schneiden mit Schro...	-136.14

in Excel exportieren

Drucken Aktualisieren in Excel exportieren Gesamtertrag: -2906.92 Euro

Abbildung 80: Ausgabe des Planungsinstruments: Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Rückbaumaßnahme.

Für die Abbildung wurde beispielhaft der Stahlinnenausbau des untersuchten Fabrikgebäudes aus Kapitel 11.2.1 gewählt. Für jede der enthaltenen Stahlträger wurde so errechnet, welcher Erlös abzüglich der erforderlichen Demontagekosten zu erzielen ist. In dem kleinen Feld unten rechts wird der mögliche Gesamtertrag dargestellt. Dieser beläuft sich auf rund -3.000 Euro. Das Ergebnis bedeutet also, dass der Rückbau der Stahlkonstruktion annähernd kostenneutral erfolgen kann. Der Schrottwert entspricht in etwa den erforderlichen Kosten für den Rückbau. Der Materialwert des Stahls entspricht rund 75.000 Euro (vgl. Kapitel 11.2.1).

12. Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen

Für die Sicherung der Rohstoffbasis und zur Erreichung der Zielsetzungen einer nachhaltigen Entwicklung ist die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen aus dem „anthropogenen Lager“ eine wesentliche Handlungsstrategie. Vor diesem in der Einleitung beschriebenen Hintergrund konzentrierte sich das Projekt PRRIG auf die Erarbeitung der notwendigen Informationsgrundlagen zur Charakterisierung der Materialbestände und -flüsse aus dem Bestand der Nichtwohngebäude.

Diese Forschungsfrage erhält derzeit angesichts der großen Materialinventare des Baubereichs zunehmende Aufmerksamkeit. Während der Laufzeit des Projekts PRRIG fanden hierzu im internationalen Bereich mehrere Forschungsaktivitäten statt, mit denen zum Teil ein direkter Austausch bestand. Die in der Literatur publizierten Untersuchungen von Materialgehalten im Gebäudebereich betrachten verschiedene Größenordnungen. Forschungsprojekte wie „KartAI“ (Schiller et al., 2015) fokussieren sich auf großskalige Inventare deutschlandweiter Bestände, welche sowohl Gebäude als auch andere langlebige Güter umfassen. (Buschmann et al., 2015 sowie Daxbeck et al., 2015) erzielen ebenfalls eine Inventarermittlung aus allen Gütern inklusive des Gebäudebestands für die Region Steiermark. (Tanikawa et al. 2015) schätzt das Inventar der Baustoffe in Japan ab. Für verschiedene Städte wurden regionale Fallstudien durchgeführt: (Kleemann et al., 2015) ermittelt Materialinventare in Wien, (Michel et al. 2012) für die Stadt Orleans und (Tanikawa und Hashimoto 2009) untersuchen verschiedene urbane Regionen im Vereinigten Königreich und in Japan.

Die Herangehensweise von PRRIG betrachtet spezifisch die regionale Ebene. Diese Betrachtungsweise, die am Beispiel der Projektregion Rhein-Main umgesetzt wurde, kann als eine besonders geeignete Skala für die Planung und Entwicklung von Strategien für das Management und die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen aus dem Baubestand betrachtet werden. Zum einen existieren hier häufig spezifische etablierte administrative Strukturen, die u.a. nutzbare Datengrundlagen zur Verfügung stellen, aber auch für Maßnahmen der Raumplanung und der Kreislaufwirtschaft Ansprechpartner als auch handelnde Akteure sein können. Zum anderen bedarf es eines regionalen Blicks auf die Logistik von Bauabfällen, um Strategien zur Rückgewinnung und Optimierung der Stoffflüsse zu entwickeln. Vor allem bei mineralischen Bauabfällen ist bekannt, dass längere Transportdistanzen die Recyclingraten aus ökonomischen Gründen signifikant verringern (Hiete et al. 2011). Die Obergrenze der ökonomisch tragbaren Distanzen wird bei 50 - 70 km angenommen, zusätzlich fokussieren sich sowohl Angebot als auch Nachfrage der Bauabfälle auf urbanisierte Regionen (Knappe et al. 2010). Beide Faktoren entsprechen der Größenordnung der Rhein-Main-Region. Dies gilt in modifizierter Form auch für andere Rohstoffe: So hat die metallproduzierende Industrie zwar ein erheblich größeres Einzugsgebiet für ihre Versorgung mit Sekundärmaterialien wie Stahlschrott, sie hat jedoch keinen direkten Kontakt zu den Anfallstellen (z.B. Abbruchbaustellen). Vielmehr erreichen sie die Sekundärrohstoffe über eine sekundäre Wertschöpfungskette, welche zu großen Teilen auf regionaler Basis von kleinen und mittelständischen Betrieben unterhalten wird (Gesellschaft für Innovationsforschung und Beratung mbH 2009). Da diese Unternehmen einen maßgeblichen Einfluss auf die Sortierung und Bündelung von Abfällen haben, sind sie für die Verbesserung der Qualität von Sekundärmaterialien und für die

Schließung der Stoffkreisläufe besonders wichtig und können ebenfalls gut über die regionale Ebene erreicht werden.

Die Ergebnisse des Projekts PRRIG lassen sich dem in Abbildung 2 (Einleitung) gezeigten Schema zuordnen: als wissenschaftliche Grundlagen wurden **Instrumente und methodische Vorgehensweisen** erarbeitet, mit denen sodann Rohstoffkennwerte und geodatenbasierte Kataster zur **Ermittlung von Rohstoffinventaren** im NWG-Bereich entwickelt wurden; diese Inventare stellen die Grundlage dar, um mittels Szenarien und eines Materialflussmodells **zukünftige Stoffströme** zu modellieren. Die wissenschaftlichen Grundlagen und Erkenntnisse flossen sodann in **anwendungsorientierte Planungshilfen** ein.

Instrumente und methodische Vorgehensweisen

Im Bereich der Instrumente und methodischen Vorgehensweisen lag ein Schwerpunkt auf der Schaffung der theoretischen Voraussetzungen für ein GIS-basiertes Gebäudekataster für NWG. Eine Grundlage dafür war die im Projekt erarbeitete Gebäudetypologie. Diese konnte als geeignete Gruppierung für detaillierte Gebäudeaufnahmen und die Geodatenmodellierung angewendet werden. Insbesondere die hohe Auflösung der Gebäudegruppierungen sowie die hierarchische Organisation der PRRIG-Gebäudetypologie erlaubten eine einfache Handhabung. Eine detaillierte Zuordnung zu den im Projekt durchgeführten Gebäudeaufnahmen konnte über die Typologie gewährleistet werden.

Grundlage des GIS-basierten Gebäudekatasters für NWG war das flächendeckende Geobasisdaten-Modell ALKIS. Die in PRRIG entwickelte methodische Vorgehensweise ist in mehreren Aspekten vergleichbar mit in der Literatur beschriebenen Herangehensweisen, beinhaltet jedoch spezifische Eigenschaften und Erweiterungen. Typ-Alters-Matrizen wurden bereits in verschiedenen Studien verwendet (z.B. Kohler und Hassler 2002), ebenso GIS-basierte Herangehensweisen (z.B. Tanikawa et al. 2015, Kleemann et. al 2016). Unter zusätzlicher Nutzung von Baualtersklassen aus weiteren Quellen konnte eine Datenbasis zusammengestellt werden, welche innerhalb einer Region Informationen aus einzelnen Gebäuden zu Informationen über den gesamten Gebäudebestand aggregiert. Dies ermöglicht zukünftig die Einbindung weiterer Informationsquellen zu einzelnen Gebäuden aus Literatur, Expertenschätzungen oder Datenbanken, und erlaubt prinzipiell eine Analyse des Gebäudebestands auf hoher Detaillierungsstufe spezifiziert nach Gebäudetyp und Altersklasse.

Wie das Projekt im Gebiet des Bundeslandes Hessen gezeigt hat, ist jedoch bei alleiniger Verwendung des ALKIS Gebäudemodells im LoD I die Datenlage nicht ausreichend. Dies machte die Integration weiterer Datenquellen erforderlich. Die Verschneidung der Flächennutzungen aus ALKIS brachte einen deutlichen Mehrwert der Gebäudetypzuordnungen. Problematisch bleiben in diesem Zusammenhang jedoch Gebäudetypen wie Krankenhäuser, Hochschulen, Bibliotheken und weitere, welche in vielen Fällen eine identische Kategorisierung „öffentliche Gebäude“ der Fläche aufweisen und sich folglich über diese Methodik nicht eindeutig integrieren lassen. Ein weiteres grundsätzliches Problem ist darin zu sehen, dass vorhandene Daten- und Kartengrundlagen keine Informationen über das reale Baujahr von Gebäuden dokumentieren. Das hessische

Gebäudekataster in ALKIS erfasst diese Information seit der Umstellung von ALK/ALB auf ALKIS nicht mehr. Aus diesem Grund wurden weitere Datensätze der Region gesichtet und mit der RegioMap (Regionalverband FrankfurtRheinMain, 2015b) der Region Frankfurt ein potenzieller Datensatz identifiziert, welcher so diese Datenlücke in Teilen schließen konnte. Über Regiomap war es möglich, das Jahr der ersten Bebauung einer Fläche zu ermitteln. Hier sind weder Umbauten noch vollständige Abrisse und Neubauten dokumentiert. Dies ist insbesondere ein Datenqualitätsmangel, wenn mit lebensdauerbasierten Modellansätzen gearbeitet werden soll. Als Empfehlung sollten daher zukünftig entsprechende Informationen erhoben und zugänglich gemacht werden, wie dies z.T. in anderen Forschungsprojekten auf internationaler Ebene der Fall ist.

Hinsichtlich der allgemeinen Nutzbarkeit der für Rhein-Main erarbeiteten Vorgehensweise ist darauf hinzuweisen, dass jedes Bundesland andere Kategorien und Qualitäten im ALKIS Datensatz erfasst und die Bereitstellung der erforderlichen Daten lizenzrechtlich sehr heterogen ist. Von kostenfreier Datenbereitstellung im Rahmen aktueller OpenData Bestrebungen bis hin zu sehr preisintensiven Angeboten, auch für Forschung und Lehre. Zentrale, deutschlandweit harmonisierte Datensätze, wie die der Zentralen Stelle Hauskoordinaten, Hausumringe und 3D-Gebäudemodelle (ZSHH) werden derzeit nicht frei für Forschungsprojekte lizenziert. Eine Bereitstellung wurde im Rahmen des Projektes angefragt und wäre nur über ein offizielles Amtshilfverfahren durch das BMBF an das für das Bundesamt für Geodäsie und Kartographie und die ZSHH zuständige Bundesministerium des Innern möglich gewesen, konnte aus organisatorischen und zeitlichen Gründen jedoch nicht durchgeführt werden. Diese Randbedingungen müssen für künftige Forschungsprojekte im Rahmen der Antragsstellung entsprechend berücksichtigt bzw. möglichst schon im Vorfeld eingeleitet werden. Wünschenswert ist es daher, zukünftig die Datenaufnahme, Speicherung und Auswertung auf offizieller bzw. amtlicher Seite kleingliedriger vorzunehmen und die Daten für die Forschung einfacher und preisgünstiger bereitzustellen.

Ermittlung von Rohstoffinventaren

Die Ermittlung von Rohstoffinventaren basierte auf der Bestimmung von Rohstoffgehalten, die mit den Informationen zum Gebäudebestand zusammengeführt werden können; als geeignete Referenzgröße wurde der Bruttorauminhalt verwendet. Zur Ermittlung von Kenngrößen wurden unterschiedliche Zugänge geprüft und hierfür u.a. eine Komponententypologie anhand der DIN für die Kostenermittlung in Form einer Komponentenliste erstellt. Der Zugang zur Rohstoffinventaren eines Gebäudes über Komponenten wurde im Projekt selbst nicht weiter verfolgt: erste Schwierigkeiten traten bei unterschiedlicher Anzahl an (Unter-)Baugruppen und einzelnen Bauteilen für eine Komponente auf, als diese für die Datenbank in eine einheitliche Struktur gebracht werden mussten; auch ist die Datenerhebung äußerst aufwendig angesichts sehr unterschiedlicher Varianten der Konstruktion und Materialgehalte von Gebäuden. Trotzdem ist dieser Weg konzeptionell von großem Interesse. Insbesondere ist zu empfehlen, dass verbaute Rohstoffe schon in der Planungsphase von Neu- und Umbauten aufgenommen und dokumentiert werden. Hilfreich ist hier ein standardisiertes Aufnahme- und Dokumentationsmittel, wie beispielsweise der aus dieser Forschung hervorgegangene Gebäude- und Materialpass.

Im Projekt wurden die Rohstoffgehalte von NWG durch empirische Untersuchungen realer Gebäude ermittelt. Als theoretische Grundlage hierfür wurde das Vorgehen der Bestandsaufnahme von Gebäuden kategorisiert und eine Empfehlung zur Vorgehensweise einschließlich einer Rohstofffassungsmethodik gegeben. Durch die Dokumentation der identifizierten (Sekundär-)Rohstoffe in dem eigens dafür ausgearbeiteten Gebäude- und Materialpass sind die Daten einer Bestandsaufnahme für weitere Planungen zum Bestandsgebäude in strukturierter Form dokumentiert und gesichert.

Die Ermittlung der spezifischen Materialgehalte basiert auf der Datenanalyse von 19 NWG. Deren Auswahl umfasst für die Projektregion typische Gebäudetypen und Altersklassen, kann jedoch aufgrund ihrer geringen Anzahl statistisch nicht als repräsentativ betrachtet werden. Die Konstruktionsarten und die verwendeten Materialien können als typisch für NWG in Deutschland und Mitteleuropa angesehen werden. Wie erwartet wurden die größten Massenanteile bei Beton, Mauerwerk und FE-Metallen ermittelt, die im wesentlichen Bestandteile der Tragkonstruktion von Gebäuden sind; dementsprechend zeigen sich auch tendenziell höhere Materialgehalte für bestimmte Konstruktionstypen. Andere Baustoffe wie Aluminium und Kupfer sind in deutlich geringerer Masse vorhanden und von den jeweiligen Komponenten des Gebäudes abhängig.

Generell scheinen Hallengebäude im Vergleich zu mehrstöckigen Gebäuden höhere Gehalte von FE-Metallen und Holz aufzuweisen, vermutlich aufgrund der tragenden, aber schmalen Konstruktion, die für hohe und weite Decken notwendig ist. Andere Gebäude wie beispielsweise Büro- und Verwaltungsbauten hingegen werden durch zusätzliche Komponenten wie Decken und Zwischenwände unterteilt, welche aus hohen Anteilen an Beton bestehen.

Die ermittelten Materialgehalte befinden sich in der gleichen Größenordnung wie die in (Ortlepp et al. 2015) ermittelten Werte. Deren durchschnittlichen Werte für Büro- und Verwaltungsgebäude liegen im Mittelfeld der Werte aus dem Projekt PRRIG. Metalle wurden in (Ortlepp et al. 2015) zusammengefasst betrachtet, ihr Wert liegt geringfügig höher als die kombinierten Werte für FE-Metalle, Kupfer und Aluminium in PRRIG. (Ortlepp et al. 2015) berechnete hingegen einen höheren Materialgehalt für Holz, dies kann dadurch erklärt werden, dass in PRRIG keine Gebäude mit einer Tragkonstruktion aus Holz untersucht werden konnten. (Kleemann et al. 2014) ermittelte spezifische Gehalte pro m^3 BRI für alle Gebäudetypen. Diese liegen bei 260 - 450 kg mineralischer Baustoffe (inklusive Mauerwerk und Beton), 0,1 - 8,6 kg Stahl, 0,03 - 0,55 kg Aluminium, 0,0002 - 0,5 kg Kupfer und 0,6 - 20 kg Holz. Verglichen mit den in PRRIG untersuchten Gebäuden sind die Werte in den gleichen Größenordnungen und in den meisten Fällen sehr ähnlich.

Insgesamt kann gesagt werden, dass sich die in PRRIG gefundenen spezifischen Materialgehalte je m^3_{BRI} in den Größenordnungen der in der Literatur angegebenen Werte befinden. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass innerhalb einer Gruppe die Materialgehalte individueller Gebäude stark schwanken. Offensichtlich besitzen individuelle Gebäudecharakteristika aufgrund von Funktion oder Anpassung an Nutzerbedürfnisse einen großen Einfluss auf die Anteile der Materialien. Obwohl die eingeschränkte Anzahl der Gebäudeuntersuchungen in PRRIG keine statistische Auswertung der Ergebnisse für Materialgehalte erlaubt, können einige generelle Schlussfolgerungen gezogen werden: für Massenstoffe wie Beton und FE-Metalle liegen die Ergebnisse der Materialgehalte näher beisammen als für Materialien mit geringeren Anteilen wie Kupfer und

Aluminium. Selbst zwischen Gebäuden gleicher Funktion und gleichen Konstruktionstyps bestehen wesentliche Unterschiede in allen Materialgehalten. Um die individuellen Unterschiede zwischen den Gebäuden und deren Ursachen zu erforschen, sind weitere Studien notwendig. Aufgrund der eingeschränkten Anzahl an Gebäudeuntersuchungen sowohl in PRRIG als auch in anderen Forschungsprojekten wäre es sinnvoll, Ergebnisse aus verschiedenen Quellen zu erfassen, um die Stichprobe vergrößern zu können. Dies wird zurzeit jedoch durch unterschiedliche Definitionen der Bezugseinheiten und der Kategorien wie Gebäudetypen oder Materialgruppen gehemmt. Wünschenswert wären harmonisierte Bezeichnungen und Vorgehensweisen für die Typisierung, um sowohl Ergebnisse vergleichen zu können als auch, um für weitere Projekte auf Ergebnisse verschiedener Quellen zurückgreifen zu können.

Die Ermittlung von Rohstoffinventaren auf der regionalen Ebene konnte am Beispiel der Fallstudie Frankfurt-Ost/Maintal realisiert werden. Dieses Gebiet kann als typisch für die Projektregion Rhein-Main angesehen werden. Eine wesentliche Ausnahme bildet jedoch das durch Bürohochhäuser geprägte Bankenviertel in der Frankfurter Innenstadt, welches atypisch in der Fallstudienregion ist. Anzumerken ist auch, dass zu wenige Indikatoren vorlagen, um die Repräsentativität der Fallstudie Frankfurt-Ost im statischen Sinne zu überprüfen.

Die entwickelte methodische Herangehensweise erlaubte eine umfassende Bereitstellung von Informationen über die Materialgehalte des Bestands von NWG im Projektgebiet. Bezüglich der Funktion der Gebäude mag überraschen, dass der Anteil am gesamten BRI der NWG für Büro- und Verwaltungsgebäude sowie Lagergebäude insgesamt nur knapp 50% ausmacht, obwohl Banken, Consulting, Logistik, Medien und IT rund 70% der Arbeitsplätze in der Projektregion stellen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass der vorhandene BRI nicht mit der Anzahl der Arbeitsplätze im jeweiligen Sektor zusammenhängen muss und ein deutlicher Unterschied zum Wohngebäudebereich, in welchem die Anzahl der Bewohner in einem direkten Verhältnis zur (Wohn-) Fläche und damit auch zur Größe des Gebäudes steht.

Große Ungenauigkeiten sind durch die Übernahme der in der RegioMap angegebenen Erstbebauungsdaten der Grundstücke als Baualtersklassen zu erwarten. Hinsichtlich der Baualtersklassen ist im Projektgebiet Frankfurt-Ost bei allen Gebäudetypen, mit Ausnahme von Lagern und der Ver-/Entsorgung, etwa ein Drittel des Gebäudebestandes als vor 1948 errichtet eingestuft. Unter Berücksichtigung der großflächigen Zerstörung des Gebäudebestands während des zweiten Weltkrieges und des nachfolgenden Wiederaufbaus erscheint diese Annahme nicht realitätsnah, es sind jedoch anderweitig keine Angaben zu den tatsächlichen Baujahren oder Baualtersklassen der einzelnen Gebäude auf einfache handhabbare Weise erschließbar. Ebenso konnten Umnutzungen von Gebäuden nicht berücksichtigt werden. Empfehlenswert wäre hier, die zumeist nur analog geführten Daten aus Baugenehmigungsverfahren, die eine Vielzahl von Informationen zum genehmigten oder angezeigten Gebäude enthalten, zukünftig so aufzubereiten, dass zumindest wesentliche Daten zum Lebenszyklus des Gebäudes digital verfügbar sind. Weitere Fallstudien für Urban Mining wie in PRRIG können dazu beitragen, dass der Bedarf nach detaillierteren Gebäudeinformationen und validierbaren Quellen kommuniziert wird.

Während des Projektes musste festgestellt werden, dass es schwierig ist, die hohen Detaillierungsgrade der erstellten Gebäudetypologie mit real und großflächig existierenden Daten zu

füllen. Die in PRRIG genutzten Daten aus ALKIS waren im Projekt nur für das Projektgebiet Frankfurt-Ost verfügbar. Für die kleine Case-Study Area Frankfurt-Ost / Maintal konnte die detaillierte Typologie für NWG angewendet werden, zur Ermittlung des Gebäudebestandes für die gesamte Projektregion Rhein-Main musste jedoch auf die Daten (und Typisierung) der amtlichen Statistik umgestellt werden. Der aus den Ergebnissen der Fallstudie heraus entwickelte Ansatz, Daten für die gesamte Projektregion über die Kombination der Geodaten (ALKIS LoD I) und Erfassungen der amtlichen Baustatistik abzuschätzen, hat sich als erfolgsversprechend gezeigt. Der Detaillierungsgrad der Gebäudetypen ist über diesen Ansatz mit nur 4 Gebäudetypen zwar allgemeiner, dafür jedoch wesentlich besser herzuleiten.

Modellierung zukünftiger Stoffströme

Die Materialflussanalyse (MFA) erfolgte auf Basis von Szenarien zum Zubau und zum Bauabgang (Abbruch): Der jährliche Zubau wurde auf der Basis von Experteninterviews zur Bestandsentwicklung von Gewerbegebäuden prognostiziert; der Bauabgang wurde mittels Extrapolation von Zeitreihen zu Abbruchvorgängen der Vergangenheit prognostiziert.

Bei Interviews stellte sich heraus, dass die Experten eine Abschätzung der Bestandsentwicklung von Gewerbegebäuden für drei bis fünf Jahre geben können, eine Prognose darüber hinaus allerdings nur unter großen Einschränkungen zu realisieren ist. Dennoch wurden verschiedene Szenarien für die Entwicklung bis ins Jahr 2030 erstellt. Als Empfehlung für alternative oder ergänzende Ansätze zur Prognose zukünftiger Bautätigkeit sind Zeitreihenanalysen und weitere Modelle zu nennen. Dabei muss allerdings einschränkend erwähnt werden, dass für die Projektregion passende Datenreihen derzeit nur über einen sehr begrenzten Zeitraum verfügbar sind. Zukünftig wird ggf. eine ausführliche ökonomische Analyse, welche zu detaillierteren Werten als die Expertenbefragung gelangt, möglich sein. Die dynamische MFA wurde modelltechnisch unabhängig von der Nutzungsdauer von Gebäuden vorgenommen, da die Unsicherheit über diesbezügliche Annahmen zu groß erschien. Stattdessen wurden die oben genannten Szenarien zu Zubau und Abgang verwendet.

Die Ergebnisse der dynamischen MFA zeigen die Entwicklung von Input (Zubau), Output (Abbruch) und Lager (Bestand) des Bauvolumens [m^3_{BRI}] im Rhein-Main-Gebiet in Abhängigkeit von Szenarien für verschiedene Gebäudetypen bis 2030. In allen untersuchten Fällen lag der Input über dem Output, jedoch zeigen die Entwicklungen von beiden und damit die des Lagers (Zunahme oder Abnahme) deutliche Unterschiede zwischen Gebäudetypen und Szenarien. Ergänzend bietet die Analyse des Bauabgangs auch den Stadtplanungsämtern der einzelnen Kommunen die Perspektive, Abschätzungen darüber zu treffen, wann Flächen frei werden könnten und dementsprechend möglicherweise neu überplant werden können. Dies bedeutet sowohl, dass das Stadtbild selbst neu überdacht werden kann, als auch die Ausrichtung hinsichtlich Klima- und Umweltschutz durch die Stadtplanung fortgeführt werden kann.

Aus den Ergebnissen zum Bauvolumen können über Verknüpfungen zu Rohstoffintensitäten Materialströme errechnet werden; dies wurde im Projekt jedoch nicht umgesetzt, da aus den Gebäudeuntersuchungen nicht für alle Gebäudetypen und -altersklassen Werte zu den Rohstoff-

intensitäten zur Verfügung standen. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf sowie die Notwendigkeit der Entwicklung von Nomenklaturen, die auf internationaler Ebene abgestimmt sind und es ermöglichen, Ergebnisse unterschiedlicher Forschungsgruppen zusammenzuführen.

Das erarbeitete MFA-Modell kann für weitere wissenschaftliche Fragestellungen eingesetzt werden. Denkbar ist u.a. eine Verwendung des Modells, um die Qualität der frei werdenden Rohstoffe abzuschätzen, z.B. in Form von je nach Baualtersklasse auftretenden Gefahrstoffen wie Asbest oder unterschiedlichen Zusammensetzungen von Legierungen. Hierzu sind jedoch weitergehende Untersuchungen zur Gebäudelebensdauer und zu detaillierten Inhaltsstoffen von Komponenten unterschiedlicher Zeitperioden erforderlich.

Anwendungsorientierte Planungshilfen

Für die praktische Anwendung sind die Ergebnisse des Projektes PRRIG sowohl für Unternehmen als auch für Planer im Bereich Abfallmanagement nützlich. Darüber hinaus können sie dazu beitragen, Sekundärwertschöpfungsketten zu optimieren, beginnend mit dem Abbruch von Gebäuden inklusive der Trennung und Sammlung der Rohmaterialien, die weitere Sortierung, Bündelung bzw. Behandlung durch Recyclingunternehmen oder Händler und schließlich die Wiederverwendung in den entsprechenden Materialkreisläufen. Die Unternehmen der Glieder der Wertschöpfungskette planen ihre Kapazitäten und Investitionen in neue Technologien entsprechend der erwarteten Abbruchaktivitäten und den daraus freigesetzten Abfallmengen und deren Qualität. Daher können sie regionale Informationen und Szenarien zu diesen Entwicklungen für ihre Planungszwecke nutzen. Zudem können die Nutzer-Tools aus PRRIG von Gebäudeeigentümern genutzt werden, um Materialgehalte und -werte eines abzubrechenden Gebäudes abzuschätzen. Auch für diese Art der Anwendung sind jedoch detailliertere und breiter abgestützte Werte für Rohstoffintensitäten von NWG wünschenswert.

Quellenverzeichnis

AdV 2008: GeoInfoDok Version 6.0.1, Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens. Online verfügbar unter <http://www.adv-online.de/AAA-Modell/Dokumente-der-GeoInfoDok>

AdV 2012a: ALKIS - Grunddatenbestand und länderspezifische Inhalte. Online verfügbar unter <http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Liegenschaftskataster/Download>

AdV 2012b: Tätigkeitsbericht 2011/2012. Unter Mitarbeit von Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. Online verfügbar unter <http://www.adv-online.de/icc/extdeu/binarywriterservlet?imgUid=0f21f354-887e-8316-b1e5-02172e13d633&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111>

AdV 2013: Amtliche Hausumringe. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Online verfügbar unter <http://www.adv-online.de/icc/extdeu/med/b65/b65704b3-ccd9-c541-bfd4-7387072e13d6,11111111-1111-1111-1111-111111111111>

AdV 2014a: GeoInfoDok Version 7.0.1. 3D-Gebäude-Objektartenkatalog LoD I, LoD2, LoD3. Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens. Version 7.0.1. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Online verfügbar unter <http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Liegenschaftskataster/ALKIS/binarywriterservlet?imgUid=78860f61-34ab-4a41-52cf-b581072e13d6&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111>

AdV 2014b: GeoInfoDok Version 7.0.1. ALKIS-Objektartenkatalog DLKM. Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens.

AdV 2014c: GeoInfoDok Version 7.0.1. Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Online verfügbar unter <http://www.adv-online.de/AAA-Modell/Dokumente-der-GeoInfoDok/binarywriterservlet?imgUid=85860f61-34ab-4a41-52cf-b581072e13d6&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111>

Arbeitsgemeinschaft GDI-Süd Hessen 2016: Arbeitsgemeinschaft GDI-Süd Hessen. Online verfügbar unter <https://www.gdi-suedhessen.de/>

Bahr, C.; Lennerts, K. 2010: Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen - Endbericht, Aktenzeichen 10.08.17.7-08.20, Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung / Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Selbstverlag, Bonn

Bauministerkonferenz 2010: Bauwerkszuordnungskatalog. Online verfügbar unter <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/service/gesetzestexte/de/download/bauen/abau/Bauwerkszuordnungskatalog.pdf>

Bechmann, A. 1978: Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung, 1. Auflage, Bern, Stuttgart

BKI Baukosteninformationszentrum 2014: BKI Baukosten Gebäude 2013. Statistische Kostenwerte Teil 1. BKI

BMUB 2014: Stadtumbau West - Offenbach - MAN-Gelände. Online verfügbar unter http://www.staedtebaufoerderung.info/StBauF/DE/Programm/StadtumbauWest/Praxis/Kommunale_Praxisbeispiele/Massnahmen/Offenbach/offenbach_node.html

BMVBS 2013: Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen. BMVBS-Online-Publikation 27/2013. Unter Mitarbeit von Clemens Deilmann, Martin Behnisch, Stefan Dirlich, Karin Gruhler und Ulrike Hagemann

BMVBS; BBSR 2009: Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden. Vergleichswerte für Energieausweise. BBSR-Online-Publikation 09/2009. Online verfügbar unter http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL_ON092009.pdf

BMVBS; BBSR 2011: Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland. BMVBS-Online-Publikation 16/2011. Online verfügbar unter http://www2.ioer.de/recherche/pdf/2011_dirlich_bmvbs-online-publ16.pdf

BMW 2010: Rohstoffstrategie der Bundesregierung - Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen

Bogusch, N.; Brandhorst, J. 2013: Sanieren oder Abreißen? Fraunhofer-IRB-Verlag, Stuttgart.

Böhle, J.: Bestandsaufnahme von Schulgebäuden und Abschätzung von Materialflüssen, die bei Sanierungen anfallen. Masterarbeit an der TU Darmstadt, unveröffentlicht.

Böhme, C.; Henckel, D.; Besecke, A. 2006: Brachflächen in der Flächenkreislaufwirtschaft (Expertise). Eine Expertise des ExWoSt-Forschungsfeldes Kreislaufwirtschaft in der städtischen/stadtreionalen Flächennutzung – Fläche im Kreis. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), Selbstverlag, Bonn

Brinke, M.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien aus Feuerlöschanlagen in Industrie- und Gewerbegebäuden. Bachelorarbeit an der TU Darmstadt, unveröffentlicht.

buildingSMART 2016: Standards. Online verfügbar unter <http://www.buildingsmart.de/bim-know-how/standards>

Bundesregierung 2002: Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Bundesregierung (Hrsg.), Berlin. Online verfügbar unter http://www.bundesregierung.de/nsc_true/Content/DE/___Anlagen/2006-2007/perspektiven-fuer-deutschland-langfassung,property=publicationFile.pdf/perspektiven-fuer-deutschland-langfassung

Busse von Colbe, W.; Laßmann, G.; Witte, F. 2015: Investitionstheorie und Investitionsrechnung, 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

Butzin, B.; Franz, M.; Noll, H-P. 2006: Strukturwandel im Ruhrgebiet unter Schrumpfungsbedingungen, in: Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie 50 (3/4), S. 258-276

Chou, H.-C.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien in Gebäuden aus Wärmeversorgungsanlagen. Bachelorarbeit an der TU Darmstadt, unveröffentlicht.

Coors, V. 2015: Offene 3D-Datenformate, in: Willkomm, P.; Kaden, R.; Coors, V.; Kolbe, T. (Hrsg.): Leitfaden 3D-GIS und Energie, Version 1.0

Danfoss GmbH, 2016: Industrieautomatik. Offenbach. <http://products.danfoss.de/industrial-automation/>

Daxbeck, H., Buschmann, H.; Gassner, A., Kapfenberger-Pock, A., 2015: Das anthropogene Lager in der Steiermark – Entwicklung eines Urban Mining Katasters: Land Steiermark inklusive Fallstudie Graz. Projekt UMKAT - Endbericht. Online verfügbar unter: [http://www.rma.at/sites/new.rma.at/files/Projekt%20UMKAT%20-%20Endbericht%20\(Vers.%20656%201.0a\).pdf](http://www.rma.at/sites/new.rma.at/files/Projekt%20UMKAT%20-%20Endbericht%20(Vers.%20656%201.0a).pdf)

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. 2008: DBV-Merkblatt Leitfaden Bauen im Bestand

DIN EN 12259: Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Bauteile für Sprinkler- und Sprühwasseranlagen, Normentwurf, Hrsg.: Dt. Institut für Normung, Mai 2014

DIN EN 12845: Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Automatische Sprinkleranlagen - Planung, Installation und Instandhaltung, Hrsg.: Dt. Institut für Normung, September 2014

DIN 18007: Abbrucharbeiten. Begriffe, Verfahren, Anwendungsbereiche. Hrsg.: Dt. Institut für Normung, Mai 2000

DIN 276: Kosten im Bauwesen, Hrsg.: Dt. Institut für Normung, Dezember 2008

DIN 277: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, Hrsg.: Dt. Institut für Normung, Februar 2005

Donath, D. 2009: Bauaufnahme und Planung im Bestand. Grundlagen - Verfahren - Darstellung – Beispiele, Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden

Dransfeld, E.; Boele-Keimer, G.; Musinszki, A.; Hüpke, U. 2002: Aktivierung von Brachflächen als Nutzungspotential für eine aktive Bauland- und Freiflächenpolitik. Expertise für die Enquetekommission „Zukunft der Städte in NRW des Landtags Nordrhein-Westfalen“, Dortmund. Online verfügbar unter http://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/GB_I/I.1/EK/EKALT/13_EK1/EKZukunftStadteNRW/IBoMaBrachflaechen2002.pdf

Ebner, T. 2002: Bauen im Bestand bei Bürogebäuden, Cuvillier, Göttingen

Ebner, A.; Raschke, F. 2013: Clusterstudie Frankfurt Rhein-Main – Wettbewerbsvorteile durch Vernetzung, Frankfurt

Emperger, F. v. 1923, (Hrsg.): Handbuch für Eisenbetonbau. 3., neubearb. Aufl. in 14 Bänden. Berlin, Weimar: Wilhelm Ernst und Sohn.

FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder: Statistik des Bauabgangs, 2000 – 2013.

FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder: Statistik der Baufertigstellung, 2013.

FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2016: Signierschlüssel für Nichtwohngebäude. Online verfügbar unter: http://www.forschungsdatenzentrum.de/bestand/baufertigstellungen/suf/fdz_baufertigstellungen_suf_nichtwohngeb%C3%A4ude_signierschluessel.pdf

Ferber, U.; Grimski, D.; Glöckner, S.; Dosch, F. 2010: Stadtbrachenpotenziale: Von Leuchttürmen und Patchwork, in: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Informationen zur Raumentwicklung - Neue Zugänge zum Flächenrecycling, Heft 1, S. 1-11

Ferber, U. 2006: Privatwirtschaftliche Akteure und Wiedernutzung von Brachflächen (Expertise), Bonn. Online verfügbar unter: <http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ExWoSt/Forschungsfelder/2004undFrueher/FlaechelmKreis/BilderDownloads/ExpertisePrivatwirtschaft.pdf>

Fischer, R.; Kleiber, W.; Werling, U. 2014: Verkehrswertermittlung von Grundstücken. Kommentar und Handbuch zur Ermittlung von Marktwerten (Verkehrswerten) und Beleihungswerten sowie zur steuerlichen Bewertung unter Berücksichtigung der ImmoWertV, 7. Auflage, Bundesanzeiger (Bau und Immobilien), Köln

Gabriel, M. 2014: Abfall als Rohstoff - das Potenzial von Urban Mining für die Nachhaltigkeit, Seminararbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München, München

GEMÜ Gebr. Müller Apparatebau GmbH (2016): Produkte. Ventiltechnik. https://www.gemu-group.com/de_DE/ventiltechnik/

Gesellschaft für Innovationsforschung und Beratung mbH 2009: ARGUS – Statistik und Informationssysteme in Umwelt und Gesundheit GmbH, Die wirtschaftliche Bedeutung der Recycling- und Entsorgungsbranche in Deutschland: Stand, Hemmnisse, Herausforderungen. Online verfügbar unter: http://www.argus-statistik.de/dokumente/Recycling_und_Entsorgungsbranche_lang.pdf

Glatte, T. 2014: Entwicklung betrieblicher Immobilien. Beschaffung und Verwertung von Immobilien im Corporate Real Estate Management, Springer Fachmedien, Wiesbaden

Gläser, J.; Laudel, G. 2010: Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse, Verlag für Sozialwissenschaften, Springer, Wiesbaden

Görg, H. 1997: Entwicklung eines Prognosemodells für Bauabfälle als Baustein von Stoffstrombetrachtungen zur Kreislaufwirtschaft im Bauwesen, Dissertation, Schriftenreihe WAR

Goetze KG Armaturen, 2016: Produkte. <http://www.goetze-armaturen.de/de/produkte/industrietechnik/>.

Gornig, M.; Görzing, B.; Hagedorn, H.; Steinke, H.; Kaiser, C.; Klarhöfer, K. 2013: Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe – Berechnungen für das Jahr 2012, Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), BMVBS-Online-Publikation 15/2013

Grob, L. 2006: Einführung in die Investitionsrechnung – Eine Fallstudiengeschichte, 5. Auflage, Verlag Franz Vahlen, München

Gruber, U.; Riecken, J.; Seifert, M. 2014: Germany on the Way to 3D-Cadastre, in: zfv 139 (4), S. 223–228, DOI: 10.12902/zfv-0028-2014

Haberstroh, H. (1908): Der Eisenbetonbau im Hochbau. Eine übersichtliche Zusammenfassung der an Baugewerkschulen gepflegten technischen Lehrfächer; zum Gebrauche für Studierende und ausführende Bautechniker. Hrsg.: H. Issel. Leipzig: Voigt.

Haberstroh, H. (1922), Die Baustoffkunde. Bd. 2: Die Baustoffe des Hochbaues. 2., erw. und verb. Aufl.. Berlin: de Gruyter.

Hassler, U.; Kohler, N. 2011: Umbau - die Zukunft des Bestandes, in: Hassler, U. (Hrsg.): Langfriststabilität. Beiträge zur langfristigen Dynamik der gebauten Umwelt = Towards a sustainable development of the built environment, vdf Hochschulverlag AG, Zürich

HBO: Hessische Bauordnung. Vom 18. Juni 2002, zuletzt geändert am 21. November 2012.

Hessisches Statistisches Landesamt: Statistik der Baufertigstellung, 2000-2015, eigene Berechnungen

Hiete, M., Stengel, J., Ludwig, J., Schultmann, F., 2011: Matching construction and demolition waste supply to recycling demand: A regional management chain model, in: Building Research & Information, 39, S. 333–351, DOI:10.1080/09613218.2011.576849

HLBG 2013a: Signaturenkatalog ALKIS Hessen (SigK ALKIS - HE) - Teil 1. Hessisches Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation.

HLBG 2013b: Signaturenkatalog ALKIS Hessen (SigK ALKIS - HE) - Teil 2. Hessisches Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation.

HLBG 2016, Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation (2016), Datensatz LOD 1 Modell für das Bundesland Hessen & Produktbeschreibung 3D-Gebäudemodelle Hessen (Stand 2014)

HLBG 2014; Klehr, Joachim (2014): LoD 1 3D-Gebäude für Forschungsprojekt PRRIG - Urban Mining. Wiesbaden, 27.11.2014. Brief und Datenlieferung an Benjamin Schnitzer.

Hörner, M. 2011: Typologiegestützte Analyseinstrumente für die energetische Bewertung bestehender Nichtwohngebäude, 47. AKE Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 17.11.2011. Online verfügbar unter http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/ake47/AKE47-3_111116_TypoNWG.pdf

Holzner, P.; Renner, U. 2005: Der „Ross-Brachmann“ Ermittlung des Verkehrswertes (Marktwertes) von Grundstücken und Wert der baulichen Anlagen, 29. Auflage, Verlag Oppermann, Isernhagen

Horländer, N.: Literaturstudie: Historische Baumaterialien im Rohbau und ihre Zusammensetzung. Bachelorarbeit an der TU Darmstadt, unveröffentlicht.

Huff, T. 2009: Fortentwicklung von Bestandsimmobilien. Ein Entscheidungsmodell zur Findung optimaler Lösungen. Bauwerk.

Huhn, S. 2013: Entwicklung einer Gebäudetypologie zur Abschätzung von Rohstoffrückgewinnungspotenzialen, Diplomarbeit, TU Darmstadt, Institut für Baubetrieb

HVVG Hessen 2014: Produktbeschreibung 3D-Gebäudemodelle Hessen

Johnstone, I. 2001: Energy and mass flows of housing: estimating mortality, in: Building and Environment, Jg.36, S.43-51

JonesLangLaSalle 2016: Immobilienarten. Online verfügbar unter <http://www.jll.de/germany/de-de/dienstleistungen/immobilienarten>

Kaeser Kompressoren SE, 2016: Produkte. <http://www.kaeser.de/produkte/>.

Kaden, R.; Coors, V. 2015: Einleitung. Motivation für den Leitfaden, in: Willkomm, P.; Kaden, R.; Coors, V.; Kolbe, T. (Hrsg.): Leitfaden 3D-GIS und Energie, Version 1.0

Klauß, S.; Kirchhof, W.; Gissel, J. 2009: Erfassung regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten, Bericht 06 / 214 FO 20, Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V.

Klingenberger, J. 2007: Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden, Dissertation, TU Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie

Klingenberger, J. 2014: Bauen im Bestand - Verfahrenstechnik und Ökonomie. Bestandsaufnahme - Begriff und Phasen. Bauen im Bestand, TU Darmstadt, Institut für Baubetrieb

Knappe, F., Lansche, J., 2010: Optimierung der Verwertung mineralischer Bauabfälle in Baden-Württemberg, Umweltministerium Baden-Württemberg, IFEU Institut, Heidelberg

Kniffka, R., Koeble, W. 2008: Kompendium des Baurechts, 3. Auflage, C.H.Beck, München

Koch, S. 2015: Einführung in das Management von Geschäftsprozessen, 2. Auflage, Springer, Wiesbaden

Kohler, N. 1999: Modelle und Lebenszyklus des Gebäudebestandes, in: Hassler, U.; Kohler, N.; Wang, W. (Hrsg.): Umbau. Über die Zukunft des Baubestandes, Wasmuth, Tübingen

Kohler, N., Hassler, U., 2002: The building stock as a research object, Building Research & Information, 30:4, S. 226-236, DOI: 10.1080/09613210110102238

Kortmann, K. 2008: Abriss und Neubau oder Kernsanierung? Eine empirische Untersuchung der Nutzungsdauer von Wohngebäuden des 20. Jahrhunderts im Ruhrgebiet, in: Pfnür, A. (Hrsg.): Schriften des Forschungscentrums betriebliche Immobilienwirtschaft Band 5, R. Müller, Köln

Kreislaufwirtschaft Bau 2015: Mineralische Bauabfälle Monitoring 2012 - Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2012

Krimmling et al., 2014: Atlas Gebäudetechnik. Grundlagen - Konstruktionen - Details. 2. Aufl. Köln: Rudolf Müller.

K-TECH-PRO GmbH, 2016: Industrieventilatoren. <https://www.abluft24.de/industrieventilatoren/?p=1>.

Küster, P.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien aus lichtspendenden Komponenten in Industrie- und Gewerbegebäuden. Bachelorarbeit an der TU Darmstadt, unveröffentlicht.

Kühnapfel, J. 2014: Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb, Springer, Wiesbaden

Kummer, K.; Kötter, T.; Eichhorn, A. (Hrsg.) 2014: Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen 2015. Themenschwerpunkte Gesellschaftliche Verankerung und institutionelles Gefüge; Aufgabenfelder und Wirkungsbereiche; Technische Netzwerke und Transfer; Forschung und Lehre, Wichmann, Berlin

Kurzrock, B.-M. 2011: Lebenszyklus von Immobilien, in: Rottke, N. (Hrsg.): Immobilienwirtschaftslehre – Band I Management, Immobilien Manager Verlag, Köln

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen,

Lederer, J., Kleemann, F., Ossberger, M., Rechberger, H., Fellner, J. 2016: Prospecting and Exploring Anthropogenic Resource Deposits: The Case Study of Vienna's Subway Network. Journal of Industrial Ecology, DOI: 10.1111/jiec.12395

Lippok, J.; Korth, D. 2007: Abbrucharbeiten - Grundlagen, Vorbereitung, Durchführung, 2. Auflage, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

Loga, T.; Diefenbach, N.; Born, R. 2011: Deutsche Gebäudetypologie: Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt

Loga, T.; Diefenbach, N.; Stein, B. 2012: Typology Approach for Building Stock Energy Assessment, Main Results of the TABULA project, Final Project Report, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt

Löhr, M. 2013: Planung bei Abbrucharbeiten, Dissertation, TU Darmstadt, Institut für Baubetrieb

Mandler, M.: Vergleichende Bestandsaufnahme von Flugzeughangars. Masterarbeit an der TU Darmstadt, unveröffentlicht.

Michael Bauer Research GmbH (2015): Kaufkraft-Studie 2015. Auszüge online verfügbar unter: <http://www.mb-research.de/marktdaten-deutschland/kaufkraft.html>

Michel, P., Serrand, M., Montfort-Climent, D., Jayr, E., Papinot, P. E., 2012. Projet ANR ASURET: Analyse de flux de matière du secteur de la construction à l'échelle de l'ouvrage et du territoire. Verfügbar unter: <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61849-FR.pdf>

Minimax: Produktkatalog. Online verfügbar unter <https://www.minimax.de/katalog/files/148>

MIT Moderne Industrietechnik GmbH, 2016: Produkte. Industriearmaturen. <http://www.systemarmaturen.de/produkte/industriearmaturen/>.

Motzko, C.; Klingenberger, J.; Wöltjen, J.; Löw, D. 2015: Bewertungsmatrix für die Kostenplanung beim Abbruch und Bauen im Bestand. Datenbanksystem zur Analyse und Bewertung in Bezug auf Kosten, Technologien und Dauern, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit /Zukunft Bau, FKZ: SWD-10.08.18.7-13.21

Müller, D. B. 2006: Stock dynamics for forecasting material flows – Case study for housing in The Netherlands, in: Ecological Economics, Jg. 59, 2006, S.142 - 156

Nachhaltigkeitsstrategie 2008: Fortschrittsbericht 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Für ein nachhaltiges Deutschland. Presse und Informationsdienst der Bundesregierung (Hrsg.), Berlin. Online verfügbar unter:

http://www.bundesregierung.de/Content/DE/___Anlagen/2008/05/2008-05-08-fortschrittsbericht-2008,property=publicationFile.pdf

Nguyen, J.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien aus Flach- und Pultdächern auf Industrie- und Gewerbegebäuden. Bachelorarbeit an der TU Darmstadt, unveröffentlicht.

Oestereich, M.; Schleyer, A. 2015: Bundesweite 3D-Gebäudemodelle der AdV, in: Willkomm, P.; Kaden, R.; Coors, V.; Kolbe, T. (Hrsg.): Leitfaden 3D-GIS und Energie, Version 1.0

OGC 12-019, 04.04.2012: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard - Version 2.0.0.

OK ALKIS - HE V3.1. Objektartenkatalog ALKIS in Hessen - Version 3.1 auf der Basis der GeoInfoDok Version 6, 2014, Wiesbaden. Online verfügbar unter http://www.hvbg.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HMWVL_15/HVBG_Internet/med/016/01670093-72a2-b331-f012-f31e2389e481,22222222-2222-2222-2222-222222222222

Opderbecke, A. 1910: Der Maurer. 4. Aufl.; Hrsg.: H. Issel.; Leipzig: Bernhard Friedrich Voigt. (Original) und Leipzig, Holzminden: Reprint Verlag, 1996.

Ortlepp, R., Karin Gruhler, K., Schiller, G., 2015: Material stocks in Germany's non-domestic buildings: a new quantification method, in: Building Research & Information, DOI: 10.1080/09613218.2016.1112096

Ostrau, S. 2010: Konzept zur Harmonisierung und Präsentation von Nutzungsdaten auf Grundlage des 3A-Modells, Dissertation, Bonn

Oswalt, P.; Overmeyer, K.; Misselwitz, P. 2013: Urban catalyst. Mit Zwischennutzungen Stadt entwickeln, DOM Publ., Berlin. Online verfügbar unter: <http://d-nb.info/1027423922/04>

Otterbein, N.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik in Industrie- und Gewerbegebäuden. Bachelorarbeit an der TU Darmstadt, unveröffentlicht.

Pfarr, K. 1984: Grundlagen der Bauwirtschaft, Deutscher Consulting-Verlag, Essen

Ponika, J.; Kretschmar, J.; Ferber, U.; Stahl, V. 2009: Potenzialanalyse und Handlungsoptionen zur Nutzung von Biomasse auf Recyclingflächen, Endbericht, Deutsches Biomasse Forschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig

Preuß, T. 2007: Potenziale für eine Flächenkreislaufwirtschaft (Expertise). Eine Expertise des ExWoSt-Forschungsfeldes Kreislaufwirtschaft in der städtischen/stadregionalen Flächennutzung – Fläche im Kreis. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), Selbstverlag, Bonn

Regionalverband FrankfurtRheinMain 2013: RegioMap - Historische Karte, Auszug Siedlungsentwicklung. Online verfügbar unter <http://region-frankfurt.de/Service/Geoportal>, zuletzt aktualisiert am 2013

Regionalverband FrankfurtRheinMain 2015a: Daten und Fakten Metropolregion FrankfurtRheinMain. Online abrufbar unter: http://ftp.planungsverband.de/RV_Regionales_Monitoring_2015.pdf

Regionalverband FrankfurtRheinMain 2015b: Region in Zahlen / Region Frankfurt. Frankfurt/Rhein-Main, Metropolregion. Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main. Online verfügbar unter <http://www.region-frankfurt.de/Regionalverband/Region-in-Zahlen>, zuletzt geprüft am 03.03.2016.

Reinhold, C. 2012: Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik für Installateure und Heizungsbauer (3. aktualisierte Auflage). Würzburg: Vogel Buchverlag.

Renner Kompressoren GmbH, 2016: Produkte. <http://www.renner-kompressoren.de/de/produkte/druckluftprogramm/kolben.html>.

Retailconsult 2016: Hanau - Neues Ladenzentrum auf Möbel-Erbe-Gelände geplant. Online verfügbar unter: <http://www.retailconsult.de/retailwatch---aktuelles-aus/hanau---neues-ladenzentrum.html>

Ritter, F. 2011: Lebensdauer von Bauteilen und Bauelementen – Modellierung und praxisnahe Prognose, Dissertation, Darmstadt

Rommel, T. 1999: Leitfaden für die Erfassung und Bewertung der Materialien eines Abbruchobjektes, Beuth Verlag, Berlin (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 493). Online verfügbar unter: <http://www.worldcat.org/oclc/45471304>

Sachwertrichtlinie 2012: Bekanntmachung der Richtlinie zur Ermittlung des Sachwerts, vom 5. September 2012, SW11 – 4124.4/2, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), Berlin

Safe Software, FME 2015: Version 2015: Safe Software Inc.

Schmitz, H. 1989: Planen und Bauen im Bestand. Stuttgart: Forum-Verlag.

Schneider, L.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien in Gebäuden aus ihren Gründungen und Fundamenten. Bachelorarbeit an der TU Darmstadt, unveröffentlicht.

Scholles, F. 2008: 6.4 Szenariotechnik, In: Fürst, D.; Scholles, F. (Hrsg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung, 3. Auflage, Verlag Rohn, Dortmund

Schultmann, F. 1998: Kreislaufführung von Baustoffen. Stoffflussbasiertes Projektmanagement für die operative Demontage- und Recyclingplanung von Gebäuden, Erich Schmidt (Baurecht und Bautechnik, Bd. 10), Berlin

Schüler, D. 2008: Revitalisierung von Brachflächen. Ansätze des Flächenmanagements in Städten und Stadtregionen. 1. Teil der Standortserie „Innovative Ansätze beim Leerstandsmanagement und der Revitalisierung von Brachen“, in: Zeitschrift für Angewandte Geographie 32 (1): S. 13-16

Schiller, G., Ortlepp, R., Krauß, N., Steger, S., Schütz, H., Fernandez, J.A., Baumann, J., 2015: Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft, UBA-Texte 83/2015. Online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-in-deutschland>

Schwaiger, B. 2003: Strukturelle und dynamische Modellierung von Gebäudebeständen, Dissertation, Karlsruhe

Siemon, K. 2013: HOAI-Praxis bei Architektenleistungen, Springer Fachmedien, Wiesbaden

Statistisches Bundesamt (Destatis) 1978: Systematik der Bauwerke, Kohlhammer (Systematische Verzeichnisse / Statistisches Bundesamt), Stuttgart/Mainz

Statistisches Bundesamt (Destatis) 2014: Systematik der Bauwerke 1978, Version 2014, Wiesbaden. Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/Bau78V14erl.pdf>

Stein, B.; Dascalaki, E.; Popiolek, M.; Kwiatkowski, J.; Amtmann, M.; Georgiev, Z. 2012: Typology Approaches for Non-Residential Buildings in Five European Countries. - Existing Information, Concepts and Outlook -. - TABULA Thematic Report N° 3 -. Online verfügbar unter: http://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA_TR3_D9_NonResidentialBuildings.pdf

Strack, S. 2010: Entwicklung eines Bewertungssystems für Redevelopment-Maßnahmen von leer stehenden Gebäuden für Wohnzwecke, Kassel Univ. Press, Schriftenreihe Bauwirtschaft : 1, Forschung. Online verfügbar unter: <http://d-nb.info/1016852258/34>

STRIEBEL & JOHN GmbH & Co. KG: Kleinverteiler für Aufputz, Unterputz- und Hohlwandmontage, zuletzt geprüft am 19.10.2015.

Systematik der Bauwerke 1978: Version 2014, Wiesbaden

Tanikawa, H.; Hashimoto, S. 2009: Urban stock over time: spatial material stock analysis using 4d-GIS, in: Building Research & Information, Jg. 37, Nr. 5-6, S. 483 - 502

Tanikawa, H., Fishman, T., Okuoka, K., Sugimoto, K., 2015: The weight of society over time and space: A comprehensive account of the construction material stock of Japan, 1945–2010: The construction material stock of Japan, in: Journal of Industrial Ecology, Early View, DOI:10.1111/jiec.12284

Trinker, P. 2016: Entwicklung eines Gebäudeaufnahmebogens und Bewertungssystems zur Erfassung des Zustands mindergenutzter Gebäude eines Industrieareals . Eine Untersuchung am Beispiel des Industriegeländes der Adam Opel AG in Rüsselsheim, Masterthesis, TU Darmstadt, Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften

Trox GmbH, 2016: Produkte. Regelgeräte. <http://www.trox.de/produkte/regelgeraete-59e6bb9717837f1c>.

UBA 2010: Schiller, G.; Deilmann, C.; Gruhler, K.; Röhm, P.: Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung, Texte Nr. 56/2010, UBA-FBNr: 001401, Förderkennzeichen: 3708 95 303, Umweltbundesamt

UBA 2016: Verwertungsquoten der wichtigsten Abfallarten, Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/abfall-kreislaufwirtschaft/verwertungsquoten-der-wichtigsten-abfallarten>

Unger, D. 2013: Aufzüge und Fahrtreppen, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.

Van den Busch, U. 2010: Bevölkerungsvorausschätzung für die hessischen Landkreise und kreisfreien Städte - Eine Projektion für den Zeitraum von 2010 bis 2030 und eine Trendfortschreibung bis 2050, Hrsg.: HA Hessen Agentur GmbH, Report 792, Wiesbaden

Voigtländer, M. 2011: Immobilien-Monitor. Massenphänomen Leerstand, Institut der deutschen Wirtschaft Köln (Hrsg.). Online verfügbar unter <http://www.iwkoeln.de/de/infodienste/immobilien-monitor/beitrag/53004>

Warth, O. 1903: Allgemeine Bau-Constructions-Lehre (7., verb. u. erw. Aufl. Ausg.). Stuttgart: Hoffmann [u.a.].

Westermann, S. 2006: Das Machbare anpacken – Zwischennutzungen und neue Freiflächen, in: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung in Kooperation mit dem Umweltbundesamt und dem Projektträger Jülich (Hrsg.): MehrWert für Mensch und Stadt: Flächenrecycling in Stadtumbauräumen. Strategien, innovative Instrumente und Perspektiven für das Flächenrecycling und die städtebauliche Erneuerung, SAXONIA, Freiberg, S. 207-212.

WILO SE, 2016: Produkte & Kompetenzen. Heizung, Klima, Kälte. <http://www.wilo.de/index.php?id=201&L=0#.VrDPCShDIV>.

Wittmer, D., 2006. Kupfer im regionalen Ressourcenhaushalt, ETH Zürich, vdf Hochschulverlag.

XU, L. 2014: Qualifizierte Schätzung von gewinnbaren Mengen von Materialien in Gebäuden bezüglich der Förderanlagen. Masterarbeit an der TU Darmstadt, unveröffentlicht.

Zangemeister, C. 1976: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 4. Auflage, Zangemeister & Partner, Berlin

Zucchet, M.: Abschätzung der rückgewinnbaren Menge von Materialien der Elektroverteilung in Industrie- und Gewerbegebäuden. Bachelorarbeit an der TU Darmstadt, unveröffentlicht.

Anhang

A.1.PRRIG-Gebäudetypen, ihre Nutzung und Codierung

Nr.	Typ (Nutzung)	Unter-Nr.	Unterkategorie
100	Büro- und Verwaltungsgebäude		
		110	Verwaltungsgebäude
		120	Banken
		130	Bürogebäude
200	Fabrik- und Werkstattgebäude		
		210	Industrielle Produktions-/ Fabrikgebäude
		220	Betriebs-/ Werkstattgebäude
		230	Kasernen
300	Handelsgebäude		
		310	Lebensmittel
		320	Non-Food
		330	Shoppingcenter
		340	Markt-/ Messehallen
400	Lagergebäude		
		410	Speditionsgebäude
		420	Warenlager (Hochlager)
		430	Lagerhalle, Lagerschuppen
		440	Parkhäuser
		450	Sonstiges (u.a. Tankstellen, Treibstofflager)
500	Gastgewerbegebäude		
		510	Hotellerie
		520	Gastronomie (Freistehend)/ Raststätten
		540	Kantinen / Mensen
600	Bildungs- und Forschungsgebäude		
		610	Instituts-/ Laborgebäude
		620	Kindertagesstätten
		630	Schulen
		640	Hochschulen
		650	Bibliotheken
700	Verkehrsgebäude		
		710	Flughäfen
		720	Bahnhöfe
800	Heilgebäude		
		810	Krankenhäuser
		820	Pflegehäuser
900	Sportanlagen		
		910	Sporthallen
		920	Schwimmbhallen

1000	Gebäude zur Ver- und Entsorgung		
	1010	Kläranlagen	
	1020	Energieversorgung (Strom)	
	1030	Wasserversorgung	
	1040	Medienerzeugende Gebäude	
1100	Landwirtschaftliche Gebäude		
9998	Sonstige NWG(keine Unterkategorie)		
9999	Wohngebäude (keine Unterkategorie)		

100 Büro- und Verwaltungsgebäude

Büro- und Verwaltungsgebäude sind Nichtwohngebäude, die überwiegend Flächen in Form von Büros und Verwaltungsräumen bereitstellen. Es handelt sich um Gebäude, die nahezu ausschließlich gewerblich oder zur Verwaltung genutzt werden. Gebäude der öffentlichen Verwaltung, wie z.B. Rathaus, Gericht, Gemeinde- oder Kreisverwaltung fallen ebenso wie Gebäude, in denen Unternehmen gewerbsmäßig (z.B.) Geldgeschäfte betreiben, unter diese Kategorie. Büro- und Verwaltungsgebäude der Polizei, des Bundesgrenz-, Feuer- und zivilen Bevölkerungsschutzes (auch Bundespolizei, Bundeswehr und Hilfsorganisationen) werden ebenfalls hierunter subsummiert.

200 Fabrik- und Werkstattgebäude

Fabrik- und Werkstattgebäude sind Nichtwohngebäude, die unmittelbar der Produktion und Verarbeitung bzw. Reparatur von Produkten dienen. Fabrik- und Werkstattgebäude können zu Teilen auch Sanitär-, Sozial- oder Verwaltungsräume beinhalten. Kasernengebäude, welche nicht zur Unterbringung verwendet werden und keine weitere Sonderfunktion (wie z.B. Kantinen) aufweisen, fallen als Sonderform ebenfalls unter diese Kategorie.

300 Handelsgebäude

Handelsgebäude sind Nichtwohngebäude, in denen primär Waren ausgestellt und/oder verkauft werden. Hierunter fallen Markt- und Messehallen, Einzelhandelsgebäude und andere Handelsgebäude wie Shoppingcenter, Baumärkte oder Möbelhäuser. Eine weitere Differenzierung in Form von Unterkategorien ist auf Grundlage der in dem Gebäude verkauften Produktgruppe möglich. Wesentlicher Unterschied sind z.B. im Lebensmittelbereich die notwendigen Kühlmöglichkeiten und dazugehörige technischen Anlagen. Shoppingcenter stellen eine Sonderform dar, welche unterschiedlichste Nutzungen in einem Komplex kombiniert.

400 Lagergebäude

Lagergebäude sind Nichtwohngebäude, die für die Lagerung von Waren aller Art bestimmt sind. Gebäude zur Vorratshaltung von unterschiedlichsten Gütern (z. B. Material, Fertigerzeugnissen, Flüssigkeiten, Treibstoffe). Gebäude zum Abstellen von Fahrzeugen (auch auf mehreren Ebenen), kurz- und langfristig.

500 Gastgewerbegebäude

Gastgewerbegebäude sind Nichtwohngebäude, die (nur) zum Teil wohngebäudeähnliche Strukturen aufweisen. Sie werden differenziert nach Hotellerie, Gastronomie / Raststätten, sowie Mensen / Kantinen. Unter Beherbergungsgebäude fallen Hotels aller Art, Jugendherbergen, Gästehäuser und Pensionen etc. In der Kategorie Gastronomie sollen gastronomische Einrichtungen wie Restaurants und Cafés, Bars, Imbisse und Schankwirtschaften aber auch Raststätten und Gasthöfe verstanden werden. Kriterium ist hierbei die vordergründige Nutzung des Gebäudes für gastronomische Zwecke. Kleinere Restaurants oder Imbisse in Wohngebäuden fallen nicht in diese Kategorie (Kriterium Freistehend). Unter Kantinen/Mensen sind Großküchen zusammengefasst, die Speisen sowohl in nahe gelegenen Räumlichkeiten zum Verzehr anbieten, als auch diese auf Bestellung in der Umgebung anliefern (Kantinen, Mensen und Essen auf Rädern, Party-service, ...).

600 Bildungs- und Forschungsgebäude

Bildungsgebäude sind Nichtwohngebäude, die der Vermittlung von Wissen an (Klein-) Gruppen dienen. Sie zeichnen sich durch eine hohe Belegungsdichte in den Aufenthaltsräumen aus und lassen sich je nach Alter der Gruppenmitglieder insbesondere in den Unterkategorien Kindertagesstätten, Schulen und Hochschulen untergliedern. Auch Gebäude in denen Wissenschaften gelehrt und Forschung betrieben wird fallen in diese Kategorie. Bibliotheken (Hochschulinterne oder auch Stadtbibliotheken) sind Teil der Bildungs- und Forschungsgebäude. Reine Verwaltungsgebäude (z.B. einer Universität) zählen nicht zu dieser Kategorie. In den Bereich der Instituts- und Laborgebäude können auch private Forschungseinrichtungen oder von der Privatwirtschaft betriebene Laborgebäude eingeordnet werden.

700 Verkehrsgebäude

Verkehrsgebäude sind Nichtwohngebäude, die an Wegen oder Wegkreuzungen zu Boden, Wasser oder Luft stehen und dem Transport von Menschen und Gütern dienen. Sie sind Durchgangsgebäude, die keine Bleibe (Lager, Unterkunft) bieten z.B. Terminals, Wartehallen und Bahnhöfe.

800 Heilgebäude

Gebäude, die der ambulanten oder stationären Behandlung und Pflege von Patienten dienen. Krankenhäuser sind dabei Gebäude mit medizinischer Versorgung, Pflegehäuser hingegen eines betreuten Wohnens resp. Übernachtens mit Assistenz.

900 Sportanlagen

Gebäude, vorwiegend Hallen, in denen verschiedene Sportarten ausgeübt werden können.

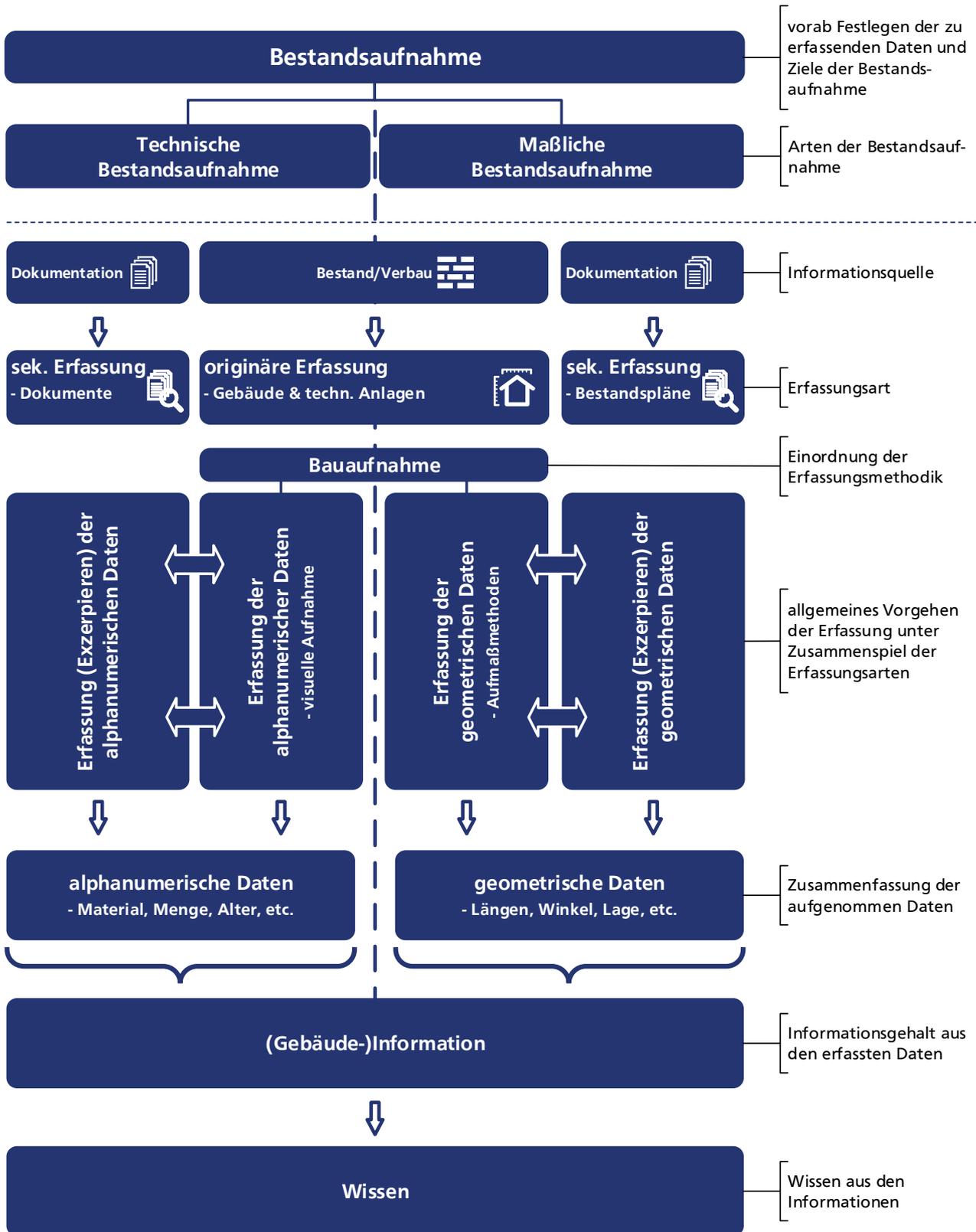
1000 Gebäude zur Ver- und Entsorgung

Gebäude zur Ver- und Entsorgung sind NWG in denen vorwiegend Einrichtungen zur Versorgung (Elektrizität, Wärme und Wasser) betrieben werden. Auch Gebäude mit Anlagen zur Verwertung und Entsorgung von Abwasser und festen Abfallstoffen zählen in diese Kategorie.

1100 Landwirtschaftliche Gebäude

Sämtliche landwirtschaftliche Betriebsgebäude, die überwiegend gärtnerischen, land-, forst-, tier- und fischereiwirtschaftlichen Zwecken dienen.

