

Rebekka Volk, Richard Müller, Frank Schultmann,
Jérémy Rimbon, Thomas Lützkendorf,
Joachim Reinhardt, Florian Knappe

STOFFFLUSS- UND AKTEURSMODELL
ALS GRUNDLAGE FÜR EIN AKTIVES
RESSOURCENMANAGEMENT IM BAUWESEN
VON BADEN-WÜRTTEMBERG „STAR-BAU“

SCHLUSSBERICHT DES FORSCHUNGSVORHABENS



Rebekka Volk, Richard Müller, Frank Schultmann,
Jérémy Rimbon, Thomas Lützkendorf,
Joachim Reinhardt, Florian Knappe

**Stofffluss- und Akteursmodell als Grundlage für
ein aktives Ressourcenmanagement im Bauwesen
von Baden-Württemberg „StAR-Bau“**

Schlussbericht des Forschungsvorhabens

PRODUKTION UND ENERGIE

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

Band 32

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

Stofffluss- und Akteursmodell als Grundlage für ein aktives Ressourcenmanagement im Bauwesen von Baden-Württemberg „StAR-Bau“

Schlussbericht des Forschungsvorhabens

von

Rebekka Volk, Richard Müller, Frank Schultmann,
Jérémy Rimbon, Thomas Lützkendorf,
Joachim Reinhardt, Florian Knappe

Impressum



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

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

www.ksp.kit.edu



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



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

Print on Demand 2019 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISSN 2194-2404

ISBN 978-3-7315-0858-8

DOI 10.5445/KSP/1000086644

**Schlussbericht des Forschungsvorhabens
Stofffluss- und Akteursmodell als Grundlage für ein
aktives Ressourcenmanagement im Bauwesen von
Baden-Württemberg („StAR-Bau“)**

Gefördert durch die Baden-Württemberg Stiftung

Förderkennzeichen: NaBau-6

Stand: 14. August 2018

Zuwendungsempfänger / Autoren:	
Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) Dr.-Ing. Rebekka Volk, (Projektleitung) M. Sc. Richard Müller, Prof. Dr. Frank Schultmann, Dr.-Ing. Jérémy Rimbon	 Karlsruher Institut für Technologie  iip
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Lehrstuhl Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus (ÖÖW) Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Lützkendorf	 Karlsruher Institut für Technologie
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Joachim Reinhardt, Florian Knappe	 ifeu INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG

Projektlaufzeit: 01.04.2015 – 31.03.2018

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	xix
1 Kurzdarstellung des Projektrahmens	1
1.1 Motivation und Projektziele	1
1.2 Voraussetzungen des Forschungsvorhabens	7
1.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand	8
1.3.1 Ausgangssituation	8
1.3.2 Datengrundlage und Forschungsansätze für Gebäudebestandsinformationen und im regionalen Gebäudebestand	12
1.3.3 Forschungslücke	17
1.4 Planung und Ablauf des Vorhabens	18
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	19
2 Recherche von regionaltypischen Materialien und Baukonstruktionen in Baden-Württemberg (AP1)	21
2.1 Baustoffkategorien	22
2.2 Gebäudetypen	24
2.3 Baualtersklassen	24
2.4 Referenzgebäude	25
2.5 Synthetische Gebäude vom Institut für ökologische Raumentwicklung	27
2.6 Ermittlung der spezifischen Baustoffmassen je Gebäudetyp und Altersklasse	29
2.6.1 Ermittlung der spezifischen Baustoffmassen durch die Statistik zur Bautätigkeit für Baden-Württemberg	29
2.6.2 Ermittlung der spezifischen Baustoffmassen mit den synthetischen Gebäuden des Instituts für ökologische Raumentwicklung	34

2.6.3	Ermittlung der Mengen an Baustoffen in früheren Altersklassen bis 1978.....	40
3	Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands von Baden-Württemberg (AP2)	43
3.1	Ziel des Arbeitspakets.....	43
3.2	Stand der Forschung / Technik	43
3.3	Vorgehen und Methodik	45
3.3.1	Bestand der Wohngebäude	45
3.3.2	Bestand Nichtwohngebäude	49
3.3.3	Inputs und Outputs Wohngebäude und Prognose	58
3.3.4	Szenarienberechnung für Inputs und Outputs in/aus Wohngebäuden.....	69
3.3.5	Inputs und Outputs Nichtwohngebäude und Prognose ..	74
3.3.6	Szenarienberechnung für Inputs und Outputs in/aus Nichtwohngebäuden.....	79
3.3.7	Bestimmung der Materialströme	83
3.3.8	Bestand sowie Materialflüsse aus/in die Straßen- und Wegeinfrastruktur und Prognose.....	83
3.4	Ergebnisse und Diskussion.....	84
3.4.1	Bestandsgebäude in den Kreisen Baden-Württembergs [BRI].....	85
3.4.2	Input und Output als BRI [m ³]	92
3.4.3	Bestandsgebäude und Straßeninfrastruktur in den Kreisen Baden-Württembergs in Materialien [kg].....	118
3.4.4	Materialflüsse als Massenströme [kg].....	121
3.5	Zusammenfassung.....	139
4	Akteursmodell für nachhaltiges Bauen im Bestand in Baden-Württemberg (AP3)	147
4.1	Einleitung	147
4.1.1	Ziel des Arbeitspakets	147
4.1.2	Vorgehensweise zur Modellentwicklung.....	148
4.2	Stand der Wissenschaft – Stakeholder-Theorie	150

4.2.1	Stakeholder	151
4.2.2	Ziele der Stakeholder-Analyse.....	152
4.2.3	Stakeholder-Modelle.....	152
4.2.4	Zusammenfassung Stakeholder-Theorie	158
4.3	Literaturanalyse zu Akteuren und politischen Rahmenbedingungen im Bauwesen	161
4.3.1	Lebenszyklus eines Bauwerkes.....	162
4.3.2	Ausgewählte übergeordnete rechtliche Rahmenbedingungen	164
4.3.3	Staat und Organe der Öffentlichen Hand	169
4.3.4	Bauherren/ Eigentümer	172
4.3.5	Planer (Sonderfachleute, Architekten, Fachingenieure) ..	175
4.3.6	Bauausführende Betriebe/ Bauunternehmen	177
4.3.7	Bauproduktherstellende Industrie	179
4.3.8	Abbruch- und Recyclingunternehmen.....	180
4.3.9	Deponien und Verfüllbetriebe.....	187
4.3.10	Bildungs- und Forschungseinrichtungen	190
4.3.11	Finanzdienstleister und Investoren	191
4.3.12	Zusammenfassung der Akteure im Akteursnetzwerk	192
4.4	Abgeleitete Maßnahmen zur Ressourcenschonung im Bauwesen	197
4.5	Akteursbasiertes Maßnahmenbewertungsmodell (SAM) zur Analyse ressourcenschonender Maßnahmen	201
4.5.1	Konzept des SAM-Modells	201
4.5.2	Berechnungslogik des SAM-Modells	202
4.5.3	Ergebnisse des SAM-Modells	206
4.5.4	Detaillierung der wichtigsten Maßnahmen	212
4.5.5	Akteursbasierte Effektivität der wichtigsten Maßnahmen	212
4.5.6	Kritische Würdigung.....	215
5	Integration der Stoffstrom- und Akteursmodellierung zum StAR-Modell (AP4).....	219
5.1	Vorgehensweise zur Entwicklung des StAR-Modells.....	219

5.1.1	Konzept des Gesamtmodells	220
5.1.2	Wirkungsverläufe von Maßnahmen	223
5.1.3	Maßnahmeninterdependenzen	227
5.1.4	Auswirkung von Maßnahmen auf Stoffströme.....	228
5.1.5	Funktionsweise des Tools	229
5.2	Berechnungslogik des StAR-Modells.....	229
5.2.1	Grundlegende Definitionen.....	229
5.2.2	Transformation	232
5.2.3	Summe der Stoffströme und Ressourcenschonungspotenzial	239
5.3	Ergebnisse des StAR-Modells.....	241
5.3.1	Standardszenario Baden-Württemberg	242
5.3.2	Szenario Maximale Stoffströme Baden-Württemberg ..	246
5.3.3	Szenario Minimale Stoffströme Baden-Württemberg ...	249
5.3.4	Vergleich der Szenarien	251
5.3.5	Szenarioberechnung auf Kreisebene und deren Analyse	253
5.4	Kritische Würdigung	255
6	Handlungsempfehlungen (AP5)	257
6.1	Handlungsempfehlungen auf Basis des StAR-Modells (AP 4)....	257
6.1.1	Optimierung der finanziellen Rahmenbedingungen für die Recyclingwirtschaft.....	259
6.1.2	Anpassung von Lehrinhalten / Anbieten von Weiterbildungsmaßnahmen	264
6.2	Handlungsempfehlungen auf Basis des Stoffstrommodells (AP2)	266
6.2.1	Materialströme	267
6.2.2	RC-Gesteinskörnung für den Einsatz im R-Beton.....	271
6.3	Handlungsempfehlungen auf Basis der Literaturanalyse und des SAM-Modells	274
7	Projektmanagement (AP6)	283
8	Erfolge und geplante Veröffentlichungen	285

9 Zusammenfassung und Ausblick	287
9.1 Zusammenfassung der Projektergebnisse	287
9.2 Kritische Würdigung	288
9.3 Ausblick und zukünftige Forschung	291
Acknowledgements	295
Literaturverzeichnis	297
Anhang	329
A Anhang zu AP 2	329
B Umfrage 1 in AP3	358
C Umfrage 2 in AP3	362
D Ergebnisse der Umfragen 1 und 2 (aggregiert)	365

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Schematische Darstellung des Projektinhaltes.....	5
Abbildung 1-2:	Abbildung der Arbeitspakete, Verantwortlichkeiten und Beteiligung.....	6
Abbildung 1-3:	Geschätzte räumliche Verortung des kumulierten Gesamtbaustofflagers nach Raumtypen (RT) auf Kreisebene (links) und räumliche Verteilung des Verhältnisses aus Zu- und Abgang der Baustoffe Beton und Ziegel in 2020 (rechts).....	10
Abbildung 1-4:	Anfall mineralischer Bauabfälle in 2014 in Deutschland und die Produktion von Recycling-Baustoffen im gleichen Jahr (Kreislaufwirtschaft Bau (2017)).....	14
Abbildung 1-5:	Anfall und Verbleib der Fraktion Bauschutt (links) und Baustellenabfälle (rechts) in 2014 (Kreislaufwirtschaft Bau (2017)).....	15
Abbildung 1-6:	Deckung des Bedarfs an Gesteinskörnungen in 2014 und Verwertungspfade der Recycling-Baustoffe in 2014 (Kreislaufwirtschaft Bau (2017)).....	16
Abbildung 1-7:	Projekt-Arbeitsplan und Meilensteine des Projektes StAR-Bau.....	19
Abbildung 2-1:	Bsp. NWG-Anstaltsgebäude – Regression mit Potenz- und Logarithmusfunktion am Bsp. für Beton, Mauerwerk, Leichtbaustoffe und Eisenmetalle.....	41
Abbildung 2-2:	Bsp. WG-Einfamilienhäuser – Regression mit Potenz- und Exponentialfunktion am Bsp. für Beton, Mauerwerk, Leichtbaustoffe und Eisenmetalle.....	41
Abbildung 3-1:	Schematische Darstellung der Berechnung des Wohngebäude-Bestands.....	48

Abbildung 3-2:	Vorgehen zur Ermittlung des Nichtwohngebäudebestands in den Kreisen Baden-Württembergs	56
Abbildung 3-3:	Bestand Wohngebäudetypen als Bruttorauminhalt (BRI) in den Kreisen	85
Abbildung 3-4:	Bestand Wohngebäudetypen als Bruttorauminhalt (BRI), normiert auf Einwohnerzahl und sortiert nach absteigender Bevölkerungsdichte der Kreise	86
Abbildung 3-5:	Bestand Nichtwohngebäudetypen in Bruttorauminhalt (BRI) in den Kreisen; landwirtschaftliche Betriebsgebäude im Landkreis Freudenstadt sind deutlich unterschätzt.....	87
Abbildung 3-6:	Bestand Nichtwohngebäudetypen als Bruttorauminhalt (BRI), normiert auf sozialversicherungspflichtig Beschäftigte der Kreise; landwirtschaftliche Betriebsgebäude im Landkreis Freudenstadt sind deutlich unterschätzt.....	88
Abbildung 3-7:	Relativer Anteil des Nichtwohngebäudetypen-Bruttorauminhalt (BRI) am Nichtwohngebäudebestand-BRI der jeweiligen Kreise, sortiert nach absteigender Bevölkerungsdichte der Kreise; landwirtschaftliche Betriebsgebäude im Landkreis Freudenstadt sind deutlich unterschätzt	89
Abbildung 3-8:	Anteil Wohn- und Nichtwohngebäude am Gebäudebestand in den Kreisen Baden-Württembergs	90
Abbildung 3-9:	Input und -Output sowie Bilanz für Wohngebäude in Bruttorauminhalt (BRI) [m ³] kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 in den Kreisen von Baden-Württemberg; EFH = Einfamilienhaus; ZFH = Zweifamilienhaus; MFH = Mehrfamilienhaus.....	93

Abbildung 3-10: Input und -Output sowie -Bilanz für Wohngebäude in Bruttorauminhalt (BRI) [m³] kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, normiert auf den Bestand in den Kreisen; EFH = Einfamilienhaus; ZFH = Zweifamilienhaus; MFH = Mehrfamilienhaus..... 94

Abbildung 3-11: Input und Output sowie Bilanz für Nichtwohngebäude in Bruttorauminhalt (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 in den Kreisen; landwirtschaftliche Betriebsgebäude im Landkreis Freudenstadt sind deutlich unterschätzt 95

Abbildung 3-12: Input und Output sowie Bilanz für Nichtwohngebäude in Bruttorauminhalt (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, normiert auf den Bestand in den Kreisen; landwirtschaftliche Betriebsgebäude im Landkreis Freudenstadt sind deutlich unterschätzt..... 96

Abbildung 3-13: Input und Output sowie Bilanz für Gebäude in Bruttorauminhalt (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 in den Kreisen 98

Abbildung 3-14: Input und Output sowie Bilanz für Gebäude in Bruttorauminhalt (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, normiert auf den Bestand in den Kreisen..... 99

Abbildung 3-15: Verhältnis Output zu Input in BRI für alle Gebäude kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 100

Abbildung 3-16: Zeitlicher Verlauf von Input, Output und Bilanz in BRI normiert auf den Bestand in BRI für ausgewählte Kreise und Baden-Württemberg in Summe..... 101

Abbildung 3-17: Bestand der jeweils in Wohn- und Nichtwohngebäuden verbauten Materialien in den Kreisen Baden-Württembergs, sortiert nach Gesamtmasse in Summe aus Wohn- und Nichtwohngebäuden..... 120

Abbildung 3-18: Bestand der in der Straßeninfrastruktur verbauten Materialien in den Kreisen Baden-Württembergs, sortiert nach der Bestandsmasse in den Gebäuden....	121
Abbildung 3-19: Materialgruppeninput und –output sowie –bilanz für Gebäude in [kg] für alle Kreise in Baden-Württemberg, kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030	124
Abbildung 3-20: Materialgruppeninput und –output sowie –bilanz für Wohn- und Nichtwohngebäude in [kg] für alle Kreise in Baden-Württemberg, kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, normiert auf Bestand....	125
Abbildung 3-21: Verhältnis von Output zu Input aller Materialien aus und in Gebäude, jeweils kumuliert über die Zeitspanne von 2016 bis 2030 sowie jeweils nur im Jahr 2016 und 2030	127
Abbildung 3-22: Materialinput und –output sowie –bilanz für die Straßeninfrastruktur in [kg] kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 für die Kreise Baden-Württembergs, sortiert nach absteigendem Materialinput in Gebäude	129
Abbildung 3-23: Materialinput und –output sowie –bilanz für die Straßeninfrastruktur in [kg] kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 für die Kreise Baden-Württembergs, normiert auf den Bestand, sortiert nach absteigendem auf den Bestand normierten Materialinput in Gebäude	130
Abbildung 3-24: Materialinput und –output separat für die Bereiche Wohngebäude, Nichtwohngebäude und Straßeninfrastruktur in ausgewählte Kreisen Baden-Württembergs, kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030	132

Abbildung 3-25: Materialinput und -output sowie -bilanz in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in kg kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, absteigend sortiert nach Materialinput in Gebäude (vgl. auch vergrößerte Abbildung A-20 im Anhang)	133
Abbildung 3-26: Szenarien mit Standard-Werten sowie maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in ganz Baden-Württemberg; mittlere Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung.....	137
Abbildung 3-27: Szenarien mit Standard-Werten sowie maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich im Kreis Breisgau-Hochschwarzwald; mittlere Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung.....	137
Abbildung 3-28: Szenarien mit Standard-Werten sowie maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich im Kreis Heidenheim; mittlere Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung.....	138
Abbildung 4-1: Vorgehen zur Modellierung der Akteure im Bauwesen	150
Abbildung 4-2: Matrix für das Gefahren-/ Kooperationspotenzial,	153
Abbildung 4-3: Lebenszyklus von Bauwerken	162
Abbildung 4-4: Elemente der Wertschöpfungskette	163
Abbildung 4-5: Akteursnetzwerk.....	192

Abbildung 4-6:	Literaturübersicht der Maßnahmengruppen	201
Abbildung 4-7:	Entwicklung des Akteursbasierten Maßnahmenbewertungsmodells (SAM)	202
Abbildung 4-8:	Faktoren der Balanced Scorecard zur Beschreibung der Akteure	203
Abbildung 4-9:	Einflussstärke und Handlungsbereitschaft der Akteure in Abhängigkeit einer Maßnahmengruppe	209
Abbildung 4-10:	Auswertung der Handlungsbereitschaft und des Einflusses der Akteure auf den Ressourcenschutz, bewertet durch Selbst- und Fremdeinschätzung von 46 Akteuren	209
Abbildung 4-11:	Auswertung des Effekts der Maßnahmen auf den Ressourcenschutz, bewertet auf Basis von Umfrage 1.....	210
Abbildung 4-12:	Auswertung der Effektivität der Maßnahmengruppen und Berücksichtigung der Akteure, bewertet auf Basis von Umfrage 1	212
Abbildung 5-1:	Tätigkeiten der Kapitel bzw. Arbeitspakete 3 und 4....	220
Abbildung 5-2:	Gesamtmodell - Sieben Haupteinflussfaktoren	222
Abbildung 5-3:	Aufteilung Zeiträume.....	224
Abbildung 5-4:	Generische Wirkungsverläufe der Maßnahmentypen	226
Abbildung 5-5:	Wechselwirkungen von Maßnahmen	228
Abbildung 5-6:	Funktionsweise StAR-Modell	229
Abbildung 5-7:	Kumuliertes RESPOT [%] der 31 wichtigsten Maßnahmen zwischen 2018-2030 im Standardszenario in Baden-Württemberg.....	243
Abbildung 5-8:	Vergleich RESPOT (2019-2030) der Maßnahmenrubriken, Standardszenario	243

Abbildung 5-9:	Basisprognose der Stoffstrombilanzen 2018-2030 im Standardszenario und mögliche Veränderung der Stoffströme bei Durchführung der Top 3-Maßnahmen mit höchstem RESPOT von 2019-2030 durch V(1) = Maßnahmenbündel der Maßnahmen 1, 11 und 31.....	245
Abbildung 5-10:	Kumulierte Materialströme 2018-2030 im Standardszenario bei Durchführung der Top 3-Maßnahmen von 2019-2030 (inkl. Einsparungen) und dadurch erzielte Ressourceneinsparung in [%]	246
Abbildung 5-11:	Kumuliertes RESPOT [%] der 31 wichtigsten Maßnahmen zwischen 2018-2030 im Max-Szenario in Baden-Württemberg.....	247
Abbildung 5-12:	Basisprognose der Stoffstrombilanzen 2018-2030 im Max-Szenario in Baden-Württemberg und mögliche Veränderung der Stoffströme durch Durchführung der Top3 Maßnahmen mit höchstem RESPOT von 2019-2030.....	247
Abbildung 5-13:	Kumulierte Materialströme 2018-2030 im Max-Szenario bei Durchführung der Top 3-Maßnahmen in Baden-Württemberg von 2019-2030 und dadurch erzielte Ressourceneinsparung in [%]	248
Abbildung 5-14:	Kumuliertes RESPOT [%] der 31 wichtigsten Maßnahmen zwischen 2018-2030 im Min-Szenario in Baden-Württemberg.....	249
Abbildung 5-15:	Basisprognose der Stoffstrombilanzen 2018-2030 im Min-Szenario und mögliche Veränderung der Stoffströme durch Durchführung der Top 3-Maßnahmen mit höchstem RESPOT von 2019-2030 in Baden-Württemberg.....	250

Abbildung 5-16: Kumulierte Materialströme 2018-2030 im Min-Szenario bei Durchführung der Top3 Maßnahmen von 2019-2039 und dadurch erzielte Ressourceneinsparung, Basisjahr 2015	251
Abbildung 5-17: Vergleich der Typkreise bzgl. der Basisprognosen der Stoffstrombilanzen von 2018-2030 und dem RESPOT der Top3-Maßnahmen bei einer Durchführung von 2019-2030	254
Abbildung 6-1: RESPOT der wichtigsten 31 Maßnahmen.....	258
Abbildung 6-2: Im Mittel im Zeitraum von 2016 bis 2030 im Gebäudebereich anfallender jährlicher Output an Gesteinskörnung, die für den R-Beton eingesetzt werden kann, ins Verhältnis gesetzt zur RC-Gesteinskörnung, die im verbauten R-Betoninput benötigt wird; gleichverteilte Intervallgrößen	273
Abbildung 6-3: Im Mittel im Zeitraum von 2016 bis 2030 jährliche Bilanz von Gesteinskörnung im Gebäudebereich zur Verarbeitung im R-Beton für die Kreise Baden-Württembergs; gleichverteilte Intervallgrößen	275
Abbildung A-1: Anteil Ein- und Zweifamilienhäuser (EFH und ZFH) am Wohngebäudebestand in BRI in den Landkreisen in Abhängigkeit von deren Bevölkerungsdichte ...	330
Abbildung A-2: Bestand Nichtwohngebäude in BRI, normiert auf Einwohner, sortiert nach absteigender Bevölkerungsdichte der Landkreise.....	330
Abbildung A-3: Bestand des Nichtwohngebäudetyps Hotels und Gaststätten in Bruttorauminhalt (BRI)	331
Abbildung A-4: Wohn- und Nichtwohngebäudebestand der Kreise, normiert auf Einwohner, sortiert nach absteigender Bevölkerungsdichte der Kreise	332
Abbildung A-5: Gebäudetypen im Gebäudebestand in Bruttorauminhalt (BRI) für ausgewählte Kreise	333

Abbildung A-6: Stoffstrominput- und –output sowie –bilanz für Wohngebäude in Bruttorauminhalt (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, normiert auf den Bestand der Kreise, sortiert nach aufsteigendem Anteil von Ein- und Zweifamilienhäusern im Input in den Kreisen.....	334
Abbildung A-7: Anteil verschiedener Gebäudetypen im Input in Nichtwohngebäude in Bruttorauminhalt (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, sortiert nach Bevölkerungsdichte der Kreise; landwirtschaftliche Betriebsgebäude im Landkreis Freudenstadt sind deutlich unterschätzt	335
Abbildung A-8: Anteil Wohngebäude am gesamten In- und Output aus den Gebäuden als Bruttorauminhalt (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030	336
Abbildung A-9: Verhältnis Stoffstromout- zu –input für Wohngebäude in BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030	337
Abbildung A-10: Verhältnis Stoffstromout- zu –input für Wohngebäude in BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030	338
Abbildung A-11: Bestand der in Wohngebäuden verbauten Materialien in den Kreisen Baden-Württembergs.....	342
Abbildung A-12: Bestand der in Nichtwohngebäuden verbauten Materialien in den Kreisen Baden-Württembergs.....	343
Abbildung A-13: Bestand der in der Straßeninfrastruktur verbauten Materialien in den Kreisen Baden-Württembergs.....	344
Abbildung A-14: Materialinput und –output sowie –bilanz für Wohngebäude in kg kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, sortiert nach Inputmenge in Gebäude	345

Abbildung A-15: Materialinput und –output sowie –bilanz für Nichtwohngebäude in kg kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, sortiert nach Inputmenge in Gebäude	346
Abbildung A-16: Anteil der Wohngebäude am gesamten Materialinput und –output in kg aus den Gebäuden kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030.....	347
Abbildung A-17: Materialinput und –output sowie –bilanz für Gebäude in kg kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030	348
Abbildung A-18: Verhältnis von Output zu Input der Materialien Beton, Mauerwerk und Dachziegel in Summe aus und in Gebäude, jeweils kumuliert über die Zeitspanne von 2016 bis 2030 sowie jeweils nur im Jahr 2016 und 2030.....	349
Abbildung A-19: Verhältnis von Output zu Input des Materials Gips aus und in Gebäude, jeweils kumuliert über die Zeitspanne von 2016 bis 2030 sowie jeweils nur im Jahr 2016 und 2030	350
Abbildung A-20: Materialinput und -output sowie -bilanz in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in kg kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, absteigend sortiert nach Materialinput in Gebäude ...	351
Abbildung A-21: Materialinput und –output sowie –bilanz in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in kg im Jahr 2016.....	352
Abbildung A-22: Materialinput und –output sowie –bilanz in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in kg im Jahr 2030, absteigend sortiert nach Materialinput in Gebäude kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030.....	353

- Abbildung A-23: Szenarien mit Standard-Werten, maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in ganz Baden-Württemberg; minimale Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung 354
- Abbildung A-24: Szenarien mit Standard-Werten, maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich im Kreis Breisgau-Hochschwarzwald; minimale Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung..... 354
- Abbildung A-25: Szenarien mit Standard-Werten, maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich im Kreis Heidenheim; minimale Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung 355
- Abbildung A-26: Szenarien mit Standard-Werten, maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in ganz Baden-Württemberg; maximale Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung..... 355
- Abbildung A-27: Szenarien mit Standard-Werten, maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich im Kreis Breisgau-Hochschwarzwald; maximale Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung..... 356

Abbildung A-28: Szenarien mit Standard-Werten, maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich im Kreis Heidenheim; maximale Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung	356
Abbildung D-1: Interaktionsmatrix	365

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Betrachtete Baustoffkategorien in Anlehnung an die Stoffidentifikation des BMBF-Projektes ResourceApp (Rentsch et al. 2016; Volk, 2017) und Detaillierung der Baustoffkategorien basierend auf einer Zuordnung der Materialien aus den Daten der recherchierten Referenzgebäude.....	23
Tabelle 2-2:	Gebäudetypologie bis 2001 nach der Statistik zu Bautätigkeit. EFH: Einfamilienhaus. ZFH: Zweifamilienhaus. MFH: Mehrfamilienhaus. EFH, ZFH und MFH entsprechen der Bezeichnung der Statistik zu Bautätigkeit: Gebäude mit 1 Wohnung, 2 Wohnungen respektive 3 Wohnungen und mehr	24
Tabelle 2-3:	Gebäudetypologie ab 2002 nach der Statistik zu Bautätigkeit. EFH: Einfamilienhaus. ZFH: Zweifamilienhaus. MFH: Mehrfamilienhaus. EFH, ZFH und MFH entsprechen der Bezeichnung der Statistik zu Bautätigkeit: Gebäude mit 1 Wohnung, 2 Wohnungen respektive 3 Wohnungen und mehr.	24
Tabelle 2-4:	Berücksichtigte Baualtersklassen basierend auf der Einteilung des Mikrozensus	25
Tabelle 2-5:	Überblick über die synthetischen Wohngebäude des Institutes für ökologische Raumentwicklung (IÖR 2018)	28
Tabelle 2-6:	Überblick über die synthetischen Nichtwohngebäude des Institutes für ökologische Raumentwicklung (IÖR 2018).....	29
Tabelle 2-7:	Anteile der Konstruktionsgrundflächen an der Gebäudegrundfläche unterschiedlicher Gebäudearten (Schiller et al. 2010; Gruhler und Böhm 2011a,b).	31

Tabelle 2-8:	Anteil der tragenden Konstruktionen an der Gesamtkonstruktion für typische Konstruktionsweisen (Schiller et al. 2010).....	32
Tabelle 2-9:	Dichte der in der Statistik zu Bautätigkeit erfassten Baustoffe (Schiller et al. 2010).....	33
Tabelle 2-10:	Zuordnung der Baustoffe aus der Statistik zu Bautätigkeit zu dem StAR-Bau-Baustoffkatalog	34
Tabelle 2-11:	Zuordnung der hier verwendeten Baustoffe zu den IÖR-Baustoffkategorien sowie Gewichtsanteile der jeweiligen Baustoffgruppen.....	36
Tabelle 2-12:	Zuordnung der Gebäudetypen nach Altersklasse zu den synthetischen Gebäuden des Instituts für ökologische Raumentwicklung	38
Tabelle 3-1:	Angesetzte Kennzahlen für Wohngebäude.....	47
Tabelle 3-2:	Betrachtete Szenarien mit den zugehörigen Parametereinstellungen für Wohngebäude.....	73
Tabelle 3-3:	Betrachtete maximale (pessimistische) und minimale (optimistische) Szenarien mit den zugehörigen Parametereinstellungen für Nichtwohngebäude.....	82
Tabelle 3-4:	Übersicht über die in [UBA 2016] betrachteten Szenarien.....	84
Tabelle 3-5:	Ergebnisse für alternative Berechnungsweisen des Wohngebäudebestands im Basisjahr 2015; relative Darstellung zum Standardszenario in dieser Studie mit 100 %	91
Tabelle 3-6:	Relative Veränderung des Inputs und Outputs in Wohngebäude als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 für alternative Berechnungsweisen des Ersatzneubaubedarfs, Festlegung einer Abrissanstatt einer Leerstandsquote, Ermittlung des Zubaus über Wohnungsneubaubedarf und Zubau ohne Nichtwohnflächen in Wohngebäuden; Standard = 100 %	104

Tabelle 3-7: Relative Veränderung des Inputs und Outputs in Nichtwohngebäude als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 für alternative Berechnungsweisen des Ersatzneubaubedarfs und Festlegung einer Abriss- anstatt einer Leerstandsquote; Standard = 100 %..... 106

Tabelle 3-8: Relative Veränderung des Inputs und Outputs in Wohngebäude als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei keiner Drosselung des Ersatzneubaubedarfs ab einer Leerstandsquote von >6 %; Standard = 100 % 107

Tabelle 3-9: Relative Veränderung des Inputs bzw. Outputs der Stoffströme in Nichtwohngebäude als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei keiner Drosselung des Ersatzneubaubedarfs ab einer Leerstandsquote von >6 %; Standard = 100 % 108

Tabelle 3-10: Relative Veränderung des Inputs in Wohngebäude als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei einer Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses im Falle sinkender Nachfrage, einer anderen Bevölkerungsentwicklung und anderen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubaubedarf..... 111

Tabelle 3-11: Relative Veränderung des Outputs aus Wohngebäuden in BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei einer Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses im Falle sinkender Nachfrage, einer anderen Bevölkerungsentwicklung und anderen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubaubedarf 112

Tabelle 3-12:	Relative Veränderung des Inputs in Nichtwohngebäude als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei einer Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses im Falle sinkender Nachfrage, einer anderen Bevölkerungsentwicklung und anderen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubaubedarf	114
Tabelle 3-13:	Relative Veränderung des Outputs aus Nichtwohngebäuden als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei einer Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses im Falle sinkender Nachfrage, einer anderen Bevölkerungsentwicklung und anderen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubaubedarf	116
Tabelle 3-14:	Materialbestand für die Bereiche Wohn-, Nichtwohngebäude und Straßeninfrastruktur	118
Tabelle 3-15:	Materialinput und -output für die Bereiche Wohn-, Nichtwohngebäude und Straßeninfrastruktur	122
Tabelle 3-16:	Recyclbarkeit der anfallenden Materialien, eigene Abschätzung (Stand: 2018)	128
Tabelle 3-17:	Zuordnung der Materialien der Straßenbauinfrastruktur aus [UBA 2016] zu dem hiesigen Stoffkatalog ...	128
Tabelle 3-18:	Vergleich von Beton im Modellinput mit dem in Baden-Württemberg produzierten Transportbeton	139
Tabelle 3-19:	Vergleich Modelloutput in Summe über alle Materialien mit Abfallstatistik Baden-Württemberg	139
Tabelle 4-1:	Übersicht über angewandte Stakeholder-Methoden im ressourcenschonenden Bauwesen	159
Tabelle 4-2:	Gliederung identifizierter Maßnahmen in Maßnahmengruppen	197
Tabelle 4-3:	Wichtigste Ressourcenschonungsmaßnahmen im Bauwesen von Baden-Württemberg, Ergebnis der Befragung, Literaturrecherche und Modellrechnungen	213

Tabelle 4-4:	Akteursbasierte Effizienz der wichtigsten Maßnahmen aus Kap. 4.5.4	216
Tabelle 5-1:	Zeithorizonte	223
Tabelle 5-2:	Untersuchung Betrachtungszeiträume	224
Tabelle 5-3:	Berechnetes RESPOT der Top 3-Einzelmaßnahmen für Baden-Württemberg, dargestellt nach Szenarien, Basisjahr 2015	252
Tabelle 5-4:	Berechnetes RESPOT der Top 3-Maßnahmen durch Bündelung für Baden-Württemberg, dargestellt nach Szenarien, Basisjahr 2015	252
Tabelle 5-5:	Vergleich RESPOT der Top 3-Maßnahmen in den Typkreisen von Baden-Württemberg.....	254
Tabelle 6-1:	Maßnahmenvergleich für Regionstypen in Baden-Württemberg.....	258
Tabelle 6-2:	Steuern und Abgaben auf Baumineralien und Steuer-/ Abgaberraten im OECD/EEA-Raum (Wuppertal Institut 2013)	260
Tabelle 6-3:	Einteilung der Strukturtypen nach Entwicklung der Wohngebäude, Nichtwohngebäude und des Output/ Input-Verhältnisses in den gesamten Gebäudebestand ...	267
Tabelle 6-4:	Einteilung der Kreise Baden-Württembergs nach ihrem Strukturtyp	267
Tabelle 6-5:	Handlungsempfehlungen auf einen Blick.....	280
Tabelle A-1:	Gebäudekenndaten für Nichtwohngebäuden auf Grundlage von [Deilmann 2013] und [Gruhler & Böhm 2011b]	329

Tabelle A-2:	Relative Sensitivität des Verhältnisses von Output-/ Inputströmen für Wohngebäude kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei einer Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses im Falle sinkender Nachfrage, einer anderen Bevölkerungsentwicklung und anderen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubaubedarf	339
Tabelle A-3:	Relative Sensitivität des Verhältnisses von Output-/ Inputströmen für Nichtwohngebäude kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei einer Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses im Falle sinkender Nachfrage, einer anderen Bevölkerungsentwicklung und anderen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubaubedarf	340
Tabelle A-4:	Vergleich des mit dem Modell für das Jahr 2016 errechneten Zubaus an Wohnflächen in Wohngebäuden ohne Nichtwohnflächen bzw. an Nichtwohnflächen in Nichtwohngebäuden mit dem in der Bautätigkeit im Mittel über die Jahre 2003 bis 2015 ausgewiesenen Zubau an Wohnflächen in Wohngebäuden inklusive Maßnahmen an bestehenden Gebäuden bzw. Nichtwohnflächen in Nichtwohngebäuden inklusive Maßnahmen an bestehenden Gebäuden.....	341
Tabelle A-5:	Vergleich der kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 prognostizierten Materialinputs und – outputs im Standard-Szenario gegenüber den jeweiligen Extremausprägungen von optimistisch und pessimistischer Bestandsentwicklung bei minimaler bzw. maximaler Quote für Ersatzneubaubedarf und Sanierung	357
Tabelle D-1:	Übersicht aller Akteure.....	366

Tabelle D-2: Übersicht der Akteure, ihrer Aufgaben und Stellungen, Ziele, Vorteile und Herausforderungen im Ressourcenschutz 367

Tabelle D-3: Interaktionen der relevanten Akteure 372

1 Kurzdarstellung des Projektrahmens

1.1 Motivation und Projektziele

Das Forschungsvorhaben „StAR-Bau“ wurde im Rahmen der Fördermaßnahme Nachhaltiges Bauen der Stiftung Baden-Württemberg gefördert und umgesetzt. Das Vorhaben adressierte in erster Linie den in der Ausschreibung genannten F&E-Bedarf zur Entwicklung von Konzepten zur Reduktion der Ressourcen- und Umweltinanspruchnahme sowie des nachhaltigen Bauens auf technologischer und industrieller Basis. Als Leitmarkt trägt nachhaltiges Bauen laut EU-Kommission wesentlich zur Stärkung in den europäischen Binnenmärkten bei und fördert nachhaltig den Wohlstand und die Beschäftigung der Bevölkerung - insbesondere in Baden-Württemberg.

Gebäude und Infrastrukturen induzieren im Laufe ihres Lebenszyklus große Energie- und Stoffströme, die insbesondere regionale Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft haben. Weltweit benötigen Gebäude rund 40% der jährlichen globalen direkten und indirekten Energieströme und emittieren dabei in der EU etwa 36% der CO₂-Emissionen (Dixit et al. (2010), S. 1238, Europäische Kommission (2018)). In 2016 waren rund 36% des Energiebedarfs (BMW (2018), Kohler (2012)) und rund 50% des jährlichen Abfallaufkommens in Deutschland dem Bausektor zuzuordnen (DESTATIS (2017a,b), ARGE KWTB (2007), UBA (2009)). Letzteres entspricht im Durchschnitt rund 2,5 t jährlichem Bauabfallaufkommen pro Einwohner (vgl. auch Kreislaufwirtschaft Bau (2017) und Abbildung 1-4). Demographische Veränderungen und eingeschränkte Möglichkeiten einer weiteren Flächeninanspruchnahme führen zu zusätzlichen Baumaßnahmen im Bestand in Form von Sanierungen, Modernisierungen oder Ersatzneubauten in städtischen Gebieten.

Für nachhaltiges Bauen ist es erforderlich, sowohl aus technischer, ökonomischer, ökologischer als auch aus sozialer Sicht einen "Mittelweg" zu finden, der für alle Beteiligten gangbar ist. Aufgrund der außerordentlich hohen Ressourceninanspruchnahme gehört der Bausektor zu den ressourcenintensivsten Wirtschaftssektoren (521 Mio. Tonnen mineralische Baurohstoffe in Deutschland in 2013) (UBA (2017)). In den letzten Jahren konnte jedoch keine Verbesserung in der Ressourceneffizienz festgestellt werden (vgl. statista und vdz (2017)), obwohl der industrielle Baustoffsektor das größte Ressourceneffizienz- und Klimapotential aufweist.

Für die effizientere Nutzung von Baurohstoffen, Baumaterialien und Bauprodukten ist einerseits die genaue Kenntnis des aktuellen Gebäudebestands und damit des Rohstofflagers erforderlich. Dafür gibt es Ansätze zur Erstellung von Gebäudetypologien, Gebäudebestandsmodellen und Ressourcenkatastern, differenziert nach Inhaltsstoffen, Gebäudetypen und Infrastrukturart sowie einer Prioritätensetzung für den Rückbau (e.g. durch Urban Mining). Urban Mining nutzt dabei die bestehenden, wiederverwendbaren Bauelemente und die recyclebaren Baustoffe (insbesondere Metalle und andere Wertstoffe) der Gebäude und ihrer technischen Gebäudeausstattung sowie anderer, anthropogener Lager (wie Infrastrukturen, Verkehrsmittel, etc.).

Aufgrund der regionalen Effekte von Stoffströmen in und aus dem Gebäude- und Infrastrukturbestand ist eine regionalisierte, stoffliche Betrachtung von Bauwerken und deren Bestandsveränderungen einschließlich der damit verbundenen Entscheidungsprozesse eine wichtige Voraussetzung für ein gelungenes Ressourcenmanagement. Derzeit gibt es jedoch nur bundesweite Analysen zu Recycling- und Ressourcenschonungspotenzialen, die regionale Gegebenheiten, insbesondere auch in Baden-Württemberg nur unzureichend abbilden. Je nach demographischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen kommt es regional zu unterschiedlichen Bauwerkbestandsentwicklungen und Verwertungsmöglichkeiten (sog. Verwertungspfaden).

Dies macht die Analyse und Abwägung unterschiedlicher Verwertungspfade und Trends von Stoffströmen in der Bauwirtschaft je Region unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten erforderlich.

Ziele des Projektes waren daher:

- **Die Minimierung der Gesamtumweltinanspruchnahme des Bausektors.**
- Die differenzierte **Prognose von Baustoffnachfrage und Recycling-Baustoffangebot.**
- **Die Bewertung der prognostizierten Stoffströme und Verwertungspfade** unter ökonomischen, ökologischen und soziokulturellen Aspekten.
- **Die Identifizierung geeigneter ressourcenschonender Maßnahmen zur Realisierung einer nachhaltigen, regionalen Kreislaufwirtschaft** im Bauwesen von Baden-Württemberg

Zur Erreichung der Ziele des Forschungsvorhabens ist die Identifikation von geeigneten ressourcenschonenden Maßnahmen und Instrumenten zur Umsetzung von nachhaltigen Baustoff-/Bauproduktkreisläufen in Baden-Württemberg notwendig. Dazu ist die Entwicklung eines räumlich hochaufgelösten Gebäudebestands- und Infrastrukturstoffstrommodells mit seinen Zu- und Abgängen zur Abbildung der derzeitigen Stoffströme erforderlich. Die Nachfrage und das Angebot an Baustoffen sowie die Interessen der Akteure und deren Konstellation sollen differenziert ermittelt und in das Stoffstrommodell integriert werden. Das zu entwickelnde Gesamtmodell dient dazu, derzeitige Stoffströme detailliert abzubilden sowie zukünftige, regionale Baustoff-Verwertungspfade in Baden-Württemberg unter verschiedenen Rahmenbedingungen zu prognostizieren. Veränderte Rahmenbedingungen umfassen beispielsweise politische Instrumente wie Fördermaßnahmen, zusätzliche technische Aufbereitungs- oder Verwertungspfade, Veränderungen des Gebäudebestands (z. B. Neubau, Sanierung, Abbruch/Rückbau) und der Wohn-/Nutzungssituation (z.B.

Haushaltsveränderungen, Demographie, Umnutzungen). Anschließend sollen die abgebildeten und prognostizierten Verwertungspfade unter ökonomischen, ökologischen und soziokulturellen Aspekten bewertet werden sowie mögliche Recycling- und Ressourcenschonungspotenziale durch Verknüpfung des RC-Baustoffangebots mit der -nachfrage auf regionaler Ebene ermittelt und geeignete politische Instrumente identifiziert werden.

Dazu wurde zunächst eine Recherche zur Gebäudebestandstypologie in Baden-Württemberg durchgeführt (AP1). Die ermittelten Gebäudetypen wurden im entwickelten Stoffflussmodell (AP2) verwendet, um Zu- und Abgänge im Gebäudebestand und der Straßeninfrastruktur zu prognostizieren. Dies umfasst detailliert die Simulation der Entwicklung des Gebäude- und Infrastrukturbestands bis 2030 sowie die jeweiligen Abfall-/Materialfraktionen in jährlicher Auflösung für alle Land- und Stadtkreise in Baden-Württemberg.

Parallel dazu wurden in AP3 relevante Akteure befragt und ihre Interessen in einem Modell unter verschiedenen dynamisch veränderten Rahmenbedingungen abgebildet und untersucht. Veränderte Rahmenbedingungen in diesem Kontext können beispielsweise verschiedene politische Instrumente und deren Einflüsse auf Entscheidungsträger sein, aber auch neue Netzwerkstrukturen, Informationen und Technologien zur Gewinnung von Baustoffen aus dem Bestand wie etwa Standorte für Baustoffaufbereitungsanlagen und -techniken. Darauf aufbauend wurde ein Akteursmodell entwickelt, welches die Einflussnahme der Akteure gegenseitig sowie deren Auswirkungen auf die Stoffströme in Baden-Württemberg abbildet.

Die Integration beider Teilmodelle (AP4) erlaubt Aussagen zur Effektivität verschiedener Ressourceneffizienzmaßnahmen (Einzelmaßnahmen und Maßnahmenbündel) und deren stoffliche und räumliche Auswirkung. Die im entwickelnden Modell abgebildeten Einzelentscheidungen der Akteure bilden aggregiert die zustande kommenden Baustoff-Verwertungspfade, die anschließend im Hinblick auf Nachhaltigkeitsaspekte und insbesondere hinsichtlich rohstofflicher Indikatoren bewertet werden.

Aus diesen Modellergebnissen und aus der Bewertung der Verwertungspfade wurden geeignete Instrumente und Steuerungsoptionen sowie Handlungsempfehlungen für die Akteure und Entscheidungsträger der Politik, Wirtschaft und Wissenschaft zur Umsetzung entsprechender Kreislaufwirtschaftskonzepte abgeleitet (AP5). Eine schematische Übersicht gibt Abbildung 1-1.

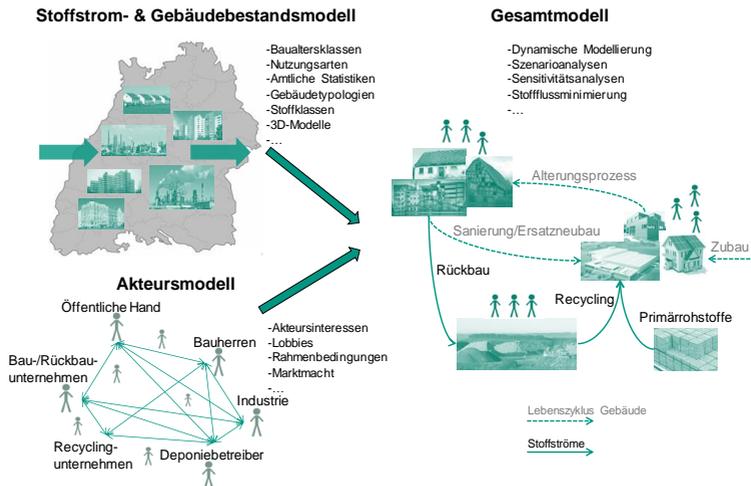


Abbildung 1-1: Schematische Darstellung des Projektinhaltes

Folgende Teilschritte (Arbeitspakete) wurden dabei bearbeitet (vgl. Abbildung 1-2):

1. Recherche von regionaltypischen Materialien und Baukonstruktionen in Baden-Württemberg
2. Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands von Baden-Württemberg
3. Akteursmodell für nachhaltiges Bauen im Bestand in Baden-Württemberg
4. Integration von Stoffstrom- und Akteursmodell und Bewertung
5. Handlungsempfehlungen

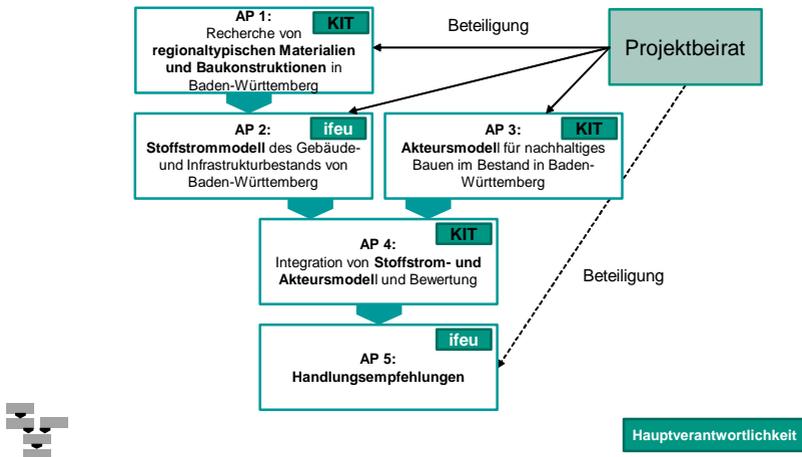


Abbildung 1-2: Abbildung der Arbeitspakete, Verantwortlichkeiten und Beteiligung

Die genannten Arbeitspakete werden in den folgenden Kapiteln 1-7 ausführlich dargestellt. Eine detaillierte Übersicht zum Projekt-Arbeitsplan und den zu erreichten Meilensteinen kann Abbildung 1-7 in Kapitel 1.4 entnommen werden.

Damit zielt das Vorhaben auf die Förderschwerpunkte „Nachhaltiges Bauen“ der Stiftung Baden-Württemberg sowie „Konzepte zur Reduktion von Massen, Energieströmen und Bauabfällen bei Sanierung und Umnutzung“ und „Konzepte zur Wiederverwertung und Bewertung der Wiederverwertbarkeit von Bauteilen (Kreislaufwirtschaft/Upcycling)“ anderer Fördereinrichtungen entsprechend der Nachhaltigkeitsstrategie in Deutschland ab. Die Forschungsergebnisse dieses Vorhabens sind interessant für Gemeinden, Stadt-/Landkreise und Behörden sowie Fachplaner, die in der Konzeptionierung, Weiterentwicklung und Umsetzung der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen in Baden-Württemberg involviert sind.

Das Projekt ist insofern wissenschaftlich neu und innovativ, als dass Einflüsse von Stakeholder-Entscheidungen im Modell und in der Entwicklungsprognose des Stoffstrommodells berücksichtigt werden. Bisherige Projekte

untersuchen entweder nur den Gebäude- und Infrastrukturbestand separat (IWU 2005, 2011, 2012, 2015), den Gebäude- und Infrastrukturbestand und die demographische Entwicklung (Schiller et al. (2010), Buchert et al. (2004)), oder die Baustofflogistik (Hiete et al. 2011), (vgl. Kapitel 1.3 für eine detaillierte Analyse bestehender Arbeiten).

1.2 Voraussetzungen des Forschungsvorhabens

Regionalisierte Daten zu Gebäude- und Infrastrukturbeständen sowie zu Stoffströmen in und aus dem Gebäude- und Infrastrukturbestand sind derzeit nicht frei verfügbar (vgl. Kapitel 1.3). Aber umweltpolitische Ziele fokussieren zunehmend die Reduzierung der gebäudebezogenen Stoffströme. So soll der spezifische Material- und Ressourceneinsatz durch entsprechende ressourcenleichte Baustoffe, Konstruktionen oder Bauweisen reduziert werden. Eine Lösung kann im verstärkten Rückgriff auf Recycling-(RC)-Baustoffe und damit in der Schonung von primären Rohstoffen liegen. Andererseits werden derzeit Verschärfungen für Recycling, bspw. durch die Mantelverordnung mit hohen Anforderungen an den Schutz von Boden und Grundwasser sowie die produzierten Ersatzbaustoffe diskutiert. Auch die öffentliche Wahrnehmung, das erhöhte Umweltbewusstsein sowie beschränkte Deponiekapazitäten führen zu Interesse an ressourcenschonenden Produkten und Bauwerken sowie am Recycling von Produkten und der Verwertung von Abfallströmen.

Die beteiligten Projektpartner bringen folgende Kompetenzen ins Projekt ein:

Das **Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)** des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) weist eine jahrelange Erfahrung und umfangreiche Vorarbeiten im Bereich der Gebäudeauditierung, der Kreislaufwirtschaft in der Baubranche sowie der Modellierung und optimierenden Planung des selektiven Rückbaus und der Sanierung von Gebäuden und Infrastrukturen auf. Diese Erfahrungen und Vorarbeiten wurden im Rahmen der AP1, AP3, AP4 und AP5 in das Projekt StAR-Bau eingebracht und im Rahmen des Projektes wissenschaftlich weiterentwickelt.

Der **Lehrstuhl Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus (ÖÖW/FIWI)** beschäftigt sich in Lehre und Forschung mit der Umsetzung von Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung in der Bau-, Wohnungs- und Immobilienwirtschaft. Besondere Erfahrungen bestehen in der Entwicklung und Erprobung von Hilfsmitteln zur Nachhaltigkeitsbewertung, auf dem Gebiet der Ökobilanzierung sowie der Analyse von Motiven und Handlungsmöglichkeiten von Akteuren.

Das **Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu)** arbeitet in umweltwissenschaftlichen Gebieten wie Abfallwirtschaft sowie Stoffstromanalysen und Ökobilanzen, Umweltverträglichkeitsuntersuchungen, Energie- und Umweltmanagement, und Ökobilanzen von Konsumprodukten. In dem Fachbereich hat sich über die letzten Jahre auch ein thematischer Schwerpunkt zur Frage der Rückführung der mineralischen Bauabfälle in den Wirtschaftskreislauf und ihre hochwertige Nutzung als sekundärer Rohstoff gebildet. Viele dieser Arbeiten wurden mit dem Schwerpunkt auf Baden-Württemberg durchgeführt.

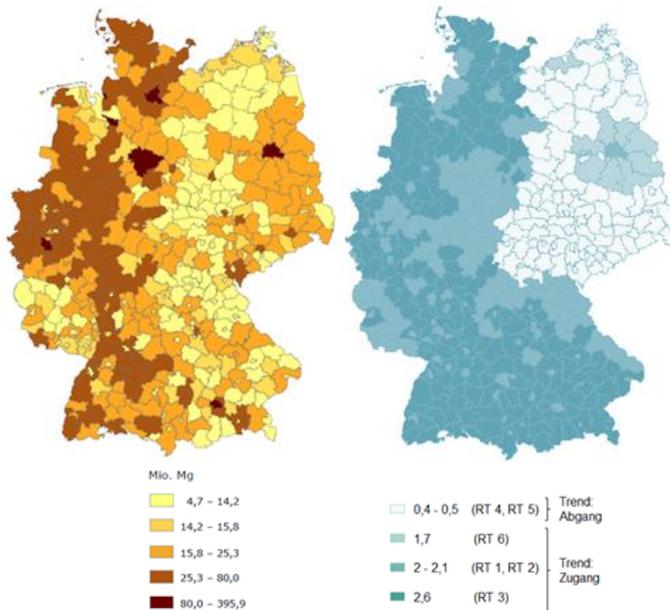
1.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand

1.3.1 Ausgangssituation

Angesichts der Endlichkeit mineralischer Ressourcen und steigender Rohstoffpreise aufgrund von Verknappung auf dem Markt und Spekulation erfordert eine Strategie zur Sicherung der Ressourcenversorgung einen Überblick über die vorhandenen Ressourcenpotenziale in anthropogenen Lagerstätten. In Deutschland stellt der Gebäude- und Infrastrukturbestand eine umfangreiche Senke bzw. ein umfangreiches Lager für Metalle und Industriematerialien dar (Schiller et al. (2010)). Die demographische Entwicklung, der strukturelle Wandel und energetische Erfordernisse führen zu einer steigenden Um- und Abbaurate dieser anthropogenen Lagerstätte, so dass die Bedeutung recycelter Metalle und Industriematerialien kontinuierlich ansteigt (Maas (2010)).

Forschungsprojekte und Studien haben in den letzten Jahren wertvolle Informationen über den deutschen Gebäude- und Infrastrukturbestand zusammengetragen. Dabei wurde der Wohngebäudebestand in sog. Gebäudetypen strukturiert und erfasst (IWU 2015, 2012, 2011, 2005), wobei sich die Gebäudetypen hinsichtlich der Nutzungsart, des Baujahres sowie in energetischen und materialbezogenen Charakteristika unterscheiden. Im Zensus-Datensatz 2011 sind die Wohngebäude zwar mit ihrem Baujahr und je Land-/Stadtkreis erfasst, jedoch liegen keine Informationen zu ihrer stofflichen Zusammensetzung vor (Bayrisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (2013)). Der ergänzende Mikrozensus-Datensatz 2010 zu Gebäuden und zu deren Eigentümern und Bewohnern/Haushalten enthält ebenfalls Angaben zum Baujahr, die u.U. Rückschlüsse auf die stoffliche Zusammensetzung der Gebäude(hülle) erlauben (Statistisches Bundesamt (2012)). Die Angaben im Mikrozensus 2010 (Statistisches Bundesamt 2012) zum Bundesland und der Gemeindegrößenklasse lassen derzeit aber nur bundesweite und allgemeine Analysen zu. Nichtwohngebäude sind weit weniger gut materialbezogen typisiert und nur allgemeine, bundesweite Daten zur Anzahl und Nutzfläche der gerade fertiggestellten Nichtwohngebäude pro 1000 Einwohner sind über DESTATIS verfügbar (1993-2009) (Gruhler und Böhm 2011b, Schiller et al. (2010)).

Um der zunehmenden digitalen Arbeitsweise im Bauwesen und der Stadt-/Raumplanung Rechnung zu tragen, wurden im Jahr 2013 die Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) und das Automatisierte Liegenschaftsbuch (ALB) im Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS®) zusammengeführt. Zahlreiche Städte in Baden-Württemberg verfügen über ein 3D-Stadtmodell wie beispielsweise Baden-Baden, Freiburg, Heidelberg, Karlsruhe, Stuttgart oder Ulm (GTA GeoService GmbH (2013)). In ALKIS® sind jedoch keine Angaben zum Baujahr/Baualtersklasse, Sanierungsstand, zur Gebäudehöhe, Konstruktionsart oder Materialverwendung zugänglich, mit denen sich der umbaute Raum und die verbauten Materialien abschätzen ließen.



Westdeutschland + Berlin	Ostdeutschland
RT 1: Vorwiegende Kernstädte	RT 4: Vorwiegend Kernstädte
RT 2: Ländliche Kreise mit geringer Dynamik	RT 5: Dünn besiedelte und häufig periphere Räume
RT 3: Suburbane Kreise und ländliche Kreise mit größerer Dynamik	RT 6: Umlandkreise von Berlin und Kernstädten mit Suburbanisierungstendenzen

Abbildung 1-3: Geschätzte räumliche Verortung des kumulierten Gesamtbaustofflagers nach Raumtypen (RT) auf Kreisebene (links) und räumliche Verteilung des Verhältnisses aus Zu- und Abgang der Baustoffe Beton und Ziegel in 2020 (rechts) (Quelle: Schiller et al. (2010))

Zur Beurteilung der gebäude- und infrastrukturbezogenen Stoffströme und Ressourceneinsparpotenziale wird derzeit primär das nationale Modell BASIS 2 (Schiller et al. (2010), Buchert et al. (2004)) zitiert. Die darauf aufbauende, bundesweite Analyse unterteilt 6 Raumtypen mit vorwiegend Kernstädten sowie suburbanen und ländlichen Kreisen mit größerer bzw.

geringerer Dynamik in Ost- und Westdeutschland (Schiller et al. (2010)) (vgl. auch Abbildung 1-3).

Aufgrund regional und zeitlich verschiedener wirtschaftlicher und demographischer Entwicklungsprognosen unterscheiden sich auch resultierende Bautätigkeiten und regionale zu erwartende Abfallmassenströme. Abbildung 1-3 zeigt das kumulative Baustofflager sowie die tendenzielle Veränderung je Kreis bis 2020. Demnach ist langfristig (bis 2050) damit zu rechnen, dass der Gebäudeabgang den -zugang deutschlandweit übertreffen wird (Schiller et al. (2010)). Aufgrund der geringen wirtschaftlichen Transportradien (< 25 km) der meisten Bauteile und Baustoffe ist jedoch eine detaillierte, regionale Betrachtung der gebäude- und infrastrukturbezogenen Stoffströme sowie ihre Bewertung durch Nachhaltigkeitskriterien notwendig und sinnvoll. Eine gebäudebezogene Stoffstrombetrachtung wurde in Baden-Württemberg bislang lediglich für einige Kreise in Nordbaden durchgeführt, die ausgehend vom Wohngebäudebestand die jährlich zu erwartenden Abbruchmassen (Angebot) berechnet sowie die minimalen Transportkosten zu den Aufbereitungs- und Entsorgungseinrichtungen und zu möglichen neuen Einsatzorten (Nachfrage) ermittelt (Hiete et al. (2011)).

Zahlreiche Normen und Leitfäden legen bauteil- und gebäudebezogene Bewertungsschemata von gebäudebezogenen Stoffströmen unter Nachhaltigkeitsaspekten fest (bspw. ISO 14025, DIN EN 15804, DIN EN 15643, Leitfäden e.g. BMVBS (2013)). Werkzeuge und Daten zur Nachhaltigkeitsbewertung (auch inkl. des abiotischen Ressourcenverbrauchs) im Bereich der ökologischen Dimension wie Ökobilanz und Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs) von Baustoff- und Bauteilherstellern sind für Bauprodukte bspw. in der Datenbank Ökobau.dat frei verfügbar (BMVBS (2009, 2011), PE International (2007), IBU (2018)). Es fehlt jedoch an Daten, Grundlagen und Hilfsmitteln für eine Bewertung der Nachhaltigkeit von gebäudebezogenen Stoffströmen im Sinne der Kreislaufwirtschaft auf regionaler Ebene.