A.2. Schematische Darstellung des Informationsprozesses der Bestandsaufnahme

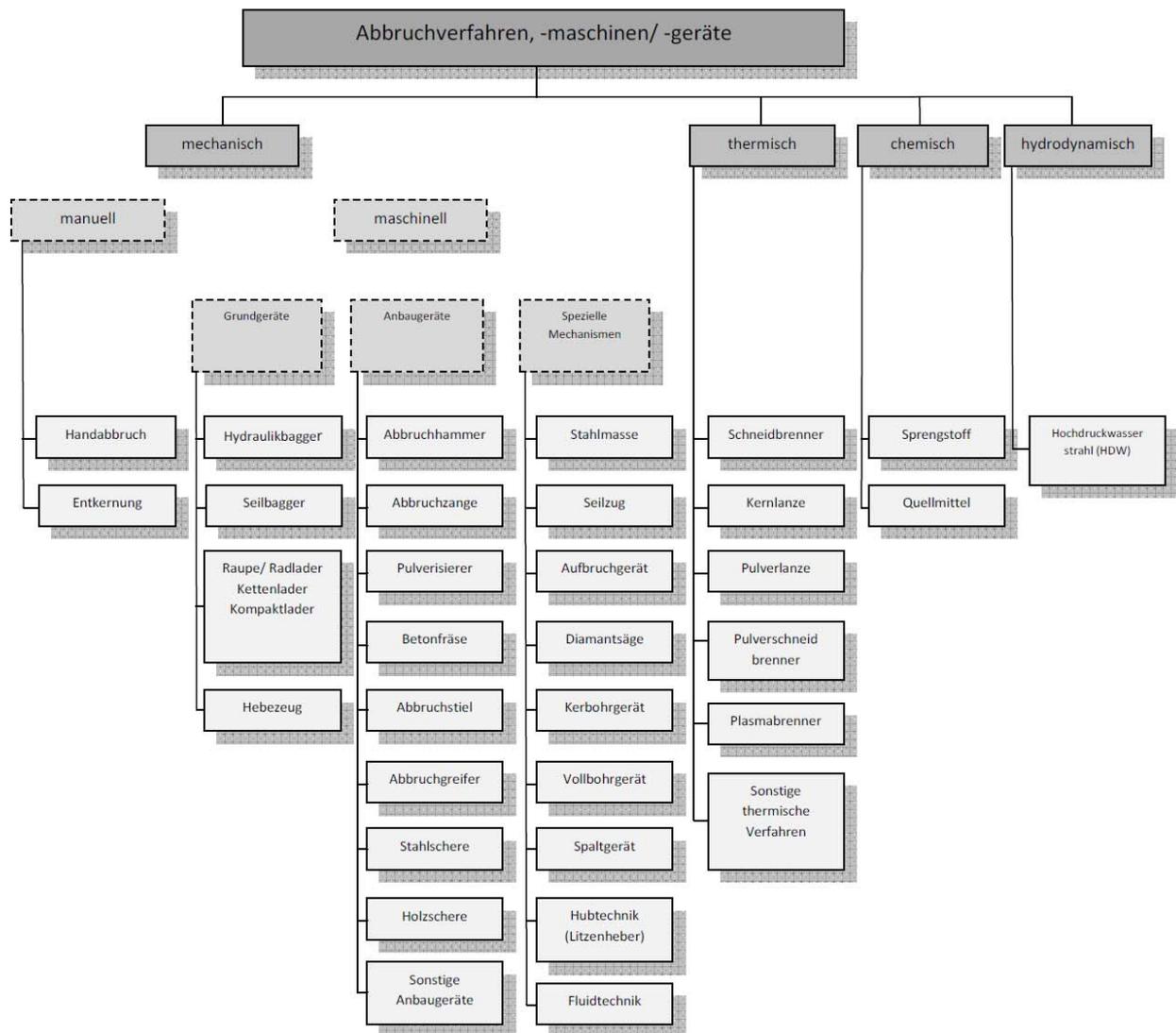


A.3. Empfehlungen zur Ablauforganisation einer Bestandsaufnahme



•—• analoger Vorgang

A.4. Abbruchverfahren, Abbruchmaschinen und -geräte



A.5.Übersicht potentieller Gebäudedokumentations- und Planunterlagen

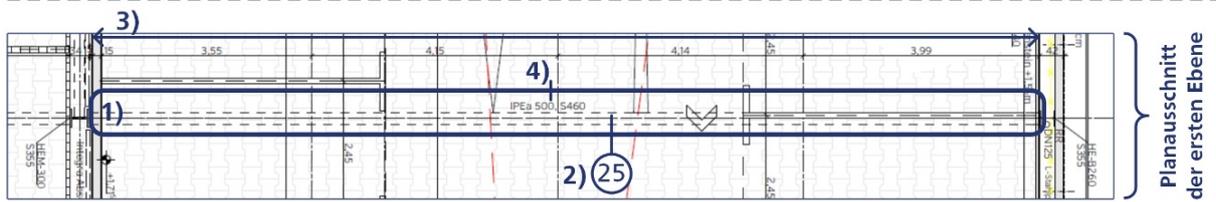
Unterlagenart – Dokumentation zu ...	Informationen	in Besitz, Aufbewahrung, Verwaltung bei ...				
		Behördliche Verwaltung	Eigentümer /Auftraggeber	Architekt, Planer, Auftragnehmer	Nutzer (sofern vom AG abweichend)	Facility Management /Gebäudeverwaltung
Chronologische Gliederung nach Auftreten der Dokumentation	zusätzliche Informationen zur Dokumentation					
Entstehungsphase						
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bestandsaufnahme ▪ technische Substanzerkundung 	sofern in Auftrag gegeben, relevant ist der Umfang der vertraglich vereinbarten Leistung (Bes. Lst.) ¹		X	X		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kostenschätzung ▪ Kostenberechnung ▪ Aufstellung einer vertieften Kostenberechnung (Bes. Lst.)¹ ▪ Kostenfeststellung 	Kostenaufstellung nach Kostengliederung auf 3. Ebene nach DIN 276 beinhalten umfangreiche Informationen zu Bauart, -menge und -masse		X	X		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baugenehmigung mitgeprüften Bauantragsunterlagen ▪ Tragwerksplanung/Standicherheit ▪ Vermessungsunterlagen ▪ Behördliche Abnahmeprotokolle 	Statische Berechnungen, Informationen zur Gründung und Fundamenten	X	(X)	X		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Objektplanung • Vorplanung • Entwurfsplanung • Genehmigungsplanung • Ausführungsplanung • Vergabeunterlagen <ul style="list-style-type: none"> ○ Leistungsbeschreibung ○ Leistungsverzeichnis • Bauteillisten • Bestands-/Revisionspläne • Aufmaße • Gewerkespezifische Unterlagen • Flächen- & BRI²-Berechnungen 	Dokumente, Planzeichnungen und sonstige Unterlagen fortgeschrittener Planungsphasen sind aufgrund höheren Detaillierungsgrad und Aktualität zu bevorzugen	(X)	X	X		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Technische Anlagenplanung • Entwurfsplanung • Genehmigungsplanung • Ausführungsplanung • Vergabeunterlagen 			X	(X)		(X)
Nutzungsphase						
<ul style="list-style-type: none"> ▪ zusätzliche Dokumentationen 	Dokumente und Planunterlagen von baulichen Veränderungen, Modernisierungen oder Sanierungen während der Nutzungsphase		X	X	(X)	(X)

A.6. Allgemeiner Objektkatalog zur Erfassung von Bauteilen mit standardisierten Bezeichnungen

Objektkatalog zur Erfassung von Bauteilen								
Bauwerk - Baukonstruktion								
ID	Gliederung	Bezeichnung nach DIN 276 (2. Ebene)	Bezeichnung nach DIN 276 (3. Ebene)	Bauteilbezeichnung (Anlehnung an DIN 276)	spezifische Materialien [Aufnahmehinweis]			
1	Gründung & Fundament	320	322	Flachgründung	Beton, (Bewehrungs-)Stahl			
			323	Tiefgründung	Beton, (Bewehrungs-)Stahl			
			324	Unterböden & Bodenplatte	Beton, (Bewehrungs-)Stahl			
			325	Bodenbeläge	Beton, (Bewehrungs-)Stahl, Holz, Kunststoffe, Teppich			
			327	Drainagen	Beton, Ton, Kunststoff			
2	Wand (vertikale Flächen)	330, 340	331, 341	Tragende Außen- und Innenwände	Beton, (Bewehrungs-)Stahl, Ziegel, sonst. Stein, Holz			
			332, 337, 342, 346	Nichttragende Außen- und Innenwände sowie elementierte Wände	Ziegel, sonst. Stein, Holz, Gipskarton, Glas			
			335, 337	Vorhangfassaden, Außenwandbekleidung	Verputz, Gips, Mörtel, Dämmstoff, sonst. Metalle (Aluminium, Kupfer)			
			333, 343	tragende Innen- und Außenstützen	Beton, (Bewehrungs-)Stahl, Ziegel, sonst. Stein, Holz			
3	Stützen (vertikale Linien)	330, 340	332, 342	nichttragende Außen- und Innenstützen	Beton, (Bewehrungs-)Stahl, Ziegel, sonst. Stein, Holz			
			334, 334, 362	Fensterflügel	(Verbund-)Glas, Ornamentglas, Kunststoff, Plexiglas			
4	Fenster	330, 340	334, 344, 362	Fensterrahmen	Holz, Aluminium, Stahl, Kunststoff, (Guß-)Eisen, Blei			
			334, 344	Türblatt, Toreinheit	Holz, Aluminium, Stahl, Kunststoff, Glas			
5	Türen	330, 340	334, 344	Türrahmen	Holz, Aluminium, Stahl, Glas			
			351	Deckenkonstruktion	Beton, (Bewehrungs-)Stahl, Holz			
6	Decke	350	352	Deckenbelag (z.B. Fußbodenbelag)	Beton, (Bewehrungs-)Stahl, Holz, Kunststoffe (PVC), Teppich			
			353	Deckenbekleidung (z.B. Holzverkleidung)	Gipskarton, Holz, Putz			
			361	Dachkonstruktionen	Holz, Stahl, (zusätzliche) Dämmmaterialien			
7	Dach	360	363	Dachbeläge	Ziegel, sonst. Stein (Schiefer), Reet, Glas, Metall (Kupfer, Eisen), Kunststoff			
			364	Dachbekleidung	Holz, Putz, Gipskarton, Metalle			
			Bauwerk - Technische Anlagen					
8	Wasser- und Abwasser sowie Gasanlagen	410	411, 412, 413	Anschlusseinheiten Leitungen sonstige Anlagentechnik	(Guß-)Eisen, Stahl, Kupfer, Blei, Kunststoff, Aluminium, Ton			
			9	Wärmeversorgungsanlagen	420	421	Wärmeerzeugungsanlagen, Wärmespeicher	Stahl, Edelstahl, Stückzahl [Leistung in kW]
						422	Wärmeverteilnetze	Kupfer, Stahl, Kunststoff
423	(Raum-)Heizflächen	(Guß-)Eisen & Stahl (Heizkörper), Kunststoff						
429	Schornstein	(Edel-)Stahl, Eisen, Ziegel, sonst. Stein (Schamott), Ton, Kunststoff						
10	Lufttechnische Anlagen	430	431	Lüftungsanlagen	Stückzahl [Leistung in kW], Leitungen (Stahl, Kupfer, Kunststoff)			
			432, 433	(Teil-)Klimaanlagen				
			434	Kälteanlagen				
			439	Sonstige Lufttechnische Anlagen				
11	Elektro-Versorgungsanlagen	440	441, 442, 443	Hoch- & Mittelspannungs-, Eigenstromversorgungs- und Niederspannungsschaltanlagen	Anlagenkörper Stückzahl [Leistung in kW], Volumen der Anlage			
			444, 446, 457, 485	Übertragungsnetze, Kabel, Leitungen, Ableitungen, Erdungen	Kupfer, Gold, Glasfaser, Kunststoff [Leitungslänge & Durchmesser]			
			445	Beleuchtung (Anlagen & Einheiten)	Stückzahl [Gehäusematerial: Kunststoff, Glas, Metall (Eisen)]			
12	Elektro-Nutzungsanlagen	440	446	Blitzschutzanlagen	zusätzliche Leitungen [sofern exkl. ID 11]			
			451, 452, 453, 454, 455, 456	Telekommunikations-, Such- & Signal-, Zeitdienst-, TV- & Antennen-, Alarm- & Brandmelde- sowie Elektroakustische Anlagen	Stückzahl [Gehäusematerial: Kunststoff, Glas, Metalle: Stahl, Eisen, Aluminium, Kupfer]			
			460	Aufzugsanlagen	Teile [Kabine, Schacht, Gegengewicht, Verkleidung, Türen] mit Material: Stahl, (Guß-)Eisen, Kunststoff, Blei			
16	Fahrtreppen	460	462	Fahrtreppen, Fahrsteige	Teile [Band, Verkleidung, Rollen, Steige] mit Material: Stahl, (Guß-)Eisen, Kunststoff, Gummi			
17	Transportanlagen	460	464	Waren-, Akten-, Rohrpost- & sonstige Transportanlagen	Teile [Transportleitung o. -weg, Verkleidung] mit Material: Stahl, Kunststoff, Kupfer, sonst. Materialien			
18	Befahranlagen	460	463	Schienensysteme, Hebeanlagen, Fassadenbefahranlagen	Teile [Schienen, Rinnen, Systeme, Verkleidungen, Anlage] mit Material: Stahl, Eisen, sonst. Materialien			
19	Krananlagen	460	465	Kransysteme inkl. Hebezeuge	Teile [Krankonstruktion, Ausleger, Zugseile, Gegengewichte] mit Materialien: Stahl, Eisen, sonst. Metalle, Holz			
20	Medienver- und Enstörungsanlagen	470	473, 478	Anschlusseinheiten, Leitungen	Stückzahl o. Länge [(Edel-)Stahl, Eisen, Kupfer, Kunststoff, Glas, Textil]			
21	Feuerlöschanlagen	470	475	Anschlusseinheiten, Leitungen	Stückzahl o. Länge [(Edel-)Stahl, Eisen, Kupfer, Kunststoff, Glas, Textil]			
22	Sonstige Bauteile & Komponenten	330, 350, 360	338, 339, 359, 369	Eindimensionale Komponenten Handlauf, Befestigungen, Mäste	Stahl, Eisen, Holz, Kunststoff, sonst. Metalle o. mineralische Stoffe			
				zweidimensionale Komponenten Geländer, Gitter, Roste, Leitern, Schneefang, Tafel, Beschilderung	Stahl, Eisen, Aluminium, Holz, Kunststoffe, sonst. Metalle o. mineralische Stoffe			
				Stückgut Markisen, Sonnenschutz, Rolläden	Stahl, Eisen, Aluminium, Holz, Kunststoffe, sonst. Metalle o. mineralische Stoffe			

Bei Unsicherheit während der Kategorisierung von Bauteilen, Komponenten oder Anlagen wird ein Vermerk in der Objektliste empfohlen, um im Anschluss einer Aufnahme mithilfe der DIN 276 eine genaue Kategorisierung ermöglichen zu können.

A.7. Beispielhafte sekundäre Erfassung eines Bauteils und Übertragung in den Aufnahmekatalog



- 1) Lokalisieren eines Bauteils aus den Planungsunterlagen
- 2) Objekt-Identifikationsnummer hinzufügen [Nachweis der Aufnahme, Nachvollziehen Dritter]
- 3) Maße ermitteln
(Im Bsp.: Länge des Trägers $0,15\text{m} + 3,55\text{m} + 4,15\text{m} + 4,14\text{m} + 3,99\text{m} = 15,98\text{m}$)
- 4) Zusätzliche Informationen des Bauteils aus Plan entnehmen
(Im Bsp.: Bezeichnung IPEa500 S460 entspricht einer Bezeichnung für Stahlgüter)
- 5) Übertragen in Objektaufnahmekatalog

Obj.-ID	DIN 276 (Bezeichnung)	DIN 276 (Bezeichnung)	DIN 276 (Schlüssel)	Baustoff	Länge	Breite/ Höhe	Fläche	Dicke	Volumen	Dichte o. Gewichtsfakt.	Masse	Objekt- verbund	Hinweis, Beschreibung, Annahmen
24				Stahl	15,98						0		IPEa500 S460
5)				5)	5)								5)

- 6) Standardisierte Objektbezeichnung aus Objektkatalog entnehmen und übertragen in Objektaufnahmekatalog

ID	Gliederung	Schlüssel nach DIN 276 (2. Ebene)	Schlüssel nach DIN 276 (3. Ebene)	Bauteilbezeichnung (Anlehnung an DIN 276)	spezifische Materialien [Aufnahmehinweis]
6	Decke	350	351	Deckenkonstruktion	Beton, (Bewehrungs-)Stahl, Holz
			352	Deckenbelag (z.B. Fußbodenbelag)	Beton, (Bewehrungs-)Stahl, Holz, Kunststoffe (PVC), Teppich
			353	Deckenbekleidung (z.B. Holzverkleidung)	Gipskarton, Holz, Putz

Obj.-ID	DIN 276 (Bezeichnung)	DIN 276 (Bezeichnung)	DIN 276 (Schlüssel)	Baustoff	Länge	Breite/ Höhe	Fläche	Dicke	Volumen	Dichte o. Gewichtsfakt.	Masse	Objekt- verbund	Hinweis, Beschreibung, Annahmen
24	Decke	Deckenkonstruktion	351	Stahl	15,98						0		IPEa500 S460

- 7) Bauteil- bzw. Baustoffbezogene Werte ermitteln (Rohdichte, Gewichtsfaktoren, o.Ä.)

Schneider, Goris (Hrsg.) (2012). *Bautabellen für Ingenieure*. 20. Aufl., Köln: Werner Verlag – Tabelle 8.171

IPEa500 mit charakteristischer Eigenlast von $0,794 \text{ kN/m} \times 101,972 \text{ kg/kN} \rightarrow 80,966 \text{ kg/m}$

- 8) Werte übertragen und Berechnungsformel der Masse anpassen

Obj.-ID	DIN 276 (Bezeichnung)	DIN 276 (Bezeichnung)	DIN 276 (Schlüssel)	Baustoff	Länge	Breite/ Höhe	Fläche	Dicke	Volumen	Dichte o. Gewichtsfakt.	Masse	Objekt- verbund	Hinweis, Beschreibung, Annahmen
24	Decke	Deckenkonstruktion	351	Stahl	15,98					80,966	1,294		IPEa500 S460

$\times =$

A.8. Komponentendetails

A.8.1 Komponentendetails Gründung¹⁶

Das Fundament abzuschätzen ist sehr kompliziert, da weder es selbst noch der wesentliche Einflussfaktor Bodenbeschaffenheit von außen sichtbar und erkennbar ist. Fundamente dienen der Gründung von Bauwerken und tragen die Gewichtskräfte des Gebäudes in den Boden ab. Geschieht dies ungleichmäßig, treten Setzungen auf, das Gebäude bekommt Risse. Verschiedene Bodenarten nehmen Bauwerkslasten unterschiedlich gut auf (s. DIN 18196) und stehen ggf. in variierender Mächtigkeit im Baugrund an. Prinzipiell lassen sich Gründungen in drei Arten und diverse Subtypen unterscheiden wie in Abbildung 81 dargestellt.

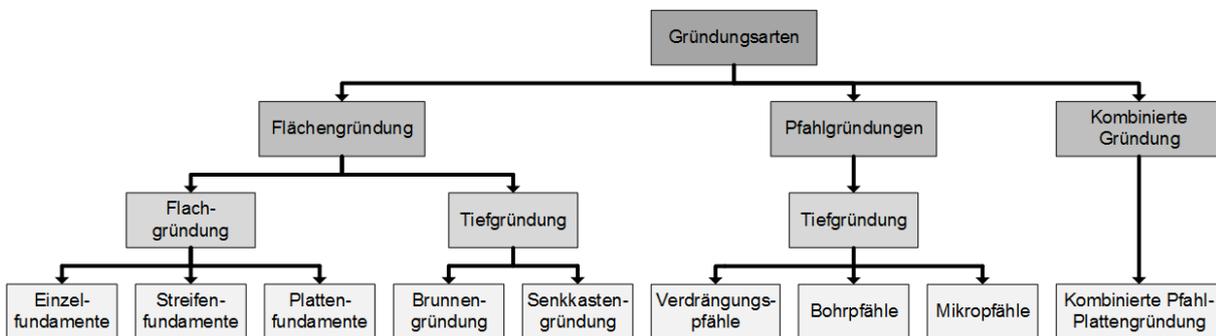


Abbildung 81: Gründungsarten und ihre Subtypen.

Bauwerkslasten werden bei Flächengründungen vorwiegend durch die Sohlflächen (Aufstandsflächen) auf den Baugrund übertragen, wo sie Sohlspannungen (Sohldruck σ) verursachen; bei Pfahlgründungen hingegen werden sie über Mantelreibung q_s und Pfahlspitzendruck q_b in den Boden abgetragen. Abhängig von der Tiefe des tragfähigen Bodens unter der Geländeoberfläche wird die Gründungskonstruktion gewählt.

Abbildung 82 fasst zusammen, wie sich einerseits die Gründungsart und damit die Materialmenge und andererseits die Materialart gewandelt haben.

¹⁶ Aus und auf der Basis von: Schneider, L.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien in Gebäuden aus ihren Gründungen und Fundamenten.

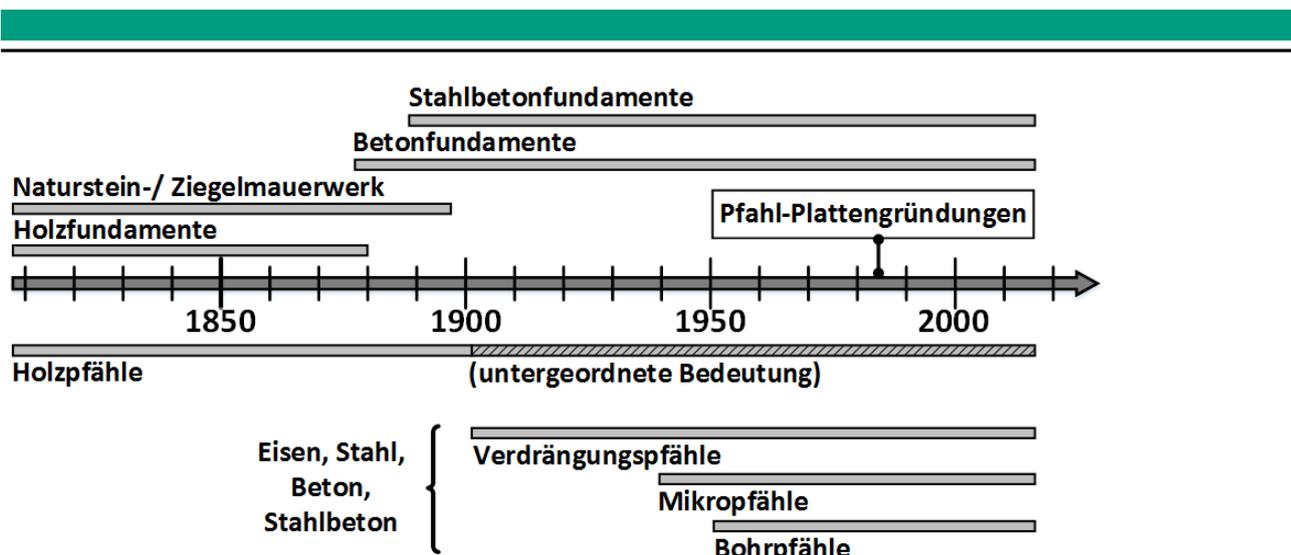


Abbildung 82: Überblick über Gründungsarten und -materialien seit 1820.

Gemäß Abbildung 82 ist eine hohe Bandbreite von Fundamenten und Gründungen möglich. Stellvertretend für alle gemauerten Fundamente sind in Tabelle 47 die Materialien eines Streifenfundaments aus Bruchsteinen gegeben.

Tabelle 47: Streifenfundament nach Opderbecke

Maße	Material/Komponente pro Bauteil		Rohstoff pro Bauteil		
	Komponente	Menge	Rohstoff	Menge	Menge
		[m ³ /m ²]		[dm ³ /m ²]	[kg/m ²]
0,47m x 0,83m x 1m	Bruchstein	0,31	Bruchstein (Granit)	312	833
	Mörtel	0,08	Sand	47	73
			Kalkstein	23	64
			Ton	8	12

Bei Gebäuden, die nach dem ersten Weltkrieg errichtet wurden, kann von Konstruktionen aus Stahl-/Beton ausgegangen werden. Größe und Art der Gründung können annähernd realistisch abgeschätzt werden, sofern folgende Informationen zu dem fraglichen Gebäude vorliegen.

Information über:

Benötigt für:

Abmessungen des Gebäudes:

- Abmessungen der Stützen und tragenden Wände
- Geschossezahlen, Kellergeschosse, usw.

Bauweise und verwendete Baumaterialien

} Ständige Lasten

Art und Nutzung des Gebäudes

} Veränderliche Lasten

Bodenverhältnisse

} Sohldruck

Grundwassersituation

} Bemessung
} Wannenfundament

Pauschal kann bei Gebäuden, deren Kellergeschosse in Grundwasser eintauchen, von einer Wannengründung ausgegangen werden. Deren Volumen lässt sich mittels Grundfläche und Stand des Grundwasserspiegels bestimmen. Die Fundamentart anderer Gebäude lässt sich anhand folgender Anhaltspunkte eingrenzen.

Büro- und Industriegebäude:

- Einzel-, Streifen-, Platten- und Wannenfundamente
- In Industrie- und Gewerbegebäuden eventuell zusätzlich Maschinenfundamente.
- Bei offenen Hallenkonstruktionen oft Einzelfundamente
- Ab einer bestimmten Grundfläche und Geschossanzahl sind nur Plattenfundamente sinnvoll, bei kleineren Abmessungen kann die Berechnung von Streifenfundamenten und/oder Einzelfundamenten erfolgen

Versammlungsstätten (Bibliotheken, Sporthallen,...)

- i.d.R. Plattenfundamente; Wannensowie Einzel- und Streifenfundamente
- Einzel- und Streifenfundamente nur in Sonderfällen, d.h. bei komplexer Geometrie des Gebäudes, wenn Lasten nicht in das Plattenfundament geleitet werden

Hochhäuser

- weiße Wanne, Plattenfundament, Pfahl- oder kombinierte Pfahl-Plattengründung
- bei kleinen Hochhäusern Plattengründung möglich
- bei (sehr) hohen Hochhäusern oder schlechtem Hochhaus-Baugrund, i.d.R. Pfahl- oder kombinierte Pfahl-Plattengründung.

Sonderbauten

- Alle Gründungsarten möglich -> Analogie zu anderen Beispielen?
- bei kleinen Flächen und Lasten wahrscheinlich Einzel- oder Streifenfundamente, bei großen Gebäuden und Lasten: Plattenfundamente.

Für die Abschätzung der Massen in (Stahl-)Betonfundamenten bietet die folgende Zusammenstellung eine Orientierung.

Quadratische Einzelfundamente:

Seitenlänge

$$a(m) = \sqrt{\frac{1,2 \cdot N_{St} \left(\frac{kN}{m}\right)}{zul \sigma_B \left(\frac{kN}{m^2}\right)}}$$

Fundamentdicke (unbewehrt):

$$h(m) = 0,6 \cdot (a - h_{St})$$

Fundamentdicke (bewehrt):

$$h(m) = a/3$$

$$h(m) > 30 \text{ cm}$$

Gesamtvolumen $V_{ges} = a^2 \times h \times \text{Anzahl}$

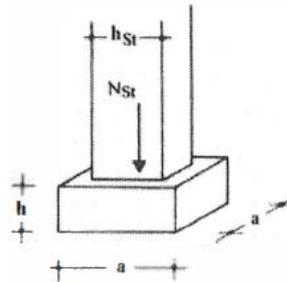


Abbildung 83: Einzelfundament (quadratisch) Vorbemessung

Streifenfundamente

Fundamentbreite

$$b(m) = \frac{1,2 \cdot N \left(\frac{kN}{m}\right)}{zul \sigma_B \left(\frac{kN}{m^2}\right)}$$

Fundamentdicke

$$h(m) = 0,6 \cdot (b - h_{wand})$$

$$h(m) > 30 \text{ cm}$$

Gesamtvolumen $V_{ges} = b \times h \times \text{Länge}$

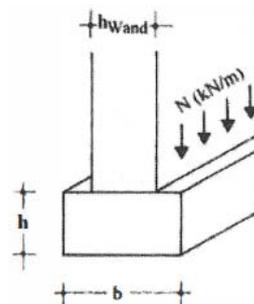


Abbildung 84: Streifenfundament Vorbemessung

Plattenfundamente:

Plattendicke

$$h(m) = \frac{\text{Gebäudehöhe } H}{30}$$

$$h(m) \geq 25 \text{ cm}$$

Gesamtvolumen $V_{ges} = h \times \text{Grundfläche}$

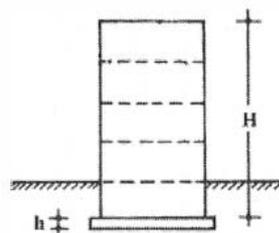


Abbildung 85: Plattenfundament Vorbemessung

Wannengründung:

Sohlendicke

$$h_s = \Delta 2/3 * \Delta h$$

$$h_s > 30 \text{ cm}$$

Wanddicke

$$h_w > 30 \text{ cm}$$

Gesamtvolumen

$$V_{\text{ges}} = h_s * \text{Grundfläche} + 2 * (h_w * \text{Kellerhöhe} * \text{Gebäudelänge} + \text{Gebäudebreite})$$

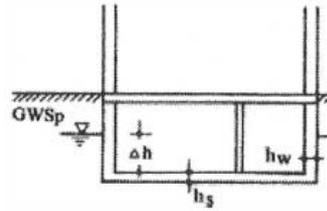


Abbildung 86: Wannengründung

A.8.2 Komponentendetails Wände¹⁷

Für Wände und Mauern wurde historische Literatur für die Ausbildung im Mauerwerksbau recherchiert und ausgewertet, um über die eingesetzten Materialien die Rohstoffe je aufgehende Flächeneinheit zu ermitteln. Die verschiedenen Mauerstärken wurden entsprechend berücksichtigt, so dass für die gängigen Stärken entsprechende Zusammensetzungen aufgelistet wurden. Insgesamt wurde chronologisch und berufsspezifisch recherchiert, so dass die Abhandlung hier zum einen grob in die Bauart (aus Steinen – aus Beton) untergliedert ist, zum anderen die Chronologie der Entwicklung wiedergibt.

Die Mauerdicke hängt sowohl von den Gebäudeabmessungen als auch von regionalen Vorschriften und Erfahrungswerten ab, nimmt jedoch immer nach unten hin zu: ausgehend von 1-1½ Steinen (25-37 cm) im obersten Stockwerk verbreiterte sie sich je 1-2 Etagen um ½ Stein (Opderbecke, Warth). Ähnliches galt für Brandmauern aus Ziegel (Opderbecke); aus Bruchstein hatten sie fast doppelt so stark zu sein: 45 cm bis 60 cm in den unteren beiden Etagen. Tragende Mauern im Innern wurden i.d.R. 1-2 Stein, nicht tragende ½-1 Stein stark ausgeführt (Warth). Je nach Mauerstein variiert die Fugenstärke zwischen 10-12 mm (Backsteine) und 2-6 mm (Quadermauerwerk) (Opderbecke).

Tabelle 48 zeigt Rohstoffwerte einer mit Normalformat-Steinen und einer verlängerten Zementmörtelmischung von 1:0,5:5 hergestellten Vollziegelmauerwand. Hierbei wurde ein Portlandzement der Mischung 1:3 (Ton:Kalk) zugrunde gelegt. Die ersten Spalten klassifizieren die Mauer nach ihrer Stärke. Die dritte Spalte beschreibt die im Bauteil vorhandenen Elemente oder Materialien mit den zugehörigen Volumina an 1 m² aufgehender Mauerfläche. In der Spalte „Rohstoff pro Bauteil“ sind alle im Bauteil befindlichen Rohstoffe gelistet – mit Volumen bzw. der Masse pro m² Bauteil.

¹⁷ Aus und auf der Basis von: Horländer, N.: Literaturstudie: Historische Baumaterialien im Rohbau und ihre Zusammensetzung

Tabelle 48: Rohstoffzusammensetzung Ziegelsteinmauer aus Vollsteinen im Normalformat. 250 x 120 x 65 mm mit Zementmörtel, Stoßfugenstärke 1,0 cm und Lagerfugenstärke 1,2 cm. * ohne Putz Verlängerte Zementmörtel, ² mit Zementaußenputz 1,5 cm Stärke; ³ mit wasserdichtem Zementaußenputz 1,5 cm Stärke, wasserdichtem Zementmörtel für Fugen und Asphalt (2 cm) Isolierschicht für GU

Bauteil	Typ	Material/Komponente pro Bauteil		Rohstoff pro Bauteil		
		Bauteil- Komponenten	Menge [m ³ /m ²]	Rohstoff	Menge	Menge
					dm ³ /m ²	kg/m ²
Wand ohne Putz*	0,5	Ziegelstein	0,098	Lehmerde	98	176
				Kalkstein	4	11
	12cm	Mörtel	0,022	Ton	1	2
				Sand	17	26
Wand, außen, verputzt ²	0,5	Ziegel (Vollziegelstein)	0,098	Lehmerde	98	176
		Mörtel (VZM)	0,022	Kalkstein	6	18
	12cm	Außenputz	0,015	Ton	2	3
					Sand	29
Wand, außen, verputzt, wasser- dicht ³	0,5	Ziegel (Vollziegelstein)	0,10	Lehmerde	98	176
		Mörtel (ZM)	0,02	Kalkstein	11	31
	12cm	Außenputz	0,02	Ton	4	6
		Asphalt	0,02	Sand	22	35
					Asphalt	—

Wand	3	Ziegelstein	0,590	Lehmerde	590	1061
				Kalkstein	32	89
	77cm	Mörtel	0,180	Ton	9	14
				Sand	139	215
Wand, außen, verputzt	3	Ziegel (Vollziegelstein)	0,590	Lehmerde	590	1061
		Mörtel (VZM)	0,180	Kalkstein	35	96
	77cm	Außenputz	0,015	Ton	10	15
					Sand	150
Wand, außen, verputzt, wasser- dicht	3	Ziegel (Vollziegelstein)	0,59	Lehmerde	590	1061
		Mörtel (ZM)	0,18	Kalkstein	59	161
	77cm	Außenputz	0,02	Ton	20	29
		Asphalt	0,02	Sand	117	182
					Asphalt	—

Metall hielt nicht nur durch Eisen- oder Stahlbeton Einzug in das Mauerwerk. So wurden Außenmauern bei repräsentativen Gebäuden verkleidet mit Naturstein oder besonderen Ziegelsteinen, die z.B. aus farbigem Ton gebrannt oder mit Farbe überzogen waren (Opferbecke). Natursteine

waren mit verschiedenen Flüssigkeiten¹⁸ behandelt oder gestrichen, um sie gegen Wind und Wetter zu schützen. Plattige Verblendungen wurden mit Ankern¹⁹ an dem dahinterliegenden Mauerwerk angebracht, volle Steine in das Hauptmauerwerk eingebunden und untereinander mittels Dübel²⁰ und Klammern²¹ befestigt. Die eisernen Verbindungselemente sind verzinkt oder verbleit und in den Mauersteinen mit Zement, Blei oder Schwefel fixiert (Opderbecke).

Tabelle 49: Verblendete Ziegelsteinmauer in unterschiedlicher Stärke mit Verblendhohlsteinen; Mauerverblendung mit Naturstein: zusätzliche Rohstoffe zur Mauer

Bauteil	Stärke	Material/Komponente pro Bauteil			Rohstoff pro Bauteil		
		Komponente	Details	Menge	Rohstoff	Menge	Menge
cm				[m ³ /m ²]			[m ³ /m ²]
Wand	25,2	Hohlziegelstein	(abzgl Hohlräume)	0,06	Lehm	185	334
		Vollziegelsein	Normalformat	0,12	Kalkstein	14	38
		Mörtel	VZM	0,08	Ton	4	6
					Sand	59	92
Wand	31,5	Hohlziegelstein	(abzgl Hohlräume)	0,06	Lehm	236	425
		Vollziegelsein	Normalformat	0,18	Kalkstein	16	45
		Mörtel	VZM	0,09	Ton	5	7
					Sand	71	110
Wand	38	Hohlziegelstein	(abzgl Hohlräume)	0,06	Lehm	258	464
		Vollziegelsein	Normalformat	0,20	Kalkstein	25	68
		Mörtel	VZM	0,14	Ton	7	11
					Sand	106	165
Wand	44,5	Hohlziegelstein	(abzgl. Hohlräume)	0,06	Lehm	337	607
		Vollziegelsein	Normalformat	0,28	Kalkstein	23	62
		Mörtel	VZM	0,13	Ton	6	10
					Sand	97	150
Verblendung	ca. 15 cm Naturstein	Naturstein	Sandstein	0,12	Sandstein	121	289
		Mörtel		0,03	Kalkstein	5	15
		Ankerhaken	(An.)	8 Stück	Ton	2	2
		Klammern	(An.)	8 Stück	Sand	23	36
		Goudron Anstrich			Eisen		
					Goudron		

¹⁸ Neben heißem Asphalt (Opderbecke), S.96), auch *Paraffin, Wachs, Leinölfirnis, Terpentinöl, Ölfarbe, Siderosthen, Teer, Testalin, Kesslerische Fluat* (=Lösungen aus verschiedenen Metallen, z.B. Mg, Pb, Sn, u.a. mit Kieselfluorwasserstoffsäure) und verschiedene Putzanstriche (Haberstroh 1922, Bd.1 S.56f);

¹⁹ 40-50cm lang aus Flacheisen, 25-30mm breit und 8-10mm stark

²⁰ 8-10 cm lang aus Quadrateisen 2-3cm

²¹ 20-25cm lang aus Flacheisen, 25-30mm breit und 8-10mm stark

Bauteil	Stärke	Material/Komponente pro Bauteil			Rohstoff pro Bauteil		
		Komponente	Details	Menge	Rohstoff	Menge	Menge
				[m ³ /m ²]			[m ³ /m ²]
Verblendung	ca. 15 cm Platten aus Granit od. Synit	Naturstein	Granit od. Synit	0,121	Synit	121	332
		Mörtel		0,030	Kalkstein	5	15
		Ankerhaken	(An.)	8 Stück	Ton	2	2
		Klammern	(An.)	8 Stück	Sand	23	36
					Eisen		

Zwischenräume waren z.T. gefüllt: mit Sägemehl oder Koksasche zur Wärmedämmung (Emperger 1923) oder / und mit Beton incl. Eisenbewehrungen in regelmäßigen Abständen, um die Stabilität zu erhöhen (Tabelle 50) (Haberstroh 1922). In Anlehnung an den Holzfachwerkbau wurden Konstruktionsarten mit Metall erstellt: aus tragenden Eisenbetonpfeilern mit gemauerten Ziegelfachen (Haberstroh 1908) oder aus Stein und Eisen, wo zwischen Pfosten (aus Eisen oder Holz) ein Flacheisenfachwerk aufgespannt und ausgemauert wird, wie z.B. bei der Prüß-Wand (Abbildung 87 und Abbildung 88, Tabelle 51) (Emperger 1923).

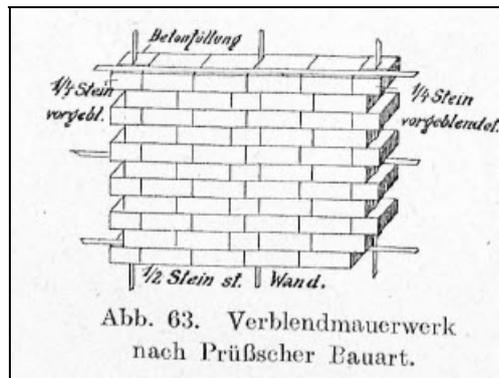
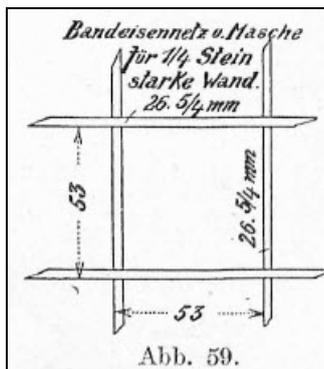


Abbildung 87 (links): Flacheisenwerk Prüß-Wand [Emperger 1923, S.322]

Abbildung 88 (rechts): Prüß-Wand mit Vollziegeln vermauert [Emperger 1923, S.322]

Tabelle 50: Wände aus Betonformsteinen

Bauteil	Typ	Material/Komponente pro Bauteil			Rohstoff pro Bauteil		
		Komponente	Details	Menge	Rohstoff	Menge	Menge
Wand				[m ³ /m ²]		[dm ³ /m ²]	[kg ³ /m ²]
Bauweise AG Wayss und Freytag	Wandfläche	Betonstein	0,5x0,25x0,3 m	0,13	Verfüllung	98	285
		Verfüllung	Sägemehl o. Schlackensand o. Torfmull o. Koksasche	0,10	Kalkstein	12	32
					Ton	2	4
					Kies	113	169
	Ecke	Betonstein	0,5x0,25x0,3 m	0,07	Kalk	14	39
		Verfüllung	Sägemehl o. Schlackensand o. Torfmull o. Koksasche	---	Ton	5	7
		Betonfüllung	(An1:5) (Entspricht Stampfbetonmischung nach Opderbecke)	0,06	Kies	107	160
		Eisen- bewehrung	(AN. 1cm Drähte)	0,00	Eisen	0	1
Bauweise Ambi	Außenwand	Innenstein	(1:2:6)	0,06	Kalk	9	26
		Außenstein	(1:8)	0,06	Ton	3	5
		Verfüllung	Sägemehl o. Schlackensand o. Torfmull o. Koksasche	0,09	Kies	50	74
					Sand	12	19
					Koksasche	37	33
					Verfüllung	91	265
	Innenwand	Innenstein		0,11	Kalk	9	26
		Verfüllung	Sägemehl o. Schlackensand o. Torfmull o. Koksasche	0,09	Ton	3	5
					Sand	25	38
					Koksasche	74	67
			Verfüllung	91	265		

Der Zement-Eisenbau hält mit dem 20. Jahrhundert Einzug: Monierwände bestehen aus einem Drahtgeflecht sich waagrecht kreuzender Drähte (5-15 mm stark), das gegen eine Schalung mit dickflüssigem Beton bestrichen wurde. Die Wände sind nur noch 3-5 cm stark (Wart 1903). Eisenbeton wurde zunächst hauptsächlich beim Bau von Fabriken und anderen Großbauten verwendet, insbesondere für Außenwände (Emperger 1923).

Tabelle 51: Stahlbetonwände

Bauteil bzw. Rohstoff	Monierwand	Prüßwand	Prüßwand
	Maschenweite 8 mm 0,04 m stark	¼ Stein stark, Spannweite 3-4m 0,65 m stark	½ Stein stark, Spannweite 6m 0,65 m stark
Drahteinlage	0,01	-	-
Beton	0,03	-	-
Vollziegel	[m³/m²]	-	0,62
Mörtel	-	0,11	0,13
Eiseneinlagen	-	0,00021	0,00021
Kalkstein	13	55	70
Sand	-	123	157
Kies	37	-	-
Ton	2	10	13
Lehm	-	1123	1966
Eisenerz	20	0,455	0,455

A.8.3 Komponentendetails Decken²²

Die Analyse von Decken basiert ebenfalls auf historischer Literatur. Ausgehend vom Zimmermann und hölzernen Decken wurden ab 1850 Holzbalken durch Eisenträger verdrängt oder Flacheisen zwischen die hölzernen Deckenbalken geklemmt und ab 1900 Beton im Deckenbau eingesetzt. Mit Walzeisenträgern ergaben sich verschiedene Deckentypen je nach Material der Deckenfache: Hohlstein, Beton mit oder ohne zusätzliche Eiseneinlagen, die in verschiedenen Formen auf unterschiedliche Art eingebracht wurden, um die Tragfähigkeit der Decken zu erhöhen (Warth 1903). Hierzu zählen die Kleinsche Decke, die Förstersche Decke, die Schürmannsche Decke (Warth 1903), und die Gewölbeträgerdecke (Haberstroh 1908), die jeweils verschiedene Ausführungen umfassen. In Tabelle 8 sind die verwendete Materialien und ihre Mengen übersichtlich zusammengefasst.

Decken ohne Balkenlage wurden ab 1900 gebaut, z.B. Hohlsteindecken von Bremer und Cracoanu (Opderbecke 1910, mit einem Geflecht aus Eisendrahtbewehrung²³, Hohlziegeln und Zementmörtel. Bei der Bremerschen Decke wurden Hohlsteine mit unterschiedlicher Stärke verwendet, wodurch unterschiedlich große Deckenplatten möglich wurden (Tabelle 52). Bei der Cracoanu Decke sind in die Steine (250 x 250 x 154 mm) Papp- oder Zinkblechrollen zur Verbindung eingefügt, damit kein Mörtel in die Hohlräume fließt (Opderbecke 1910). Es waren über 100 Deckentypen bekannt (Emperger 1923).

Tabelle 52: Steinstärken (25cm Länge und 16,5 cm Breite konstant) und Plattengrößen der Bremerschen-Hohlsteindecke (Opderbecke, Adolf (1910) S.172 f.)

Stein Stärke [mm]	215	185	150	120	90	65
Plattengröße [m x m] Bremersche Hohlsteindecke	5,25 x 9,0	5,0 x 8,5	4,0 x 8,0	3,5 x 5,0	2,5 x 5,0	2,0 x 3,0

²² Aus und auf der Basis von: Horländer, N.: Literaturstudie: Historische Baumaterialien im Rohbau und ihre Zusammensetzung

²³ Durchmesser von rund 1 cm. Opderbecke, Adolf (1910), S.175

Ab 1925 wurde die Eisenbetondecke mit Baustahlgewebe z.B. in Werkstattgebäuden verbaut. Hierbei handelt es sich um eine Hohlkörper-Rippen-Decken mit Bewehrung (ohne Stahlträger). Form, Größe und Material der Hohlziegel sowie der Füllungen variierten mit den Namen der Konstruktionen (Tabelle 53). Gemeinsam war, dass die Füllkörper aus Drahtgewebe bestehen konnten und auf den Füllsteinen eine Betondeckschicht ausgeführt wurde.

Tabelle 53: Verschiedene Deckenarten und in ihnen eingesetzte Rohstoffe

Rohstoff [dm ³ /m ²]	Kleinsche Decke flachliegende Schemmsteine	Förster Decke porige Lochsteine	Schürmannsch e Decke Schwemmstei ne flach + Fe- Einlage in jeder 3. Fuge	Viktoria Decke Vollziegel	Cracoanu Decke porige Lochziegel flach verlegt
Kalkstein	59,8	37,9	47,0	22,3	50,2
Quarzsand	37,2	36,5	44,8	39,8	89,3
Bimssand	49,3	-	50,0	-	-
Kohlenschlacke	37,3	37,3	0,0	-	0,0
Kies	25,7	25,7	-	-	-
Tonerde	6,5	6,4	3,6	3,2	7,2
Lehm	-	77,4	-	150,7	98,6
og. BS	-	1,3	-	-	1,6
Metall	0,4	0,4	0,4	0,8	1,2

A.8.4 Komponentendetails Dach²⁴

Ein Dach besteht aus Abdichtung, Dämmung und Tragwerk. Das Tragwerk – der Dachstuhl – fällt bei flachen Dächern volumenärmer aus als bei hohen geneigten Dächern. Im Hallenbau können für kurze Spannweiten einfache Stahlbetonträger, Stahlträger oder Holzbalken eingesetzt werden, deren Abmessungen und Anzahl bzw. Konstruktionsweise nicht nur von der Spannweite und Tragwerk, sondern auch von klimatisch bedingten Zusatzlasten wie Schnee abhängen. In Tabelle 54 sind flächenspezifische Stahlmassen unter verschiedenen Bedingungen zusammengestellt.

Tabelle 54: Vergleich der spezifischen Stahlmassen für ein Hallendach mit 60m Länge; nach Bauforum Stahl.

Tragwerk	Schneelast kN/m ²	Binderprofile Flächengewicht kg/m ²			Gesamtes Dach Flächengewicht kg/m ²		
		Spannweite in m			Spannweite in m		
		12	15	20	12	15	20
eingespannt	0,75	12,16	16,63	22,37	26,15	30,38	36,88
	1,20	14,23	19,43	30,43	28,22	34,90	46,59
	2,00	16,63	22,37	41,07	32,34	42,64	63,92
zweigelenk	0,75	10,47	14,23	19,43	24,47	27,98	34,00
	1,20	12,16	14,23	22,37	26,15	29,69	38,49
	2,00	14,23	19,43	34,83	29,93	39,71	57,68

²⁴ Aus und auf der Basis von: Nguyen, J.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien aus Flach- und Pultdächern auf Industrie- und Gewerbegebäuden

Spannweiten ≥ 20 m -25 m erfordern Träger in Fachwerkbauweise (Pasternak et al. 2010, S. 56). Tabelle 55 fasst hierfür die spezifischen Metallmengen für unterschiedliche Stahlsorten bei variierenden Spannweiten und Schneelasten zusammen.

Tabelle 55: Spezifische Flächengewichte Einfeld-Fachwerkträger für unterschiedliche Schneelasten und Spannweiten.

Spannweite [m]	spezif. Flächengewicht [kg/m ²]					
	Schneelast 0,75 kN/m ²		Schneelast 1,2 kN/m ²		Schneelast 0,75 kN/m ²	
	Stahl S235	Stahl S355	Stahl S235	Stahl S355	Stahl S235	Stahl S355
20	10,4	14,2	9,5	6,9	19,2	13,1
30	16,6	22,5	13,1	9,5	30,6	17,7
40	22,5	30,6	17,7	13,1	40,8	24,0

Statt Ziegel werden bei Flachdächern leichtere Stoffe für die Abdichtung eingesetzt. Diese sind i.d.R. Metallbleche, Flüssigabdichtungen, Bitumen- oder Polymerbitumenbahnen, Kunststoffbahnen, oder Elastomerbahnen. Die Bahnen sind in einer oder mehreren Lagen angebracht (Ibold 2009), für die flüssigen ist Abdichtungen ist eine Mindestdicke von 1,8 mm vorgeschrieben (Ibold 2009). Mengenmäßige Details zu den Metallblechen sind in Tabelle 56 zusammengefasst.

Tabelle 56: Metalldeckung - Materialien, Profildicken und Gewicht (Sedlbauer et al. 2010, S. 108)

Material	Aluminium	Kupfer	Verzinkter Stahl
Blech, glatt – Stärke in mm	0,7 - 1,2	0,6	0,63 – 1,0
Gewicht in kg/m²	3,1 - 5,2	7,9	6,7

Spezifische Materialkennwerte des Dachaufbaus können für Hallen als konstant angenommen werden. Für gedämmte Dächer überwiegt der Aufbau Trapezblech-Wärmedämmung-Abdichtung (Tabelle 57). Für Massivkonstruktionen können Zahlen aus Tabelle 58 angenommen werden:

Tabelle 57: Aufbau Flachdach aus Stahlträgern mit Trapezblechdach (nach Sedlbauer 2010, S. 26)

	Flächengewicht, max.
Zweischichtige Bitumen- und Polymerbitumenschweißbahn	14,3 kg/m ²
Wärmedämmung 100 mm (Glas- oder Mineralwolle)	20,4 kg/m ²
Trapezblech	20,4 kg/m ²
Träger HEA 200 à 3,00 m	15,3 kg/m ²

Tabelle 58: Aufbau Dach mit Folie und Spannbeton

	Schichtdicke	Flächengewicht
PVC-Folie (Abdichtung)	0,0015 m	1,95 kg/m ²
PE-Folie (Dampfbremse)	0,0004 m	0,38 kg/m ²
Dachdämmung	0,200 m	20 kg/m ²
Spannbeton	0,300 m	Stahl 23,58 kg/m ² Beton 742,5 kg/m ²

A.8.5 Komponentendetails Fenster²⁵

Die Anzahl an Fenstern eines Gebäudes sagt nichts aus über deren Größe und Materialien. Auch die Fensterfläche reicht nicht, um plausible Ergebnisse zu erhalten, da die Fensterfläche (der Glasanteil) nur bedingt in Relation zum Rahmen steht. Zwei Fenster mit dem selben Flächeninhalt können sich im Umfang (der summierte Rahmenlänge) deutlich, d.h. um 20% geringer bzw. um 25% höher unterscheiden. Für präzise Angaben müssen folglich die Fläche der Fenster, die Länge des Rahmens (in laufenden Metern) sowie dessen Stärke und Material bekannt sein. Mit Werten aus Tabelle 59 kann grob abgeschätzt werden, welche Materialmengen ein Fenster liefert. Neben den Hauptmaterialien für Rahmen, Scheibe und Beschlag bestehen Fenster aus Materialien für die Abdichtung sowie ggf. automatische Abblendung.

Für die „Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen“ hat der Verband Fenster + Fassade (VFF) zweiflügelige Fenster mit den einheitlichen Außen- bzw. Mauerlochmaßen 1650 mm x 1300 mm, Rahmen-Wetterschenkeln, einer Mittelpartie mit Stulp oder Setzholz und Anschlag auf Leibung gefertigt und u.a. mit Gewichtsangaben veröffentlicht. In Tabelle 59 sind Flächen und Gewichte daraus übernommen und durch die Berechnung des spezifischen Gewichtes ergänzt. Für rein metallische Fensterrahmen werden die (Brutto-) Abmessungen aus den Konstruktionszeichnungen übernommen, PVC, Holz- und Holzmetall-Rahmen werden praxisüblich auf Leibung angeschlagen, d.h. hier kommen Nettorahmenflächen zum Tragen. Mit der verringerten Bezugsfläche nimmt das spezifische Gewicht um 80-90% zu (s. Tabelle 59).

Tabelle 59: Materialmassen bei Fenstern (eigene Berechnung auf der Basis von VFF)
* Nettoflächen bei Einbau auf Leibung – hier nicht weiter relevant

	Alu	Stahl	Edelstahl	Buntmetall	Holz-Alu	Holz	PVC
Rahmenflächen m ²	0,64	0,7	0,75	0,78	0,96 / 0,51*	0,92 / 0,49*	0,89 / 0,49*
Gewicht Fensterrahmen kg	39,65	75,1	62,35	91,3	31,65	26,43	43,73
Spezifisches Gewicht kg/m ²	62	107,3	83,1	117,1	33,0	28,7	49,1

Zum Rahmen kommt die Verglasung hinzu. Eine Scheibe ist zwischen drei und 19 mm dick. Je nach Art der Verglasung besteht sie aus mehreren Scheiben. Für Sicherheitsglas werden diese durch Kunststofffolien verbunden, bei Isolierglas sind mit Trockenmittel gefüllte Abstandhalter aus Edelstahl oder Kunststoff zwischen den einzelnen Scheiben eingebracht. Hier weisen die einzelnen Scheiben eine Stärke von 4-8 mm auf. Die dicksten Scheiben werden im Brandschutz eingesetzt, wo bis zu 71 mm erreicht werden können. (Hestermann und Rongen 2013). Mit einer Dichte von 2500 kg/m³ lassen sich Werte zwischen 7,5 kg/m² (3 mm, einfach) und 60 kg/m² (8 mm, dreifach) errechnen. Doppelverglasungen mit einer Scheibenstärke von 6 mm wiegen 45 kg/m².

²⁵ Aus und auf der Basis von: Küster, P.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien aus lichtspendenden Komponenten in Industrie- und Gewerbegebäuden

A.8.6 Komponentendetails Leuchten²⁶

Die Recherche zu Leuchten umfasste diesbezügliche Rechte und Gesetze, verschiedene Leuchtmittel und Leuchtentypen mit Funktionsweise und Aufbau, die Internetpräsenzen von Herstellern ggf. incl. einer elektronischen Anfrage zu Details sowie die Auswertung von statistischen Angaben. Leuchten sind komplexer aufgebaut als Fenster. Dadurch fällt eine Vielzahl an Materialien an. Hinzu kommt die große Bandbreite an künstlichen Lichtquellen. Je nach Gebäudetyp kann anhand der verbauten Leuchtmittel auf einen Leuchtentyp geschlossen werden.

Tabelle 60: Klassifikation des Leuchtentyps nach Leuchtmitteln

Leuchtmittel	Leuchtstofflampe	LED	Hochdruckentladungslampe	Glühlampe
Fabrikgebäude	Wannenleuchte	Strahler, z.T. Wannenleuchte	Strahler	Unbekannt
Bürogebäude	Rasterleuchte	Rasterleuchte	-	Unbekannt

Die unbekannt Anzahl ist auch bei der Materialermittlung aus Leuchten problematisch. Grundsätzlich wäre es möglich, über die Mindestlichtstärke eine Untergrenze der Anzahl an Leuchten zu errechnen. Hierfür nötige Informationen sind Leistung und Abstrahlwinkel sowie die Anbring-Höhe der Leuchten. Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass diese Angaben bekannt oder (leichter) zu ermitteln sind, als die Anzahl der Leuchten. Beim Zählen kann zeitgleich der Leuchtentyp aufgenommen werden, so dass mit den durchschnittlichen Materialgehalten gerechnet werden kann, um die Gesamtmengen zu erhalten.

A.8.7 Komponentendetails Wärmeversorgung

Wärmeerzeugungsanlagen werden allgemein nach dem Wärmeträger unterschieden, der die Wärme im Gebäude weitergibt bzw. verteilt. Zumeist ist dies Wasser oder Luft, in einigen Industrie- und Gewerbegebäuden auch Dampf (Krimmling et al. 2014). Im Folgenden wird nach den heizenden Elementen und der Wärmeerzeugung auf der einen Seite sowie deren Steuerung auf der anderen Seite unterschieden.

A.8.7.1 Heizelemente und Wärmeerzeugung²⁷

An Informationen zu den Komponenten werden von Herstellern meist technischen Daten wie Betriebsdruck, Wirkungsgrad usw. für ihre eigenen Produkte angegeben. Die hier gesuchten Daten sind selten auf den Webseiten der Hersteller zu finden, weshalb sie per Email erfragt wurden. Ergänzt wurden sie durch Abschätzung nach eigenem Ermessen.

Das am ehesten sichtbare Teil der Wärmeversorgung sind die Heizelemente: Radiatoren und Heizkörper. Anhand der Heizlast eines Büros²⁸ sind die in Tabelle 61 notierten Massen für verschiedene Wärme abgebende Elemente ermittelt.

²⁶ Aus und auf der Basis von: Küster, P.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien aus lichtpendenden Komponenten in Industrie- und Gewerbegebäuden.

²⁷ Aus und auf der Basis von: Chou, H.-C.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien in Gebäuden aus Wärmeversorgungsanlagen.

Tabelle 61: Vergleich verschiedener Heizkörper mit einer Heizlast von 2,37 kW:

Heizkörperart	Stahlröhren-radiator	Guss-radiator	Stahl-radiator	Platten-heizkörper
Mittelwert des Gewichts [kg]	70,63 (+17,37/-13,00)	175 (+13,00/-20,00)	80 (+8,00/-8,00)	57,66 (+9,65/8,82)
Hauptmaterial	Stahl	Gusseisen (Grauguss)	Stahl	Stahl

Die Wärme kann über verschiedene Leitungen dorthin transportiert werden. Sie unterscheiden sich hinsichtlich Material und Durchmesser, und damit auch der Masse (Diagramm und Tabelle 62).

Materialzahl [kg/km]

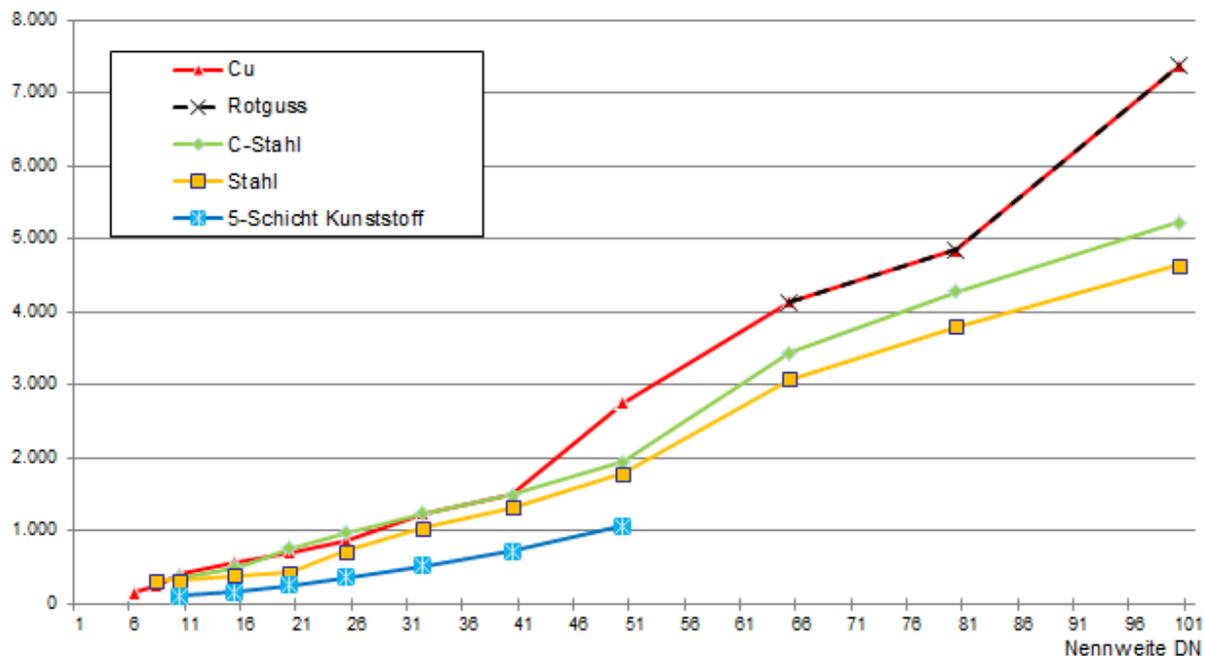


Tabelle 62: Durchschnittliche Längengewichte [kg/m] verschiedener Rohre in Abhängigkeit von Durchmesser und Material

Durchmesser	Stahl	C-Stahl	Kupfer	Rotguss	5-Schicht Kunststoff
"fingerdick" DN 6-15	342,89	430,25	352,26		137,42
"daumendick" DN 20-32	732,65	992,33	939,97		379,33
"bis armdick" DN 40-100	2.925,56	3.278,50	4.128,89	5.456,67	900,75
"armdick" DN 125-200			14.706,67		

²⁸ Zwei Arbeitsplätze, BJ 1968, ungedämmt.

Die zu verteilende Wärme kann unterschiedlich erzeugt werden. Es wurden Materialwerte für verschiedene Kessel (Tabelle 64 und Tabelle 65) sowie für Solarkollektoren ermittelt. Der Aufbau der Kollektoren variiert, was sich in der Materialmenge deutlich niederschlägt (Tabelle 63).

Tabelle 63: Materialeinsatz der Solarkollektoren
https://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/IZT_WB97.pdf; Stand: 29.04.2015

Materialeinsatz für den Kollektor in [kg/m ² Aperturfläche]					
Einsatzart	Material	Flachkollektor		Vakuümröhrenkollektor ¹⁰	
Beschichtung		Galvanik	Sputter	Galvanik	TiNOX
Absorber	Kupfer	2,83	2,1	6	5,91
Verschraubung	Messing	-	-	k. A.	0,48
Abstandshalter	Edelstahl	-	-	k. A.	0,13
Abdeckung	Glas	9,9	7,5	22	13,14
Rahmen	Aluminium	3,57	2	4	4 ¹¹
Wärmedämmung	Mineralwolle	2,35	2	2	2
	Polystyrol	-	2	-	0,32
Dichtung der Abdeckung	EPDMA	0,83	0,3	1	k. A.
Lötmaterial	Cd freies Hartlot	0,022	0,01	0,1	k. A.
Summe		19,48	15,9	35	26

Tabelle 64: Durchschnittliche Heizkesselmasse in Abhängigkeit von Kesselart und Material

Art des Heizkessels	Material	Stahl	Guss	Ø Mittelwert nach Brennerart
Brennwertkessel		1,43 [kg/kW]	4,08 [kg/kW]	2,76 [kg/kW]
Niedertemperaturkessel		2,82 [kg/kW]	3,87 [kg/kW]	3,35 [kg/kW]
Mittelwert nach Brennermaterial		2,13 [kg/kW]	3,98 [kg/kW]	3,06 [kg/kW]

Tabelle 65: Durchschnittliches Heizkesselgewicht je kW [kg] für Stahlkessel unterschiedlicher Leistung

Wärmeleistung [kW]	100-500	501-1000	1001-1500	1501-2000	>2001	Ø
Durchschnittliche Masse [kg/kW]	2,14	2,00	1,85	2,17	2,26	2,08

A.8.7.2 MSR für Wärmeversorgungsanlagen²⁹

Die erzeugte Wärme breitet sich über den Wärmeträger physikalischen Naturgesetzen folgend im Leitungsnetz aus. Damit die Wärme so verteilt wird, wie es Nutzende wünschen, wird die Wärme gemessen, der Zufluss bzw. die Verteilung gesteuert und geregelt, wofür Pumpen, Schieber und

²⁹ Aus und auf der Basis von: OTTERBEIN, N.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik in Industrie- und Gewerbegebäuden.

Ventile in das Leitungsnetz eingebaut sind. Die Temperaturregelung im Gebäude findet über Thermostatventile statt. Mit ihnen kann der Volumenstrom zum Heizkörper variiert werden, um die gewünschte Raumtemperatur zu realisieren. Für große Industrie- und Gewerbegebäude können Zentralregler sinnvoll sein (Reinhold 2012). Gusseiserne Thermostatventile sind für Betriebsdrücke ≤ 16 bar bei Temperaturen zwischen -25 °C und $+90$ °C geeignet und wiegen durchschnittlich 22 kg (Tabelle 66). Messing-Ventile sind bei deutlich kleineren Nennweiten eingesetzt, können -25 °C bis 130 °C regeln und wiegen durchschnittlich 1,5 kg (Tabelle 66).

Tabelle 66: Massen von Thermostatventilen verschiedener Nennweiten und ihre Materialien mit Maßen (Danfoss GmbH, 2016)

Nennweite DN	Material	H [mm]	L [mm]	L1 [mm]	Stückgewicht [kg]
10	Messing	240	72	14	1,45
15	Messing	240	72	14	1,45
20	Messing	240	90	16	1,50
25	Messing	240	95	19	1,65
Durchschnitt	Messing	240	82,3	15,8	1,51
32	Gusseisen	406	138	20	4,0
40	Gusseisen	434	198	30	7,0
50	Gusseisen	440	315	218	19,0
65	Gusseisen	456	320	224	24,0
80	Gusseisen	488	370	265	34,0
100	Gusseisen	508	430	315	44,0
Durchschnitt	Gusseisen	455,3	295,2	178,7	22,0

Temperaturregler (Ventile) sorgen dafür, dass die einerseits die gewünschte Temperatur nicht oder nur wenig und kurzzeitig überschritten wird, andererseits als Sicherheitsventil in Kesselanlagen dafür, dass keine unzulässig hohe Drücke entstehen (Reinhold 2012; DIN EN 12828). Deren Massen sind in Tabelle 67 zusammengefasst.

Tabelle 67: Massen von Sicherheitsventilen für Kesselanlagen (Goetze KG Armaturen, 2016)

Nennweite [DN]	8	15	20	25	32	40	50	Durchschnitt
451 – Edelstahl		0,8 kg	1 kg	1,8 kg	4 kg	-	-	1,9 kg
652 – Messing	0,1 kg	0,2 kg	0,3 kg	0,5 kg	0,7 kg	1,2 kg	1,6 kg	0,7 kg

Weitere Bauteile des Verteilsystems sind Umwälzpumpen, Absperrarmaturen (Klappen, Schieber), Entlüftungseinrichtungen und Schmutzfänger. (Krimmling et al. 2014,) Schmutzfänger schützen Armaturen vor enthaltenen Verunreinigungen (MIT Moderne Industrietechnik GmbH, 2016) und werden hauptsächlich aus Grauguss, Stahlguss oder Edelstahl hergestellt (Tabelle 68). Die durchschnittlichen Gewichte betragen für DN 15 bis DN 50: 5,7 kg – für DN 65 bis DN 150: 38,0 kg und für DN 200 bis DN 300: 194 kg.

Tabelle 68: Schmutzfänger (MIT Moderne Industrietechnik GmbH, 2016)

Nennweite	Grauguss			Stahlguss/Edelstahl	
DN	L [mm]	H [mm]	Gewicht [kg]	H [mm]	Gewicht [kg]
15	130	75	2,4	70	2,8
20	150	75	3,3	80	3,8
25	160	90	3,8	88	4,8
32	180	90	5,0	100	7,3
40	200	110	6,5	125	8,5
50	230	120	9,6	140	11,0
65	290	140	12,5	170	16,0
80	310	165	18,0	190	22,5
100	350	220	25,0	225	33,5
125	400	260	39,0	260	60,5
150	480	300	61,0	320	91,5
200	600	360	109,0	420	124,5
250	730	470	162,0	495	210,0
300	800	560	280,0	560	280,0
Durchschnitt	357,9	216,8	52,7	231,6	62,6

Gesamtmassenangaben zu Pumpen sind in Tabelle 69 zusammengetragen. Die Pumpen der linken Tabellenseite sind einstufige, axiale Niederdruck-Kreiselpumpen ohne Ausbaupkupplung aus Grauguss und Stahl. Für geringe Förderströme werden auch Nassläufer-Umwälzdoppelpumpen aus Grauguss, Edelstahl und Kunststoff (rechte Tabellenseite) eingesetzt (WILO SE 2016).

Tabelle 69: Pumpen für Warmwasserheizungen (WILO SE, 2016)

Motorenleistung [kW]	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Gewicht [kg]	Motorenleistung [kW]	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Gewicht [kg]
CronoNorm-NL					Stratos-D				
0,37	696	360	375	83	0,10	220	242	232	12
2,2	869	390	335	111	0,45	250	295	327	25
7,5	1074	440	583	240	0,65	340	393	375	48
15	1346	660	803	479	1,30	360	456	429	61
30	1298	660	803	545	-	-	-	-	-
45	1595	730	803	755	-	-	-	-	-
75	1764	730	888	1197	-	-	-	-	-
90	1764	730	888	1268	-	-	-	-	-
Durchschnitt	1300,8	587,5	684,8	584,8	Durchschnitt	292,5	346,5	340,8	36,3

Kompressoren und Pumpen halten den Druck konstant. Eine Übersicht über industriell eingesetzte Kompressoren bietet Tabelle 70. Gehäuse und eingebaute Armaturen bestehen überwiegend aus Stahl, Kupfer befindet sich in der Verkabelung.

Tabelle 70: Maße und Gewichte von Kompressoren
(Kaeser Kompressoren SE, 2016; Renner Kompressoren GmbH, 2016)

Hersteller	Eigenschaften	Breite [mm]	Tiefe [mm]	Höhe [mm]	Masse [kg]
Kaeser	1-stufig, 10 bar	1150	470	1000	123
		1150	610	1080	155
		1540	610	1250	230
		1150	610	1080	160
		1590	610	1250	230
		2050	730	1400	352
	2-stufig, 15 bar	1170	470	1000	130
		1540	610	1250	245
		2040	730	1410	447
	1-stufig, 10 bar	810	640	1900	160
		920	640	1970	230
	2-stufig, 15 bar	810	640	1900	200
		920	640	1970	250
		920	730	2040	313
	1090	920	2140	400	
Renner	2-stufig, 10 bar	1490	520	1240	170
		1950	670	1390	198
		1490	520	1240	171
	2-stufig, 15 bar	1950	670	1390	200
		1250	430	1100	110
		1260	460	1110	160
	Durchschnitt	1344,8	615,7	1433,8	220,7

A.8.8 Komponentendetails Elektroverteilung³⁰

Zur Elektroverteilung zählen Übertragungsnetze³¹, Kabel, Leitungen, Unterverteiler, Verlegesysteme und Installationsgeräte. Wie sie gegliedert sind, ist in Abbildung 89 dargestellt. „Kabel“ und „Leitung“ werden häufig synonym verwendet, dabei sind Kabel für höhere mechanische Beanspruchungen konzipiert und dürfen im Gegensatz zu Leitungen auch in der Erde verlegt werden. Beide werden zur Übertragung elektrischer Energie – zur Stromversorgung sowie zur Übertragung von Daten, Signalen oder Impulsen zur Kommunikation eingesetzt. Je nach Anwendungszweck bestehen die Leiter aus unterschiedlichen Materialien,³² die teilweise der äußeren Kennzeichnung zu entnehmen sind – europäisch harmonisiert gem. DIN VDE 0292³³ oder nach nationalen

³⁰ Aus und auf der Basis von: Zucchet, M.: Abschätzung der rückgewinnbaren Menge von Materialien der Elektroverteilung in Industrie- und Gewerbegebäuden.