1.3.2 Datengrundlage und Forschungsansätze für Gebäudebestandsinformationen und im regionalen Gebäudebestand

Etwa die Hälfte (52%) des in Deutschland anfallenden Abfallstroms stammt aus Bauabfällen. So fallen jährlich rund 202 Mio. t (2014) – 208 Mio. t (2015) mineralische Bauabfälle zur Entsorgung an (Kreislaufwirtschaft Bau (2017), DESTATIS (2017a,b)). Ungefähr ein Viertel davon (54,6 Mio. t) hat seinen Ursprung im Bauschutt aus rückgebauter Infrastruktur (Gebäude, Tiefbauwerke wie Brücken, etc.). Der Rest verteilt sich auf Bodenaushub (118,5 Mio. t) und Straßenaufbruch (13,6 Mio. t) (Kreislaufwirtschaft Bau (2017)). Davon wurden insbesondere die Fraktionen des Straßenaufbruchs (93%) und des Bauschutts (77,8%) recycelt (vgl. Abbildung 1-4). Die Fraktionen der Baustellenabfälle und Boden und Steine wurden eher verwertet oder verfüllt. “Aus den 68,2 Mio. t Bauschutt und Straßenaufbruch wurden 55,3 Mio. t Recycling-Baustoffe hergestellt. Durch Aufbereitung der Fraktionen Boden und Steine (12,1 Mio. t) und Baustellenabfälle (0,2 Mio. t) wurden 12,3 Mio. t RC-Baustoffe hergestellt. Im Jahr 2014 sind so insgesamt 67,6 Mio. t RC-Baustoffe produziert worden.” (Kreislaufwirtschaft Bau (2017)).

“Von den angefallenen 54,6 Mio. t Bauschutt wurden 42,5 Mio. t (77,8 %) recycelt. 8,7 Mio. t (16,0 %) wurden im Rahmen der Verfüllung von Abgrabungen und auf Deponien verwertet, während nur 3,4 Mio. t (6,2 %) des angefallenen Bauschutts auf Deponien beseitigt wurden. [...] Von den angefallenen 14,6 Mio. t der Baustellenabfälle wurden 0,2 Mio. t (1,4 %) recycelt und 14,2 Mio. t (96,9 %) einer sonstigen Verwertung zugeführt. Lediglich 0,2 Mio. t (1,7 %) wurden u. a. auf Deponien beseitigt” (Kreislaufwirtschaft Bau (2017)) (vgl. Abbildung 1-5).

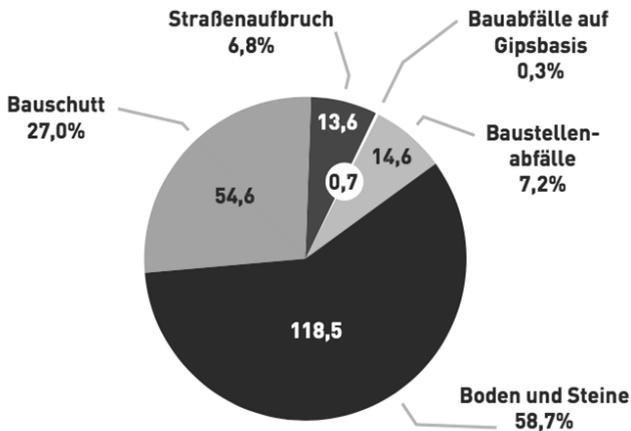
In Deutschland wurden im Jahr 2014 insgesamt 549,0 Mio. t Gesteinskörnungen produziert (Kreislaufwirtschaft Bau (2017)). Dies umfasste Recycling-Baustoffe (67,6 Mio. t), Kiese und Sande (240,0 Mio. t (43,7 %)), Natursteine (211,0 Mio. t (38,4 %)) und industrielle Nebenprodukte (z. B.

Aschen, Schlacken) (30,4 Mio. t (5,6 %)). „Von den 67,6 Mio. t Recycling-Baustoffen wurden 35,5 Mio. t (52,5 %) im Straßenbau, 16,4 Mio. t (24,3 %) im Erdbau und 1,7 Mio. t (2,5 %) in sonstigen Anwendungen, überwiegend im Deponiebau, verwertet. 14,0 Mio. t (20,7 %) wurden als Gesteinskörnung in der Asphalt- und Betonherstellung eingesetzt.“ (Kreislaufwirtschaft Bau (2017)). Jedoch wurden bislang keine Gesteinskörnungen als Rezyklat im Hochbau eingesetzt.

Gleichzeitig werden viele Rückbauten durch einen Ersatzneubau insbesondere in städtischen Gebieten ersetzt. Voraussetzung für ein hochwertiges Recycling der abzubrechenden Gebäude und Infrastrukturen sind Kenntnisse über Mengen, Anfallzeitpunkt, Reinheit, Qualität, Kosten für die Bergung und die fachgerechte Wiedergewinnung (Clement et al. (2009)) sowie über mögliche Schadstoffe und Gefährdungen. Derzeit üblich ist der selektive Rückbau, bei dem bei einem Gebäudeabbruch zuerst der Innenausbau des Gebäudes entfernt wird. Je nach Unternehmenskultur, Entsorgungsstrategie und Ausbildung der Mitarbeiter wird dabei in unterschiedlichem Maße auf die Trennung der Materialien Wert gelegt. Dann wird die Tragsstruktur des Gebäudes zertrümmert und zerlegt. Die entstehenden Materialfraktionen werden meist erst im Nachgang sortiert, getrennt und aufbereitet. Die Sortierung und Aufbereitung kann dabei sowohl mobil, dezentral auf der Baustelle (bei Freiflächen) oder stationär, zentral auf Recyclinghöfen erfolgen. Nach der Aufbereitung erfolgt der Transport zum nächsten Einsatzort (meist Verfüllung oder Deponierung). Insgesamt liegt durch verhältnismäßig hohe Transportkosten der Recyclingmaterialien im Verhältnis zu ihrem Wert ein starker Raumbezug der Recyclingwirtschaft vor, der eine möglichst regionale Verknüpfung von Ressourcenlagerstätten und Nachfrageorten favorisiert. Für Baden-Württemberg liegen weder aggregiert noch regional für Land- und Stadtkreise aktuelle Zahlen vor.

Statistisch erfasste Mengen mineralischer Bauabfälle 2014 (in Mio. t)

Anfall insgesamt 202,0 Mio. t



Recycling-Baustoff-Produktion 2014 (in Mio. t)

Recycling-Baustoffe insg.: 67,6 Mio. t

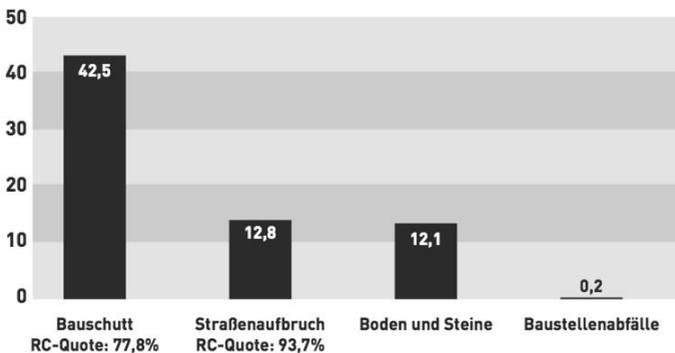
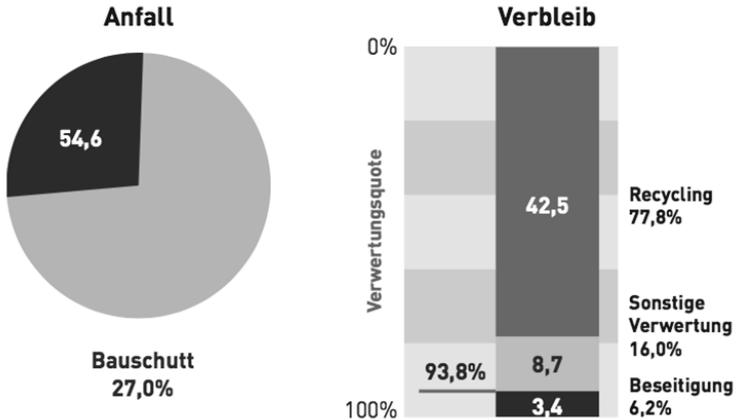


Abbildung 1-4: Anfall mineralischer Bauabfälle in 2014 in Deutschland und die Produktion von Recycling-Baustoffen im gleichen Jahr (Kreislaufwirtschaft Bau (2017))

Anfall und Verbleib der Fraktion Bauschutt 2014 (in Mio. t)



Anfall und Verbleib der Fraktion Baustellenabfälle 2014 (in Mio. t)

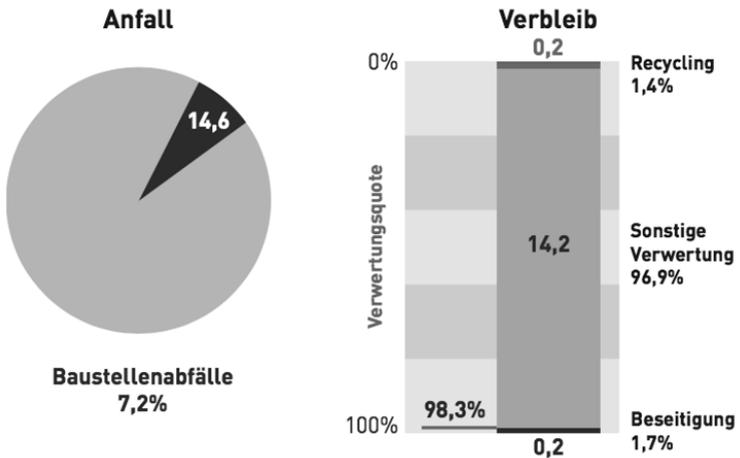
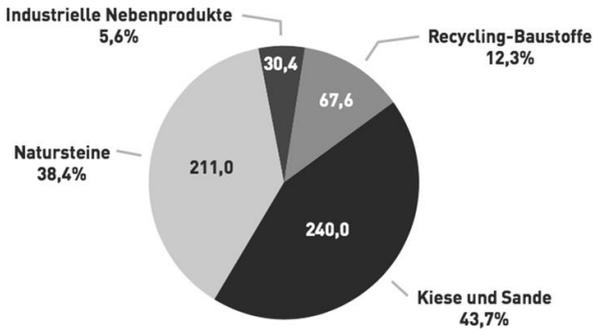


Abbildung 1-5: Anfall und Verbleib der Fraktion Bauschutt (links) und Baustellenabfälle (rechts) in 2014 (Kreislaufwirtschaft Bau (2017))

Deckung des Bedarfs an Gesteinskörnungen 2014 (in Mio. t)

Bedarf insgesamt: 549,0 Mio. t



Verwertung der Recycling-Baustoffe 2014 (in Mio. t)

Recycling-Baustoffe insg.: 67,6 Mio. t

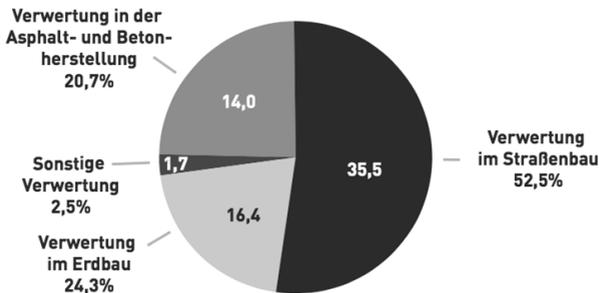


Abbildung 1-6: Deckung des Bedarfs an Gesteinskörnungen in 2014 und Verwertungspfade der Recycling-Baustoffe in 2014 (Kreislaufwirtschaft Bau (2017))

Umweltpolitische Instrumente im Kontext der Ressourceneffizienz umfassen primär ordnungsrechtliche, planerische, wirtschaftliche, kooperative oder informationelle Maßnahmen, die zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen dienen können. Zu informatorischen Maßnahmen gehören bspw. Gebäudepässe oder Kataster. Zu ordnungsrechtlichen Maßnahmen zählen bspw. einzuhaltende Verwertungsquoten bei Sanierungs- oder Abbruchmaßnahmen oder genehmigungsbedürftige Bau-/Rückbauvorhaben.

Jedoch werden derzeit auch weitere politische Instrumente bspw. nach dem Vorbild der Schweiz oder den Niederlanden diskutiert, die die Kreislaufwirtschaft im Bauwesen unterstützen können, wie bspw. die Einführung einer Steuer auf Primärrohstoffe (Ludewig und Meyer (2012)), der Bewilligungsbedarf für Nicht-RC-Beton bzw. Primärbeton, dem Verbot des Einsatzes von Hochbau-Altbeton im Straßenbau, der Subvention von RC-Materialprüfungen, neuen Kooperationsformen entlang der Wertschöpfungskette (Abbruchplaner/Aufbereiter mit Bauherren/Architekten) oder erhöhtes Informationsangebot zu nachwachsenden Baustoffen, zu RC-Baustoffen oder zu ressourcenschonenden Aufbereitungstechnologien für Bauherren und Architekten. Detaillierte Darstellungen zum Stand der vorhandenen Daten findet sich in Kapitel 2, während Kapitel 3 näher auf den Stand der Wissenschaft hinsichtlich möglicher Ressourceneffizienzpotenziale und Instrumente eingeht.

1.3.3 Forschungslücke

Zur Realisierung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen und zur Planung von Recyclingnetzwerken ist eine Planungs- und Bewertungsgrundlage in Form eines Material-/ Rohstoffkatasters und einer Stoffstrommodellierung des Gebäude- und Infrastrukturbestands erforderlich (Rechberger und Clement (2011)). Es gibt jedoch derzeit kein Modell, das den Bestand und seine Dynamik sowie die zugehörigen regionalen Stoffströme in Baden-Württemberg unter Berücksichtigung der regionalen Gegebenheiten abbildet, analysiert und bezüglich ihrer Nachhaltigkeit und Umweltinanspruchnahme bewertet. Insbesondere ökologische (z.B. Verwertungsqualität, Energieeinsatz für die Aufbereitung, Recyclingquote, Verwertungspfade) und soziokulturelle Faktoren (z.B. Be-/Anwohner, Haushalte) in regionalen Stoffhaushalten werden bislang nicht berücksichtigt. Zudem sind mangelnde Akzeptanz und Verbreitung von Recyclingbaustoffen Probleme (Knappe et al. 2012), denen durch geeignete Rahmenbedingungen und Maßnahmen angemessen begegnet werden sollte, um den Material- und Ressourceneinsatz im Baubereich zu verringern.

Das vorliegende Vorhaben StARBau stellt einen neuen Ansatz zur Ermittlung und Prognose regionaler Stoffströme dar. Für Baden-Württemberg wurde dazu erstmalig auf Kreisebene der Gebäudeabgang und -zubau sowie die Entwicklung der Straßeninfrastruktur bis 2030 ermittelt. Dadurch können mit dem entwickelten Modell die zugehörigen Abfallmassenströme vergleichsweise detailliert untersucht und prognostiziert werden. Zusätzlich wurden im Projekt StARBau im Rahmen einer systemischen Analyse die beteiligten Akteure befragt und deren gegenseitige Einflussnahme und Wirkung auf Stoffströme modelliert. Dies ermöglicht Aussagen zur Effektivität unterschiedlicher Ressourceneffizienzmaßnahmen in der Bauwirtschaft.

1.4 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde für eine Laufzeit von 3 Jahren geplant und bewilligt. Das Projekt startete als letztes Projekt im Forschungsverbund am 01.04.2015. Nach Ablauf von ca. 1,5 Jahren wurde im September 2016 eine Zwischenevaluation durch unabhängige Gutachter durchgeführt. Im Oktober 2015 und im Juli 2017 wurden Projekttreffen zur Plausibilisierung der Projektergebnisse zusammen mit den Mitgliedern des Projektbeirats durchgeführt. Am 06.03.2018 fand eine Abschlussevaluation durch unabhängige Gutachter und vor Fachpublikum statt.

Im Forschungsvorhaben gab es in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber kleinere zeitliche und finanzielle Verschiebungen, die jedoch im Großen und Ganzen der ursprünglichen Planung entsprechen und die wesentliche Projektziele nicht tangieren. Das Projekt wurde entsprechend der ursprünglichen Planung am 31.03.2018 abgeschlossen. Das Projekt gliedert sich in die folgenden 5 inhaltliche Arbeitspakete sowie das Projektmanagement (AP6):

- (AP1) Recherche von regionaltypischen Materialien und Baukonstruktionen in Baden-Württemberg
- (AP2) Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands von Baden-Württemberg

- (AP3) Akteursmodell für nachhaltiges Bauen im Bestand in Baden-Württemberg
- (AP4) Integration von Stoffstrom- und Akteursmodell und Bewertung
- (AP5) Handlungsempfehlungen
- (AP6) Projektmanagement

Die eingehende Darstellung der fünf inhaltlichen Arbeitspakete sowie die erarbeiteten Recherche- und Projektergebnisse werden in den folgenden fünf Kapiteln 2-6 übersichtlich dargestellt und zusammengefasst. Abbildung 1-7 zeigt den Arbeit- und Meilensteinplan des Projektes.

Arbeitspaket	2015												2016												2017												2018												Beteiligung		
	Apr	Mai	Jun	Juli	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jan	Feb	März	KIT	ifeu	PB												
AP 1					A																																		4 PM	2 PM											
AP 2						B																																	(4 PM)	(14 PM)	(X)										
AP 3																																								14 PM	(4 PM)	(X)									
AP 4																																									14 PM	(12 PM)	(X)								
AP 5																																										2 PM	5 PM	(X)							
Treffen	KT		PT		PT	PT	PT		PT								PT	PT	PT		PT																						PT	PT							
Berichte																		ZB																											AB	EE					

KIT: Kickoff-Treffen, PT: Projekttreffen, ZB: Zwischenbericht, AB: Abschluss-evaluationsbericht, EE: Endbericht

Arbeitspakete

- AP 1: Recherche regionaltypischer Materialien
- AP 2: Stoffstrommodell
- AP 3: Akteursmodell
- AP 4: Gesamtmodell, Bewertung
- AP 5: Handlungsempfehlungen

Projektbeteiligte

- KIT: Karlsruher Institut für Technologie
- ifeu: Institut für Energie- und Umweltforschung
- PB: Projektbeirat
- Hauptverantwortlicher (Beteiligter)

Meilensteine

- A Abschluss der Recherche
- B Konzept des Stoffstrommodells
- C Stoffstrommodell: Abbildung des Status Quo
- D Stoffstrommodell: Abbildung der zukünftigen Dynamik
- E Konzept für Akteursmodell (literaturbasiert), Akteursumfrage und Expertengespräche
- F Abschluss Akteursumfrage/Expertengespräche, Prototyp Akteursmodell
- G Akteursmodell
- H Konzept des Gesamtmodells und Definition betrachteter Instrumente
- I Mit Projektbeirat abgestimmte Szenarien
- J Prototyp des Gesamtmodells
- K Gesamtmodell
- L Mit Projektbeirat abgestimmte Modellergebnisse
- M Handlungsempfehlungen

Abbildung 1-7: Projekt-Arbeitsplan und Meilensteine des Projektes StAR-Bau

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Projektes erfolgte die Zusammenarbeit insbesondere zwischen den Projektpartnern am KIT und ifeu. Weiterhin wurde die Unterstützung des beteiligten Projektbeirats genutzt, bestehend aus den folgenden Institutionen, Organisationen und Unternehmen:

- Bauwirtschaft Baden-Württemberg e.V.
- Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI

- Heinrich Feess GmbH & Co. KG
- Industrieverband Steine und Erden Baden-Württemberg e.V. (ISTE), n
- Ingenieure REUTER+KO Partnerschaftsgesellschaft
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft
Baden-Württemberg
- Qualitätssicherungssystem Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg
e.V. (QRB)
- Vollack archiTec GmbH & Co. KG

2 Recherche von regionaltypischen Materialien und Baukonstruktionen in Baden-Württemberg (AP1)

Als Beitrag zur Ressourcenschonung und zur Ermittlung der Stoffströme des aktuellen Nichtwohngebäude- und Infrastrukturbestandes ist die Kenntnis der verbauten Baustoffe erforderlich. Da sich die eingesetzten Baumaterialien und Konstruktionsweisen regional zum Teil erheblich unterscheiden und Nichtwohngebäude bisher kaum betrachtet werden, gibt es erheblichen Forschungsbedarf hinsichtlich regionaler Baustoffzusammensetzungen, ihrer regionalen Verbreitung und ihrer Baualtersklasse, insbesondere der Nichtwohngebäude.

Dabei ist die aktuelle Datenlage nicht sonderlich gut und eine Datenerhebung ist schwierig. Es existiert ein regionaltypischer Gebäude- und Bauteilkatalog (Klauß et al. 2009) mit 182 Bauteil-Datensätzen mit Bezug auf die Region (PLZ) und die Baualtersklasse. Allerdings sind die meisten dieser Gebäude auf den Raum Norddeutschland (vor allem Schleswig-Holstein, Dortmund, Kassel, Sachsen) und Bayern bezogen (Klauß et al. 2009, p. 189). In Thüringen, Mecklenburg-Vorpommern, Berlin und Brandenburg sind nur vereinzelte Datensätze (je <7) vorhanden. Für Rheinland-Pfalz, Hessen und Baden-Württemberg (PLZ-Regionen 5xxxx, 6xxxx und 7xxxx) sind keine Datensätze vorhanden. Daraus lassen sich nur bedingt Gebäudetypen und deren Materialcharakteristika in Baden-Württemberg ableiten.

Die regionaltypischen Materialien in Baden-Württemberg wurden bisher empirisch lediglich bei wenigen Abriss- bzw. Rückbauvorhaben ermittelt. Zur Verbesserung der Datensituation in Baden-Württemberg wurde daher in Arbeitspaket 1 eine Datenbank der typischen Baustoffgruppen (vgl. Kapitel 2.1) und Baualtersklassen der Region Baden-Württemberg erstellt, die als Grundlage für das zu entwickelnde Stoffstrommodell im AP 2 dient.

Der Gebäudebestand wurde basierend auf einer umfassenden Literaturrecherche und -analyse in verschiedene Gebäudetypen (vgl. Kapitel 2.2) und Baualtersklassen (vgl. Kapitel 2.3) unterteilt. Die Baualtersklassen sind über alle Gebäudetypen gleich (vgl. Tabelle 2-4). Je Gebäudetyp und Altersklasse wurden spezifische Materialkennwerte je Baustoffkategorie zusammengetragen (vgl. Kapitel 2.1 und 2.5) und ermittelt (vgl. Kapitel 2.6). Die ermittelten spezifischen Baustoffwerte je Gebäudetyp und Baualtersklasse werden als Modellparameter im Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands für Baden-Württemberg (Arbeitspaket 2, Kapitel 3) verwendet.

2.1 Baustoffkategorien

Die zusammengestellte Datenbank wurde nach diversen Baustoffen aufgeteilt. Dabei wurde zwischen mineralischen, metallischen und organischen Baustoffen unterschieden. Innerhalb dieser Baustoffarten wurde nochmal genauer zwischen speziellen Baustoffen unterschieden. Die im Projekt betrachteten Baustoffkategorien orientieren sich an der Stoffidentifikation des BMBF-Projektes ResourceApp (Rentsch et al. 2016; Volk, 2017) und der Materialsortierung auf den Baustellen beim Gebäuderückbau (vgl. Tabelle 2-1). In Tabelle 2-1 sieht man die genaue Beschreibung und Zuordnung einzelner Stoffe zu den verwendeten Baustoffkategorien. Je nach Altersklasse und Gebäudetyp wurden unterschiedliche spezifische Kennwerte der Baustoffkategorien bestimmt. Dies wurden entweder in der Literatur recherchiert oder per Regression (vgl. Kapitel 2.6.3) berechnet. Die Angaben der Baustoffe in der Datenbank sind in kg/m^3 BRI je Gebäudetyp und Baualtersklasse angegeben.

Tabelle 2-1: Betrachtete Baustoffkategorien in Anlehnung an die Stoffidentifikation des BMBF-Projektes ResourceApp (Rentsch et al. 2016; Volk, 2017) und Detaillierung der Baustoffkategorien basierend auf einer Zuordnung der Materialien aus den Daten der recherchierten Referenzgebäude

	Bezeichnung Baustoffkategorie	In diese Kategorie gruppierte Baustoffe
Mineralische Baustoffe	Beton	Kies und Splittbeton, Betonhohlblocksteine, Stahlbeton, Bimsbeton, Betonhohlblocksteine, Ziegelsplittbeton, Bimsbeton, Beton in Strohschalung
	Mauerwerk (>2000 kg/m ³)	Zementmörtel, Sandstein, Steinkohlenschlacke (z.B. in Decken), Kalkzementmörtel, Granit, Schlacke, Kalkmörtel, Zementmörtel, Marmor, Schiefer, Kalkzementmörtel, Volklinker
	Leichtbaustoffe (< 2000 kg/m ³)	Natürliche Steine und Erden, Sand (naturfeucht), Blähton (z.B. in Decken), Vollziegel, Kalksand-Lochsteine, Kalkmörtel, Bimssteine - Vollsteine, Lochziegel, Ziegelstein
	Dachziegel (nicht Betonsteine)	Dachziegel
	Gips	Gipsmörtel, Gips (in Gipsplatten mit Papierumhüllung)
	ungebundene Materialien (Steine v.a. aus dem Straßenbau)	Kies
	Glas	Flachglas, Spiegelglas
	Asphalt	Asphalt, Bitumen
	Sonstiges (Estrich, Putze, Keramik, Lehme etc.)	Fliesen, Keramik, Zementestrich, Porzellan, Putzmörtel, gipshaltig, mit Strohharmierung
Metalle	FE-Metalle (Eisen-Metalle)	Gusseisen, Stahl, Stahlbeton, Bewehrungsstahl in Stahlbeton; Stahlblech
	NE-Metalle (Nicht-Eisen-Metalle)	Zink, Aluminium, Kupfer, Aluminium, Messing
Organische Baustoffe	Holz (I+II)	Fichte/Tanne/Kiefer, Spanplatten, Holzfaser, Zink, Eiche/ Buche, Sperrholz, Holz, Bauholz zur Wiederverwendung, unbehandelt; Holzwolle (in Bauplatten); Holzfaser; Kork
	Holz (III+IV)	Fichte/Tanne/Kiefer behandelt, Fichte/Tanne/Kiefer lackiert; Holzschutzmittel behandelt
	Kunststoffe – PVC, EPS, PE, Sonstige	Kunststoffe und Beläge, PVC hart, PVC weich, Acrylglas, Polystyrol, Linoleum, Kunststoff (in Fußbodenbelag), PVC Bodenbelag, asbesthaltig (Flex-Platten); Polyethylen
	Textilien	Teppichboden, Tapete (bedruckt), Kabel, Elektronikabfälle, Textilien schwer
	Sonstige Bauabfälle	Pappe, Tapete, bedruckt, Elektronikschrott, Kabel, ölverunreinigte Baustoffe, Bitumen, Materialien in Bauteilen zur Weiterverwendung, Pflanzliche Faserdämmstoffe (Tort Kokos), Leuchtstoffröhren, Materialverbund

2.2 Gebäudetypen

Tabelle 2-2: Gebäudetypologie bis 2001 nach der Statistik zu Bautätigkeit. EFH: Einfamilienhaus. ZFH: Zweifamilienhaus. MFH: Mehrfamilienhaus. EFH, ZFH und MFH entsprechen der Bezeichnung der Statistik zu Bautätigkeit: Gebäude mit 1 Wohnung, 2 Wohnungen respektive 3 Wohnungen und mehr

Wohngebäude	Ein-/ Zweifamilienhaus	
	Mehrfamilienhaus	
Nichtwohngebäude	Anstaltsgebäude	
	Büro- und Verwaltungsgebäude	
	Betriebsgebäude	Landwirtschaftliche Betriebsgebäude
		Landwirtschaftliche Betriebsgebäude
Sonstige Nicht-Wohngebäude		

Tabelle 2-3: Gebäudetypologie ab 2002 nach der Statistik zu Bautätigkeit. EFH: Einfamilienhaus. ZFH: Zweifamilienhaus. MFH: Mehrfamilienhaus. EFH, ZFH und MFH entsprechen der Bezeichnung der Statistik zu Bautätigkeit: Gebäude mit 1 Wohnung, 2 Wohnungen respektive 3 Wohnungen und mehr.

Wohngebäude	Einfamilienhaus	
	Zweifamilienhaus	
	Mehrfamilienhaus	
Nichtwohngebäude	Anstaltsgebäude	
	Büro- und Verwaltungsgebäude	
	Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude	Fabrik- und Werkstattgebäude
		Handels- und Lagergebäude
		Hotels und Gaststätten
	Sonstige Nicht-Wohngebäude	

2.3 Baualtersklassen

Aufgrund der eher schwierigen Datenlage und zahlreichen unterschiedlichen Einteilungen des Gebäudebestands basiert die Methodik der Stoffstromanalyse (AP 2) (vgl. Kapitel 3) auf den Fortschreibungen des Mikrozensus. Daher wurden auch die Baualtersklassen für Gebäude des Mikrozensus als zeitliche Einheit in Arbeitspaket 1 verwendet (vgl. Tabelle 2-4).

Tabelle 2-4: Berücksichtigte Baualtersklassen basierend auf der Einteilung des Mikrozensus

Vor 1919
1919 - 1948
1949 - 1978
1979 - 1986
1987 - 1990
1991 - 1995
1996 - 2000
2001 - 2004
2005 - 2008
2009 und später

2.4 Referenzgebäude

Für die Erstellung der Datenbank von spezifischen Baustoffdaten wurden einerseits Daten von mehreren realen Referenzgebäuden aus der Literatur herangezogen und andererseits synthetische Gebäude verwendet (vgl. Kapitel 2.5). In Seemann (2003) sind Materialzusammensetzungen von 3 Mustergebäuden aufgeführt. Diese Gebäude wurden so ausgewählt, dass sie jeweils einen gebräuchlichen Gebäudetyp repräsentieren. Das erste Mustergebäude - hier als EFH1 bezeichnet - war ein in Massivbauweise errichtetes Einfamilienhaus aus Mauerwerk. Das zweite Mustergebäude ZFH1 war ein Zweifamilienhaus in Holzfachwerkbauweise. Das dritte NWG1 war ein Schulgebäude, welches als Beton-Massivbau errichtet wurde (Rentz et al. 1999). Das Mehrfamilienhaus (MFH1), sowie die beiden Nichtwohngebäude NWG1 und NWG2 sind Rentz (1998), Rentz et al. (1998c) sowie Rentz et al. (1998a) zu entnehmen.

Die ermittelten Baustoffe beim Rückbau dieser Referenzgebäude wurden den in Tabelle 2-1 aufgeführten Baustoffkategorien zugeordnet und dienen als Eingangsgrößen für das Stoffstrommodell.

Bei dem EFH1 (Einfamilienhaus) handelte es sich um ein Untersuchungsobjekt eines Forschungsprojekts in der Gondelheimer Straße 7 in Bruchsal-Obergrombach. Das Gebäude wies eine Grundfläche von 92,75 m², einen umbauten Raum von 650 m³ und einen Gewölbekeller, der sich jedoch nicht über die gesamte Grundfläche erstreckte, auf. Das genaue Baujahr wurde

in der Untersuchung von Seemann nicht angegeben (Seemann 2003). Aufgrund der in der Studie beigefügten Fotografie konnte in Anlehnung die „Deutsche Gebäudetypologie“ (IWU (2003, 2005)) das EFH1 der Altersklasse zwischen 1948-1960 zugeordnet werden.

Das ZFH1 (Zweifamilienhaus) ist ein Wohngebäude mit Anbauten aus dem Jahr 1910 (Seemann 2003). Das Gebäude wurde als Wohnhaus genutzt, wobei auch ein Hotelbetrieb mit Fremdenzimmern untergebracht war. Das Gebäude wurde im Rahmen eines wissenschaftlich begleiteten Pilotprojekts selektiv rückgebaut und die anfallenden Kosten für Demontage und Entsorgung ermittelt. Die Grundfläche betrug insgesamt 425 m² woraus sich ein Bruttorauminhalt von 4950 m³ errechnet. Das ZFH1 wird als Referenzgebäude für die Gebäudetypen Wohngebäude und nichtlandwirtschaftliche Gebäude der Altersklasse "Vor 1919" herangezogen.

Das MFH1 (Mehrfamilienhaus), ein Reihenhauskomplex befand sich in der Rue de la Fonderie 18 bis 36 in Mulhouse (Rentz et al. 1998d). Er bestand aus 8 identischen Gebäudeteilen und war vollständig unterkellert. Die Häuser Nr. 1 bis Nr. 4 wurden im Jahr 1856, die Häuser Nr. 5 bis 8 im Jahr 1876 erbaut. Das Gebäude war in Massivbauweise aus Mauerwerk errichtet worden. Die Bauweise war durch die Verwendung von Sandstein und Granit für die Außenwände, Vollziegel und Holz für die Innenwände, und Holz für die Decken geprägt. Erst im Jahr 1906 wurden die Treppenhäuser aller Gebäude nachträglich mit einem Vorbau versehen, so dass jede Etage mit einem WC versehen war. Jedes Gebäude hat eine Nutzfläche von ca. 75 m² und einen Bruttorauminhalt von ca. 1050 m³. Die Grundrisse der ersten und zweiten Etage sind identisch. Ein Dachgeschoss war vorhanden. Das Gebäude wurde für die Unterbringung von Arbeitern genutzt, die in einem nahgelegenen Unternehmen beschäftigt waren. Das Gebäude stellt also den Gebäudetyp "Wohngebäude mit 3 Wohnungen und mehr vor 1919" dar mit der Annahme, dass die Gebäude in Mulhouse und Baden-Württemberg auf Grund der geographischen Gegebenheit identisch waren (Rentz et al. 1998b).

Das NWG1 steht stellvertretend für Schul- und Verwaltungsgebäude der Altersklasse 1949-1978. Bei diesem Objekt handelte es sich um ein ehemaliges Gymnasium in Frankreich aus dem Jahr 1965. Das Gebäude wurde als Stahlbeton-Massivkonstruktion mit einer Grundfläche von 1775 m² und einem Bruttorauminhalt von 18000 m³ errichtet. Das Gebäude wurde im Jahr 1998 rückgebaut, so dass genaue Informationen über die baustoffliche Zusammensetzung vorliegen (Rentz et al. 1999). Auch hier liegt die Annahme zugrunde, dass Gebäude des gleichen Typs zur gleichen Zeit in Baden-Württemberg mit den gleichen spezifischen Baustoffmassen gebaut wurden.

Das zweite Nichtwohngebäude NWG2, ein Aufbaugymnasium in Rottweil mit einem Bruttorauminhalt von 50.000 m³ wurde im Jahr 1905 errichtet und ist stellvertretend für die sonstigen Nichtwohngebäude vor 1919 (Rentz et al. 1998c).

Das dritte Nichtwohngebäude NWG3 ist ein Lagergebäude in Frankreich mit einem Bruttorauminhalt von 13.250 m³. Es wurde im Jahre 1958 errichtet und ist stellvertretend für die nichtlandwirtschaftlichen Betriebsgebäude der Altersklasse 1949-1978 (Rentz et al. 1998a).

Die weiteren NWG entstammen der IÖR-Datenbank (vgl. Kapitel 2.5).

2.5 Synthetische Gebäude vom Institut für ökologische Raumentwicklung

In der vom Institut für ökologische Raumentwicklung entwickelten Datenbank sind Flächen-/Volumen- und Materialkennwerte für verschiedenen Gebäude erfasst. Die in der Datenbank enthaltenen ressourcenbezogenen Informationen basieren auf empirisch erhobenen Einzelobjekten (Repräsentanten) des Hoch- und Tiefbaus in Deutschland (IÖR 2018). Diese wurden aus Material- und Konstruktionsdaten auf Bauteilebene zusammengestellt und basieren auf Bauunterlagen (Zeichnungen, Plänen, Fotos und Baubeschreibungen) (IÖR 2018). Um die Materialkennzahlen der

Gebäude abzuschätzen, wurden Angaben über sämtliche Bauteile aus Wohn- und Nichtwohngebäuden aus der Objektdatenbank des Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammern (BKI-Datenbank) ausgewertet (Ortlepp et al. 2017).

Die sogenannten synthetischen Gebäude der dargestellten Ein-, Zwei- und Mehrfamiliengebäude sowie Nichtwohngebäude basieren auf Durchschnittswerten der empirisch erhobenen Einzelobjekte je Altersklasse. Die synthetischen Gebäude des IÖR werden ebenfalls im Rahmen der Modellrechnungen und Analysen verwendet. Die Eckdaten der synthetischen Gebäude sind in Tabelle 2-5 und Tabelle 2-6 zusammengefasst.

Tabelle 2-5: Überblick über die synthetischen Wohngebäude des Institutes für ökologische Raumentwicklung (IÖR 2018)

Wohngebäude	Ein- und Zweifamilienhaus				Mehrfamilienhaus			
	bis 1960	1961-1990	1991-2010	bis 1918	1919-1948	1949-1978	1979-1990	1991-2010
Anzahl Repräsentanten	12	11	11	8	3	6	5	7

Tabelle 2-6: Überblick über die synthetischen Nichtwohngebäude des Institutes für ökologische Raumentwicklung (IÖR 2018)

Nichtwohngebäude	Baujahre	Steckbrief	Anzahl Repräsentanten	Bezeichnung im Bericht ¹
Anstaltsgebäude	1998-2012	Pflegeheime	15	NWG4
Büro- und Verwaltungsgebäude	1976-1998	–	85	NWG5
Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	1992-2003	Landwirtschaftliche Halle	7	NWG6
Fabrik- und Werkstattgebäude	1977-2009	Produktionshalle	47	NWG7
Handels- und Lagergebäude	1977-2010	Autohäuser; Lagerhallen	9; 19	NWG8, NWG9
Sonstige Nichtwohngebäude	1976-2009	Schulen; Sport- und Mehrzweckhallen	33; 48	NWG12, NWG13

2.6 Ermittlung der spezifischen Baustoffmassen je Gebäudetyp und Altersklasse

2.6.1 Ermittlung der spezifischen Baustoffmassen durch die Statistik zur Bautätigkeit für Baden-Württemberg

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über die methodischen Schritte der Ermittlung der spezifischen Massen an Beton, Leichtbaustoffe ($< 2000 \text{ kg/m}^3$), Eisen, unbehandeltes und behandeltes Holz für Baden-Württemberg gegeben. Die Methoden beruhen auf die durch das IÖR entwickelten Methoden und beziehen sich auf die Daten der Statistik zu Bautätigkeit, da diese

¹ NWG10 und NWG11 wurden in der Auswertung nicht weiter betrachtet, da es sich um Tiefgaragen handelt.

eine Bestandsaufnahme des Baden-Württembergischen Gebäudebestandes ermöglichen.

Die Statistik zu Bautätigkeit des baden-württembergischen Statistischen Landesamtes enthält Angaben zum überwiegend verwendeten Baustoff von Gebäuden. Der überwiegend verwendete Baustoff ist dabei wie folgt definiert: „Überwiegend verwendeter Baustoff ist derjenige, der bei der Erstellung der tragenden Konstruktion des Gebäudes überwiegend Verwendung findet“ (Statistisches Bundesamt 1999). Der überwiegend verwendete Baustoff wird seit dem Jahr 1980 in den Statistischen Berichten des Statistischen Landesamtes erfasst. In der Statistik sind weiterhin Angaben zu den Bruttorauminhalten der Gebäude erhalten, die überwiegend mit einem bestimmten Baustoff in jedem Jahr zwischen 1980 und 2015 neu errichtet wurden. Dabei ist für jede Gebäudeart angegeben, wie viel Volumen die tragenden Konstruktionen der neuen Gebäude überwiegend aus Stahl, Stahlbeton, Holz, Ziegel, sonstigem Mauerstein (seit 2010 wird der sonstige Mauerstein in Kalksandstein, Porenbeton und Leichtbeton BIMS erfasst) sowie sonstigem Baustoff bestehen. Der sonstige Baustoff wurde nicht weiter untersucht, da die Baustoffe, die darunterfallen, nicht nachvollziehbar waren. Von 1980 bis 2001 wurden die Wohn- und Nichtwohngebäude in Skelettbauweise und konventionelle Bauweise (Massivbau) unterteilt.

Die Angaben über die Bruttorauminhalte wurden für die weitere Analyse zusammengeführt.

Um das Konstruktionsvolumen der Gebäude mit einem bestimmten, überwiegend verwendeten Baustoff zu ermitteln, werden Annahmen aus der Literatur herangezogen. Diese Annahmen basieren auf empirischen Untersuchungen des Instituts für ökologische Raumentwicklung zum Verhältnis der Gebäudegrundflächen und -volumina (Schiller et al. 2010). Die Annahmen besagen, dass das Verhältnis von Konstruktionsvolumen zum Bruttorauminhalt eines Gebäudes gleich dem Verhältnis von Konstruktionsgrundfläche zur Bruttogrundfläche ist (DIN 277, Schiller et al. 2010). Die im Folgenden angenommenen Werte je Gebäudetyp und Altersklasse sind in Tabelle 2-7 enthalten. Für die Wohngebäude wurde ein Mittelwert aus den

Konstruktions-Grundflächen-Anteilen der MFH und E/ZFH ermittelt und für weitere Auswertungen verwendet.

Tabelle 2-7: Anteile der Konstruktionsgrundflächen an der Gebäudegrundfläche unterschiedlicher Gebäudearten (Schiller et al. 2010; Gruhler und Böhm 2011a,b).

Nichtwohngebäude		Wohngebäude	
Gebäudearten	Konstruktions-Grundflächen-Anteile in %	Gebäudearten	Konstruktions-Grundflächen-Anteile in %
Anstaltsgebäude	14	Mehrfamilienhäuser 1870-1918	18
Büro- und Verwaltungsgebäude	13	Mehrfamilienhäuser 1919-1960	15
Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	4	Mehrfamilienhäuser 1961-1990	12
Fabrik- und Werkstattgebäude	8	Mehrfamilienhäuser nach 1990	13
Handels- und Lagergebäude	8	Ein/Zweifamilienhäuser 1960-1990	17
Hotels und Gaststätten	14	Wohngebäude gesamt Mittelwert	15

Das den weiteren Berechnungen zugrunde gelegte Konstruktionsvolumen nach überwiegend verwendetem Baustoff ist also das Ergebnis der Multiplikation des Bruttorauminhaltes nach einem bestimmten, überwiegend verwendeten Baustoff mit dem Konstruktions-Grundflächen-Anteil.

Das Konstruktionsvolumen besteht allerdings aus einer tragenden und einer nichttragenden Konstruktion (vgl. Tabelle 2-8). Die Ergebnisse des Leibniz Instituts für ökologische Raumentwicklung zeigen, dass die in der Statistik zu Bautätigkeit erfassten Baustoffe überwiegend in der tragenden Struktur vertreten sind. Die nichttragenden Elemente beinhalten Putze, Dämmschichten sowie verschiedenartige Fassadenelemente und Wandverkleidungen. Bei der Konstruktionsweise Stahlbetonbau sind Ziegel und sonstige Mauersteine zusätzlich zu Putzen, Dämmschichten sowie verschiedenartige Fassadenelemente und Wandverkleidungen anzutreffen. Dabei hat die nichttragende Struktur einen Volumenanteil zwischen 5% und 25%

(Schiller et al. 2010). Für die nachfolgende Auswertung wird die Annahme getroffen, dass der Volumenanteil von Ziegeln und sonstigen Mauersteinen deutlich unter 25% des nichttragenden Konstruktions- volumens liegt. Der Massenanteil der Stoffe Stahl, Stahlbeton, Holz, Ziegel, sonstiger Mauerstein am Gewicht der nichttragenden Struktur wird also im Rahmen dieser Auswertung vernachlässigt. Das Konstruktionsvolumen wird mit dem Anteil der tragenden Struktur multipliziert.

Tabelle 2-8: Anteil der tragenden Konstruktionen an der Gesamtkonstruktion für typische Konstruktionsweisen (Schiller et al. 2010).

Konstruktionsweise	Anteil an tragender Konstruktion in %		Anteil an nicht tragender Konstruktion in %	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Massivbau	85	95	5	15
Holzbau	65	75	25	35
Stahlbau	2	8	92	98
Stahlbetonbau	75	85	15	25

Zur Umrechnung des Konstruktionsvolumens von Kubikmetern [m³] pro Nichtwohngebäude in Kilogramm Baustoffmasse [kg] wurde jeweils für die Baustoffkategorien Stahl, Stahlbeton, Holz, Ziegel, sonstiger Mauerstein sowie sonstiger Baustoff eine durchschnittliche Dichte definiert (vgl. Tabelle 2-9). Die durchschnittliche Dichte je vorwiegend verwendetem Baustoff wird mit dem Volumen der tragenden Struktur multipliziert. Somit wurde die Masse an Stahl, Stahlbeton, Holz, Ziegel und sonstigem Mauerstein des baden-württembergischen Gebäudebestands abgeschätzt.

Die Menge an Stahl, Stahlbeton, Holz, Ziegel und sonstigem Mauerstein des baden-württembergischen Gebäudebestands wird durch den Bruttorauminhalt eines Gebäudetyps jeweils für die Jahre 1980 bis 2015 geteilt. Dadurch wird für jedes Jahr und jeden Gebäudetyp die Menge in kg/m³ jedes Baustoffes Stahl, Stahlbeton, Holz, Ziegel und sonstiger Mauerstein ermittelt. Kalksandstein, Porenbeton und Leichtbeton Bims ersetzen den sonstigen Mauerstein ab 2009.

Tabelle 2-9: Dichte der in der Statistik zu Bautätigkeit erfassten Baustoffe
(Schiller et al. 2010)

Baustoff	Mischdichte in kg/m ³
Stahl	7800
Beton	2400
Holz	700
Ziegel	1800
Sonst. Mauerstein	1370
Kalk-sandstein	1700
Porenbeton	500
Leichtbeton Bims	1400

Jeder Baustoff aus der Statistik zu Bautätigkeit wird einem Baustoff des hier verwendeten Baustoffkataloges zugeordnet (vgl. Tabelle 2-10). Die Massenanteile des Bewehrungsstahles (4%) und des Zements (96%) im Stahlbeton wurden der Literatur entnommen (Gruhler et al. 2002). Die Massenanteile an unbehandeltem und behandeltem Holz wurden aus dem Mittelwert der Referenzgebäude EFH1, ZFH1, MFH1, NWG1, NWG2 und NWG3 ermittelt. Die synthetischen Gebäude wurden hierfür nicht in Betracht gezogen, da ihre Zusammensetzung keine Differenzierung zwischen unbehandeltem und behandeltem Holz aufwies.

Somit konnte die Datenbank mit Mittelwerten aus den Angaben über die Stoffe Eisen/Stahl, Beton, Holz I + II (unbehandelt), Holz III + IV (behandelt) sowie Leichtbaustoffe (<2000 kg/m³) bei den Altersklassen „1979-1986“, „1987-1990“, „1991-1995“, „1996-2001“, „2002-2004“, „2005-2008“ und „2009+“ ausgefüllt werden. In der Altersklasse 1979-1986 wurden die Daten von 1980 bis 1986 aus der Statistik zu Bautätigkeit herangezogen. Hier wurde die Annahme getroffen, dass der Mittelwert der Baustoffmassen für die Jahre 1979 bis 1986 gleich ist wie der Mittelwert für die Jahre 1980 bis 1986.

Tabelle 2-10: Zuordnung der Baustoffe aus der Statistik zu Bautätigkeit zu dem StAR-Bau-Baustoffkatalog

Baustoff aus der Statistik zu Bautätigkeit	Baustoff aus dem StAR-Bau-Baustoffkatalog	Notwendige Umrechnungsfaktoren
Stahl	Fe	Keine
Stahlbeton	Fe, Beton	Massenanteile des Bewehrungsstahles (4 gew-%) und des Zements (96 gew-%) (Gruhler et al. 2002)
Holz	Holz I + II (unbehandelt), Holz III + IV (behandelt)	Massenanteile des behandelten und unbehandelten Holzes
Ziegel	Leichtbaustoffe (<2000 kg/m ³)	Keine
Sonstiger Mauerstein (ab 2009 Kalksandstein, Porenbeton, Leichtbeton Bims)	Leichtbaustoffe (<2000 kg/m ³)	Keine

2.6.2 Ermittlung der spezifischen Baustoffmassen mit den synthetischen Gebäuden des Instituts für ökologische Raumentwicklung

Die Ermittlung der Menge an Mauerwerk, Dachziegel, Gips, ungebundene Materialien, Glas, Asphalt, Sonstiges, NE-Metalle, Kunststoffe, Textilien und sonstige Bauabfälle für Baden-Württemberg wurden in dieser Hochrechnung mit Hilfe der synthetischen Gebäude des IÖR (vgl. Kapitel 2.5) und der Referenzgebäude (vgl. Kapitel 2.4) durchgeführt. Hierfür wurde jeder Baustoff aus den Referenzgebäuden EFH1, ZFH1, MFH1, NWG1, NWG2 und NWG3 einer Baumaterialgruppe des Institutes für ökologische Raumentwicklung zugeordnet (Tabelle 2-11). Danach wurde der Anteil jedes oben genannten Baustoffes in der Baumaterialgruppe des Institutes für ökologische Raumentwicklung ermittelt (Tabelle 2-11). Am Beispiel des Baustoffes Mauerwerk (>2000 kg/m³) wurde die IÖR-Baumaterialgruppe Mauersteine herangezogen. Die Daten zu den Referenzgebäuden NWG1, NWG2, NWG3, EFH1, ZFH1, MFH1 liegen so vor, dass jeder Baustoff einer IÖR-Baustoff-

kategorie zugeordnet und der Anteil daran ermittelt werden kann (vgl. Tabelle 2-11). Tabelle 2-11 lässt sich so lesen, dass bspw. NE-Metalle 2% [Gewichts-%] der Metalle in NWG ausmachen. Dieser Wert stammt aus den NWG1, 2 und 3.

Teilweise wurden NWG und WG kombiniert (vgl. Dachziegel oder ungebundene Materialien in Tabelle 2-11), um plausible Werte zu erhalten. Im Falle der Dachziegel ist bspw. bei ausschließlicher Berücksichtigung von NWG1, 2 und 3 der Anteil bei 0%. Bei zukünftiger Modellanwendung sollten, falls vorhanden, weitere Datensätze für die Gewichtsanteile der Baustoffe in Gebäuden zugrundegelegt werden, um die Datenbasis zu verbessern. Weiterhin war aufgrund der gewählten Baustoffkategorien die Anwendung der Methodik mit dem überwiegend verwendeten Baustoff nicht anwendbar und die Zuordnung von einigen Stoffen nicht möglich (z.B. Beton, Leichtbaustoffe).

Dieser Anteil wurde mit den Baustoffmassen in kg/m^3 der IÖR-Baustoffkategorie multipliziert, die für die synthetischen Gebäude berechnet wurden. Jeder Gebäudetyp wurde mindestens einem synthetischen Gebäude zugeordnet (vgl. Tabelle 2-12). Danach wurde diese resultierende Stoffkennzahl mit einem weiteren Korrekturfaktor multipliziert. Dieser Korrekturfaktor normiert die Stoffkennzahl anhand des durchschnittlichen Bruttorauminhaltes des Gebäudetyps mit dem Bruttorauminhalt des entsprechenden synthetischen Gebäudes.

2 Recherche von regionaltypischen Materialien und Baukonstruktionen (AP1)

Tabelle 2-11: Zuordnung der hier verwendeten Baustoffe zu den IÖR-Baustoffkategorien sowie Gewichtsanteile der jeweiligen Baustoffgruppen

		Gewichtsanteile des Baustoffes in den Referenzgebäuden			
Baustoff	Baumaterialgruppe nach IÖR	Referenzgebäude (NWG)	Durchschnittlicher Anteil in NWG [gew.-%]	Referenzgebäude (WG)	Durchschnittlicher Anteil in WG [gew.-%]
Mauerwerk (>2000 kg/m ³)	Mauerstein	NWG1, NWG2, NWG3	68%	EFH1, ZFH1, MFH1	80%
Dachziegel	Dachdeckungen	NWG1, NWG2, NWG3, EFH1, ZFH1, MFH1	49%	EFH1, ZFH1, MFH1	99%
Gips	Putze, Estriche und andere Mörtelschichten	NWG1, NWG2, NWG3	6%	EFH1, ZFH1, MFH1	13%
Ungebundene Materialien	Sonstige gebräuchliche Stoffe und Schüttungen	NWG1, NWG2, NWG3	19%	EFH1, ZFH1, MFH1, NWG1, NWG2, NWG3	10%
Glas	Sonstige gebräuchliche Stoffe und Schüttungen	NWG1, NWG2	20%	EFH1, ZFH1, MFH1	13%
Asphalt	Beläge und Dichtungsbahnen	NWG1, NWG2, NWG3	31%	EFH1, ZFH1, MFH1	46%
Sonstiges (Estrich, Putze, Keramik, Lehme, etc.)	Putze, Estriche und andere Mörtelschichten	NWG1, NWG2, NWG3	13%	EFH1, ZFH1, MFH1	13%
NE-Metalle	Metalle	NWG1, NWG2, NWG3	2%	EFH1, ZFH1, MFH1	13%
Kunststoffe – PVC, EPS, PE, Sonstige	Beläge und Dichtungsbahnen	NWG1, NWG2, NWG3	26%	EFH1, ZFH1, MFH1	30%

2.6 Ermittlung der spezifischen Baustoffmassen je Gebäudetyp und Altersklasse

Textilien	Beläge und Dichtungsbahnen	NWG1, NWG2, NWG3	31%	EFH1, ZFH1, MFH1	7%
Sonstige Bauabfälle	Sonstige gebräuchliche Stoffe und Schütungen	NWG1, NWG2, NWG3	14%	EFH1, ZFH1, MFH1	44%

Das durchschnittliche Volumen eines Gebäudetyps in einer bestimmten Altersklasse – ab 1979 für Nichtwohngebäude und ab 1949 für Wohngebäude – wurde mit Hilfe der Statistik zu Bautätigkeit ermittelt. Hierfür wurde für jedes Jahr der Bruttorauminhalt der Baufertigstellungen in m³ durch die Anzahl der neu errichteten Gebäude geteilt. Die Anzahl und Bruttorauminhalte der nichtlandwirtschaftlichen Betriebsgebäude wurden ab dem Jahr 1983 differenziert. Für jedes Jahr ab 1983 wurde die Summe der Bruttorauminhalte neu errichteter Fabrik- und Werkstattgebäude, Handels- und Lagergebäude und Hotels und Gaststätten durch die Anzahl dieser Gebäude dividiert, um den durchschnittlichen Bruttorauminhalt jedes Gebäudetyps zu erhalten.

Bei den nichtlandwirtschaftlichen Betriebsgebäuden zwischen 1979 und 2002 wurde ein Mittelwert der Volumina der synthetischen IÖR-Gebäude (hier bezeichnet als NWG7, NWG8, NWG9 und MFH5) ermittelt (vgl. Tabelle 2-6). Bei sonstigen Nichtwohngebäuden wurde der Mittelwert aus den Volumina der synthetischen Gebäude NWG12 und NWG13 gebildet (vgl. Tabelle 2-6).

2 Recherche von regionaltypischen Materialien und Baukonstruktionen (AP1)

Tabelle 2-12: Zuordnung der Gebäudetypen nach Altersklasse zu den synthetischen Gebäuden des Instituts für ökologische Raumentwicklung

Gebäudetyp	Altersklasse							
	1949-1978	1979-1986	1987-1990	1991-1995	1996-2001	2002-2004	2005-2008	2009 und später
Anstaltsgebäude		NWG4	NWG4	NWG4	NWG4	NWG4	NWG4	NWG4
Büro- und Verwaltungsgebäude		NWG5	NWG5	NWG5	NWG5	NWG5	NWG5	NWG5
Landwirtschaftliche Betriebsgebäude		NWG6	NWG6	NWG6	NWG6	NWG6	NWG6	NWG6
Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude		NWG7, NWG8, NWG9, MFH5	NWG7, NWG8, NWG9, MFH5	NWG7, NWG8, NWG9, MFH6	NWG7, NWG8, NWG9, MFH6	-	-	-
Fabrik- und Werkstattgebäude		-	-	-	-	NWG7	NWG7	NWG7
Handels- und Lagergebäude		-	-	-	-	NWG8, NWG9	NWG8, NWG9	NWG8, NWG9
Hotels und Gaststätten		-	-	-	-	MFH6	MFH6	MFH6
Sonstige Nichtwohngebäude		-	-	-	-	NWG12, NWG13	NWG12, NWG13	NWG12, NWG13
EFH		-	-	-	-	E-/ZFH4	E-/ZFH4	E-/ZFH4
ZFH		-	-	-	-	E-/ZFH4	E-/ZFH4	E-/ZFH4
MFH	MFH4	MFH5	MFH5	MFH6	MFH6	MFH6	MFH6	MFH6
E-/ZFH	E-/ZFH3, E-/ZFH2	E-/ZFH3	E-/ZFH3	E-/ZFH4	E-/ZFH4	-	-	-

Die Anstaltsgebäude, Büro- und Verwaltungsgebäude und landwirtschaftliche Betriebsgebäude wurden für die Altersklassen ab 1979 dem NWG4 (Pflegeheim), NWG5, sowie NWG6 (landwirtschaftliche Halle) zugeordnet. Die nichtlandwirtschaftlichen Betriebsgebäude werden in der Statistik zu Bautätigkeit (bei der Erhebung des überwiegend verwendeten

Baustoffes) ab 2002 in Fabrik- und Werkstattgebäude, Handels- und Lagergebäude und Hotels und Gaststätten differenziert. Aus diesem Grunde wurden für die Altersklasse nach 2002 die nichtlandwirtschaftlichen Betriebsgebäude einzeln betrachtet. Sie entsprechen den synthetischen Gebäuden NWG7 (Produktionshalle), NWG8 (Autohaus), NWG9 (Lagerhalle) und MFH6 (Hotels und Gaststätten). Für die Altersklassen vor 2002 wurde der Mittelwert dieser 4 synthetischen Gebäude gebildet. Das Gleiche trat bei Ein- und Zweifamilienhäusern auf. Für alle Baualtersklassen vor 2002 wurden die 2 Gebäudetypen (Ein- und Zweifamilienhäuser) zusammengefügt.

Die entsprechenden synthetischen Gebäude waren vor 2002 E-/ZFH2, E-/ZFH3, E-/ZFH4, und ab 2002 E-/ZFH4. Eine weitere Besonderheit trat bei den Ein- und Zweifamilienhäusern der Altersklasse 1949-1978 auf. Zwei synthetische Ein- und Zweifamilienhäuser des IÖR vertreten die Altersklasse 1949-1978. Die NWG4 bis NWG13 bildeten einen Zeitraum von 1977 bis 2012 ab. Die restlichen synthetischen Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäuser bilden einen Zeitraum bis 2010 ab. Außerdem waren die Daten zu Anzahl und Rauminhalt der Wohngebäude und Nichtwohngebäuden ab 1968 nachvollziehbar. So konnten die Mengen der Baustoffe der Wohngebäude in der Altersklasse 1949-1978 ermittelt werden.

Annahmen wurden bei den folgenden Baustoffen getroffen:

- Dachziegel: Da die Baustoffkategorie „Dachziegel“ in den NWG1, NWG2 und NWG3 nicht vorhanden waren, wurden die Mengen an Dachziegeln aus EFH1, ZFH1, MFH1 herangezogen (Tabelle 2-11). Damit wurde der nicht plausible Wert Null bei Dachziegeln in Nichtwohngebäuden vermieden, allerdings kann diese Annahme zur Überschätzung der Dachziegel im NWG-Bestand führen.
- Ungebundene Materialien: Aus den Daten der EFH1, ZFH1, MFH1 konnten keine Hinweise zur Menge an ungebundenen Materialien entnommen werden. Deshalb wurden die Werte für ungebundenen Materialien der NWG1, NWG2 und NWG3 auch für Wohngebäude verwendet (Tabelle 2-11).

Glas: Bei NWG3 besteht die Baumaterialgruppe sonstige gebräuchliche Stoffe und Schüttungen ausschließlich aus Glas. Der resultierende Prozentsatz treibt den Mittelwert aus NWG1, NWG2 und NWG3 nach oben (47%), wobei dieser Wert für NWG1 und NWG2 bei 20% liegt. Der Wert des NGW3 wird hier als Ausreißer gewertet und nicht berücksichtigt.

2.6.3 Ermittlung der Mengen an Baustoffen in früheren Altersklassen bis 1978

Die Baustoffmassen (Tabelle 2-1) konnten durch die oben genannten Ansätze für die Altersklassen ab 1979 für Nichtwohngebäude und teilweise ab 1949 für Wohngebäude (Kapitel 2.6.3) ermittelt werden. Für die Altersklassen vor 1979 und 1949 wurden mit den gewonnenen Datensätzen (vgl. Kapitel 2.4, 2.5, 2.6.1, 2.6.2) verschiedene Regressionen durchgeführt. Für jeden Gebäudetyp und jeden Baustoff konnten Werte für die Jahre 1900 bis 1979 ermittelt werden.