³¹ Für Daten, Sprache, Text und Bild gem. DIN 267 Kostengruppe 450 – Fernmelde- und informationstechnische Anlagen und gem. Kostengruppe 480 – Gebäudeautomation.

³² Vgl. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, S. 85.

³³ Umsetzung des internationalen HD 361 S3:1999 + A1:2006.

Normen. Die Benennung erfolgt aus Buchstaben- und Zahlenangaben, die Aufbau in radialer Folge, Verwendungszweck, Anzahl und Querschnitt der Leiter erkennen lassen.³⁴ Ist ein Kabel entsprechend beschriftet, lassen sich aus Katalogen die Materialien über die angegebenen Kupferzahlen entnehmen.

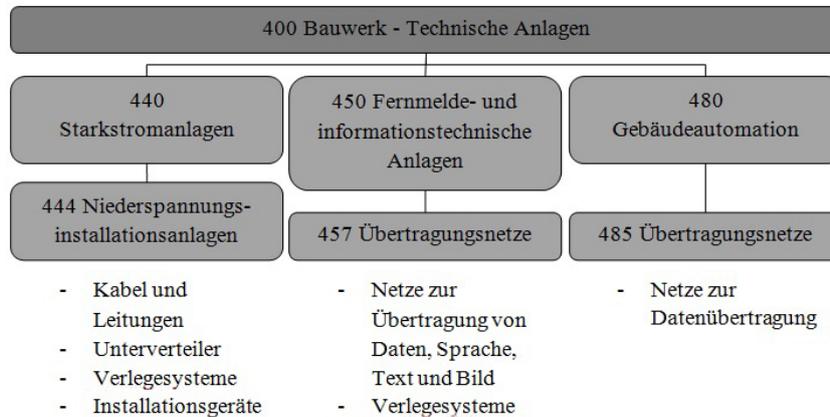


Abbildung 89: Relevante Kostengruppen gem. DIN 276 (Quelle: eigene Darstellung, nach DIN 276)

Für unbeschriftete bzw. nicht mehr lesbare Beschriftungen der Kabel muss ein anderer Weg gefunden werden. Zerlegte Kabelproben von 1 m Länge wurden bauteilspezifisch gewogen: Mantel, Füllmasse, Schirmgeflecht und die Aderisolation sowie Leiter und die Summe sowie die prozentuale Massenverteilung berechnet. Bei sehr dünnen Leitern fand die Massenermittlung im Verbund statt, bzw. gaben Anzahl der Leiter und das allgemeine Erscheinungsbild Anhaltspunkte für eine „Rückwärtsrecherche“, so dass durch den Vergleich mit Herstellerdatenblättern eine wahrscheinliche Beschriftung abgeschätzt wurde. Als Ergebnis der Untersuchung lässt der in Abbildung 90 graphisch dargestellte Zusammenhang ermitteln.

Für die Massenermittlung eines Unter- bzw. / Kleinverteilers wurde dieser vermessen und doppelt gewogen, wobei beim zweiten Wiegevorgang alle innen angebrachten Zubehöerteile wie Schienen, Klemmen und Schalter demontiert waren, um das Leergewicht des Verteilers zu ermitteln. Die ermittelten Werte wurden verglichen, verifiziert und Material sowie die Materialdicke recherchiert. Durch eine vereinfachte Berechnung wurde das Materialvolumen (V_{ges}) des Unterverteilers bestimmt, indem der Verteiler idealisiert als Quader betrachtet und das Volumen jedes der sechs Wandelemente (V_i), unter Einbeziehung der recherchierten Wanddicke sowie der Abmessungen, berechnet.

Das Vorgehen ergab, dass das Zubehör ca. 26 % des Gesamtgewichtes ausmacht. Der „Schrank“ besteht aus 1 mm dickem, mit Farbe beschichtetem Stahlblech. (STRIEBEL & JOHN GmbH & Co. KG). Als zusammenhängenden, idealen Quader betrachtet mit einer Wandstärke von 1 mm ergibt sich ein Stahlvolumen von 1.123,2 cm³, bzw. ein Gewicht von ca. 8,8 kg. Das praktisch ermittelte Gewicht liegt um 25 % höher, bedingt durch Scharniere und Doppelfalze am Türbereich.

³⁴ Vgl. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, S. 85–87.

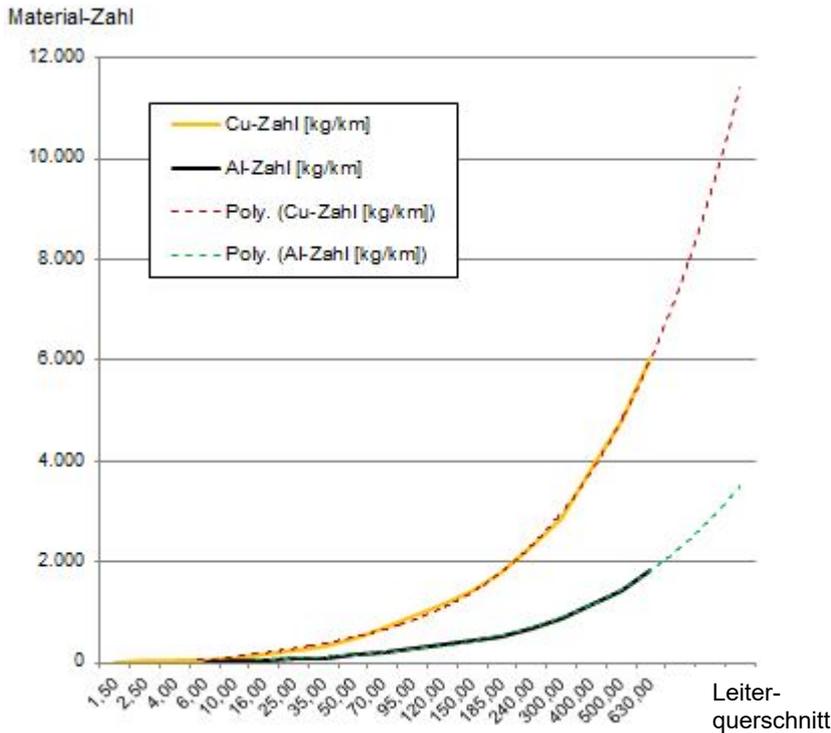


Abbildung 90: Leiterquerschnitte und zugehörige Materialzahlen für Cu und Al.

A.8.9 Komponentendetails Mess-, Steuer- und Regelungstechnik für Lufttechnik³⁵

Lüftungsanlagen, (Teil-)Klimaanlagen und Kälteanlagen behandeln Luft, d.h. ihre Erwärmung, Kühlung sowie die Feuchte wird durch sie gewährleistet. (Krimmling et al. 2014; Reinhold 2012) In raumluftechnischen (RLT) Zentralen befinden sich Luftfilter, -erhitzer und -kühler, Be- und Entfeuchter, Ventilatoren und Regelventile. (Reinhold 2012)

Tabelle 71: Industrieventilatoren (K-TECH-PRO GmbH, 2016)

Nennweite	Länge	Gewicht	Länge	Gewicht	Länge	Gewicht
DN	[mm]	[kg]	[mm]	[kg]	[mm]	[kg]
	KVKOM/KVKM		KVKF		KVCPK	
150	220	2,5	-	-	115	4,8
200	220	2,5	120	3,1	138	6,1
250	270	3,0	150	4,0	138	7,2
315	278	5,1	160	6,5	146	7,8
350	506	12,8	160	8,1	-	-
400	570	20,0	170	9,1	-	-
450	644	30,0	200	10,6	-	-
Durchschnitt	386,9	10,8	160,0	6,9	134,3	6,5

³⁵ Auf der Basis von: OTTERBEIN, N.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik in Industrie- und Gewerbegebäuden.

Für Regelventile in RLT-Anlagen dienen die Beispiele aus Gusseisen und Edelstahl in Tabelle 72. Sie wiegen durchschnittlich 7,3 kg bis DN 50 und von DN 65 bis DN 100 27,6 kg.

Tabelle 72: Geradsitzventile (GEMÜ Gebr. Müller Apparatebau GmbH, 2016)

DN	Gewicht [kg]		Länge [mm]	Gewicht [kg]		Länge [mm]
Nennweite	GEMÜ 312	GEMÜ 314	GEMÜ 312/414	GEMÜ 512		
	Kolben- ø70 mm	Kolben- ø70 mm		Kolben- ø70 mm	Kolben- ø120 mm	
15	4,4	1,7	130	3,6	7,5	130
20	5,8	1,8	150	4,6	8,5	150
25	6,7	2,1	160	5,2	9,1	160
32	10,4	3,2	180	7,5	11,4	180
40	11,5	3,7	200	8,3	12,2	200
50	15,3	4,7	230	11,3	15,2	230
65	-	-	-	-	22,4	290
80	-	-	-	-	26,0	310
100	-	-	-	-	34,5	350
Durchschnitt	9,0	2,9	175	6,8	16,3	205,6

Je nach Aufbereitung der Luft werden „Nur-Luft-Anlagen“ und „Nur-Wasser-Anlagen“ unterschieden. Ohne Wasser wird die Luft in Zentralgeräten durch Filter aufbereitet, mit Wasser erfolgt die Kühlung mittels Wärmestrahlung über Flächenkühlsysteme. Um den Volumenstrom dieser Anlagen zu kontrollieren und zu regeln, sind Absperr- und Regulierklappen, „Drosselklappen“ aus verzinktem Stahlblech oder Edelstahl eingesetzt. (Krimmling et al. 2014) Typische Maße und Gewichte für Volumenstromregler sind in Tabelle 73 dargestellt:

Tabelle 73: Drosselklappen mit rundem Querschnitt (Trox GmbH, 2016)

Nenn- weite	Einstrom-Systeme						Luft-Wasser-System	
	TVR			TVR-FL			TVM	
	L [mm]	L [mm]	L [mm]	L [mm]	L [mm]	Gewicht [kg]	L [mm]	Gewicht [kg]
DN	Easy Compact	Universal LAB.		Easy Compact	Universal LAB.			
100	310	600	3,3	290	580	3,9	-	-
125	310	600	3,6	290	580	4,2	1355	28,0
160	400	600	4,2	380	580	5,3	1455	34,0
200	400	600	5,1	380	580	6,5	1790	50,0
250	400	600	6,1	380	580	7,8	2015	65,0
315	500	600	7,2	380	580	10,3	2575	90,0
400	500	600	9,4	480	580	13,3	2900	130,0
ø	402,9	600,0	5,6	368,6	580,0	7,3	2015,0	66,2

Als Rückschlagarmaturen werden u.a. Rückschlagklappen (Tabelle 74) eingesetzt. Durchschnittlich wiegen sie zwischen 16,7 kg (DN 40 bis DN 80), 51,9 kg (DN 200 bis DN 300) und 180,0 kg (DN 100 bis DN 150). Hergestellt aus Grauguss, Stahlguss und Edelstahl sind sie für Flüssigkeiten, Gase und Dampf geeignet.

Tabelle 74: Rückschlagklappen (MIT Moderne Industrietechnik GmbH, 2016)

Nenngröße	L	B	Grauguss		Stahlguss		Edelstahl		
			H	Gewicht	H	Gewicht	H	Gewicht	
DN	[mm]		[mm]	[kg]	[mm]	[kg]	[mm]	[kg]	
40	180	Gemäß Flanschnorm EN1092	115	8,5	135	10,5	135	12	
50	200		115	10,5	160	16	115	17	
65	240		125	14,0	165	22	140	22	
80	260		125	17,0	180	25	145	26	
100	300		160	27,0	210	37	160	37	
125	350		180	35,5	240	57	180	57	
150	400		210	50,5	265	83	195	83	
200	500		250	88,5	320	157	245	157	
250	600		290	125,0	335	203	285	203	
300	700		-	-	390	255	390	255	
Durchschnitt	180,0			60	23,7	104,5	61,5	92,0	61,5

A.8.10 Komponentendetails Stationäre Brandbekämpfungs- und Feuerlöschanlagen³⁶

Eine Sprinkleranlage ist eine automatische Feuerlöschanlage mit dem Löschmittel Wasser, die vor allem in Hochhäusern, Geschäftshäusern, Kaufhäusern, Industrieanlagen, Versammlungsstätten und Tiefgaragen verbaut ist. Sprinkleranlagen (Abbildung 91) unterscheiden sich in ihrem Aufbau und den verwendeten Materialien kaum von anderen Wasser-, Schaum- oder Gaslöschanlagen, weshalb sie zusammengefasst betrachtet werden.

Der sichtbare Teil der Sprinkleranlage – die (Sprinkler-)Köpfe – ist wie in Abbildung 91 ersichtlich – über ein im Deckenbereich untergebrachtes Rohrnetz mit der Löschwasserversorgung verbunden.

³⁶ Aus bzw. auf der Basis von: Brinke, M.: Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen von Materialien aus Feuerlöschanlagen in Industrie- und Gewerbegebäuden.

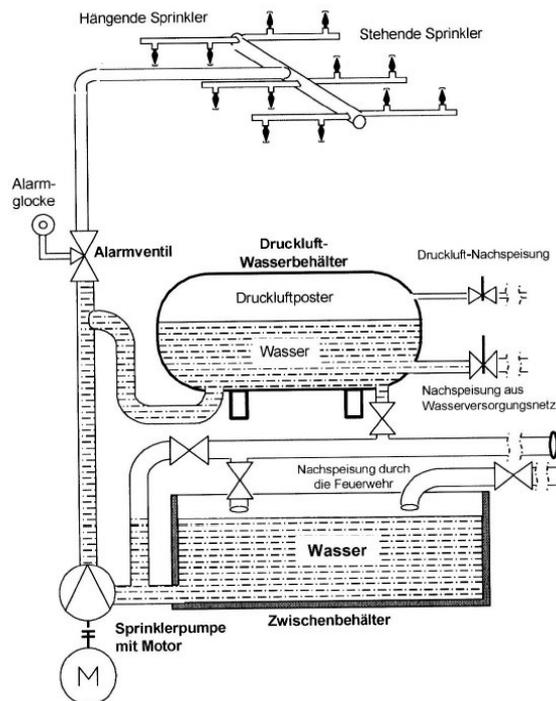


Abbildung 91: Schematischer Aufbau einer Sprinkleranlage.

Detailliert betrachtet wird hier nur der sichtbare bzw. spezifische Teil der Anlage. Sprinklerköpfe zählen zu den geschlossenen Löschdüsen. Im Kopf ist entweder eine Glasampulle (Abbildung 92 rechts) oder Schmelzlot (Abbildung 92 links) eingebaut. Beide versagen im Brandfall, öffnen dadurch den Verschluss und geben das Wasser frei. Der Sprinklerkopf selbst besteht überwiegend aus Messing oder ggf. Edelstahl sowie etwas Dichtungsmaterial (teflonbeschichtete Nickel-Beryllium-Legierung) und der Ampulle (Borosilikatglas) bzw. dem Schmelzlot. Die teilweise vorhandenen Rosetten sind aus Kunststoff, Elastomeren, Aluminium oder Stahlblech hergestellt. Das sich anschließende Rohrnetz besteht meist bis zum Alarmventil aus einem Aluminium-Kunststoffverbundmaterial, bei dem das Metallrohr innen und außen mit Polyethylen beschichtet ist. Hinter den Alarmventilen variieren je nach Anlagentyp Kupfer (bei Nassanlagen) und verzinkter Stahl. Die Alarmventile selbst bestehen zu großen Teilen aus Bronze, Messing, Monelmetall oder nicht-rostendem Stahl (DIN EN 12259; DIN EN 12845; Minimax 2016).

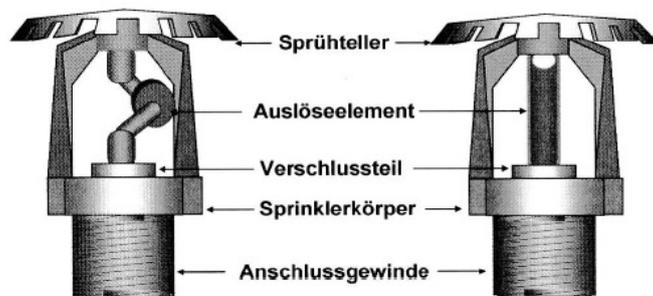


Abbildung 92: Aufbau eines Sprinklerkopfes.

A.8.11 Komponentendetails Aufzugsanlagen³⁷

Aufzugsanlagen werden im Allgemein gemäß DIN 277-3 nach der Art der vorwiegend zu transportierenden Last in drei Hauptgruppen eingeteilt (siehe Tabelle 75).

Tabelle 75: Aufzugsarten

Aufzüge				
Personen-A. für Personen und Lasten	Lasten-A. für Lasten und Personen	Güter-A. für Personen verboten		
		Kleingüter-A. „Akten, Speise-A.“ ≤ 300 kg Nutzlast	vereinfachter Güter- A. keine Fahrbefehle aus der Kabine	Unterflur-A. „Müllaufzug“ zwischen Keller u. Erd- geschoss / Verladehof

Vielfältigste Ausführungsmöglichkeiten erschweren eine Mengenermittlung für die gesamte Anlage sowie die Ableitung allgemein gültiger Rohstoffkennwerte, weshalb nur für die größeren Bauteile Kennwerte ermittelt wurden.

Aufzugsanlagen können in Aufzugsschacht und Schachteinbauteile gegliedert werden. Der Schacht besteht aus einer Schachtgrube, dem Fahrkorb und dem Schachtkopf. Unter „Einbauteile“ werden eine Vielzahl von einzelnen Komponenten verstanden, die sich wie folgt gruppieren lassen: Antrieb (mit Treibscheibe und Seilrolle), Fahrkorb, Türen, Führungsschienen (Seil und Schienen) mit den zugehörigen Befestigungen an der Schachtwand, Sicherheitsbauteile und elektrische Ausrüstungen. Tabelle 76 fasst die ermittelten Gewichte für die einzelnen metallischen Bauteile zusammen.

Tabelle 76: Ermittelte Bauteilgewichte von Aufzügen

Bauteil	Min	Max	Abhängig von
Treibscheibe	26 kg/Stück	124 kg/Stück	Durchmesser, Seilklasse, Rillenprofil, Winkel
Seilrollen	8,78 kg/Stück		
Fahrkorb, max.	100 kg/Stück	4 200 kg/Stück	Nennlast ³⁸
Stahlseil	0,26 kg/m	3,34 kg/m	Seilklasse und Einlage
Führungsschiene	1,97 kg/m	22,7 kg/m	
Türen			
Gegengewicht ³⁹	150 kg/Stück	6 200 kg/Stück	Fahrkorbgewicht und Nennlast

Der Gestaltung des Fahrkorbs sind fast keine Grenzen gesetzt und somit variieren auch Materialien und Mengen. Aus einem elektrischen Aufzug mit einer Nennlast von 4.000 kg, einem Fahrkorb nur aus Stahl und einer Förderhöhe von 10 m könnte die maximal gewinnbare Stahlmenge 11.387 kg betragen. Hierbei liegt die Annahme zugrunde, dass keine Glaselemente

³⁷ Aus bzw. auf der Basis von: XU, L.: Qualifizierte Schätzung von gewinnbaren Mengen von Materialien in Gebäuden bezüglich der Förderanlagen.

³⁸ Bis 1000 kg Nennlast (NL): Fahrkorbgewicht ≈ 2*NL; 2000...4000 kg Nennlast: Fahrkorbgewicht max. 4200 kg.

³⁹ Gegengewicht ≈ Kabinengewicht + 0,5 * Nutzlast.

verbaut sind und auch das Gegengewicht aus Stahl besteht. Die reale Stahlmenge kann deutlich reduziert sein, z.B. durch ein Beton-Gegengewicht auf 5.187 kg.

A.8.12 Komponentendetails Fahrtreppen⁴⁰

Fahrtreppen bzw. „Rolltreppen“ zählen zu den Gliederbandförderern und werden in der Regel zur Personenbeförderung im gewerblichen Bereich wie z.B. in Kaufhäusern, Einkaufszentren und Bahnhöfen eingesetzt. Sie bestehen im Wesentlichen aus folgenden Komponenten: Stufenbandsystem, Balustrade, Handläufe, Kammplatte, Traggerüst, Außenverkleidung, Antrieb, Umlenkräder und Sicherheitsvorrichtungen.

Das Stufenbandsystem besteht aus Laufschiene (U- oder Winkeleisen, ggf. Sonderprofil), Stufenkette sowie den einzelnen Stufen. Die Balustrade kann aus verschiedenen Materialien wie Edelstahlprofil, Kunststoffbeschichtete Bleche oder aus Verbundsicherheitsglas hergestellt werden (Unger 2013). Im Gewerbebereich ist VSG-Glas weitverbreitet. Handläufe bestehen aus mehreren Gewebeschichten, in denen eine gummierte Stahleinlage eingearbeitet ist. Aufgrund der geringeren Stahlanteile werden die Handläufe bei der Mengenermittlung vernachlässigt. Kammplatten können aus Aluminium oder aus Spezialkunststoff hergestellt werden und sind auf die Fahrtreppenbreite und die Stufen abgestimmt. Die Antrittsplatte kann aus Edelstahl oder Aluminium hergestellt werden. Tabelle 77 fasst die einzelnen ermittelten Gewichte für metallische Bauteile zusammen.

Tabelle 77: Ermittelte Bauteilgewichte von Fahrtreppen

Bauteil	Min	Max	Abhängig von
Stufe, Stahl	14 kg/Stufe	20 kg/Stufe	Stufenbreite
Stufe, Alu	8 kg/Stufe	12 kg/Stufe	
Stufenkette	2,05 kg/Stufe	4,78 kg/Stufe	
Laufschiene			Profil
Antriebs- / Umlenkrad	350 kg		

A.8.13 Komponentendetails Förderanlagen für Stück- und Schüttgüter⁴¹

Förderanlagen variieren entsprechend den Bedingungen vor Ort, Fördergut und -menge. Hierbei wird an erster Stelle unterschieden, ob es sich um Stückgut oder um Schüttgut handelt. Für lose Schüttgüter wurden Band- (Tabelle 80, Tabelle 79), Kreis- (Tabelle 78) und Schneckenförderer betrachtet. Bei einem 10 m langen Schneckenförderer mit einem Schneckenblatt aus Stahl beträgt die gewinnbare Stahlmenge zwischen 125 und 6 088 kg.

⁴⁰ Aus bzw. auf der Basis von: XU, L.: Qualifizierte Schätzung von gewinnbaren Mengen von Materialien in Gebäuden bezüglich der Förderanlagen.

⁴¹ Aus bzw. auf der Basis von: XU, L.: Qualifizierte Schätzung von gewinnbaren Mengen von Materialien in Gebäuden bezüglich der Förderanlagen.

Tabelle 78: Elemente eines Kreisförderers und ihre Gewichte (ews.tu-dortmund.de)

Bauteil	Gewicht
Laufschiene K8 bzw. Bogen	4 kg/m oder 6,5 kg/m
Kette mit Teilung 200 mm	1,7 kg/m
Antriebs-/Umlenkrad, d=400mm	36 kg
Antriebs-/Umlenkrad, d=522mm	47 kg
Kettenspannsicherung	3,5 kg
Spannstation	6,5 kg
Hänger- bzw. Traversenblech	0,125 kg/paar
Kontrollstück	9 kg
Montagematerial für 10m Kreisförderanlage K8	24,45 kg

Für Band- oder Gurtförderer sind in Tabelle 79 errechnete spezifische Mindest- und Maximalgewichte der einzelnen Bauteile zusammengestellt, für das namengebende Band in Tabelle 80. Hier wird deutlich, dass die Gesamtstahlmenge von Mindestbruchkraft und Gurtbreite abhängt.

Tabelle 79: Spezifische Gewichte von Bauteilen eines Bandförderers

	Masse Stahlseil kg/m	Masse Tragrollen kg/m	Masse Antriebs-trommel kg/St	Masse Umlenk-trommel kg/St	Masse Gurt kg/m
Min(gem. DIN 22131-1	4	3,3	420	331	7,9
Max (gem. DIN 22131-1)	145	26,7	12 315	10 355	72,2

Tabelle 80: Berechnungsbeispiele Stahlseilgurt u.a. für Bandförderer

Gurtbreite [mm]	Mindestbruchkraft [N/mm]	Anzahl der Seile [-]	Seildurchmesser [mm]	Gewinnbare Stahlmenge [kg/m]
500	1000	39	4,1	4
1000	1000	81	4,1	8
1000	5400	55	11,3	43
3200	5400	184	11,3	145

Tabelle 81 fasst die Ergebnisse für 10 m langen Rollenbahnen zusammen. Es wurden drei Beispiele mit konstanten Annahmen für das Gerüst⁴² berechnet. Die gewinnbare Stahlmenge hängt hier stark von Rollenabstand und Rollendurchmesser ab.

Tabelle 81: Bauteile einer 10m langen Rollenbahn.

A [mm]	B [mm]	∅ _{Rohr} *Wanddicke [mm]	m _{Rohr} [kg/m]	∅ _{Achse} [mm]	m _{Achse} [kg/m]	m _{Rollen} [kg/St.]	m _{Laufrolle} [kg]	m _{Gerüst} [kg]	m _{ges} [kg]
60	100	20*1,5	0,684	6	0,222	0,906	151	119	270
60	100	50*1,5	1,794	20	2,466	4,260	710	119	829
630	1600	159*4,5	17,146	30	5,549	22,695	360	261	621

⁴² Entsprechend denen des Bandförderers.

Rohrpostanlagen bestehen aus Fahrrohren und Fahrbögen, deren Länge sowie Anzahl i.d.R. unbekannt sind, bzw. sehr gebäude- und einrichtungsspezifisch sind. Somit kann keine Mengenermittlung im Sinne einer Gesamtabstschätzung durchgeführt werden.

Krane:

Ein Brückenkran besteht aus den Hauptelementen Kopfträger, Kranbrücke, Kranbahnträger, Laufschiene, Laufrad und Laufkatze. In Tabelle 82 sind ihre spezifischen Gewichte (minimal und maximal) zusammengetragen. Es bedeuten: m...Masse; KT: Kopfträger, KB: Kranbrücke, KBT: Kranbahnträger, S: Laufschiene, LR: Laufrad, LK: Laufkatze. Hiermit ergibt sich eine Gesamtmasse zwischen 432 und 2637 kg.

Tabelle 82: Min. und max. Gewichte einzelner Bauteile von Brückenkränen

	m _{KT} [kg]	m _{KB_Kasten} [kg/m]	m _{KB_walz} [kg/m]	m _{KBT} [kg/m]	m _S [kg/m]	m _{LR} [kg]	m _{LK} [kg]
Min	224	67	17	71,5	22,1	8,4	22
Max	1796	121	90	314,0	57,5	114,0	145
Quelle	Firma STAHL Auswahltabelle		DIN 1025-3 Profilreihe HEA		DIN 536-1 DIN 536-2		DC-Pro Auswahltabelle
Anmerkung	Abhängig von: Laufraddurchmesser, zul. Radlast und Spurmitenmaß		Breite bis zu 300 mm				

Einträgerbrückenkrane bestehen aus rund 6 000 kg Stahl, die leichteren (mit Walzprofilträgern) tragen ca. 5 600 kg bei, die mit Kastenträgern ca. 6 800 kg. Für die komplette Krananlage kommt das Gewicht der Kranbahnträger und Schienen hinzu. Tabelle 83 zeigt die Metergewichte verschiedener Profile. Das Metergewicht der geraden Teile liegt zwischen 4,1 und 28,4 kg/m, das der Bogenstücke zwischen 4,1 und 41,5 kg, abhängig von Radius und Winkelgröße.

Tabelle 83: Hängebahnschienen-Profile und ihre Stahlmassen. [<http://www.demag-doku.de/DDS/servlet/com.demagcranes.dds.getPDF?IdentNr=20356444>]

Profilgröße	KBK 100 kg/m	KBK I kg/m	KBK II-L kg/m	KBK II kg/m	KBK II-R kg/m	KBK II-H kg/m	KBK II-H-R kg/m	KBK III kg/m
Gerade	4,1	6,4	13,2	17	18,2	35	26,2	28,4

Bei Säulenschwenkkränen errechnet sich eine minimal gewinnbare Stahlmenge von 199 kg – für die kleinsten Abmessungen und die Profilgröße KBK 100.

A.9. Prognostizierter Bauabgang für Büro- und Verwaltungsgebäude sowie Lagergebäude in m³ BRI

Prognostizierte Bruttoinhalte [m³] für Büro- und Verwaltungsgebäude																
Baualtersklassen	bis 1900		1901 - 1918		1919 - 1948		1949 - 1962		1963 - 1970		1971 - 1980		1980 und später			
	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion		
2014	9.291	4.303	21.904	15.833	37.106	23.993	164.390	122.343	120.139	94.259	200.186	136.891	117.330	104.010		
2015	8.501	3.937	20.374	14.727	33.553	21.695	157.884	117.502	116.781	91.624	202.168	138.246	115.399	102.297		
2016	7.710	3.571	18.843	13.621	29.999	19.397	151.379	112.660	113.423	88.989	204.150	139.602	113.467	100.585		
2017	6.920	3.205	17.313	12.514	26.446	17.100	144.874	107.819	110.065	86.354	206.132	140.957	111.536	98.873		
2018	6.130	2.839	15.782	11.408	22.892	14.802	138.368	102.977	106.707	83.720	208.115	142.313	109.604	97.161		
2019	5.340	2.473	14.252	10.302	19.339	12.504	131.863	98.136	103.349	81.085	210.097	143.668	107.673	95.449		
2020	4.550	2.107	12.722	9.196	15.786	10.206	125.358	93.295	99.991	78.450	212.079	145.024	105.742	93.737		
2021	3.759	1.741	11.191	8.090	12.232	7.908	118.852	88.453	96.633	75.816	214.064	146.379	103.810	92.025		
2022	2.969	1.375	9.661	6.983	8.679	5.611	112.347	83.612	93.273	73.181	216.044	147.735	101.879	90.313		
2023	2.179	1.009	8.130	5.877	5.125	3.313	105.842	78.770	89.917	70.546	218.026	149.090	99.947	88.601		
2024	1.389	643	6.600	4.771	1.572	1.015	99.337	73.929	86.559	67.912	220.009	150.446	98.016	86.889		
2025	599	277	5.070	3.665	-1.981	-1.283	92.831	69.088	83.201	65.277	221.991	151.801	96.085	85.176		
2026	-192	-89	3.539	2.559	-5.535	-3.581	86.326	64.246	79.843	62.642	223.973	153.157	94.153	83.464		
2027	-982	-455	2.009	1.452	-9.088	-5.878	79.821	59.405	76.485	60.007	225.955	154.512	92.222	81.752		
2028	-1.772	-821	478	346	-12.642	-8.176	73.315	54.563	73.127	57.373	227.938	155.868	90.290	80.040		
2029	-2.562	-1.187	-1.052	-760	-16.195	-10.474	66.810	49.722	69.769	54.738	229.920	157.223	88.359	78.328		
2030	-3.353	-1.553	-2.582	-1.866	-19.748	-12.772	60.305	44.881	66.411	52.103	231.902	158.579	86.428	76.616		

Prognostizierte Bruttoinhalte [m³] für Lagergebäude																
Baualtersklassen	bis 1900		1901 - 1918		1919 - 1948		1949 - 1962		1963 - 1970		1971 - 1980		1980 und später			
	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion		
2014	18.564	6.552	13.484	5.734	26.448	13.663	172.953	91.234	176.230	110.299	164.890	97.525	134.913	68.734		
2015	16.593	5.855	10.136	4.311	10.736	5.545	158.455	83.585	159.195	99.638	159.270	94.201	136.511	69.548		
2016	14.622	5.159	6.789	2.887	-4.976	-2.574	143.957	75.937	142.160	88.977	153.651	90.878	138.109	70.363		
2017	12.651	4.463	3.442	1.464	-20.688	-10.692	129.459	68.289	125.125	78.316	148.032	87.554	139.707	71.177		
2018	10.680	3.766	94	40	-36.400	-18.811	114.961	60.640	108.090	67.655	142.412	84.231	141.305	71.991		
2019	8.709	3.070	-3.253	-1.383	-52.112	-26.929	100.463	52.992	91.055	56.994	136.793	80.907	142.903	72.805		
2020	6.738	2.373	-6.600	-2.806	-67.824	-35.047	85.965	45.344	74.020	46.333	131.174	77.584	144.501	73.619		
2021	4.767	1.677	-9.948	-4.230	-83.536	-43.166	71.467	37.695	56.985	35.672	125.554	74.260	146.099	74.433		
2022	2.796	980	-13.295	-5.653	-99.248	-51.284	56.969	30.047	39.950	25.011	119.935	70.937	147.697	75.247		
2023	825	284	-16.642	-7.077	-114.960	-59.403	42.471	22.399	22.915	14.350	114.316	67.613	149.295	76.062		
2024	-1.146	-413	-19.990	-8.500	-130.672	-67.521	27.973	14.751	5.880	3.689	108.697	64.290	150.893	76.876		
2025	-3.117	-1.109	-23.337	-9.923	-146.384	-75.639	13.475	7.102	-11.155	-6.972	103.077	60.966	152.491	77.690		
2026	-5.088	-1.806	-26.684	-11.347	-162.096	-83.758	-1.023	-546	-28.190	-17.633	97.458	57.643	154.089	78.504		
2027	-7.059	-2.502	-30.031	-12.770	-177.808	-91.876	-15.521	-8.194	-45.225	-28.294	91.839	54.319	155.687	79.318		
2028	-9.030	-3.199	-33.379	-14.194	-193.520	-99.995	-30.019	-15.843	-62.260	-38.955	86.219	50.996	157.285	80.132		
2029	-11.001	-3.895	-36.726	-15.617	-209.232	-108.113	-44.517	-23.491	-79.295	-49.616	80.600	47.672	158.883	80.947		
2030	-12.972	-4.592	-40.073	-17.040	-224.944	-116.231	-59.015	-31.139	-96.330	-60.277	74.981	44.349	160.481	81.761		

A.10. Prognostizierter Bauabgang für Büro- und Verwaltungsgebäude sowie Lagergebäude in m³ BRI (Modellkonform)