Ab 2009 wurde in der Statistik zu Bautätigkeit der Baustoff „Sonstiger Mauerstein“ durch „Kalksandstein“, „Porenbeton“ und „Leichtbeton Bims“ ersetzt. Für die Regression wurden die Materialkennwerte der Baustoffe Kalksandstein“, „Porenbeton“ und „Leichtbeton Bims“ aufsummiert. Für die nichtlandwirtschaftlichen Gebäude wurden die Materialkennwerte der Fabrik und Werkstattgebäude, Handels- und Lagerhallen und Hotels und Gaststätten aus den Jahren 2001 bis 2015 aufsummiert, sodass der Gebäudetyp „nichtlandwirtschaftliche Gebäude“ vereinheitlicht ist. Ebenfalls wurden die Materialkennwerte der Gebäudetypen Einfamilienhaus und Zweifamilienhaus für die Jahre 2002 bis 2015 addiert, sodass sie mit den Materialkennwerten aus den Jahren 1980 bis 2001 vergleichbar sind. Somit war für die Regression die Kontinuität der Daten gewährleistet.

Für jeden Baustoff wurden 2 Regressionen (Nichtwohngebäude: je mit Potenz- und Logarithmusfunktion, vgl. Abbildung 2-1; Wohngebäude: Potenz- und die Exponentialfunktion, vgl. Abbildung 2-2) durchgeführt. Die

2.6 Ermittlung der spezifischen Baustoffmassen je Gebäudetyp und Altersklasse

Regressionsfunktionen wurden so ausgewählt, dass die simulierten Verläufe keine negativen Werte aufweisen. Dies war mit den genannten Funktionen je Gebäudetyp möglich. Zudem wurde auch der Mittelwert aus beiden Funktionen gebildet, um starke Abweichungen abzuschwächen. Danach wurden Mittelwerte für die Altersklassen vor 1979 ermittelt.

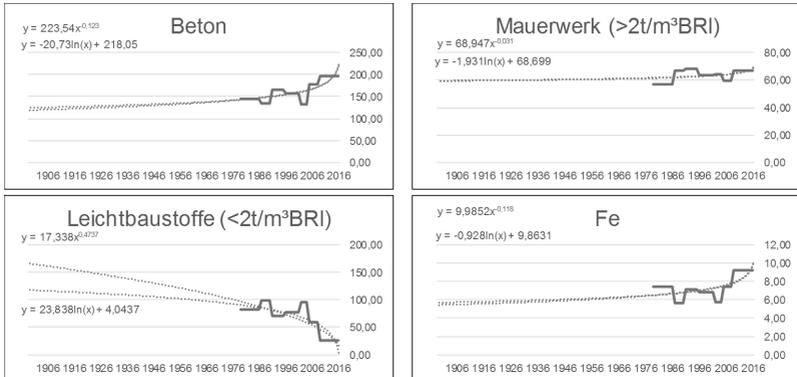


Abbildung 2-1: Bsp. NWG-Anstaltsgebäude – Regression mit Potenz- und Logarithmusfunktion am Bsp. für Beton, Mauerwerk, Leichtbaustoffe und Eisenmetalle

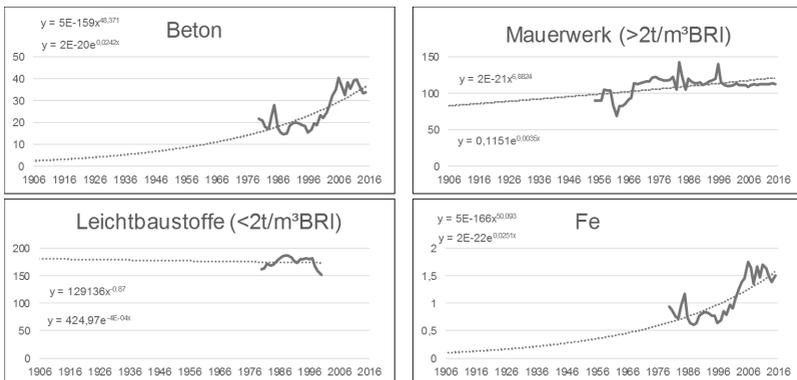


Abbildung 2-2: Bsp. WG-Einfamilienhäuser – Regression mit Potenz- und Exponentialfunktion am Bsp. für Beton, Mauerwerk, Leichtbaustoffe und Eisenmetalle

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands von Baden-Württemberg (AP2)

3.1 Ziel des Arbeitspakets

In AP 2 erfolgte die Quantifizierung des aktuellen und zukünftigen Gebäudebestandes, der Infrastruktur und der Stoffflüsse, die aus Zubau, Abriss, Sanierung sowie Umnutzung/-bau resultieren. Dies wurde nach den Kreisen und kreisfreien Städten in Baden-Württemberg differenziert. Die Quantifizierung wurde derart gestaltet, dass eine Verknüpfung mit den im Arbeitspaket 1 (vgl. Kapitel 2) ermittelten gebäudespezifischen Materialmengen möglich ist, um schließlich den Gebäudebestand und die Infrastruktur sowie die Stoffflüsse differenziert nach Kreisen und kreisfreien Städten angeben und prognostizieren zu können. Es wurde davon ausgegangen, dass Angebot und Bedarf einer Baustoffkategorie innerhalb eines Kreises mit einem angemessenen Transportaufwand (max. Transportradius) zusammengeführt werden können. Über die Variation von Modellparametern sind unterschiedliche, zukünftige Szenarien hinsichtlich demografischer Entwicklung abbildbar, die sich unterschiedlich im Bestand und den Stoffströmen niederschlagen. Die Ergebnisse werden in Kapitel 3.4 dargestellt und diskutiert.

3.2 Stand der Forschung / Technik

Für den Bereich der Wohngebäude existieren einerseits Studien, die sich auch mit dem Materiallager und dessen Prognose für ganz Deutschland befassen [Gruhler & Böhm 2011a], [Deilmann et al. 2014]. Erste Ansätze zur Regionalisierung werden in [Schiller et al. 2010] verfolgt. Mit [Zensus 2011] liegen die benötigten Daten auf Kreisebene vor. Weiterhin verfügbar sind

kreisscharfe Prognosen zum Wohnungsmarkt [BBSR 2015] sowie zu westdeutschen Leerstandsquoten und Abrisstätigkeiten [Banse & Effenberger 2006, Gruhler & Böhm 2011a].

Für den Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland liegen bislang nur überregionale Abschätzungen vor ([Dirlich 2011], [Gruhler & Böhm 2011b], [Deilmann et al. 2013], [Deilmann et al. 2014]). Basis der Abschätzungen ist in vielen Fällen das für den staatlichen und gewerblichen Gebäudebestand verfügbare, preisbereinigte Brutto-Anlagevermögen, welches über die Kosten im Neubau und die Bautätigkeitsstatistik in Anzahl Gebäude, Nutzflächen und Rauminhalte umgerechnet werden kann. Hoch- und Tiefbau sind bei den Nichtwohngebäuden zusammen veranlagt, so dass eine Abschätzung des Hochbauanteils nötig ist. Daten bis auf Kreisebene liegen hierzu aber nicht vor.

In der Regionalstatistik gibt es Angaben zur Größe der Gebäude- und Freifläche vom Typ Gewerbe/Industrie, welche aber Annahmen zum bebauten Anteil erfordern, um daraus entsprechende Gebäudegrundflächen abzuleiten.

Einen anderen Weg beschreitet [Deilmann et al. 2013], indem hier die vorhandenen Geoinformationsdaten zu Fläche und Gebäudenutzung aus dem ALKIS für vier Bundesländer (u.a. Baden-Württemberg) ausgewertet werden. Über zusätzlich erhobene typische Gebäude- und Geschosshöhen konnten Netto-, Bruttogrundfläche und Bruttorauminhalt bestimmt werden. Mit derartigen Geoinformationsdaten ist eine regionale Auswertung des Nichtwohngebäudebestandes bei entsprechender Qualität der Daten leistbar. Für Baden-Württemberg liegt ein aus Geodaten abgeleitetes gebührenpflichtiges 3D-Gebäudemodell unter Spezifizierung verschiedener Dachformen (Level of Detail LoD 2) vor, in welchem Angaben zur Grundfläche, Geschossigkeit, Höhe und dem Gebäudenutzungstyp vorgehalten werden.

Die in Open Street Map vorgehaltenen Daten haben sich hingegen als untauglich für die Auswertung erwiesen, da für viele Gebäude keine Nutzungsart hinterlegt ist und Angaben zu Flächen und Höhen fehlen. Für eine Betrachtung der Nichtwohngebäude in ganz Baden-Württemberg kommt

diese Anwendung daher nicht in Frage. Die öffentlich verfügbaren Erkenntnisse begründen das unten gewählte Vorgehen.

3.3 Vorgehen und Methodik

3.3.1 Bestand der Wohngebäude

Die Basis für die lokalen Stoffströme bildet der regionale Bestand. Mit den Auswertungen aus dem [Zensus 2011] liegen kreisscharfe Daten zur Anzahl an Wohngebäuden und Wohnungen, untergliedert nach Baujahr des Gebäudes, Anzahl der Wohnungen im Gebäude und Wohnflächenintervall der Wohnung, vor. Die Anzahl der Wohnungen im Gebäude wurde zur Typisierung der Gebäude genutzt. Dadurch ist eine Aufteilung in Ein- und Zweifamilienhäuser, kleine Mehrfamilienhäuser mit 3-6 Wohnungen sowie größere mit 7-12 und >13 Wohnungen möglich. Als Wohngebäude sind Gebäude definiert, die zu mehr als 50 % der Gesamtnutzfläche Wohnzwecken dienen.

Die Anzahl der Wohngebäude kann weiterhin nach der Gebäudeart differenziert werden, welche angibt, ob das Gebäude freistehend ist bzw. doppelt oder in Reihe erbaut ist. Somit ist eine getrennte Auswertung der Daten über die Anzahl der Wohnungen mit ihren Wohnflächen sowie über die Anzahl der Gebäude möglich.

3.3.1.1 Auswertung über die Anzahl der Wohnungen

Die Multiplikation der Anzahl der Wohnungen mit ihren Wohnflächenintervallen in den angegebenen Gebäudetypen ermöglichte die Berechnung von gesamten Wohnflächen in den verschiedenen Gebäudetypen, die nach Altersintervallen unterschieden sind (vgl. Abschnitt 2.3). Die Wohnflächenintervalle sind mit 10 m² relativ klein, so dass der Fehler, die Mitte des Wohnflächenintervalls als absoluten Wert heranzuziehen, gering ist. Für die kleinsten Wohnungen mit einer Intervallangabe von <30 m² wurde ein Wert von 20 m² angesetzt, für die größten mit >180 m² einer von 200 m².

Die Umrechnung von Wohnfläche in den zugehörigen Bruttorauminhalt (BRI) erfolgte über Faktoren aus der Literatur für die entsprechenden Gebäudetypen [Kalusche 2011] und eine angenommene Geschosshöhe (vgl. Tabelle 3-1). Für Ein- und Zweifamilienhäuser wurde dabei der Mittelwert von einzelnstehenden Doppel- und Reihenhäusern angesetzt, für Mehrfamilienhäuser mit >13 Wohnungen aufgrund der etwas anderen Klassifikation der Mittelwert aus solchen mit 6 bis 19 und >19 Wohnungen.

Da sich die Zensus-Angaben zur Anzahl der Wohnungen auf Wohnflächen beschränken, muss zusätzlich der BRI, der den Nichtwohngebäudeflächen in Wohngebäuden zuzuordnen ist, addiert werden: Hierzu wurden die eigene Auswertung der vorliegenden GIS-Daten von Hamburg (s. Kap. 3.3.2.2) für die städtischen Kreise und Erkenntnisse aus [Schlomann et al. 2015] für die ländlichen Kreise herangezogen:

Die GIS-Auswertung für Hamburg ergab einen größeren BRI-Wohngebäudebestand als er aus der Auswertung der Zensus-Daten resultiert (111 %). Es wird unterstellt, dass diese Differenz durch die gewerblichen Nutzungen in Wohngebäuden bedingt ist. Der Differenz-BRI kann dann ins Verhältnis zum BRI der Nichtwohngebäude gesetzt werden, so dass ein Faktor für den Anteil des BRI für Nichtwohnzwecke in Wohngebäuden zum BRI der Nichtwohngebäude berechnet werden kann, welcher für eine Bebauungsstruktur in Städten gilt. Mit den Daten aus Hamburg ergibt sich dafür ein Faktor von 9,8 %. Auf die städtischen Kreise kann der BRI, der sich aus diesem Faktor und dem BRI der Nichtwohngebäude in diesen Kreisen ergibt, auf den BRI der Wohngebäude, der sich aus den Wohnflächen ergibt, aufgeschlagen werden.

In [Schlomann et al. 2015] wird über Fragebögen und eine Hochrechnung für ganz Deutschland abgeschätzt, auf welche Gebäudetypen sich die Nutzflächen verschiedener Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungs-tätigkeiten verteilen. Somit kann das Verhältnis der Summe aller gewerblichen Nutzflächen in Wohngebäuden zur Summe der gewerblichen Nutzflächen in allen Nichtwohngebäudetypen als Faktor errechnet werden. Für den Bezug dieses Faktors auf den BRI statt auf die Nutzfläche muss die unterschiedliche

Geschosshöhe in den verschiedenen Gebäudetypen berücksichtigt werden (vgl. Anhang Tabelle A-1). Durch die in Wohngebäuden im Vergleich zu bspw. Industriegebäuden geringere Geschosshöhe (Annahme Wohngebäude: 2,86 m), wird der Faktor im Verhältnis dieser Höhen verringert und beträgt 18 % des BRI der Nichtwohngebäude. Die gesamtdeutsche Situation wird als repräsentativ für die „ländlichen“¹ Kreise Baden-Württembergs gesehen.

Tabelle 3-1: Angesetzte Kennzahlen für Wohngebäude

	Verhältnis Brutto-Grundfläche/ Wohnfläche ¹	Geschosshöhe (m) ²
Mittelwert EFH/ZFH	1,66	2,83
Doppel- und Reihenhäuser	1,64	
Reihenhäuser	1,52	
MFH bis zu 6 WE	1,79	2,90
MFH 6-19 WE	1,88	
MFH >20 WE	1,76	
¹ [Kalusche 211] ² arithmetische Mittelwerte lichte Raumhöhe über alle Gebäudealter des jeweiligen Typs aus [IWU 2005] + 0,30 m (Annahme); bei MFH Mittelwert aus allen sonstigen MFH und Hochhäusern		

Um den Einfluss der Nichtwohnnutzung auf den Bestand und die Stoffflüsse der Wohngebäude zu verdeutlichen, wurde zur Bestimmung der daraus resultierenden maximalen Schwankungsbreite der BRI der Wohngebäude auch ohne Berücksichtigung der Nichtwohnnutzungen berechnet (Kap. 3.4.1.1) und ebenso als Basis für die Bestimmung der Stoffflüsse verwendet (Kap. 3.4.2.4). Die Aufteilung des Aufschlags auf die verschiedenen Gebäudetypen erfolgt entsprechend den Proportionen der Wohnfläche im Bestand.

¹ Landkreise Heilbronn, Hohenlohekreis, Schwäbisch Hall, Main-Tauber-Kreis, Heidenheim, Ostalbkreis, Neckar-Odenwald-Kreis, Calw, Enzkreis, Freudenstadt, Breisgau-Hochschwarzwald, Emmendingen, Ortenaukreis, Rottweil, Schwarzwald-Baar-Kreis, Tuttlingen, Konstanz, Lörrach, Waldshut, Reutlingen, Tübingen, Zollernalbkreis, Alb-Donau-Kreis, Biberach, Bodenseekreis, Ravensburg, Sigmaringen

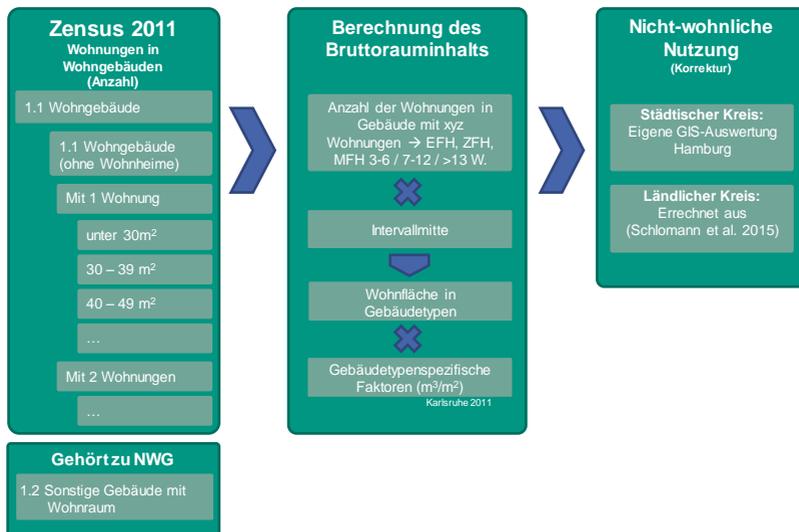


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung der Berechnung des Wohngebäude-Bestands

3.3.1.2 Auswertung über Anzahl Gebäude

Die Umrechnung von der Anzahl der Gebäude verschiedener Typen in BRI bzw. Nettogrundfläche erfolgte nach [Gruhler & Böhm 2011a] bzw. [IWU 2015] über die dort angegebenen durchschnittlichen Gebäudekennzahlen. Die Errechnung der Bruttogrundfläche (Nettogrundfläche + Konstruktionsgrundfläche) aus der Nettogrundfläche aus [IWU 2015] wird durch die Angabe über den Anteil der Konstruktions- an der Bruttogrundfläche für verschiedene Gebäudetypen in [Kalusche 2011] ermöglicht. Die Geschosshöhen werden mit den in Tabelle 3-1 angegebenen Werten angesetzt. Zur Umrechnung in Wohnfläche werden ebenso die dort dokumentierten Werte verwendet.

Ein Aufschlag für die gewerbliche Nutzung in den Wohngebäuden ist hier nicht nötig, weil die durchschnittliche Gebäudegröße für die verschiedenen Gebäudetypen derartige Nutzungen einschließt. Die Unsicherheiten beruhen hier auf den durchschnittlichen Gebäudegrößen und nicht auf dem Aufschlagsfaktor für gewerbliche Nutzung. Ein Vergleich der Ergebnisse nach

beiden Methoden kann die unsicherheitsbedingte Schwankungsbreite aufzeigen (vgl. Kap. 3.4.1.1).

3.3.1.3 Fortschreibung des Bestands ab 2011 und kritische Würdigung

Die Ergebnisse des Zensus müssen vom Erhebungsjahr 2011 bis in die Gegenwart fortgeschrieben werden. Dies erfolgt unter Zuhilfenahme der kreisscharfen Anzahl an Wohnungen in Ein-, Zwei und Mehrfamilienhäusern in den Folgejahren, wie sie vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg herausgegeben wird. Das Verhältnis an Wohnungen im Jahr 2012 zu 2011 wird mit den über [ZENSUS 2011] ermittelten Flächendaten multipliziert, um die entsprechenden Zahlen für das Jahr 2012 zu erhalten. Mit diesen Zahlen kann dann wiederum der Bestand für das Jahr 2013 ermittelt werden usw. bis zum Jahr 2015. Ab dem Jahr 2016 beginnt die Prognose für Materialbestands- und Materialflussberechnungen im Gebäude- und Infrastrukturbestand bis 2030.

Unsicher ist der Anteil der Nachfrage nach Nichtwohnflächen in Wohngebäuden bezüglich des umbauten Raumes an Nichtwohngebäuden. Die Werte für die ländlicheren Kreise wurden aus der Literatur abgeschätzt (s. Fußnote Kap. 3.3.1.1). Die Nachfrage nach Nichtwohnflächen in Wohngebäuden wurden für die städtischen Kreise aus der GIS-Auswertung für Hamburg im Vergleich zu den Zensus-Daten abgeschätzt.

3.3.2 Bestand Nichtwohngebäude

Für die Ermittlung der Nichtwohngebäude einzelner Landkreise kommt eine neu entwickelte Methodik zum Einsatz, da es bislang nur erste Untersuchungen zur Quantität des Nichtwohngebäudebestandes auf Bundesebene gibt. Der Erwerb des 3D-Gebäudemodells von Baden-Württemberg oder aussagekräftiger Teile davon ist im Rahmen dieses Projektes finanziell nicht tragbar.

Derzeit muss für eine Regionalisierung aus den bundesdeutschen Daten ein Zusammenhang zwischen dem bundesdeutschen Gebäudebestand und regional verfügbaren Größen hergestellt werden. Auf Kreisebene sind die

Einwohnerzahlen, die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, die Anzahl Schüler, die verfügbaren Plätze in Kindertagesstätten sowie weitere Größen aus der Regionalstatistik für eine solche **Kennzahlenbildung** verfügbar.

Die Beschäftigtenstatistik nach Beschäftigten am Arbeitsort liegt auf überregionaler Ebene wie bspw. für Gesamtdeutschland bis hin zur Unterscheidung in Wirtschaftsunterklassen bzw. Berufsgattungen vor [Statistik Südwest 2016]. Die (teilweise weiter differenzierten) Wirtschaftsabteilungen lassen sich verschiedenen Nichtwohn- gebäudetypen zuordnen. Die Typologie ist über die Systematik der bundesdeutschen Literaturdaten zum Gebäudebestand vorgegeben. Aufgrund der größeren Detailtiefe fiel die Entscheidung hinsichtlich der verwendeten Bestandsangaben auf die Daten von [Deilmann et al. 2013]. So wird der Wirtschaftsabteilung² Maschinenbau der Gebäudetyp *Fabrikgebäude* zugewiesen oder der Erbringung von Finanz- dienstleistungen der Gebäudetyp *Allgemeine Bürogebäude*. Beim Wirtschaftszweig Gesundheitswesen reicht die Detailtiefe hingegen nicht aus, um eine eindeutige Zuordnung vornehmen zu können, weil hier sowohl die Typen Praxisgebäude oder Krankenhäuser in Frage kämen. Die tiefere Gliederung in Wirtschaftsgruppen ermöglicht dann die Unterscheidung. Der Anteil der Beschäftigten in Krankenhäusern am gesamten Gesundheitswesen aus den überregionalen Daten wird dann auch für die Beschäftigten im Gesundheitswesen in allen Kreisen als fixer Wert übernommen.

Diese Einteilung berücksichtigt noch nicht, dass bspw. an manchen Standorten nur die Verwaltung des Maschinenbaubetriebes mit vorwiegend Bürogebäuden ansässig ist. Aus der Gliederung der Beschäftigten nach Berufsgattungen, in welcher Unternehmensführung und -organisation separat und der Komplexitätsgrad der Arbeit ausgewiesen ist, und einer Kreuzauswertung von Beschäftigten nach Wirtschaftsabteilungen und

² Die Tabellen umfassen über 80 Wirtschaftsabteilungen sowie teilweise feinere Gliederungen, wenn eine Wirtschaftsabteilung inhomogen war, dass sie verschiedene Gebäudetypen umfasst. Aufgrund des großen Umfangs wird auf eine detaillierte Darstellung hier verzichtet.

Berufsgattungen [Statistik Südwest 2016] kann überschlägig bestimmt werden, welcher Anteil der Beschäftigten Deutschlands in den verschiedenen Wirtschaftsabteilungen in Bürogebäuden untergebracht ist. Auf Ebene der Berufsgattungen wird unterschieden nach Helfer-/Anlern Tätigkeiten, fachlich ausgerichteten Tätigkeiten, komplexen und hoch komplexen Tätigkeiten sowie Aufsichts- und Führungskräften. Bei Helfern und fachlich ausgerichteten Tätigkeiten kann mit Ausnahme von Berufsgruppen, die sowieso allgemeinen Bürogebäuden zugeordnet sind, fast durchgängig mit einem Arbeitsplatz im Produktionsbereich gerechnet werden. Experten sind hingegen Großteils in Bürogebäuden angesiedelt mit Ausnahme von Justiz- und Kunstberufen, auch Aufsichts- und Führungskräfte. Bei Spezialisten hängt es von der Berufsgruppe ab. So ist in Berufsgruppen, in welchen das Handwerk eine große Rolle spielt, damit zu rechnen, dass die Spezialisten bspw. Handwerksmeister sind und als solche in der Produktion tätig sind (bspw. Berufsgruppe Elektrotechnik, Ver- und Entsorgung).

Nur für die beheizten Nichtwohngebäude sind die Nutzflächen in [Deilmann et al. 2013] auch als Nettogeschossflächen ausgewiesen; für die unbeheizten Nichtwohngebäude lediglich als Grundfläche, wobei der Unterschied zur Nettogeschossfläche nicht groß sein dürfte, weil diese Gebäude zumeist eingeschossig sind. Ein Problem stellt allerdings der große Posten „Sonstige Nichtwohngebäude“ bei den unbeheizten Nichtwohngebäuden dar. Ein Vergleich mit den sonst für Deutschland ermittelten Nichtwohngebäudebeständen [Deilmann et al. 2014, Dirlich et al. 2011, Gruhler und Böhm 2011b] legt nahe, dass der Großteil den Handels- und Lagergebäuden zuzuordnen wäre. Dies führt aber zu unverhältnismäßig großen Kennzahlen für diesen Gebäudetyp. Die anderen, existierenden Studien weisen hingegen eine zu undifferenzierte Gebäudetypologie auf. Aufgrund dieser Unsicherheiten bei [Deilmann et al. 2013] bezüglich der Lager- und Verkaufsgebäudeflächen und dem Wunsch, auch mehr auf städtische Kreise zugeschnittene Kennzahlen entwickeln zu können, wurden die frei nutzbaren 3D-Gebäudemodelle Hamburgs und Berlins hinsichtlich des BRI der verschiedenen Gebäudetypen ausgewertet. Im Datensatz enthalten sind die zugehörige mittlere Höhe der Gebäude und die Gebäudetypen nach ALKIS-Definition,

so dass die Gebäude-BRIs der verschiedenen Gebäudetypen Hamburgs aus den Grundflächen bestimmt werden konnten. Für Hamburg konnten damit unter Heranziehen der entsprechenden Beschäftigtenstatistik plausible Kennzahlen abgeleitet werden. Im ausgewerteten LoD1-Modell Berlins war als Gebäudehöhe teilweise die maximale Höhe anstatt eines mittleren Werts hinterlegt, so dass der BRI hier überschätzt wurde und nicht verwendet werden konnte.

Der Quotient aus den deutschlandweiten Nichtwohngebäude-Flächen und den diesen Gebäuden zugewiesenen sozialversicherungspflichtig Beschäftigten ergibt die Kennzahl auf Basis von [Deilmann et al. 2013]. Zur Berechnung der Kennzahlen aus dem Modell Hamburgs mussten die ALKIS-Gebäudetypen der Gebäudetypologie nach [Deilmann et al. 2013] zugeordnet werden. Mit der Beschäftigtenstatistik Hamburgs nach Wirtschaftsabteilungen wurden dann die in den verschiedenen Gebäudetypen tätigen Beschäftigten ermittelt, wobei die Aufteilung der Berufsgattungen an den Wirtschaftszweigen aus Deutschland für die Bestimmung der Mitarbeiter, die zusätzlich in Bürotrakten untergebracht sind, als fix übernommen wurde. Die Kennzahlen als Nutzfläche pro Mitarbeiter ergeben sich dann aus dem BRI, der mittleren Gebäudehöhe und gebäudetypenspezifischen Umrechnungsfaktoren von Brutto- in Nettogeschossfläche aus [Deilmann et al. 2013] sowie den zugehörigen Mitarbeitern.

Die aus dem Gebäudedatenmodell von Hamburg abgeleiteten Kennzahlen weichen im Falle der Lagergebäude, der Gebäude der technischen Erschließung/Infrastruktur, der Gaststätten und Restaurants sowie der Museen/Bibliotheken/Ausstellungsgebäude und der Oper/Theater/ Veranstaltungshallen deutlich von den über [Deilmann et al. 2013] errechneten Kennwerten ab, welche aber mit Ausnahme der ersten eher unbedeutend sind. Für die Lagergebäude und Verkaufsbauwerke werden aufgrund der oben geschilderten Problematik mit „Sonstigen Nichtwohngebäuden“ in [Deilmann et al. 2013] die Daten aus Hamburg übernommen; andernfalls werden die aus [Deilmann et al. 2013] errechneten Werte verwendet. Bei Gaststätten und Restaurants ist der Flächenbedarf pro Mitarbeiter stark vom verfügbaren

Platz abhängig. In teuren Stadtlagen mit viel Laufkundschaft sind mehr kleine Imbissläden angesiedelt als auf dem Land, wo größere Gaststätten mit aber nicht zwangsweise mehr Mitarbeitern überwiegen. Daher wird hier für städtische Kreise die über Hamburg abgeleitete, kleinere und für ländliche Kreise die über [Deilmann et al. 2013] errechnete, größere Kennzahl eingesetzt. Auch bei Gebäuden für kulturelle Zwecke wird zwischen Stadt und Land unterschieden, indem für Städte die für Hamburg errechneten Kennzahlen und für Landkreise die aus [Deilmann et al. 2013] abgeleiteten verwendet werden.

Ferner gibt es eine große Abweichung bei weiteren Gebäudetypen, für die aufgrund ihrer geringen Arbeitsplatzdichte bzw. nicht gegebenen Zusammenhänge von Nutzfläche und Mitarbeitern eher Kennwerte gelten, die auf andere regional vorhandene Größen bezogen sind. Deutlich wird dies am Beispiel von Gebäuden der verkehrlichen Erschließung/Infrastruktur und Sportbauten. Erstere werden von Tiefgaragen dominiert, welche keine Mitarbeiter haben. Zweitere sind teilweise kommunal und daher nicht mit Mitarbeitern aus der entsprechenden Wirtschaftsabteilung belegt. Es handelt sich um Gebäude der Land- und Forstwirtschaft, Gebäude der verkehrlichen Erschließung/Infrastruktur, allgemeine Sportbauten und Schwimmhallen. Mit Ausnahme der ersten beiden sind diese aber eher unbedeutend. Die Gebäudefläche von Gebäuden der Land- und Forstwirtschaft wurde anstelle von Mitarbeitern auf landwirtschaftliche Nutzfläche bezogen, wobei für die städtischen Kreise die Kennzahl aus Hamburg und für ländliche Kreise die Kennzahl aus [Deilmann et al. 2013] für Gesamtdeutschland übernommen wurde. Es ist anzunehmen, dass im ländlichen Gebiet die zur Landwirtschaft zugehörigen Höfe eine größere landwirtschaftliche Nutzfläche bedienen als in Stadtgebieten. Gebäude der verkehrlichen Erschließung/Infrastruktur wurden auf Einwohner bezogen, wobei für städtische Kreise wiederum die über Hamburg entsprechend ermittelte Kennzahl und für ländliche Kreise die über [Deilmann et al. 2013] ermittelte Kennzahl herangezogen wurden. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass das Aufkommen für Gebäude der verkehrlichen Erschließung/Infrastruktur im ländlichen Bereich einwohnerspezifisch größer ist als im städtischen Bereich. Auf Einwohner bezogene

Kennzahlen werden ebenso für Allgemeine Sportbauten und Schwimmhallen angesetzt. Hier wird aber keine Unterscheidung im einwohnerspezifischen Flächenbedarf zwischen städtisch und ländlich gemacht, weil ein von der Siedlungsstruktur unabhängiges Grundbedürfnis der Bevölkerung nach Sport erwartet wird.

Weiterhin werden die Gebäudetypen Allgemeinbildende Schulen über die Anzahl der Schüler sowie Kindergarten und Kindertagesstätten über die Anzahl der genehmigten Plätze anstatt über die dort Erwerbstätigen abgebildet. Die Gebäude für Hochschulen und Forschung wurden auf Basis der Anzahl der Studenten und Schüler beruflicher Schulen ermittelt. Hinzu kommen die Gebäude für den Wirtschaftszweig Forschung und Entwicklung, welche wiederum über die zugehörigen Beschäftigten und die Kennzahl für Bürogebäude berechnet und hier dazu addiert werden.

Um mit diesen Kennzahlen den Nichtwohngebäudebestand in den Kreisen Baden-Württembergs quantifizieren zu können, wurden die Beschäftigten in den Kreisen jeweils anhand einer Kreuzauswertung nach Wirtschaftsabteilungen und Berufssektoren [Statistik Südwest 2016] den verschiedenen Gebäudetypen zugeordnet (vgl. Abbildung 3-2). Da eine Kreuzauswertung nach Wirtschaftsabteilungen und Berufsgattungen wie auf bundesdeutscher Ebene aufgrund von aus Datenschutzgründen geheim zuhaltenden Einzelfällen auf Kreisebene nicht möglich ist, werden die Informationen aus den Berufsgattungen in ganz Deutschland zu den Bürotätigen zuvor auf die Ebene der Berufssektoren aggregiert und die entsprechenden Zahlen auch fix für die Landkreise genutzt. Durch die Kreuzauswertung wird der Fall verhindert, dass bspw. die Mitarbeiter an einem reinen Verwaltungsstandort des Maschinenbaus einem Fabrikgebäude zugewiesen werden.

Dabei wurde für bestimmte Gebäudetypen wie oben beschrieben über zwei Kennzahlen eine Unterscheidung zwischen ländlicheren (Gebäudedaten auf Basis von Deilmann et al. 2013) und städtischen Kreisen (Gebäudedaten aus GIS-Auswertung Hamburg) berücksichtigt. Für Nichtwohngebäude, deren Nutzfläche nicht im Zusammenhang mit der Mitarbeiterzahl steht, kommen

Flächenkennzahlen mit anderen Bezügen zum Einsatz, bspw. für die Sportgebäude eine einwohnerbezogene und für die Schulen eine schülerbezogene Kennzahl.

Bei der Bestandsberechnung wird außerdem berücksichtigt, dass der Leerstand in den jeweiligen Landkreisen Baden-Württembergs anders ist, als der mit der gesamtdeutschen Erhebung erfasste Leerstand. Die Leerstandsquote in den Nichtwohngebäuden Deutschlands und den jeweiligen Kreisen Baden-Württembergs wird über die jeweiligen Leerstandsquoten für die Mehrfamilienhäuser aus dem Jahr 2011 approximiert [Zensus 2011]. Über die um die Leerstände bereinigten Nichtwohngebäudezahlen kann dann der genutzte Nichtwohngebäudebestand errechnet werden. Über die Leerstandsquoten in den Mehrfamilienhäusern der einzelnen Kreise ergibt sich dann approximativ zusätzlich der lokal leerstehende Nichtwohngebäudebestand.

Für die Aufteilung der Nichtwohngebäude in Baualtersklassen wird die relative Verteilung aller Mehrfamilienhäuser (Summe aus 3-6, 7-12 und > 13 Wohnungen) an den verschiedenen Baualtersstufen genutzt. Es wird damit angenommen, dass die Altersstruktur von Nichtwohn- und größeren Wohngebäuden ähnlich ist.

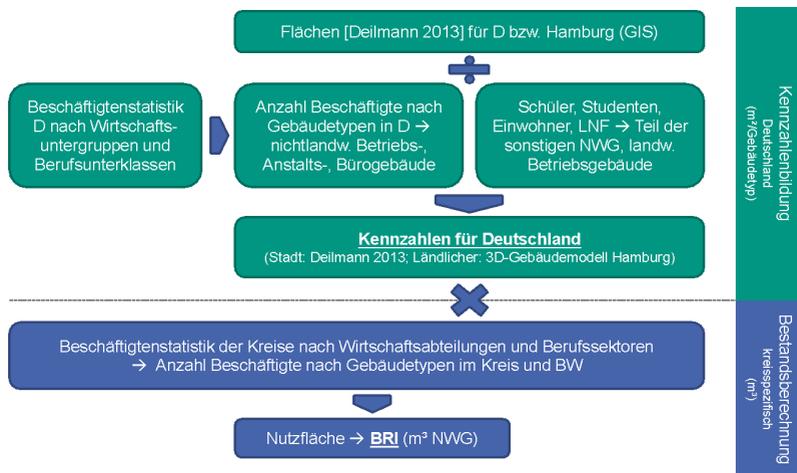


Abbildung 3-2: Vorgehen zur Ermittlung des Nichtwohngebäudebestands in den Kreisen Baden-Württembergs

3.3.2.1 Andere Herangehensweisen

In der Literatur finden sich Kennzahlen aus der Gewerbeflächenprognose, die aber aufgrund des Bezugs auf die Summe aus bebauter und unbebauter Flächen nur bedingt zur Validierung taugen. In Energieberichten von Kommunen und Kreisen sind Teile der Gebäudenutzflächen in öffentlichem Besitz aufgeführt, aber zumeist nicht die zugehörige Anzahl der dort Beschäftigten. In [IER 2009] werden anteilige, spezifische Flächenkennzahlen in verschiedenen Gebäudetypen für Mitarbeiter im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie im öffentlichen Bereich in Abhängigkeit der Gemeindegröße genannt. In [Schloman et al. 2015] gibt es Hochrechnungen zu Fläche und Mitarbeitern in verschiedenen Bereichen des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistung. EMAS-zertifizierte Betriebe werden auf Übersichtsseiten teilweise mit Flächenangaben und Mitarbeitern benannt. Gebäudevolumina können über Messungen von Grundfläche und Höhe über Kartierungssoftware erhoben werden, wobei dann der Bezug zu Mitarbeitern fehlt. Weiterhin wurden über das Finanzministerium Baden-Württembergs repräsentative Daten zu Gebäudenutzflächen und

zugehörigen Beschäftigten für eine Auswahl der landeseigenen Gebäude bezogen (Finanzamt, Polizei, Vermögen und Bau, Justiz, Gesundheitswesen, Behörden).

Baden-Württemberg verfügt mittlerweile zwar über ein landesweites 3D-Gebäudedatenmodell, welches auf Grundlage der Daten von ALKIS, ALK und ATKIS erstellt wurde. Der Erwerb dieser Daten ist im Rahmen dieses Projektes aber finanziell nicht tragbar. Bei Nutzung dieses Modells in zukünftigen Projekten ist auf die Qualität der hinterlegten Daten zu achten. Das Modell ist in verschiedenen Detailstufen verfügbar. Auf der Stufe LoD1 („Klötzchenmodell“) sind die Gebäude in der korrekten Grundform, aber ohne Dächer bzw. korrekte Dachform abgebildet, wobei die Höhe der Gebäude der mittleren Höhe entsprechen sollte. Wenn stattdessen die maximale oder minimale Höhe des Gebäudes angegeben ist, eignen sich die Daten nicht zur Bestimmung des BRI von Nichtwohngebäuden. Mit dem weiterentwickelten LoD2-Modell wird dieses Problem nicht mehr in der Form auftreten, aber die hier vorgehaltenen Daten gehen weit über den eigentlich zu bestimmenden BRI hinaus.

3.3.2.2 GIS-Auswertung Hamburg und Berlin

Für Hamburg und Berlin liegen allgemein verfügbare 3D-Gebäudemodelle im CityGML-Format vor. Der Datensatz von Hamburg wurde in die Datenbankumgebung PostgreSQL importiert. Die Flächendaten mussten zur Auswertung von Multiliniern in Multipolygone gewandelt werden, deren Flächen exklusive Innenhöfe dann über eine Flächenberechnungsfunktion bestimmt werden konnten. Der Berliner Datensatz auf LoD1-Ebene musste anders ausgewertet werden. Die Daten zur Flächenermittlung sind in Geometrie-Objekten enthalten, die über eine Funktion extrahiert wurden. Es stellte sich heraus, dass die angegebene Gebäudehöhe die Maximalhöhe des Gebäudes abbildet. Hierdurch kommt es zu einer deutlichen Überschätzung des damit berechneten BRIs insbesondere der Fabrikgebäude. Der Datensatz war daher nicht für die Zwecke dieser Studie nutzbar.

3.3.2.3 Unsicherheiten und Grenzen, kritische Würdigung

Der kreisspezifische Nichtwohngebäudebestand musste über die Verrechnung von Kennzahlen aus Gebäude- und Beschäftigtenstatistik für Deutschland und Hamburg ermittelt werden, wofür manuelle und unsichere Zuordnungen von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nach Wirtschaftszweig und Berufsgruppe zu Gebäudetypen erfolgen mussten. Die Kennzahlen aus Hamburg wurden für die städtischen Kreise angewendet; die Kennzahlen von Deutschland gesamt wurden für die ländlicheren Kreise angewendet. Die Auswertung einer weiteren Stadt oder eines Landkreises zur Verifizierung der Kennzahlen liegt nicht vor.

Die Aufteilung des Nichtwohngebäudebestands auf die verschiedenen Bauzeitepochen nach ebendiesen Verhältnissen im Bestand der Mehrfamilienhäuser stellt eine grobe Annahme dar.

3.3.3 Inputs und Outputs Wohngebäude und Prognose

Stoffflüsse ergeben sich zum einen durch Sanierung, für welche Sanierungsquoten im Bestand mit dem Anteil des Stoffflusses, den die Sanierung im Verhältnis zur gesamten Masse eines Gebäudes bedingt, abgeschätzt werden [Deilmann et al. 2014] (Kapitel 3.3.3.7).

Zum anderen kommt es aufgrund der Alterung des Bestands und geänderten Anforderungen zu einem jährlichen Bedarf an Ersatzneubau (Zubau nach Abriss) (Kapitel 3.3.3.1). Die Berechnung der Stoffflüsse erfolgt nur differenziert nach EFH/ZFH und MFH. Prognosen und Angaben aus der Bau-tätigkeitsstatistik sind nicht weitergehend differenziert. Die so errechneten Stoffflüsse werden dann über die BRI-Verhältnisse im Bestand des jeweiligen Vorjahres wieder auf EFH, ZFH, MFH 3-6, MFH 7-12 und MFH >13 Wohnungen aufgeteilt. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass sich die Struktur der Gebäudesubtypen in den Landkreisen innerhalb jeweils der EFH/ZFH und MFH nicht verändert.

Weiterhin gibt es demografisch bedingten Zubau und Abriss mit den dadurch ausgelösten Netto-Stoffflüssen. Das [BBSR 2015a] macht Angaben

zur zukünftigen Wohnflächennachfrage (Kapitel 3.3.3.2). Um den künftigen Bestand abschätzen zu können, gibt es zum einen die Möglichkeit, die zukünftige Entwicklung der Leerstandsquote festzuschreiben (Kapitel 3.3.3.3) und die zukünftige Wohnflächennachfrage ins Verhältnis zum bewohnten Anteil zu setzen. Die positive/negative Änderung des Bestands ergibt den demografisch bedingten Netto-Zubau/Abriss. Die Summe aus demografisch bedingtem Zubau und Ersatzneubaubedarf ergibt den gesamten Zubau, wie er in der Bautätigkeitsstatistik ausgewiesen sein müsste und der in Kapitel 3.4.2.7 verglichen wird. Der Zubau kann alternativ über Angaben aus [BBSR 2015a] zum zukünftigen Wohnungsneubaubedarf (vgl. Kapitel 3.3.3.4) abgeschätzt werden.

Zum anderen kann auf Prognosen zur Entwicklung der Abrisszahlen in Westdeutschland zurückgegriffen werden (vgl. Kapitel 3.3.3.5), so dass sich, wenn der Zubau über die Veränderung der Wohnflächennachfrage bestimmt wird, Bestand und Leerstandsquoten errechnen lassen.

3.3.3.1 Ersatzneubaubedarf

Hinzuzurechnen zum demografisch bedingten Zubau ist der Ersatzneubaubedarf. Dieser wurde bei [BBSR 2015a] mit einem jeweils festen Anteil am Bestand bei Ein-/Zweifamilienhäusern (EFH) und Mehrfamilienhäusern (MFH) von 0,2 bzw. 0,3 % angesetzt (im Modell jeweils für jeden Kreis frei einstellbar).

Alternativ kann der Ersatzneubaubedarf über den in der Bautätigkeitsstatistik ausgewiesenen Zubau im Zeitraum von bspw. 2003 bis 2010 für jeden Landkreis abgeschätzt werden. Dazu wird von diesem Zubau die Veränderung im Wohnungsbestand im selben Zeitraum, wie er ebenso in der Statistik angegeben ist [StaBaWü 2016], abgezogen. Der so demografisch bereinigte Zubau wird dann ins Verhältnis zum Bestand aus [ZENSUS 2011] gesetzt, um die Quote zu bestimmen.

Nach [BBSR 2015] wird der Ersatzneubaubedarf bei verminderter Wohnungsnachfrage z.T. durch das regional entstehende Überangebot kompensiert. Es wird in dieser Studie angenommen, dass der Ersatzneubaubedarf

ab einer Leerstandsquote von 6 % unabhängig vom Vorzeichen der Nachfrageentwicklung geringer wird, weil dann anstatt des Ersatzneubaus der unbewohnte Bestand als Ersatz dienen kann. Ab 9 % Leerstandsquote wird angenommen, dass kein Ersatzneubaubedarf im Zubau mehr stattfindet. Der Anteil des Ersatzneubaubedarfs am Bestand wird zwischen 6 % Leerstand mit vollem Ersatzneubaubedarf und 9 % mit keinem Ersatzneubaubedarf linear interpoliert.

Im Vergleich der Ergebnisse aus kreiseinheitlich festgelegter Ersatzneubaubedarfsquote und der Berechnung derselben aus Angaben in der Bautätigkeits- und Wohnungsbestandsstatistik zeigen sich die **Schwankungen**, die mit diesem Parameter verbunden sind (vgl. Kap. 3.4.2.4). Weiterhin wird berechnet, wie sich In- und Output in den einzelnen Kreisen verhalten, wenn der Ersatzneubaubedarf nicht ab einer Leerstandsquote von 6 % sinkt.

3.3.3.2 Abschätzung der Wohnflächennachfrage

Die demografisch bedingte Wohnflächennachfrage kann über die kreis-scharfe Prognose in [BBSR 2015a] bis 2030 im jährlichen Intervall abgelesen werden. Die Veränderung der Wohnflächennachfrage in absoluten Werten wird entsprechend über [BBSR 2015a] errechnet, wohingegen die Wohnflächennachfrage im Jahr 2015 jeweils aus dem errechneten Bestand und der aus dem Zensus [Zensus 2011] über die Anzahl der frei stehenden Wohnungen errechneten Leerstandsquote bestimmt wird ($\text{Bestand} \times (1 - \text{Leerstandsquote})$). Hintergrund ist, dass die Wohnflächennachfrage und der errechnete Bestand im Ausgangsjahr sonst nicht über die Leerstandsquoten zusammenzubringen sind. Die absoluten Werte der Wohnflächennachfrage von 2015 aus [BBSR 2015a] werden somit korrigiert, so dass sie nach Division durch den nicht leerstehenden Anteil des Bestands den fortgeschriebenen Bestand ergeben. Die Änderung der Wohnflächennachfrage entspricht den demografischen Veränderungen aus Wanderungsbewegungen und Haushaltsgrößen sowie Eigentumsverhältnissen und haushaltsspezifischen Wohnflächengrößen.

Um die Nichtwohnflächen und deren Veränderung in Wohngebäuden mit zu berücksichtigen, wird die prognostizierte Nachfrage nach BRI in Nichtwohngebäuden (vgl. Kapitel 3.3.1) mit dem Faktor zum Anteil davon in Wohngebäuden multipliziert, in Wohnfläche umgerechnet und dann auf die Wohnflächennachfrage aufgeschlagen. Die Aufteilung des Aufschlags als BRI auf die verschiedenen Wohngebäudetypen erfolgt entsprechend den Proportionen der jeweiligen prognostizierten Wohnflächennachfrage. Eine steigende Wohnflächennachfrage induziert einen Zubau, der sich über eine positive Veränderung im Bestand niederschlägt und über diese errechnet wird (vgl. Kapitel 3.3.3.3), um auch verringerte Zuwächse durch sinkende Leerstandsquoten abbilden zu können.

3.3.3.3 Abschätzung des zukünftigen Bestands, Zubaus und Abrisses über Vorgabe der Entwicklung der Leerstandsquote

In [Zensus 2011] sind kreisspezifische Angaben zur Anzahl der leer stehenden Wohnungen an der gesamten Anzahl der Wohnungen in den jeweils verschiedenen Gebäudetypen mit einer bestimmten Anzahl an Wohnungen angegeben. Der Quotient ergibt die Leerstandsquote. Für die betrachteten Kreise in Baden-Württemberg wurden diese Leerstandsquoten aus dem Jahr 2011 für das Basisjahr 2015 der weiteren Berechnungen jeweils ohne weitere Umrechnung direkt übernommen (ist aber im Modell frei einstellbar).

Im Falle einer negativen Nachfrageentwicklung wurden diese entsprechend dem bis 2020 steigenden Leerstand aus westdeutschen, dekadenweisen Prognosen ([Gruhler & Böhm 2011a], [Banse & Effenberger 2006]) mit den dort angegebenen, relativ auf den Bestand bezogenen Differenzen einheitlich für alle Kreise um jährlich 0,07 % des Bestandes erhöht, sonst zunächst um jährlich 0,07 % gesenkt. Bei Stagnation der Nachfrage nach Wohnfläche zwischen 2020 und 2030 fällt die jährliche Erhöhung mit 0,15 % doppelt so hoch aus. Die angegebenen Zahlen werden für die Gebäudetypen EFH/ZFH und MFH gleichermaßen angesetzt.

Es gibt eine Beziehung zwischen Wohnflächennachfrage, Leerstandsquote und Bestand, worüber dann der Bestand im nächsten Zeitschritt ermittelbar ist:

$$\begin{aligned} LQ_{t_1} - LQ_{t_0} &= (B_{t_1} - N_{t_1})/B_{t_1} - (B_{t_0} - N_{t_0})/B_{t_0} \\ \rightarrow B_{t_1} &= N_{t_1}/(1 - (B_{t_0} - N_{t_0})/B_{t_0} - (LQ_{t_1} - LQ_{t_0})) \end{aligned} \quad (3-1)$$

LQ = Leerstandsquote;
B = Bestand;
N = Nachfrage;
 t_0 = Zeitpunkt 0;
 t_1 = Zeitpunkt 1

Eine Zunahme des Bestands hat einen Netto-Zubau zur Folge:

$$\begin{aligned} \text{Netto-Zubau} &= \text{Bestand}_{t_1} - \text{Bestand}_{t_0} \\ &(\text{wenn } \geq 0, \text{ sonst } 0 \text{ (Annahme)}) \\ &(\text{hier verfolgter Ansatz}) \end{aligned} \quad (3-2)$$

Im Falle einer sinkenden Leerstandsquote fällt er entsprechend geringer aus als der Nachfragezuwachs, der ebenso zur Bestimmung des Zuwachses angesetzt werden könnte (vgl. Kapitel 3.3.3.5). Eine Zunahme des Bestands und damit ein Netto-Zubau ist auch bei sinkender Nachfrage möglich, wenn gleichzeitig der Leerstand stärker ansteigt, die Bautätigkeit also noch nicht auf die verringerte Nachfrage reagiert hat. Dies stellt den hier verfolgten Ansatz dar. Umgekehrt könnten durch Beschränkung eines Netto-Zubaus auf eine Steigerung der Nachfrage Sprünge in der Änderung der Leerstandsquote durch die vorgegebene jährliche Veränderung bei sinkender Nachfrage geglättet werden, der Bestand würde sich dann entsprechend verringern.

$$\begin{aligned} \text{Netto-Zubau} &= \text{Bestand}_{t_1} - \text{Bestand}_{t_0} \\ &(\text{wenn } N_{t_1} \geq N_{t_0}, \text{ sonst } 0) \\ &(\text{alternativer Ansatz}) \end{aligned} \quad (3-3)$$

In Summe mit dem Ersatzneubaubedarf ergibt sich der Inputstrom in den Bestand (ohne Sanierung).

Zubau = Netto-Zubau + Ersatzneubaubedarf

Über den Zusammenhang zwischen aktuellem Bestand, zukünftigem Bestand, Zubau inklusive Ersatzneubau und Abriss lässt sich nun der zugehörige Abriss ermitteln:

$$\text{Abriss} = \text{Zubau} + \text{Bestand}_{t_0} - \text{Bestand}_{t_1} \quad (3-4)$$

Im Falle einer Beschränkung des Netto-Zubaus auf eine positive Nachfrageentwicklung fällt die Zunahme des Bestands im Vergleich zum gedrosselten Netto-Zubau zu groß aus, so dass der Netto-Abriss negativ wird. Dann wird der zukünftige Bestand_{t1} des nächsten Zeitschrittes um den Differenzbetrag verringert, so dass der Netto-Abriss mindestens 0 wird. Mit diesem korrigierten Bestand_{t1} ergibt sich auch eine korrigierte Leerstandsquote LQ_{t1}, wodurch die angesetzten Sprünge in den Leerstandsquoten und dadurch induzierten Bestands- und Zubauzuwächse geglättet werden. Im Standardfall wird der Netto-Zubau im Modell aber nicht beschränkt, so dass diese Glättung nicht erfolgt.

Der Abriss wird entsprechend dem Anteil der verschiedenen BRI je Baualterklasse im Bestand aus dem Vorzeitschritt, die älter als 40 Jahre ist, auf die verschiedenen Gebäudealter aufgeteilt. Fällt das aktuell betrachtete Jahr abzüglich der 40 Jahre genau in ein Baualterklassenintervall, so wird der darin befindliche Bestands-BRI über den Anteil des Intervalls, der älter als 40 Jahre ist, berücksichtigt.

Um den Einfluss der unsicheren Nichtwohn-Anteile zu eruieren, wird das Ergebnis der Stoffflüsse auch ohne die Nachfrage aus der Nichtwohnnutzung (vgl. Kapitel 3.3.3.2) berechnet und die daraus resultierende Schwankungsbreite aufgezeigt.

3.3.3.4 Abschätzung des Zubaus über Wohnungsneubaubedarf

In [BBSR 2015a] wird die prognostizierte Wohnflächennachfrage in einen ebenso kreissscharfen Wohnungsneubaubedarf umgerechnet. Darin ist der Ersatzneubaubedarf schon enthalten. Durch Multiplikation mit der im jeweiligen Kreis durchschnittlichen Wohnungsgröße wird daraus der Zubau an Wohnfläche berechnet. Nicht berücksichtigt ist dabei der Zubau durch Nichtwohnflächen in Wohngebäuden, welcher über die prognostizierte Nachfrage nach BRI in Nichtwohngebäuden und den Faktor zum Anteil des BRI davon in Wohngebäuden (9,8 % für städtische Kreise, 18 % sonst, vgl. Kapitel 3.3.3.1) bestimmt und hinzuaddiert werden muss. Nur der über die Nachfrage nach Nichtwohnfläche in Wohngebäuden induzierte Zubau ist noch mit dem Ersatzneubaubedarf zu beaufschlagen, wohingegen die Sanierung jeweils auf dem gesamten Bestand ansetzt. Der Ersatzneubaubedarf wird dabei ab einer Leerstandsquote von 6 % wie oben (vgl. Kapitel 3.3.3.1) beschrieben gedrosselt.

Ein Vergleich des Zubaus über Wohnflächennachfrage und Bestand und desjenigen über Wohnungsneubaubedarf zeigt die Schwankungsbreite (vgl. Kap. 3.4.2.4), die mit der Unsicherheit in der Abschätzung des Ersatzneubaubedarfs bzw. der Wohnungsgröße im Zugang und den Nichtwohnnutzflächen in Wohngebäuden verbunden ist.

Die durchschnittliche Wohnungsgröße im Kreis kann entweder über den Bestand nach [Zensus 2011] oder direkt als aktuelle Wohnungsgröße der zugegangenen Wohnungen von 2003 bis 2010 über die Bautätigkeitsstatistik bestimmt werden [StaBaWü 2016, in 2017 online abgerufen]. Die zuzubauenden Wohnungen werden in ihrer Größe [m²] eher dem Mittel aus 2003 bis 2010 entsprechen als dem bisherigen Bestand, in welchem auch noch kleinere Wohnungen existieren, wie sie heute nicht mehr gebaut würden. Daher wird das Mittel der 2003 bis 2010 zugegangenen Wohnungsgröße zur Berechnung der Wohnflächennachfrage herangezogen. Dabei wird zwischen Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern unterschieden.

3.3.3.5 Abschätzung des zukünftigen Bestands über die Vorgabe eines westdeutschen Abrisstrendes

Auch zum Abriss in West-Deutschland gibt es dekadenweise Prognosen ([Banse & Effenberger 2006], [Gruhler & Böhm 2011a]), die unter Bezug der aktuellen Abrisstätigkeit aus dem Mittel der Jahre 2003 bis 2015 auf die verschiedenen Kreise aufgeteilt werden können. Dies geschieht bezüglich EFH und MFH. Die Prognosen in [Gruhler & Böhm 2011a] sind nicht nach Wohnungen in EFH und MFH unterschieden, aber es wird hier angenommen, dass der prognostizierte Abriss sich wie der in dieser Quelle angegebene Bestand auf die beiden Gebäudetypen aufteilt.

Der Abriss wird dann wie im Vorkapitel beschrieben auf die verschiedenen Gebäudealter im Bestand aufgeteilt. Der Zubau wird über die positive Veränderung der Wohnflächennachfrage und dem Ersatzneubaubedarf ermittelt. Mit Umstellung obiger Formel (3-3) lässt sich dann der zukünftige Bestand je Baualtersklasse ermitteln.

Im Vergleich mit dem Ergebnis aus dem Ansatz mit Abschätzung der Leerstandsquote ergibt sich eine Schwankungsbreite (vgl. Tabellen in Kap. 3.4.2.4), die mit der unsicheren Entwicklung des zukünftigen Bestands auch bei gleicher Nachfrageentwicklung verbunden ist.

3.3.3.6 Korrektur der Stoffflüsse

Der in den vorangegangenen Kapiteln ermittelte Zubau und Abriss beinhaltet auch im Bestand ausgeführte Maßnahmen wie Ausbau und Umnutzung, die einen Zubau oder Abgang bedingen, mit aber im Vergleich zum „vollständigen“ Zubau/Abgang deutlich geringeren Stoffflüssen.

Der Anteil von Baumaßnahmen am Bestand am gesamten Zugang bzw. Abgang von Gebäuden kann jeweils aus der Bautätigkeitsstatistik errechnet werden. [Deilmann et al. 2014] gibt hierfür für Wohngebäude einen Anteil von 8 % bezüglich des Zugangs und 4 % bezüglich des Abgangs an, welcher mit einem Materialinput von 5,7 % bzw. -output von 13,4 % eines Neubaus

bzw. Abrisses veranschlagt wird. Gleichzeitig wird bei diesen Bestandsbaumaßnahmen auch ein umgekehrter Stofffluss erzeugt, d.h. ein Output durch den Zubau in Höhe von 5,2 % bzw. ein Input durch den Abgang von 2,7 % jeweils in Höhe des Ausgangsmateriallagers. Dementsprechend sind nur 92 % des Zugangs mit dem Materialstrom eines vollständigen Neubaus und nur 96 % des Abgangs mit demjenigen eines vollständigen Abrisses verbunden. Die Angaben zum Abgang beziehen sich dabei nur auf den in der Statistik erfassten Abgang. Der darüberhinausgehende, nicht statistisch erfasste Abgang beruht v.a. auf Baumaßnahmen am Bestand. Wenn der Anteil des nicht statistisch erfassten Abgangs berücksichtigt wird [Gruhler 2017], ergeben sich nur knapp 56 % Abgang mit vollständigem Abriss, die Outputflüsse des gesamten Abgangs kommen damit nur auf knapp 60 % bezüglich eines gesamten Abrisses bzw. die Inputflüsse auf gut 92 % eines Neubaus.

Die hier aus dem Modell abgeleiteten Materialflüsse beinhalten im Unterschied zur Bautätigkeitsstatistik keine Umnutzungen innerhalb des Wohnbereichs. Umwidmungen von Wohnflächen in Nichtwohnnutzen werden über die Anteile des Letzteren in Wohngebäuden berücksichtigt; umgekehrt diejenigen von Nichtwohngebäuden in Wohnflächen nicht. Netto-Zubau und -abriss durch Ausbau kann nur in beschränktem Umfang stattfinden und daher nicht permanent einen großen Anteil haben. Eine Prognose des zukünftigen Anteils der Baumaßnahmen am Bestand wäre darüber hinaus mit großen Unsicherheiten verbunden. Aus diesem Grund werden der ermittelte Zubau und Abriss im Modell standardmäßig nicht korrigiert.

3.3.3.7 Sanierung

Vorangehend wurde der rechnerische Eingriff in den BRI als Netto-Input bzw. -output bestimmt, welcher durch Addition der rechnerischen Eingriffe im Zuge von Sanierungstätigkeiten nun in den jeweiligen Brutto-Wert umgerechnet wird.

Es wird davon ausgegangen, dass mit dem Generationenwechsel alle 40 Jahre eine Sanierung erfolgt [Deilmann et al. 2014], was einer jährlichen

Sanierungsrate von 2,5 % des Bestandes entspricht. Dabei wird nur der aktuelle Bestand aus dem Vorzeitschritt betrachtet, der älter als 40 Jahre ist. Die Sanierungsquote wird entsprechend dem Verhältnis der Gebäude verschiedenen Baualters in diesem Bestand aufgeteilt.

Bei der Berechnung der Input- und Output-Stoffströme wird die unterschiedliche Materialintensität der jeweiligen Maßnahmen berücksichtigt. So ist die Sanierung von Wohngebäuden nach [Deilmann et al. 2014] mit einem Stofffluss-Input verbunden, der 5,5 % des Inputs durch Neubau entspricht. Der zugehörige Output beträgt danach 5 % des Outputs im Rahmen eines vollständigen Abrisses.

3.3.3.8 Unsicherheiten und Grenzen, kritische Würdigung

Um aussagekräftige Ergebnisse für die einzelnen Landkreise zu erzielen, ist eine gute Kenntnis zur Entwicklung der Leerstandsquote Voraussetzung. Über die Veränderung der Leerstandsquote wird auch gesteuert, wie sich Änderungen in der Nachfrage nach Fläche in Netto-Zubau und -abriss niederschlagen. Aufgrund mangelnder Daten musste eine unsichere, regionsunspezifische, gebäudetypenunabhängige Entwicklung der Leerstandsquote angesetzt werden. Weiterhin mussten unsichere, regionsunspezifische und zeitlich konstante Quoten für den Ersatzneubaubedarf festgelegt werden, was besonders für den Fall eines Rückgangs der Nachfrage schwierig ist, weil für diesen Fall anstatt Ersatzneubau teilweise auf den Bestandsüberhang zurückgegriffen werden wird. Unsicher ist, ab welcher Höhe der Leerstandsquote und in welchem Ausmaß der Ersatzneubaubedarf zum Erliegen kommt. Die lineare Drosselung des Ersatzneubaubedarfs ab einer Leerstandsquote von 6 % bis zu einem vollständigen Stopp des Ersatzneubaus ab 9 % Leerstandsquote kann je nach Region und Bedingungen anders aussehen. Ggf. bleibt auch ab einer Leerstandsquote von 9 % weiterhin eine Restaktivität im Ersatzneubau vorhanden. Für Wohngebäude hat das BBSR alle o.g. Faktoren zum Wohnungsneubaubedarf kombiniert, welcher aber aufgrund der unbekannteren Berechnungsmethodik nicht übernommen wurde. Die Berechnung des Bestands erfolgt weiterhin unabhängig vom Wohnungsneubaubedarf über Wohnflächennachfrage und die Prognose

der Leerstandsentwicklung, so dass mit Übernahme des Wohnungsneubaubedarfs zwar der Input besser abgebildet sein könnte, der prognostizierte Bestand aber gleichbliebe, so dass der errechnete Output dann mit noch größeren Fehlern behaftet sein könnte.

Die Sanierung wird einheitlich mit den o.g. Anteilen eines Neubaus/Abrisses bezüglich des gesamten Gebäudemateriallagers berücksichtigt. Dies ignoriert, dass bei einer Sanierung bestimmte Teile wie die Außenmauern nicht verändert werden und dafür andere Teile des Gebäudes umso mehr. Heizungskessel werden teilweise schon alle 15 Jahre ausgetauscht. Die Dämmung der Fassade muss eigentlich komplett getauscht werden, geht aber über die hier betrachtete Sanierung nur über den o.g. Anteil mit ein.

Eine weitere Spezifizierung des Zubaus nach 2009 erfolgt nicht. Die Aufteilung des Outputs auf die Gebäude verschiedenen Alters erfolgt im Modell nach den Mengenverhältnissen im Bestand. Dadurch wird nicht berücksichtigt, dass bestimmte Baualtersklassen wie bspw. die Nachkriegsbauten bevorzugt abgerissen werden.

Interaktionen zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden wie Umwidmungen von Nichtwohngebäuden in Wohngebäude können nicht abgebildet werden. Im Zweifel werden diese abgerissen. Umgekehrt wird jedoch ein wachsender Nichtwohnflächenanspruch in Wohngebäuden über den Anteil von Nichtwohnnutzen in Wohngebäuden abgebildet.

Eine Überschätzung der Flüsse aus Ersatzneubau und Sanierung im Bestand unter Hinzuziehung des jeweils aktuellen Bestandes ergibt sich dann, wenn sehr viel neuer Zubau erfolgt und dadurch das Durchschnittsalter des Bestandes sinkt. In einem solchen Bestand wären sowohl Ersatzneubaubedarfs- als auch Sanierungsquoten geringer anzusetzen, weil die neuen Gebäude davon eine gewisse Zeit nicht betroffen sein werden. Dies ist unter den gegebenen Bedingungen nicht im großen Maßstab zu erwarten.

Sonderströme wie Photovoltaik-Anlagen werden im Modell nicht mit betrachtet.

3.3.4 Szenarienberechnung für Inputs und Outputs in/aus Wohngebäuden

3.3.4.1 Standardszenario

Szenarien werden in diesem Modellteil als Kombination verschiedener Modellparameter verstanden, die Parameter zur Bevölkerungsentwicklung, zur Leerstandsentwicklung, zu Sanierungsquoten und zum Ersatzneubedarf umfassen. Als Standard dient eine Berechnung mit dem o.g. festgelegten Ersatzneubaubedarf für jeweils EFH/ZFH und MFH, der Abschätzung des Zubaus über die Wohnflächennachfrage/Bestand, einer vorgegebenen Leerstandsquote mit einem Anstieg von jährlich 0,07 % zwischen 2016 und 2020 bzw. 0,15 % zwischen 2020-2030 für den Fall einer sinkenden Nachfrage nach Wohnfläche in den jeweiligen Kreisen und einer Sanierungsquote von 2,5 %. Wenn die Nachfrage nach Wohnfläche steigt, wird hingegen stets eine jährliche Abnahme der Leerstandsquote um 0,07 % angenommen.

3.3.4.2 Alternative Berechnungsansätze

Zusammenfassend sind folgende Ansatzpunkte wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben mit Annahmen und Unsicherheiten behaftet, so dass alternative Berechnungsweisen mit deren Auswirkungen auf das Ergebnis betrachtet werden sollen (Kap. 3.4.2.4):

- Ersatzneubaubedarf: festgesetzt oder berechnet aus der Bautätigkeits- und Wohnungsbestandsstatistik
- Zubau: Abschätzung über Änderung des Wohnungsneubaubedarfs anstatt der Wohnflächennachfrage
- Zubau: Berechnung mit und ohne Berücksichtigung des Anteils von Nichtwohngebäudeflächen in Wohngebäuden
- Prognose Leerstandsquote vs. Prognose Abrissquote
- Ersatzneubaubedarf sinkt nicht ab einer Leerstandsquote von 6 % mit keinem Ersatzneubaubedarf ab einer Leerstandsquote von ≥ 9 %

3.3.4.3 Szenarien

Die Prognose der regionalisierten Bevölkerungsentwicklung hängt von einer Vielzahl schwer vorherzusagender Parameter ab. Genauso ist die Leerstands- und Abrissentwicklung sehr abhängig von den jeweiligen regionalen Rahmenbedingungen. Die Sanierungsquoten können ebenso starken Schwankungen unterworfen sein. Dies wird in Kap. 3.4.2.5 mit folgenden Parametern dargestellt.

Szenarioparameter im Modell durch die Bevölkerungsentwicklung

In der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung [Destatis 2015] wird die Bevölkerung bis 2035 unter Annahmen zum Aspekt der Geburtenhäufigkeit, Lebenserwartung und dem Wanderungssaldo prognostiziert. Es wird davon ausgegangen, dass der Berechnung eine annähernde Konstanz der derzeitigen Geburtenziffer, ein Anstieg der Lebenserwartung und ein Wanderungssaldo entsprechend der Untergrenze des langfristigen Durchschnitts (geringe Zuwanderung) zugrunde liegen (dortiges Szenario 3). Ein Vergleich für die in [BBSR 2015a] eingehenden Bevölkerungsdaten aus [BBSR 2015b] mit den Zahlen aus [Destatis 2015] legt dies nahe. Dies geht mit einer relativ niedrigen, prognostizierten Bevölkerungszahl einher.

Das Maximum wird über das Szenario abgebildet, welches einen leichten Anstieg der Geburtenziffer, eine stärkere Erhöhung der Lebenserwartung und ein Wanderungssaldo im oberen Bereich voraussetzt ([Destatis 2015], dortiges Szenario 8). Die höheren Input-Stoffflüsse, die mit diesem Maximum-Szenario verbunden sind, werden denjenigen aus dem Standard-Szenario (vgl. Kapitel 3.3.4.1) gegenübergestellt. Die Wohnflächennachfrage bzw. der Neubaubedarf an Wohnungen wird anhand der linearisierten prozentualen Erhöhung der Bevölkerung im Zukunftszeitraum hierdurch entsprechend vergrößert (positiver linearer Trend nach Formel (3-4), der sich aus der relativen Gegenüberstellung der Bevölkerungszahlen nach Szenario 8 und Szenario 3 in den Jahren 2013, 2020 (5 a) und 2030 (15 a) ergibt). Dies stellt eine Vereinfachung dar und berücksichtigt nicht, dass die zusätzliche Bevölkerung nicht zwangsweise dieselbe Nachfrage nach Wohnfläche

[m² pro Person] generieren wird wie der Bevölkerungsschnitt im Standardszenario.

Das Minimum wird über das Szenario mit einem geringeren Anstieg der Lebenserwartung abgebildet ([Destatis 2015], dortiges Szenario 1). Die Umrechnung in eine geringere Bevölkerungsentwicklung mit entsprechend geringerer Wohnflächennachfrage bzw. Neubaubedarf erfolgt nach dem negativen linearen Trend in Formel (3-4), der sich aus der relativen Gegenüberstellung der Bevölkerungszahlen nach Szenario 1 und Szenario 3 in den Jahren 2013, 2020 (5 a) und 2030 (15 a) ergibt.

$$\text{Maximaler Trend}^3: y = 0,0022 x + 0,9991 \quad (3-5)$$

x: Abstand seit 2015 [in Jahren];

y: Faktor, der auf Bevölkerungsprognose im Standard im Jahr 2015 + x multipliziert wird

$$\text{Minimaler Trend: } y = -0,0003 x + 1,0003 \quad (3-6)$$

Szenarioparameter Leerstandsentwicklung

Das Standardszenario basiert auf der Leerstandsquotenprognose aus [Bahnse & Effenberger 2006], nach der die Leerstandsquote von 2010 bis 2020 um 0,7 % und dann bis 2030 um 1,5 % ansteigt. Dies wird für die Kreise Baden-Württembergs übernommen, sobald sie eine stagnierende Nachfrage nach Wohnfläche verzeichnen. Bei veränderten Rahmenbedingungen kann der Leerstand entweder noch stärker zunehmen oder schneller beseitigt werden, so dass die Leerstandsquote kaum steigt.

³ Die Bevölkerungszahlen basieren auf [Destatis 2015] Szenario 8 bzw. Szenario 1 und Szenario 3 (Standard) für die Jahre 2013, 2020 und 2030 und werden jeweils ins Verhältnis gesetzt. Damit ergibt sich ausgehend aus dem Verhältnis von 2013 (vereinfachend auch für 2015 angesetzt) ein Trend für 5 Jahre später über das Verhältnis im Jahr 2020 und für 15 Jahre über das Verhältnis im Jahr 2030. Wenn die Verhältniszahlen auf dem Zeitstrahl von 0 bis 15 a aufgetragen und eine lineare Regression angewandt, ergeben sich die Formeln 4-3 und 4-4

Zusätzlich zum Standardszenario werden das Szenario Leerstand_{min}, in welchem der Leerstand trotz Stagnation in der Nachfrage nach Wohnfläche zwischen 2020 und 2030 nicht ansteigt (0 %) und das Szenario Leerstand_{max} gerechnet, in welchem die Leerstandsquote von 2020 bis 2030 ab Stagnation der Nachfrage um 3 % bzw. jährlich 0,3 % anstatt 0,15 % steigt. Als weitere Parameterausprägungen sind ein Anstieg der Leerstandsquote von jährlich 0,075 % und 0,225 % angenommen worden.

Szenarioparameter Sanierungsquoten

Die Standardsanierungsquote, die von einer Sanierung alle 40 Jahre ausgeht, wird minimal auf 1,67 % entsprechend einem Sanierungsintervall von 60 Jahren (67 % des Standards) und maximal auf 3,33 % (133 % des Standards) entsprechend einem Abstand der Sanierungszyklen von 30 Jahren variiert.

Szenarioparameter Ersatzneubaubedarf

Der Ersatzneubaubedarf wird wie die Sanierungsquote auf minimal 67 % des Standards (vgl. Kapitel 3.3.4.1) und maximal 133 % variiert. Unabhängig davon sinkt ab einer Leerstandsquote von 6 % der Ersatzneubaubedarf, so dass ab ≥ 9 % kein Ersatzneubaubedarf mehr gegeben ist.

3.3.4.4 Maximale (Pessimistische) und Minimale (Optimistische) Szenarien

Um den möglichen Szenariotrichter aufzuspannen und die mögliche Bandbreite bzw. Schwankung zukünftiger Entwicklungen aufzuzeigen, wird neben dem Standard-Szenario ein maximales (pessimistisches) und optimistisches Szenario gezeichnet. Im maximalen (pessimistischen) Szenario ist der Materialinput in das System maximal bei gleichzeitig geringerem Output, indem die Bevölkerungsentwicklung maximal ausfällt und die Leerstandsquote mit jährlich 0,3 % zwischen 2020-2030 ab Stagnation der Nachfrage nach Wohnfläche maximal ansteigt, so dass der Überhang im Bestand geparkt wird. Im optimistischen Szenario verhält es sich genau umgekehrt, die Bevölkerungsentwicklung ist minimal und die Leerstandsquote ab Stagnation der Nachfrage steigt nicht an, so dass größere Outputströme resultieren. Optimistisches, pessimistisches und Standardszenario werden

jeweils sowohl für Sanierungsquote und Ersatzneubaubedarf nach dem Standard als auch nach den für diese Parameter jeweils minimalen und maximalen Werten (s. oben) in Kapitel 3.4.2.6 gezeigt (vgl. Tabelle 3-2):

Tabelle 3-2: Betrachtete Szenarien mit den zugehörigen Parametereinstellungen für Wohngebäude

Nr.	Szenarien	Quoten	Szenarioparameter			
			Bevölkerungswachstum	Leerstandsentwicklung	Sanierungsquote	Ersatzneubaubedarf
1	Szenario Standard	Standard	Standard [BBSR 2015a]	0,15 %/a bei sinkender Nachfrage	2,5 %/a	0,2 %/a (EFH) 0,3 %/a (MFH)
2	Szenario minimal (Optimistisch)		Minimal, nach Szenario 1 aus [Destatis 2015] (Formel 4-3)	0 %/a bei sinkender Nachfrage	2,5 %/a	0,2 %/a (EFH) 0,3 %/a (MFH)
3	Szenario maximal (Pessimistisch)	Standard	Maximal, nach Szenario 8 aus [Destatis 2015] (Formel 4-4)	0,3 %/a bei sinkender Nachfrage	2,5 %/a	0,2 %/a (EFH) 0,3 %/a (MFH)
4	Szenario Standard	Minimum	Standard [BBSR 2015a]	0,15 %/a bei sinkender Nachfrage	1,67 %/a (67 % des Standards)	67 % des Standards
5	Szenario minimal (Optimistisch)		Minimal, nach Szenario 1 aus [Destatis 2015] (Formel 4-3)	0 %/a bei sinkender Nachfrage	1,67 %/a (67 % des Standards)	67 % des Standards
6	Szenario maximal (Pessimistisch)		Maximal, nach Szenario 8 aus [Destatis 2015] (Formel 4-4)	0,3 %/a bei sinkender Nachfrage	1,67 %/a (67 % des Standards)	67 % des Standards
7	Szenario Standard	Maximum	Standard [BBSR 2015a]	0,15 %/a bei sinkender Nachfrage	3,33 %/a (133 % des Standards)	133 % des Standards
8	Szenario minimal (Optimistisch)		Minimal, nach Szenario 1 aus [Destatis 2015] (Formel 4-3)	0 %/a bei sinkender Nachfrage	3,33 %/a (133 % des Standards)	133 % des Standards
	Szenario maximal (Pessimistisch)		Maximal, nach Szenario 8 aus [Destatis 2015] (Formel 4-4)	0,3 %/a bei sinkender Nachfrage	3,33 %/a (133 % des Standards)	133 % des Standards

Es ist zu erwarten, dass die Größe der Sanierungsquote und des Anteils des Ersatzneubaubedarfs am Bestand im Gegensatz zur Bevölkerungsentwicklung und Leerstandsquote den Input und Output gleichermaßen beeinflussen, wenn angenommen wird, dass dabei jeweils die gleiche Menge an Stoffströmen in den Bestand hinein- und herausfließt. Somit verändert sich dadurch die Menge der absoluten Stoffströme, aber nicht die Differenz aus In- und Output, die Bilanz. Daher werden Sanierungsquote und Ersatzneubaubedarf separat vom Parameterset Bevölkerungswachstum und Leerstandsentwicklung in Form zusätzlicher Szenarien betrachtet. Um die Auswirkungen auf die Bilanz zu vergleichen, müssen pessimistisches, optimistisches und Standardszenario mit jeweils derselben Stufe von Sanierungsquote und Ersatzneubaubedarf betrachtet werden. Die zusätzlichen Änderungen der absoluten Stoffströme bei minimalen bis maximalen Sanierungsquoten und Ersatzneubaubedarf in gleichzeitig In- und Output werden im Vergleich dieser zusätzlichen Szenarien adressiert.

3.3.5 Inputs und Outputs Nichtwohngebäude und Prognose

Das Vorgehen bei den Nichtwohngebäuden gleicht größtenteils dem in den Kapiteln 3.3.3 und 3.3.4 beschriebenen Vorgehen bei Wohngebäuden.

Der Ersatzneubaubedarf wird über den bundesdeutschen Nutzflächenzuwachs von 2003 bis 2010 im Verhältnis zum dortigen Bestand errechnet [Deilmann et al. 2014]. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass in diesem Zeitraum kein Zuwachs durch einen Anstieg der Beschäftigten bzw. der anderen demografischen Parameter stattgefunden hat. Alternativ werden die Veränderungen der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in diesem Zeitraum berücksichtigt, indem die Beschäftigten und andere demografische Größen aus dem Jahr 2003 und 2010 jeweils mit den zugehörigen Gebäudekennzahlen verrechnet und die Differenz von 2010 und 2003 vom Nutzflächenzuwachs 2003 bis 2010 abgezogen werden. Die Ergebnisse aus beiden Ansätzen werden als Schwankungsbreite gegenübergestellt (vgl. Tabellen in Kap. 3.4.2.4), welche die Unsicherheit bei der Abschätzung des

Ersatzneubaubedarfs widerspiegelt. Vereinfachend werden für die Gebäudetypen, die nicht über Beschäftigtenkennzahlen abgebildet werden, keine Bestandsveränderungen zwischen 2003 und 2010 angesetzt, weil die Einwohnerzahl als weitere Bezugsgröße im Gegensatz zur Beschäftigtenzahl in diesem Zeitraum gesunken anstatt gestiegen ist.

Die Veränderung der Nachfrage nach Nutzfläche wurde über die Prognose des [BBSR 2016] (Mitteilung Hr. Schlömer) zu Erwerbspersonen in den Kreisen abgebildet (inklusive arbeitsloser und freischaffender Personen). Ein Abgleich der vom BBSR angegebenen kreisspezifischen Erwerbspersonen mit den vom Statistischen Landesamt angegebenen sozialversicherungspflichtig Beschäftigten für die Jahre 2012 bis 2015 ermöglichte zunächst die Berechnung kreisspezifischer Faktoren zur Wandlung von Erwerbspersonen in sozialversicherungspflichtig Beschäftigte, so dass eine Prognose letzterer vorlag. Über die Multiplikation der Kennziffern mit den auf die Gebäude aufgeteilten Veränderungen der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten des Kreises wurden zur Bestimmung Gebäudetypen zugeordnet, vgl. Kapitel 3.3.2) lässt sich die Änderung der Nachfrage als Nutzfläche ermitteln. Dabei wurde angenommen, dass die zukünftige, relative Aufteilung der Beschäftigten auf die Gebäudetypen wie heute ausfällt (im Modell in Fünfjahresschritten einstellbar). Für die Gebäudetypen, die nicht über Kennzahlen mit Bezug zu Erwerbspersonen abgebildet werden, wird hingegen die relative Veränderung der Einwohner direkt auf die Nutzflächen übertragen. Dieses Vorgehen stellt für Schulen, Hochschulen, Kinderbetreuung und landwirtschaftliche Betriebsgebäude eine Vereinfachung dar, weil keine Prognose für die den zugehörigen Kennzahlen zugrundeliegenden Schüler, Studenten, Kinderplätzen bzw. landwirtschaftliche Nutzfläche verfügbar ist.

Die aktuellen Leerstandsquoten wurden dem Wohnbereich und dort dem Stand bei den Mehrfamilienhäusern in den einzelnen Kreisen gleichgesetzt. Die Leerstandsentwicklung zur Abschätzung des zukünftigen Bestands wurde vereinfachend einheitlich für alle Nichtwohngebäude und Kreise zu

den gleichen, relativ auf den Bestand bezogenen Differenzen wie für Wohngebäude in West-Deutschland angesetzt (jährliche Steigerung um 0,07 % des Bestandes von 2011 bis 2020 bzw. 0,15 % von 2020 bis 2030 bei Stagnation der Nachfrage; bei steigender Nachfrage hingegen sinkende Leerstandsquote, vgl. Kapitel 3.3.3.3). Dies ist im Modell über eine Parameter-tabelle aber ebenfalls frei veränderbar.

Der Abriss wird entsprechend dem Anteil der verschiedenen Baualter-BRI im Bestand aus dem Vorzeitschritt, der älter als 30 a ist, auf die verschiedenen Gebäudealter aufgeteilt. Grund für den Einbezug der im Vergleich zu den Wohngebäuden jüngeren Gebäude ist die angenommene geringere Lebensdauer der Nichtwohngebäude.

Zur Abschätzung eines westdeutschen Abrisstrends im Zuge der Prognose des zukünftigen Bestandes werden die für Wohngebäude prognostizierten Abrisszahlen aus [Bahnse & Effenberger 2006] über den Anteil des Abrisses an Wohnungen in West-D am Bestand der Wohnungen in D auf den Bestand der Nichtwohngebäude-Nutzfläche in D übertragen, um den Abriss der Nichtwohngebäude-Nutzfläche in West-D zu approximieren. Um nun den Abriss an Nichtwohngebäude-Nutzfläche in den einzelnen Kreisen zu ermitteln, werden darauf die Anteile der Kreise Baden-Württembergs am gesamten Abriss West-D bezüglich der Anzahl der Wohnungen in MFH angesetzt. Die kreisspezifisch gesamte abgerissene Nichtwohngebäude-Nutzfläche wird dann über die Verhältnisse der Nutzflächen der verschiedenen Nichtwohngebäudetypen im aktuellen Bestand auf die verschiedenen Gebäudetypen aufgeteilt. Dabei wird für jeden Gebäudetyp zusätzlich die relative Abweichung des gebäudespezifischen Ersatzneubaubedarfs vom jeweiligen kreisspezifischen mittleren Ersatzneubaubedarf für die gesamte Nichtwohngebäude-Nutzfläche berücksichtigt, so dass die prognostizierten Abrisszahlen entsprechend zusätzlich zur relativen Aufteilung im Bestand korrigiert werden. Im Vergleich mit dem Ergebnis aus dem Ansatz mit Abschätzung der Leerstandsquote ergibt sich eine Schwankungsbreite (vgl. Tabellen in Kap. 3.4.2.4), die aus der unsicheren Entwicklung des zukünftigen Bestands auch bei gleicher Nachfrageentwicklung resultiert.

3.3.5.1 Korrektur der Stoffflüsse

Der so ermittelte Zubau und Abriss ist aufgrund von Baumaßnahmen im Bestand wie bei den Wohngebäuden beschrieben mit teilweise geringeren Stoffströmen verbunden, welche als Zugang ohne Neubau bzw. Abgang ohne Abriss in [Deilmann et al. 2014] aufgeführt sind.

Der Zubau und Abgang durch Baumaßnahmen im Bestand macht nach [Deilmann et al. 2014] einen Anteil von 16 % bzw. 8 % aus. Bei einem solchen Zugang fallen jeweils 4,75 % des Ausgangsmateriallagers als Input an, bei einem solchen Abgang 13 % als Output. Gleichzeitig wird bei diesen Bestandsbaumaßnahmen auch wieder ein umgekehrter Stofffluss erzeugt, d.h. ein Output durch den Zubau in Höhe von 4,3 % bzw. ein Input durch den Abgang von 2,7 % jeweils in Höhe des Ausgangsmateriallagers. Für landwirtschaftliche Betriebsgebäude, Fabrik- und Werkstattgebäude sowie Handels- und Lagergebäude wird auch hier von einem statistisch nicht erfassten Abgang mit einem größeren Anteil, der durch Teilabriss und Umnutzung/Zusammenlegung bedingt ist, ausgegangen. Dadurch sinkt der durch Abgang verursachte Stoffstrom im Vergleich zum vollständigen Abriss auf 73 % bei landwirtschaftlichen Betriebsgebäuden, auf knapp 64 % bei Fabrik- und Werkstattgebäuden sowie auf knapp 59 % bei Handels- und Lagergebäuden. Bei den anderen Gebäudetypen Anstaltsgebäude, Büro- und Verwaltungsgebäude, Hotels und Gaststätten sowie sonstigen Nichtwohngebäuden wird von keinem statistisch nicht erfassten Abgang ausgegangen, so dass der Anteil des Stoffstroms im Vergleich zum vollständigen Abriss knapp 95 % beträgt. Für den Zubau resultieren einheitlich für alle Nichtwohngebäudetypen knapp 87 % der Stoffströme eines Neubaus.

Aus den gleichen Gründen wie bei den Wohngebäuden (vgl. Kapitel 3.3.3.6) werden standardmäßig aber keine Korrekturen der Input- und Output-Stoffströme vorgenommen.

3.3.5.2 Sanierung

Vorausgehend wurde wiederum der rechnerische Eingriff in den BRI als Netto-Input bzw. –Output bestimmt, welcher durch Addition der rechnerischen Eingriffe im Zuge von Sanierungstätigkeiten nun in den jeweiligen Brutto-Wert umgerechnet wird.

Bei Nichtwohngebäuden ist die Sanierungsrate mit 2 % für wohngebäudeähnliche Nichtwohngebäude in [Deilmann et al. 2014] etwas geringer angesetzt als bei Wohngebäuden; bei den anderen Nichtwohngebäuden ist diese Rate mit 0,5 % noch geringer. Als Grund ist hierfür angegeben, dass insbesondere Letztere nach 30 Jahren Lebenszeit eher abgerissen als saniert werden. Die Sanierung von Nichtwohngebäuden ist durch [Deilmann et al. 2014] mit einem Stoffstrom-Input von 5,5 % des Gebäudes bei wohngebäudeähnlichen Nichtwohngebäuden und 3 % bei den anderen Nicht-Wohngebäuden verbunden; der Stoffstrom-Output beträgt 5 % bzw. 2,5 %.

3.3.5.3 Unsicherheiten und Grenzen, kritische Würdigung

Aufgrund mangelnder Informationen mussten die aktuell im Bestand in den einzelnen Kreisen anzutreffenden Leerstandsquoten für alle Nichtwohngebäudetypen mit denen vorhandener Werte für Mehrfamilienhäuser approximiert werden. Auch die Entwicklung der Leerstandsquote wird in Abhängigkeit von Zuwachs oder Abnahme der Nachfrage nach Fläche wie diejenige im Wohngebäudebereich angesetzt.

Der Pool der potenziell zu sanierenden bzw. durch Ersatzneubau zu ersetzenden Nichtwohngebäude wird ab einem Alter von 30 Jahren erreicht. Dies ist auch so für wohngebäudeähnliche Nichtwohngebäude angesetzt, obwohl hier wie bei Wohngebäuden das Alter bei 40 Jahren liegen könnte.

Die Annahme, dass sich die zukünftigen sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den Kreisen genauso wie heute auf die verschiedenen Gebäudetypen aufteilen, ist nicht ganz zutreffend, weil aufgrund des Strukturwandels anzunehmen ist, dass weiterhin eine Verschiebung von Mitarbeitern in Richtung Büro- und Verwaltungsgebäude stattfinden wird.

Weiterhin werden sich die Kennzahlen für die Nutzfläche pro sozialversicherungspflichtig Beschäftigtem in Zukunft ändern, wenn bspw. Mitarbeiter in der Produktion durch automatische Systeme ersetzt werden. Zusätzlich gelten die in Kapitel 3.3.8 getroffenen Aussagen entsprechend.

3.3.6 Szenarienberechnung für Inputs und Outputs in/aus Nichtwohngebäuden

3.3.6.1 Standardszenario

Als Standard berechnet wird ein Szenario mit dem im Standard-Bevölkerungsfall (vgl. Kapitel 3.3.4) prognostizierten Beschäftigtenzahlen, mit dem Ersatzneubaubedarf, wie er sich über den Nutzflächenzuwachs zwischen 2003 und 2010 ohne Berücksichtigung der Veränderungen der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten ergibt, der Vorgabe einer Leerstandsquote mit einer Zunahme um jährlich 0,15 % ab der Stagnation der Beschäftigtenzahlen/Nachfrage und einer wie in Kap. 3.3.5.2 benannten mittleren Sanierungsrate.

3.3.6.2 Alternative Berechnungsansätze

Zusammenfassend sind folgende Ansatzpunkte wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben mit Annahmen und Unsicherheiten behaftet, so dass alternative Berechnungsweisen mit deren Auswirkungen auf das Ergebnis in Kap. 3.4.2.4 betrachtet werden sollen:

- Ersatzneubaubedarf 2003-2010 ohne und mit Berücksichtigung der Anzahl der Beschäftigten
- Leerstand- vs. Abrissquote
- Ersatzneubaubedarf sinkt nicht wie im Standardfall, wenn die Leerstandsquote 6 % überschreitet, sondern bleibt auch bei höheren Leerstandsquoten konstant

3.3.6.3 Szenarien

Die Prognose der Beschäftigten hängt von einer Vielzahl schwer vorherzusagender Parameter ab. Genauso ist die Leerstands- und Abrissentwicklung

sehr abhängig von den jeweiligen, regionalen Rahmenbedingungen. Die Sanierungsquoten können ebenso starken Schwankungen unterworfen sein. Dies wird in Kap. 3.4.2.5 mit folgenden Parametern dargestellt.

Szenarioparameter zur Beschäftigtenentwicklung

In der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung [Destatis 2015] wird die Bevölkerung bis 2035 als Bandbreite verschiedener Szenarien abgebildet. Es lässt sich ein zeitabhängiger linearer Trend für die Bevölkerung ermitteln, mit welchem das Maximum bzw. Minimum vom Standard abweicht (Kapitel 3.3.4.3). Dieser Trend wird ebenso auf die standardmäßige Beschäftigtenprognose aufgeschlagen, um eine Abschätzung für eine maximale Nachfrage nach Nutzfläche zu erhalten. Für die Gebäudetypen, die nicht über Kennzahlen mit Bezug zu sozialversicherungspflichtig Beschäftigten abgebildet werden, wird hingegen die relative Veränderung der Einwohner direkt auf die Nutzflächen übertragen.

Dies stellt eine Vereinfachung dar und berücksichtigt nicht, dass die zusätzlichen Personen nicht zwangsweise die Zahl der Beschäftigten bzw. den Anteil der Bevölkerung, der die Nichtwohngebäude nutzt, erhöhen.

Szenarioparameter zur Leerstandsentwicklung

Das Standardszenario basiert auf der Leerstandsquotenprognose aus [Banse & Effenberger 2006] für Wohngebäude, nach der die Leerstandsquote von 2010 bis 2020 um 0,7 % und dann bis 2030 um 1,5 % ansteigt. Die Daten für Wohngebäude werden angesetzt, weil für Nichtwohngebäude keine Prognosen vorliegen. Dies wird für die Kreise Baden-Württembergs übernommen, sobald sie eine stagnierende Nachfrage nach Nichtwohnfläche verzeichnen. Bei veränderten Rahmenbedingungen kann der Leerstand entweder noch stärker zunehmen oder schneller beseitigt werden, so dass die Leerstandsquote kaum steigt:

Zusätzlich zum Standardszenario wird ein Szenario Leerstand_{min}, in welchem der Leerstand trotz Stagnation in der Nachfrage nach Nichtwohnfläche nicht ansteigt (0 %), und eines mit Leerstand_{max} gerechnet, in welchem

die Leerstandsquote von 2020 bis 2030 ab Stagnation der Nachfrage um 3 % bzw. jährlich 0,3 % anstatt 0,15 % steigt. Weiterhin werden Leerstandszenarien abgebildet, in welchen die jährliche Steigung 0,075 % und 0,225 % beträgt.

Szenarioparameter zu Sanierungsquoten

Die Standardsanierungsquote von 2 % für wohngebäudeähnliche Nichtwohngebäude bzw. 0,5 % für alle anderen Nichtwohngebäude wird minimal auf 67 % des Standards gesenkt und maximal auf 133 % erhöht.

Sensitivitäten Ersatzneubaubedarf

Der Ersatzneubaubedarf wird wie die Sanierungsquote auf minimal 67 % des Standards (Kap. 3.3.6.1) und maximal 133 % variiert. Unabhängig davon sinkt ab einer Leerstandsquote von 6 % der Ersatzneubaubedarf, so dass ab > = 9 % kein Ersatzneubaubedarf mehr gegeben ist.

3.3.6.4 Maximale (pessimistische) und minimale (optimistische) Szenarien

Wie bei den Wohngebäuden erläutert, wird neben dem Standardszenario jeweils ein bezüglich des Verbrauchs an Inputstoffen maximales, pessimistisches Szenario und ein optimistisches Szenario mit demgegenüber höheren Outputströmen durch entsprechende Kombination von aus der Bevölkerungsentwicklung abgeleiteten Beschäftigtenentwicklung und Leerstandsquote generiert. Dies wird jeweils bei Standard-, Minimal- und Maximalwerten für Ersatzneubaubedarf und Sanierungsquoten betrachtet (vgl. Tabelle 3-3).

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands (AP2)

Tabelle 3-3: Betrachtete maximale (pessimistische) und minimale (optimistische) Szenarien mit den zugehörigen Parametereinstellungen für Nichtwohngebäude

Nr.	Szenario	Quoten	Szenarioparameter			
			Beschäftigtenentwicklung	Leerstandsentwicklung	Sanierungsquote	Ersatzneubaubedarf
1	Szenario Standard	Standard	Standard [BBSR 2016]	0,15 %/a bei sinkender Nachfrage	2 %/a (WG-ähnliche), sonst 0,5 %/a	Von 0,31 %/a (Sonstige NWG) bis 1,09 % (Anstaltsgebäude)
2	Szenario minimal (optimistisch)		Minimaler Trend, nach Szenario 1 aus [Destatis 2015] (Formel 4-3)	0 %/a bei sinkender Nachfrage	2 %/a (WG-ähnliche), sonst 0,5 %/a	Von 0,31 %/a (Sonstige NWG) bis 1,09 % (Anstaltsgebäude)
3	Szenario maximal (pessimistisch)	Standard	Maximaler Trend, nach Szenario 8 aus [Destatis 2015] (Formel 4-4)	0,3 %/a bei sinkender Nachfrage	2 %/a (WG-ähnliche), sonst 0,5 %/a	Von 0,31 %/a (Sonstige NWG) bis 1,09 % (Anstaltsgebäude)
4	Szenario Standard	Minimum	Standard [BBSR 2016]	0,15 %/a bei sinkender Nachfrage	67 % des Standards	67 % des Standards
5	Szenario minimal (optimistisch)		Minimaler Trend, nach Szenario 1 aus [Destatis 2015] (Formel 4-3)	0 %/a bei sinkender Nachfrage	67 % des Standards	67 % des Standards
6	Szenario maximal (pessimistisch)		Maximaler Trend, nach Szenario 8 aus [Destatis 2015] (Formel 4-4)	0,3 %/a bei sinkender Nachfrage	67 % des Standards	67 % des Standards
7	Szenario Standard	Maximum	Standard [BBSR 2016]	0,15 %/a bei sinkender Nachfrage	133 % des Standards	133 % des Standards
8	Szenario minimal (optimistisch)		Minimaler Trend, nach Szenario 1 aus [Destatis 2015] (Formel 4-3)	0 %/a bei sinkender Nachfrage	133 % des Standards	133 % des Standards
9	Szenario maximal (pessimistisch)		Maximaler Trend, nach Szenario 8 aus [Destatis 2015] (Formel 4-4)	0,3 %/a bei sinkender Nachfrage	133 % des Standards	133 % des Standards

3.3.7 Bestimmung der Materialströme

In einem nächsten Schritt müssen die als Bruttorauminhalt bestimmten Bestände und In- und Outputs in Materialflüsse umgerechnet werden. Dazu werden die in AP1 aufgestellte Datenbank an gebäudespezifischen Gebäudesteckbriefen herangezogen, in welchen die Materialdichten [kg/m^3 BRI] für die verschiedenen Gebäudetypen angegeben sind. Das Produkt aus den Beständen bzw. Inputs und Outputs in Bruttorauminhalt und der Materialdichte in dem jeweils zugehörigen Gebäudesteckbrief liefert die Bestände bzw. Stoffströme in der Masse der vorhandenen bzw. verwendeten/anfallenden Materialien.

3.3.8 Bestand sowie Materialflüsse aus/in die Straßen- und Weginfrastruktur und Prognose

Der Bestand und die Entwicklung der Infrastruktur werden über das Szenario „Referenz“ aus [UBA 2016] abgebildet. Diesem liegt die Annahme „business as usual“ zugrunde. Die damit verbundenen Randbedingungen sind in Tabelle 3-2 aufgeführt. Betrachtet werden dabei nur die im Zusammenhang mit Straßen anfallenden Materialien. Die Materialien für Bahn, Kanäle und Leitungen sowie weitere Bauten im Bereich der Infrastruktur außerhalb des Straßenbereichs werden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Da in [UBA 2016] die Stoffflüsse und -prognosen der Straßen und Bauwerke nur für Regionen, (in Baden-Württemberg entsprechend der Regierungsbezirke) angegeben sind, werden die regionalen Stoffflüsse auf Kreisebene für die Straßen unter Zuhilfenahme der kreisspezifischen Straßenlängen der verschiedenen Straßentypen im Verhältnis zur Gesamtstraßenlänge der jeweiligen Straßentypen in der zugehörigen Region auf die einzelnen Kreise umgelegt. Für die Bauwerke erfolgt die Umrechnung auf Basis der Flächengrößen aller Straßenbauwerke in den Landkreisen im Verhältnis zur Flächengröße aller Straßenbauwerke in der gesamten Region. Die Ungenauigkeit, die daraus resultiert, ist jeweils als gering einzustufen. Wenn der Anteil des Neubaus an der Summe aus Neubau und Erneuerung groß wird, steigt

auch die Ungenauigkeit, die über die Umrechnung der Stoffflüsse aus den Regionen auf die Kreise anhand des Bestands erzeugt wird. Der Anteil Neubau am gesamten Zubau liegt auch nach Materialien bei zumeist <30 %, so dass das beschriebene Vorgehen vertretbar ist.

Tabelle 3-4: Übersicht über die in [UBA 2016] betrachteten Szenarien

	Referenz-szenario	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Siedlungsflächen-entwicklung	30 ha/Tag	50 ha/Tag	50 ha/Tag	0 ha/Tag (nach 2030)	15ha/Tag
Planzahlen Bundesstraßen	Mittlere	Obere	Obere	Kein Zu-wachs	50 % des Referenz-szenarios
Rückführung					
Asphalt	75 %	100 %	50 %	75 %	75 %
Beton / Pflaster	100 %	100 %	75 %	100 %	100 %
Ungeb. Schichten	75 %	75 %	25 %	75 %	75 %
Erneuerungszyklen	Tunnel 100a Brücken 80a Ungeb. Schichten 100a Asphalt Bk SV, I, II: 15-60a Bk III – VI: 50-100a	Wie Referenz	Kommunen Halbierung Außerorts Hocheinbau 50 % Brücken / Tunnel Halbierung	Wie Referenz-szenario	Wie Szenario 2

3.4 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zum Bestand und den Stoffflüssen werden zunächst in Form umbauten Raumes, dem Bruttorauminhalt (BRI), dargestellt. Erst danach findet die Berechnung mit den Materialsteckbriefen statt, so dass dann Bestand in Materialmassen und Materialflüsse dargestellt werden. Dies erhöht die Transparenz des Vorgehens und ermöglicht bei besserer Kenntnis der gebäudespezifischen Materialkennzahlen einzelner Gebäudetypen

die Aktualisierung und Verfeinerung der Modellergebnisse. Für die Infrastruktur wurden die Daten aus [UBA 2016] entnommen, so dass hierfür nur Ergebnisse auf Materialebene in Kap. 3.4.3 vorliegen.

3.4.1 Bestandsgebäude in den Kreisen Baden-Württembergs [BRI]

Der Bestand der Wohngebäude teilt sich wie in Abbildung 3-3 dargestellt jeweils anteilig auf die einzelnen Gebäudetypen in den verschiedenen Kreisen auf. Der Anteil an EFH/ZFH am Wohngebäudebestand im Kreis sinkt mit dessen Einwohnerdichte [Einwohner/km²] (vgl. auch Anhang Abbildung A-1). Insbesondere in den dichter besiedelten Stadtkreisen überwiegt der Mehrgeschossbau.

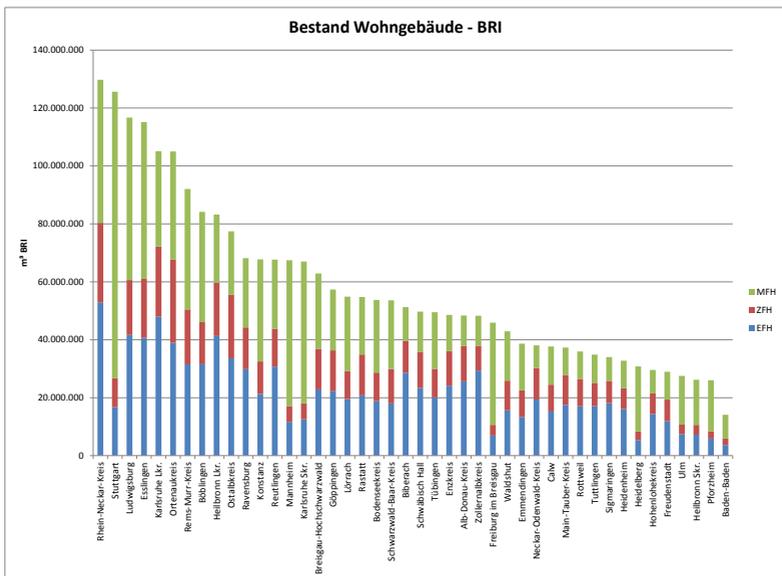


Abbildung 3-3: Bestand Wohngebäudetypen als Bruttorauminhalt (BRI) in den Kreisen

Wird der Bestand in den Kreisen auf die zugehörigen Einwohner normiert, so verschwinden die großen Unterschiede zwischen den Kreisen. Wenn gleichzeitig nach der Einwohnerdichte in absteigender Reihenfolge sortiert wird, so zeigt sich, dass in dichter besiedelten Kreisen der Wohngebäude-BRI pro Einwohner etwas geringer ist und gleichzeitig MFH hier eine größere Bedeutung zukommt (Abbildung 3-4).

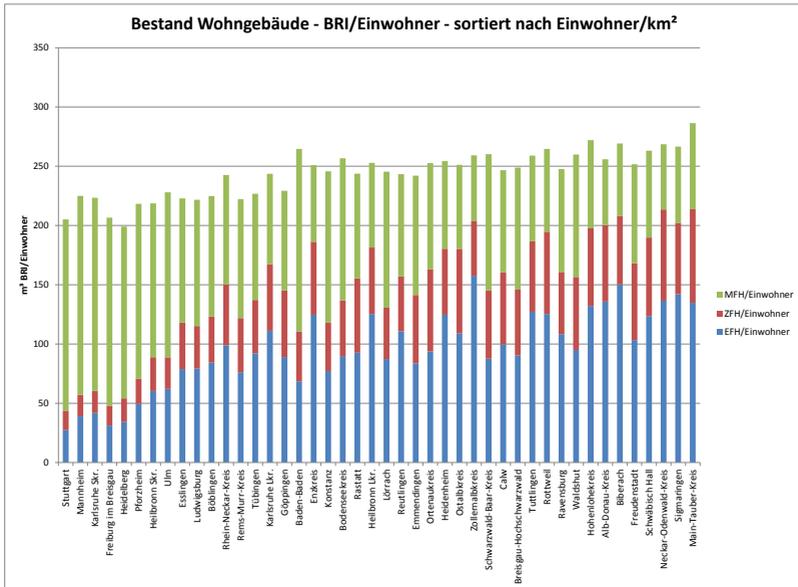


Abbildung 3-4: Bestand Wohngebäudetypen als Bruttorauminhalt (BRI), normiert auf Einwohnerzahl und sortiert nach absteigender Bevölkerungsdichte der Kreise

Der Bestand der Nichtwohngebäude teilt sich wie folgt jeweils anteilmäßig nach den verschiedenen Gebäudetypen auf die Kreise auf (Abbildung 3-5). Spitzenreiter in absoluten Zahlen ist der Stadtkreis Stuttgart.

Wird dieser Bestand auf die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten normiert, wird ersichtlich, dass der Spitzenreiter in absoluten Zahlen, Stuttgart, hinsichtlich des entsprechend spezifischen Bestands fast den geringsten

Wert aufweist (Abbildung 3-6). Im Vergleich zu den Wohngebäuden schwankt der spezifische Bestand zwischen den Landkreisen bei den Nichtwohngebäuden deutlich stärker.

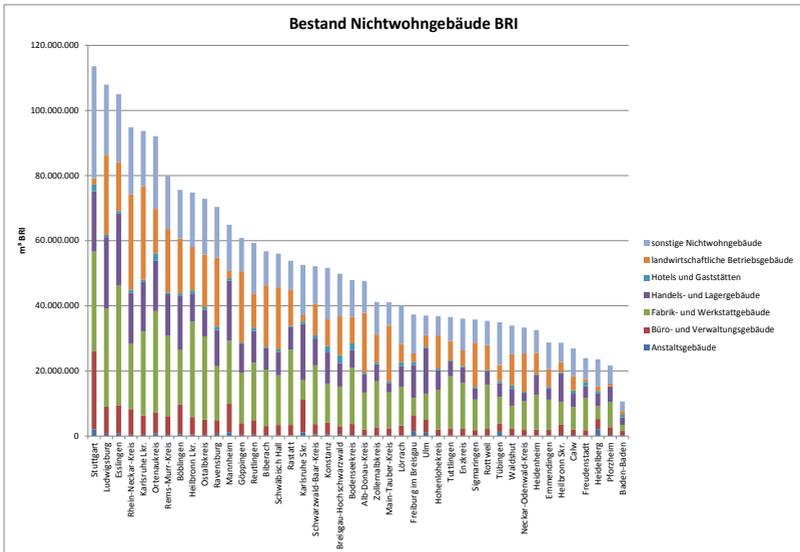


Abbildung 3-5: Bestand Nichtwohngebäudetypen in Bruttoflächeninhalt (BRI) in den Kreisen; landwirtschaftliche Betriebsgebäude im Landkreis Freudenstadt sind deutlich unterschätzt

Die Normierung des Bestands auf sozialversicherungspflichtig Beschäftigte und Sortierung nach Siedlungsdichte zeigt, dass der spezifische Nichtwohngebäude-BRI mit abnehmender Siedlungsdichte tendenziell zunimmt. Das spricht dafür, dass in dichter besiedelten Gebieten eher Arbeiten mit geringerem Flächenbedarf verrichtet werden.

Wird der Bestand auf die Einwohner normiert und nach der Bevölkerungsdichte sortiert dargestellt, zeigt sich, dass der größte, einwohnerspezifische Bestand an landwirtschaftlicher Nutzfläche und damit auch landwirtschaftlichen Betriebsgebäuden in den dünner besiedelten Kreisen zu finden ist. Ulm hat trotz seiner relativ großen Bevölkerungsdichte einen relativ großen

einwohnerspezifischen BRI an Nichtwohngebäuden (vgl. Anhang Abbildung A-2). Dies wird noch deutlicher, wenn die Gebäudetypen nicht mit absoluten Werten, sondern jeweils normiert auf den Bestand dargestellt werden (vgl. Abbildung 3-7). Der große Anteil der Anstaltsgebäude in Heidelberg lässt sich mit der Größe der dort ansässigen Universitätsklinik erklären. Universitätsstädte wie Tübingen zeigen einen großen Anteil sonstiger Nichtwohngebäude.

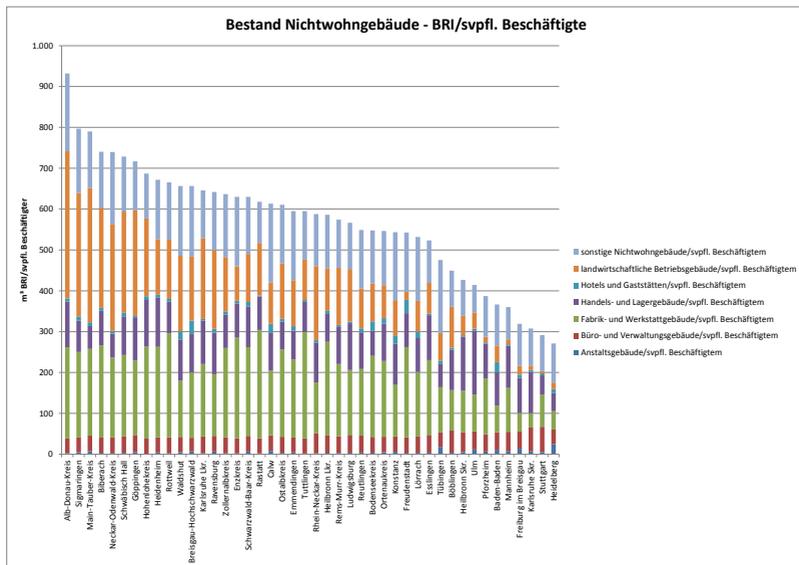


Abbildung 3-6: Bestand Nichtwohngebäudetypen als Bruttorauminhalt (BRI), normiert auf sozialversicherungspflichtig Beschäftigte der Kreise; landwirtschaftliche Betriebsgebäude im Landkreis Freudenstadt sind deutlich unterschätzt

Wenn die absoluten Zahlen der Hotels und Gaststätten herausgegriffen wird, zeigen sich die Städte mit geschäftlichen Übernachtungen und Städtereisenden (Stuttgart) und die Landkreise, die Orte mit hohem Erholungswert besitzen (Breisgau-Hochschwarzwald) (vgl. Anhang Abbildung A-3).

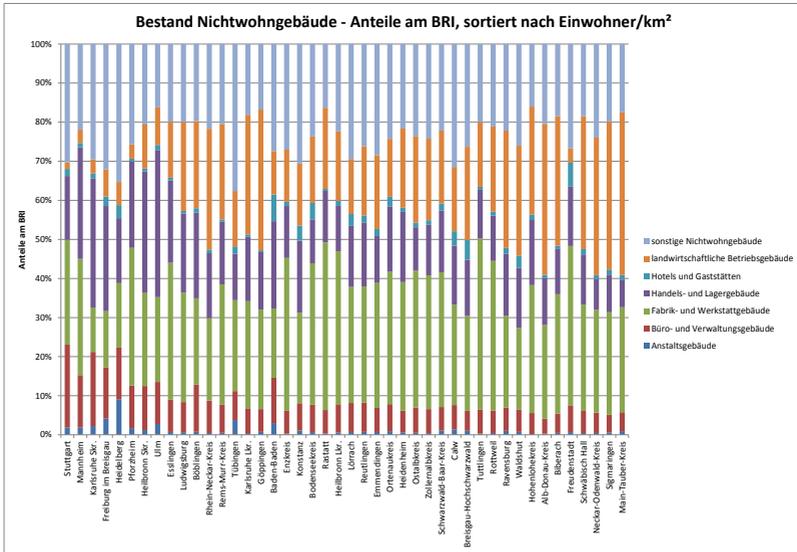


Abbildung 3-7: Relativer Anteil des Nichtwohngebäudetypen-Bruttorauminhalt (BRI) am Nichtwohngebäudebestand-BRI der jeweiligen Kreise, sortiert nach absteigender Bevölkerungsdichte der Kreise; landwirtschaftliche Betriebsgebäude im Landkreis Freudenstadt sind deutlich unterschätzt

Die Darstellung der Summe aus Wohn- und Nichtwohngebäuden (vgl. Abbildung 3-8) zeigt, dass der BRI der Wohngebäude den der Nichtwohngebäude etwas überwiegt. Den absolut höchsten Wert weist trotzdem noch der Stadtkreis Stuttgart auf. Für ausgewählte Kreise ist im Anhang in Abbildung A-5 die Aufteilung des Gebäudebestands auf die zugehörigen einzelnen Wohn- und Nichtwohngebäudetypen dargestellt. Der Anteil der Wohngebäude an den gesamten Gebäuden hängt nicht maßgeblich von der Einwohnerdichte des jeweiligen Landkreises ab. Weil in dünner besiedelten Regionen eher Arbeitsplätze mit größerem Flächenbedarf angesiedelt sind, könnte davon ausgegangen werden, dass der Anteil der Nichtwohngebäude mit abnehmender Siedlungsdichte tendenziell zunimmt. Gleichzeitig steigt in dünner besiedelten Gegenden aber ebenso der einwohnerspezifische Wohngebäude-BRI. Wenn der Bestand auf die Einwohner in den Kreisen

normiert wird, schrumpfen die Unterschiede zwischen den Landkreisen. Tendenziell ist der einwohnerspezifische Bestand in dünnbesiedelten Kreisen größer (vgl. Anhang Abbildung A-4).

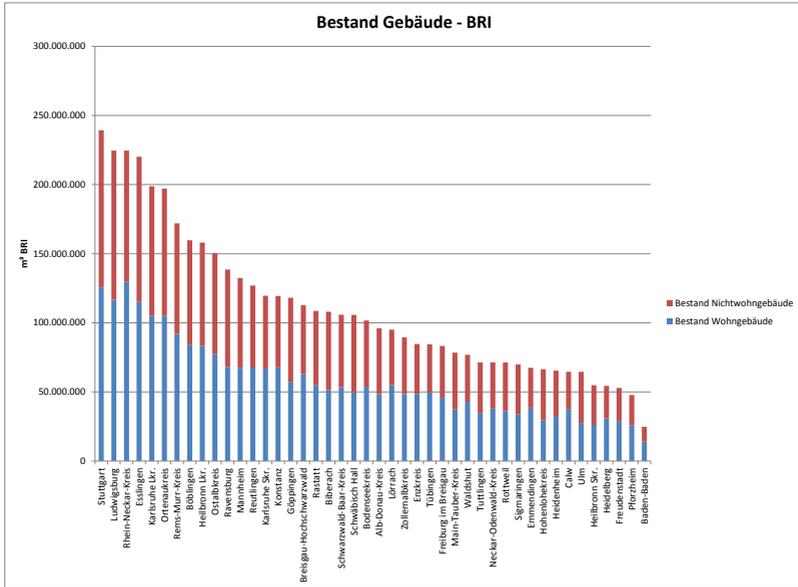


Abbildung 3-8: Anteil Wohn- und Nichtwohngebäude am Gebäudebestand in den Kreisen Baden-Württembergs

3.4.1.1 Alternative Berechnungsansätze zum Gebäudebestand

Wie sich der Bestand der Wohngebäude relativ verändert, wenn der BRI nicht über die Wohnflächen (=100%), sondern über die Anzahl der Gebäude und Gebäudedaten nach [Gruhler & Böhm 2011a] bzw. [IWU 2015] und [IWU 2005] sowie über die Wohnflächen ohne Berücksichtigung der Nichtwohnnutzungen bestimmt wird (vgl. Kapitel 3.3.1), zeigt folgende Tabelle 3-5. Die Veränderungen halten sich in einem begrenzten Rahmen zwischen 80 % und 130 %.

Tabelle 3-5: Ergebnisse für alternative Berechnungsweisen des Wohngebäudebestands im Basisjahr 2015; relative Darstellung zum Standardszenario in dieser Studie mit 100 %

Wohngebäude Baden-Württemberg --> relative Veränderung im Bestand; Standard = 100 %	Bestand über Anzahl Gebäude und Eigenschaften aus Gruhler & Böhm	Bestand über Anzahl Gebäude und Eigenschaften aus IWU	Bestand über Wohnfläche ohne Addition Nichtwohnnutzflächen
Stuttgart	97%	122%	91%
Böblingen	95%	108%	91%
Esslingen	103%	118%	91%
Göppingen	101%	107%	90%
Ludwigsburg	100%	117%	91%
Rems-Murr-Kreis	105%	122%	92%
Heilbronn	102%	127%	90%
Heilbronn	92%	91%	84%
Hohenlohekreis	83%	83%	78%
Schwäbisch Hall	87%	88%	80%
Main-Tauber-Kreis	87%	87%	81%
Heidenheim	93%	93%	83%
Ostalbkreis	91%	92%	84%
Baden-Baden	98%	109%	93%
Karlsruhe	86%	106%	92%
Karlsruhe	98%	103%	92%
Rastatt	97%	105%	91%
Heidelberg	93%	111%	93%
Mannheim	87%	111%	91%
Neckar-Odenwald-Kr	90%	87%	85%
Rhein-Neckar-Kreis	100%	109%	93%
Pforzheim	91%	117%	92%
Calw	99%	103%	88%
Enzkreis	97%	96%	87%
Freudenstadt	98%	103%	86%
Freiburg im Breisgau	85%	111%	92%
Breisgau-Hochschwarzwald	94%	103%	86%
Emmendingen	95%	105%	87%
Ortenaukreis	90%	97%	84%
Rottweil	93%	94%	83%
Schwarzwald-Baar-Kreis	90%	99%	83%
Tuttlingen	91%	90%	82%
Konstanz	91%	104%	86%
Lörrach	91%	99%	87%
Waldshut	91%	96%	86%
Reutlingen	95%	97%	85%
Tübingen	95%	101%	88%
Zollernalbkreis	97%	93%	85%
Ulm	90%	103%	87%
Alb-Donau-Kreis	90%	89%	83%
Biberach	86%	83%	80%
Bodenseekreis	93%	107%	84%
Ravensburg	89%	93%	82%
Sigmaringen	89%	86%	82%

3.4.2 Input und Output als BRI [m³]

3.4.2.1 Wohngebäude

In folgenden Diagrammen ist dargestellt, wie sich der In- und Output sowie die Bilanz daraus anteilmäßig nach den verschiedenen Wohngebäudetypen jeweils über die verschiedenen Kreise in Summe über die Jahre 2016 bis 2030 darstellen. Den absolut höchsten Input in diesem Zeitraum weist der Rhein-Neckar-Kreis auf (vgl. Abbildung 3-9). Der Output ist hingegen im Stadtkreis Stuttgart absolut noch etwas größer. Generell folgt der Output aber in der Reihenfolge dem Input, so dass in der Bilanz keine großen Abweichungen von der Inputreihenfolge zu verzeichnen sind. Kleinere Einbrüche in der Bilanz durch im Verhältnis zum Input größeren Output gibt es aber bei einigen Kreisen, wie bspw. den Städten Mannheim, Karlsruhe und dem Schwarzwald-Baar-Kreis.

Nach der Normierung des Zubaus und Abrisses auf den Bestand, lässt sich die Größe der Bautätigkeit zwischen 2016 und 2030 unabhängig von der Einwohnerstärke der Landkreise quantifizieren (vgl. Abbildung 3-10). Demnach sind es die stadtnahen Landkreise, in denen mit bis zu 20 % des Bestands am meisten zugebaut wird. Städte wie Stuttgart liegen nur im Mittelfeld oder wie Karlsruhe sogar eher im hinteren Bereich, wohingegen periphere Landkreise wie Heidenheim die geringste Zubautätigkeit aufweisen. Die Abrisstätigkeit unterscheidet sich kaum, was ein Zeichen dafür ist, dass der demografische Wandel sich unter den gegebenen Annahmen im Bestand bis 2030 auch in den peripheren Kreisen noch nicht richtig abbildet; die Bilanz ist überall noch deutlich im positiven Bereich. Zwischen dem auf den Bestand normierten Zubau und der Siedlungsdichte des Landkreises gibt es keine klare Beziehung. Der Zubau erfolgt im Bereich um die Städte, aber eher in den dortigen Land- als direkt in den Stadtkreisen.