Prognostizierte Bruttorauminhalte [m³] für Büro- und Verwaltungsgebäude (Modifizierte Tabelle)																
Baualtersklassen	bis 1900		1901 - 1918		1919 - 1948		1949 - 1962		1963 - 1970		1971 - 1980		1980 und später			
	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion		
2014	9.291	4.303	21.904	15.833	37.106	23.983	164.390	122.343	120.139	94.259	200.186	136.891	131.816	116.850		
2015	8.501	3.937	20.374	14.727	33.553	21.695	157.884	117.502	116.781	91.624	202.168	138.246	131.816	116.850		
2016	7.710	3.571	18.843	13.621	29.999	19.397	151.379	112.660	113.423	88.989	204.150	139.602	131.816	116.850		
2017	6.920	3.205	17.313	12.514	26.446	17.100	144.874	107.819	110.065	86.354	206.132	140.957	131.816	116.850		
2018	6.130	2.839	15.782	11.408	22.892	14.802	138.368	102.977	106.707	83.720	208.115	142.313	131.816	116.850		
2019	5.340	2.473	14.252	10.302	19.339	12.504	131.863	98.136	103.349	81.085	210.097	143.668	131.816	116.850		
2020	4.550	2.107	12.722	9.196	15.786	10.206	125.358	93.295	99.991	78.450	212.079	145.024	131.816	116.850		
2021	3.759	1.741	11.191	8.090	12.292	7.908	118.652	88.453	96.633	75.816	214.062	146.379	131.816	116.850		
2022	2.969	1.375	9.661	6.983	8.679	5.611	112.347	83.612	93.275	73.181	216.044	147.735	131.816	116.850		
2023	2.179	1.009	8.130	5.877	5.125	3.313	105.842	78.770	89.917	70.546	218.026	149.090	131.816	116.850		
2024	1.389	643	6.600	4.771	1.572	1.015	99.337	73.929	86.559	67.912	220.009	150.446	131.816	116.850		
2025	599	277	5.070	3.665	0	0	92.831	69.088	83.201	65.277	221.991	151.801	131.816	116.850		
2026	0	0	3.539	2.559	0	0	86.326	64.246	79.843	62.642	223.973	153.157	131.816	116.850		
2027	0	0	2.009	1.452	0	0	79.821	59.405	76.485	60.007	225.955	154.512	131.816	116.850		
2028	0	0	478	346	0	0	73.315	54.563	73.127	57.373	227.938	155.868	131.816	116.850		
2029	0	0	0	0	0	0	66.810	49.722	69.769	54.738	229.920	157.223	131.816	116.850		
2030	0	0	0	0	0	0	60.305	44.881	66.411	52.103	231.902	158.579	131.816	116.850		

Prognostizierte Bruttorauminhalte [m³] für Lagergebäude (Modifizierte Tabelle)																
Baualtersklassen	bis 1900		1901 - 1918		1919 - 1948		1949 - 1962		1963 - 1970		1971 - 1980		1980 und später			
	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion	Hessen	Projektregion		
2014	18.564	6.552	13.484	5.734	26.448	13.663	172.953	91.234	176.230	110.299	207.034	122.450	134.913	68.734		
2015	16.593	5.855	10.136	4.311	10.736	5.545	158.455	83.585	159.195	99.638	207.034	122.450	136.511	69.548		
2016	14.622	5.159	6.789	2.887	0	0	143.957	75.937	142.160	88.977	207.034	122.450	138.109	70.363		
2017	12.651	4.463	3.442	1.464	0	0	129.459	68.289	125.125	78.316	207.034	122.450	139.707	71.177		
2018	10.680	3.766	94	40	0	0	114.961	60.640	108.090	67.655	207.034	122.450	141.305	71.991		
2019	8.709	3.070	0	0	0	0	100.463	52.992	91.055	56.994	207.034	122.450	142.903	72.805		
2020	6.738	2.373	0	0	0	0	85.965	45.344	74.020	46.333	207.034	122.450	144.501	73.619		
2021	4.767	1.677	0	0	0	0	71.467	37.695	56.985	35.672	207.034	122.450	146.099	74.433		
2022	2.796	980	0	0	0	0	56.969	30.047	39.950	25.011	207.034	122.450	147.697	75.247		
2023	825	284	0	0	0	0	42.471	22.399	22.915	14.350	207.034	122.450	149.295	76.062		
2024	0	0	0	0	0	0	27.973	14.751	5.880	3.689	207.034	122.450	150.893	76.876		
2025	0	0	0	0	0	0	13.475	7.102	0	0	207.034	122.450	152.491	77.690		
2026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	207.034	122.450	154.089	78.504		
2027	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	207.034	122.450	155.687	79.318		
2028	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	207.034	122.450	157.285	80.132		
2029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	207.034	122.450	158.883	80.947		
2030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	207.034	122.450	160.481	81.761		

A.11. Prognostizierte Bürogebäudefertigstellung [m³ BRI]

Büro- gebäude	Hessen			Projektgebiet		
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Baufertig- stellung [m³ BRI]						
2013	1.802.559	1.802.559	1.802.559	2.090.626	2.090.626	2.090.626
2014	1.707.023	1.784.533	1.820.585	1.979.823	2.069.720	2.111.532
2015	1.616.551	1.766.688	1.838.790	1.874.892	2.049.023	2.132.648
2016	1.530.874	1.749.021	1.857.178	1.775.523	2.028.532	2.153.974
2017	1.449.738	1.731.531	1.875.750	1.681.420	2.008.247	2.175.514
2018	1.372.902	1.714.216	1.894.508	1.592.305	1.988.165	2.197.269
2019	1.300.138	1.697.074	1.913.453	1.507.913	1.968.283	2.219.242
2020	1.231.230	1.680.103	1.932.587	1.427.993	1.948.600	2.241.434
2021	1.165.975	1.663.302	1.951.913	1.352.310	1.929.114	2.263.848
2022	1.104.179	1.646.669	1.971.432	1.280.637	1.909.823	2.286.487
2023	1.045.657	1.630.202	1.991.147	1.212.764	1.890.725	2.309.352
2024	990.237	1.613.900	2.011.058	1.148.487	1.871.817	2.332.445
2025	937.755	1.597.761	2.031.169	1.087.617	1.853.099	2.355.770
2026	888.054	1.581.783	2.051.480	1.029.974	1.834.568	2.379.327
2027	840.987	1.565.966	2.071.995	975.385	1.816.223	2.403.121
2028	796.415	1.550.306	2.092.715	923.690	1.798.060	2.427.152
2029	754.205	1.534.803	2.113.642	874.734	1.780.080	2.451.423
2030	714.232	1.519.455	2.134.779	828.373	1.762.279	2.475.938

A.12. Prognostizierte Lagergebäudefertigestellung [m³ BRI]

Lager- gebäude	Hessen			Projektgebiet		
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Baufertig- stellung [m³ BRI]						
2013	1.051.308	1.051.308	1.051.308	2.285.877	2.285.877	2.285.877
2014	1.061.821	1.051.308	1.093.360	2.308.736	2.285.877	2.377.312
2015	1.072.439	1.051.308	1.137.095	2.331.823	2.285.877	2.472.405
2016	1.083.164	1.051.308	1.182.579	2.355.141	2.285.877	2.571.301
2017	1.093.995	1.051.308	1.229.882	2.378.693	2.285.877	2.674.153
2018	1.104.935	1.051.308	1.279.077	2.402.480	2.285.877	2.781.119
2019	1.115.985	1.051.308	1.330.240	2.426.504	2.285.877	2.892.364
2020	1.127.144	1.051.308	1.383.450	2.450.770	2.285.877	3.008.058
2021	1.138.416	1.051.308	1.438.788	2.475.277	2.285.877	3.128.381
2022	1.149.800	1.051.308	1.496.339	2.500.030	2.285.877	3.253.516
2023	1.161.298	1.051.308	1.556.193	2.525.030	2.285.877	3.383.656
2024	1.172.911	1.051.308	1.618.440	2.550.281	2.285.877	3.519.003
2025	1.184.640	1.051.308	1.683.178	2.575.783	2.285.877	3.659.763
2026	1.196.487	1.051.308	1.750.505	2.601.541	2.285.877	3.806.153
2027	1.208.451	1.051.308	1.820.525	2.627.557	2.285.877	3.958.399
2028	1.220.536	1.051.308	1.893.346	2.653.832	2.285.877	4.116.735
2029	1.232.741	1.051.308	1.969.080	2.680.371	2.285.877	4.281.405
2030	1.245.069	1.051.308	2.047.843	2.707.174	2.285.877	4.452.661

A.13. Szenarienberechnung BRI-Entwicklung von Büro- und Verwaltungsgebäuden der Projektregion

Szenario 1-1

BRI-Output (m³) Szenario 1: Fortschreibung des Trends der Projektregion

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	566.587	563.192	559.797	556.403	553.008	549.614	546.219	542.824	539.430	536.035	532.641	529.246	525.851	522.457	519.062	515.668	512.273	508.878

BRI-Input (m³) Szenario 1: Fortschreibung des Trends -5,3%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.802.559	1.707.023	1.616.551	1.530.874	1.449.738	1.372.902	1.300.138	1.231.230	1.165.975	1.104.179	1.045.657	990.237	937.755	888.054	840.987	796.415	754.205	714.232

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	111.116.620	110.553.428	109.993.630	109.437.228	108.884.219	108.334.606	107.788.387	107.245.562	106.706.133	106.170.097	105.637.457	105.108.211	104.582.359	104.059.903	103.540.840	103.025.173	102.512.900	102.004.021
ab 2013	1.802.559	3.509.582	5.126.134	6.657.007	8.106.745	9.479.647	10.779.784	12.011.015	13.176.990	14.281.168	15.326.826	16.317.063	17.254.817	18.142.871	18.983.858	19.780.272	20.534.477	21.248.709
BRI - Lager	112.919.179	114.063.010	115.119.764	116.094.235	116.990.964	117.814.252	118.568.171	119.256.577	119.883.123	120.451.266	120.964.282	121.425.274	121.837.177	122.202.774	122.524.698	122.805.445	123.047.377	123.252.730

Szenario 1-2

BRI-Output (m³) Szenario 1: Fortschreibung des Trends der Projektregion

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	566.587	563.192	559.797	556.403	553.008	549.614	546.219	542.824	539.430	536.035	532.641	529.246	525.851	522.457	519.062	515.668	512.273	508.878

BRI-Input (m³) Szenario 2: -1%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.802.559	1.784.533	1.766.688	1.749.021	1.731.531	1.714.216	1.697.074	1.680.103	1.663.302	1.646.669	1.630.202	1.613.900	1.597.761	1.581.783	1.565.966	1.550.306	1.534.803	1.519.455

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	111.116.620	110.553.428	109.993.630	109.437.228	108.884.219	108.334.606	107.788.387	107.245.562	106.706.133	106.170.097	105.637.457	105.108.211	104.582.359	104.059.903	103.540.840	103.025.173	102.512.900	102.004.021
ab 2013	1.802.559	3.587.092	5.353.780	7.102.802	8.834.333	10.548.548	12.245.622	13.925.725	15.589.026	17.235.695	18.865.897	20.479.797	22.077.558	23.659.342	25.225.307	26.775.613	28.310.416	29.829.871
BRI - Lager	112.919.179	114.140.520	115.347.411	116.540.029	117.718.552	118.883.154	120.034.009	121.171.287	122.295.159	123.405.793	124.503.354	125.588.008	126.659.918	127.719.244	128.766.148	129.800.786	130.823.316	131.833.892

Szenario 1-3

BRI-Output (m³) Szenario 1: Fortschreibung des Trends der Projektregion

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	566.587	563.192	559.797	556.403	553.008	549.614	546.219	542.824	539.430	536.035	532.641	529.246	525.851	522.457	519.062	515.668	512.273	508.878

BRI-Input (m³) Szenario 3: +1%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.802.559	1.820.585	1.838.790	1.857.178	1.875.750	1.894.508	1.913.453	1.932.587	1.951.913	1.971.432	1.991.147	2.011.058	2.031.169	2.051.480	2.071.995	2.092.715	2.113.642	2.134.779

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	111.116.620	110.553.428	109.993.630	109.437.228	108.884.219	108.334.606	107.788.387	107.245.562	106.706.133	106.170.097	105.637.457	105.108.211	104.582.359	104.059.903	103.540.840	103.025.173	102.512.900	102.004.021
ab 2013	1.802.559	3.623.144	5.461.934	7.319.112	9.194.862	11.089.370	13.002.823	14.935.410	16.887.323	18.858.755	20.849.902	22.860.960	24.892.129	26.943.609	29.015.604	31.108.319	33.221.961	35.356.740
BRI - Lager	112.919.179	114.176.571	115.455.564	116.756.340	118.079.082	119.423.976	120.791.210	122.180.972	123.593.456	125.028.853	126.487.359	127.969.171	129.474.488	131.003.511	132.556.444	134.133.492	135.734.861	137.360.761

Szenario 2-1

BRI-Output (m³) Szenario 2: an Deutschlandtrend angepasster Abgang

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	494.200	479.669	465.138	450.607	436.076	421.545	407.014	392.483	377.952	363.421	348.890	334.359	319.828	305.297	290.766	276.235	261.704	247.173

BRI-Input (m³) Szenario 1: Fortschreibung des Trends -5,3%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.802.559	1.707.023	1.616.551	1.530.874	1.449.738	1.372.902	1.300.138	1.231.230	1.165.975	1.104.179	1.045.657	990.237	937.755	888.054	840.987	796.415	754.205	714.232

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	111.116.620	110.636.951	110.171.813	109.721.206	109.285.130	108.863.585	108.456.571	108.064.088	107.686.136	107.322.715	106.973.825	106.639.466	106.319.638	106.014.341	105.723.575	105.447.340	105.185.636	104.938.463
ab 2013	1.802.559	3.509.582	5.126.134	6.657.007	8.106.745	9.479.647	10.779.784	12.011.015	13.176.990	14.281.168	15.326.826	16.317.063	17.254.817	18.142.871	18.983.858	19.780.272	20.534.477	21.248.709
BRI - Lager	112.919.179	114.146.533	115.297.946	116.378.213	117.391.875	118.343.231	119.236.355	120.075.102	120.863.126	121.603.883	122.300.650	122.956.529	123.574.455	124.157.212	124.707.433	125.227.612	125.720.113	126.187.172

Szenario 2-2

BRI-Output (m³) Szenario 2: an Deutschlandtrend angepasster Abgang

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	494.200	479.669	465.138	450.607	436.076	421.545	407.014	392.483	377.952	363.421	348.890	334.359	319.828	305.297	290.766	276.235	261.704	247.173

BRI-Input (m³) Szenario 2: -1%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.802.559	1.784.533	1.766.688	1.749.021	1.731.531	1.714.216	1.697.074	1.680.103	1.663.302	1.646.669	1.630.202	1.613.900	1.597.761	1.581.783	1.565.966	1.550.306	1.534.803	1.519.455

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	111.116.620	110.636.951	110.171.813	109.721.206	109.285.130	108.863.585	108.456.571	108.064.088	107.686.136	107.322.715	106.973.825	106.639.466	106.319.638	106.014.341	105.723.575	105.447.340	105.185.636	104.938.463
ab 2013	1.802.559	3.587.092	5.353.780	7.102.802	8.834.333	10.548.548	12.245.622	13.925.725	15.589.026	17.235.695	18.865.897	20.479.797	22.077.558	23.659.342	25.225.307	26.775.613	28.310.416	29.829.871
BRI - Lager	112.919.179	114.224.043	115.525.593	116.824.007	118.119.462	119.412.133	120.702.193	121.989.812	123.275.162	124.558.410	125.839.722	127.119.263	128.397.196	129.673.682	130.948.882	132.222.953	133.496.052	134.768.354

Szenario 2-3

BRI-Output (m³) Szenario 2: an Deutschlandtrend angepasster Abgang

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	494.200	479.669	465.138	450.607	436.076	421.545	407.014	392.483	377.952	363.421	348.890	334.359	319.828	305.297	290.766	276.235	261.704	247.173

BRI-Input (m³) Szenario 3: +1%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.802.559	1.820.585	1.838.790	1.857.178	1.875.750	1.894.508	1.913.453	1.932.587	1.951.913	1.971.432	1.991.147	2.011.058	2.031.169	2.051.480	2.071.995	2.092.715	2.113.642	2.134.779

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	111.116.620	110.636.951	110.171.813	109.721.206	109.285.130	108.863.585	108.456.571	108.064.088	107.686.136	107.322.715	106.973.825	106.639.466	106.319.638	106.014.341	105.723.575	105.447.340	105.185.636	104.938.463
ab 2013	1.802.559	3.623.144	5.461.934	7.319.112	9.194.862	11.089.370	13.002.823	14.935.410	16.887.323	18.858.755	20.849.902	22.860.960	24.892.129	26.943.609	29.015.604	31.108.319	33.221.961	35.356.740
BRI - Lager	112.919.179	114.260.094	115.633.747	117.040.318	118.479.992	119.952.955	121.459.394	122.999.498	124.573.459	126.181.470	127.823.727	129.500.426	131.211.766	132.957.950	134.739.179	136.555.659	138.407.597	140.295.203

Szenario 3-1

BRI-Output (m³) Szenario 3: Durchschnitt der Jahre 2000 - 2013

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651

BRI-Input (m³) Szenario 1: Fortschreibung des Trends -5,3%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.802.559	1.707.023	1.616.551	1.530.874	1.449.738	1.372.902	1.300.138	1.231.230	1.165.975	1.104.179	1.045.657	990.237	937.755	888.054	840.987	796.415	754.205	714.232

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	111.116.620	110.527.969	109.939.318	109.350.667	108.762.016	108.173.365	107.584.714	106.996.063	106.407.412	105.818.761	105.230.110	104.641.459	104.052.808	103.464.157	102.875.506	102.286.855	101.698.204	101.109.553
ab 2013	1.802.559	3.509.582	5.126.134	6.657.007	8.106.745	9.479.647	10.779.784	12.011.015	13.176.990	14.281.168	15.326.826	16.317.063	17.254.817	18.142.871	18.983.858	19.780.272	20.534.477	21.248.709
BRI - Lager	112.919.179	114.037.551	115.065.451	116.007.674	116.868.761	117.653.011	118.364.498	119.007.077	119.584.402	120.099.929	120.556.935	120.958.522	121.307.625	121.607.028	121.859.364	122.067.127	122.232.681	122.358.262

Szenario 3-2

BRI-Output (m³) Szenario 3: Durchschnitt der Jahre 2000 - 2013

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651

BRI-Input (m³) Szenario 2: -1%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.802.559	1.784.533	1.766.688	1.749.021	1.731.531	1.714.216	1.697.074	1.680.103	1.663.302	1.646.669	1.630.202	1.613.900	1.597.761	1.581.783	1.565.966	1.550.306	1.534.803	1.519.455

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	111.116.620	110.527.969	109.939.318	109.350.667	108.762.016	108.173.365	107.584.714	106.996.063	106.407.412	105.818.761	105.230.110	104.641.459	104.052.808	103.464.157	102.875.506	102.286.855	101.698.204	101.109.553
ab 2013	1.802.559	3.587.092	5.353.780	7.102.802	8.834.333	10.548.548	12.245.622	13.925.725	15.589.026	17.235.695	18.865.897	20.479.797	22.077.558	23.659.342	25.225.307	26.775.613	28.310.416	29.829.871
BRI - Lager	112.919.179	114.115.061	115.293.098	116.453.468	117.596.348	118.721.913	119.830.336	120.921.787	121.996.438	123.054.456	124.096.007	125.121.256	126.130.366	127.123.498	128.100.813	129.062.468	130.008.620	130.939.424

Szenario 3-3

BRI-Output (m³) Szenario 3: Durchschnitt der Jahre 2000 - 2013

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651	588.651

BRI-Input (m³) Szenario 3: +1%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.802.559	1.820.585	1.838.790	1.857.178	1.875.750	1.894.508	1.913.453	1.932.587	1.951.913	1.971.432	1.991.147	2.011.058	2.031.169	2.051.480	2.071.995	2.092.715	2.113.642	2.134.779

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	111.116.620	110.527.969	109.939.318	109.350.667	108.762.016	108.173.365	107.584.714	106.996.063	106.407.412	105.818.761	105.230.110	104.641.459	104.052.808	103.464.157	102.875.506	102.286.855	101.698.204	101.109.553
ab 2013	1.802.559	3.623.144	5.461.934	7.319.112	9.194.862	11.089.370	13.002.823	14.935.410	16.887.323	18.858.755	20.849.902	22.860.960	24.892.129	26.943.609	29.015.604	31.108.319	33.221.961	35.356.740
BRI - Lager	112.919.179	114.151.112	115.401.252	116.669.779	117.956.878	119.262.735	120.587.537	121.931.473	123.294.735	124.677.516	126.080.012	127.502.419	128.944.936	130.407.766	131.891.110	133.395.174	134.920.165	136.466.293

A.14. Szenarienberechnung BRI-Entwicklung von Lagergebäuden der Projektregion

Szenario 1-1

BRI-Output (m³) Szenario 1: Fortschreibung des Trends der Projektregion

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	512.383	494.801	477.219	459.637	442.055	424.473	406.891	389.309	371.727	354.145	336.563	318.981	301.399	283.817	266.235	248.653	231.071	213.489

BRI-Input (m³) Szenario 1: Fortschreibung des Trends +1%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.051.308	1.061.821	1.072.439	1.083.164	1.093.995	1.104.935	1.115.985	1.127.144	1.138.416	1.149.800	1.161.298	1.172.911	1.184.640	1.196.487	1.208.451	1.220.536	1.232.741	1.245.069

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	125.919.439	125.424.638	124.947.419	124.487.782	124.045.727	123.621.254	123.214.363	122.825.054	122.453.327	122.099.182	121.762.619	121.443.638	121.142.239	120.858.422	120.592.187	120.343.534	120.112.463	119.898.974
ab 2013	1.051.308	2.113.129	3.185.568	4.268.732	5.362.727	6.467.663	7.583.647	8.710.792	9.849.208	10.999.008	12.160.306	13.333.217	14.517.857	15.714.344	16.922.795	18.143.331	19.376.072	20.621.141
BRI - Lager	126.970.747	127.537.767	128.132.988	128.756.514	129.408.455	130.088.917	130.798.011	131.535.846	132.302.535	133.098.190	133.922.925	134.776.855	135.660.096	136.572.766	137.514.982	138.486.865	139.488.536	140.520.115

Szenario 1-2

BRI-Output (m³) Szenario 1: Fortschreibung des Trends der Projektregion

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	512.383	494.801	477.219	459.637	442.055	424.473	406.891	389.309	371.727	354.145	336.563	318.981	301.399	283.817	266.235	248.653	231.071	213.489

BRI-Input (m³) Szenario 2: 0%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	125.919.439	125.424.638	124.947.419	124.487.782	124.045.727	123.621.254	123.214.363	122.825.054	122.453.327	122.099.182	121.762.619	121.443.638	121.142.239	120.858.422	120.592.187	120.343.534	120.112.463	119.898.974
ab 2013	1.051.308	2.102.616	3.153.924	4.205.232	5.256.540	6.307.848	7.359.156	8.410.464	9.461.772	10.513.080	11.564.388	12.615.696	13.667.004	14.718.312	15.769.620	16.820.928	17.872.236	18.923.544
BRI - Lager	126.970.747	127.527.254	128.101.343	128.693.014	129.302.267	129.929.102	130.573.519	131.235.518	131.915.099	132.612.262	133.327.007	134.059.334	134.809.243	135.576.734	136.361.807	137.164.462	137.984.699	138.822.518

Szenario 1-3

BRI-Output (m³) Szenario 1: Fortschreibung des Trends der Projektregion

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	512.383	494.801	477.219	459.637	442.055	424.473	406.891	389.309	371.727	354.145	336.563	318.981	301.399	283.817	266.235	248.653	231.071	213.489

BRI-Input (m³) Szenario 3: +4%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.051.308	1.093.360	1.137.095	1.182.579	1.229.882	1.279.077	1.330.240	1.383.450	1.438.788	1.496.339	1.556.193	1.618.440	1.683.178	1.750.505	1.820.525	1.893.346	1.969.080	2.047.843

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	125.919.4 39	125.424.6 38	124.947.4 19	124.487.7 82	124.045.7 27	123.621.2 54	123.214.3 63	122.825.0 54	122.453.3 27	122.099.1 82	121.762.6 19	121.443.6 38	121.142.2 39	120.858.4 22	120.592.1 87	120.343.5 34	120.112.4 63	119.898.9 74
ab 2013	1.051.308	2.144.668	3.281.763	4.464.342	5.694.223	6.973.300	8.303.540	9.686.990	11.125.77 7	12.622.11 6	14.178.30 9	15.796.74 9	17.479.92 7	19.230.43 3	21.050.95 8	22.944.30 4	24.913.38 4	26.961.22 8
BRI - Lager	126.970.7 47	127.569.3 07	128.229.1 82	128.952.1 24	129.739.9 51	130.594.5 55	131.517.9 04	132.512.0 44	133.579.1 05	134.721.2 99	135.940.9 28	137.240.3 88	138.622.1 67	140.088.8 55	141.643.1 45	143.287.8 39	145.025.8 48	146.860.2 02

Szenario 2-1

BRI-Output (m³) Szenario 2: an Deutschlandtrend angepasster Abgang

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	403.469	369.131	334.793	300.455	266.117	231.779	197.441	163.103	128.765	94.427	60.089	25.751	0	0	0	0	0	0

BRI-Input (m³) Szenario 1: Fortschreibung des Trends +1%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.051.308	1.061.821	1.072.439	1.083.164	1.093.995	1.104.935	1.115.985	1.127.144	1.138.416	1.149.800	1.161.298	1.172.911	1.184.640	1.196.487	1.208.451	1.220.536	1.232.741	1.245.069

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	125.919.4 39	125.550.3 08	125.215.5 15	124.915.0 60	124.648.9 43	124.417.1 64	124.219.7 23	124.056.6 20	123.927.8 55	123.833.4 28	123.773.3 39	123.747.5 88						
ab 2013	1.051.308	2.113.129	3.185.568	4.268.732	5.362.727	6.467.663	7.583.647	8.710.792	9.849.208	10.999.00 8	12.160.30 6	13.333.21 7	14.517.85 7	15.714.34 4	16.922.79 5	18.143.33 1	19.376.07 2	20.621.14 1
BRI - Lager	126.970.7 47	127.663.4 37	128.401.0 84	129.183.7 92	130.011.6 71	130.884.8 27	131.803.3 71	132.767.4 12	133.777.0 63	134.832.4 36	135.933.6 45	137.080.8 05	138.265.4 45	139.461.9 32	140.670.3 83	141.890.9 19	143.123.6 61	144.368.7 29

Szenario 2-2

BRI-Output (m³) Szenario 2: an Deutschlandtrend angepasster Abgang

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	403.469	369.131	334.793	300.455	266.117	231.779	197.441	163.103	128.765	94.427	60.089	25.751	0	0	0	0	0	0

BRI-Input (m³) Szenario 2: 0%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	125.919.439	125.550.308	125.215.515	124.915.060	124.648.943	124.417.164	124.219.723	124.056.620	123.927.855	123.833.428	123.773.339	123.747.588	123.747.588	123.747.588	123.747.588	123.747.588	123.747.588	123.747.588
ab 2013	1.051.308	2.102.616	3.153.924	4.205.232	5.256.540	6.307.848	7.359.156	8.410.464	9.461.772	10.513.080	11.564.388	12.615.696	13.667.004	14.718.312	15.769.620	16.820.928	17.872.236	18.923.544
BRI - Lager	126.970.747	127.652.924	128.369.439	129.120.292	129.905.483	130.725.012	131.578.879	132.467.084	133.389.627	134.346.508	135.337.727	136.363.284	137.414.592	138.465.900	139.517.208	140.568.516	141.619.824	142.671.132

Szenario 2-3

BRI-Output (m³) Szenario 2: an Deutschlandtrend angepasster Abgang

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	403.469	369.131	334.793	300.455	266.117	231.779	197.441	163.103	128.765	94.427	60.089	25.751	0	0	0	0	0	0

BRI-Input (m³) Szenario 3: +4%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.051.308	1.093.360	1.137.095	1.182.579	1.229.882	1.279.077	1.330.240	1.383.450	1.438.788	1.496.339	1.556.193	1.618.440	1.683.178	1.750.505	1.820.525	1.893.346	1.969.080	2.047.843

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	125.919.439	125.550.308	125.215.515	124.915.060	124.648.943	124.417.164	124.219.723	124.056.620	123.927.855	123.833.428	123.773.339	123.747.588	123.747.588	123.747.588	123.747.588	123.747.588	123.747.588	123.747.588
ab 2013	1.051.308	2.144.668	3.281.763	4.464.342	5.694.223	6.973.300	8.303.540	9.686.990	11.125.777	12.622.116	14.178.309	15.796.749	17.479.927	19.230.433	21.050.958	22.944.304	24.913.384	26.961.228
BRI - Lager	126.970.747	127.694.977	128.497.278	129.379.402	130.343.167	131.390.465	132.523.264	133.743.610	135.053.633	136.455.545	137.951.648	139.544.338	141.227.516	142.978.021	144.798.546	146.691.893	148.660.973	150.708.816

Szenario 3-1

BRI-Output (m³) Szenario 3: Durchschnitt der Jahre 2000 - 2013

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666

BRI-Input (m³) Szenario 1: Fortschreibung des Trends +1%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.051.308	1.061.821	1.072.439	1.083.164	1.093.995	1.104.935	1.115.985	1.127.144	1.138.416	1.149.800	1.161.298	1.172.911	1.184.640	1.196.487	1.208.451	1.220.536	1.232.741	1.245.069

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	125.919.439	125.292.773	124.666.107	124.039.441	123.412.775	122.786.109	122.159.443	121.532.777	120.906.111	120.279.445	119.652.779	119.026.113	118.399.447	117.772.781	117.146.115	116.519.449	115.892.783	115.266.117
ab 2013	1.051.308	2.113.129	3.185.568	4.268.732	5.362.727	6.467.663	7.583.647	8.710.792	9.849.208	10.999.008	12.160.306	13.333.217	14.517.857	15.714.344	16.922.795	18.143.331	19.376.072	20.621.141
BRI - Lager	126.970.747	127.405.902	127.851.676	128.308.173	128.775.503	129.253.772	129.743.091	130.243.569	130.755.319	131.278.453	131.813.085	132.359.330	132.917.304	133.487.125	134.068.910	134.662.780	135.268.856	135.887.258

Szenario 3-2

BRI-Output (m³) Szenario 3: Durchschnitt der Jahre 2000 - 2013

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666

BRI-Input (m³) Szenario 2: 0%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308	1.051.308

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	125.919.439	125.292.773	124.666.107	124.039.441	123.412.775	122.786.109	122.159.443	121.532.777	120.906.111	120.279.445	119.652.779	119.026.113	118.399.447	117.772.781	117.146.115	116.519.449	115.892.783	115.266.117
ab 2013	1.051.308	2.102.616	3.153.924	4.205.232	5.256.540	6.307.848	7.359.156	8.410.464	9.461.772	10.513.080	11.564.388	12.615.696	13.667.004	14.718.312	15.769.620	16.820.928	17.872.236	18.923.544
BRI - Lager	126.970.747	127.395.389	127.820.031	128.244.673	128.669.315	129.093.957	129.518.599	129.943.241	130.367.883	130.792.525	131.217.167	131.641.809	132.066.451	132.491.093	132.915.735	133.340.377	133.765.019	134.189.661

Szenario 3-3

BRI-Output (m³) Szenario 3: Durchschnitt der Jahre 2000 - 2013

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666	626.666

BRI-Input (m³) Szenario 3: +4%

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	1.051.308	1.093.360	1.137.095	1.182.579	1.229.882	1.279.077	1.330.240	1.383.450	1.438.788	1.496.339	1.556.193	1.618.440	1.683.178	1.750.505	1.820.525	1.893.346	1.969.080	2.047.843

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	125.919.439	125.292.773	124.666.107	124.039.441	123.412.775	122.786.109	122.159.443	121.532.777	120.906.111	120.279.445	119.652.779	119.026.113	118.399.447	117.772.781	117.146.115	116.519.449	115.892.783	115.266.117
ab 2013	1.051.308	2.144.668	3.281.763	4.464.342	5.694.223	6.973.300	8.303.540	9.686.990	11.125.777	12.622.116	14.178.309	15.796.749	17.479.927	19.230.433	21.050.958	22.944.304	24.913.384	26.961.228
BRI - Lager	126.970.747	127.437.422	127.947.870	128.503.783	129.106.999	129.759.410	130.462.984	131.219.767	132.031.889	132.901.562	133.831.088	134.822.863	135.879.375	137.003.214	138.197.073	139.463.754	140.806.168	142.227.345

A.15. Szenario BRI-Entwicklung von Fabrikgebäuden der Projektregion

BRI-Output (m²)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361

BRI-Input (m²)

jährlich +1%	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	421.294	425.507	429.762	434.060	438.400	442.784	447.212	451.684	456.201	460.763	465.371	470.024	474.725	479.472	484.267	489.109	494.000	498.940

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	111.480.575	110.683.214	109.885.853	109.088.492	108.291.131	107.493.770	106.696.409	105.899.048	105.101.687	104.304.326	103.506.965	102.709.604	101.912.243	101.114.882	100.317.521	99.520.160	98.722.799	97.925.438
ab 2013	421.294	846.801	1.276.563	1.710.623	2.149.023	2.591.807	3.039.019	3.490.703	3.946.904	4.407.667	4.873.038	5.343.062	5.817.787	6.297.259	6.781.526	7.270.635	7.764.635	8.263.575
BRI - Lager	111.901.869	111.530.015	111.162.416	110.799.114	110.440.154	110.085.577	109.735.428	109.389.751	109.048.591	108.711.993	108.380.003	108.052.666	107.730.030	107.412.141	107.099.046	106.790.795	106.487.434	106.189.013

A.16. Szenario BRI-Entwicklung aller Nichtwohngebäude der Projektregion

BRI-Output (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Output	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301

BRI-Input (m³)

jährlich +0%	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BRI-Input	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
vor 2013	111.480.575	110.805.274	110.129.973	109.454.672	108.779.371	108.104.070	107.428.769	106.753.468	106.078.167	105.402.866	104.727.565	104.052.264	103.376.963	102.701.662	102.026.361	101.351.060	100.675.759	100.000.458
ab 2013	2.837.472	5.674.944	8.512.416	11.349.888	14.187.360	17.024.832	19.862.304	22.699.776	25.537.248	28.374.720	31.212.192	34.049.664	36.887.136	39.724.608	42.562.080	45.399.552	48.237.024	51.074.496
BRI - Lager	114.318.047	116.480.218	118.642.389	120.804.560	122.966.731	125.128.902	127.291.073	129.453.244	131.615.415	133.777.586	135.939.757	138.101.928	140.264.099	142.426.270	144.588.441	146.750.612	148.912.783	151.074.954

A.17. Szenario BRI-Entwicklung der Gesamtheit aller Nichtwohngebäude der Projektregion

BRI-Output (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Büro/ Verwaltung	566.587	563.192	559.797	556.403	553.008	549.614	546.219	542.824	539.430	536.035	532.641	529.246	525.851	522.457	519.062	515.668	512.273	508.878
Lager	512.383	494.801	477.219	459.637	442.055	424.473	406.891	389.309	371.727	354.145	336.563	318.981	301.399	283.817	266.235	248.653	231.071	213.489
Fabrik	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361	797.361
Sonstige	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301	675.301
BRI-Output	2.551.632	2.530.655	2.509.678	2.488.702	2.467.725	2.446.749	2.425.772	2.404.795	2.383.819	2.362.842	2.341.866	2.320.889	2.299.912	2.278.936	2.257.959	2.236.983	2.216.006	2.195.029

BRI-Input (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Büro/ Verwaltung	1.802.559	1.707.023	1.616.551	1.530.874	1.449.738	1.372.902	1.300.138	1.231.230	1.165.975	1.104.179	1.045.657	990.237	937.755	888.054	840.987	796.415	754.205	714.232
Lager	1.051.308	1.061.821	1.072.439	1.083.164	1.093.995	1.104.935	1.115.985	1.127.144	1.138.416	1.149.800	1.161.298	1.172.911	1.184.640	1.196.487	1.208.451	1.220.536	1.232.741	1.245.069
Fabrik	421.294	425.507	429.762	434.060	438.400	442.784	447.212	451.684	456.201	460.763	465.371	470.024	474.725	479.472	484.267	489.109	494.000	498.940
Sonstige	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472	2.837.472
BRI-Input	6.112.633	6.031.823	5.956.224	5.885.569	5.819.605	5.758.093	5.700.806	5.647.531	5.598.064	5.552.214	5.509.798	5.470.645	5.434.591	5.401.484	5.371.177	5.343.532	5.318.418	5.295.713