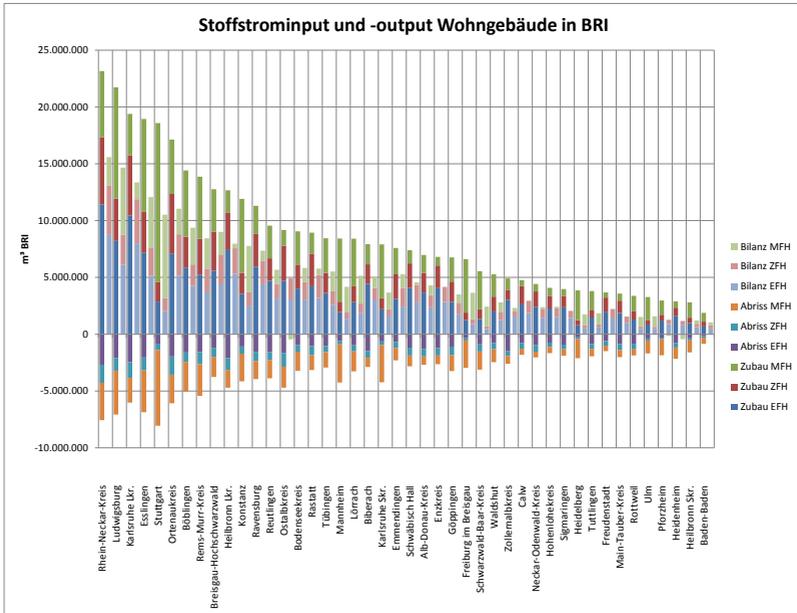


Abbildung 3-9: Input und -Output sowie Bilanz für Wohngebäude in Bruttorauminhalt (BRI) [m³] kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 in den Kreisen von Baden-Württemberg; EFH = Einfamilienhaus; ZFH = Zweifamilienhaus; MFH = Mehrfamilienhaus

Den kleinsten Anteil EFH+ZFH am Zubau und auch am Abriss der Summe Wohngebäude haben wiederum die Stadtkreise, wie sich in der Sortierung des auf den Bestand normierten Zubau und Abrisses auf den Anteil von EFH+ZFH im Zubau zeigt. Landkreise in der Nähe der großen Städte mit großer Zubautätigkeit haben einen ebenso großen Anteil von EFH+ZFH am Zubau wie periphere Landkreise mit deutlich geringerem Zubau (vgl. Anhang Abbildung A-5).

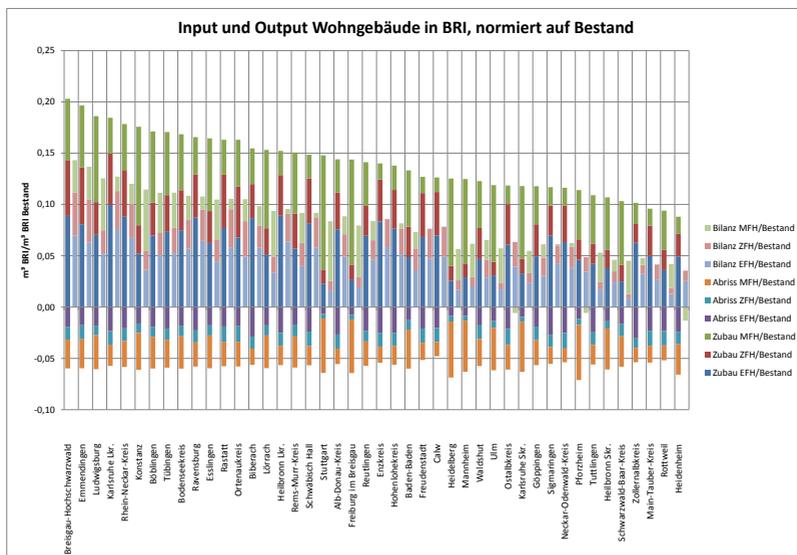


Abbildung 3-10: Input und -Output sowie -Bilanz für Wohngebäude in Bruttorauminhalt (BRI) [m³] kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, normiert auf den Bestand in den Kreisen; EFH = Einfamilienhaus; ZFH = Zweifamilienhaus; MFH = Mehrfamilienhaus

3.4.2.2 Nichtwohngebäude

In folgenden Diagrammen ist nun für die Nichtwohngebäude dargestellt, wie sich der In- und Output sowie die Bilanz daraus anteilmäßig nach den verschiedenen Gebäudetypen jeweils über die verschiedenen Kreise in Summe über die Jahre 2016 bis 2030 darstellen. Hier entfällt der absolut höchste Input auf den Landkreis Ludwigsburg (vgl. Abbildung 3-11), der höchste Output auf den Stadtkreis Stuttgart, welcher Ludwigsburg im Input direkt folgt. Es gibt teilweise größere Diskrepanzen in der Reihenfolge von In- und Output als bei den Wohngebäuden, weil der Output teilweise geringer ausfällt. Auffällig ist bspw. der Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald mit im Verhältnis zum Input geringen Output und damit einer positiven Bilanz, die im Betrag an den Spitzenreiter Ludwigsburg heranreicht.

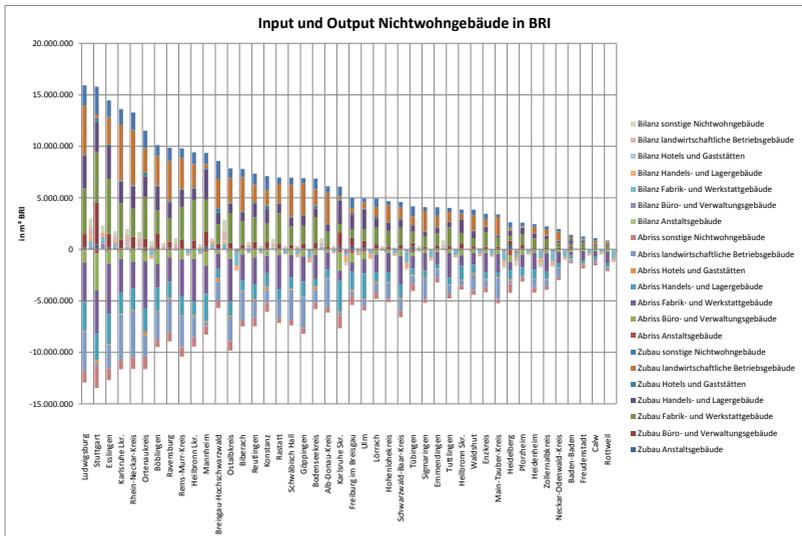


Abbildung 3-11: Input und Output sowie Bilanz für Nichtwohngebäude in Bruttorauminhalt (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 in den Kreisen; landwirtschaftliche Betriebsgebäude im Landkreis Freudenstadt sind deutlich unterschätzt

Normiert auf den Bestand zeigt sich dann auch, dass der Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald den höchsten Input zu verzeichnen hat. Die Stadtkreise sind zumindest mit Stuttgart und Mannheim hier weiter vorne vertreten als im Falle der Wohngebäude. Der Output unterscheidet sich stärker zwischen den Landkreisen als bei den Wohngebäuden, bei den Nichtwohngebäuden schlägt der demografische Wandel bei den periphereren Landkreisen bis 2030 schon stärker auf den Bestand durch; die Bilanz ist für diese Kreise negativ.

Ab dem Enzkreis nach rechts gibt es einen deutlichen Knick (vgl. Abbildung 3-12) mit einer weiteren Reduktion im Input und zunächst abgeschwächt auch im Output. Das sind die Kreise, deren Nachfrageentwicklung nach Nichtwohngebäuden im Zeitraum von 2016 bis 2030 schon früh negativ verläuft und die auch schon mit einer hohen Leerstandsquote in die Prognose

einsteigen. Mit der Annahme, dass die Leerstandsquote von 2020 bis 2030 bei sinkender Nachfrage um jährlich 0,15 % zunimmt, erreichen diese Kreise Leerstandsquote von >6 %, ab welcher der Ersatzneubaubedarf gedrosselt wird, bis er ab 9 % völlig zum Erliegen kommt, wie sich am Landkreis Rottweil zeigt. Der Knick spiegelt somit den geringeren Ersatzneubaubedarf im Zeitraum 2016 bis 2030 für die o.g. Kreise wider.

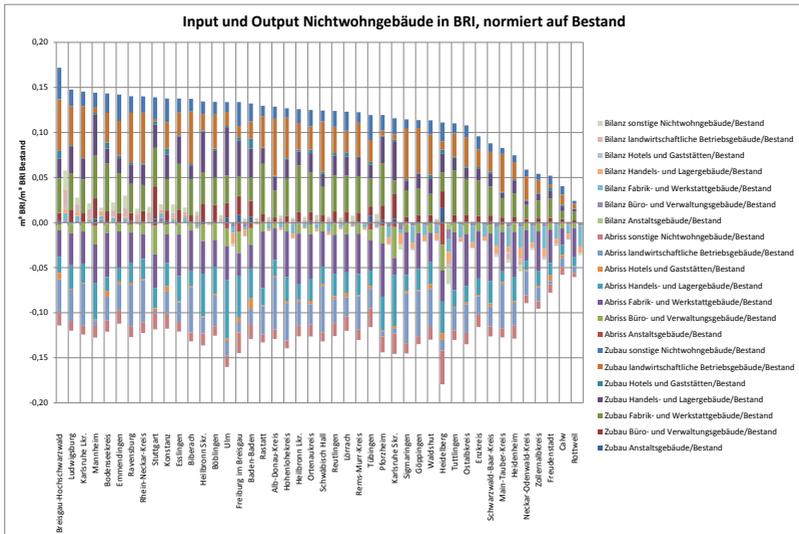


Abbildung 3-12: Input und Output sowie Bilanz für Nichtwohngebäude in Bruttonahrungsmittel (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, normiert auf den Bestand in den Kreisen; landwirtschaftliche Betriebsgebäude im Landkreis Freudenstadt sind deutlich unterschätzt

Wenn der Anteil der verschiedenen Gebäudetypen im Zubau sortiert nach den Landkreisen entsprechend ihrer Einwohnerdichte dargestellt wird, zeigt sich zum Teil wieder die schon im Bestand ermittelte Aufteilung auf die Nichtwohngebäude, weil angenommen wird, dass sich die Aufteilung der Beschäftigten auf die Nichtwohngebäude zukünftig nicht ändert (vgl. Anhang Abbildung A-7). Auch im Output ergibt sich in etwa dieselbe Aufteilung. Die geringeren Anteile der sonstigen Nichtwohngebäude sind v.a. auf

die angesetzte, im Vergleich zu den anderen Nichtwohngebäudetypen geringere Quote im Ersatzneubaubedarf für diesen Gebäudetyp zurückzuführen. In den dünner besiedelten Landkreisen ist der Anteil landwirtschaftlicher Betriebsgebäude im gesamten Input der Nicht-wohngebäude größer, wohingegen der Anteil an Büro- und Verwaltungsgebäuden tendenziell niedriger liegt.

3.4.2.3 Zusammenfassende Betrachtung der Input- und Outputströme für Wohn- und Nichtwohngebäude

Abschließend werden hier jeweils die Summe für den In- und Output von 2016 bis 2030 für die Summe aller Gebäude als BRI über die verschiedenen Kreise ausgegeben. Der Input in die Wohngebäude fällt größer aus als derjenige in die Nichtwohngebäude, in welchen die Stagnation und Abnahme des Bestands schon früher greift (vgl. Abbildung 3-13). Im Output gilt entsprechend Umgekehrtes, so dass die Wohngebäude einen positiven Beitrag zur Bilanz der Gebäude zwischen von 2016 bis 2030 haben, wohingegen die Bilanz der Nichtwohngebäude teilweise negativ in die Gesamt-bilanz eingeht. Ludwigsburg überholt im Input durch den Zubau bei Nichtwohngebäuden den Rhein-Neckar-Kreis.

Wird wiederum der Zubau und Abriss auf den gesamten Gebäudebestand normiert, so zeigen sich die Kreise mit der größten Dynamik im In- bzw. Output bezüglich des gesamten Gebäudebestands von 2016 bis 2030. Der größte spezifische Input wird für den Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald berechnet (vgl. Abbildung 3-14). Der spezifische Output ist dementsprechend in diesem Wachstums-Landkreis nicht der größte. Dieser wäre in den Landkreisen mit der negativsten Bilanz zu vermuten, weil hier Netto-Abriss vorherrscht. Die in Summe negativste, auf den Bestand bezogene Bilanz zeigen Heidenheim und der Main-Tauber-Kreis, gefolgt vom Stadtkreis Heidelberg; in Letzterem bedingt durch den verhältnismäßig großen Output im Nichtwohngebäudebereich.

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands (AP2)

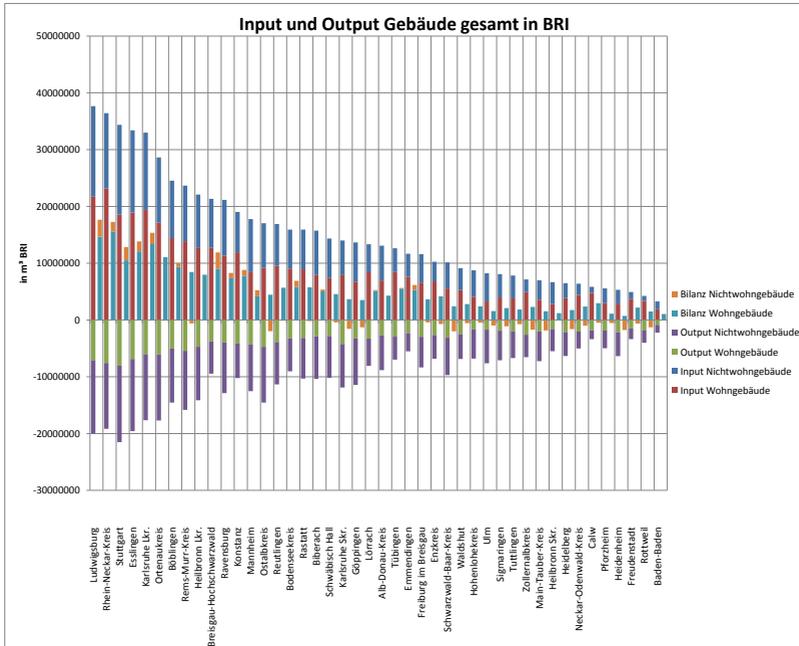


Abbildung 3-13: Input und Output sowie Bilanz für Gebäude in Bruttorauminhalt (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 in den Kreisen

Das Verhältnis von Wohngebäuden zu Gebäuden im In- und Output wird im Anhang Abbildung A-8 gezeigt. Bei den Kreisen, bei welchem der Ersatzneubaubedarf für die Nichtwohngebäude zum Erliegen kommt, schlägt der Anteil der Wohngebäude am gesamten In- und Output nach oben aus (vgl. Ergebnisse der Kreise Rottweil, Calw, Freudenstadt). Es zeigt sich auch hier, dass der Output aus den Nichtwohngebäuden nach dem BRI aufgrund der früheren Stagnation überwiegt.

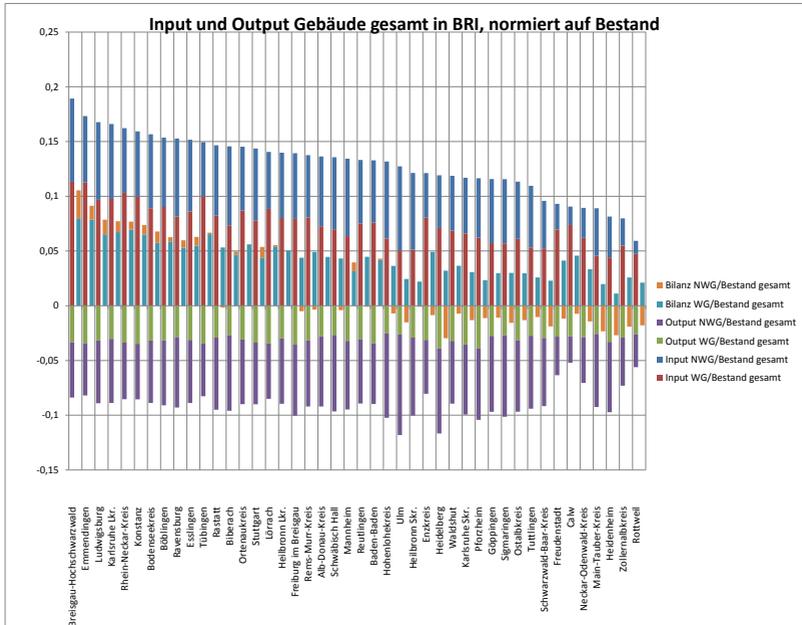


Abbildung 3-14: Input und Output sowie Bilanz für Gebäude in Bruttorauminhalt (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, normiert auf den Bestand in den Kreisen

Das Verhältnis der Output- und Inputströme lässt erkennen, inwieweit der Abriss an den Zubau heranreicht. Bei einem Verhältnis von ≤ 1 wird mehr zugebaut als abgerissen und bei einem Wert von ≥ 1 wird mehr BRI abgerissen als zugebaut (Netto-Abbruch). Theoretisch würden im letzteren Fall die Outputströme ausreichen, um den Bedarf in den Landkreisen aus den anfallenden Outputströmen, jeweils über die Summe von 2016 bis 2030 betrachtet, zu decken, weil mehr BRI abgerissen als zugebaut wird. In der Praxis kann aufgrund technischer Restriktionen (Abbruch- und Sortierprozesse, Dissipation, Materialqualitäten, Kontaminationen, etc.) nur ein Teil der Outputströme als Input rückgeführt werden und zudem unterscheiden sich die Materialströme, die mit einem bestimmten BRI an Wohn- und Nichtwohngebäuden verbunden sind, voneinander.

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands (AP2)

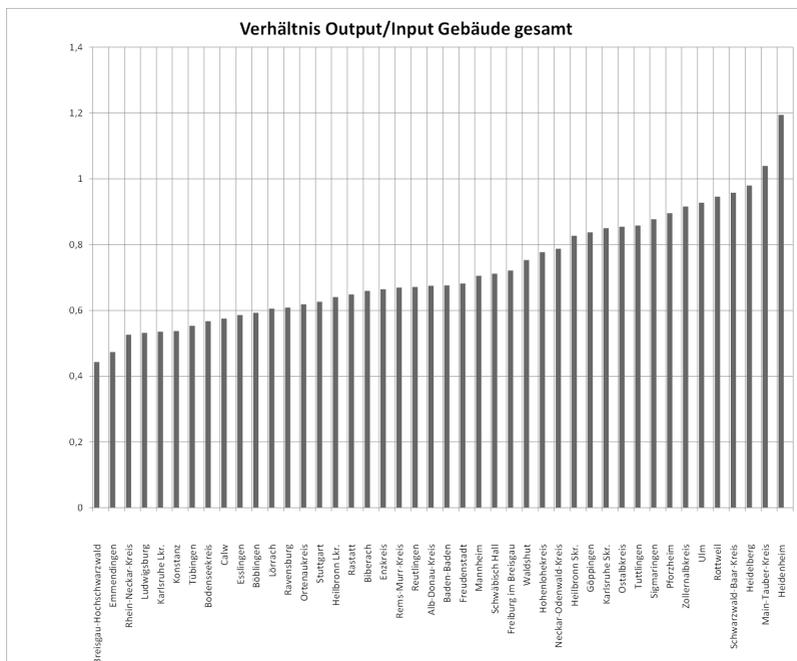


Abbildung 3-15: Verhältnis Output zu Input in BRI für alle Gebäude kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030

Zunächst ist in Abbildung 3-15 das Verhältnis Output/Input für alle Gebäude dargestellt. Durch den gegenüber 2015 noch bestehenden Netto-Zuwachs im Bestand von 2016 bis 2030 ergibt sich in fast allen Kreisen ein Verhältnis < 1 (Netto-Zubau). Ausnahmen sind der Main-Tauber-Kreis und der Landkreis Heidenheim, in denen über den Zeitraum eine Netto-Abnahme des Gebäude-BRI resultiert.

Bei den Nichtwohngebäuden ergeben sich in einigen Kreisen Überschüsse, welche dann die Defizitsituation aus dem Wohngebäudebereich verbessern können (vgl. Anhang Abbildung A-9 und Abbildung A-10).

Über die Zeit sinkt der Input über alle Kreise, wohingegen der Output steigt und damit die Bilanz bezüglich des BRI sinkt. Diese zeitliche Komponente

wird im Folgenden für die Kreise mit dem niedrigsten (Breisgau-Hochschwarzwald) und dem höchsten Output/Input-Verhältnis (Heidenheim) neben Baden-Württemberg in Summe über die verschiedenen Szenarien hinweg exemplarisch betrachtet (vgl. Abbildung 3-16). Input, Output und Bilanz sind dabei jeweils auf den gesamten Gebäudebestand des jeweiligen Kreises bzw. Baden-Württemberg im Jahr 2015 normiert, um die Höhe der Bauaktivitäten auch zwischen Kreisen verschiedener Größe und ganz Baden-Württemberg vergleichbar zu machen. Im Jahr 2030 geht die BRI-Bilanz für ganz Baden-Württemberg im Mittel gegen null, so dass nicht mehr zugebaut als abgerissen wird. Theoretisch könnte dann 2030 eine Selbstversorgung des Gebäudebereichs mit Baumaterialien erreicht werden, wenn die Materialien auch aus technischer Sicht 1:1 wiederverwendet werden könnten und die Materialflüsse bezüglich einer Einheit BRI Wohn- und Nichtwohngebäude nicht zu unterschiedlich sind. Die Betrachtung auf Ebene konkreter Materialströme findet sich im Kapitel 3.4.4.

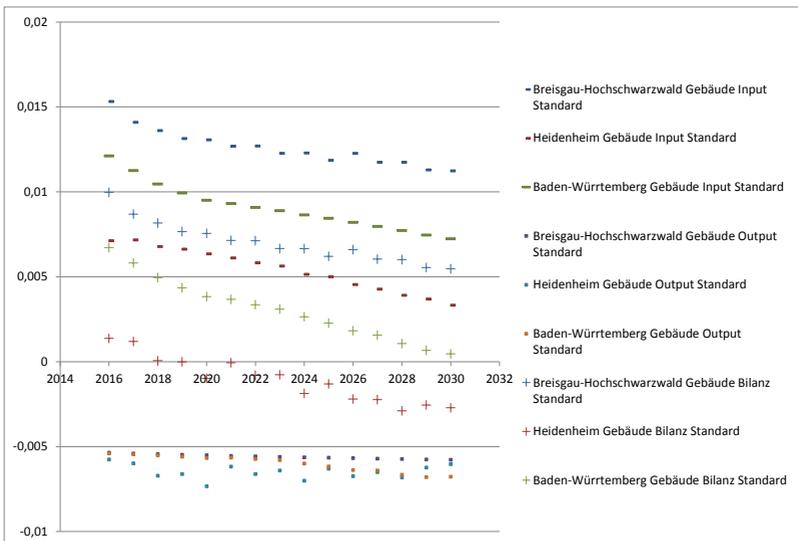


Abbildung 3-16: Zeitlicher Verlauf von Input, Output und Bilanz in BRI normiert auf den Bestand in BRI für ausgewählte Kreise und Baden-Württemberg in Summe

3.4.2.4 Alternative Berechnungsansätze

Die alternativen Berechnungen zeigen, wie sich jeweils die In- und Outputstoffströme in der Summe von 2016 bis 2030 für jeweils Wohn- und Nichtwohngebäude relativ zum Standardwert (=100 %) verändern, wenn der Ersatzneubaubedarf berechnet wird, anstatt der Leerstands- eine Abrissquote vorgegeben wird und bei Wohngebäuden zusätzlich der Zubau über den Wohnungsneubaubedarf und ohne den Nichtwohnnutzen bestimmt wird.

Die durch die alternativen Berechnungsweisen bedingten relativen Veränderungen in der Summe von 2016 bis 2030 halten sich bis auf ein paar Ausnahmen in einem begrenzten Rahmen. Generelle Ausnahme ist die Vorgabe einer Abrissquote im Modell, wodurch der Output bei den Wohngebäuden tendenziell deutlich größer und bei den Nichtwohngebäuden deutlich geringer wird. Wenn gleichzeitig die Leerstandsentwicklung betrachtet wird, so zeigt sich, dass bei den Wohngebäuden bei Hinzuziehung dieser Abrissquoten realitätsfremde Leerstandsquoten resultieren, die teilweise sogar deutlich ins Negative gehen. Dies impliziert wiederum, dass die Abrissquoten und der damit verbundene Output in dieser alternativen Berechnungsweise deutlich zu groß sind, so dass mit der standardmäßigen Berechnung realistischere Ergebnisse zu erwarten sind. Bei den Nichtwohngebäuden verhält es sich Großteils genau anders herum.

Die alternative Bestimmung des Ersatzneubaubedarfs führt gegenüber dem Standard zu niedrigeren In- und Outputs in Wohngebäude, die den Input minimal im Falle zweier Kreise (Stadtkreis Karlsruhe, Pforzheim) auf 77 % sinken lässt. Der Output sinkt dadurch v.a. in Kreisen mit weiterem Wachstum und entsprechend geringer Outputbasis stärker ab bis auf im Falle eines Kreises (Stadtkreis Mannheim) minimal 57 %, allgemein aber eher auf 70 % bis 80 % (vgl. Tabelle 3-6). Beim Nichtwohngebäudebereich sinkt dadurch sowohl der In- als auch Output auf minimal 70-80 % ab (vgl. Tabelle 3-7).

Mit der Ermittlung des Zubaus über den in [BBSR 2015a] errechneten Wohnungsneubaubedarf ergeben sich gegenüber der Standardberechnung über

Wohnflächennachfrage aus [BBSR 2015a] und damit unter Berücksichtigung der Leerstandsquotenentwicklung einhergehender Bestandsveränderung für einige Kreise deutliche Veränderungen. Allgemein liegt der so ermittelte Zubau bei lediglich bis zu 110 % und der Output bei maximal bis zu 130 %; im Falle von Heidelberg sind es beim Input aber 159 %, beim Output 205 % neben 175 % im Output von Freiburg und 161 % im Output von Ulm (vgl. Tabelle 3-6). Im Vergleich von Zubau über Wohnungsneubaubedarf und Wohnflächennachfrage (=100 %) nicht über die Summe von 2016 bis 2030, sondern im zeitlichen Verlauf, zeigt sich, dass für einige Landkreise der jeweils errechnete Zubau auseinanderläuft. So wird bspw. in [BBSR 2015a] für Ulm ein relativ stärkerer Rückgang des Zuwachses an Wohnflächennachfrage prognostiziert als sich im Rückgang des Wohnungsneubaubedarfes widerspiegelt. Dadurch steigt entsprechend auch der prognostizierte Output an. Werden Zubau und Abriss von EFH/ZFH und MFH separat betrachtet, so liegen die Abweichungen bei den MFH vereinzelt teilweise noch darüber. Der Grund hierfür ist in den unbekanntem Berechnungsalgorithmen des BBSR für die Prognose des Wohnungsneubaubedarfs zu suchen, der sich entsprechend anders verhält als die prognostizierte Veränderung der Wohnflächennachfrage, welche aber die Basis für die Standardberechnung bildet. Dies ist ein Zusammenspiel aus unbekanntem, anderen Quoten für den Ersatzneubaubedarf (auf den Bestand bezogen), die sich mit der Zeit unabhängig von der Leerstandsquote ändern und mit der Zeit variablen durchschnittlichen Wohnungsgrößen. Wird in den Berechnungen von [BBSR 2015a] eine über die Zeit konstante Wohnungsgröße unterstellt, steigt der aus dem Vergleich von Änderungen in der Wohnflächennachfrage und dem Wohnungsneubaubedarf errechnete Ersatz-neubaubedarf (keine Veränderung in der Leerstandsquote angenommen) für bspw. Ulm von 2016 bis 2030 auf mehr als den doppelten Wert. Zusätzlich spielt hier die Unsicherheit der Leerstandsentwicklung, die die Prognose des Bestandes beeinflusst, mit hinein. Es kommt noch hinzu, dass die Standardberechnung auch den Trend für den Anteil der Nichtwohnnutzung im Wohngebäudebereich mitberücksichtigt.

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands (AP2)

Tabelle 3-6: Relative Veränderung des Inputs und Outputs in Wohngebäude als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 für alternative Berechnungsweisen des Ersatzneubaubedarfs, Festlegung einer Abriss- anstatt einer Leerstandsquote, Ermittlung des Zubaus über Wohnungsneubaubedarf und Zubau ohne Nichtwohnflächen in Wohngebäuden; Standard = 100 %

Input Wohngebäude				
Landkreis; Standard = 100 %	Ersatzneubaubedarf	Vorgegebene Abrissquote	Zubau über Wohnungsneubaubedarf	Zubau ohne Nichtwohnflächen
Stuttgart	84%	104%	116%	96%
Böblingen	97%	101%	108%	97%
Esslingen	92%	102%	104%	97%
Göppingen	89%	104%	126%	100%
Ludwigsburg	94%	101%	102%	96%
Rems-Murr-Kreis	95%	102%	116%	98%
Heilbronn Skr.	90%	101%	112%	92%
Heilbronn Lkr.	94%	101%	107%	96%
Hohe nlohekreis	99%	101%	109%	95%
Schwäbisch Hall	93%	100%	105%	94%
Main-Tauber-Kreis	88%	103%	129%	100%
Heidenheim	93%	106%	120%	96%
Ostalbkreis	90%	100%	104%	95%
Baden-Baden	99%	102%	115%	98%
Karlsruhe Skr.	77%	103%	126%	97%
Karlsruhe Lkr.	92%	100%	96%	97%
Rastatt	89%	101%	102%	98%
Heidelberg	79%	102%	159%	99%
Mannheim	78%	103%	105%	94%
Neckar-Odenwald-Kreis	91%	102%	119%	99%
Rhein-Neckar-Kreis	91%	101%	98%	98%
Pforzheim	77%	100%	99%	95%
Calw	95%	101%	104%	96%
Enzkreis	91%	97%	105%	97%
Freudenstadt	94%	102%	106%	96%
Freiburg im Breisgau	89%	104%	121%	97%
Breisgau-Hochschwarzwald	93%	101%	95%	92%
Emmendingen	93%	101%	106%	94%
Ortenaukreis	93%	102%	115%	96%
Rottweil	89%	107%	125%	99%
Schwarzwald-Baar-Kreis	84%	105%	121%	100%
Tuttlingen	88%	105%	109%	98%
Konstanz	91%	103%	99%	94%
Lörrach	88%	104%	111%	96%
Waldshut	88%	105%	121%	99%
Reutlingen	92%	103%	106%	96%
Tübingen	96%	101%	102%	96%
Zollernalbkreis	90%	105%	130%	103%
Ulm	85%	103%	122%	96%
Alb-Donau-Kreis	95%	102%	103%	95%
Biberach	94%	101%	104%	94%
Bodenseekreis	93%	102%	106%	93%
Ravensburg	92%	101%	109%	93%
Sigmaringen	88%	101%	124%	98%

Output Wohngebäude				
Landkreis; Standard = 100 %	Ersatzneubau- bedarf	Vorgegebene Abbrissquote	Zubau über Wohnungsneu- baubedarf	Zubau ohne Nichtwohn- flächen
Stuttgart	64%	215%	136%	92%
Böblingen	90%	171%	12,2%	92%
Esslingen	79%	146%	11,1%	92%
Göppingen	77%	139%	15,1%	91%
Ludwigsburg	81%	132%	10,6%	92%
Rems-Murr-Kreis	86%	155%	13,9%	92%
Heilbronn	82%	181%	12,2%	89%
Heilbronn	84%	122%	11,9%	85%
Hohenlohekreis	96%	204%	12,2%	79%
Schwäbisch Hall	82%	141%	11,4%	81%
Main-Tauber-Kreis	80%	162%	15,1%	82%
Heidenheim	91%	169%	12,4%	74%
Ostalbkreis	81%	104%	11,0%	77%
Baden-Baden	98%	273%	13,2%	93%
Karlsruhe	58%	98%	14,8%	92%
Karlsruhe	73%	105%	10,2%	92%
Rastatt	69%	84%	10,7%	91%
Heidelberg	62%	153%	20,5%	91%
Mannheim	57%	127%	11,1%	91%
Neckar-Odenwald-Kreis	82%	139%	14,1%	84%
Rhein-Neckar-Kreis	71%	115%	10,1%	93%
Pforzheim	64%	102%	11,2%	88%
Calw	87%	131%	11,2%	82%
Enzkreis	77%	74%	11,6%	87%
Freudenstadt	86%	134%	11,5%	81%
Freiburg im Breisgau	75%	134%	17,5%	92%
Breisgau-Hochschwarzwald	74%	104%	10,1%	86%
Emmendingen	76%	123%	12,0%	87%
Ortenaukreis	79%	130%	14,0%	85%
Röttweil	80%	143%	14,4%	79%
Schwarzwald-Baar-Kreis	71%	140%	13,7%	83%
Tuttlingen	76%	115%	12,1%	82%
Konstanz	74%	123%	11,5%	87%
Lörrach	70%	117%	12,8%	88%
Waldshut	74%	110%	14,4%	87%
Reutlingen	81%	141%	11,9%	85%
Tübingen	89%	140%	11,5%	88%
Zollernalbkreis	81%	174%	15,5%	85%
Ulm	71%	206%	16,1%	88%
Alb-Donau-Kreis	87%	127%	10,8%	84%
Biberach	84%	147%	11,1%	81%
Bodenseekreis	81%	129%	12,4%	85%
Ravensburg	77%	144%	12,4%	83%
Sigmaringen	74%	122%	15,0%	81%

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands (AP2)

Tabelle 3-7: Relative Veränderung des Inputs und Outputs in Nichtwohngebäude als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 für alternative Berechnungsweisen des Ersatzneubaubedarfs und Festlegung einer Abriss- anstatt einer Leerstandsquote; Standard = 100 %

Landkreis; Standard = 100 %	Ersatzneubaubedarf	Vorgegebene Abrissquote	Landkreis; Standard = 100 %	Ersatzneubaubedarf	Vorgegebene Abrissquote
Stuttgart	0,76	1,00	Stuttgart	0,72	1,85
Böblingen	0,81	1,06	Böblingen	0,80	0,62
Esslingen	0,78	1,05	Esslingen	0,75	0,68
Göppingen	0,82	1,03	Göppingen	0,85	0,49
Ludwigsburg	0,82	1,07	Ludwigsburg	0,78	0,58
Rems-Murr-Kreis	0,79	1,06	Rems-Murr-Kreis	0,80	0,61
Heilbronn	0,79	1,04	Heilbronn	0,79	0,95
Heilbronn	0,76	1,08	Heilbronn	0,76	0,29
Hohenlohekreis	0,79	1,08	Hohenlohekreis	0,81	0,33
Schwäbisch Hall	0,83	1,09	Schwäbisch Hall	0,84	0,24
Main-Tauber-Kreis	0,83	1,04	Main-Tauber-Kreis	0,89	0,22
Heidenheim	0,76	1,00	Heidenheim	0,86	1,12
Ostalbkreis	0,76	1,03	Ostalbkreis	0,81	0,29
Baden-Baden	0,78	0,97	Baden-Baden	0,77	2,29
Karlsruhe	0,77	1,04	Karlsruhe	0,82	0,52
Karlsruhe	0,84	1,07	Karlsruhe	0,81	0,19
Rastatt	0,76	1,08	Rastatt	0,77	0,12
Heidelberg	0,76	1,00	Heidelberg	0,85	1,05
Mannheim	0,78	1,03	Mannheim	0,75	0,92
Neckar-Odenwald-Kreis	0,82	0,99	Neckar-Odenwald-Kreis	0,88	0,40
Rhein-Neckar-Kreis	0,84	1,07	Rhein-Neckar-Kreis	0,82	0,35
Pforzheim	0,73	1,04	Pforzheim	0,78	0,67
Calw	0,83	1,05	Calw	0,88	0,82
Enzkreis	0,74	1,07	Enzkreis	0,78	0,16
Freudenstadt	0,72	1,05	Freudenstadt	0,81	0,61
Freiburg im Breisgau	0,80	1,02	Freiburg im Breisgau	0,82	0,99
Breisgau-Hochschwarzwald	0,85	1,06	Breisgau-Hochschwarzwald	0,77	0,39
Emmendingen	0,81	1,07	Emmendingen	0,75	0,49
Ortenaukreis	0,76	1,07	Ortenaukreis	0,76	0,45
Rottweil	0,78	0,98	Rottweil	0,91	0,75
Schwarzwald-Baar-Kreis	0,75	1,02	Schwarzwald-Baar-Kreis	0,82	0,76
Tuttlingen	0,74	1,05	Tuttlingen	0,78	0,27
Konstanz	0,81	1,07	Konstanz	0,77	0,68
Lörrach	0,77	1,06	Lörrach	0,76	0,78
Waldshut	0,81	1,02	Waldshut	0,84	0,37
Reutlingen	0,78	1,06	Reutlingen	0,78	0,41
Tübingen	0,79	1,07	Tübingen	0,78	0,57
Zollernalbkreis	0,76	1,00	Zollernalbkreis	0,87	0,80
Ulm	0,79	1,02	Ulm	0,82	0,86
Alb-Donau-Kreis	0,84	1,10	Alb-Donau-Kreis	0,85	0,20
Biberach	0,83	1,08	Biberach	0,82	0,25
Bodenseekreis	0,78	1,06	Bodenseekreis	0,74	0,50
Ravensburg	0,84	1,07	Ravensburg	0,82	0,43
Sigmaringen	0,83	1,08	Sigmaringen	0,86	0,23

Tabelle 3-8: Relative Veränderung des Inputs und Outputs in Wohngebäude als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei keiner Drosselung des Ersatzneubaubedarfs ab einer Leerstandsquote von >6 %; Standard = 100 %

Input Wohngebäude		Output Wohngebäude	
Landkreis; Standard = 100 %	Keine Reduktion Ersatzneubaubedarf	Landkreis; Standard = 100 %	Keine Reduktion Ersatzneubaubedarf
Stuttgart	100%	Stuttgart	100%
Böblingen	100%	Böblingen	100%
Esslingen	100%	Esslingen	100%
Göppingen	100%	Göppingen	100%
Ludwigsburg	100%	Ludwigsburg	100%
Rems-Murr-Kreis	100%	Rems-Murr-Kreis	100%
Heilbronn Skr.	100%	Heilbronn	100%
Heilbronn Lkr.	100%	Heilbronn	100%
Hohenlohekreis	100%	Hohenlohekreis	100%
Schwäbisch Hall	100%	Schwäbisch Hall	100%
Main-Tauber-Kreis	101%	Main-Tauber-Kreis	101%
Heidenheim	103%	Heidenheim	104%
Ostalbkreis	100%	Ostalbkreis	101%
Baden-Baden	100%	Baden-Baden	100%
Karlsruhe Skr.	100%	Karlsruhe	100%
Karlsruhe Lkr.	100%	Karlsruhe	100%
Rastatt	100%	Rastatt	100%
Heidelberg	100%	Heidelberg	100%
Mannheim	100%	Mannheim	100%
Neckar-Odenwald-Kreis	100%	Neckar-Odenwald-Kreis	100%
Rhein-Neckar-Kreis	100%	Rhein-Neckar-Kreis	100%
Pforzheim	100%	Pforzheim	100%
Calw	108%	Calw	120%
Enzkreis	101%	Enzkreis	103%
Freudenstadt	105%	Freudenstadt	113%
Freiburg im Breisgau	100%	Freiburg im Breisgau	100%
Breisgau-Hochschwarzwald	100%	Breisgau-Hochschwarzwald	100%
Emmendingen	100%	Emmendingen	100%
Ortenaukreis	100%	Ortenaukreis	100%
Rottweil	104%	Rottweil	106%
Schwarzwald-Baar-Kreis	100%	Schwarzwald-Baar-Kreis	100%
Tuttlingen	100%	Tuttlingen	100%
Konstanz	100%	Konstanz	100%
Lörrach	100%	Lörrach	100%
Waldshut	100%	Waldshut	100%
Reutlingen	100%	Reutlingen	100%
Tübingen	100%	Tübingen	100%
Zollernalbkreis	100%	Zollernalbkreis	100%
Ulm	100%	Ulm	100%
Alb-Donau-Kreis	100%	Alb-Donau-Kreis	100%
Biberach	100%	Biberach	100%
Bodenseekreis	100%	Bodenseekreis	100%
Ravensburg	100%	Ravensburg	100%
Sigmaringen	100%	Sigmaringen	100%

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands (AP2)

Tabelle 3-9: Relative Veränderung des Inputs bzw. Outputs der Stoffströme in Nichtwohngebäude als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei keiner Drosselung des Ersatzneubaubedarfs ab einer Leerstandsquote von >6 %; Standard = 100 %

Input Nichtwohngebäude		Output Nichtwohngebäude	
	Keine Reduktion Ersatzneubaubedarf		Keine Reduktion Ersatzneubaubedarf
Landkreis; Standard = 100 %		Landkreis; Standard = 100 %	
Stuttgart	100%	Stuttgart	100%
Böblingen	100%	Böblingen	100%
Esslingen	100%	Esslingen	100%
Göppingen	108%	Göppingen	106%
Ludwigsburg	100%	Ludwigsburg	100%
Rems-Murr-Kreis	100%	Rems-Murr-Kreis	100%
Heilbronn	100%	Heilbronn	100%
Heilbronn	100%	Heilbronn	100%
Hohenlohekreis	100%	Hohenlohekreis	100%
Schwäbisch Hall	103%	Schwäbisch Hall	103%
Main-Tauber-Kreis	145%	Main-Tauber-Kreis	129%
Heidenheim	147%	Heidenheim	128%
Ostalbkreis	106%	Ostalbkreis	105%
Baden-Baden	100%	Baden-Baden	100%
Karlsruhe	100%	Karlsruhe	100%
Karlsruhe	100%	Karlsruhe	100%
Rastatt	100%	Rastatt	100%
Heidelberg	100%	Heidelberg	100%
Mannheim	100%	Mannheim	100%
Neckar-Odenwald-Kreis	197%	Neckar-Odenwald-Kreis	164%
Rhein-Neckar-Kreis	100%	Rhein-Neckar-Kreis	100%
Pforzheim	100%	Pforzheim	100%
Calw	273%	Calw	221%
Enzkreis	113%	Enzkreis	111%
Freudenstadt	210%	Freudenstadt	173%
Freiburg im Breisgau	100%	Freiburg im Breisgau	100%
Breisgau-Hochschwarzwald	100%	Breisgau-Hochschwarzwald	100%
Emmendingen	100%	Emmendingen	100%
Ortenaukreis	100%	Ortenaukreis	100%
Rottweil	468%	Rottweil	248%
Schwarzwald-Baar-Kreis	126%	Schwarzwald-Baar-Kreis	118%
Tuttlingen	106%	Tuttlingen	105%
Konstanz	100%	Konstanz	100%
Lörrach	100%	Lörrach	100%
Waldshut	103%	Waldshut	102%
Reutlingen	100%	Reutlingen	100%
Tübingen	100%	Tübingen	100%
Zollernalbkreis	202%	Zollernalbkreis	158%
Ulm	100%	Ulm	100%
Alb-Donau-Kreis	100%	Alb-Donau-Kreis	100%
Biberach	100%	Biberach	100%
Bodenseekreis	100%	Bodenseekreis	100%
Ravensburg	100%	Ravensburg	100%
Sigmaringen	104%	Sigmaringen	103%

Die Schlüsselgröße in der Berechnung ist die Prognose des Bestandes, wozu ein zeitkonstanter Ersatzneubaubedarf von 0,2 % bei EFH/ZFH und 0,3 % bei MFH angesetzt ist, der in [BBSR 2015a] explizit angegeben wird. Eine zeitliche Veränderung des Ersatzneubaubedarfs ist nicht logisch nachvollziehbar, außer die Leerstandsquoten überschreiten eine gewisse Schwelle. Die Abweichungen zwischen der Berechnung mit dem Wohnungsneubaubedarf und der Standardberechnung werden 2030 oft maximal, weil zu diesem Zeitpunkt die Netto-Entwicklung des Bestandes eher konstant ist, so dass Abweichungen im zugrunde gelegtem Ersatzneubaubedarf relativ maximale Wirkung entfalten können.

Wird der Ersatzneubaubedarf ab einer Leerstandsquote von $\geq 6\%$ nicht gedrosselt, so ergeben sich über die Summe jeweils der In- und Outputstoffströme von 2016 bis 2030 für die Landkreise, die eine hohe Leerstandsquote aufweisen, deutliche relative Abweichungen nach oben. Dies ist v.a. bei den Nichtwohngebäuden aufgrund der früheren Stagnation der Beschäftigtenzahlen der Fall. Bei einer ausschließlichen Betrachtung des Jahres 2030 wären diese Abweichungen teilweise noch deutlich größer, da hier die Leerstandsquoten nach Stagnation am größten sind. Für diese Landkreise ist daher ggf. genauer zu betrachten, ob der Ersatzneubaubedarf tatsächlich im angenommenen Maße geringer ausfällt. Es handelt sich insbesondere um die Kreise mit den größten Abweichungen wie Rottweil, Calw, Freudenstadt, Zollernalbkreis, Neckar-Odenwald-Kreis, Heidenheim und Main-Tauber-Kreis, welche die größten Leerstandsquoten und dementsprechend maximale Drosselung im Ersatzneubaubedarf im Nichtwohngäudebereich erreichen.

3.4.2.5 Szenarioparameter

Mit den Szenarien verändern sich ebenso die In- und Outputstoffströme. Die relativen Veränderungen zum Standardwert, die aus den Szenarioparametern einer positiveren Bevölkerungsentwicklung, einer geringeren bzw. größeren Leerstandsquote und einer geringeren bzw. größeren Sanierungsquote in Summe über die Jahre 2016 bis 2030 resultieren, sind in folgenden Tabellen dargestellt.

Die größte Sensitivität beim Input in Wohngebäude (vgl. Tabelle 3-10) besteht hinsichtlich der maximal prognostizierten Bevölkerungsentwicklung im Vergleich zu der im Standardszenario angesetzten Bevölkerungsentwicklung. Ein diesbezüglich deutlich positiverer Trend bewirkt eine Steigerung im Netto-Zubau, die hier sichtbar wird. Den nächst größeren Einfluss verzeichnet die Halbierung bzw. Verdoppelung des Ersatzneubaubedarfs. Der Einfluss der Sanierung ist aufgrund der geringeren damit verbundenen Stoffflüsse geringer als der des Ersatzneubaubedarfs. Die minimal prognostizierte Bevölkerungsentwicklung liegt relativ nah an der Standardberechnung, so dass sich dadurch keine großen Änderungen ergeben.

Eine Veränderung im jährlichen Leerstandszuwachs zwischen 2020 und 2030 für die Landkreise, die in diesem Zeitraum eine schrumpfende Nachfrage nach Wohnfläche in EFH/ZFH oder MFH aufweisen, hat ebenso nur eine relativ geringe Bewandtnis. Ein Großteil der Landkreise hat noch eine steigende Nachfrage nach Wohnfläche. Weiterhin beeinflusst die Leerstandsentwicklung in erster Linie den Output und wirkt nur indirekt über die Entwicklung des Bestands auf den Ersatzneubaubedarf und damit den Input.

Die größte Sensitivität beim Output aus Wohngebäuden (vgl. Tabelle 3-11) ergibt sich beim Ersatzneubaubedarf, gefolgt von der Sanierungsquote. Für die Kreise mit einem früheren Rückgang der Nachfrage nach Wohnraum zumindest in MFH hat auch die Größe des Betrags des dann jährlichen Zuwachses in der Leerstandsquote für diesen Gebäudetyp eine deutliche Auswirkung. Mit stärker steigendem Leerstandszuwachs wird weniger abgerissen, so dass der Output geringer ausfällt.

Tabelle 3-10: Relative Veränderung des Inputs in Wohngebäude als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei einer Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses im Falle sinkender Nachfrage, einer anderen Bevölkerungsentwicklung und anderen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubaubedarf (Grün = geringste Werte, rot = größte Werte; Standard = 100 %)

Input Wohngebäude	Standard: Leerstandszuwachs 0,15 %/a 2020-2030				Leerstandszuwachs 0,3 %/a 2020-2030	Bevölkerung; Trend - 0,0003x	Bevölkerung; Trend +0,0022x	Sanierungsquote min: 67% von Standard	Sanierungsquote max: 133% von Standard	Ersatzneubaubedarf min: 67% von Standard	Ersatzneubaubedarf max: 133% von Standard
	Leerstandszuwachs 0 %/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,075 %/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,225 %/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,15 %/a 2020-2030							
Stuttgart	100%	100%	100%	100%	100%	97%	125%	95%	105%	90%	110%
Böblingen	100%	100%	100%	100%	100%	97%	123%	96%	104%	92%	108%
Esslingen	100%	100%	100%	100%	100%	97%	124%	96%	104%	92%	108%
Göppingen	100%	100%	100%	100%	100%	96%	132%	94%	106%	89%	111%
Ludwigsburg	100%	100%	100%	100%	100%	97%	121%	96%	104%	93%	107%
Rems-Murr-Kreis	100%	100%	100%	100%	100%	97%	126%	95%	105%	91%	109%
Heilbronn Skr.	98%	99%	102%	105%	105%	96%	127%	93%	107%	87%	113%
Heilbronn Lkr.	100%	100%	100%	100%	100%	97%	126%	95%	105%	92%	108%
Hohenlohekreis	99%	100%	100%	101%	101%	97%	127%	95%	105%	91%	109%
Schwäbisch Hall	99%	100%	100%	101%	101%	97%	125%	95%	105%	92%	108%
Main-Tauber-Kreis	100%	100%	101%	102%	102%	95%	132%	93%	107%	88%	112%
Heidenheim	103%	101%	99%	99%	97%	96%	130%	92%	108%	87%	113%
Ostalbkreis	100%	100%	99%	99%	97%	126%	94%	106%	90%	110%	
Baden-Baden	100%	100%	100%	100%	100%	96%	128%	95%	105%	90%	110%
Karlsruhe Skr.	98%	99%	102%	105%	105%	97%	124%	94%	106%	88%	112%
Karlsruhe Lkr.	100%	100%	100%	100%	100%	97%	122%	96%	104%	93%	107%
Rastatt	100%	100%	100%	100%	100%	97%	124%	96%	104%	92%	108%
Heidelberg	99%	99%	101%	103%	103%	97%	122%	94%	106%	88%	112%
Mannheim	99%	99%	101%	103%	103%	96%	125%	94%	106%	88%	112%
Neckar-Odenwald-Kreis	99%	99%	101%	101%	101%	96%	130%	94%	106%	90%	110%
Rhein-Neckar-Kreis	100%	100%	100%	100%	100%	97%	122%	96%	104%	93%	107%
Pforzheim	99%	99%	101%	103%	103%	98%	121%	94%	106%	88%	112%
Calw	102%	101%	101%	103%	103%	96%	127%	94%	106%	93%	107%
Enzkreis	101%	101%	100%	101%	101%	97%	124%	95%	105%	92%	108%
Freudenstadt	102%	101%	100%	101%	101%	97%	127%	94%	106%	92%	108%
Freiburg im Breisgau	99%	100%	100%	101%	101%	97%	125%	95%	105%	90%	110%
Breisgau-Hochschwarzwald	100%	100%	100%	100%	100%	97%	120%	96%	104%	93%	107%
Emmendingen	100%	100%	100%	100%	100%	97%	121%	96%	104%	93%	107%
Ortenaukreis	100%	100%	100%	100%	100%	97%	124%	96%	104%	92%	108%
Rottweil	99%	99%	101%	101%	101%	96%	137%	93%	107%	88%	112%
Schwarzwald-Baar-Kreis	99%	99%	101%	102%	102%	97%	132%	93%	107%	87%	113%
Tuttlingen	100%	100%	100%	100%	100%	97%	134%	94%	106%	89%	111%
Konstanz	100%	100%	100%	100%	100%	97%	123%	96%	104%	92%	108%
Lörrach	100%	100%	100%	100%	100%	97%	125%	95%	105%	91%	109%
Waldshut	100%	100%	100%	100%	100%	96%	131%	94%	106%	89%	111%
Reutlingen	100%	100%	100%	100%	100%	96%	127%	95%	105%	91%	109%
Tübingen	100%	100%	100%	100%	100%	97%	123%	96%	104%	92%	108%
Zollernalbkreis	100%	100%	100%	100%	100%	95%	137%	93%	107%	88%	112%
Ulm	99%	99%	101%	102%	102%	97%	128%	94%	106%	88%	112%
Alb-Donau-Kreis	100%	100%	100%	100%	100%	96%	127%	95%	105%	91%	109%
Biberach	100%	100%	100%	100%	100%	97%	126%	95%	105%	92%	108%
Bodenseekreis	100%	100%	100%	100%	100%	97%	123%	96%	104%	92%	108%
Ravensburg	100%	100%	100%	100%	100%	97%	124%	96%	104%	92%	108%
Sigmaringen	99%	99%	101%	102%	102%	98%	129%	94%	106%	90%	110%

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands (AP2)

Tabelle 3-11: Relative Veränderung des Outputs aus Wohngebäuden in BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei einer Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses im Falle sinkender Nachfrage, einer anderen Bevölkerungsentwicklung und anderen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubaubedarf (Grün = größter Wert, rot = geringster Wert; Standard = 100 %)

Output Wohngebäude	Standard: Leerstandszuwachs 0,15 %/a 2020-2030				Bevölkerung min; Trend: -0,0003x	Bevölkerung max; Trend: +0,0022x	Sanierungsquote min: 67% von Standard	Sanierungsquote max: 133% von Standard	Ersatzneubaubedarf min: 67% von Standard	Ersatzneubaubedarf max: 133% von Standard
	Leerstandszuwachs 0,075 %/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,225 %/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,225 %/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,3% /a 2020-2030						
Stuttgart	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	110%	77%	123%
Böblingen	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Esslingen	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Göppingen	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Ludwigsburg	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Rens-Mun-Kreis	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Heilbronn	106%	102%	99%	99%	101%	100%	89%	111%	78%	122%
Heilbronn	100%	100%	100%	100%	100%	101%	89%	112%	79%	121%
Hohenlohekreis	100%	100%	100%	100%	101%	101%	89%	112%	79%	121%
Schwäbisch Hall	100%	100%	100%	100%	100%	101%	89%	111%	79%	121%
Main-Tauber-Kreis	108%	104%	98%	98%	99%	102%	89%	112%	79%	121%
Heidenheim	110%	105%	95%	89%	102%	87%	89%	110%	83%	117%
Ostalbkreis	108%	105%	95%	90%	102%	92%	89%	111%	81%	119%
Baden-Baden	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Karlsruhe	108%	104%	98%	99%	100%	101%	89%	110%	78%	122%
Karlsruhe	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	112%	79%	121%
Rastatt	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Heidelberg	109%	104%	97%	94%	101%	95%	91%	109%	79%	121%
Mannheim	109%	104%	100%	100%	100%	101%	87%	110%	77%	122%
Neckar-Oberrhein-Kreis	102%	102%	100%	99%	100%	101%	89%	112%	79%	121%
Rhein-Neckar-Kreis	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Pforzheim	112%	106%	95%	91%	102%	90%	91%	109%	81%	119%
Calw	117%	108%	99%	90%	99%	110%	87%	113%	81%	119%
Enzkreis	111%	106%	97%	95%	102%	105%	89%	112%	79%	121%
Freudenstadt	115%	107%	95%	90%	102%	106%	87%	113%	81%	119%
Freiburg im Breisgau	100%	100%	100%	100%	100%	101%	87%	110%	77%	122%
Breisgau-Hochschwarzwald	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Emmendingen	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Ortenaukreis	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Rotweil	100%	100%	100%	100%	99%	100%	89%	112%	79%	121%
Schwarzwald-Baar-Kreis	101%	100%	100%	100%	99%	101%	89%	111%	79%	121%
Tuttlingen	100%	100%	100%	100%	99%	100%	89%	111%	79%	121%
Konstanz	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Lärach	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Waldshut	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Rastlingen	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Tübingen	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Zollernalbkreis	100%	100%	100%	100%	100%	101%	89%	112%	79%	121%
Ulm	102%	100%	100%	100%	100%	101%	87%	110%	78%	122%
Alb-Donau-Kreis	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	112%	79%	121%
Biberach	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	112%	79%	121%
Bodenseekreis	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Ravensburg	100%	100%	100%	100%	100%	102%	89%	111%	78%	122%
Sigmaringen	100%	100%	100%	100%	98%	100%	89%	112%	79%	121%

In Kreisen mit sinkender Nachfrage bei den MFH ist auch ein Einfluss durch die Bevölkerungsentwicklung gegeben, weil dadurch der Rückgang der Nachfrage und damit der Netto-Abriß verstärkt oder abgeschwächt wird. In den Kreisen mit Zuwachs auch bei MFH hat ein positiverer Trend in der Bevölkerungsentwicklung nur indirekt über die Bestandserhöhung und den Ersatzneubaubedarf einen geringen, erhöhenden Einfluss auf den Output. Eine Besonderheit ergibt sich bei den Kreisen mit sinkender Nachfrage nach

MFH, die zusätzlich eine hohe Leerstandsquote in diesem Gebäudetyp aufweisen (bspw. Calw). Durch eine positivere Bevölkerungsentwicklung wird hier verhindert, dass die Leerstandsquote so hochsteigt, dass der Ersatzneubaubedarf und der damit verbundene Abrissstrom gedrosselt werden. Es resultiert daher ein größerer Outputstrom trotz positiverer Bevölkerungsentwicklung und dementsprechend sinkendem Netto-Abriss.

Das Verhältnis von Output/Input (vgl. Anhang Tabelle A-2) reagiert in erster Linie auf die Bevölkerungsentwicklung und in Kreisen mit abnehmender Nachfrage zumindest in den MFH auch auf eine Erhöhung des jährlichen Leerstandszuwachses. Durch den Netto-Zubau in vielen Kreisen ergibt sich auch eine Änderung bezüglich einer Veränderung des Ersatzneubaubedarfs, weil dadurch der Output verhältnismäßig mehr verändert wird als der Input, der durch den Netto-Zubau eine höhere Ausgangsbasis hat. Die Bilanz bleibt dadurch aber unverändert. Auf diese haben hauptsächlich die Bevölkerungsentwicklung und der Leerstandszuwachs eine Auswirkung.

Beim Input in die Nichtwohngebäude ist die Sensitivität bezüglich der Bevölkerungsentwicklung etwas schwächer ausgeprägt (vgl. Tabelle 3-12), da die Zahlen der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten früher stagnieren und damit die Abnahme der Nachfrage nur teilweise in eine Zunahme und damit einen Netto-Zubau gedreht wird. In einigen Kreisen mit höheren Leerstandsquoten wird durch die positivere Bevölkerungsentwicklung aber verhindert, dass der Ersatzneubaubedarf schon früh stärker gedrosselt wird, so dass dort die diesbezügliche Sensitivität stärker ausgeprägt ist (bspw. Rottweil, Calw, Neckar-Odenwaldkreis).

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands (AP2)

Tabelle 3-12: Relative Veränderung des Inputs in Nichtwohngebäude als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei einer Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses im Falle sinkender Nachfrage, einer anderen Bevölkerungsentwicklung und anderen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubedarf (Grün = geringste Werte, rot = größte Werte; Standard = 100 %)

Input Nichtwohngebäude	Standard	Leerstandszuwachs 0,15%/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,075%/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,225%/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,3%/a 2020-2030	Bevölkerung min; Trend -0,0003k	Bevölkerung max; Trend +0,00022k	Sanierungsquote min: 67 % von Standard	Sanierungsquote max: 138 % von Standard	Ersatzneubaubedarf min: 67 % von Standard	Ersatzneubaubedarf max: 138 % von Standard
Landkreis Standard = 100 %	100%	100%	100%	100%	100%	98%	98%	99%	101%	73%	127%
Stuttgart	99%	99%	101%	102%	99%	117%	99%	101%	101%	73%	127%
Boblingen	99%	99%	101%	102%	99%	117%	99%	101%	101%	73%	127%
Esslingen-St.r.	99%	99%	101%	102%	99%	116%	99%	101%	101%	74%	126%
Göppingen	106%	106%	99%	90%	98%	111%	99%	101%	69%	131%	131%
Ludwigsburg	100%	100%	101%	102%	98%	118%	99%	101%	75%	125%	125%
Rems-Murr-Kreis	99%	100%	101%	102%	101%	117%	99%	101%	70%	130%	130%
Heilbronn-St.r.	100%	100%	101%	102%	99%	115%	99%	101%	74%	126%	126%
Heilbronn-Lkr.	99%	100%	101%	102%	99%	117%	99%	101%	72%	128%	128%
Hohenlohekreis	100%	100%	99%	96%	100%	116%	99%	101%	70%	130%	130%
Schwäbisch-Hall	103%	103%	99%	99%	98%	119%	99%	101%	71%	129%	129%
Main-Tauber-Kreis	129%	112%	89%	87%	100%	115%	98%	102%	69%	131%	131%
Heidenheim	129%	113%	87%	79%	98%	110%	98%	102%	69%	131%	131%
Ostalbkreis	103%	103%	96%	91%	98%	109%	99%	101%	69%	131%	131%
Baden-Baden	100%	100%	101%	102%	99%	119%	98%	102%	74%	126%	126%
Karlsruhe-St.r.	98%	98%	102%	103%	99%	111%	98%	102%	72%	128%	128%
Karlsruhe-Lkr.	99%	99%	101%	102%	98%	117%	99%	101%	74%	126%	126%
Rastatt	99%	99%	100%	98%	99%	116%	99%	101%	71%	129%	129%
Heidelberg	100%	100%	100%	102%	100%	106%	98%	102%	71%	129%	129%
Mannheim	99%	100%	101%	102%	99%	115%	99%	101%	70%	129%	129%
Neckar-Odenwald-Kreis	130%	114%	91%	90%	97%	152%	98%	102%	70%	130%	130%
Rhein-Neckar-Kreis	99%	99%	101%	102%	98%	118%	99%	101%	73%	127%	127%
Pforzheim	100%	100%	101%	102%	100%	115%	98%	102%	72%	128%	128%
Calw	128%	112%	89%	89%	96%	158%	98%	104%	75%	125%	125%
Enzkreis	112%	104%	99%	89%	98%	120%	98%	101%	69%	131%	131%
Freudenstadt	128%	114%	89%	89%	96%	137%	97%	103%	73%	127%	127%
Freiburg im Breisgau	99%	99%	101%	102%	99%	111%	98%	102%	75%	125%	125%
Breisgau-Hochschwarzwald	100%	100%	101%	102%	98%	118%	99%	101%	73%	127%	127%
Emmendingen	100%	100%	101%	102%	99%	120%	99%	101%	76%	124%	124%
Odenaukreis	99%	100%	101%	101%	98%	117%	99%	101%	72%	128%	128%
Rottweil	163%	128%	89%	108%	99%	141%	97%	105%	74%	126%	126%
Schwarzwald-Baar-Kreis	121%	110%	91%	94%	99%	120%	98%	101%	69%	131%	131%
Tuttlingen	104%	104%	99%	91%	99%	115%	99%	101%	70%	130%	130%
Konstanz	100%	100%	101%	101%	98%	119%	99%	101%	75%	125%	125%
Lörrach	99%	99%	101%	102%	98%	118%	99%	101%	73%	127%	127%
Waldshut	99%	100%	98%	94%	98%	110%	99%	101%	70%	130%	130%
Reutlingen	99%	99%	102%	101%	98%	115%	99%	101%	72%	128%	128%
Tübingen	99%	100%	102%	99%	98%	119%	98%	102%	73%	127%	127%
Zellernaukreis	134%	118%	89%	87%	99%	141%	97%	105%	72%	130%	130%
Lfm	100%	100%	101%	102%	100%	109%	99%	101%	75%	125%	125%
Alb-Donau-Kreis	100%	100%	98%	96%	98%	119%	99%	101%	71%	129%	129%
Biberach	100%	100%	100%	99%	98%	116%	99%	101%	72%	128%	128%
Bodenseekreis	100%	100%	101%	102%	99%	117%	99%	101%	75%	125%	125%
Ravensburg	99%	100%	101%	101%	98%	118%	99%	101%	74%	126%	126%
Sigmaringen	103%	103%	98%	92%	98%	108%	99%	101%	69%	131%	131%

Die Sensitivität gegenüber einer Veränderung im jährlichen Leerstandszuwachs in Landkreisen mit sinkender Nachfrage und hoher Leerstandsquote ist hingegen stärker ausgeprägt als bei den Wohngebäuden. Grund dafür ist die Drosselung des Ersatzneubaubedarfs in diesen Landkreisen, die umso stärker ausfällt, je größer der Leerstandszuwachs ist, so dass der Input entsprechend sinkt. Die Leerstandsquote liegt bei den Nichtwohngebäuden bei gleicher Ausgangsbasis durch den früheren Nachfragerückgang im weiteren Verlauf höher als bei den Wohngebäuden und damit ist der Aspekt der

Drosselung des Ersatzneubaubedarfs hier relevanter. Die größte Sensitivität besteht sonst allgemein bezüglich einer Halbierung und Verdopplung des Ersatzneubaubedarfs.

Beim Output der Nichtwohngebäude zeigt sich hingegen eine stärkere Sensitivität gegenüber einer positiveren Bevölkerungsentwicklung als bei den Wohngebäuden (vgl. Tabelle 3-13), weil hier aufgrund der früheren Stagnation tatsächlich Netto-Abriss im betrachteten Zeitraum stattfindet, welcher durch eine positivere Bevölkerungsentwicklung entsprechend reduziert wird. Die Verdopplung oder Halbierung des Ersatzneubaubedarfs hat aber weiterhin den größten Einfluss. Ebenso allgemein größer als bei den Wohngebäuden ist der Einfluss durch die Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses, weil bei den Nichtwohngebäuden deutlich mehr Kreise einen Nachfragerückgang verzeichnen, der Bedingung dafür ist, dass es überhaupt einen Leerstandszuwachs gibt. Je größer der Leerstandszuwachs ausfällt, desto kleiner wird der Output. Bei den Kreisen mit hoher Leerstandsquote ist dieser Effekt noch durch eine, mit stärkerem Leerstandszuwachs erhöhte Drosselung des Ersatzneubaubedarfs überlagert, so dass für diese Kreise noch größere Abweichungen von der Standardberechnung resultieren.

Das Output/Input-Verhältnis zeigt wiederum die Bedeutung der Bevölkerungs- und damit der Beschäftigtenentwicklung (vgl. Anhang Tabelle A-3). Bezüglich einer Veränderung des Ersatzneubaubedarfs ergibt sich wie bei den Nichtwohngebäuden eine Abweichung vom Standardszenario aufgrund von Netto-Zubau und hier auch Netto-Abriss, so dass entsprechend der Output bzw. der Input relativ stärker auf eine Veränderung des Ersatzneubaubedarfs reagieren.

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands (AP2)

Tabelle 3-13: Relative Veränderung des Outputs aus Nichtwohngebäuden als BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei einer Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses im Falle sinkender Nachfrage, einer anderen Bevölkerungsentwicklung und anderen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubedarf (Grün = größter Wert, rot = geringster Wert; Standard = 100 %)

Output Nichtwohngebäude	Standard: Leerstandszuwachs 0,15 %/a 2020-2030				Bevölkerung min; Trend: -0,0022%/a	Bevölkerung max; Trend: +0,0022%/a	Sanierungsquote min: 67 % von Standard	Sanierungsquote max: 133 % von Standard	Ersatzneubaubedarf min: 67% von Standard	Ersatzneubaubedarf max: 133% von Standard
	Leerstandszuwachs 0%/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,025 %/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,225 %/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,39%/a 2020-2030						
Landkreis, Standard = 100 %	107%	102%	97%	91%	101%	97%	99%	102%	72%	129%
Stuttgart	107%	102%	97%	91%	101%	97%	99%	102%	71%	129%
Böblingen	106%	100%	96%	90%	101%	95%	99%	101%	70%	129%
Esslingen	106%	100%	96%	90%	101%	97%	99%	101%	70%	130%
Göppingen	117%	110%	97%	90%	101%	99%	99%	101%	74%	126%
Ludwigsburg	103%	102%	99%	93%	101%	99%	99%	101%	69%	131%
Rhein-Neckar-Kreis	106%	100%	97%	91%	102%	94%	99%	101%	72%	129%
Heilbronn SKr.	107%	100%	97%	90%	101%	99%	99%	101%	74%	129%
Heilbronn Lkr.	107%	100%	97%	90%	101%	99%	99%	101%	72%	129%
Hohenlohekreis	106%	100%	96%	90%	101%	99%	99%	101%	73%	127%
Schwäbisch-Hall	109%	100%	94%	87%	100%	95%	99%	101%	72%	128%
Main-Tauber-Kreis	128%	114%	87%	79%	100%	89%	99%	101%	80%	120%
Heidenheim	120%	113%	87%	79%	102%	89%	99%	101%	82%	118%
Ostalbkreis	114%	108%	91%	81%	101%	90%	99%	101%	75%	125%
Baden-Baden	109%	100%	96%	91%	101%	99%	99%	101%	73%	127%
Pforzheim	109%	100%	96%	90%	102%	91%	99%	101%	78%	122%
Karlsruhe SKr.	109%	100%	96%	90%	101%	97%	99%	101%	69%	131%
Karlsruhe Lkr.	109%	100%	96%	90%	101%	97%	99%	101%	69%	131%
Bastatt	107%	100%	96%	91%	101%	99%	99%	101%	72%	128%
Heidelberg	109%	104%	96%	90%	102%	89%	99%	101%	82%	119%
Mannheim	107%	100%	97%	91%	101%	94%	99%	101%	73%	127%
Neckar-Odenwald-Kreis	137%	118%	85%	79%	102%	116%	99%	101%	81%	119%
Rhein-Neckar-Kreis	103%	100%	98%	90%	101%	97%	99%	101%	70%	130%
Pforzheim	109%	100%	96%	91%	102%	91%	99%	101%	77%	124%
Calw	130%	117%	87%	77%	99%	97%	97%	100%	89%	117%
Enzkreis	119%	110%	92%	81%	99%	94%	99%	101%	75%	125%
Freudenstadt	130%	117%	89%	74%	99%	97%	99%	101%	82%	118%
Freiburg im Breisgau	109%	104%	96%	93%	102%	91%	99%	101%	77%	124%
Breisgau-Hochschwarzwald	102%	101%	100%	100%	102%	101%	99%	101%	68%	132%
Emmendingen	103%	102%	98%	90%	101%	93%	99%	101%	69%	131%
Odenaukreis	107%	100%	97%	93%	101%	94%	99%	101%	72%	129%
Rottweil	151%	129%	87%	79%	102%	99%	99%	102%	90%	116%
Schwarzwald-Baar-Kreis	127%	119%	89%	78%	100%	99%	99%	101%	78%	122%
Tuttlingen	113%	108%	91%	82%	100%	99%	99%	101%	74%	126%
Konstanz	103%	100%	98%	90%	101%	96%	99%	101%	71%	129%
Lörrach	106%	100%	97%	94%	101%	94%	99%	101%	72%	129%
Waldshut	109%	103%	98%	94%	102%	94%	99%	101%	74%	126%
Reutlingen	109%	100%	96%	94%	101%	95%	99%	101%	72%	129%
Tübingen	109%	100%	97%	92%	101%	94%	99%	101%	72%	129%
Zollernalbkreis	139%	117%	89%	78%	100%	100%	99%	101%	89%	117%
Ulm	109%	100%	97%	93%	102%	99%	99%	101%	72%	129%
Alb-Donau-Kreis	103%	100%	96%	91%	101%	96%	99%	101%	71%	129%
Biberach	103%	100%	97%	93%	101%	96%	99%	101%	71%	129%
Bodenseekreis	109%	100%	98%	91%	101%	95%	99%	101%	71%	129%
Ravensburg	103%	100%	98%	90%	101%	96%	99%	101%	71%	129%
Sigmaringen	111%	100%	99%	89%	100%	95%	99%	101%	75%	126%

3.4.2.6 Maximale (pessimistische) und minimale (optimistische) Szenarien

Die Darstellung der Szenarien erfolgt als Materialmassen in Kapitel 3.4.4.1. Auf Ebene des BRI wurden diese nicht berechnet.

3.4.2.7 Plausibilisierung der ermittelten Inputs und -Outputs als BRI bzw. Wohnfläche

Zur Plausibilisierung der ermittelten Stoffflüsse steht die Bautätigkeitsstatistik der vergangenen Jahre zur Verfügung. Auf Materialebene kann ein

Ableich der Ergebnisse mit Produktionsstatistiken für den Input und Abfallstatistiken für den Output hilfreich sein.

In der Bautätigkeitsstatistik wird der Zubau an Wohnungen, Wohnfläche und Nutzfläche jeweils in neu gebauten Wohn- und Nichtwohngebäuden und inklusive der Maßnahmen an bestehenden Gebäuden ausgewiesen. Letztere werden nicht unterschieden nach Wohn- und Nichtwohngebäuden. Der BRI-Zuwachs in Wohn- und Nichtwohngebäuden wird hingegen nur für neue Gebäude dargelegt.

Für Wohngebäude lässt sich die prognostizierte Änderung der Nachfrage nach Wohnfläche (ohne die Flächen zur gewerblichen Nutzung) für das Jahr 2016 mit dem Zubau an Wohnfläche inklusive der Maßnahmen an bestehenden Gebäuden in der Bautätigkeitsstatistik aus dem Mittel der Jahre 2003 bis 2015 vergleichen, weil die Geschosshöhe der verschiedenen Wohngebäudetypen keine großen Unterschiede aufweist. Bei den Nichtwohngebäuden wird das Verhältnis des Nutzflächenzugangs inklusive der Maßnahmen an bestehenden Gebäude zur Summe des Nutzflächenzugangs in neu errichteten Wohn- und Nichtwohngebäuden mit dem Nutzflächenzugang in neu errichteten Nichtwohngebäuden multipliziert, um den Nutzflächenzugang in Nichtwohngebäuden inklusive Maßnahmen an bestehenden Gebäuden abzuschätzen. Dabei ergeben sich die im Anhang in Tabelle A-4 aufgeführten Werte. Der Abriss in der Bautätigkeitsstatistik ist hingegen im Allgemeinen unterschätzt, weil die Abbruchstätigkeit nicht vollständig erfasst wird, und zu unsicher, um ihn den prognostizierten Werten zur Plausibilisierung gegenüberstellen zu können.

In den letzten Jahren hat die Bautätigkeit in einigen Kreisen verstärkt angezogen, was über die Mittelwertbildung nur über die Jahre von 2012 bis 2015 für die Wohngebäude deutlich wird. In anderen Kreisen gab es hingegen eine Abnahme der Bautätigkeit. Der ab dem Jahr 2016 stärker steigende Trend der Bautätigkeit ist hier noch nicht abgebildet. Ein Punkt sind Unsicherheiten auch in der Bautätigkeitsstatistik zum Zubau. So weichen beispielsweise die vom Amt für Städtebau und Statistik Heidelberg gemachten Angaben von denen des Statistischen Landesamtes für den Stadtkreis

Heidelberg ab, wobei letztere Quelle etwas höhere Zugänge ausweist. Für den Stadtkreis Karlsruhe ist es genau umgekehrt.

3.4.3 Bestandsgebäude und Straßeninfrastruktur in den Kreisen Baden-Württembergs in Materialien [kg]

In folgender Tabelle 3-14 ist der berechnete Materialbestand im Jahr 2016 in Baden-Württemberg jeweils für Wohngebäude, Nichtwohngebäude und die Straßeninfrastruktur dargestellt.

Tabelle 3-14: Materialbestand für die Bereiche Wohn-, Nichtwohngebäude und Straßeninfrastruktur

Materialkategorie	Summe Baden-Württemberg		
	Wohngebäude (kg)	Nichtwohngebäude (kg)	Infrastruktur (kg)
Beton	7,09E+10	1,49E+11	5,63E+10
Mauerwerk (>2000 kg/m³)	2,43E+11	3,28E+10	1,22E+10 (Pflaster)
Leichtbaustoffe (< 2000 kg/m³)	5,06E+11	6,71E+10	-
Dachziegel (nicht Betonsteine)	1,03E+10	2,59E+08	-
Gips	2,55E+10	2,47E+09	-
ungebundene Materialien (Steine v.a. aus dem Straßenbau)	6,81E+09	2,63E+10	3,31E+11
Glas	8,95E+09	2,85E+10	-
Asphalt	6,51E+09	6,61E+08	1,98E+11
Sonstiges (Estrich, Putze, Keramik, Lehme etc.)	2,48E+10	5,11E+09	-
Fe	2,79E+09	1,82E+10	1,39E+10 (Stahl)
NE-Metalle	6,18E+09	6,29E+08	-
Holz (I+II)	1,14E+10	7,58E+09	-
Holz (III+IV)	8,97E+08	1,01E+09	-
Kunststoffe – PVC, EPS, PE, Sonstige	9,90E+08	1,46E+08	-
Textilien	2,22E+08	1,74E+08	4,09E+06 (Vliesstoffe)
Sonstige Bauabfälle	3,06E+10	1,93E+10	-

Für die folgende Abbildung sind alle Massen aufaddiert (vgl. Abbildung 3-17). Diese Gesamtmasse summiert sich aus den Einzelmaterialien und verteilt sich auf die verschiedenen Landkreise, was in gestapelten Balkendiagrammen jeweils für Wohn- (vgl. Anhang Abbildung A-11), Nichtwohngebäude (vgl. Anhang Abbildung A-12) sowie Wohn- und Nichtwohngebäude in einem Diagramm (vgl. Abbildung 3-17) dargestellt wird.

Bei den Wohngebäuden fällt der große Anteil an Leichtbaustoffen auf, der in den MFH noch größer ausfällt als in den EFH, sodass die Stadtkreise bezüglich dieses Anteils jeweils etwas herausragen.

Bei den Nichtwohngebäuden fällt der Betonanteil demgegenüber relativ deutlich größer aus. Die andere Zusammensetzung der Gebäude führt außerdem dazu, dass die Masse der Baumaterialien nach bspw. Ludwigsburg und Esslingen im Vergleich zum BRI den Platz tauschen. Der Unterschied zwischen Stuttgart und Esslingen/Ludwigsburg fällt deutlicher aus, da in Stuttgart zu einem deutlich größeren Anteil Büro- und Verwaltungsgebäude und sonstige Nichtwohngebäude im Bestand existieren, die bezogen auf den BRI deutlicher schwerer sind als die landwirtschaftlichen Betriebsgebäude, die in Ludwigsburg und Esslingen einen größeren Anteil am Bestand haben. Die Unterschiede in der prozentualen Materialzusammensetzung des Nichtwohngebäudebestands der jeweiligen Kreise fallen eher gering aus, aber darüber hinaus gibt es Unterschiede in der gesamten spezifischen Masse eines mittleren Nichtwohngebäudes eines Kreises. Einige Nichtwohngebäudetypen wie landwirtschaftliche Betriebsgebäude weisen in Summe deutlich geringere Materialdichten auf, was sich in den Verhältnissen der Materialien zueinander nicht abbildet.

Die Darstellung der in WG und NWG verbauten Massen in Abbildung 3-17 zeigt, dass die Massen im Wohngebäudebestand deutlich überwiegen, obwohl die Unterschiede im BRI nicht so groß waren (vgl. Abbildung 3-8). Das verdeutlicht, dass die BRI-spezifischen Baumassen bei den Nichtwohngebäuden deutlich geringer sind als bei den Wohngebäuden. Den größten Materialbestand in Summe der Gebäude weist trotzdem noch der Stadtkreis Stuttgart auf, weil hier schwere Nichtwohngebäudetypen überwiegen.

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands (AP2)

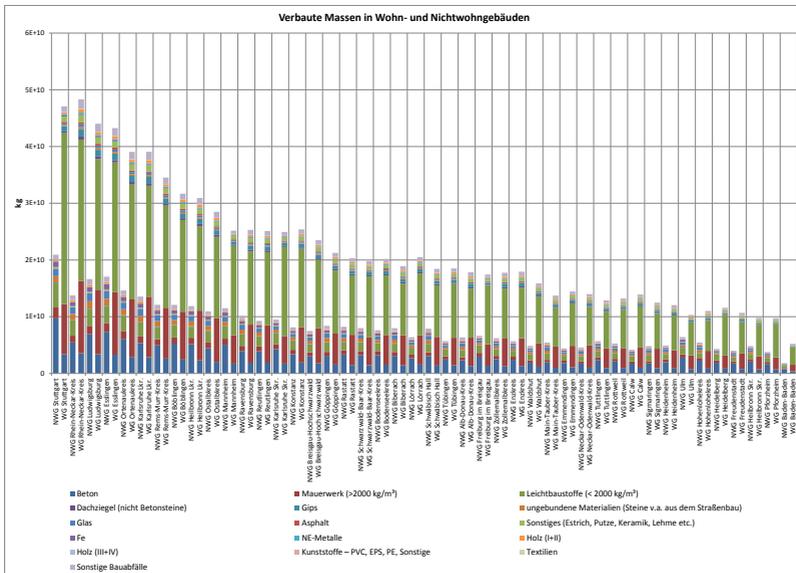


Abbildung 3-17: Bestand der jeweils in Wohn- und Nichtwohngebäuden verbaute Materialien in den Kreisen Baden-Württembergs, sortiert nach Gesamtmasse in Summe aus Wohn- und Nichtwohngebäuden

Zu den Gebäuden kommen nun die Ergebnisse für die Straßeninfrastruktur aus [UBA 2016] hinzu. Die Masse weist eine Größenordnung auf, die zumeist zwischen denen der Nichtwohn- und Wohngebäude liegt. Da die Landkreise mit den maximalen Massen im Gebäudebereich nicht mit denen der Infrastruktur übereinstimmen, kann die Infrastruktur in den Landkreisen mit dem geringeren Gebäudebestand sogar eine annähernd gleiche Menge ausmachen. Die Reihenfolge der Landkreise bezüglich der verbaute Masse Infrastruktur ist entsprechend anders als bezüglich der Gebäudemassen; der Maximalwert wird im Ortenaukreis erreicht (vgl. Anhang Abbildung A-13). Die Größe des Straßennetzes hängt nicht nur von der Besiedelung, sondern auch von der Größe des zu erschließenden Kreises ab. Die Reihenfolge der Landkreise und Skalierung in folgender Abbildung 3-18 sind gleich gewählt wie in obiger Abbildung 3-17, so dass direkt verglichen werden kann.

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands (AP2)

Tabelle 3-15: Materialinput und -output für die Bereiche Wohn-, Nichtwohngebäude und Straßeninfrastruktur

Summe Baden-Württemberg	Input WG 2016-2030 (kg)	Output WG 2016-2030 (kg)	Input NWG 2016-2030 (kg)	Output NWG 2016-2030 (kg)	Input Inf 2016-2030 (kg)	Output Inf 2016-2030 (kg)
Beton	2,55E+10	3,71E+09	2,54E+10	1,79E+10	2,53E+10	2,12E+10
Mauerwerk (>2000 kg/m ³)	5,53E+10	1,15E+10	3,76E+09	3,89E+09	0,00E+00	0,00E+00
Leichtbaustoffe (< 2000 kg/m ³)	5,02E+10	3,36E+10	2,43E+09	8,64E+09	0,00E+00	0,00E+00
Dachziegel (nicht Betonsteine)	2,01E+09	5,19E+08	6,70E+07	1,34E+07	0,00E+00	0,00E+00
Gips	5,23E+09	1,30E+09	2,81E+08	3,20E+08	0,00E+00	0,00E+00
ungebundene Materialien (Steine v.a. aus dem Straßenbau)	1,48E+09	3,27E+08	4,53E+09	3,60E+09	7,83E+10	5,70E+10
Glas	1,98E+09	4,24E+08	4,69E+09	3,79E+09	0,00E+00	0,00E+00
Asphalt	3,49E+08	1,33E+08	2,32E+07	1,15E+08	8,02E+10	6,64E+10
Sonstiges (Estrich, Putze, Keramik, Lehme etc.)	5,07E+09	1,26E+09	5,81E+08	6,62E+08	0,00E+00	0,00E+00
FE-Metalle	1,09E+09	1,60E+08	2,76E+09	2,28E+09	3,32E+09	2,17E+09
NE-Metalle	1,75E+09	2,51E+08	8,19E+07	8,37E+07	0,00E+00	0,00E+00
Holz (I+II)	1,90E+09	5,10E+08	1,02E+09	8,57E+08	0,00E+00	0,00E+00
Holz (III+IV)	1,44E+07	6,93E+07	1,36E+08	1,14E+08	0,00E+00	0,00E+00
Kunststoffe – PVC, EPS, PE, Sonstige	2,32E+08	4,65E+07	1,97E+07	1,99E+07	0,00E+00	0,00E+00
Textilien	5,07E+07	1,07E+07	2,40E+07	2,39E+07	8,72E+05	6,35E+05
Sonstige Bauabfälle	6,73E+09	1,46E+09	3,20E+09	2,58E+09	0,00E+00	0,00E+00
Summe	1.59E+11	5.53E+10	4.90E+10	4.49E+10	1.87E+11	1.47E+11
Zubau (positiv) oder Abbruch (negativ) in Tonnen pro Einwohner und Jahr	14.71 t / EW *a	5.12 t / EW *a	4.54 t / EW *a	4.16 t / EW *a	17.33 t / EW *a	13.59 t / EW *a
Netto-Zubau bzw. Netto-Abbruch	9.59 t / EW *a		0.38 t / EW *a		3.74 t / EW *a	

In- und Output in bzw. aus den Gebäuden aller Materialien in Summe der Jahre 2016 bis 2030 verteilen sich prozentual wie in Abbildung 3-19 dargestellt auf die verschiedenen Landkreise sowie die Materialgruppen Mineralisch, Metalle und Organisch (vgl. Tabelle 2-1). Bei den Gebäuden wird der Beitrag von jeweils Wohn- und Nichtwohngebäuden über die Balkenanteile gezeigt.

Die absolute Zubaumenge der Summe aus Wohn- und Nichtwohngebäuden von 2016 bis 2030 im Stadtkreis Stuttgart steht an erster Stelle aufgrund des Zubaus von schweren Nichtwohngebäudetypen (vgl. Abbildung 3-19). In den Nichtwohngebäudebereich alleine werden dadurch die meisten Materialien im Stadtkreis Stuttgart eingebracht, gefolgt vom Kreis Ludwigsburg (vgl. Anhang Abbildung A-14). Im Kreis Ludwigsburg werden hingegen schwerere MFH zugebaut, so dass sich der im Vergleich zum Rhein-Neckar-Kreis geringere BRI-Zubau an Wohngebäuden in größeren Massezubau von Materialien in Wohngebäuden wandelt (vgl. Anhang Abbildung A-15). Der Kreis Ludwigsburg weist somit den maximalen Materialinput in Summe von 2016 bis 2030 in Wohngebäude auf. Der Input durch die Wohngebäude dominiert verstärkt durch die geringere Materialdichte der Nichtwohngebäude deutlich den gesamten Input in den Gebäudebereich. Beim Output ist aus demselben Grund der Anteil aus den Wohngebäuden immer noch etwas größer, obwohl ausgedrückt als BRI der Output aus den Nichtwohngebäuden überwiegt.

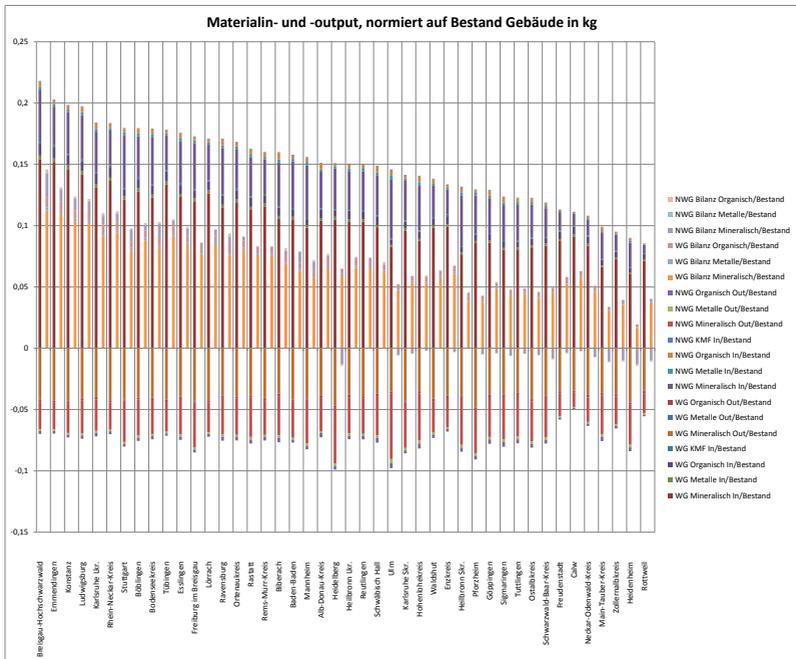


Abbildung 3-20: Materialgruppeninput und -output sowie -bilanz für Wohn- und Nichtwohngebäude in [kg] für alle Kreise in Baden-Württemberg, kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, normiert auf Bestand

Durch die andere Zusammensetzung von Wohn- und Nichtwohngebäuden und den teilweise entgegen gerichteten Teilbilanzen können aber trotz der positiven Gesamtbilanz im Gebäudebereich in den jeweiligen Kreisen Überschüsse bestimmter Materialien entstehen. Hinzu kommt noch, dass auch die Zusammensetzung der neuen Wohn- und Nichtwohngebäude anders ist als die der abgerissenen Objekte, so dass auch im Falle von jeweils keiner Netto-Änderung im Bestand Überschüsse bzw. Netto-Bedarfe bestimmter Materialien entstehen können. Dies zeigt sich, wenn für die Summe aus Wohn- und Nichtwohngebäuden In- und Output sowie die Bilanz der einzelnen Materialien wiederum in Summe über die Jahre 2016-2030 abgebildet werden (vgl. Anhang Abbildung A-17). Für einige Kreise ergeben sich bspw. negative Bilanzen für Leichtbaustoffe, für ein paar auch für Asphalt; nur für

wenige Kreise liegt eine negative Bilanz für ungebundene Materialien, Glas und Eisen vor. Die dort die negative Bilanz begründenden Outputs entstammen aufgrund des größeren Gesamtoutputs v.a. dem Nichtwohngebäudebereich (vgl. auch Abbildung 3-24). Bei den Leichtbaustoffen, die in Wohngebäuden früher zu einem größeren Anteil als heute und in Wohngebäuden zu einem größeren Anteil als in Nichtwohngebäuden verbaut wurden, sind auch schon für Wohngebäude im betrachteten Zeitraum für wenige Kreise negative Netto-Bilanzen zu finden.

Das Verhältnis von Output zu Input kann wie in Abbildung 3-21 über die Summe aller Materialien in der Zeitspanne 2016 bis 2030 sowie für jeweils nur 2016 und 2030 über alle Kreise dargestellt werden, um aufzuzeigen, wie stark der Zubau bzw. der Abriss von Materialien insgesamt zu welchem Zeitpunkt überwiegt. Es zeigt sich, dass einige Kreise im Jahr 2030 schon mehr Materialien abwerfen als sie benötigen, wohingegen im Jahr 2016 das Verhältnis noch inputlastig ist. Dieses Verhältnis kann dazu dienen, die Kreise in verschiedene Strukturtypen zu gliedern. Ein relativ kleines Output/Input-Verhältnis $<0,45$ (Strukturtyp A) haben Kreise, in denen netto in Summe über den Zeitraum 2016 bis 2030 zugebaut wird und dies sowohl bei Wohn- und Nichtwohngebäuden. Verhältnisse zwischen $0,45$ und $0,75$ (Strukturtyp B) umfassen Kreise, deren WG-Bestand netto im Zeitraum noch wächst bei aber zumeist schon stagnierendem oder schrumpfendem NWG-Bestand. Kreise mit einem Wert von $>0,75$ (Strukturtyp C) haben einen netto fast stagnierenden WG- und einen zumeist schrumpfenden NWG-Bestand.

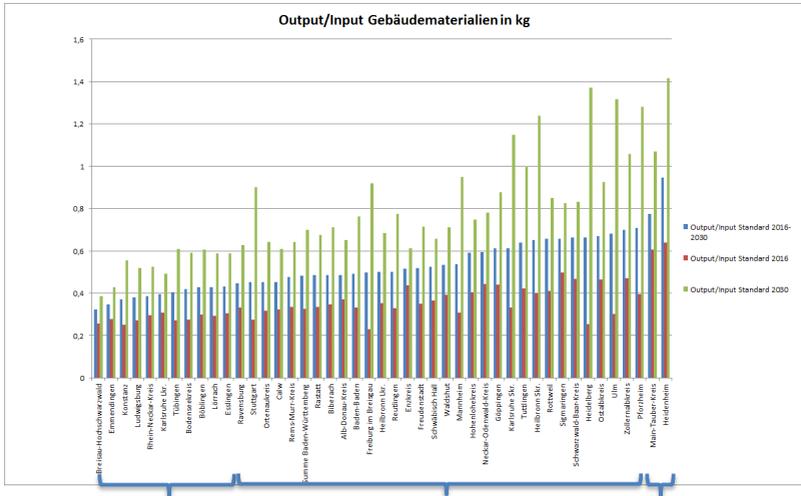


Abbildung 3-21: Verhältnis von Output zu Input aller Materialien aus und in Gebäude, jeweils kumuliert über die Zeitspanne von 2016 bis 2030 sowie jeweils nur im Jahr 2016 und 2030; links Output/Input-Verhältnis kumuliert von 2016 bis 2030 $< 0,45$ (Strukturtyp A), Mitte $0,45-0,75$ (Strukturtyp B), rechts $> 0,75$ (Strukturtyp C), mitte Output/Input-Verhältnis in 2016 und rechts Output/Input-Verhältnis in 2030

Derselbe Aspekt kann für die mineralischen Materialien, die sich gut im Kreislauf des Hochbaus führen lassen und Primärgesteinskörnung ersetzen können, dargestellt werden. Es sind dies die Summe aus Beton, Mauerwerk und Dachziegel (vgl. Anhang Abbildung A-18) sowie zukünftig Gips (vgl. Anhang Abbildung A-19). Leichtbaustoffe werden bislang nicht im Kreislauf geführt, wohingegen Asphalt nur in den Straßen- und Wegebau gelangt (vgl. Tabelle 3-16). Für die wertarmen, schweren Materialien wie Mauerwerk und Beton sowie Dachziegel ist ein überregionaler Transport weder aus ökologischer noch ökonomischer Perspektive gewinnbringend. Daher kann hier bei einem Deckungsgrad von unter 100 % von einem Bedarf an Primärmaterial aus dem Kreis ausgegangen werden. Bei den anderen Materialien wie insbesondere Metallen können lokale Unterschiede im Deckungsgrad hingegen auch über Kreise hinweg durch Austausch ausgeglichen werden.

Tabelle 3-16: Recyclbarkeit der anfallenden Materialien, eigene Abschätzung
(Stand: 2018)

Material	Anteil in Aufbereitung
Beton	100 %
Mauerwerk	100 %
Leichtbaustoffe	0 %
Dachziegel	100 %
Gips	50 % (langfristig 80 %)
Ungebunden	0 % in Hochbau, 100 % in Tiefbau
Glas	75 %
Asphalt	0 % in Hochbau, 100 % in Tiefbau
Sonstige (Putze etc.)	0 %
Fe	100 %
NE	100 %
Holz I+II	75 %, Rest energetisch
Holz III+IV	0 %, 100% energetische Verwertung
Kunststoffe	25 %, Rest energetisch
Textilien, Sonstige	0 %, energetisch

Das Output/Input-Verhältnis sagt noch nichts darüber aus, wie viel des Input tatsächlich durch den Output gedeckt werden kann. Es soll hier durch das Output/Input-Verhältnis zunächst lediglich der Trend gezeigt werden.

Hinzu kommen die Bautätigkeiten an der Infrastruktur, welche folgenden absoluten In- und Output liefern (vgl. Abbildung 3-22) und in Summe mit den Stoffflüssen aus Abbildung 3-19 die Gesamtflüsse ergeben. Die Reihenfolge ist in beiden Abbildungen bezüglich des absteigenden Materialinputs in die Gebäude der Kreise gewählt, so dass die Stoffflüsse aus dem Gebäude- und Infrastrukturbereich für die einzelnen Kreise direkt miteinander verglichen werden können. Die Materialien aus [UBA 2016] wurden dabei wie folgt dem obigen Stoffkatalog zugewiesen (vgl. Tabelle 3-17):

Tabelle 3-17: Zuordnung der Materialien der Straßenbauinfrastruktur aus [UBA 2016] zu dem hiesigen Stoffkatalog

Stoffe	Stoff [UBA 2016]
Beton	Pflaster, Beton
Ungebundene Materialien	ungebunden
Asphalt	Asphalt
Fe	Stahl
Textilien	Vliesstoff

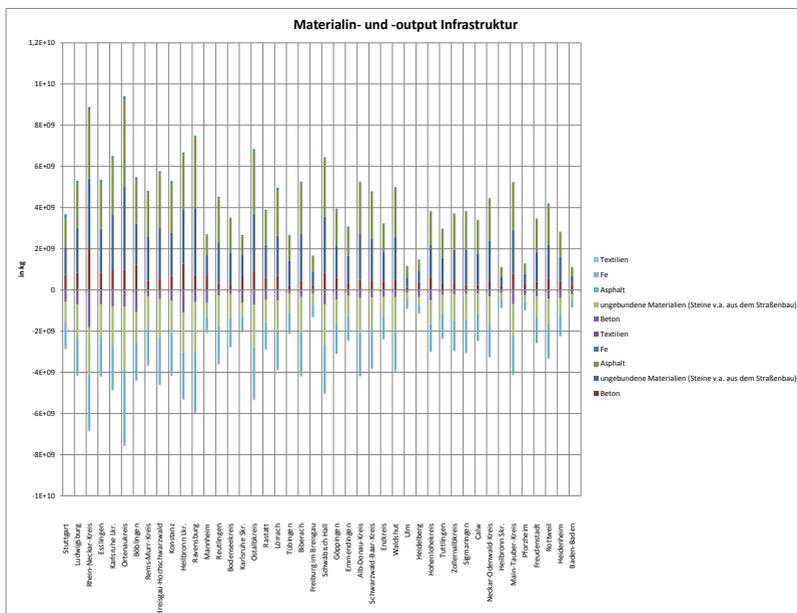


Abbildung 3-22: Materialinput und –output sowie –bilanz für die Straßeninfrastruktur in [kg] kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 für die Kreise Baden-Württembergs, sortiert nach absteigendem Materialinput in Gebäude

Normiert auf den Infrastrukturbestand zeigt sich wiederum, in welchen Landkreisen die relativ größten In- und Outputs in bzw. aus der Infrastruktur zu erwarten sind (vgl. Abbildung 3-23). Die Reihenfolge ist wie in obiger Abbildung 3-20 absteigend entsprechend dem auf den Bestand normierten Materialinput in Gebäude sortiert, so dass wiederum die Stoffflüsse aus dem Gebäude- und Infrastrukturbereich direkt miteinander verglichen werden können. Die diesbezüglichen Unterschiede zwischen den Landkreisen sind relativ gering, die Bilanz ist überall positiv. In- und Output fallen in der Infrastruktur bezogen auf den Bestand größer aus als dies im Gebäudebereich der Fall ist.

3 Stoffstrommodell des Gebäude- und Infrastrukturbestands (AP2)

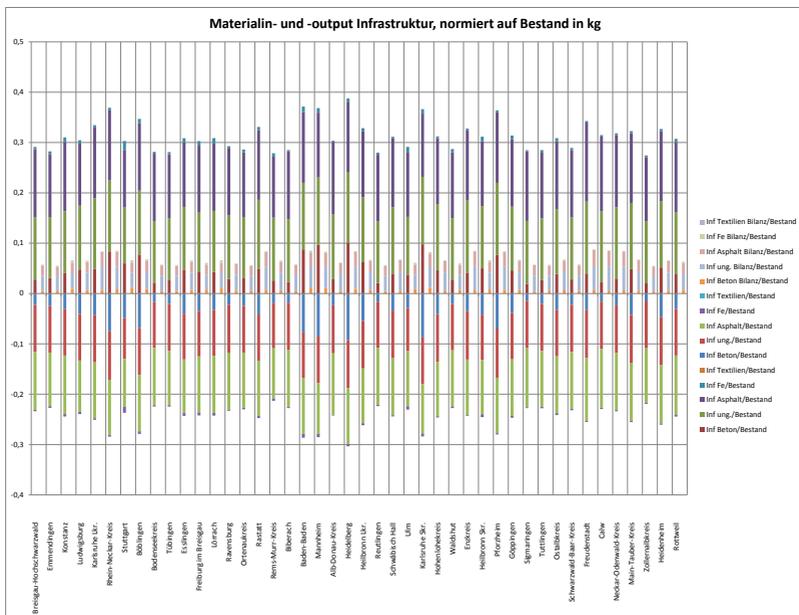


Abbildung 3-23: Materialinput und –output sowie –bilanz für die Straßeninfrastruktur in [kg] kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 für die Kreise Baden-Württembergs, normiert auf den Bestand, sortiert nach absteigendem auf den Bestand normierten Materialinput in Gebäude

Anders als bei den Gebäuden bleibt der jährlich angesetzte In- und Output und damit auch die jährliche Bilanz für die Infrastruktur gleich. Der Nettobedarf ist hier also über den ganzen Zeitraum gegeben.

In folgender Abbildung 3-24 werden die einzelnen Materialinputs und -outputs kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 jeweils aus dem Wohn-, Nichtwohngebäudebereich und der Straßeninfrastruktur für den Kreis Stuttgart und jeweils ausgewählte Kreise aus dem Strukturtyp A (Breisgau-Hochschwarzwald), B (Rastatt) und C (Main-Tauber-Kreis, Heidenheim) nebeneinandergestellt (vgl. Abbildung 3-21). Dabei zeigt sich zum einen erneut, dass für Wohngebäude hauptsächlich Mauerwerk und Leichtbaustoffe verbaut werden und dann auch wieder als Output anfallen,

bei Nichtwohngebäuden ist es zu einem größeren Anteil Beton. In der Straßeninfrastruktur überwiegen im In- und Output ungebundene Materialien und Asphalt. Die Bilanz der Wohngebäude fällt deutlich positiver aus als die der Nichtwohngebäude, mit negativer Bilanz Letzterer im Main-Tauber-Kreis und Heidenheim. Die Bautätigkeit in der Straßeninfrastruktur fällt gegenüber dem Gebäudebereich in Stuttgart kleiner, in den anderen Kreisen aber teilweise größer aus, insbesondere im Main-Tauber-Kreis und Heidenheim. Überschüsse aus dem Gebäudebereich gibt es bei Leichtbaustoffen im Main-Tauber-Kreis und dem Kreis Heidenheim sowie in Letzterem auch bei Glas, Eisen, ungebundenen Materialien und Asphalt.

Der mögliche Austausch von Gebäudebereich und Straßeninfrastruktur beschränkt sich auf eine Verlagerung von mineralischen Materialien und ggf. Eisen aus dem Gebäudebereich in die Straßeninfrastruktur, wenn weiterhin ein Netto-Bedarf in der Straßeninfrastruktur gegeben ist. Im Folgenden werden In-, Output und Bilanz der verschiedenen Materialien in den einzelnen Kreisen für die Summe aus Gebäuden und Infrastruktur aufgezeigt. Dies ist zunächst für die Summe aus den Jahren 2016 bis 2030 (vgl. Abbildung 3-25) und dann auch jeweils für die Jahre 2016 (Anhang vgl. Abbildung A-21) und 2030 (Anhang vgl. Abbildung A-22) abgebildet, da sich in diesem Zeitraum der Materialinput in die Gebäude verringert, so dass 2030 auch Materialien abgegeben werden können, wohingegen 2016 auch der Gebäudebereich noch einen größeren Materialbedarf hat.

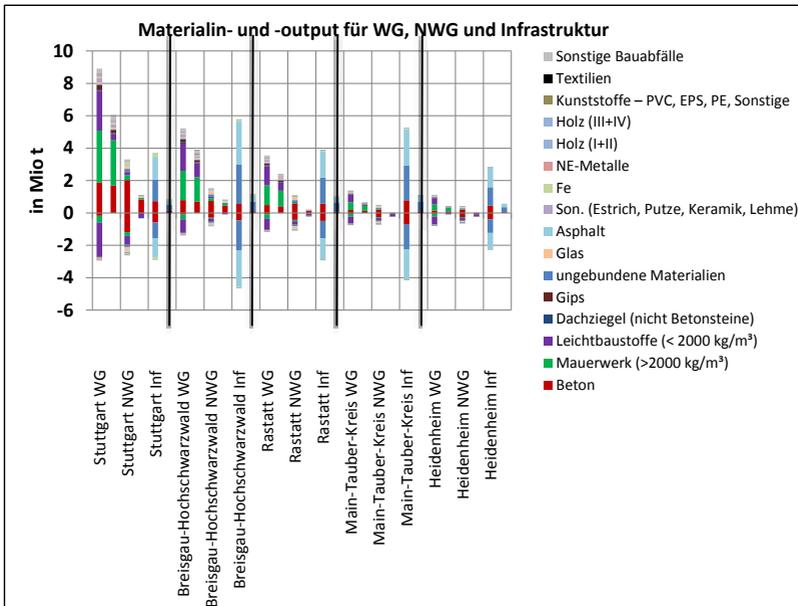


Abbildung 3-24: Materialinput und -output separat für die Bereiche Wohngebäude, Nichtwohngebäude und Straßeninfrastruktur in ausgewählte Kreisen Baden-Württembergs, kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030

Für die Summe aus 2016 bis 2030 ist die Netto-Bilanz über Gebäude und Infrastruktur für fast alle Materialien positiv. Ausnahmen sind im Falle einiger Kreise die Leichtbaustoffe aus dem Gebäudebereich und im Falle weniger Kreise auch Glas ebenso aus dem Gebäudebereich. Der Asphalt- und Eisenüberschuss aus den Gebäuden in ein paar Kreisen hingegen wird in der Infrastruktur benötigt. Die Reihenfolge hinsichtlich des maximalen Inputs an Materialien fällt gegenüber der alleinigen Betrachtung der Gebäude etwas anders aus, was in Abbildung 3-25 gut sichtbar ist (vgl. auch vergrößerte Abbildung A-20 im Anhang), weil die Anordnung entsprechend dem absteigenden Input im Gebäudebereich belassen ist.

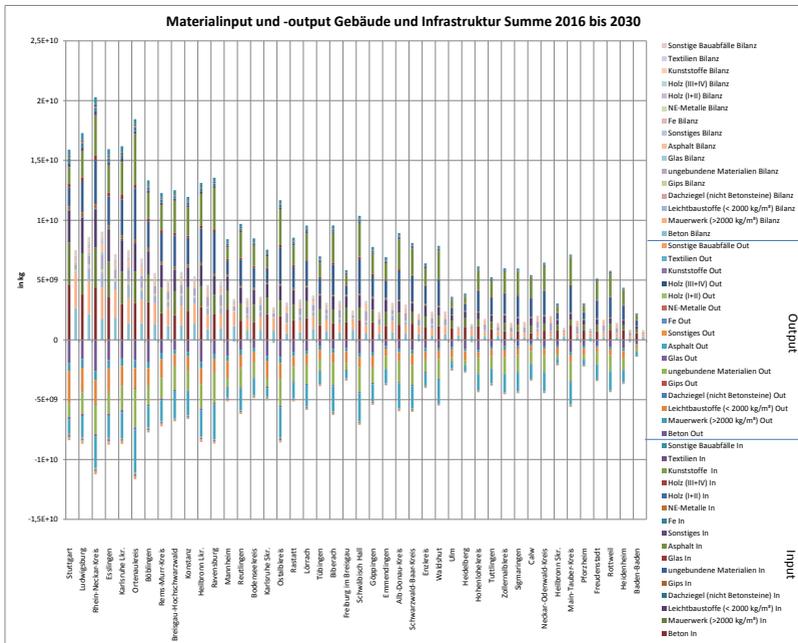


Abbildung 3-25: Materialinput und -output sowie -bilanz in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in kg kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, absteigend sortiert nach Materialinput in Gebäude (vgl. auch verbesserte Abbildung A-20 im Anhang)

Bei Betrachtung des Jahres 2016 alleine fällt die Netto-Bilanz größer aus. Negative Werte gibt es nur für Leichtbaustoffe im Main-Tauber-Kreis und Landkreis Heidenheim. Der dort relativ größere Input in den Gebäudebereich bedingt, dass die Reihenfolge bezüglich des Gesamt-Inputs ähnlich ausfällt wie bezüglich des Inputs in den Gebäudebereich alleine. Im Jahr 2030 ist die Netto-Bilanz hingegen deutlich geringer. Neben Leichtbaustoffen werden auch für Glas, teilweise Eisen und Holz und in sehr wenigen Kreisen auch für Beton negative Werte prognostiziert.

Da die Output-Materialien nicht einfach so wiederverwendet werden können und nicht direkt ein Primärprodukt substituieren, ist die Netto-Bilanz

aber nicht gleich dem Netto-Bedarf, also dem verbleibenden Input an Primärstoffen im Falle eines Recyclings des Outputs. Dieser hängt einerseits davon ab, wie viel des Outputs tatsächlich verwertbar ist und andererseits davon, wie viel in neuen Produkten überhaupt einsetzbar ist.

Für Leichtbaustoffe ist der Input auch der Netto-Bedarf trotz günstigerer Bilanz, weil der Output nicht wiederverwendet werden kann, so dass der Bedarf ähnlich groß wie die Netto-Bilanz des in größeren Mengen verbauten Betons oder Mauerwerks ist. Beton im Output wird bspw. wie Mauerwerk und Dachziegel beim Bauschuttzubereiter durch Brechen und Klassierung zu einer sekundären Gesteinskörnung, die Primärgesteinskörnung in bspw. ebensolchen neuen Produkten substituieren kann. Alter Beton kann dabei also bspw. nur zu maximal dem Anteil, zu welchem Gesteinskörnung im neuen Beton benötigt wird, als Bestandteil in den neuen Beton eingehen. Der Rest des Altbetons ist Überschuss, der anderweitig verwertet oder entsorgt werden muss. Weitere Anwendung für sekundäre Gesteinskörnung ist der Einsatz als ungebundene Schicht in der Straßeninfrastruktur. Die Bilanzen der Kreise bezüglich Gesteinskörnungen aus Betonbruch und Mauerwerk im Hochbau mit Einsatz im Input über R-Beton werden im Kapitel 6 näher beleuchtet.

Der Einsatz von Materialien aus dem Hochbau im Tiefbau ist gut möglich, umgekehrt hingegen kaum. Letzterer Fall tritt in der vorliegenden Betrachtung aber auch nicht auf, weil die Infrastruktur im gesamten betrachteten Zeitraum keinen Output-Überschuss bezüglich eines Materials produziert. Asphalt und ungebundenes Material lässt sich nur im Tiefbau wiedereinsetzen. Der Output aus den Gebäuden stellt damit die Menge dar, die den Netto-Bedarf im Straßen- und Wegebau bezüglich dieser Materialien zu einem geringen Grad reduzieren können. Der diesbezügliche Output aus dem Gebäudebereich ist gegenüber dem Bedarf in der Infrastruktur aber gering, so dass wie oben gesehen insgesamt ein Netto-Bedarf verbleibt.

3.4.4.1 Ergebnisse der maximalen (pessimistischen) und minimalen (optimistischen) Szenarien

Zur Abschätzung der Bandbreite der Prognose werden die im Kapitel 3.3.4.4 beschriebenen maximalen (pessimistischen) und minimalen (optimistischen) Szenarien der Gebäude betrachtet. Hinzuaddiert sind hier auch die Materialien aus der Straßeninfrastruktur, wobei für diese im betrachteten Zeitraum bis 2030 und in allen Szenarien jährlich dieselben Materialflüsse angesetzt sind, die als konstante Werte dazu addiert werden. Damit resultieren wie im genannten Kapitel beschrieben drei Szenarien mit einem Standardszenario und einer bezüglich einer minimalen Bilanz optimistischen und pessimistischen Abschätzung, die auf der Bevölkerungs- und Leerstandsentwicklung beruhen. Diese drei Szenarien lassen sich wiederum jeweils bei mittleren Sanierungsquote und Ersatzneubaubedarf (Standard-Quoten), geringeren (Min-Quoten) und größeren Quoten (Max-Quoten) betrachten (Tabelle 3-2, Tabelle 3-3). Diese Quoten verändern die Bilanz kaum, aber die Größe der In- und Outputs gleichermaßen. Mit den Standard-Quoten ergibt sich folgende Entwicklung von In- und Outputs für jeweils Baden-Württemberg (vgl. Abbildung 3-26), Breisgau-Hochschwarzwald (vgl. Abbildung 3-27) mit dem geringsten und Heidenheim (vgl. Abbildung 3-28) mit dem größten Output/Input-Verhältnis bezüglich der Summe aus den Jahren 2016 bis 2030 (vgl. Abbildung 3-21). Diese beiden Kreise werden daher in Abbildung 3-27 und Abbildung 3-28 näher betrachtet.

Generell sinken mit der Zeit die Inputs in Abhängigkeit vom betrachteten Szenario, wohingegen die Outputs ebenso in Abhängigkeit vom betrachteten Szenario steigen mit entsprechend sinkender Bilanz. Das optimistische Szenario ist durch die im Vergleich zum Standardszenario nur wenig schwächer verlaufende Bevölkerungsentwicklung im Input nah am Standardszenario. Durch die nicht steigenden Leerstandsquoten im optimistischen Szenario wird im Falle des Landkreises Heidenheim verhindert, dass die Leerstandsquoten so hochsteigen, dass der Ersatzneubaubedarf sinkt, so dass dann mit dem optimistischen Szenario höhere In-, aber auch Outputs

als im Standardszenario berechnet werden. Die Bilanz ist dabei aber trotzdem minimal, weil dies auf In- und Output gleichermaßen wirkt. Eine weitere Besonderheit im Falle des Landkreis Heidenheim ist, dass der Output zumindest im maximalen, pessimistischen und im Standardszenario mit der Zeit sinkt, weil durch die weiter steigenden Leerstandsquoten der Ersatzneubaubedarf immer weiter gedrosselt wird. Ab dem Jahr 2028 und teilweise dazwischen sinkt auch der Output für das optimistische Szenario unabhängig von der Leerstandsquote, die hier ja nicht verändert wird, etwas. Hier wirken eine sehr geringe positive Netto-Bilanz bei den Wohngebäuden, eine positive bei der Infrastruktur und eine zum Schluss bei den Nichtwohngebäuden wieder weniger negative Bilanz zusammen. Der Sprung im Jahr 2021 im Landkreis Heidenheim mit dem maximalen, pessimistischen Szenario ist auf den zugrunde gelegten größeren Anstieg der Leerstandsquote zu diesem Zeitpunkt im Vergleich zum Vorjahr zurückzuführen, so dass der Bestand und damit die Bilanz trotz sinkender Nachfrageentwicklung vorübergehend nochmals ansteigt.

Wie ersichtlich schwanken die Materialieninputs für ganz Baden-Württemberg zwischen den Szenarien um bis zu gut 3 Mio. Mg jährlich über den gesamten betrachteten Zeitraum hinweg. Beim Output ist der Unterschied geringer und wird mit fortgeschrittener Zeitdauer der Prognose etwas größer. Grund dafür ist, dass zu Beginn des Zeitraums unabhängig vom Szenario noch ein Wachstum vorliegt, so dass die Annahmen zur Leerstandsquote keinen Einfluss haben und andererseits durch die nur wenig abgeschwächte Bevölkerungsentwicklung zu Beginn noch kein Netto-Abriss ausgelöst werden kann. Auch für die Bilanz resultiert ein Unterschied um bis zu gut 3 Mio. Mg jährlich, der mit der Zeit durch die steigenden Unterschiede im Output größer wird.

Mit maximalen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubedarf ist gegenüber den Standard-Quoten eine Erhöhung des In- und Outputs um bis zu 2 bis knapp 2,5 Mio. Mg jährlich zu verzeichnen (vgl. Anhang Abbildung A-23). Mit den minimalen Quoten ergibt sich eine Reduktion um eine ähnliche Größenordnung nach unten (vgl. Anhang Abbildung A-26). Damit zeigt sich

nochmals, dass eine maximal verlaufende Bevölkerungsentwicklung durch die dann entsprechend steigenden Inputs insbesondere in den Wohngebäudebestand neben dem Ersatzneubaubedarf den größten Einfluss auf das Ergebnis hat.

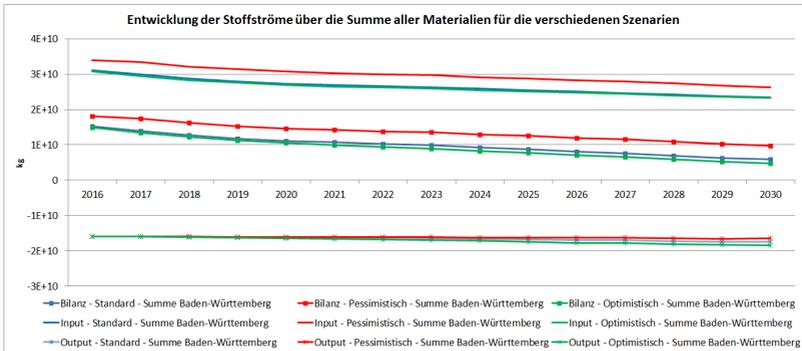


Abbildung 3-26: Szenarien mit Standard-Werten sowie maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in ganz Baden-Württemberg; mittlere Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung

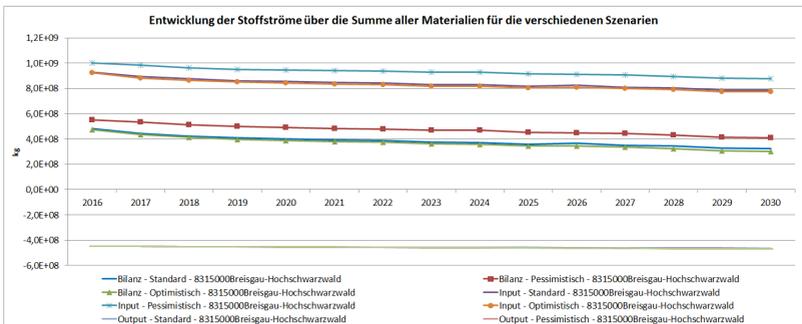


Abbildung 3-27: Szenarien mit Standard-Werten sowie maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich im Kreis Breisgau-Hochschwarzwald; mittlere Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung

Die Verhältnisse jeweils des minimalen und maximalen In- und Outputs aller Materialien über die Summe von 2016 bis 2030 in Bezug auf das Szenario Standard mit mittleren Quoten (= 100 %) sind im Anhang in Tabelle A-5 für die einzelnen Kreise dargestellt. Die errechneten Schwankungsbreiten der Szenarien liegen im Input je nach Kreis zwischen 83 % und 132 %, im Output zwischen 77 % und 119 % der jeweiligen Standardszenariowerte.

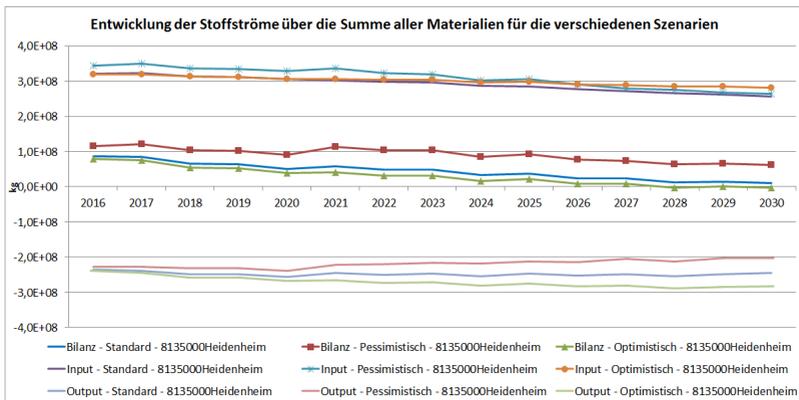


Abbildung 3-28: Szenarien mit Standard-Werten sowie maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich im Kreis Heidenheim; mittlere Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung

3.4.4.2 Plausibilisierung der Materialflüsse

Die Daten der Transportbeton-Verbandsstatistik mit der in Baden-Württemberg im Jahr 2016 produzierten Transportbetonmenge können den, über das Modell für 2016 bzw. die nächsten Jahre prognostizierten Inputmengen gegenübergestellt werden (vgl. Tabelle 3-18). Auf die produzierten Transportbetonmengen ist noch Beton in Form von Betonfertigteilen und Betonwaren aufzuschlagen, die einen Marktanteil von ca. 30 % (Stürmer et al. 2016) an der gesamten Betonproduktion haben. Je nach Dichte des produzierten Transportbetons stimmen die Größenordnungen gut oder weniger gut überein. Eine Überschätzung der Bautätigkeit, wie

es der Vergleich der Stoffflüsse mit der Bautätigkeitsstatistik suggeriert, scheint durch das Modell nicht zu erfolgen.

Tabelle 3-18: Vergleich von Beton im Modellinput mit dem in Baden-Württemberg produzierten Transportbeton

Beton-Input Modell 2016 (Mio. t) Baden-Württemberg	Transportbetonproduktion Baden-Württemberg 2015 (Mio. t) ¹
Wohngebäude 2,26 Mio. t Nichtwohngebäude 2,52 Mio. t Infrastruktur 1,69 Mio. t	7,9 Mio. m ³ → 19 Mio. t (für Leichtbeton entsprechend geringer)
¹ [BTB 2015] 7,9 Mio. m ³ ; angenommene Dichte 2,4 t/m ³	

Die für 2016 bzw. die nächsten Jahre prognostizierten Outputmengen des Modells lassen sich mit möglichst zeitnahen Angaben aus der Abfallstatistik für Baden-Württemberg vergleichen (vgl. Tabelle 3-19). Die Größenordnungen stimmen ganz gut überein.