BRI-Lager (m³)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Büro/ Verwaltung	112.919.179	114.063.010	115.119.764	116.094.235	116.990.964	117.814.252	118.568.171	119.256.577	119.883.123	120.451.266	120.964.282	121.425.274	121.837.177	122.202.774	122.524.698	122.805.445	123.047.377	123.252.730
Lager	126.970.747	127.537.767	128.132.988	128.756.514	129.408.455	130.088.917	130.798.011	131.535.846	132.302.535	133.098.190	133.922.925	134.776.855	135.660.096	136.572.766	137.514.982	138.486.865	139.488.536	140.520.115
Fabrik	111.901.869	111.530.015	111.162.416	110.799.114	110.440.154	110.085.577	109.735.428	109.389.751	109.048.591	108.711.993	108.380.003	108.052.666	107.730.303	107.412.41	107.099.46	106.790.95	106.487.34	106.189.13
Sonstige	114.318.047	116.480.218	118.642.389	120.804.560	122.966.731	125.128.902	127.291.073	129.453.244	131.615.415	133.777.586	135.939.757	138.101.928	140.264.099	142.426.270	144.588.441	146.750.612	148.912.783	151.074.954
BRI - Lager	466.109.842	469.611.010	473.057.556	476.454.424	479.806.304	483.117.648	486.392.682	489.635.418	492.849.663	496.039.035	499.206.967	502.356.723	505.491.402	508.613.950	511.727.168	514.833.717	517.936.129	521.036.813

A.18. ALKIS –Verwendete Objektarten im Deutschland Vergleich

Objektart	Kennurfg	Attributart	Relationsart	Wertart	Wert	Baden-Württemberg	Bayern	Berlin	Brandenburg	Bremen	Hamburg	Hessen	Mecklenburg-Vorpommern	Niedersachsen	Nordrhein-Westfalen	Rheinland-Pfalz	Saarland	Sachsen	Sachsen-Anhalt	Schleswig-Holstein	Thüringen	
Angaben zum Gebäude																						
AX_Gebaeude	31001	gebäudefunktion	Wohngebäude	1000	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	
			Wohnhaus	1010	e	n	e	e	e	e	n	e	n	e	n	n	n	n	n	e	?	
			Wohnheim	1020	e	n	e	e	e	e	n	e	n	e	n	k	n	n	n	n	e	?
			Kinderheim	1021	n	n	e	n	?	e	n	e	n	k	n	n	n	n	n	e	n	
			Seniorenheim	1022	e	n	e	n	?	e	n	e	n	k	n	n	n	n	n	e	n	
			Schwesterwohnheim	1023	n	n	e	n	?	e	n	e	n	k	n	n	n	n	n	e	n	
			Studenten-, Schülerwohnheim	1024	n	n	e	n	?	e	n	e	n	k	n	n	n	n	n	e	n	
			Schullandheim	1025	n	n	e	e	?	e	n	e	n	k	n	n	n	n	n	e	n	
			Gemischt genutztes Gebäude mit Wohnen	1100	n	n	e	n	e	e	n	e	n	e	n	k	n	n	n	n	e	?
			Wohngebäude mit Gemeinbedarf	1110	n	n	e	e	e	e	n	e	e	k	n	n	n	n	n	e	?	
			Wohngebäude mit Handel und Dienstleistungen	1120	n	n	e	e	e	e	n	e	e	k	n	n	n	n	n	e	?	
			Wohn- und Verwaltungsgebäude	1121	e	n	n	n	?	e	n	v	n	k	n	n	n	n	n	n	n	
			Wohn- und Bürogebäude	1122	e	n	n	n	?	e	n	v	n	k	n	n	n	n	n	n	n	
			Wohn- und Geschäftsgebäude	1123	e	n	n	e	?	e	n	v	n	k	n	n	n	n	n	n	n	
			Wohngebäude mit Gewerbe und Industrie	1130	n	n	e	e	e	e	n	e	e	k	n	n	n	n	n	e	?	
			Wohn- und Betriebsgebäude	1131	e	n	n	n	?	n	n	v	n	k	n	n	n	n	n	n	n	
			Land- und forstwirtschaftliches Wohngebäude	1210	n	n	e	e	e	e	n	e	e	k	n	n	n	n	n	e	?	
			Land- und forstwirtschaftliches Wohn- und Betriebsgebäude	1220	n	n	e	n	?	e	n	e	n	e	n	n	n	n	n	e	?	
			Bauernhaus	1221	n	n	n	e	?	e	n	v	n	k	n	n	n	n	n	n	n	
			Wohn- und Wirtschaftsgebäude	1222	e	n	n	n	?	e	n	n	n	k	n	n	n	n	n	n	n	
			Forsthaus	1223	e	n	e	e	e	e	n	e	e	e	n	n	n	n	e	e	n	
			Gebäude zur Freizeitgestaltung	1310	n	n	e	e	?	e	n	e	n	e	n	n	n	n	n	e	?	
			Ferienhaus	1311	n	n	e	n	?	e	n	e	n	k	n	n	n	n	n	e	n	
			Wochenendhaus	1312	e	n	e	n	?	e	n	e	n	k	n	n	n	n	n	e	n	
			Gartenhaus	1313	e	n	e	n	?	e	n	e	n	k	n	n	n	n	n	e	n	
			Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe	2000	n	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	
			Gebäude für Handel und Dienstleistungen	2010	n	n	e	e	e	e	n	e	e	e	n	n	n	n	n	e	?	
			Bürogebäude	2020	e	n	e	e	e	e	n	e	n	k	n	n	n	n	n	e	?	
			Kreditinstitut	2030	n	n	e	e	?	e	n	e	n	k	n	n	n	n	e	e	?	
			Versicherung	2040	n	n	e	e	?	e	n	e	n	k	n	n	n	n	n	e	n	
			Geschäftsgebäude	2050	e	n	e	e	e	e	n	e	n	k	n	n	n	n	n	e	n	
			Kaufhaus	2051	n	n	e	e	?	e	n	e	n	k	n	n	n	n	e	e	n	
			Einkaufszentrum	2052	n	n	e	e	?	e	n	e	n	k	n	n	n	n	e	e	?	

(Auszug) e: wird eingeführt oder ist eingeführt, v: vorgesehen für eine Einführung, n: nicht geführt oder nicht benötigt, ?: Entscheidung steht noch aus

Quelle: (AdV 2012a)

A.19. Mapping der Nutzungsarten aus ALKIS (Hessen, GeoInfoDok 6.0.1)

PRRIG Gebäudetypologie				ALKIS _ Gebäudefunktion (Hessen)		ALKIS Flächenutzung (ax_Tatsächliche Nutzung) - Hessen		
Nr.	Typ(Nutzung)	Unter-Nr.	Unterkategorie	Wert	Bezeichnung		Kennung	Bezeichner
100	Büro- und Verwaltungsgebäude			3000	Gebäude für öffentliche Zwecke	AX_FlaecheBesonderer FunktionalerPraegung	41007	*
						Öffentliche Zwecke (<i>hier sind u.a. Schulen & Kindergärten enthalten</i>)	41007	1100
		110	Verwaltungsgebäude		3010 Verwaltung			
		120	Banken					
		130	Bürogebäude					
200	Fabrik- und Werkstattgebäude			2000	Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe	IndustrieUndGewerbefläche	41002	*
						(<i>Hinweis: Die meisten Gebäude aus dem Bereich der Nichtwohnnutzung befinden sich in ALKIS Hessen in dieser Kategorie</i>)	Industrie und Gewerbe	41002
		210	Industrielle Produktions-/ Fabrikgebäude					
		220	Betriebs-/ Werkstattgebäude			Werft	41002	1790

		230	Kasernen							
300	Handelsgebäude						Handel und Dienstleistung	41002	1400	
		310	Lebensmittel							
		320	Non-Food							
		330	Shoppingcenter							
		340	Markt-/ Messehallen				Ausstellung, Messe	41002	1450	
400	Lagergebäude									
		410	Speditionsgebäude							
		420	Warenlager (Hochlager)							
-	-	430	Lagerhalle, Lagerschuppen				Lagerplatz	41002	1740	
		440	Parkhäuser	2460		Gebäude zum Parken	Parken (ist in Gebäude-Nutzung umfassend migriert)	41007	1200	
					2461		Parkhaus			
					2465		Tiefgarage			
		450	Sonstiges (u.a. Tankstellen, Treibstofflager)							

500		Gastgewerbegebäude								
		510	Hotellerie							
		520	Gastronomie (Freistehend)/ Raststätten				Raststätte	42009	5330	
		540	Kantinen / Mensen							
600		Bildungs- und Forschungsgebäude								
		610	Instituts-/ Laborgebäude							
		620	Kindertagesstätten							
		630	Schulen							
		640	Hochschulen							
		650	Bibliotheken							

700	Verkehrsgebäude					AX_Schiffsverkehr	42016	*
						AX_Flugverkehr	42015	*
		710	Flughäfen			Flughafen	42015	5510
		720	Bahnhöfe			AX_Bahnverkehr	42010	*
800	Heilgebäude							
		810	Krankenhäuser		3051	Krankenhaus		
		820	Pflegehäuser					
900	Sportanlagen					AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche	41008	*
						Freizeitanlage	41008	4200
						Gebäude- und Freifläche Sport, Freizeit und Erholung	41008	4001
						Zoo	41008	4210
						Golfplatz	41008	4110
		910	Sporthallen			Sportanlage	41008	4100
		920	Schwimmbad			Schwimmbad, Freibad	41008	4320
1000	Gebäude zur Ver- und Entsorgung					Versorgungsanlage	41002	2500
						Gebäude - und Freifläche Versorgungsanlage	41002	2501

							Entsorgung	41002	2600
		1010	Kläranlagen				Gebäude - und Freifläche Entsorgungsanlage	41002	2601
							Abfallbehandlungsanlage	41002	2620
					2523	Umformer	Umspannstation	41002	2540
		1020	Energieversorgung (Strom)						
		1030	Wasserversorgung		2512	Pumpstation	Wasserwerk	41002	2520
					2513	Wasserbehälter	Kläranlage, Klärwerk	41002	2610
		1040	Medienerzeugende Gebäude		2211	Windmühle	Kraftwerk	41002	2530
							Raffinerie	41002	2550
							Gaswerk	41002	2560
							Heizwerk	41002	2570
							Funk- und Fernmeldeanlage	41002	2580
1100	Landwirtschaftliche Gebäude			2700		Gebäude für Land- und Forstwirtschaft	Gärtnerei	41002	1490
							Gebäude- und Freifläche Land- und Forstwirtschaft	41006	2700
							Landwirtschaftliche Betriebsfläche	41006	6800
					2740	Treibhaus, Gewächshaus	Forstwirtschaftliche Betriebsfläche	41006	7600
							AX_Landwirtschaft	43001	*
9998	Sonstige Nichtwohngebäude (keine Unterkategorie)						Förderanlage	41002	2510
					2073	Hütte	Deponie (oberirdisch)	41002	2630
					3281	Schutzhütte	Deponie (untertägig)	41002	2640
					3040	Gebäude für religiöse Zwecke	AX_FlaecheGemischterNutzung	41006	*
					3041	Kirche	Zoo	41008	4210
					3043	Kapelle	Camping	41008	4330

					9998	Nach Quellenlage nicht zu spezifizieren			
9999	Wohngebäude (keine Unterkategorie)				1000	Wohngebäude	Gebäude- und Freifläche, Mischnutzung mit Wohnen	41006	2100
					3031	Schloss	AX_Wohnbauflaeche	41001	*
					3038	Burg, Festung	AX_Wohnbauflaeche	41001	1000
							AX_Wohnbauflaeche	41001	2000
							Kleingarten	41008	4330

Weitere nicht zugeordnete Nutzungen:

41003 AX_Halde

41004 AX_Bergbaubetrieb

41005 AX_TagebauGrubeSteinbruch

41007:1300 Historische Anlagen

41008:x Nicht relevante Nutzungen (Grünanlage, Golf, Park etc.)

41009 AX_Friedhof

42001 AX_Strassenverkehr

42006 AX_Weg

42009 AX_Platz

43002 AX_Wald

43003 AX_Gehoelz

43004 AX_Heide

43005 AX_Moor

43006 AX_Sumpf

43007 AX_UnlandVegetationsloseFlaeche

440** Gewässer*

Stand: Mai 2015

A.20. Datenauswertung ALKIS Gesamt Projektregion (Datengrundlage: Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation, 2016; Datenaktualität 2013)

Name	Gemeinde Größe km ²	Fläche			Anzahl			BRI			Fläche			Anzahl		
		BRI Total	Total	NWG	Total	BRI NWG	NWG	unklar	unklar	unklar	Wohnen	Wohnen	Wohnen			
Darmstadt	123	74.306.665	7.181.271	35.060.669	76.403	3.233.485	14.013	330.504	43.045	669	38.915.492	3.904.741	61.721			
Frankfurt am Main	248	324.112.374	24.380.811	163.034.602	228.554	11.612.362	42.124	656.105	88.018	1.447	160.421.667	12.680.430	184.983			
Offenbach am Main	45	44.016.782	4.108.783	17.587.318	46.595	1.676.910	7.610	81.960	20.706	1.048	26.347.505	2.411.167	37.937			
Erzhausen	7	2.832.769	366.113	311.667	6.648	42.488	360	926	301	16	2.520.176	323.324	6.272			
Weiterstadt	34	14.813.607	1.668.047	7.434.094	19.328	749.671	2.658	11.920	1.881	45	7.367.593	916.494	16.625			
Bischofsheim	9	5.992.158	693.409	2.372.177	9.624	278.771	1.199	14.709	2.387	30	3.605.272	412.252	8.395			
Büttelborn	30	6.670.931	855.424	1.791.880	13.745	226.574	1.619	56.694	8.485	80	4.822.357	620.365	12.046			
Ginsheim-Gustavsburg	13	9.425.448	948.385	5.336.373	9.931	492.139	1.399	11.346	1.330	27	4.077.729	454.916	8.505			
Groß-Gerau	55	15.006.821	1.745.475	7.162.757	22.288	791.630	3.642	158.557	13.187	73	7.685.507	940.658	18.573			
Kelsterbach	16	7.347.459	771.103	3.825.977	9.015	373.110	1.328	4.860	1.020	65	3.516.622	396.974	7.622			
Mörfelden-Walldorf	44	14.031.754	1.703.364	3.984.605	26.391	473.733	2.369	18.083	3.568	106	10.029.066	1.226.063	23.916			
Nauheim	14	4.038.356	521.452	712.832	9.071	107.790	853	2.136	585	26	3.323.387	413.077	8.192			
Raunheim	12	6.554.121	760.728	3.320.461	8.627	393.760	1.172	9.354	1.706	40	3.224.306	365.263	7.415			
Rüsselsheim	59	39.452.231	3.575.081	23.689.301	34.561	1.834.411	4.528	63.625	7.652	165	15.699.305	1.733.018	29.868			
Bad Homburg v.d. Höhe	52	24.560.064	2.529.685	8.188.857	29.662	775.220	3.829	253.942	35.591	243	16.117.266	1.718.874	25.590			
Friedrichsdorf	30	10.343.093	1.174.065	2.974.601	16.302	350.695	2.241	69.308	8.848	121	7.299.183	814.522	13.940			
Glashütten	27	2.645.561	340.187	380.554	5.124	44.502	379	15.410	2.719	49	2.249.597	292.966	4.696			
Grävenwiesbach	43	3.214.621	377.081	1.120.727	4.720	138.375	1.027	6.806	1.347	31	2.087.088	237.358	3.662			
Königstein im Taunus	25	8.050.570	864.613	1.652.596	11.451	162.526	1.057	46.220	5.689	115	6.351.754	696.398	10.279			
Kronberg im Taunus	19	8.411.420	879.580	2.370.042	10.795	240.515	1.238	182.040	16.018	227	5.859.338	623.046	9.330			

Name	Gemeinde		Fläche Total	Anzahl Total	BRI NWG	Fläche NWG	Anzahl NWG	BRI unklar	Fläche unklar	Anzahl unklar	BRI Wohnen	Fläche Wohnen	Anzahl Wohnen
	Größe km ²	BRI Total											
Neu-Anspach	36	6.828.989	800.319	10.869	2.047.872	246.486	1.841	14.845	2.935	69	4.766.271	550.898	8.959
Oberursel (Taunus)	45	18.936.276	1.997.732	24.547	6.238.605	662.107	3.085	48.613	6.320	98	12.649.058	1.329.305	21.364
Schmitten	35	4.896.352	580.194	8.580	1.087.642	121.626	887	31.047	4.098	100	3.777.663	454.469	7.593
Steinbach (Taunus)	4	3.013.613	326.249	4.367	728.774	97.306	762	1.919	425	18	2.282.921	228.518	3.587
Usingen	56	7.419.215	895.888	11.043	2.303.164	280.449	1.553	47.793	7.062	81	5.068.258	608.376	9.409
Wehrheim	38	4.816.999	607.823	8.382	1.265.974	164.103	1.033	9.050	2.156	119	3.541.974	441.564	7.230
Weilrod	71	4.310.175	504.327	7.195	1.272.753	152.872	1.301	20.120	2.829	65	3.017.302	348.626	5.829
Bruchköbel	30	9.141.346	1.108.655	16.731	2.052.449	275.039	1.915	201.058	20.771	109	6.887.839	812.845	14.707
Erlensee	18	6.312.058	751.639	10.652	1.290.785	174.060	872	938.885	84.867	162	4.082.388	492.712	9.618
Großkrotzenburg	7	6.713.008	463.896	6.069	4.330.066	178.268	827	31.144	4.229	38	2.351.798	281.399	5.204
Hammersbach	20	2.525.368	313.716	4.907	712.091	92.033	861	7.526	931	16	1.805.751	220.753	4.030
Hanau	77	48.304.696	5.097.764	54.154	23.014.934	2.432.873	8.973	189.173	22.487	319	25.100.589	2.642.404	44.862
Langenselbold	26	8.112.156	962.749	12.484	3.580.486	399.954	1.561	44.708	8.393	75	4.486.963	554.402	10.848
Maintal	32	15.070.234	1.701.031	22.431	4.861.711	622.665	3.075	33.110	4.589	33	10.175.413	1.073.777	19.323
Neuberg	11	2.561.347	332.563	5.390	534.146	69.296	485	4.593	691	10	2.022.608	262.577	4.895
Nidderau	47	9.258.523	1.118.061	17.820	2.184.919	284.024	2.151	85.631	10.622	102	6.987.973	823.416	15.567
Niederdorfelden	7	1.815.464	212.784	2.667	654.913	82.010	453	4.726	717	5	1.155.826	130.057	2.209
Rodenbach	17	4.707.225	581.342	9.609	941.346	118.015	845	5.772	890	28	3.760.107	462.438	8.736
Ronneburg	14	2.028.011	247.982	3.527	476.581	61.649	565	28.428	4.350	36	1.523.002	181.983	2.926
Schöneck	21	5.601.698	672.090	10.831	1.395.772	177.280	1.198	35.915	5.213	62	4.170.012	489.598	9.571
Bad Soden am Taunus	12	8.638.481	884.431	11.900	1.737.911	166.200	1.278	9.444	1.687	41	6.891.126	716.544	10.581
Eppstein	25	5.819.111	644.829	9.370	1.084.506	123.359	839	28.624	2.800	58	4.705.982	518.670	8.473
Eschborn	12	13.149.763	1.064.133	10.231	8.009.689	532.382	2.073	14.991	2.730	29	5.125.083	529.021	8.129
Flörsheim am Main	23	9.503.804	1.061.997	14.099	3.493.777	386.022	1.932	209.836	18.114	84	5.800.192	657.862	12.083

Name	Gemeinde		Fläche Total	Anzahl Total	BRI NWG	Fläche NWG	Anzahl NWG	BRI unklar	Fläche unklar	Anzahl unklar	BRI Wohnen	Fläche Wohnen	Anzahl Wohnen
	Größe km ²	BRI Total											
Hattersheim am Main	15	10.217.254	1.166.018	14.736	3.471.745	416.087	2.001	6.089	1.410	37	6.739.420	748.522	12.698
Hochheim am Main	20	7.645.654	881.393	11.100	2.428.440	302.901	1.838	26.824	4.646	58	5.190.390	573.846	9.204
Hofheim am Taunus	57	18.247.170	2.095.171	27.168	6.151.667	724.344	3.909	31.833	5.045	106	12.063.670	1.365.782	23.153
Kelkheim (Taunus)	31	11.674.010	1.348.234	19.390	2.544.817	285.737	2.073	31.241	4.610	67	9.097.952	1.057.887	17.250
Kriftel	7	4.748.350	537.881	6.494	1.746.578	209.198	889	2.285	519	11	2.999.487	328.164	5.594
Liederbach am Taunus	6	3.364.757	375.829	5.110	824.901	99.497	1.192	6.631	881	5	2.533.226	275.451	3.913
Schwalbach am Taunus	6	6.109.414	591.176	7.039	2.441.169	206.979	1.029	390	105	5	3.667.855	384.093	6.005
Sulzbach (Taunus)	7	4.720.056	490.828	5.220	2.266.859	223.370	915	10.892	1.544	4	2.442.305	265.913	4.301
Dietzenbach	22	15.914.878	1.711.468	15.434	8.350.538	910.251	3.088	10.318	2.798	34	7.554.023	798.420	12.312
Dreieich	54	19.448.380	2.282.739	32.205	7.007.948	792.839	4.014	112.867	20.040	599	12.327.565	1.469.859	27.592
Egelsbach	15	5.409.241	676.158	8.505	2.139.658	283.085	1.173	21.783	4.017	99	3.247.800	389.056	7.233
Hainburg	16	6.509.566	840.546	12.510	1.762.060	240.326	1.606	16.284	3.306	123	4.731.222	596.914	10.781
Heusenstamm	19	8.218.955	989.443	13.856	2.708.029	329.927	2.437	7.010	1.556	18	5.503.916	657.960	11.401
Langen (Hessen)	30	13.694.904	1.405.008	17.857	4.358.967	448.779	2.155	70.924	9.804	212	9.265.013	946.425	15.490
Mainhausen	18	4.549.542	602.338	8.012	1.427.916	209.257	876	70.895	8.196	46	3.050.731	384.885	7.090
Mühlheim am Main	20	10.905.660	1.331.175	19.133	3.001.374	393.468	1.896	35.647	8.367	439	7.868.639	929.340	16.798
Neu-Isenburg	24	15.798.101	1.576.179	16.819	5.823.762	577.727	2.064	62.878	9.376	190	9.911.461	989.076	14.565
Obertshausen	14	10.457.587	1.166.022	14.164	3.931.885	445.395	1.761	36.034	7.476	54	6.489.668	713.151	12.349
Rodgau	65	20.385.303	2.413.511	31.272	7.076.418	862.090	4.102	343.139	39.098	217	12.965.745	1.512.323	26.953
Rödermark	30	11.686.798	1.487.974	20.028	3.242.816	442.096	1.941	18.341	2.757	47	8.425.640	1.043.120	18.040
Seligenstadt	31	9.894.926	1.221.657	16.952	2.756.916	365.343	1.942	84.916	7.721	80	7.053.094	848.593	14.930

Name	Gemeinde		Fläche Total	Anzahl Total	Fläche NWG	Anzahl NWG	BRI unklar	Fläche unklar	Anzahl unklar	BRI Wohnen	Fläche Wohnen	Anzahl Wohnen	
	Größe km ²	BRI Total											
Bad Nauheim	32	14.803.229	1.543.689	20.627	4.924.483	502.322	2.954	76.490	7.610	84	9.802.256	1.033.757	17.589
Bad Vilbel	26	14.259.106	1.528.757	19.728	5.244.880	551.347	2.337	25.966	4.650	44	8.988.260	972.759	17.347
Butzbach	106	16.392.122	1.856.637	24.084	7.164.813	792.521	4.434	19.130	3.829	128	9.208.180	1.060.286	19.522
Florstadt	39	5.476.129	665.007	10.991	1.946.000	218.319	1.611	5.320	845	30	3.524.809	445.843	9.350
Friedberg (Hessen)	50	16.642.207	1.771.450	20.873	6.828.474	704.535	3.177	837.283	81.318	165	8.976.450	985.597	17.531
Karben	44	11.732.813	1.440.502	19.368	4.684.630	589.360	2.775	13.698	2.611	53	7.034.485	848.531	16.540
Münzenberg	32	3.771.520	455.712	7.300	1.322.266	158.733	1.511	7.063	1.114	58	2.442.191	295.866	5.731
Niddatal	40	5.112.255	629.010	9.707	1.561.413	190.941	1.211	5.292	920	34	3.545.551	437.148	8.462
Ober-Mörlen	38	3.641.126	458.381	7.113	1.094.721	135.745	877	16.196	1.820	75	2.530.208	320.815	6.161
Reichelsheim (Wetterau)	27	3.963.484	507.754	7.951	1.254.606	164.859	1.377	21.632	3.470	40	2.687.247	339.425	6.534
Rockenberg	16	2.540.543	303.373	4.672	785.028	97.012	849	6.230	896	15	1.749.284	205.465	3.808
Rosbach v.d. Höhe	45	7.029.711	868.076	11.330	2.903.933	361.730	1.534	4.657	1.087	30	4.121.122	505.259	9.766
Wölfersheim	43	6.291.846	778.299	11.509	2.373.978	292.802	1.988	5.570	1.049	45	3.912.298	484.448	9.476
Wöllstadt	15	2.700.971	336.320	5.906	684.442	84.898	736	14.370	2.104	44	2.002.159	249.318	5.126
		1.169.268.285	116.710.566	1.400.853	485.851.086	45.512.565	205.282	6.107.574	740.584	9.676	677.309.631	70.457.417	1.185.895

A.21. Bewertungsergebnis des Gebäudezustandes

Bewertungssystem										Untersuchtes Gebäude: M60			
Gebäudezustand													
Baulicher Zustand												60%	
										EFF	Gewichtung	Angepasste Gewichtung	EFF Baulicher Zustand
Gebäudehülle													
Fassade											20%		
	% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF					
Zustand Fassade	60%	4	40%	3	0%	2	0%	1	3,60	50%	10,0%	0,36	
	% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF					
Fenster	0%	4	50%	3	50%	2	0%	1	2,50	30%	6,0%	0,15	
Wärmedämmung									3	20%	4,0%	0,12	
Dach													
	% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF					
Zustand Dach	0%	4	40%	3	50%	2	10%	1	2,30	70%	17,5%	0,40	
Wärmedämmung									1	30%	7,5%	0,08	
Tragwerk													
	% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF					
Zustand Tragwerk	100%	4	0%	3	0%	2	0%	1	4,00	100%	30,0%	1,20	
Innenbereich													
	% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF					
Boden	95%	4	5%	3	0%	2	0%	1	3,95	60%	12%	0,47	
	% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF					
Innenwände	90%	4	10%	3	0%	2	0%	1	3,90	15%	3%	0,12	
	% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF					
Einbauten	80%	4	20%	3	0%	2	0%	1	3,80	10%	2%	0,08	
	% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF					
Decken	0%	4	0%	3	0%	2	0%	1	0,00	0%	0%	-	
Aufenthaltsraum									1	15%	3%	0,03	
Schadstoffbelastung													
Schadstoffe									3	100%	5%	0,15	
											100%		
												100%	
													3,15
Zustand TGA													40%
												EFF TGA	
RLT-Anlagen										3	15%		0,45
Wärmeanlagen										3	17%		0,51
Elektrotechnik										3	17%		0,51
Wasserversorgung										4	15%		0,60
Sprinkleranlage										2	15%		0,30
Sanitäreanlagen										2	8%		0,16
Beleuchtung										4	8%		0,32
Sonstige Ausstattung													
	% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF					
Krananlage	0%	4	0%	3	100%	2	0%	1	2,00	3%		0,06	
	% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF					
Rolltore	0%	4	50%	3	50%	2	0%	1	2,50	3%		0,08	
											101%		
													2,99
Erfüllungsgrad				77,2%				Gesamtgebäudezustand				3,09	

A.22. Beispielhafter Gebäudepass

Adresse				
Parkhaus TU Darmstadt Campus Lichtwiese Franziska-Braun-Straße 64287 Darmstadt				
Nutzungsklasse & -ID				
Nichtwohngebäude <ul style="list-style-type: none"> - Lagergebäude - Sonstige Nutzungs-ID <ul style="list-style-type: none"> - 440 				
Beschreibung				
Bei diesem Gebäude handelt es sich um eine offene Großgarage mit halbgeschossig zueinander versetzten Parkebenen (D'Humy-System). Die Erschließung erfolgt über eine Ein-, Ausfahrt, sowie Halbrampen als Begegnungsrampen. Der Fußgängerverkehr wird über zwei an den Stirnseiten des Parkhauses angeordneten Treppenhäusern, eines mit einer Aufzugsanlage, erschlossen. Das Gebäude besitzt eine besondere Matrixfassade aus Metallelementen.				
Eigentümer\Bauherr		Architekt\Planer		
Technische Universität Darmstadt Dezernat V – Bau und Immobilien Rundeturmstraße 10 D-64283 Darmstadt		Technische Universität Darmstadt Rundeturmstraße 10 D-64283 Darmstadt		
Ausf. Unternehmen				
Bestandsaufnahme des Objekts				
Maße [in m]		Bezugsgrößen		Umfang Bestandsaufnahme
Länge	ca. 50,35	Baujahr	2014	
Breite	ca. 32,40	BGF [m ²]	13755,12	Gesamte Konstruktion, TGA, kleinere Bauteile
Höhe (OK)	ca. 22,45	BRI [m ³]	32962,89	
Geschoss- höhe	ca. 2,80			Einschränkungen/Unberücksichtigt
				Fundamente und Gründungselemente, marginale Elemente
Aufnahmeperson				
Datum der Aufnahme		27.12.2014		

Gebäudepass Seite 1/3: Übersicht der allgemeinen Informationen

Materialzusammensetzung (gesamt)

Mengenübersicht (gesamt)

mineralische Baustoffe

[kg]

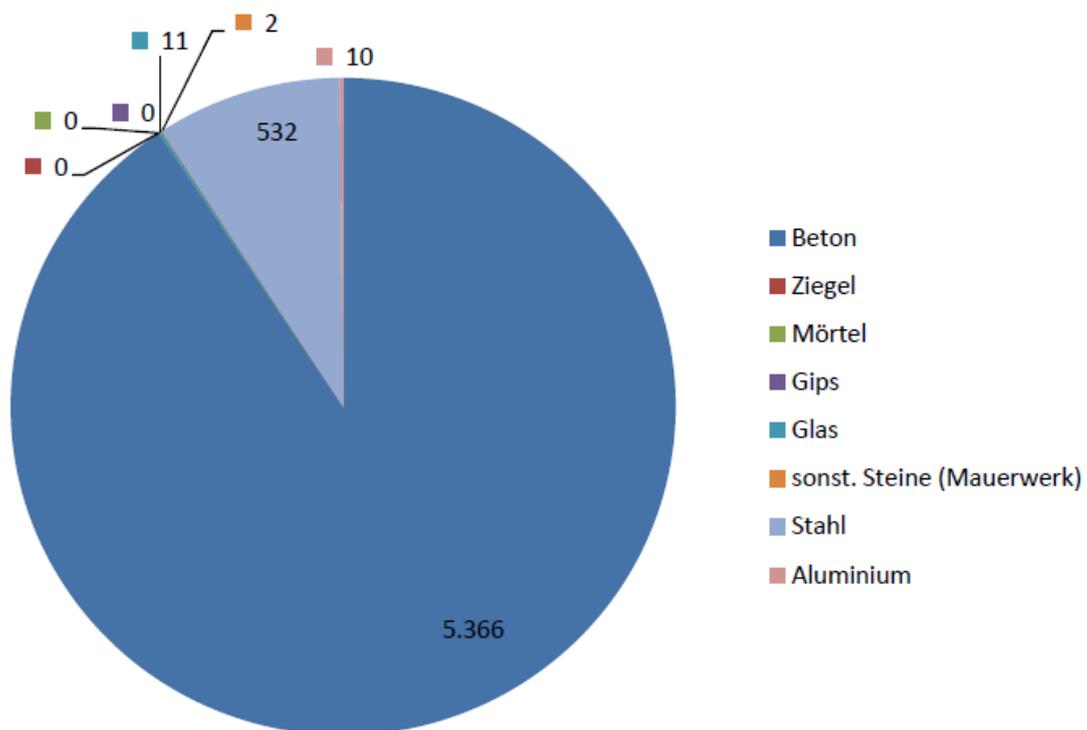
Beton					5.366.363
Ziegel					0
Mörtel					0
Gips					0
Glas					10.785
sonst. Steine (Mauerwerk)					2.196

metallische Baustoffe

[kg]

Stahl					531.506
Aluminium					9.993
Kupfer					567

Materialverteilung (gesamt in Mg)



Gliederung	Schlüssel nach DIN 276 (3. Ebene)	Bauteilbezeichnung (Anlehnung an DIN 276)	mineralische Baustoffe [Summe in kg]					metallische Baustoffe [Summe in kg]			
			Beton	Ziegel	Mörtel	Mauerwerk	Glas	Stahl	Aluminium	Kupfer	(Guss-)Eisen
Gründung & Fundament	322	Flachgründung	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	323	Tiefgründung	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	324	Unterböden & Bodenplatte	146.821	0	0	0	0	0	0	0	0
	325	Bodenbeläge	334.680	0	0	0	0	0	0	0	0
	327	Drainagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
329	Gründung, sonstiges	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wand (vertikale Flächen)	331, 341	Tragende Außen- und Innenwände	489.933	0	0	2.196	0	22.675	0	0	0
	332, 337, 342, 346	Nichttragende Außen- und Innenwände sowie elementierte Wände	8.445	0	0	0	10.785	0	8.763	0	0
	335, 337	Vorhangsfassaden, Außenwandbekleidung	0	0	0	0	0	6.904	1.198	0	0
Stützen (vertikale Linien)	333, 343	tragende Innen- und Außenstützen	0	0	0	0	0	112.075	0	0	0
	332, 342	nichttragende Außen- und Innenstützen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fenster	334, 334, 362	Fensterflügel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	334, 344, 362	Fensterrahmen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Türen	334, 344	Türblatt, Toreinheit	0	0	0	0	0	1.700	0	0	0
	334, 344	Türrahmen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Decke	351	Deckenkonstruktionen	0	0	0	0	0	221.518	0	0	0
	352	Deckenbelag	4.385.485	0	0	0	0	96.108	0	0	0
	353	Deckenbekleidung	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dach	361	Dachkonstruktionen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	363	Dachbeläge	0	0	0	0	0	9.173	0	0	0
	364	Dachbekleidung	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bauwerk - Technische Anlagen											
Wasser- und Abwasser sowie Gasanlagen	411, 412, 413	Anschlusseinheiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Leitungen	0	0	0	0	0	23.942	0	0	0
		sonstige Anlagentechnik	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wärmeversorgungsanlagen	421	Wärmeerzeugungsanlagen, Wärmespeicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	422	Wärmeverteilnetze	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	423	(Raum-)Heizflächen	0	0	0	0	0	0	0	40	0
	429	Schornstein	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lufttechnische Anlagen	431	Lüftungsanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	432, 433	(Teil-)Klimaanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	434	Kälteanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	439	Sonstige Lufttechnische Anlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektro-Versorgungsanlagen	441, 442, 443	Hoch- & Mittelspannungs-, Eigenstromversorgungs- und Niederspannungsschaltanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	444, 446, 457, 485	Übertragungsnetze, Kabel, Leitungen, Ableitungen, Erdungen	0	0	0	0	0	0	0	527	0
Elektro-Nutzungsanlagen	445	Beleuchtung (Anlagen & Einheiten)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	446	Blitzschutzanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	451, 452, 453, 454, 455, 456	Telekommunikations-, Such- & Signal-, Zeitdienst-, TV- & Antennen-, Alarm- & Brandmelde- sowie Elektrokustische Anlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aufzugsanlagen	461	Personen- und Lastenaufzüge	0	0	0	0	0	558	0	0	0
Fahrtreppen	462	Fahrtreppen, Fahrsteige	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transportanlagen	464	Waren-, Akten-, Rohrpost- & sonstige Transportanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Befahranlagen	463	Schienensysteme, Hebeanlagen, Fassadenbefahranlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Krananlagen	465	Kransysteme inkl. Hebezeuge	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medienver- und Entstörungsanlagen	473, 478	Anschlusseinheiten, Leitungen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feuerlöschanlagen	475	FW Anschlusseinheiten, Leitungen	0	0	0	0	0	1.187	32	0	0
Sonstige Bauteile & Komponenten		Eindimensionale Komponenten	0	0	0	0	0	340	0	0	0
	338, 339, 359, 369	zweidimensionale Komponenten	0	0	0	0	0	35.326	0	0	0
		Stückgut	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Masse gesamt [in kg]			5.366.363	0	0	2.196	10.785	531.506	9.993	567	0

Gebäudepass Seite 3/3: Übersicht der bauteilbezogenen Materialverteilung

A.23. Gebäudeaufnahmebogen und Bewertungshilfen für das Praxisbeispiel

1.1 Allgemeine Angaben

Projektnr./-name: Umnutzung M60 _____ Datum der Aufnahme: 18.4.2016 _____

Name des Gebäudes: M60 _____

Aufnehmende Person/en: Patrick Trinker _____

Vorhandene Unterlagen:

Grundrisse Bemaßt Verwertbar

Schnitte Bemaßt Verwertbar

Ansichten Bemaßt Verwertbar

Lageplan aussagekräftig

Anlageschemen

Heizung Detailinfos

Lüftung Detailinfos

Sonstige Informationen

Unterlagen: über: _____

Bemerkungen:

Verwendete Messgeräte: _____

Fotodokumentation: Ja Nein

1.2 Allgemeine Angaben zum Gebäude:

Adresse/Lage auf dem Areal: Randlage, jedoch in das Werksgelände integriert _____

Randlage: Ja Nein

→ Möglichkeiten zum Verkauf prüfen

Baujahr: ca. 1960 _____

Aktuelle Nutzung: Möbellager _____

ungenutzt/leerstehend Seit: _____

Frühere Nutzung/en: Schmiede, später CKD-Verpackung mit Kistenschreinerei _____

Wurden bereits Änderungen/Sanierungen vorgenommen?