Tabelle 3-19: Vergleich Modelloutput in Summe über alle Materialien mit Abfallstatistik Baden-Württemberg

Output Modell 2016 Summe alle Materialien (Mio. t) Baden-Württemberg	Abfallstatistik 2016 [StaBaWü 2016]
Wohngebäude 3,5 Mio. t Nichtwohngebäude 2,5 Mio. t Infrastruktur 4,4 Mio. t Asphalt, 1,4 Mio. t Beton, 3,8 Mio. t ungebunden	6,6 Mio. t Bauschutt 2,3 Mio. t Straßenaufbruch (Bitumengemische) 2,2 Mio. t zu Asphaltmischanlagen

3.5 Zusammenfassung

Bestand

Es zeigt sich, dass der Gebäudebestand pro Einwohner in dünner besiedelten Kreisen größer ist und dort auch der Anteil an Ein- und Zweifamilienhäusern (EFH/ZFH) sowie der landwirtschaftlichen Betriebsgebäude größer sind (gemessen am BRI-Bestand [m³]). Es zeigt sich weiterhin, dass der Bestand der WG etwas größer als der der NWG ist (wiederum gemessen am BRI in [m³]). Im Untersuchungsgebiet Baden-Württemberg verzeichnet der

Rhein-Neckar-Kreis den absolut höchsten WG-Bestand und der Stadtkreis Stuttgart den höchsten NWG-Bestand, der dann auch in Summe aus beiden den höchsten Gebäudebestand aufweist (gemessen am BRI in $[m^3]$). Alternative Berechnungsweisen für den WG-Bestand ergeben BRI-Schwankungsbreiten im Bereich von 80 % bis 130 %. In den Mehrfamilienhäusern (MFH) im Bestand und damit insbesondere in den dichter besiedelten Kreisen sind mehr Leichtbaustoffe als in EFH/ZFH verbaut. Landwirtschaftliche Betriebsgebäude haben ein geringeres spezifisches Gewicht, so dass ein relativ zum BRI geringerer Materialbestand $[t]$ in dünner besiedelten Gebieten resultiert. Insgesamt ist der Materialbestand $[t]$ für WG deutlich größer als für NWG, was für das größere spezifische Gewicht der WG spricht. Trotzdem ist der Materialbestand über alle Gebäude im Stadtkreis Stuttgart noch am größten. Der Materialbestand $[t]$ in der Straßeninfrastruktur erreicht Werte, die zwischen denen der NWG und WG liegen. Den Maximalwert besitzt hier der Ortenaukreis; die Rangfolge der Kreise zueinander ist größtenteils anders als bei den Gebäuden.

Bau- und Abrisstätigkeit

Der absolute, kumulierte BRI-Input $[m^3]$ im Zeitraum von 2016 bis 2030 wird bezüglich der WG für den Rhein-Neckar-Kreis als am größten prognostiziert. Bezüglich der NWG ist dies der Fall für den Kreis Ludwigsburg, der dann ebenso den größten Input an allen Gebäuden gesamt aufweist. Der größte Materialinput $[t]$ im selben Zeitraum ist aufgrund des Zubaus schwererer Gebäudetypen bei den WG hingegen zum Kreis Ludwigsburg und den NWG sowie den Gebäuden gesamt zum Stadtkreis Stuttgart verschoben. Der größte Output sowohl in $[m^3]$ als auch $[t]$ im o.g. Zeitraum ergibt sich jeweils für den Stadtkreis Stuttgart. Die Normierung auf den Bestand lässt die Bautätigkeit in den Landkreisen unabhängig von deren Größe erkennen. Hier deutet sich sowohl bei WG und NWG der größte relative Input in $[t]$ und $[m^3]$ im Kreis Breisgau-Hochschwarzwald an. Der geringste Input $[m^3]$ und $[t]$ wird für die Kreise Heidenheim und Rottweil prognostiziert.

Das Output/Input-Verhältnis bezüglich $[m^3]$ und $[t]$ ist für den Kreis Breisgau-Hochschwarzwald am kleinsten, für die Kreise Heidenheim und

Main-Tauber-Kreis am größten. Bei den normierten In- und Outputs der Nichtwohngebäude zeigt sich auch die Auswirkung einer Drosselung des Ersatzneubaubedarfs ab dem Erreichen einer höheren Leerstandsquote. Auch in der Bautätigkeit ist in dünner besiedelten Kreisen der Anteil an EFH/ZFH sowie Büro- und Verwaltungsgebäuden geringer und der Anteil der landwirtschaftlichen Betriebsgebäude größer.

Der normierte Output ist bei den WG dabei relativ kreisindifferent (noch kein Netto-Abriss), bei den NWG schwankt er stärker: Die Bilanz in $[m^3]$ ist bei den WG in Summe über den Zeitraum überall noch deutlich im positiven Bereich, wohingegen bei den NWG die Abnahme der Beschäftigtenzahlen in ein paar Kreisen zu einer negativen Bilanz führt, so dass im Main-Tauber-Kreis und Kreis Heidenheim schon ein Netto-Abriss von Gebäude-BRI $[m^3]$ stattfindet. Generell überwiegen im BRI-Input die WG, im Output die NWG $[m^3]$. 2030 wird in Baden-Württemberg in Summe eine BRI-Gebäudebilanz $[m^3]$ von nahe null erreicht werden.

Durch das größere spezifische Gewicht der WG ist deren Anteil am Materialinput und -output $[t]$ jeweils größer als am BRI $[m^3]$ zu erwarten, so dass auch im Materialoutput in Summe von 2016 bis 2030 der Anteil der WG etwas überwiegt. Insgesamt ist die Materialbilanz $[t]$ für Gebäude gesamt für alle Kreise noch positiv; im Jahr 2030 alleine betrachtet jedoch nicht mehr in allen Kreisen. Trotzdem gibt es Materialien, die in (wachstumsschwächeren) Kreisen in Summe von 2016 bis 2030 im Überschuss anfallen (bspw. Leichtbaustoffe, Asphalt, ungebundene Materialien, Glas, Eisen), auch weil zugebaute Gebäude anders zusammengesetzt sind als diejenigen gleichen Typs im Bestand, die den Output generieren. Die In- und Outputs in und aus der Straßeninfrastruktur sind teilweise größer als diejenigen in den Gebäudebereich mit stets positiver Netto-Bilanz und maximalem In- und Output im Ortenaukreis. Normiert auf den Bestand sind die infrastrukturellen In- und Outputs zwischen den Kreisen relativ gering. In Summe aus Gebäuden und Straßeninfrastruktur prognostiziert das Modell von 2016 bis 2030 aufaddiert den maximalen Materialinput im Rhein-Neckar-Kreis. 2030 werden neben Leichtbaustoffen auch Glas, teilweise

Eisen und Holz und in sehr wenigen Kreisen auch für Beton negative Werte prognostiziert. Die Netto-Bilanz ist nicht gleich dem Netto-Bedarf, also dem verbleibenden Input an Primärstoffen. Dieser hängt einerseits davon ab, wie viel des Outputs tatsächlich verwertbar ist und andererseits davon, wie viel in neuen Produkten überhaupt einsetzbar ist. Eine Verlagerung von mineralischen Materialien und ggf. Eisen vom Hoch- in den Tiefbau ist möglich, solange ein Netto-Bedarf in der Straßeninfrastruktur existiert.

Über das vorhandene oder nicht vorhandene Netto-Wachstum von Wohn- und Nichtwohngebäuden kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 und die damit verbundene Größe des Output/Input-Verhältnisses in Summe über alle Gebäudematerialien werden die Kreise in drei Strukturtypen A, B und C eingeteilt.

Alternative Berechnungsansätze und Szenarien

Eine alternative Berechnung des Ersatzneubaubedarfs führt gegenüber dem Standardszenario kumuliert von 2016 bis 2030 zu Werten von In- und Output von minimal 70 % bis 80 %. Mit dem alternativen Wohnungsneubaubedarf zur Bestimmung des WG-Inputs ergeben sich in Summe von 2016 bis 2030 allgemein Inputs in Höhe von bis zu 110 % und Outputs von bis zu 130 % jeweils gegenüber den Standardszenariowerten für WG. Es gibt aber Ausreißer wie den Stadtkreis Heidelberg mit bis zu 159 % im WG-Input sowie bis zu 205 % im Output. Die Unterschiede laufen mit der Zeit teilweise auch auseinander, so dass bei Betrachtung der Werte von 2030 alleine die Abweichungen noch etwas größer sein können. Der Verzicht auf eine Drosselung des Ersatzneubaubedarfs ab dem Erreichen einer bestimmten Leerstandsquote hat bspw. für den Landkreis Rottweil, der davon am stärksten betroffen ist, eine Steigerung des In- und Outputs im NWG-Bereich von 468 % bzw. 248 % zur Folge.

Szenariobetrachtungen haben gezeigt, dass für den Materialinput in WG in Summe von 2016 bis 2030 eine maximale Bevölkerungsentwicklung den stärksten Einfluss auf das Ergebnis hat, für Output und NWG hingegen die

Veränderung des Ersatzneubaubedarfs um +/- 30%. Eine Sensitivität gegenüber einer anderen Entwicklung der Leerstandsquote im Falle sinkender Nachfrage ist für die NWG gegeben, weil hier tatsächlich sinkende Nachfrage eintrifft und darüber die Lagerbildung und Drosselung des Ersatzneubaubedarfs beeinflusst wird.

Folgende bezüglich einer minimalen Bilanz der maximalen (pessimistisch) und minimalen (optimistisch) Szenarien mit jährlichem Materialinput, -output und -bilanz für die Summe aus Gebäude und Straßeninfrastruktur, in denen mehrere Parametervariationen gekoppelt sind, sind für alle Kreise Baden-Württembergs im Modell verfügbar: Minimale Bevölkerungsentwicklung und kein Anstieg der Leerstandsquote im Falle sinkender Nachfrage (optimistisch); maximale Bevölkerungsentwicklung und größerer Anstieg der Leerstandsquote (pessimistisch). Die Materialieninputs für ganz Baden-Württemberg zwischen den Szenarien schwanken um bis zu gut 3 Mio. Mg jährlich über den gesamten betrachteten Zeitraum hinweg. Beim Output ist der Unterschied geringer und wird mit fortgeschrittener Zeitdauer der Prognose etwas größer. Auch für die Bilanz resultiert ein Unterschied um bis zu gut 3 Mio. Mg jährlich, der mit der Zeit durch die steigenden Unterschiede im Output größer wird. Mit maximalem Ersatzneubaubedarf und Sanierungsquote ist demgegenüber eine Erhöhung des In- und Outputs um bis zu jeweils 2 bis knapp 2,5 Mio. Mg jährlich zu verzeichnen, minimal ergibt sich eine Reduktion um eine ähnliche Größenordnung nach unten.

Kritische Würdigung

Unsicher bei den Wohngebäuden ist der Anteil der Nachfrage nach Nichtwohnflächen in Wohngebäuden bezüglich des umbauten Raumes an Nichtwohngebäuden. Die Werte für die ländlicheren Kreise wurden aus der Literatur abgeschätzt, die für die städtischen Kreise unter Annahmen aus der GIS-Auswertung für Hamburg ermittelt. Die stärkeren Einschränkungen aber sind bei den Nichtwohngebäuden zu verzeichnen: Der kreisspezifische Nichtwohngebäudebestand musste über die Verrechnung von Kennzahlen aus Gebäude- und Beschäftigtenstatistik für Deutschland und Hamburg

ermittelt werden, wofür manuelle und unsichere Zuordnungen von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nach Wirtschaftszweig und Berufsgruppe zu Gebäudetypen erfolgen mussten. Die Kennzahlen aus Hamburg wurden für die städtischen Kreise angewendet, die von Deutschland gesamt für die ländlicheren Kreise, die Auswertung einer weiteren Stadt oder eines Landkreises zur Verifizierung der Kennzahlen liegt nicht vor. Außerdem stellt die Aufteilung des Nichtwohngebäudebestands auf die verschiedenen Bauzeitepochen nach ebendiesen Verhältnissen im Bestand der Mehrfamilienhäuser eine grobe Annahme dar. Der Nichtwohngebäudebestand sollte mit der Veröffentlichung weiterer Daten überprüft werden.

Unsicher sind die Entwicklung der Leerstandsquote und die Quoten des Ersatzneubaubedarfs als Grundlage für die Bestandsprognose sowie die Abhängigkeiten des Ersatzneubaubedarfs von der Leerstandsquote. Für Wohngebäude hat das BBSR diese Faktoren zum Wohnungsneubaubedarf kombiniert, welcher aber aufgrund der unbekanntenen Berechnungsmethodik nicht übernommen werden konnte. Ziel sollte sein, in weiteren Studien die Methodik des BBSR für die Prognose der Wohngebäude einzubauen. Bei den Nichtwohngebäuden ist zusätzlich die Prognose der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten schwierig. Hier sind auch die Gebäudekennzahlen, die schon für die Ermittlung des Bestands verwendet wurden, wiederum mit Unsicherheiten behaftet. Die Sanierung wird im Falle von Wohn- und Nichtwohngebäuden mit jeweils fest gesetzten Anteilen eines Neubaus/Abrisses bezüglich des gesamten Gebäudemateriallagers berücksichtigt. Dies ignoriert, dass bei einer Sanierung bestimmte Teile wie die Außenmauern nicht angefasst werden und dafür andere Teile des Gebäudes relativ mehr. Die Aufteilung des Outputs auf die Gebäude verschiedenen Alters erfolgt im Modell vereinfachend nach den Mengenverhältnissen im Bestand und nicht nach bestimmten Bauepochen, die bevorzugt abgerissen werden. Ggf. müssten die Materialströme teilweise noch um geringere Einsätze durch das Bauen im Bestand korrigiert werden.

Aufgrund des gewählten Ansatzes können nur Teile des Modelles mit existierenden Studien und Ergebnisse verglichen werden. Der Vergleich zu

anderen Arbeiten aus der Literatur wurde über die Berechnung mit alternativen Berechnungsansätzen gegeben. Die kritische Würdigung einzelner Modellteile wurde in den Kapiteln 3.3.1.3, 3.3.2.2, 3.3.3.8 und 3.3.5.3 vorgestellt. Über 3D-Gebäudemodelle könnte der Bestand verifiziert werden; diese liegen dem Projektteam aber nicht vor.

4 Akteursmodell für nachhaltiges Bauen im Bestand in Baden-Württemberg (AP3)

4.1 Einleitung

4.1.1 Ziel des Arbeitspakets

Ziel des entwickelten, akteursbasierten Maßnahmenbewertungsmodells (SAM) war es, aktuelle und zukünftige Maßnahmen/Instrumente und Steuerungsoptionen aus staatlicher Sicht zu bewerten, um möglichst effektive Handlungsempfehlungen zur Umsetzung entsprechender Kreislaufwirtschaftskonzepte abzuleiten. In diesem Arbeitspaket wurden dazu relevante Akteure der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen identifiziert und ihre Interessen unter verschiedenen veränderbaren Rahmenbedingungen abgefragt und modelliert, um diese besser zu verstehen und politischen Entscheidungsträgern Entscheidungsunterstützung und wirksame Handlungsempfehlungen zu liefern. Politische Rahmenbedingungen können beispielsweise verschiedene politische Instrumente/Maßnahmen und deren Einflüsse auf Entscheidungsträger sein, aber auch resultierende neue Netzwerkstrukturen und Technologien zur Gewinnung von Baustoffen aus dem Bestand wie etwa neue Recyclingtechniken. Als Kennzahl zur Bewertung der Maßnahmen wurde die „aktorsbasierte Maßnahmeneffektivität“¹ eingeführt und als akteursbezogenes Ressourcenschonungspotenzial einer Maßnahme definiert.

¹ später „Akteursbasierte Maßnahmeneffizienz“

4.1.2 Vorgehensweise zur Modellentwicklung

Zunächst wurden die Interessen der relevanten Akteure der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen identifiziert und untersucht. Weiterhin wurden die Beziehungen und Einflüsse zwischen den Akteuren berücksichtigt und in einem Akteursnetzwerk, als Vorstufe eines Akteursmodells, abgebildet. Dabei wurden als Akteure (bzw. Akteursgruppen) Bauherren, die öffentliche Verwaltung, Fachplaner/Ingenieurbüros, Deponien, Baustoffhersteller, Baustoffrecycler und sonstige Dienstleistungsunternehmen erfasst. Die Akteursinteressen wurden einerseits durch Literaturrecherche und andererseits durch Umfragen und Expertengespräche mit dem Projektbeirat ermittelt. Anschließend wurden die gesammelten Daten quantifiziert, um vergleichende Aussagen hinsichtlich der Akteursinteressen, Einflusstärken auf den Ressourcenschutz oder der Handlungsbereitschaft im Sinne des Ressourcenschutzes, treffen zu können. Oberstes Ziel war dabei das Aufstellen einer Nutzenfunktion für jeden Akteur, anhand derer die Eigenschaften und Präferenzen eines Akteurs möglichst präzise abgebildet werden können. In einem nächsten Schritt wurden kreislaufwirtschaftsfördernde Maßnahmen/Instrumente des Bauwesens, die aktuell eingesetzt werden oder zukünftig eingesetzt werden könnten, in der Literatur recherchiert, aus der Akteursanalyse abgeleitet und durch Expertengespräche verifiziert. Daraufhin wurde das aufgestellte Akteursnetzwerk mit den Ergebnissen der Datenanalyse aus der Umfrage und den Expertengesprächen, sowie den hergeleiteten Maßnahmengruppen gekoppelt. Das daraus resultierende Akteursmodell wird im weiteren Verlauf des Projekts als akteursbasiertes Maßnahmenbewertungsmodell betitelt (Stakeholder-based Assessment Model; kurz: SAM). Mit dem akteursbasierten Maßnahmenbewertungsmodell kann die akteursbezogene Effektivität ressourcenschonender Maßnahmen prognostiziert² werden. Zum einen kann gezeigt werden, zu welchem

² Der Betrachtungszeitraum im Rahmen der Fallstudie Baden-Württemberg prognostiziert die akteursbezogene Effektivität bis 2030 (vgl. Kapitel 4.5.3).

Grad sich Akteure von der Maßnahme beeinflussen lassen und zum anderen kann simuliert werden, wie groß der Effekt dieser Maßnahme auf den Ressourcenschutz sein wird.

Auf Basis der Ergebnisse aus dem Modell SAM wurde ein neuer Maßnahmenkatalog abgeleitet und definiert (vgl. Punkt XII, Abbildung 4-1). Dazu wurden die 21 untersuchten Maßnahmengruppen mit Beitrag zum Ressourcenschutz (z.B. „Vorschriften ausbauen“, „Kooperationen entwickeln“, „Planung im Sinne des Ressourcenschutzes gestalten“; vgl. Ergebnisse AP3 Zwischenbericht) zu den 31 wichtigsten Detail-Maßnahmen mit dem Ziel der Ressourcenschonung konkretisiert. Diese 31 Maßnahmen wurden in der zweiten Umfrage erneut von Akteuren bewertet und dienen als Ausgangsbasis für die wichtigsten Maßnahmen zur Gestaltung der Rahmenbedingungen für das spätere Gesamtmodell (in AP4).

Die zweite, groß angelegte Umfrage (vgl. Punkt XIII, Abbildung 4-1) diente zum einen dazu, die Datenbasis bzgl. der Akteursdaten zu verbessern und zum anderen die Datenbasis des Gesamtmodells hinsichtlich der Maßnahmen zu verbessern. Dies umfasste insbesondere die Abfrage der Maßnahmenwirkung auf Stoffströme (allgemein und stoffspezifisch), die Interdependenzen der Maßnahmen untereinander (Synergien) sowie die Wirkungsverläufe der Maßnahmen (kurz-, mittel-, langfristig und Nachwirkung). Die Umfrage wurde im Zeitraum 16. Februar bis 14. April 2017 als Online Umfrage mit dem Befragungstool Unipark questback durchgeführt. Der Link zur Umfrage wurde sowohl direkt an Akteure des Bauwesens versendet, als auch an Verbände mit der Bitte zur Weiterleitung überverbandsinterne E-Mail Verteiler oder zur Platzierung in Newslettern (Architektenkammer, Dt. Abbruchverband, QRB, ISTE, Bauwirtschaft Baden-Württemberg).

Am Ende der Laufzeit konnten 80 Rückläufer ausgewertet werden. Inhaltlich befasste sich der 1. Teil der Umfrage mit Akteuren (für AP3). Dahin wurde beispielsweise Folgendes abgefragt: Die Erfolgsfaktoren der Akteursgruppen (*für akteurspezifische Zielfunktionen*); die Einschätzung des Einflusses verschiedener Akteursgruppen auf den Ressourcenverbrauch und

die Bewertung des Einflusses der Akteursgruppen aufeinander (*Akteursnetzwerk*). Der 2. Teil der Umfrage befasste sich mit politischen Maßnahmen zur Ressourcenschonung (für AP4) zur Bewertung des Reduktionspotentials von Primärrohstoffen verschiedener Maßnahmen wie die Auswirkungen bestimmter Maßnahmen auf Stoffströme (*spezifisch und allgemein*) und die Bewertung der Verbundeffekte/Wechselwirkungen der Maßnahmen (*Interdependenzen/Synergien*). Mit Auswertung der Umfrage konnte der Meilenstein F und AP3 vollständig abgeschlossen werden (vgl. Abbildung 4-1).

	AP3: Tätigkeiten Akteursmodellierung	Meilensteine
I.	Literaturrecherche zu Akteuren im Bauwesen	E
II.	Expertengespräche mit Akteuren	E
III.	Gestaltung eines Akteursnetzwerks im Bauwesen	E
IV.	Durchführung der 1. Umfrage zu Akteuren und Maßnahmen zur Ressourcenschonung	E
V.	Literaturrecherche Stand der Forschung Akteursmodelle	E
VI.	Konzeptionierung und Entwicklung Akteursmodell/ Einflussnetzwerk	F
VII.	Analyse der Akteure (z. B. Zielfunktionen, Einflussmacht)	F
VIII.	Literaturrecherche zu politischen Maßnahmen für Ressourcenschutz	H
IX.	Herleitung und Gruppierung der Maßnahmen	H
X.	Konzeptionierung und Entwicklung eines akteursbasierten Maßnahmenbewertungsmodells (SAM) . (Aufstellen einer Berechnungslogik zur Abschätzung der Effektivität einer Maßnahme Ressourcen zu schützen)	G
XI.	Analyse der Maßnahmengruppen aus IX hinsichtlich der Maßnahmeneffektivität	H
XII.	Konkretisierung der Maßnahmen / Aufstellen eines Katalogs mit relevanten politischen Maßnahmen zur Ressourcenschonung (gemäß des akteursbasierten Maßnahmenbewertungsmodells)	H
XIII.	Durchführung der 2. Umfrage zu Akteuren und politischen Maßnahmen zur Ressourcenschonung	F, H, I

Legende Meilensteine:

E: Konzept für Akteursmodell (literaturbasiert), Akteursumfrage und Expertengespräche

F: Abschluss Akteursumfrage, Prototyp Akteursmodell

G: Akteursmodell

H: Konzept des Gesamtmodells und Definition betrachteter Instrumente

I: Mit Projektbeirat abgestimmte Szenarien

J: Prototyp des Gesamtmodells

K: Gesamtmodell

L: Mit Projektbeirat abgestimmte Modellergebnisse

M: Handlungsempfehlungen

Abbildung 4-1: Vorgehen zur Modellierung der Akteure im Bauwesen

4.2 Stand der Wissenschaft – Stakeholder-Theorie

Die enorme Bedeutung des Stakeholder-Managements in der Bau- und Kreislaufwirtschaft ergibt sich aus der großen Zahl der beteiligten Akteure. Der Begriff des Akteurs wird in der Literatur und auch im Rahmen dieses

Projekts synonym zum Begriff des Stakeholders verwendet. Stakeholder verfolgen unterschiedliche soziale oder wirtschaftliche Interessen und können intrinsisch oder extrinsisch motiviert sein. Das Verständnis ihrer unterschiedlichen Interessen und Bedürfnisse kann entscheidend für den Erfolg eines Projekts bzw. eines Vorhabens sein.

4.2.1 Stakeholder

Es gibt zahlreiche Definitionen für den Begriff „Stakeholder“. Nach *Freeman*, der als „Begründer“ der Stakeholder-Theorie gilt, handelt es sich dabei um für die Existenz des Unternehmens, also für dessen Überleben, wichtige und notwendige Individuen (vgl. *Freeman*, 2010). *Wang et al.* (2015) ergänzen diese Definition um einen Bezug auf die Zielerreichung und behaupten, dass die Stakeholder für die Zielerreichung in einem Unternehmen unabdingbar und für die Schlüsselaktivitäten wichtig sind. *Freeman* beschreibt Stakeholder darüber hinaus als „[...] any group or individual, who can affect or is affected by the achievement of the organization’s objective“ (vgl. *Freeman*, 2010). Dieser letzteren Definition schließt sich auch *Bourne* (2009) an. Dabei kann der Einfluss der Stakeholder auf die Ziele positiv oder negativ sein (vgl. *Semaan und Sarkis*, 2015). Sie können passiv oder aktiv beteiligt sein und unterschiedlich starken Einfluss ausüben (vgl. *Mazur et al.*, 2006).

Olander (2007) bezeichnet Stakeholder als Interessenträger. Das Interesse kann dabei finanzieller, moralischer, juristischer, persönlicher oder gemeinschaftlicher Natur, direkt oder indirekt sein (vgl. *Mazur et al.*, 2006). Stakeholder können also organisierte oder nicht organisierte Individuen oder Gruppen sein (vgl. *Semaan und Sarkis*, 2015; *Wang et al.*, 2015), die ein Interesse an einem Projekt oder an der Umwelt hegen, in der das Projekt stattfindet (vgl. *McElroy und Mills*, 2000). *Bourne* (2010) geht noch einen Schritt weiter: gemäß *Bourne* sind Stakeholder diejenigen Gruppen, die zwar von einem Projekt oder Unterfangen profitieren können, was auch deren Interesse ist, jedoch auch etwas dafür opfern müssen, zum Beispiel in Form von Geld oder Ressourcen. Einen weiteren Aspekt bringen *Donaldson*

und Preston ein (1995). Sie heben hervor, dass Stakeholder nicht notwendigerweise einen „Stake“, also einen Anteil am Projekt oder der Firma haben müssen, um Einfluss darauf ausüben zu können. Stakeholder sind auf vielfältige Art und Weise sehr wertvoll für ein Projekt. Sie können tiefes Wissen in den für sie relevanten Bereichen besitzen und Projekte sowohl bei der Ausführung als auch bei der Planung unterstützen oder behindern (vgl. Bourne und Walker, 2005).

4.2.2 Ziele der Stakeholder-Analyse

Wichtig ist die Identifizierung der Stakeholder und ihrer Beziehungen untereinander. Die verschiedenen Stakeholder haben jeweils ihre eigenen Interessen, Bedürfnisse, Werte und Ausprägungen von Macht bzw. Möglichkeiten der Einflussnahme. Folglich sollen bei einer Stakeholder-Analyse all diese Gruppen bestimmt und betrachtet werden (vgl. Yang et al., 2011). Das Ziel des Stakeholder-Managements ist es, auf die Bedürfnisse der Stakeholder einzugehen und deren Auswirkungen bspw. auf ein Projekt zu bestimmen (vgl. Semaan und Sarkis, 2015).

4.2.3 Stakeholder-Modelle

Die für das Projekt StAR-Bau relevanten Stakeholder müssen im Folgenden identifiziert und so dargestellt werden, dass die strukturellen Beziehungen deutlich werden. Dazu müssen Kriterien definiert werden, anhand derer die Stakeholder verglichen und ihre Auswirkungen bewertet werden können. Die unterschiedlichen Ansätze aus der Wissenschaft werden im Folgenden erläutert.

Qualitative Modelle

Winch (vgl. 2007) teilt die Stakeholder nach ihrer Meinung und ihrem Standpunkt zum Projekt auf. Also in Gegner, die einen gegensätzlichen Standpunkt vertreten, und Befürworter, die den gleichen Standpunkt vertreten.

Das Ziel ist es, die Einwände, die die Gegner zu einem Projekt haben, zu bestimmen und Maßnahmen zu entwickeln, diese Konfliktpunkte zu lösen und aus den Gegnern Befürworter zu machen.

Damit das Stakeholder-Management zur Unterstützung des Unternehmenserfolges genutzt werden kann, schlägt *Freeman* (vgl. 1984, 2010) vor, die Stakeholder nach ihrem Kooperationspotenzial und nach den Bedrohungen, die von ihnen im Wettbewerb ausgehen, zu beurteilen und ihre Wertekultur zu bestimmen. Daraus sollen Maßnahmen für das Unternehmen abgeleitet werden. Auf dieser Idee bauen auch *Savage et al.* (1991) ihre Analyse auf und leiten aus dieser Empfehlungen ab, wie bestimmte Gruppen behandelt werden sollen.

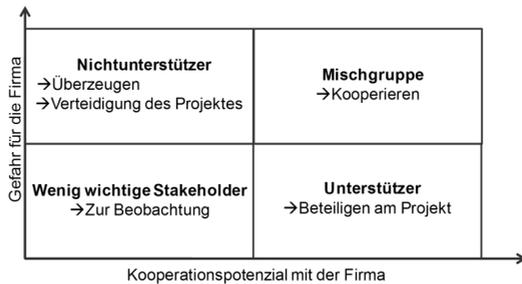


Abbildung 4-2: Matrix für das Gefahren-/ Kooperationspotenzial, in Anlehnung an *Savage et al.* (1991)

Quantitative Modelle - Macht und Einfluss

Johnson et al. (2006) merken an, dass es nicht ausreicht, die Bedürfnisse und Standpunkte der Stakeholder zu identifizieren, sondern dass auch berücksichtigt werden muss, wie stark die Stakeholder auf ein Projekt Einfluss nehmen können, wie groß also ihre Macht ist, eigene Interessen durchzusetzen. Das Interesse ist dabei das Maß dafür, wie stark Stakeholder ihre Standpunkte in dem Projekt durchsetzen möchten. Es kann beispielsweise durch den Nutzen einer Handlung ausgedrückt werden, den der Stakeholder aus dem Projekt zieht (vgl. Johnson et al., 2006).

Eine ähnliche Idee verfolgen auch Bourne und Walker (2005) mit dem Stakeholder Circle. Das Ziel dieses Instruments ist es, Macht und Einfluss der Stakeholder auf ein Projekt bzw. innerhalb eines Projektes zu veranschaulichen. Man möchte verstehen, wie sie das Projekt beeinflussen beziehungsweise im Sinne des Projektes beeinflusst werden können. Das Modell basiert auf dem Gedanken, dass ein Projekt nur Erfolg haben kann, wenn die Stakeholder nicht nur dahinterstehen, sondern auch aktiv beteiligt sind. Dafür ist es notwendig, die wichtigsten Stakeholder zu bestimmen und die Machtverteilung zu analysieren (vgl. Bourne und Walker, 2005). Die Autoren empfehlen beide Dimensionen des Interesses zu berücksichtigen, nämlich die Stärke des Interesses und die Stärke der Auswirkung des Interesses, wobei letzteres als ein Weg angesehen werden kann, Macht zu beschreiben. Dies resultiert im Stakeholder Interest Intensity Index (Vill). Der Begriff „Macht“ beschreibt hier und auch im Folgenden, in welchem Ausmaß die Parteien ihre Wünsche durchsetzen können.

Olander (2006) vereint die genannten qualitativen und quantitativen Ansätze in der Power/Interest-Matrix. Dabei geht er von seiner Kritik an bestimmten Aspekten der bestehenden Ansätze aus. Zum einen gibt er zu bedenken, dass es sehr schwierig ist, Macht und Interesse zu skalieren. Zum anderen, dass durch das Klassifizieren der Stakeholder anhand ihrer Macht, diejenigen unter ihnen vernachlässigt werden, die zwar formell keine Macht haben, aber dennoch viel Einfluss ausüben können, beispielsweise Medien und Menschen mit gutem Image (vgl. Olander und Landin, 2008). Weil die Macht selbst kaum messbar ist, sei es sinnvoller, die Auswirkungen der Macht zu messen, also das, was die Stakeholder in einem Projekt bewirken oder beeinflussen (vgl. Olander, 2007). Um die Auswirkung der Macht der Stakeholder zu messen, nutzt Olander die Methode von Bourne und Walker (2005). Dabei wird zuerst der Vested Interest-Impact Index

$Vill = \sqrt{\frac{v \cdot i}{25}}$ berechnet. Dabei steht „v“ für das persönliche Interesse an dem Projekt, also in Olanders Modell für die Eintrittswahrscheinlichkeit, und „i“ steht für den Einfluss. Beide können Werte auf einer Skala von 1 (niedrig) bis 5 (hoch) annehmen. Des Weiteren bringt Olander die Attribute (A) aus

dem Power-Legitimacy-Urgency-Modell ein sowie die Positionierungsmöglichkeiten (Pos) eines Stakeholders nach McElroy und Mills (2000). Die Attribute power (p), legitimacy (l) und urgency (u) werden, wenn sie ausgeprägt sind, jeweils mit einem Wert zwischen 0 und 1 gewichtet, je nachdem, wie wichtig die Attribute sind und basierend auf einer empirischen Studie (vgl. Olander, 2007). Bei der Positionierung handelt es sich um eine Einstufung der Stakeholder, die skaliert, wie stark sie für oder gegen ein Projekt sind. Sie fließt folgendermaßen in das Modell ein: aktive Gegner Pos = -1, passive Gegner Pos = -0,5, neutral Pos = 0, passive Befürworter Pos = 0,5, aktive Befürworter Pos = 1 (vgl. Olander, 2007). Diese Ergänzung führt zu einem Stakeholder Impact Index für jeden Stakeholder $k \in (1 \dots n)$: $SII = Vill * A * Pos$. Der Stakeholder Impact Index für ein Projekt ist dementsprechend $SII = \sum_1^n SII_k$ (vgl. Olander, 2007). Wenn der Wert positiv ist, ist auch die Auswirkung der Macht eines Stakeholders positiv, also wirken sich diese positiv auf das Projekt aus. Diese Methode kann verwendet werden, um die Stakeholder einzuordnen und die Auswirkung ihrer Macht und das Resultat ihres Einflusses vorherzusehen.

Probleme bei der Anwendung ergeben sich allerdings bei der Gewichtung der Attribute. Zudem kann kritisiert werden, dass die Attribute bei unterschiedlichen Akteuren wohl auch unterschiedlich stark ausgeprägt sind und somit nicht nur nach einem Ja/Nein-Prinzip zu beantworten sind. An dieser Stelle soll auch auf die Kritik von Wadenpohl (2011) hingewiesen werden. Die Variable Urgency, die die Stärke des Interesses repräsentiert, wird bei Olander doppelt eingerechnet, einmal als Vill und ein weiteres Mal in den Attributen. Ähnliches gilt für den Faktor „Macht“ in den Attributen und den Einfluss, der in Vill als „i“ einfließt. Zudem wird der gegenseitige Einfluss der Akteure und dessen Folgen vernachlässigt.

Auch wenn im Stakeholder Impacted Cost Contingency Model (SICC) nach Semaan und Sarkis (2015) das Netzwerkdenken nicht ausreichend berücksichtigt ist, wird das Modell durch die Wahl eines ganz anderen Ansatzes dennoch kurz dargestellt. Die Bedeutung der Stakeholder für das Projekt

wir direkt aus den Kosten abgeleitet. Das allgemeine Ziel dieser Herangehensweise ist es, einen Schätzer für die möglichen Kosten zu entwickeln, die die Stakeholder eines Projektes über alle Projektphasen verursachen werden bzw. die durch den direkten Einfluss der Stakeholder entstehen können (vgl. Semaan und Sarkis 2015). Dabei wird für alle Stakeholder und alle Projektphasen das Produkt aus der Einflusstärke, die mit AHP bestimmt wurde, aus der Wahrscheinlichkeit der Beteiligung und der Stärke der Auswirkung auf die Kosten berechnet: $SCC = 1/3[\sum_{i=1}^3(\sum_{j=1}^5 Ws_{ji} \times Ls_{ji} \times Is_{ji})]$ (Semaan und Sarkis, 2015). Im Kontext des Forschungsprojekts ist diese Methode insofern interessant, als dass sie verschiedene Methoden zur Bewertung der Stakeholder verbindet und die Wirkung der Akteure betrachtet. Insbesondere die Methode des paarweisen Vergleichs zur Messung des Einflusses wird auf spätere Projektarbeiten übertragen.

Multi-Stakeholder Network

Stakeholder gehören häufig unterschiedlichen Organisationen an und haben jeweils eigene Ziele. Deswegen soll nach der Analyse der einzelnen Stakeholder der Fokus auf die Analyse des gesamten Netzwerkes erweitert werden. Diese Perspektive gewinnt auch in der Literatur immer mehr an Bedeutung (vgl. Morsing und Schultz, 2006). Es gibt Ansätze, die bereits eine Netzwerkbetrachtung durchführen. Ein Beispiel hierfür ist die Stakeholder-Network-Analyse (SNA). Jedoch steht auch hier ein Unternehmen im Mittelpunkt. Man betrachtet das Netzwerk und prüft, wie nah die Stakeholder dem Unternehmen stehen und wie das Unternehmen auf das Resultat der Interaktionen beziehungsweise des Zusammenwirkens der Aktionen im Netzwerk reagiert (vgl. Post et al., 2002; Rowley, 1997).

In einem Stakeholder-Netzwerk hat keiner der Akteure die alleinige Kontrolle über den Prozess (vgl. Roloff, 2008), vielmehr hängen sie alle voneinander ab (vgl. Rowley, 1997). BMVBS (2008) nutzt die Vernetzungsmatrix, die normalerweise für Szenario-Analysen verwendet wird, entsprechend den Vorschlägen von Gausemeier et al. (1995) und Mißler-Behr (1993) und wenden sie an, um die Interaktionen der Akteure in der Immobilienwirtschaft darzustellen. Nach der Identifizierung der Akteure und der Anlässe,

bei welchen Entscheidungen getroffen werden, wird paarweise bestimmt, wie stark der Einfluss eines Akteurs auf den anderen ist. Auf diese Weise lässt sich die Passivität bzw. Aktivität der Akteure in einer Situation bestimmen, in der es gilt, Änderungen herbeizuführen.

Auch andere Methoden bauen auf dem paarweisen Vergleich auf. Die Structural Agent Analysis (SAA) nutzt diesen, um zu bewerten, wie soziale Strukturen die Akteure beeinflussen. Diese qualitative Analyse soll letztendlich das Materialfluss-Management unter Beachtung der Interaktionen der Akteure, der sozialen Strukturen und der Umwelt der Akteure ermöglichen. Dadurch sollen Hindernisse für den Materialfluss, die durch die sozialen Strukturen entstehen, bestimmt werden. Dahinter steht die Vorstellung, dass sowohl die Umwelt der Akteure als auch die gesellschaftlichen Strukturen die Akteure durch Restriktionen in ihren Handlungen beeinflussen und umgekehrt (vgl. Binder, 2007). Die SAA von Binder (2007) nutzt als Schwerpunkt den Materialfluss, mit dem die Auswirkungen der Entscheidungen der Akteure gemessen werden. Diese Vorgehensweise ist für das Forschungsprojekt nicht geeignet, da die Materialflüsse die Konsequenz der Maßnahmen und Akteursentscheidungen sind und nicht anders herum. Doch die ersten Schritte des paarweisen Vergleichs und die Herangehensweise an die Stakeholder-Analyse werden in einer abgewandelten Form verwendet.

Agentenbasierte Modelle

Der Zweck des Agent Based Modelling Model (ABM), liegt darin, die Interaktionen der Akteure, die durch Regeln definiert sind, zu simulieren (vgl. Farmer und Foley, 2009). Diese Modellierungsweise vereint die Methoden der Discrete Event, Dynamic Systems und System Dynamics Modellierung und ermöglicht es, höhere Komplexitäten der darzustellenden Welt einzubauen (vgl. Borshchev und Filippov, 2004). ABM besteht aus unabhängigen Akteuren (Agenten) mit charakteristischen Eigenschaften, die für das Modell von Bedeutung sind (vgl. Farmer und Foley, 2009). Die Handlungsweisen der Agenten sind abhängig davon, in welchem Zustand der Agent und seine Umwelt sich befindet und wird für die Simulation durch Regeln

definiert (vgl. Borshchev und Filippov, 2004). Als Teil des Systems Approach ist hier die Bedeutung des gesamten Systems sowie der Zusammenhänge hoch. Es gibt jedoch keine festen Schemata, nach denen hier vorgegangen werden kann.

Knoeri et al. (2011a) erweitert das SAA von Binder (2007) durch das ABM, das im Zusammenhang mit den umweltbezogenen und baurelevanten Fragen verwendet wurde. Hier rücken die Interaktionen zwischen den Akteuren stärker in den Vordergrund, welche mithilfe von Interviews und Literatur bestimmt wurden, wobei die ersten Schritte denen von Binder (2007) entsprechen (vgl. Knoeri et al., 2011a). In der vorgestellten Anwendung von Knoeri et al. fehlt es jedoch noch an einer Verbindung zwischen dem Verständnis über die Beziehungen der Akteure und der Entscheidungsfindung der Akteure. Auch in der weiteren Ausarbeitung des Themas (vgl. Knoeri et al., 2011b) liegt der Schwerpunkt der Forschung auf den Entscheidungen in den unterschiedlichen Phasen des Projektes und auf der Frage, in welcher Form sie an andere Akteure weitergegeben werden. Es ist weiterhin nicht ersichtlich, wie sich der betrachtete Einfluss auf die Entscheidungen auswirkt.

4.2.4 Zusammenfassung Stakeholder-Theorie

Die vorgestellten Stakeholder-Theorien stellen den Stand der Wissenschaft zu Stakeholderanalysen und -modellen dar. Im Bereich der Stakeholderanalyse gibt es kein einheitliches Konzept für die Definition und Messung der Interessen und Macht der Stakeholder oder zur Berücksichtigung der Einflüsse. Es ist daher notwendig, für dieses Forschungsprojekt eine Herangehensweise festzulegen bzw. bestehende Ansätze aus der Literatur weiterzuentwickeln. Denn werden auf Basis der Stakeholderanalyse Maßnahmen abgeleitet, ergibt sich die Problemstellung, dass nicht sichtbar wird, wie gut die Maßnahmen ihren Zweck erfüllt haben. Denn es fehlt in dieser Betrachtung der Zusammenhang zwischen den Wirkungen der Maßnahmen auf die Stakeholder und den Wirkungen der Maßnahmen auf ein Ziel oder Projekt.

Tabelle 4-1 führt zusammenfassend die Methoden auf, die bereits für die Stakeholder-Analyse im ressourcenschonenden Bau verwendet wurden.

Tabelle 4-1: Übersicht über angewandte Stakeholder-Methoden im ressourcenschonenden Bauwesen

Thema	Ziel	Genutzte Methodik
<ul style="list-style-type: none"> • Stakeholder-Management bei großen Verkehrsinfrastrukturprojekten (vgl. Wadenpohl, 2011) • Evaluation of stakeholder influence in the implementation of construction projects (vgl. Olander und Landin, 2005) • Comparative study of factors affecting the external stakeholder management process (vgl. Olander und Landin, 2008) • Evaluation of sustainable aspects in real estate management (vgl. Persson und Olander, 2004) 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitative Analyse der Stakeholder zwecks Ermittlung des besten Weges zur Einbindung der Akteure in das Projekt • Analyse der Faktoren, die Stakeholder-Management beeinflussen • Identifikation der Interessen und Macht der Stakeholder im Bauprojekt • Bestimmung des notwendigen Umganges mit Stakeholdern • Bestimmung ihres Einflusses auf das Projekt 	<ul style="list-style-type: none"> • Stakeholder-Issue-Map nach Winch (2007) • Vill nach Olander (2007)
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluation of stakeholder influence in the implementation of construction projects (vgl. Olander, 2007) • Stakeholder impact analysis in construction project management (vgl. Olander, 2007) 	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikation und Evaluation des Einflusses der Stakeholder und Evaluation der Art und Weise, wie die Stakeholder Entscheidungen im Bauprojekt beeinflussen 	<ul style="list-style-type: none"> • Power/ Interest Matrix
<ul style="list-style-type: none"> • Analyse von Schlüsselakteuren und des Bedarfes an Lehrmodulen & Entwicklung von Handlungsanleitungen für Planer (vgl. BMVBS, 2008) 	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikation der Stakeholder und Evaluation ihrer Interaktionen. • Bestimmung der Stärke ihrer Wirkung auf Nachhaltigkeit im Immobiliengeschäft, um die Lehrinhalte anzupassen 	<ul style="list-style-type: none"> • Vernetzungsmatrix

4 Akteursmodell für nachhaltiges Bauen im Bestand in Baden-Württemberg (AP3)

<ul style="list-style-type: none"> • Analyse von Schlüsselakteuren und des Bedarfes an Lehrmodulen & Entwicklung von Handlungsanleitungen für Planer (vgl. BMVBS, 2008) 	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikation der Stakeholder und Evaluation ihrer Interaktionen. • Bestimmung der Stärke ihrer Wirkung auf Nachhaltigkeit im Immobiliengeschäft, um die Lehrinhalte anzupassen 	<ul style="list-style-type: none"> • Vernetzungsmatrix
<ul style="list-style-type: none"> • An agent operationalization approach for context specific agent-based modelling (vgl. Knoeri et al., 2011a) 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse und Modellierung der Entscheidungen und Zusammenhänge zwischen den Akteuren, die die Nachfrage nach recycelten Baumaterialien beeinflussen 	<ul style="list-style-type: none"> • ABM auf Basis von SAA
<ul style="list-style-type: none"> • Social network model of construction (vgl. Chinowsky et al., 2008) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bestimmung von leistungsfähigen Teams auf Basis der Wissensteilung • Gewährleisten von effektivem Projektmanagement 	<ul style="list-style-type: none"> • SNA: Einbeziehen des Wissensflusses und Interaktionen
<ul style="list-style-type: none"> • Managing stakeholders of megaprojects (Projekte vorwiegend aus dem Baubereich) (vgl. Littau, 2015) 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse der Herausforderungen im Umgang mit Stakeholdern und Handhabung dieser • Betrachtung der 5P: Prozess, Produkt, Menschen (people), Planet, Profit 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse und Gruppierung der Projekte • Analyse der Stakeholder-Netzwerke • Analyse des Einflusses, der Interessen und Auswirkungen der Stakeholder
<ul style="list-style-type: none"> • Management of sustainability in construction works (vgl. Persson, 2009) • External stakeholder analysis in construction project management (vgl. Olander, 2006) 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse der Stakeholder und ihrer Positionen im Projekt, ihres Einflusses und ihrer Macht • Analyse der Umwelt der Stakeholder und des Projektes • Analyse des Einflusses der Stakeholder und ihrer Einstellung zur Nachhaltigkeit • Analyse der Nachhaltigkeitsprogramme 	<ul style="list-style-type: none"> • STURE Model

Sehr stark präsent, wenn auch in einer abgewandelten Form, ist die Macht-/Interesse-Betrachtung der Stakeholder nach Mitchell et al. (1997). Insgesamt liegt der Fokus bei den aufgeführten Analysen auf einem ganz bestimmten Projekt und nicht auf dem Bauwesen als Gesamtsystem. Zwar

zielen die aufgeführten Analysen darauf ab, Maßnahmen zu entwickeln, um die Stakeholder optimal in ein Projekt zu involvieren und bei Unstimmigkeiten entsprechend zu behandeln, allerdings werden dabei zu wenig die Einflüsse bzw. Interaktionen der Akteure untereinander (das Akteursnetzwerk) berücksichtigt. Die existierenden Stakeholder-Modelle und Analysen zielen darauf ab, die Position der Stakeholder innerhalb eines Projektes zu identifizieren und das höchste Kooperationspotenzial im qualitativen Ausmaß zu bestimmen. Sie gehen jedoch nur bedingt darauf ein, wie und wie stark die abgeleiteten Maßnahmen sich auf andere Akteure, also das Akteursnetzwerk oder das gesamte System (z.B. Umwelt) auswirken.

4.3 Literaturanalyse zu Akteuren und politischen Rahmenbedingungen im Bauwesen

Die Identifikation von Akteuren und Interessensgruppen wurde anhand einer Literaturrecherche durchgeführt. Hierbei wurde zum einen der Lebenszyklus von Bauwerken näher betrachtet (vgl. Abschnitt 4.3.1), zum anderen eine Analyse der Wertschöpfungskette Bau (vgl. Abschnitte 4.3.2 bis 4.3.11) vorgenommen. Anschließend wird eine Priorisierung identifizierter Akteure vorgenommen, um diese anschließend hinsichtlich der Zielorientierung des Forschungsprojekts einzugrenzen.

Daher werden nur die Akteure detaillierter vorgestellt, die, vorgehend auf die Resultate der Umfrage, den größten Einfluss haben, die Ressourcen zu beeinflussen oder deren Interessen, bzw. Entscheidungen wichtig für das Identifizieren und Herleiten der wichtigsten ressourcenschonenden Maßnahmen ist. Gebäudemieten werden hier beispielsweise, im Gegensatz zu manch anderen Stellen in der Literatur, nicht als Schlüsselakteure angenommen, da sie erst wichtig werden, wenn die Planung oder gar das komplette Bauprojekt bereits abgeschlossen ist (vgl. Stengel, 2014).

4.3.1 Lebenszyklus eines Bauwerkes

Über den Lebenszyklus eines Bauwerkes hinweg sind zahlreiche Akteure beteiligt, die in einzelnen Phasen oder über diese hinweg miteinander interagieren. So können zum Beispiel bis zu dreißig Unternehmen alleine am Bau eines Einfamilienhauses beteiligt sein. Mit wachsendem Umfang des Bauvorhabens steigt sowohl die Menge als auch die Verflechtungsintensität der beteiligten Akteure dramatisch an (vgl. Streck, 2010).

Die einzelnen Phasen werden in der Literatur auf vielfältige Weise differenziert und teils unterschiedlich bezeichnet, lassen sich jedoch im Kern wie folgt differenzieren. Die Abbildung verwendet, vor dem Hintergrund eines aktiven Ressourcenmanagements und dem Streben nach Kreislaufführung, gezielt eine zyklische Darstellung des Lebenszyklus (siehe Abbildung 4-3).

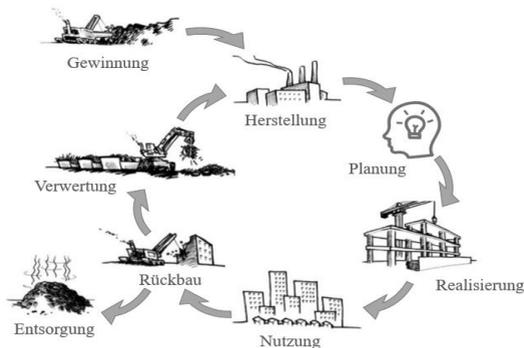


Abbildung 4-3: Lebenszyklus von Bauwerken
(eigene Darstellung in Anlehnung an (wksb, 2011))

Die Basis eines Bauwerkes bilden die zur Verfügung stehenden Rohstoffe und weitere Produkte. Als deren Quelle können die Phasen ‚Rohstoffgewinnung‘ und ‚Herstellung‘ identifiziert werden, die dem eigentlichen Lebenszyklus des Bauwerkes vorausgehen. Die nachgestellte ‚Planungsphase‘ umfasst unter anderem das Einbeziehen von Architektur- und Ingenieurbüros sowie Finanzdienstleistern. Nach erfolgter Planung müssen in der

‚Realisierungsphase‘ gewonnene und hergestellte Materialien zur Errichtung des Gebäudes an den gegebenen Ort transportiert werden, sodass im Anschluss mit dem Bau des Gebäudes und dessen Fertigstellung oder seiner Sanierung eine erfolgreiche (Wieder-)Inbetriebnahme erfolgen kann.

Jene Inbetriebnahme stellt den Übergang zur ‚Nutzungsphase‘ dar, in der das Bauwerk in der Regel unter anderem instandgesetzt, modernisiert und unterhalten werden muss. Am Ende des Lebenszyklus eines Bauwerkes erfolgt während der ‚Rückbauphase‘ eine möglichst reine Trennung der verbauten Materialien. Diese werden dann nach Möglichkeit entweder weiterbeziehungsweise wiederverwendet oder auf Deponien entsorgt (vgl. BBR – Wertschöpfungskette Bau, 2008; vgl. BMVBS, 2011; vgl. BMVBS, 2006).

Wertschöpfungskette Bau

Die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette des Baugewerbes lässt eine erweiterte Erfassung von Akteuren zu, indem man sich von der beschränkten Sichtweise der amtlichen Branchenklassifizierung des Statistischen Bundesamtes löst und somit neben dem Bauhauptgewerbe weitere Branchen, Berufe oder Institutionen betrachtet, die am Baugewerbe und der Bauindustrie beteiligt sind. Einzelne Akteure der angesprochenen Wertschöpfungskette können Abbildung 4-4 entnommen werden (vgl. Streck, 2010).

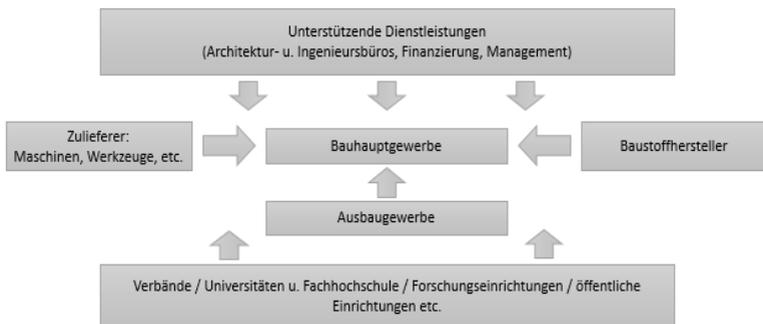


Abbildung 4-4: Elemente der Wertschöpfungskette (in Anlehnung an Bosch und Rehfeld, 2003)

Das Bauhauptgewerbe sowie das Ausbaugewerbe nehmen auch in dieser Konstellation eine zentrale Rolle ein. Zudem finden wichtige Zulieferer und die Gruppe der Baustoffhersteller Eingang. Unterstützende Dienstleistungen, wie Architektur- und Ingenieurbüros werden ebenso integriert wie Universitäten, Verbände, Forschungseinrichtungen und öffentliche Einrichtungen (vgl. Bosch und Rehfeld, 2003).

Den relevanten Akteuren in der Wertschöpfungskette kommt je nach Phase des Bauvorhabens und der Stufe des Lebenszyklus eine mehr oder weniger große Bedeutung zu. Wie sie sich auf das Projekt auswirken, ist von der Stärke ihrer Interessen, ihrer Betroffenheit und ihrem Engagement abhängig. Die Akteure wiederum interagieren miteinander, sodass gegenseitige Abhängigkeiten bestehen. Eine große Herausforderung für jedes Projekt bilden dabei insbesondere die Interessenskonflikte, die aufgrund der eigenen Ziele der Akteure, ihrer Bedürfnisse und dem mangelnden Willen zur Kooperation entstehen (vgl. *BBSR*, 2015). Im Folgenden sollen die relevanten Akteure vorgestellt und ihre Entscheidungsmöglichkeiten und Konflikte betrachtet werden.

4.3.2 Ausgewählte übergeordnete rechtliche Rahmenbedingungen

Das folgende Unterkapitel beleuchtet den aktuellen gesetzlichen Hintergrund sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene in Deutschland näher. Da das Bauwesen über eine Fülle an Gesetzen verfügt, findet lediglich eine Betrachtung der Gesetze und Richtlinien statt, die konkreten Einfluss auf die Realisierung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen haben. Darüber hinaus werden bundespolitische Ministerien benannt, die maßgeblich, direkt oder indirekt, gesetzepolitischen Entscheidungen und Kooperationen im Bauwesen prägen. In diesem Zusammenhang werden zudem Dialogpartner des Bauwesens, konkret Verbände und Initiativen, betrachtet und deren Verflechtungen zu besagten Ministerien und untereinander aufgezeigt.

Auf europäischer Ebene wurde durch das Inkrafttreten der **Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG** der Grundstein zur Harmonisierung nationaler Gesetzgebungen bezüglich des Umgangs von Abfällen gelegt. Da es sich hierbei nicht um eine Verordnung, sondern lediglich um eine Richtlinie handelt, muss diese nicht identisch im nationalen Recht übernommen werden, sondern es obliegt den Mitgliedsstaaten über deren konkreten Verwirklichung zu entscheiden. Aus diesem Grund gibt es auch weiterhin gewisse Differenzen hinsichtlich der Umsetzungsstrategien einzelner Mitglieder.

Die europäische Abfallrahmenrichtlinie definiert jedoch einheitlich abfallrelevante Begrifflichkeiten, gibt erstmals konkret Hilfestellung zu praxisrelevanten Fragestellungen, beispielsweise bezüglich des Endes der Abfalleigenschaft und legt zu erreichende Zielvorgaben fest, unter anderem zur Wiederverwendung und Recycling. Diese Vorgaben werden in Artikel 11, in Form von Verwertungsquoten, näher spezifiziert. So sollen Mitgliedsstaaten bis zum Jahr 2020 für die Materialien Papier, Metall, Kunststoff und Glas eine RC-Quote in Höhe von mindestens 50 Gewichtsprozent erreichen sowie für Bau- und Abbruchabfälle mindestens 70 Gewichtsprozent (vgl. Amtsblatt der EU, 2008: L312/13).

Darüber hinaus wird erstmals auf europäischer Ebene in Artikel 4 eine Abfallhierarchie definiert, die als Prioritätenfolge im Bereich der Abfallvermeidung und -bewirtschaftung eine Grundlage für Rechtsvorschriften und politischen Maßnahmen in den Mitgliedsstaaten bilden soll (vgl. ebd., 2008: L312/10). Folgende Hierarchie fand sich bereits im früheren Kreislaufwirtschafts-/ Abfallgesetz in Deutschland wieder; sie ist nun jedoch wesentlich differenzierter in ihrer Ausführung. Hervorzuheben gilt es zudem, dass das stoffliche Recycling vor der energetischen Verwertung eingeordnet wird (vgl. Dechantsreiter et al. 2015).

- a) „Vermeidung,
- b) Vorbereitung zur Wiederverwendung,
- c) Recycling,
- d) Sonstige Verwertung, z.B. energetische Verwertung,
- e) Beseitigung.“ (Amtsblatt der EU, 2008: L312/10)

Die neue **Europäische Bauprodukt-Verordnung 305/2011** aus dem Jahr 2011 dient der Beseitigung von Handelshemmnissen innerhalb der Europäischen Union durch die Harmonisierung der Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten. (vgl. Amtsblatt der EU, 2011: L88/5) Als Ausgangspunkt gilt die überholte Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG, die den einzelnen Mitgliedsstaaten auf nationaler Ebene gewissen Interpretationsspielraum ließ, sodass sich Qualitätsunterschiede bezüglich der Überwachung, Herstellung und Zertifizierung von Bauprodukten ergaben (vgl. Dechantsreiter et al. 2015).

Vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit betrachtet die Verordnung, unter Anhang 1 Punkt 7 „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“, bewusst den gesamten Lebenszyklus von Bauwerken, indem darauf verwiesen wird, dass ab dem Entwurf über die Errichtung bis hin zum Abriss von Bauwerken natürliche Ressourcen nachhaltig zum Einsatz kommen und folgendes gewährleistet wird:

- a) *„Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können;*
- b) *das Bauwerk muss dauerhaft sein;*
- c) *für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.“ (ebd.: L88/34)*

Auf nationaler Ebene existiert in Deutschland seit 2012 das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen, kurz **Kreislaufwirtschaftsgesetz** (KrWG). Die Vorgaben der bereits vorgestellten EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG werden durch das KrWG umgesetzt und teilweise in ihrer Höhe übertroffen. Die vereinheitlichte Abfallhierarchie wurde gemäß der Richtlinie übernommen, die geforderten Verwertungsquoten für Bau- und Abbruchabfällen in Höhe von 70 Gewichtsprozent bis 2020 ebenfalls. Jedoch strebt man in Deutschland bezüglich der Siedlungsabfälle, wie Papier, Metall, Kunststoff und Glas, eine um 15 Prozentpunkte höhere Verwertungsquote, respektive 65 Gewichtsprozent, an (vgl. KrWG, 2012).

Aufgrund des Föderalismus in Deutschland wird das KrWG auf Länderebene durch weitere Abfallgesetze ergänzt und konkretisiert. Jene landesrechtlichen Abfallgesetze erfahren jedoch durch die konkurrierende Gesetzgebungszuständigkeit des Bundes ihre Grenzen und können so lediglich Bereiche erfassen, die bundespolitisch noch nicht abgedeckt sind (vgl. UBA, 2013). Dies betrifft zum Beispiel die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, etwas weiter gefasst also die konkrete Ausgestaltung des Baustoffrecyclings im Bauwesen. Die föderalen Abfallgesetze einzelner Bundesländer führen mittlerweile zu einer komplexen Fülle³ an Verordnungen und Gesetzen, deren Uneinheitlichkeit selbst Fachleute den Überblick verlieren lässt (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Um der beschriebenen Verwirrung über Gesetze und Verordnungen unterschiedlicher Bundesländer vorzubeugen, wurde im Jahr 1963 ein Arbeitsgremium der Umweltministerkonferenz unter dem Namen Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) gegründet, deren Mitglieder neben dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit alle Bundesländer Deutschlands umfassen. Offizielle Zielsetzung ist „die Sicherstellung eines möglichst ländereinheitlichen Vollzugs des Abfallrechts“ (LAGA, 2013).