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Umgestaltung der CKD-Verpackung in ein Linienskonzept; damit einhergehende Sanierungsmaßnahmen

2. Gebäudezustand

2.1 Baulicher Zustand

Fassade/Typ: vorgehängte hinterlüftete Fassade Vorhangfassade

Sonstige:

Material: Sichtbeton Alu/Metall Mauerklinker

Sonstige:

Kriterium	Zustand	Ausprägung	%-Anteil	EFP	
Fassade	gut	Fassade erfüllt seine Funktion; keine Schäden erkennbar; schützt vor äußeren Einflüssen, evtl. geringe Abnutzungen	_60_%	4	<input checked="" type="checkbox"/>
	brauchbar	Die Fassade weist Abnutzungen auf, die die Funktion jedoch nicht beeinträchtigen; mit vertretbarem Aufwand zu beheben	_40_%	3	<input checked="" type="checkbox"/>
	Schlecht	Fassade weist Schäden auf, die die Funktion beeinträchtigen; Feuchtigkeit dringt ein, muss erneuert werden	_____%	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Starke Schäden; Funktion nicht mehr gegeben; Fassade stellt evtl. Gefahr dar	_____%	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Schadensbild der Fassade in Anhang 7

Fenster: Einscheibenverglasung Zweischeibenverglasung Andere:

Kriterium	Zustand	Ausprägung	%-Anteil	EFP
Fenster	gut	Moderne Verglasung (Zweischeiben); Fenster erfüllen ihre Funktion; keine Schäden erkennbar; schützt vor äußeren Einflüssen, evtl. geringe Abnutzungen,	___%	4 <input type="checkbox"/>
	brauchbar	Einscheibenverglasung; Fenster erfüllen ihre Funktion; keine Schäden erkennbar; schützen vor äußeren Einflüssen, evtl. geringe Abnutzungen,	___50___%	3 <input checked="" type="checkbox"/>
	Schlecht	Fenster sind stark abgenutzt oder leicht beschädigt.	___50___%	2 <input checked="" type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Starke Schäden; Funktion nicht mehr gegeben; Fenster stellen evtl. Gefahr dar	___%	1 <input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Zwar funktionsfähig; energetisch jedoch sehr fragwürdig

Wärmedämmung: Ja Nein

Kriterium	Zustand	Ausprägung	EFP
Fassade Wärme- dämmung	gut	Fassade ist gedämmt; entspricht modernen Standards und erfüllt aktuellste Vorgaben.	4 <input type="checkbox"/>
	brauchbar	Dämmung ist veraltet, aber überall intakt	3 <input checked="" type="checkbox"/>
	Schlecht	Dämmung ist durch Schäden an der Fassade beschädigt und verliert seine Funktionsfähigkeit	2 <input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Keine Dämmung vorhanden	1 <input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Teilweise freiliegend siehe Schadensbild Anhang 7

Tragwerk: Stahltragwerk Stahlbetontragwerk

Mögliche Schäden: Risse Korrosion Betonschäden Salzschäden

Andere: _____

Kriterium	Zustand	Ausprägung	%-Anteil	EFP	
Tragwerk	gut	Tragwerk in gutem statischen Zustand; keine oder vernachlässigbare Abnutzungen; keine Schäden erkennbar	_100_%	4	<input checked="" type="checkbox"/>
	brauchbar	Das Tragwerk weist Abnutzungen auf, die das Tragverhalten jedoch nicht beeinträchtigen; mit vertretbarem Aufwand zu beheben	_____%	3	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	Tragwerk weist Bauschäden auf; Risse oder Verformungen die das Tragverhalten beeinflussen können.	_____%	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Starke Bauschäden wie Risse oder Verformungen, Konstruktionsteile	_____%	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Tragwerk in optisch sehr gutem Zustand; keine Beschädigungen

Dach: Sheddach Flachdach Pultdach Andere:

Kriterium	Zustand	Ausprägung	%-Anteil	EFP	
Dach	gut	Das Dach erfüllt seine Funktion gut; evtl. sehr geringe Abnutzungen; keine Schäden erkennbar	_____%	4	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	Das Dach weist Abnutzungen auf, die die Funktion jedoch nicht beeinträchtigen; mit vertretbarem Aufwand zu beheben	_40_%	3	<input checked="" type="checkbox"/>
	Schlecht	Dach weist Schäden auf, die die Funktion beeinträchtigen; Feuchtigkeit dringt ein, muss erneuert werden	_50_%	2	<input checked="" type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Starke Schäden; Funktion nicht mehr gegeben; Teilweise einsturzgefährdet, evtl. Notsicherung	_____%	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Dach ist an einigen Stellen undicht; für eine dauerhafte zukünftige Nutzung muss es erneuert werden

Kriterium	Zustand/Er- füllung	Ausprägung	EFP	
Dach Wärme- dämmung	gut	Dach ist gedämmt; entspricht modernen Standards und erfüllt aktuellste Vorgaben.	4	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	Dämmung ist veraltet, aber überall intakt	3	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	Dämmung ist durch Schäden am Dach beschädigt	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Keine Dämmung vorhanden	1	<input checked="" type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Innenbereich:

Bewertungs- element	Zustand/Er- füllung	Ausprägung	%-Anteil	EFP	
Innen- wände	gut	Keine oder vernachlässigbare Abnutzungen; keine Schäden erkennbar	_90_%	4	<input checked="" type="checkbox"/>
	brauchbar	Innenwände weisen Abnutzungen auf; mit vertretbarem Aufwand zu beheben; keine Beeinflussung auf Funktion	_10_%	3	<input checked="" type="checkbox"/>
	Schlecht	Innenwände weisen Schäden auf; Risse oder Verformungen die das Tragverhalten beeinflussen können.	_____%	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Starke Bauschäden wie Risse oder Verformungen, Wand muss ausgetauscht werden	_____%	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Innenwände weisen nur geringen Abnutzungen auf

Geschossdecken:

Bewertungs- element	Zustand/Er- füllung	Ausprägung	%-Anteil	EFP	
Decken	gut	Keine oder vernachlässigbare Abnutzungen; keine Schäden erkennbar	___ %	4	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	Decken weisen Abnutzungen auf; mit vertretbarem Aufwand zu beheben; keine Beeinflussung auf Funktion	___ %	3	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	Decken weisen Schäden auf; Risse oder Verformungen die das Tragverhalten beeinflussen können.	___ %	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Starke Bauschäden wie Risse oder Verformungen, Decke muss stellt evtl. Gefahr dar	___ %	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Eingeschossige Halle – keine Decken

Boden: Betonboden Anderer Bodenbelag:

Bewertungs- element	Zustand/Er- füllung	Ausprägung	%-Anteil	EFP	
Boden	gut	Keine oder vernachlässigbare Abnutzungen; keine Schäden erkennbar	_95_ %	4	<input checked="" type="checkbox"/>
	brauchbar	Boden weist Abnutzungen auf; mit vertretbarem Aufwand zu beheben; keine Beeinflussung auf Funktion	_5_ %	3	<input checked="" type="checkbox"/>
	Schlecht	Boden weist Schäden auf; Risse die das Tragverhalten beeinflussen können.	___ %	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Starke Schäden; große Risse	___ %	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Lediglich kleinere Abplatzungen der Beschichtung.

Einbauten:

Bewertungselement	Zustand/Erfüllung	Ausprägung	%-Anteil	EFP	
Einbauten	gut	Keine oder vernachlässigbare Abnutzungen; keine Schäden erkennbar	__80__%	4	<input checked="" type="checkbox"/>
	brauchbar	Einbauten weisen Abnutzungen auf; mit vertretbarem Aufwand zu beheben; keine Beeinflussung auf Funktion	__20__%	3	<input checked="" type="checkbox"/>
	Schlecht	Einbauten weisen Schäden auf; Risse die das Tragverhalten beeinflussen können.	____%	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Einbauten sind stark beschädigt	____%	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Umrandung des Einbau beschädigt

Aufenthaltsräume/Pausenräume:

Bewertungselement	Zustand/Erfüllung	Ausprägung	EFP	
Aufenthaltsraum/ Pausenraum	gut	Raum oder Bereich ist in gutem Zustand mit moderner Ausstattung; einladende Optik	4	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	Raum oder Bereich mit veralteter Ausstattung; Alterungsabnutzungen; funktionsfähig	3	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	Raum oder Bereich weist Schäden auf; Ausstattung beschädigt; muss Instand gesetzt werden	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Raum oder Bereich muss neu gestaltet werden	1	<input checked="" type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Aufenthaltsraum in sehr schlechtem Zustand; auf dem Einbau gelegen; Küche herausgerissen; verwahrlost

Schadstoffbelastung:

Bewertungselement	Zustand/Erfüllung	Ausprägung	EFP	
Schadstoffe	gut	Keine Schadstoffe zu vermuten	4	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	Verdacht auf Schadstoffe, die mit vertretbarem Aufwand beseitigt werden können	3	<input checked="" type="checkbox"/>
	Schlecht	entfällt	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Begründeter Verdacht auf Schadstoffe; Offensichtliche Schadstoffbelastung	1	<input type="checkbox"/>

Experte zurate ziehen ←

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Schadstoffe könnten in der Dämmung sein

2.2 Zustand der Technischen Gebäudeausrüstung:

Wasserversorgung:

Bewertungselement	Zustand	Ausprägung	EFP	
Wasserversorgung	gut	Die Wasserversorgung für Sanitär ist gegeben; alle Leitungen intakt	4	<input checked="" type="checkbox"/>
	brauchbar	entfällt	3	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	Nicht in Betrieb; länger nicht gewartet; keine Aussage zu Funktionsfähigkeit; evtl großer Aufwand der Instandsetzung	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Leitungen beschädigt; nicht intakt	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Wasserversorgung und Sanitär überall funktionsfähig

Sprinkleranlage:

Bewertungselement	Zustand	Ausprägung	EFP	
Sprinkleranlage	gut	Flächendeckende Sprinkleranlage	4	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	entfällt	3	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	Sprinkler nur in Teilbereichen	2	<input checked="" type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Keine Sprinkleranlage	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Lediglich Regalsprinkler in Teilbereichen

Sanitäranlagen

Anzahl: 2 wc, 2 waschräume

Bewertungselement	Zustand/Erfüllung	Ausprägung	EFP	
Sanitäranlagen	gut	Raum in gutem Zustand mit moderner Ausstattung; Sanitäranlagen intakt;	4	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	Veraltete Sanitäranlage aber funktionsfähig; Alterungsabnutzungen; entspricht ASR	3	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	Starke Abnutzungen; Anpassungsverlangen aus ArbSchG und somit ASR	2	<input checked="" type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Sanitäranlage ist offensichtlich beschädigt und nicht funktionsfähig; müssen erneuert werden	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

2 Toilettenbereiche

RLT-Anlagen:

- Mit Lüftungsfunktion Ohne Lüftungsfunktion
 Nur-Luft-System Luft-Wasser-System

Bewertungselement	Zustand/Erfüllung	Ausprägung	EFP	
RLT-Anlage	gut	Funktionsfähige Anlage mit moderner Ausstattung;	4	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	Veraltete Anlage aber funktionsfähig; Alterungsabnutzungen; gewartet und in Betrieb;	3	<input checked="" type="checkbox"/>
	Schlecht	Nicht in Betrieb; länger nicht gewartet; keine Aussage zu Funktionsfähigkeit; evtl. großer Aufwand der Instandsetzung	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Anlage ist offensichtlich beschädigt und nicht funktionsfähig; muss ausgetauscht werden	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Wärmeanlagen:

- Strahlungsheizung Hellstrahler Dunkelstrahler Deckenstrahlplatten
 Warmluftheizung Lufterhitzer Fußbodenheizung

Bewertungselement	Zustand/Erfüllung	Ausprägung	EFP	
Wärme-anlage	gut	Funktionsfähige Anlage mit moderner Ausstattung;	4	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	Veraltete Anlage aber funktionsfähig; Alterungsabnutzungen; gewartet und in Betrieb;	3	<input checked="" type="checkbox"/>
	Schlecht	Nicht in Betrieb; länger nicht gewartet; keine Aussage zu Funktionsfähigkeit; evtl großer Aufwand der Instandsetzung	2	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Anlage ist offensichtlich beschädigt und nicht funktionsfähig; muss ausgetauscht werden	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:
Waren angeschaltet daher funktionsfähig

Sonstige Ausstattung:

Rolltore: Anzahl: 4 rolltore 6 Verladerampen

Bewertungselement	Zustand/Erfüllung	Ausprägung	%-Anteil	EFP	
Rolltore inkl. Torluftschleier	gut	Funktionsfähig; nach modernen Standards	_____ %	4	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	Funktionsfähig; gewartet und in Betrieb; Nicht nach modernen Standards	_____ %	3	<input checked="" type="checkbox"/>
	Schlecht	Nicht in Betrieb; länger nicht gewartet; keine Aussage zu Funktionsfähigkeit; evtl. großer Aufwand der Instandsetzung	_____ %	2	<input checked="" type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Offensichtlich stark beschädigt und	_____ %	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

nur die Hälfte der Tore wurden kontinuierlich gewartet

Krananlagen:

Säulenschwenkkran Kranbahn

Bewertungselement	Zustand/Erfüllung	Ausprägung	%-Anteil	EFP	
Krananlage	gut	Funktionsfähig; nach modernen Standards	_____ %	4	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	Funktionsfähig; gewartet und in Betrieb; Nicht nach modernen Standards	_____ %	3	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	Nicht in Betrieb; länger nicht gewartet; keine Aussage zu Funktionsfähigkeit; evtl. großer Aufwand der Instandsetzung	_____ %	2	<input checked="" type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Offensichtlich stark beschädigt und	_____ %	1	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Sehr große Kranbahn vorhanden, jedoch teilweise demontiert.

3. Nutzungsbeeinflussende Kriterien

3.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Genehmigte Nutzung in der Baugenehmigung: CKD-Verpackung und Kistenschreinerei sowie Versammlungsstätte für 7000 Pers _____

Bauplanungsrecht

Bewertungselement	Erfüllung	Ausprägung	EFP	Lager	Produktion
Zulässigkeit der Nutzung	Gut geeignet	G geplante Nutzung ist zulässig; keine entgegenstehenden Vorgaben in B-Plan und F-Plan	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	brauchbar	G geplante Nutzung ist nur mit Änderungen zulässig	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	entfällt	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	G geplante Nutzung ist nicht zulässig	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Beiden Nutzungen dürfte nichts entgegen stehen

Bauordnungsrecht

Bewertungselement	Erfüllung	Ausprägung	EFP	Lager	Produktion
Nutzungsänderung	gut	Die vorherige Nutzung ist mit der geplanten Nutzung ähnlich; keine Nutzungsänderung im Sinne des Bauplanungsrecht; erleichtert weiteres Vorgehen	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	entfällt	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	Formelle Nutzungsänderung im Sinne des Bauordnungsrechts liegt vor; Baugenehmigung erforderlich; Bestandsschutz geht verloren	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Mangelhaft	. entfällt	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Lager und Produktion unterscheiden sich von der jetzigen Nutzung

Brandschutz:

- Nach welcher Richtlinie bemessen? _____
- War die IndBauR Grundlage? Ja Nein
- Brandmeldeanlage vorhanden? Ja Nein
- Rettungswege: Vorhanden und gekennzeichnet Zustand? Ja Nein
- Rauchabzug vorhanden? Ja Nein
- Löschgeräte vorhanden und gewartet? Ja Nein
- Selbsttätige Löschanlage flächendeckend Vorhanden? Ja Nein

Bewertungs-element	Zustand/Er-füllung	Ausprägung	EFP	Lager	Produk-tion
Brandschutz-technische Anpassungen	gut	Keine Anpassungen nötig	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	brauchbar	Geringe Anpassungen nötig, aufgrund möglicher Erhöhung der Brandlasten	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Schlecht	Umfangreiche Anpassungen, auch aufgrund von Anforderungen der Sachversicherer	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Mangelhaft	Komplette Neuinstallation, aller Brandschutzmaßnahmen	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften:

Denkmalschutz

Bewertungselement	Erfüllung	Ausprägung	EFP	L	P
Denkmalschutz	optimal	Kein Denkmalschutz	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	brauchbar	entfällt	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	Denkmalschutz auf Teile des Gebäudes	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Schwierig	Gebäude komplett unter Denkmalschutz	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Wenn ja, auf was? Wird noch geprüft, besteht Ungewissheit,

Bewertungselement	Erfüllung	Ausprägung	EFP	Lager	Produktion
Anpassungsverlangen an weitere öffentlich-rechtliche Vorschriften	Optimal	Keine Anpassungen nötig	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Brauchbar	Geringe Anpassungen an öffentlich-rechtliche Vorschriften	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Schlecht	Umfangreiche Anpassungen an öffentlich-rechtliche Vorschriften	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Schwierig	Sehr umfangreiche Anpassungen aus Forderungen der EnEV, BImSchG und ArbSchG	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Arbeitsschutzrechtliche Anpassung; Sanitäranlage; Aufenthaltsräume

3.2 Gebäudestruktur und -geometrie:

Lage auf dem Areal: _____

Randlage: Ja Nein

→ Möglichkeiten zum Verkauf prüfen

Lage	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1
<u>Nutzungsalternativen</u>				
Lagergebäude	In unmittelbarer Nähe zu weiteren Produktionsgebäude Gute verkehrliche Anbindung;	Inmitten des Werksgeländes; zur Verteilung gut; aber für LKW schwer erreichbar	Sehr enge Zufahrten; weit entfernt öffentlicher Verkehrsanbindung oder Produktionsgebäude	Keine Zufahrtsmöglichkeiten
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	Angrenzend an weitere Produktionsgebäude	In der Nähe der weiteren Produktion (<300m)	Weit weg vom Rest der Produktion. 300-800m	Sehr weit weg vom Rest der Produktion (>800m); ungünstig zwischen anderen Gebäuden
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Primärstruktur:

Lichte Höhe: in m: 14,50m

Lichte Raumhöhe	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1

Nutzungsalternativen

Lagergebäude	10-12,5m	>12,5, 8-10m; zu hoch schwierig für Sprinkler	<8m	<6m
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	7-8m	>8m	5-7m und <13m	<5m
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Gebäude zu hoch für Sprinkler, andere Lösung muss gefunden werden

Nutzfläche: Gebäudemaße: Länge: 180m Breite: 64,5m

Nutzbare Fläche: ca. 10.000m²

Zusammenhängende Fläche: auch 10.000m²

Nutzungsfläche	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1

Nutzungsalternativen

Lagergebäude	Hallentiefe 60-100m, ca. >=10.000m ²	Bis 8.000m ²	Bis 6.000m ²	Bis 2.000m ²
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	>=ca. 10.000m ²	Bis 8.000m ²	Bis 6.000m ²	Bis 2.000m ²
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Tragkonstruktion: Massivbauweise

Skelettbauweise

Tragkonstruktion	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1
Nutzungsalternativen				
Lagergebäude	Skelettbauweise; nachträgliche Änderungen möglich	Entfällt	Massivbauweise; Änderungen mit großen Aufwand verbunden	Entfällt
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	Skelettbauweise; nachträgliche Änderungen möglich	Entfällt	Massivbauweise; Änderungen mit großen Aufwand verbunden	Entfällt
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Stützenabstand/Stützenraster:

In m: _____

Stützenabstand	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1
Nutzungsalternativen				
Lagergebäude	24x24m	Bis 24x12m	Bis 12x12m	Bis 10x10m
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	<12x12m	Zwischen 12x12 und 10x10m	Zwischen 10x10m und 6x6m	>6x6m
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Aufnahme von Anhängelasten: In kN: _____

Aufnahme von Anhängelasten	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1
Nutzungsalternativen				
Lagergebäude	Hohe Anhängelasten möglich; wird aber nicht benötigt	Mittlere Anhängelasten möglich; wird aber nicht benötigt	Geringe Anhängelasten möglich; wird aber nicht benötigt	Keine Aufnahme von Anhängelasten möglich
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	Vorrichtungen für Anhängelasten vorhanden, können für die Nutzung benötigte Lasten aufnehmen.	entfällt	Keine bestehende Vorrichtungen vorhanden. Können mit vertretbarem Aufwand installiert werden.	Deckenkonstruktion/Gebäudekonstruktion lässt keine Anhängelasten zu
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Decke kann keine anhängelasten aufnehmen; möglicherweise kann auf der Kranbahn eine Vorrichtung installiert werden

Bautyp und Geschossigkeit: Geschossbau Anzahl der Geschosse: _____

Hallenbau Flachbau

Bautyp	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1
Nutzungsalternativen				
Lagergebäude	Große Hallenbauten; eingeschossig	Flachbauten; eingeschossig; abhängig von Lagerhöhe	Entfällt.	Geschossbauten
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	Flachbauten; eingeschossig.	Hallenbau; eingeschossig	Geschossbauten nur für Produktion von leichten kleinen Teilen	Geschossbauten mit hoher Anzahl von Geschossen
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Sekundärstruktur:

Nicht-tragende Innenw.	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1
Nutzungsalternativen				
Lagergebäude	Keine Innenwände vorhanden, die den Lagerbetrieb stören	Störende Innenwände vorhanden, die mit geringem Aufwand entfernt werden können	Viele massive störende Innenwände vorhanden; großer Aufwand	Entfällt
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	Keine Innenwände vorhanden, die eine Produktion stören	Störende Innenwände vorhanden, die mit geringem Aufwand entfernt werden können	Viele massive störende Innenwände vorhanden; großer Aufwand	Entfällt
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Boden:

Boden	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1
Nutzungsalternativen				
Lagergebäude	Beton; evtl mit Beschichtung	Kein Beton; aber ähnliche Eigenschaften	entfällt	Kein Betonboden
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	Beton; evtl mit Beschichtung	Kein Beton; aber ähnliche Eigenschaften	entfällt	Kein Betonboden
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Boden-tragfähigkeit	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1
Nutzungsalternativen				
Lagergebäude	$\geq 5 \text{ kN/m}^2$	4-5kN/m ²	$< 4 \text{ kN/m}^2$	$< 3 \text{ kN/m}^2$
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	$\geq 5 \text{ kN/m}^2$	4-5kN/m ²	$< 4 \text{ kN/m}^2$	$< 3 \text{ kN/m}^2$
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Aufgrund der früheren Nutzung als Schmiede kann davon ausgegangen werden, das die Tragfähigkeit ausreichend ist

Technische Gebäudeausrüstung/Versorgungstechnik/Sonstige Ausstattung

Industrielle Medienversorgung:

Medienversorgung /Versorgungsleitungen	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1
Nutzungsalternativen				
Lagergebäude	Keine die Lagerung störenden Leitungen	Störende Leitungen die einfach verlegt werden können	Störende Versorgungsleitungen; können nur mit großem Aufwand verlegt werden	Störende Versorgungsleitungen; können nur mit sehr großem Aufwand verlegt werden
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	Funktionierende flächendeckende Versorgungsleitung von Gas/Druckluft/Elektro/IT; in angemessener Höhe	Versorgungsleitungen können mit geringem Aufwand installiert werden	Versorgungsleitungen können mit mittleren bis großem Aufwand installiert werden	Versorgungsleitungen können nur mit sehr hohem Aufwand installiert werden
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Krananlagen:

Krananlagen	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1
Nutzungsalternativen				
Lagergebäude	Keine störenden Krananlagen oder Bahnen	Kranbahnen vorhanden, aber nicht störend	Krananlagen beeinflussen eine Lagerung; können einfach demontiert werden	Krananlagen stören die Lagerung deutlich; mit großem Aufwand zu demontieren
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	Kleinere Säulenschwenkkran; Funktionsfähig	Kein Kran vorhanden; kann einfach nachgerüstet werden oder	Große störende Krananlagen; können einfach demontiert werden	Große störende Krananlagen; können einfach demontiert werden
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Rolltore und Verladerampen:

Rolltore /Verladerampen	Optimal	Gut	Schlecht	Ungeeignet
	4	3	2	1
Nutzungsalternativen				
Lagergebäude	Ladetore: 1Stk./800m ² Halle und Ebenerdige Tore 1Stk./10.000m ²	Ladetore: 1Stk./1600m ² Halle und Ebenerdige Tore 1Stk./10.000m ²	Ladetore: 1Stk./3200m ² Halle und Ebenerdige Tore 1Stk./10.000m ²	Keine Verladerampen vorhanden; großer Aufwand zur Nachrüstung
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktionsgebäude	Ladetore: 1Stk./1600m ² Halle und Ebenerdige Tore >=2Stk./10.000m ²	Ladetore: 1Stk./3200m ² Halle und Ebenerdige Tore 2Stk./10.000m ²	Ladetore: 1Stk./3200m ² Halle und Ebenerdige Tore 1Stk./10.000m ²	Sehr wenige ebenerdige Tore; schwer nachzurüsten
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Besonderheiten/Bemerkungen/Notizen:

Viele Tore vorhanden jedoch nicht alle funktionsfähig.

A.24. Referenzwerte für die Nutzungsalternativen Lager / Produktion

Die nachfolgenden Listen zeigen die aus der Literatur und Experteninterview ermittelten Referenzwerte für die Nutzungsalternativen Lager und Produktion.

Referenzgebäude Lager zum Vergleich mit dem untersuchten Gebäude	
Kriterien	Optimale Erfüllung
Gebäudestruktur und -geometrie	
Lage	In unmittelbarer Nähe zur Produktion
Primärstruktur	
Lichte Raumhöhe	10-12,5m unterkante Binder mind. 12/12,5m max. Lagerguthöhe laut MIndBauR 9m
Nutzfläche	Hallentiefe 60-100m, 10.000m ²
Tragkonstruktion	Skelettbau, erleichtert nachträglichen Einbau von Toren
Stützenabstand/Raster	15m x 25m – 25m x 25m, zweiteres optimal
Deckenlast/Anhängelast	Geringe Anhängelasten benötigt, nur für Sprinkler
Bautyp/Geschossigkeit	Eingeschossige Halle
Sekundärstruktur	
Nicht-tragende Innenwände	Keine Innenwände
Bodenbelag	Betonboden
Bodentragfähigkeit	Mind. 50kN/m ²
TGA, Medienversorgung, Erschließung	
Ver- und Entsorgungssysteme	
Medienversorgung Gas	Für Heizung, für Betriebsablauf nicht notwendig
Medienversorgung Druckluft	Nicht notwendig
Kühlwasser, Schmierstoffe	Nicht notwendig
Sprinkleranlage	Deckensprinkler oder Regalsprinkler
Wärmeanlagen	Gasheizung
RLT-Anlagen	Keine besonderen Anforderungen
Elektroversorgung	Keine besonderen Anforderungen
Versorgungsleitung	Keine störenden Versorgungsstrassen
Beleuchtung	
Sonstige Ausstattung	
Krananlage	Nicht notwendig
Laderampen inkl. Rolltore	Min. 1 pro 800m ² Hallengröße

Referenzgebäude Produktion zum Vergleich mit dem untersuchten Gebäude	
Kriterien	Optimale Erfüllung
Gebäudestruktur und -geometrie	
Lage	Optimal ist die direkte Angrenzung an die weitere Produktion
Primärstruktur	
Lichte Raumhöhe	7-8m
Nutzfläche	Hallentiefe 60-100m, 10.000m ²
Tragkonstruktion	Skelettbau, erleichtert nachträglichen Einbau von Toren
Stützenabstand/Raster	10m
Deckenlast/Anhängelast	Anhängelasten benötigt, sowie Vorrichtungen für flächendeckende Strom, Kühlwasser, Gas oder Druckluftversorgung
Bautyp/Geschossigkeit	Eingeschossiger Flachbau
Sekundärstruktur	
Nicht-tragende Innenwände	Keine Innenwände
Bodenbelag	Betonboden
Bodentragfähigkeit	Mind. 50kN/m ²
TGA, Medienversorgung, Erschließung	
Ver- und Entsorgungssysteme	
Medienversorgung Gas	Für Betriebsablauf notwendig [Annahme]
Medienversorgung Druckluft	Für Betriebsablauf notwendig [Annahme]
Wärmeanlagen	Gasheizung
RLT-Anlagen	Keine spezifischen Anforderungen
Elektroversorgung	Keine spezifischen Anforderungen
Versorgungsleitung	Versorgungstrassen unterhalb der Decke
Beleuchtung	
Sonstige Ausstattung	
Krananlagen	Kleinerer Kran eventuell notwendig
Rolltore inkl. Torluftschleier	Laderampe, Min. 1 pro 1.600m ² Hallengröße
Sprinkleranlage	Deckensprinkler

A.25. Bewertungssystem / Bewertungsmatrix

Bewertungssystem										Untersuchtes Gebäude: M60										
Gebäudezustand																				
Baulicher Zustand												60%								
										EFF	Gewichtung	Angepasste Gewichtung	EFF Baulicher Zustand							
Gebäudehülle																				
Fassade										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF	20%		
Zustand Fassade	60%	4	40%	3	0%	2	0%	1	3,60	50%	10,0%	0,36								
Fenster										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF			
Wärmedämmung	0%	4	50%	3	50%	2	0%	1	2,50	30%	6,0%	0,15								
Dach										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF	25%		
Zustand Dach	0%	4	40%	3	50%	2	10%	1	2,30	70%	17,5%	0,40								
Wärmedämmung										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF			
									1	30%	7,5%	0,08								
Tragwerk																				
Tragwerk										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF	30%		
Zustand Tragwerk	100%	4	0%	3	0%	2	0%	1	4,00	100%	30,0%	1,20								
Innenbereich																				
										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF	20%		
Boden	95%	4	5%	3	0%	2	0%	1	3,95	60%	12%	0,47								
Innenwände										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF			
	90%	4	10%	3	0%	2	0%	1	3,90	15%	3%	0,12								
Einbauten										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF			
	80%	4	20%	3	0%	2	0%	1	3,80	10%	2%	0,08								
Decken										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF			
	0%	4	0%	3	0%	2	0%	1	0,00	0%	0%	-								
Aufenthaltsraum										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF			
									1	15%	3%	0,03								
Schadstoffbelastung																				
Schadstoffe										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF			
									3	100%	5%	0,15								
												100%								
											Baulicher Zustand		3,15							
Zustand TGA												40%								
												EFF TGA								
RLT-Anlagen										3	15%	0,45								
Wärmeanlagen										3	17%	0,51								
Elektrotechnik										3	17%	0,51								
Wasserversorgung										4	15%	0,60								
Sprinkleranlage										2	15%	0,30								
Sanitäreanlagen										2	8%	0,16								
Beleuchtung										4	8%	0,32								
Sonstige Ausstattung																				
Krananlage										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF			
	0%	4	0%	3	100%	2	0%	1	2,00	3%	0,06									
Rolltore										% Kat. 1	EFF	% Kat. 2	EFF	% Kat. 3	EFF	% Kat. 4	EFF			
	0%	4	50%	3	50%	2	0%	1	2,50	3%	0,08									
												10%								
											Zustand TGA		2,99							
Erfüllungsgrad										77,2%		Gesamtgebäudezustand		3,09						

Bewertungssystem								
Bewertung der Nutzungsalternativen								
Rechtliche Rahmenbedingungen								30%
	EFP Lage	EFP Produktion	Gewichtung	Angep. Gewichtung	Gew. Lager	Gew. Produktion	Lager	Produktion
Bauplanungsrecht			35%					
Zulässigkeit der Nutzung	4	4	100%	35%			1,40	1,40
Bauordnungsrecht			33%					
Nutzungsänderung	2	2	40%	13%			0,26	0,26
Brandschutztechnische Anpassungen	3	3	60%	20%			0,59	0,59
Sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften			32%					
Denkmalschutz	4	4	50%	16%			0,64	0,64
Weitere Anpassungsverlangen	2	2	50%	16%			0,32	0,32
				100%			3,22	3,22
Gebäudestruktur und -geometrie								40%
Lage	4	3			7,06%	13,79%	0,28	0,41
Primärstruktur								
Lichte Raumhöhe	3	2			16,47%	10,34%	0,49	0,21
Nutzungsfläche	4	4			12,94%	12,64%	0,52	0,51
Tragkonstruktion	4	4			7,06%	2,30%	0,28	0,09
Stützenabstand	3	4			15,29%	13,79%	0,46	0,55
Anhängelaste	1	2			1,18%	11,49%	0,01	0,23
Bautyp und Geschossigkeit	4	3			9,41%	6,90%	0,38	0,21
Sekundär								
Nicht-tragende Innenwände	4	4			2,35%	6,90%	0,28	0,28
Bodenbelag	4	4			15,29%	10,34%	0,41	0,41
Bodentragfähigkeit	4	4			12,94%	11,49%	0,46	0,46
					100,00%	100,00%	3,57	3,36
TGÄ/Sonstige Ausstattung								30%
Industrielle Medienversorgung								
Gas	4	2			5%	35%	0,20	0,70
Druckluft	4	2			5%	35%	0,20	0,70
Sonstige Ausstattung								
Krananlagen	3	3			10%	10%	0,30	0,30
Rolltore/Verladerampen	3	4			80%	20%	2,40	0,80
					100%	100%	3,10	2,50
Nutzung als Lagergebäude	83%						3,32	
								3,06
							Lager	Produktion