Im Jahr 1997 veröffentlichte die **LAGA die Mitteilung 20** (M20) unter dem Titel ‚Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln‘ einheitliche Rahmenbedingungen und Vorgaben zur Etablierung von Umweltstandards und Analyseverfahren (LAGA M20, 2003). Obwohl alle Bundesländer durch ihre Mitgliedschaft in der LAGA beteiligt sind, fanden die aufgezeigten Rahmenbedingungen und Vorgaben nur bei einigen tatsächlich Anklang und wurden eingeführt. Einige andere Bundesländer empfahlen diese, führten sie jedoch nicht ein. Bayern sowie Baden-Württemberg führten beispielsweise eigene Standards und Überwachungssysteme ein. In den darauffolgenden Jahren musste die M20 aufgrund von Gesetzesänderungen, vor dem Hintergrund wasserschutzrelevanter Geringfügigkeitsschwellen, mehrfach überarbeitet werden. Da diese

³ „Dschungel“ (vgl. Dechantsreiter et al. 2015) oder „Regelwerk-Chaos“ (Demmich, 2006)

Neufassungen jedoch über verschärfte Umweltstandards verfügten, vermuteten betroffene Branchen im Bauwesen einen Rückgang der Verwertungsquoten, sodass die überarbeitete M20 letzten Endes von der Wirtschaftsministerkonferenz abgelehnt wurde. (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Im Jahr 2005 wurde die LAGA M20 aus dem Jahr 1997 als Ergebnis des sogenannten ‚Tongruben-Urteils‘ des Bundesverwaltungsgerichts als nicht „normkonkretisierende Verwaltungsschrift“ eingestuft (Demmich, 2006). Aus diesem Grund stellt auch die neugestaltete Version der M20 keinen sicheren, rechtlichen Rahmen für Entscheidungen öffentlicher Verwaltungen dar. In der Studie ‚Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen‘ des Instituts für Energie und Umweltforschung Heidelberg findet die Verwertung von Baurestmassen hinsichtlich von Umweltstandards auch heute noch in einer rechtlichen Grauzone statt (vgl. Dechantsreiter et al. 2015).

Die beschriebene Situation führte zur einhelligen Entscheidung, eine sogenannte **Ersatzbaustoff-Verordnung** (EBV) auf bundespolitischer Ebene anzustreben, um beschriebenes Dilemma zu lösen. Ähnlich verfuhr man bereits bei der Verpackungs-Verordnung oder der ‚Elektroschrott-Verordnung‘. (vgl. ebd.)

Die Besonderheit im Fall der EBV liegt in ihrer Umsetzung als Bestandteil der ‚Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen oder das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und zur Neufassung der Bundes-, Bodenschutz- und Altlastenverordnung‘ - besser bekannt unter der fortan verwendeten Bezeichnung **Mantel-Verordnung**, kurz MantelV (vgl. AE MantelV, 2015). Diese soll neben der genannten EBV zudem Neufassungen der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, der Verordnung zum Schutz des Grundwassers sowie der Deponieverordnung beinhalten. Ziel der MantelV liegt in der Schaffung einer rechtssicheren und aufeinander abgestimmten Gesamtverordnung, die eine „Verwertung von mineralischen Ersatzbaustoffen gemäß den Zielstellungen des KrWG“ (BMUB, 2015) zulässt.

Es herrscht zwar grundsätzliche Einigkeit über die Notwendigkeit einer Vereinheitlichung und Abstimmung aufgeführter Verordnungen in Form der MantelV, jedoch befindet sich diese bereits, aufgrund kontroverser Umweltschutzanforderungen der Abfall- und Wasserwirtschaft, zum Beispiel bezüglich diverser Grenzwerte, seit über einem Jahrzehnt in Arbeit. Auch zukünftig scheint keine Entspannung des Konfliktes absehbar, da auch mit dem zuletzt erschienenen dritten Arbeitsentwurf der MantelV weitere Verschärfungen Einzug gefunden haben (vgl. BDI, 2015). Angesprochene Verschärfungen geben Anlass zur Befürchtung, dass ein nicht geringfügiger Anteil der aktuell verwerteten Stoffe zukünftig nicht mehr in Form von verwertbarem Recyclingmaterials in Frage kommen wird (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Die MantelV wurde im September nicht im Bundesrat verabschiedet, sondern vertagt und steht im aktuellen Koalitionsvertrag (Stand: Mai 2018, Heugel (2018)).

4.3.3 Staat und Organe der Öffentlichen Hand

Die öffentliche Hand, respektive der Staat, schafft durch die Gesetzgebung Rahmenbedingungen, in denen sich alle Akteure des Bauwesens bewegen. Über diese nimmt der Staat maßgeblich Einfluss auf die marktwirtschaftlichen Prozesse und das Verhalten einzelner Akteure. Mittels Vorschriften, der Festlegung von Grenzwerten sowie Genehmigungsverfahren tritt der Staat mit den Akteuren in Kontakt oder agiert sogar selbst als Bauherr. In diesem Zusammenhang ist der öffentliche Bau für 14 % der Baunachfrage des gesamten Bauvolumens verantwortlich. Hierbei kommt dem Staat eine äußerst wichtige Bedeutung zu, da er über Ausschreibungen die Berücksichtigung von Sekundärrohstoffen und deren Verwendungszweck bestimmen kann. Ihm wird hierbei eine Vorbildfunktion zugesprochen, da man einen positiven Einfluss auf private Bauherren erwartet, sollten die RC-Baustoffe verstärkt und mit guten Erfahrungsberichten von der öffentlichen Hand nachgefragt werden (vgl. Diebel und Knappe, 2010). In der Realität besteht jedoch auch beim Staat und der ausführenden Verwaltung/Behörden oftmals wenig Akzeptanz für RC-Baustoffe, sodass vereinzelt sehr hohe

Qualitätsanforderungen gestellt werden. Diese führen dazu, dass RC-Baustoffe unter ihren bauphysikalischen Möglichkeiten eingesetzt werden (vgl. Knappe et al. 2012). Hinzu kommt oftmals eine Überforderung der personellen Kapazität oder gar der fachlichen Kompetenz auf Ebene der Kommunen (vgl. ebd.).

Sämtliche Bauaktivitäten, Änderungen, Reparaturen und Abbrüche bedürfen der Zustimmung der zuständigen Bauaufsichtsbehörde. Gemäß *Pfarr* (1984) handelt es sich hierbei um „Leistungsträger mit Ordnungsfunktion“, welche die Auflagen für Genehmigungsverfahren setzen (vgl. *Stark*, 2006). Ziel dabei ist es, die Wahrung der öffentlich-rechtlichen Vorschriften und damit die Sicherstellung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung zu gewährleisten (vgl. *Pfarr*, 1984). Die Kommunen besitzen „die Planungshoheit für die Städteentwicklung“ (*BBSR*, 2015) und sollen diese vorantreiben. Ihr Ziel besteht darin, die Infrastruktur der Städte zu verbessern sowie eine gute Qualität innerhalb der Prozesse sicherzustellen. Die Kommunen können dabei in Prozessen eine Vermittler- bzw. Moderatorenfunktion einnehmen (vgl. *BBSR*, 2015).

Öffentliche Behörden und Politik sind nicht komplett voneinander abgrenzbar. Sie verfolgen zwar ähnliche oder gleiche Ziele, dies allerdings auf unterschiedlichen Ebenen. Die Behörde wird hierbei als der die Politik ausführende Körper verstanden (vgl. *Scheiner*, 2003). Die Politik bestimmt „die Wahl und de(r)[n] Einsatz von Instrumenten, die Bereitstellung von Ressourcen sowie die Entscheidung über Verfahrensgrundsätze inklusive dem Beschluss über Satzungen“ (*BBSR*, 2015). Die Verwaltung hingegen ist zunächst einmal die für die Organisation zuständige Stelle und fungiert als Schnittstelle zu anderen Akteuren. In politischer Hinsicht ist es ihre Aufgabe, „Grenzen, Alternativen und Möglichkeiten von Instrumenten aufzuzeigen“ (vgl. *BBSR*, 2015).

Auch wenn wirtschaftliche Ziele wie die Verbesserung der Wirtschaftsleistung aufgrund eines besseren Marktwertes der Umgebung oder das Absichern der wirtschaftlichen Leistung der Bauindustrie eine Rolle spielen, verfolgt die öffentliche Hand in erster Linie sozialpolitische Ziele. Soziale

Konflikte können durch Baumaßnahmen wie sozialem Wohnungsbau und Reparaturen gelöst werden und dadurch das Wohlbefinden der Bürger erhöhen (vgl. *Busse, 2012*), was wiederum zu mehr Wählerstimmen für die jeweils regierende politische Partei führen kann, welche die öffentliche Hand beauftragt. Die Stadt selbst möchte möglichst wenige Gebiete haben, die ungenutzt oder minderwertig sind und kann je nach vorangetriebener, öffentlicher Baumaßnahmen, z.B. durch besonders innovative Bauten, auch ihre Popularität steigern. Nicht zuletzt sind alle Baumaßnahmen auch insofern von Bedeutung, als dass sie Arbeitsstellen erhalten oder schaffen (vgl. *Busse, 2012*).

Da die öffentliche Hand die Interessen der Öffentlichkeit verfolgt, ist es für sie aus sozialen und ökologischen Gründen wichtig, dass die Baumaßnahmen möglichst geringen Einfluss auf die Umwelt haben, damit das Wohlbefinden der Bürger erhalten bleibt und die Attraktivität der Bauwerke und (urbanen) Gebiete gewährleistet wird. Weil die Attraktivität der Stadt nicht nur für Bürger, sondern auch für die wirtschaftliche Leistung von Vorteil ist, liefert die Verfolgung von Nachhaltigkeitszielen einige Vorteile. Sie steigert die Qualität der Stadt, vergrößert den Wert der Bauwerke und somit auch die Sozialbedingungen. Zudem kommt der Aspekt der Langlebigkeit hinzu: Je höher die Qualität der Bauwerke ist, desto langlebiger sind sie. Entsprechend weniger Aufwand und Kosten muss die Stadt auf lange Sicht aufwenden, um auch langfristig ein attraktives Außenbild zu gewährleisten. Auch das trägt zur Nachhaltigkeit bei (vgl. *Busse, 2012*).

Bei allen Zielen kann sich die öffentliche Hand selbst in die Quere kommen, da sie in ihrer Verwaltungsstruktur aus unterschiedlichen Fachbereichen mit unterschiedlichen Prioritäten besteht und dadurch Konflikte entstehen können. Bürokratie und Konkurrenzdenken können somit die Entscheidungsfindung behindern (vgl. *Scheiner, 2003*).

4.3.4 Bauherren/ Eigentümer

Aus dem öffentlichen Baurecht entstammt der Begriff des „Bauherrn“ (vgl. Wirth et. al., 2011) und umfasst laut § 42 Absatz 1 der Landesbauordnung Baden-Württemberg die Aufgabe, „zur Vorbereitung, Überwachung und Ausführung eines [...] Bauvorhabens einen geeigneten Entwurfsverfasser, geeignete Unternehmer und [...] einen geeigneten Bauleiter zu bestellen“. Hinter der Begrifflichkeit des Entwurfsverfassers verbirgt sich laut § 43 die Berufsgruppe der Planer, genauer der Akteur Architekt/in sowie qualifizierte Bauingenieure (vgl. Abschnitt 4.3.5). Unternehmer sind entsprechende Bauunternehmen, die ausführende Bautätigkeiten übernehmen (vgl. Abschnitt 4.3.6). Die Bestellung des letztlich beschriebenen Bauleiters wird laut § 42 Absatz 3 lediglich dann als notwendig erachtet, wenn das Bauvorhaben besonders umfangreich oder als technisch schwierig zu bewerten ist. Dessen Aufgabe umfasst dann die übergeordnete Überwachung der Bauausführung (vgl. LBO, 2015).

Die Gestalt des Bauherrn kann privater, gewerblicher oder öffentlicher Natur sein. Besagter Akteur kann über den gesamten Lebenszyklus von Bauwerken, von Neubau, über Sanierungs- oder Modernisierungsmaßnahmen bis hin zum Abbruch, in Erscheinung treten. Ihm obliegt hierbei die eigentliche Gesamtverantwortlichkeit über das jeweilige Bauvorhaben. Dies gilt insbesondere auch für anfallende Rückbaumaßnahmen (vgl. Meetz et. al., 2015). Generell gilt für den Bauherrn, gleichermaßen für Neu-, Sanierungs- oder Rückbautätigkeiten, dass er im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes § 3 Absatz 8 als Erzeuger von Abfällen zur Verantwortung dieser bestimmt ist. Dies umfasst noch vor der Entsorgung, die unter anderem in § 9 verbundenen Pflichten der Getrennthaltung sowie des Vermischungsverbot (vgl. KrWG, 2012). Gemäß der Arbeitshilfe Recycling des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung kann sich der Bauherr ebenfalls durch vertragliche Regelungen, beispielsweise der Eigentumsüberschreibung der Abfälle auf den Auftragnehmer, von dessen Verantwortung entziehen. Er hat als Erzeuger auch weiterhin seine Sorgfalts- und Überwachungspflicht auszuüben und ist somit weiterhin als Verantwortlicher zu betrachten (vgl.

BMVBS, 2008). Verbände monieren in diesem Zusammenhang, dass weiterhin gesetzliche Unsicherheiten hinsichtlich der eindeutigen Adressierung des Abfallerzeugers bestehen (vgl. HDB, 2015). Der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (HDB) und der Zentralverband des Deutschen Baugewerbes (ZDB) werfen im Rahmen der Ermittlung von Baukostentreibern in der Abfallentsorgung den Bauherren vor, die in der Realität entstehende Verantwortlichkeit für mineralische Bau- und Abbruchabfälle auf ausführende Akteure, respektive die Bauunternehmen, abzuwälzen (vgl. HDB & ZDB, 2015). Hiermit liegen somit ungelöste Interessenskonflikte vor.

Neben beschriebenen Verantwortlichkeiten hat der Bauherr vielseitige Möglichkeiten, Einfluss auf die Ressourcenschonung, sowohl bei Bau- als auch bei Abbruchtätigkeiten, zu nehmen. Bezüglich der Bautätigkeit kommt dem Bauherrn als Auftraggeber eine zentrale Rolle zu, denn er kann letztlich darüber entscheiden, ob bei Ausschreibungen von Bauvorhaben Sekundärrohstoffe überhaupt Berücksichtigung finden (vgl. Bilitewski und Härdtle, 2013). Diese Entscheidungsmacht unterstreicht seine übergeordnete Bedeutsamkeit im gesamten Akteurs-Gefüge des Bauwesens, da er im jeweiligen Bauwerk über den prinzipiellen Einsatz und Verwendungszweck von Sekundärrohstoffen entscheidet.

Der hohe Stellenwert der Möglichkeit der Einflussnahme des Bauherrn auf den Verwendungszweck von RC-Baustoffen muss hierbei gesondert hervorgehoben werden. Sekundärrohstoffe werden mehrheitlich noch immer, trotz gegebener bauphysikalischer Eigenschaften und ordnungsgemäßen Schadstoffbelastungen innerhalb gesetzlicher Grenzwerte, unter ihren eigentlichen Möglichkeiten eingesetzt, beispielsweise als Verfüllmaterial. Durch eine aktive Berücksichtigung dieser könnten Bauherren eine höherwertige Verwertung, zum Beispiel im Hochbau, vorantreiben und darüber hinaus durch Signalisierung einer Nachfrage Akteure der Recyclingwirtschaft positiv beeinflussen (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Im Alltag gestalten sich Ausschreibungen in der Regel jedoch nicht diskriminierungsfrei (vgl. Diebel und Knappe, 2010), obgleich diese rechtlich offen gestaltet werden müssten, sodass die Entscheidung über Einsatz von Primär- oder

Sekundärbaustoffen eigentlich den ausführenden Unternehmen überlassen bliebe (vgl. Knappe et al. 2012).

Die Ursachen für derartige Diskriminierung von RC-Baustoffen sind mannigfaltig. Grundsätzlich sind diese auf ein negatives Image und hierdurch bedingt induziert eine mangelnde Akzeptanz für Sekundärrohstoffe bei Bauherren zurückzuführen (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Befürchtet werden vor allem eine schlechte Qualität von Baustoffen oder langfristig Probleme in Form von Altlasten, hinsichtlich des Rückbaus, zu erzeugen. Vereinzelt Bauherren führen schlechte Erfahrungen mit dem Einsatz von RC-Baustoffen und fehlendes Vertrauen in das Gütesicherungssystem als Gründe für die Befürchtungen an (vgl. Knappe et al. 2012). In der Tat ist dieses auf bundespolitischer Ebene noch nicht gesetzlich vereinheitlicht (vgl. Abschnitt 4.3.2), doch es muss ebenso dem Umstand Beachtung geschenkt werden, dass viele am Bau beteiligte Akteure über wenig Erfahrung hinsichtlich des Einsatzes von RC-Materialien verfügen und hier massive Unsicherheiten und Informationsdefizite bestehen (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Des Weiteren sehen sich Bauherren bei der Ausschreibung und letztlich Umsetzung von Bauprojekten, unter Berücksichtigung von RC-Baustoffen, mit einem deutlichen Mehraufwand konfrontiert. Neben dem Aufsetzen der Ausschreibung ist hiervon vor allem die Bewertung eingehender Angebote betroffen. Hierbei sind die erweiterte Betrachtung von Rahmenbedingungen sowie ein größeres Fachwissen erforderlich. Zudem fallen durch eine notwendige Beaufsichtigung der Baustellentätigkeiten Mehrkosten für den Bauherrn an. Diese können in der Regel auch nicht über ein niedrigeres Preisniveau beim Bezug von RC-Baustoffen gedeckt werden, da sich diese in der Regel auf ähnlichem Niveau wie vergleichbare Primärrohstoffe bewegen (vgl. Diebel und Knappe, 2010).

Bei Abbruchtätigkeiten tritt der Bauherr als Auftraggeber des Abbruchunternehmens auf und ist entscheidend an der Gestaltung des Abbruchs beteiligt. Obwohl der selektive Rückbau von Bauwerken technisch möglich ist, hängt es mitunter von der Zahlungsbereitschaft des Bauherrn ab, ob ein solcher realisiert wird (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Des Weiteren

besteht beim Rückbau die Möglichkeit der Entnahme ganzer Bauteile oder -elemente. Hierbei besteht jedoch die Problematik, dass viele Bauherren einerseits über diese Art der Verwertung im Bauwesen nur unzureichend oder nicht informiert sind und/oder andererseits als Nachfrager nicht in Erscheinung treten. Gründe für die fehlende Information und Verwendung sind nicht gänzlich nachvollziehbar. So werden beispielsweise bei einem Mieterwechsel bestehende Sanitäröbjekte nicht immer erneuert, sondern weiterverwendet. Gebrauchte Sanitäröbjekte von Bauteilbörsen, die gereinigt und gut erhalten sind, werden hingegen abgelehnt (vgl. ebd.).

4.3.5 Planer (Sonderfachleute, Architekten, Fachingenieure)

Basierend auf der Landesbauordnung für Baden-Württemberg § 3 Absatz 1 wird unter anderem der Entwurfsverfasser vom Bauherren eingesetzt. Dieser wird unter § 43 Absatz 3 näher als Architekt/in oder qualifizierte/r Bauingenieur/in identifiziert und dessen Verantwortlichkeit für eine Entwurfsplanung nach öffentlich-rechtlichen Vorschriften verlangt (vgl. LBO, 2015).

Darüber hinaus verantworten Architekten und Ingenieure neben der Erstellung von Planungsleistungen auch die Aufsicht der Bauausführung. Sie treten hierbei als Auftragnehmer auf und stehen deshalb in gewisser Abhängigkeit zu den Bauherren (Wirth et. al., 2011). Dies gilt insbesondere auch für den Rückbau von Bauwerken. Hier gehören zu ihren planerischen Tätigkeiten die Bestandsaufnahme des Objektes, die Erfassung und Bewertung des Bauwerkes hinsichtlich einer möglichen Schadstoffbelastung und den Umgebungsbedingungen sowie der Konzipierung und Planung des Rückbauprozesses (Meetz et. al., 2015). Unmittelbar am Abbruch beteiligte Architekten oder Bauingenieure können mit ausreichendem Fachwissen maßgeblich dazu beitragen, dass die Wieder- oder gar Weiterverwendung von ganzen Bauteilen ermöglicht wird (vgl. Kaiser und Krauss, 2015). Momentan fehlt es jedoch großen Teilen der Berufsgruppe an Erfahrung und Kenntnis bezüglich der Thematik (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Vor dem Hintergrund der Abbruchtätigkeit monieren der Hauptverband der

Deutschen Bauindustrie sowie der Zentralverband des Deutschen Baugewerbes, dass sich Bauplanungen vermehrt nicht mit der Abfallentsorgung auseinandersetzen, sodass dies, zum Beispiel die Überprüfung der Schadstoffbelastung des Bauwerkes, den Bauunternehmen auferlegt wird (HDB & ZDB, 2015). Die ökonomische Bedeutsamkeit der dargestellten Akteure wurde vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung Berlin im Rahmen des Forschungsprogramms Bau errechnet. Demnach belief sich der Anteil des Bereichs Bauplanung, dem Architekten und Ingenieurbüros zugerechnet werden, auf über 11 % des Bauvolumens im Jahr 2014 (vgl. DIW, 2014).

Jenes wirtschaftliche Gewicht der Bauplanung unterstreicht mitunter die großen Einflussmöglichkeiten der Berufsgruppe auf das Bauwesen insgesamt. Der Einfluss dieser Stakeholder kann aufgrund ihrer gestaltenden Einflussnahme am Bauplanungsprozess allerdings deutlich größer angesehen werden. So wird in der Literatur vermehrt darauf verwiesen, dass der Einsatz von RC-Baustoffen und dessen Etablierung nur dann erfolgen kann, wenn diese bereits in der Planungsphase Berücksichtigung finden. Da viele Bauherren nicht über nötige Fachkenntnisse verfügen, liegt es an den planenden und letztlich auch beratenden Berufsgruppen, wie den Architekten und Bauingenieuren, Ausschreibungen diskriminierungsfrei und offen zu gestalten (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). In diesem Zusammenhang können die planenden Berufe des Weiteren aktiv über das Niveau der Verwertung von RC-Baustoffen und deren Einsatzort mitentscheiden. Gerade die Berücksichtigung und ein erfolgreicher Einsatz von Sekundärrohstoffen im Hochbau, könnte die vermehrt anzutreffende Skepsis von Bauherren reduzieren und in Folge dessen die gesamte Recyclingwirtschaft, speziell die Nachfrage nach Erzeugnissen von Recyclingunternehmen und deren Position gegenüber Entsorgungs- sowie Baustoffunternehmen, positiv beeinflussen. Hiermit würde der Grundstein für eine erfolgreiche Kreislaufführung von Baustoffen im Bauwesen gelegt.

Eine weitere elementare Einflussmöglichkeit ist in der Verantwortlichkeit bezüglich einer ausreichend detaillierten Dokumentation von Planungsleis-

tungen auszumachen (vgl. Kaiser und Krauss, 2015, S. 44). Erfolgt diese umfassend, wird somit eine Datenbasis geschaffen, die es schlussendlich ermöglicht, dass Informationen, zum Beispiel hinsichtlich der baustofflichen Zusammensetzung eines Bauwerks, über den Lebenszyklus hinweg erhalten bleiben. Die Informationen können dann letztlich von Abbruchunternehmen sowie beteiligten, planenden Akteuren unterstützend herangezogen werden, um einen selektiven Abbruch zu gewährleisten (vgl. ebd.). Vor dem Hintergrund der mannigfaltigen Einflussmöglichkeiten der Berufsgruppe der Planer in nahezu allen Phasen des Lebenszyklus auf annähernd alle beteiligten Akteure, macht sie zu einem entscheidenden oder gar zu einem kritischen Faktor für die erfolgreiche Etablierung kreislaufwirtschaftlicher Strukturen.

4.3.6 Bauausführende Betriebe/ Bauunternehmen

Bauunternehmen werden im Allgemeinen als Auftragnehmer charakterisiert, die in der Regel nach erfolgter Planung, Bauleistungen erbringen (vgl. Mieth, 2007). Sie agieren hierbei im Auftrag des Bauherrn und stehen diesem oftmals als Generalunternehmen bei, das sich zur Gesamterrichtung eines Bauwerks verpflichtet (vgl. Wirth et. al., 2011). Die Verantwortlichkeit von Bauunternehmen umfasst, basierend auf § 44 der Landesbauordnung Baden-Württemberg, die Einhaltung öffentlich-rechtlicher Vorschriften, die Abstimmung zu anderen, am Bau beteiligten Unternehmen und die Gewährleistung der Betriebssicherheit vor Ort. Zudem müssen notwendige Bauprodukte bereitgehalten und „erforderliche(n) Nachweise über die Brauchbarkeit der Bauprodukte und Bauarten“ erbracht werden (LBO, 2015).

Bezüglich der Verpflichtungen von Bauunternehmen hinsichtlich der Entsorgung von anfallenden Bauabfällen gibt das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung in ihrer Arbeitshilfe Recycling Aufschluss. Sie nimmt für ein Bauvorhaben zum einen die Bauherren und zum anderen die Auftragnehmer in die Pflicht. Somit werden beide Akteure, Auftraggeber wie Auftragnehmer, als Abfallerzeuger verstanden. Aus Sicht der Spit-

zenverbände des Bauwesens existiert jedoch seit Inkrafttretens des aktualisieren Kreislaufwirtschaftsgesetzes keine umfassende rechtliche Klarheit und Sicherheit mehr darüber, wie die Verantwortlichkeit zwischen dargestellten Parteien aufgeteilt ist. Die Verbände zeichnen ein Bild der Realität, indem sie Bauherren und planenden Berufe vorwerfen, ihrer Verantwortlichkeit nicht gerecht zu werden und so den Bauunternehmen zusätzlich Lasten aufzubürden. Hierdurch entstehen ihnen in der Ausführungsphase zusätzliche Arbeitsschritte, die zu Bauverzögerungen oder gar -stillstand führen können (vgl. HDB & ZDB, 2015). In einer Umfrage des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie und des Zentralverbandes des Deutschen Baugewerbes unter 100 Bauunternehmen, respektive Mitgliedsunternehmen, gaben 70% an, dass „der betriebliche Aufwand für das Abfallmanagement seit 2009“, zeitlich und monetär, angestiegen sei. (ebd.) Hinsichtlich der anderen, am Bau Beteiligten Akteure, wurde als Problem zum einen der Zeitaufwand für Genehmigungsverfahren und zum anderen „mangelhafte Planungsleistungen“ angeführt (ebd.). Des Weiteren kam die Studie zu dem Ergebnis, dass sich der Umgang mit mineralischen Abfällen sowie generell das Ausmachen von Verwertungswegen erschwert hat. Darüber hinaus nahm die zurück zu legende Strecke für Abfalltransporte und damit einhergehend die Belastung der Umwelt durch CO₂-Emissionen zu. Zurückzuführen sei dies auf eine Verknappung der Deponiekapazitäten. Beschriebene Entwicklungen führen zu einer Zunahme der Entsorgungskosten und folglich zu einer verstärkten Belastung der Bauunternehmen (ebd.).

Eingangs wurde die Verantwortlichkeit der Bauunternehmen dargelegt, die unter anderem das Bereithalten der für den Bau notwendigen Bauprodukte umfasst. Die eigentliche Entscheidung, welche Bauprodukte, ob Primär- oder Sekundärrohstoffe, bei einem Bauvorhaben Verwendung finden, entscheidet in erster Instanz der Bauherr. Dieser kann bereits über Berücksichtigung oder Ausschluss die Angebote seitens der Bauunternehmen einschränken. Unter der Annahme, die Ausschreibung verlaufe diskriminierungsfrei und somit unter Berücksichtigung von RC-Baustoffen, liegt die Entscheidung über die Verwendung von Sekundärrohstoffen bei den sich bewerbenden Bauunternehmen. Diese wiederum können dann entweder

Primärrohstoffe der Baustoffunternehmen oder Sekundärrohstoffe der Recyclingunternehmen in ihr Angebot integrieren. In die Entscheidung, von welcher Bezugsquelle letztlich Güter bezogen werden, fließen unter anderem die Faktoren der bauphysikalischen Eigenschaften, der Schadstoffbelastung sowie der Vergleich der Preisniveaus ein. Hochwertige RC-Baustoffe sind grundsätzlich hinsichtlich der genannten Faktoren mit Primärbaustoffen vergleichbar, jedoch befürchten viele Bauunternehmen, wie ebenfalls viele Bauherren und planende Berufsgruppen, eine schlechtere Qualität der RC-Baustoffe und scheuen vor dem Einsatz dieser zurück (vgl. Knappe et al., 2012).

Im weitesten Sinne nehmen die Bauunternehmen schlussendlich selbst einen negativen Einfluss auf die Qualität der Sekundärrohstoffe, denn durch die steigende Heterogenität eingesetzter Baustoffe und der wachsenden Verwendung von chemischen Bauzusatzstoffen, Materialverbänden, Kunststoffen oder Leichtbaustoffen auf Gipsbasis gestaltet sich die Trennung und Aufbereitung des anfallenden Abbruchabfalls für die Abbruchunternehmen zunehmend schwieriger (vgl. Schiller et al., 2010). Die intensiver schadstoff- oder störfstoffbelasteten Gesteinskörnungen können dann durch Recyclinganlagen gegebenenfalls nur noch in minderwertiger Qualität aufbereitet werden oder müssen gar der Entsorgung zugeführt werden. Da zwischen der Errichtung eines Bauwerkes und dessen Abbruch in der Regel ein sehr langer Zeitraum besteht, kommt dem Bauunternehmen bei der Verwendung von Bauprodukten eine äußerst kritische Rolle zu, da die Effekte des Handelns zeitverzögert eintreten werden und aktuell keine direkte Produktverantwortung oder eine zukünftige, verpflichtende Rücknahme besteht.

4.3.7 Bauproduktherstellende Industrie

Die Hauptaufgabe der bauproduktherstellenden Industrie besteht darin, die Baumaterialien zu produzieren. Zusätzlich liefern sie Einzelteile, Baustoffe sowie für den Bau notwendige Geräte und stellen außerdem Dienstleistungen in Form von Service und Know-how für das Bauvorhaben bereit. Die Dienstleistungen in Kombination mit ihren Produkten gewährleisten

optimale Nutzung und den bestmöglichen Einbau (Stark, 2006). Nicht selten nimmt die bauproduktherstellende Industrie aufgrund der Baustoffexpertise auch eine beratende Funktion ein, um Risiken bei der Anwendung und Vorbereitung der Baustoffe auszuschließen und die Qualität nicht zu mindern (vgl. *BMVBS*, 2008). Gerade aufgrund der hohen Bedeutung der Qualität im Baugewerbe, ist es für diesen Akteur essenziell, die Leistungen im Rahmen der gesetzten Kriterien zu erfüllen und gleichzeitig ein kundenorientiertes Preis-Leistungsverhältnis zu gewährleisten. Die Fokussierung auf nachhaltige Baustoffe ist daher abhängig von der Kundennachfrage.

4.3.8 Abbruch- und Recyclingunternehmen

Im Folgenden wird der Rückbauprozess von Bauwerken beziehungsweise dessen grundsätzliche Konzeption näher beleuchtet, um die Verflechtung der daran beteiligten Akteure besser nachvollziehen zu können, und die Bedeutsamkeit und Problematik des Rückbaus für eine erfolgreiche Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen zu unterstreichen.

In einer Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes konstatierte man die Notwendigkeit eines großen Erfahrungsschatzes hinsichtlich der Einschätzung von Bauwerken, da oftmals über deren genaue Zusammenstellung nur unvollständige Informationen vorhanden sind. Gerade vor dem Hintergrund älterer Bauwerke, wechselnder Nutzungsveränderungen, der Bewertung eingesetzter Baustoffe, Verbindungsmaterialien und Sanierungszustände wird deutlich, welche Fülle an erforderlichen Kriterien für einen erfolgreichen Rückbau und einer anschließenden Verwertung der Materialien zu beachten sind (Dechantsreiter et al. 2015). Die fehlenden Informationen über das Bauwerk und dessen konkrete Zusammensetzung sollten eigentlich bereits bei der Planung und Erstellung zu Beginn des Lebenszyklus durch Planer oder beteiligte Bauunternehmen sorgfältig dokumentiert und dem Eigentümer zur Archivierung übergeben werden. Da die Lebensdauer von Bauwerken in der Regel die eines Menschen überschreitet und über diesen Zeithorizont oftmals Besitzerwechsel auftreten, gehen oftmals bau- sowie abbruchrelevante Informationen verloren.

Der Abbruch eines Gebäudes erfolgt in mehreren Demontageschritten. Zunächst muss das Gebäude entrümpelt werden und eine sogenannte Schadstoffentfrachtung, die Entfernung schadstoffbelasteter Bauteile und Materialien, durchgeführt werden. Im anschließenden Arbeitsschritt der Entkernung werden dann unter anderem als wiederverwendungsfähig eingestufte Bauteile, wie zum Beispiel Fenster, Türen oder Treppen, ausgebaut (vgl. Dechantsreiter et al. 2015) und an Bauteilbörsen, wie die bis 2015 durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderte ‚bauteilnetz Deutschland‘, übergeben oder über den Unternehmensverband Historischer Baustoffe e.V. vermittelt werden (vgl. DBU, 2015). Der Umfang dieser Art der Verwertung, sprich einer Wieder- oder gar Weiterverwendung vollständig erhaltener Bauteile, fällt aktuell jedoch gering aus, stellt jedoch die hochwertigste Form des Recyclings dar (vgl. Dechantsreiter et al. 2015).

Hierbei existiert jedoch die Problematik, dass den Bauherren und Planern sowie den Abbruchunternehmen in der Regel, hinsichtlich dieser spezifischen Gruppe von wiederverwendbaren Bauteilen, die nötige Erfahrung und das Wissen für die Entscheidung fehlen, ob Bauteile, sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Hinsicht, sinnvoll wiederverwendet werden können. Abhilfe für das Problem kann unter anderem ein Leitfaden für beteiligte Akteure schaffen, sowie die Integration des Fachwissens in die Ausbildung von Fachkräften der Abbruchbranche oder planender Berufe, wie Bauingenieure und Architekten (vgl. ebd.). Hinzukommt das generelle Problem, dass Abbruchunternehmen, aufgrund des erhöhten Zeitaufwandes für den unbeschadeten Ausbau, der Reinigung, der Verpackung und des Transports sowie der gegebenenfalls anfallenden Schadstofffassung der Bauteile sowie der hierdurch entstehenden Zusatzkosten durch die Notwendigkeit des Hinzuziehens von Fachkräften oder gar Sachverständigen, nicht auf Wieder- oder Weiterverwendbare Bauteile während des Entkernungsprozesses Acht geben. Dies hängt zum einen mit einer fehlenden Akzeptanz und verhältnismäßig geringen Nachfrage seitens der Abnehmer, respektive Besitzern oder Bauherren, zusammen und zum anderen mit einem Kommunikations- und Informationsproblem zwischen Baustoffunternehmen, Bauherren oder Planern mit Bauteilbörsen oder Verbänden.

Diese verfügen zwar bereits über eine starke Präsenz im Internet, jedoch fehlt es weiterhin an flächendeckenden Annahme-/Abgabestellen. Darüber hinaus bestehen Rechtsunsicherheiten bezüglich Haftungs- und Gewährleistungsfragen sowohl bei Entnahme als auch beim Wiedereinbau gebrauchter Bauteile (vgl. ebd.).

Im letzten Demontageschritt wird der Rohbau zurückgebaut. Dieser Schritt ist wichtig, da hier der größte Teil relevanter Abbruchabfälle entsteht. Die anteilmäßige Aufgliederung des Abfallstromes in die unterschiedlichen Baustoffarten kann exemplarisch Kapitel 2.1 entnommen werden. Für die spätere Qualität der verwerteten Baustoffe spielt die Trennung der Abbruchabfälle bereits bei Abbruch eine signifikante Rolle. Je homogener und selektiver die einzelnen Stoffströme den Recyclingunternehmen zur Verfügung gestellt werden können, desto hochwertiger können sie verwertet werden (vgl. ebd.). Aus diesem Grund nehmen Abbruchunternehmen eine wichtige Rolle hinsichtlich der nachfolgenden Verwertungsmöglichkeiten ein. Die Zielsetzung der möglichst sortenreinen Trennung der Baustoffe gestaltet sich jedoch für Abbruchunternehmen zunehmend schwieriger, da eine wachsende, heterogene Menge an Baustoffen bei Bau- und Sanierungsmaßnahmen Einzug erhält (Vallée et al., 2017). Dies hat einen negativen Effekt auf die Qualität der Recyclingprodukte, ihren Eigenschaften und somit ihrem Wert und kann in Folge dessen zur Entsorgung auf Deponien führen. Verantwortlich für den steigenden Einsatz dieser Stoffe bei heutigen Baumaßnahmen sind vorwiegend die Akteure planender Berufe, wie Architekten, Ingenieursbüros und Bauunternehmen.

Die Güte, sprich Homogenität und Schadstofffreiheit, der beim Rückbau entstehenden Stoffflüsse hängt im entscheidenden Maße von der Qualität der eingesetzten Techniken und Verfahren zur Trennung ab. Schlussendlich steht auch für die Abbruchunternehmen die Frage der Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Bezüglich der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung müssen zwei Seiten näher betrachtet werden: Auf der einen Seite treten Abbruchunternehmen im eigentlichen Sinne als Dienstleister auf und arbeiten in Folge

dessen im Auftrag des Bauherrn beziehungsweise des Planers. Es liegt letztlich unter anderem an dessen Zahlungsbereitschaft, wie die Gestaltung und der Output des Rückbaus ausfallen. Auf der anderen Seite treten die Abbruchunternehmen aber auch als Baustoffentsorger auf. Das bedeutet, sie stehen in gewissem Maße in Abhängigkeit einerseits zu den Annahmepreisen für die anfallenden Abfallmengen an Recyclingunternehmen und andererseits zu den zu entrichtenden Entsorgungskosten der Deponien. Es müssen folglich die anfallenden Kosten bei selektiver Trennung sowie anschließender Übergabe der möglichst homogenen Bauabfälle an die RC-Unternehmen und die Entsorgungskosten von Deponien abgewogen werden.

Zusätzlich finden semi-mobile oder mobile Aufbereitungsanlagen unmittelbar an der Baustelle Verwendung, um mineralischen Bauschutt, der mengenmäßig anteilsgrößte Baustoff im Abfallaufkommen, zu verarbeiten. Der angefallene Bauschutt wird aufgegeben, gesiebt, durch den Einsatz eines Brechers zerkleinert und gegebenenfalls durch einen Magnetabscheider, Nachsiebanlagen oder ähnliches sortiert, um Reinheit und Homogenität der Ausgangsstoffströme zu steigern. Ein Vorteil dieser Vorgehensweise liegt unter anderem darin, dass die so gewonnenen mineralischen Baustoffe unmittelbar vor Ort wiederverwendet werden können (vgl. Bilitewski und Härdtle, 2013), sodass diese durch Verfüllung für Rekultivierungs- oder Landschaftsmodellierungsmaßnahmen eingesetzt werden können. Dies verringert sowohl die sonst anfallenden Transportkosten zu Recyclinganlagen oder Deponien als auch anfallende Entsorgungskosten. Die Bau- und Abbruch-/Recyclingunternehmen profitieren hiervon in mehrerer Hinsicht und können sich bei dieser Vorgehensweise mit der Verwertung durch Verfüllung auszeichnen. Das Problem hierbei liegt jedoch darin, dass es dem Gedanken der nachhaltigen Kreislaufführung, Stichwort Downcycling, und der Recyclingwirtschaft als Gesamtes schadet. Die so verfüllten, mineralischen Abfälle werden nämlich in der Regel weder gesondert güteüberwacht noch wird darauf Rücksicht genommen, ob diese, aufgrund ihrer bauphysi-

kalischen Eigenschaften, durch Zuführung in höherwertige Verwertungsmöglichkeiten zu qualitativen Substituten für Primärrohstoffe verarbeitet werden hätten können.

Hier wird folglich Ressourcenschonungs-potenzial verspielt durch Vorbehalten potenziell hochwertigen Materials für Recyclingprozesse (vgl. Dechantsreiter et al. 2015).

Recyclingunternehmen sind hauptverantwortlich für die Verwertung der anfallenden Bau- und Abbruchabfälle, konkret mehrheitlich für die Herstellung gütegesicherter RC-Baustoffe und somit essenzieller Bestandteil einer Kreislaufwirtschaft (vgl. Meetz et. al., 2015). Im Jahr 2014 sind gemäß des 10. Monitoring Berichts der Kreislaufwirtschaft Bau 202 Mio. Tonnen mineralische Bauabfälle angefallen. Deren Verwertungsquote lag im Jahr 2014 bei 89,5% (vgl. Kreislaufwirtschaft Bau, 2017.) Die hohe Verwertungsquote darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass ein beträchtlicher Anteil dessen durch minderwertige Verwertungsmöglichkeiten, genauer durch sonstige Verwertung in der Regel durch Verfüllung, realisiert wurde. Der Anteil der höherwertigen Verwertung, in Form von RC-Baustoffen, einerseits gemessen am Gesamtaufkommen der mineralischen Bau- und Abbruchabfälle und andererseits an der anteilig gesamtverwerteten Menge, betrug lediglich 33,5%. (eigene Berechnung, vgl. Kreislaufwirtschaft Bau (2017), 2017).

Mobile sowie semi-mobile Aufbereitungsanlagen erfreuen sich wachsender Beliebtheit (vgl. Bilitewski und Härdtle, 2013) und betragen aktuell ca. 60 % (2012) (vgl. Statistisches Bundesamt, 2015b). Der Einsatz führt jedoch häufig zu einer direkten Wiederverwendung des Abbruchmaterials an Ort und Stelle und in der Regel zu einer weniger hochwertigen Verwertung wie prinzipiell möglich. Darüber hinaus findet nahezu keine Güteüberwachung statt. Stationäre Anlagen hingegen können, aufgrund ihrer Dimensionierung und dem Einsatz qualifizierter Aufbereitungstechniken, einerseits eine hohe Durchsatzleistung garantieren und gleichzeitig eine hohe Produktqualität gewährleisten. Durch eine Eingangskontrolle kann der Input der

Anlagen bereits vor dem Prozess auf Umweltverträglichkeit und Schadstoffbelastung überprüft und gegebenenfalls direkt abgewiesen werden (vgl. Bilitewski und Härdtle, 2013). Das auf diese Weise erzeugte RC-Material verfügt über ein definiertes Kornspektrum und eine erhöhte Gütequalität (vgl. Bilitewski und Härdtle, 2013). Über die Hälfte des so gewonnenen Outputs an RC-Material findet allerdings letztlich Verwendung im Straßenbau. Jeweils 20 % wurden für die Asphalt- und Betonherstellung sowie für den Erdbau aufgewandt. (vgl. Kreislaufwirtschaft Bau, 2017). Betrachtet man die Verwendungszwecke, so kann man konstatieren, dass nur 7% der RC-Baustoffe in der Asphalt- und Betonherstellung verwertet werden, erhebliche Mengen der RC-Gesteinskörnungen werden also lediglich verfüllt (Downcycling).

Dass bspw. RC-Beton vergleichbare Eigenschaften wie Normalbeton aufweist und sich deshalb ebenfalls sehr gut für den Einsatz im Hochbau eignet, haben diverse wissenschaftliche Untersuchungen und Projekte gezeigt (u.a. vgl. Mettke, 2010). Trotzdem stellt der Einsatz von RC-Beton noch keine gängige Praxis dar und beschränkt sich auf den Einsatz in Pilotprojekten, obwohl mittlerweile spezifizierte DIN-Normen existieren, die Anforderungen an die Gesteinskörnungen, wie z.B. an die Umweltverträglichkeit enthalten (vgl. HeidelbergCement (2017), DIN (NABau) (2017), DfStb (2010)). Die Recyclingunternehmen leisten einen großen Anteil zur Etablierung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft im Bauwesen, doch verfolgen sie primär wirtschaftliche Ziele. Erlöse fallen einerseits auf Annahmeseite und andererseits auf Abnehmerseite an. Auf der Annahmeseite stellt der Input, sprich die Bau- und Abbruchabfälle, die kritische Größe dar. In der Beschaffung dieser konkurriert man mit den alternativen Entsorgungsmöglichkeiten, konkret mit Deponien und Verfüllbetrieben. Diese Konkurrenz ist vordergründig preisbezogen dergestalt, dass der Annahmepreis für die Abfälle von Deponien und Verfüllbetrieben nicht zu niedrig sein dürfen, da sich sonst aus Sicht der Abbruchunternehmen eine Trennung des Bau- und Abbruchabfalls und anschließender Übergabe derer an Recyclingunternehmen nicht mehr lohnt (vgl. Schiller et al. 2010). In der einer Studie des Umweltbundesamtes wurde diese Thematik als „Billige Senken sind des

Recyclings Tod“ betitelt und bringt die gefährliche Beziehung zwischen den Akteuren auf den Punkt (Knappe et al. 2012). Für Baden-Württemberg ermittelte man, dass die durchschnittlichen Annahmepreise von Deponien ausreichend hoch ausfallen, sodass die Recyclingunternehmen durch ihre Annahmepreise ihre Kosten decken und einen Anteil zum Deckungsbeitrag leisten können. Problematischer äußerte man sich zu den sehr niedrigen Annahmepreisen von Verfüllungsbetrieben. Neben beschriebenem Konkurrenzkampf besteht darüber hinaus eine große Abhängigkeit der Recycling- und Entsorgungsunternehmen zu den Abbruchunternehmen, da diese nicht nur für den Inputstrom als solches, sondern vielmehr maßgeblich für dessen Qualität, verantwortlich sind. Recyclingunternehmen versuchen mittels differenzierter Preisgestaltung Einfluss zu nehmen, indem sie reine Stoffströme deutlich geringer bepreisen als gemischte (vgl. Schiller et al., 2010).

Auf der anderen Seite erwirtschaften Recyclingunternehmen durch die Vermarktung der RC-Gesteinskörnungen Erlöse. Hierbei spielen eine Vielzahl von Akteuren eine Rolle. Der offenkundigste Konflikt ergibt sich jedoch mit den Rohstoffförderern, deren Produkte, Primärrohstoffe in Form von Gesteinskörnungen, durch eben die Erzeugnisse der Recyclingunternehmen substituiert werden sollen. Im Jahr 2014 entfielen 12,3 % der insgesamt (für Hoch- und Tiefbau) produzierten Gesteinskörnungen auf RC-Baustoffe (vgl. Kreislaufwirtschaft Bau, 2017). Der jahrzehntelange Gebrauch von Primärrohstoffen und eine starke Lobby der Produzenten dieser, sorgen noch immer dafür, dass RC-Gesteinskörnungen trotz ihrer vergleichbaren Qualität und Schadstoffbelastung in den Köpfen von vielen Bauherren und Planern als nicht gleichwertig angesehen werden und in Folge dessen nicht die gleiche Nachfrage erfahren. Bedingt wird dieser Umstand durch teils unterschiedliche Überwachungssysteme auf Länderebene, die teilweise auf überholte Standards zurückgreifen. Zudem existiert noch kein einheitliches Güteüberwachungssystem für stationäre und mobile Aufbereitungsanlagen. (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Allerdings wird für Anfang 2019 vom *Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung* (bvse) zusammen mit dem *Deutschen Abbruchverband* (DA) ein neues bundesweit einheitliches Qualitätssicherungssystem für Ersatzbaustoffe geplant. Darin soll auch eine

verpflichtende Güterüberwachung für das Inverkehrbringen von Ersatzbaustoffen forciert werden (vgl. BVSE, 2018). Hersteller sind derzeit unter anderem zur CE-Kennzeichnung verpflichtet und können ihre Produkte darüber hinaus durch weitere Gütezeichen, wie beispielsweise das RAL-RG 501/1 für Recycling-Baustoffe der Bundesgütegemeinschaft für Recycling-Baustoffe e.V., auszeichnen (vgl. Bilitewski und Härdtle, 2013).

Bezüglich der Relation der Preise zwischen Primär- und Sekundärrohstoffen erwartet der Markt normalerweise, vor dem Hintergrund der Begrifflichkeit des Recyclings, einen Preisvorteil für Sekundärrohstoffe (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Bilitewski und Härdtle (2013) verweisen darauf, dass Recyclingunternehmen, aus Gründen der Absatzsteigerung, tatsächlich einen um bis zu 40 % niedrigeren Preis veranschlagen (vgl. ebd., 2013). Einige Literaturquellen geben hingegen an, dass insbesondere hochwertige RC-Gesteinskörnungen oftmals keinen Preisvorteil haben oder sogar unter bestimmten Umständen ein höheres Preisniveau aufweisen als gleichwertige Primär-Gesteinskörnungen (vgl. Knappe et al. 2012). Grundsätzlich kann dies jedoch nicht pauschalisiert werden, da regionale Unterschiede, sowie Qualität, Verfügbarkeit und Transport von Gesteinskörnungen eine entscheidende Rolle spielen (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Unter der Annahme, dass das Preisniveau von Primär- und Sekundärbaustoffen in etwa einander entspricht, entfällt der finanzielle Anreiz für Bauherren und Planer diese einzusetzen oder bei Ausschreibungen zu berücksichtigen. Dies ist jedoch von entscheidender Bedeutung für den Einsatz und folglich für den Absatz der Recyclingunternehmen. Dieser Umstand zeigt abermals die signifikante Abhängigkeit zu Bauherren und Planern auf.

4.3.9 Deponien und Verfüllbetriebe

Deponien und Verfüllbetriebe dienen der Beseitigung und Endlagerung von Abfällen, sowie Zweite auch deren Verwertung. Sie stellen, laut Dr. Biedermann vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, einen „unbedingt notwendige(n) Bestandteil der deutschen

Kreislaufwirtschaft“ dar (HDB, 2015). Diese Aussage unterstreicht grundsätzlich die Bedeutsamkeit beider Akteure, muss jedoch differenziert betrachtet werden. In einer idealtypischen Kreislaufwirtschaft würden Stoffkreisläufe vollständig geschlossen sein und extra geschaffene Senken in Form von Deponien oder Verfüllungen nicht existieren. Die reale Umsetzbarkeit der Kreislaufführung von Stoffen wird jedoch durch physikalisch Gesetze und technische Gegebenheiten eingeschränkt, sodass die Notwendigkeit von Senken in Kauf genommen werden muss. Ausdruck der Notwendigkeit von Senken wird durch die Priorisierung in der Abfallhierarchie des KrWG unterstrichen, die nach wie vor in der Verfüllung sowie Beseitigung am Ende der Rangfolge wiederzufinden sind (vgl. KrWG §6).

Laut Statistischem Bundesamt kamen die insgesamt 1142 Deponien in Deutschland im Jahr 2013 auf einen Input in Höhe von 42 Mio. Tonnen. Mehr als die Hälfte dessen entfiel auf die Abfallart der Bau- und Abbruchabfälle (EAV-Kategorie 17⁴), die von knapp 80 % der Deponien aufgenommen wurde. Der angelieferte Bau- und Abbruchabfall wurde durch die Gruppe Boden und Steine (170504, 170503*) dominiert, die über die Hälfte dessen ausmachte. Weitere Teilströme stellten das Gemisch aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik (170107), kohlenteeerhaltige Bitumengemische (170301*), asbesthaltige Baustoffe (170605*), Baggergut (170506), Baustoffe auf Gipsbasis (170802) sowie gemischte Bau- und Abbruchabfälle (170904) dar (Statistisches Bundesamt, 2015b).

Um einige der beschriebenen Stoffströme konkurrieren die Deponien und Verfüllbetriebe mit den Recyclingunternehmen. Wie bereits dargestellt, findet die Entscheidung über den letztlichen Weg des Stoffstromes von Bau- und Abbruchunternehmen zu eben aufgeführten Akteuren über einen Preiskampf der Annahmepreise statt. Hierbei werden die Stoffströme aktiv

⁴ Maßgebend für die Bezeichnungen und die Einstufung von Abfällen in der Europäischen Union ist das Europäische Abfallverzeichnis (EAV). Alle Abfallarten, die im EAV als gefährlich eingestuft sind, werden durch einen Stern (*) hinter der Abfallschlüsselnummer gekennzeichnet. (UBA, 2013)

durch die Entsorgungsunternehmen mittels niedriger Preise derart beeinflusst, dass große Masseflüsse aus primär ökonomischen Beweggründen, vorbei an den Recyclingunternehmen und einer folglich höheren Verwertungsmöglichkeit, entsorgt werden (vgl. Diebel und Knappe, 2010). Drohen beispielsweise aufgrund einer limitierten, verbleibenden Restbetriebslaufzeit existierende Kapazitäten nicht vollends ausgeschöpft zu werden, treten Deponien verstärkt aktiv und mittels teils aggressiver Preisstrategien als Nachfrager mineralischer Bau- und Abbruchabfälle auf dem Entsorgungsmarkt auf (vgl. ebd.). Doch auch über die Zeit der Schließung hinweg, treten Deponien als Nachfrager für mineralische Abfälle auf, da diese zur Herstellung der Endkubatur, als solche wird die gleichmäßige Modellierung der Kuppelform verstanden, und für Rekultivierungsmaßnahmen benötigt werden (vgl. Knappe et al. 2012). Die hierbei nachgefragten Mengen ziehen aufgrund der großflächigen Baumaßnahmen auf den Deponien beachtliche Materialflüsse nach sich (vgl. Dechantsreiter et al. 2015).

Bezüglich der rechtlichen Rahmenbedingungen ist die Deponieverordnung (DepV) zu nennen. Die DepV stellt Anforderungen an die Errichtung, den Betrieb, sowie der Nachsorge von Deponien. Die Verordnung deckt somit den gesamten Lebenszyklus ab und enthält darüber hinaus konkrete Forderungen bezüglich der Kontrolle, Dokumentation und Deponierung von Abfällen (vgl. DepV, 2009). Betrachtet man vor diesem Hintergrund den rechtlichen Rahmen der Verfüllbetriebe, so stellt man fest, dass dieser selbst zwischen Betrieben höchst unterschiedlich ausfallen kann. Diese sind auf unterschiedliche Genehmigungszeitpunkte, Genehmigungsbehörden und vorherrschendem Genehmigungsrecht zurück zu führen. Laut der Studie „Optimierung der Verwertung mineralischer Bauabfälle in Baden-Württemberg“ des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg existieren meist keine Vorgaben hinsichtlich Eingangskontrollen oder Überwachungsmaßnahmen vor Ort (vgl. Diebel und Knappe, 2010). Bedingt durch diesen Umstand liegen die Annahmepreise von Verfüllbetrieben, mit einer Genehmigung zur Ablagerung von Bauschutt, in der Regel deutlich

unter dem der Deponien und beeinflussen damit die anfallenden Massenströme weg von den Recyclingunternehmen und ihren Bauschuttzubereitungsanlagen zur Herstellung von RC-Gesteinskörnungen.

Bei Betrachtung der zukünftigen Entwicklung, nimmt die Bereitstellung an Deponieräumen stetig ab (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Der Rückgang an Deponiefläche und -volumen kann einerseits auf das Inkrafttreten neuer Verordnungen zurückgeführt werden und wird andererseits bedingt durch großen Widerstand der Bevölkerung im Hinblick auf die Errichtung neuer Deponien. Der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie äußerte zuletzt Bedenken, dass man vor dem Hintergrund einer Mantelverordnung auf ein Entsorgungsproblem zu steuere, in dessen Folge das Einbrechen der Recyclingquote für Bau- und Abbruchabfälle drohe und zusätzliche Massenflüsse für Entsorgungsunternehmen entstehen würden, die diese auf Dauer nicht bewältigen könnten. Schon heute seien in Regionen mit hohen Bau- und Sanierungsaktivitäten regionale Engpässe für mineralische Bauabfälle beobachtbar (vgl. HDB, 2015; Oetjen-Dehne et. al., 2015). Es bleibt zu konstatieren, dass im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft die zur Verfügung stehenden, knappen Deponieräume nur dann beansprucht werden sollten, wenn dies tatsächlich notwendig ist (vgl. ebd.). Diese Prämisse findet unter der momentan herrschenden und obig dargestellten Marktsituation für mineralische Bauabfälle jedoch nur wenig Anklang und Umsetzung.

4.3.10 Bildungs- und Forschungseinrichtungen

Unter die Akteure Bildungs- und Forschungseinrichtungen fallen unter anderem Universitäten, Fachhochschulen, selbstredend Forschungseinrichtungen sowie Berufsschulen. In Relation zu den anderen charakterisierten Akteuren, greifen diese zwar nicht unmittelbar in die Stoffströme des Bauwesens ein, verfügen jedoch über einen großen Einfluss zum einen auf das Humankapital aller beteiligten Akteure (Ausbildung, Entscheidungs- und Handlungskompetenz) und zum anderen auf die Entwicklung und den Fortschritt des gesamten Systems. Mittels gezielter Fortbildungsmaßnahmen

können aber auch bereits praktizierende Planer sowie weiteres Fachpersonal der Abbruchunternehmen gezielt über selektive Rückbaumaßnahmen sowie Recyclingoptionen informiert werden. Zudem muss bereits bei der Ausbildung das Wissen über die Weiter- oder Wiederverwendbarkeit von Bauteilen und -elementen vermittelt werden und so qualitativ hochwertige Verwertung vorangetrieben werden (vgl. Dechantsreiter et al. 2015).

Gerade das Image von RC-Baustoffen ist bei Bauherren, Architekten, Ingenieuren sowie Bauunternehmen von Skepsis, Unwissen und fehlender Akzeptanz geprägt. Gründe hierfür sind oftmals Informationslücken, beispielsweise hinsichtlich der Möglichkeiten des Einsatzes von Sekundärrohstoffen, zurückzuführen (vgl. ebd.). Jene Lücken oder fehlenden Kompetenzen können ebenfalls von Bildungseinrichtungen aufgegriffen und verstärkt in Lehrpläne integriert werden.

Darüber hinaus leisten Forschungseinrichtungen und Institute einen elementaren Beitrag für das Verständnis und die Verbesserung des Gesamtsystems. Richtungsweisenden Forschungsaktivitäten können dem Markt Impulse verleihen, Technologien und Prozesse optimieren und die Wettbewerbsfähigkeit verbessern. Im Kontext des Bauwesens kann die Qualität der Kreislaufführung von RC-Gesteinskörnungen gesteigert und neue höherwertige Verwertungsmöglichkeiten erschlossen werden. Das BMUB betreibt bspw. in Kooperation mit dem Fraunhofer IRB die Forschungsinitiative Zukunft Bau, die „die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Bauwesens“ durch Innovationen stärken und sichern soll (BMUB, 2015).

4.3.11 Finanzdienstleister und Investoren

Da die Eigentümer zum Zeitpunkt des Bauens häufig nicht in Besitz der notwendigen finanziellen Mittel sind, sind sie auf Kreditinstitute und Banken angewiesen, die während des gesamten Bauprozesses finanzielle Mittel zur Verfügung stellen. Diese Institutionen generieren u.a. dadurch ihre Gewinne durch Zinsen (vgl. Pfarr, 1984). Es besteht jedoch ebenfalls die Möglichkeit, dass die Finanzierung durch Förderprogramme geschieht, die

Darstellung und struktureller Aufbau

Als grundlegende Darstellungsform wurde ein Kreis gewählt, da dieser das zugrundeliegende Leitbild der Kreislaufführung und der Zyklichkeit des Gesamtsystems bestmöglich abbildet. Der Kreis wurde, gemäß dem gesamtwirtschaftlichen Modell der Kreislaufwirtschaft in die drei gleichwertigen Bereiche der Produktionswirtschaft, des Konsums sowie der Reduktionswirtschaft unterteilt. Zwischen diesen werden mittels beschrifteter Pfeile Stoffströme aufgezeigt, um die Stoffstrombeziehungen der Subsysteme abbilden zu können. Wie zu erkennen ist, bestehen die drei Bereiche insgesamt wiederum aus drei Ebenen. Auf der mittleren Ebene wurden die Lebenszyklusphasen von Bauwerken abgetragen, sodass auf der innersten Ebene die Akteure wiederzufinden sind. Hintergrund dieser Anordnung liegt in dem Bestreben, mehr als nur einfache Verflechtungen zwischen den Akteuren darzustellen. Dem Betrachter ist es, aufgrund der zunehmend spezifizierenden Ebenen in Richtung des Zentrums, möglich, mehr Informationen über das Wirkungsumfeld der Akteure, vor dem Hintergrund wechselnder Phasen des Lebenszyklus, zu gewinnen.

Sowohl Ressourcen als auch Entsorgung wurden gesondert dargestellt, da diese durch ihre besondere Stellung als Quelle und Senke im Gesamtsystem, aus der zyklischen Merkmalsausprägung der Kreislaufwirtschaft ausbrechen. Hierbei wurden die Bereiche bewusst innerhalb bzw. außerhalb positioniert. Insbesondere durch die Zentrierung der Ressourcen inmitten der Gesamtbetrachtung soll deren Signifikanz hervorgehoben werden. Denn letztlich ist es das Ziel der Nachhaltigkeit, diese länger ‚innerhalb‘ der Kreislaufwirtschaft zirkulieren zu lassen, um so deren Erschöpfung und auch ihrem Wertverlust entgegen zu wirken und nachfolgenden Generationen die Nutzung dieser zu ermöglichen. Stoffströme, die der Entsorgung zugeführt werden, stehen dieser auf lange Zeit nicht mehr zur Verfügung und werden so aus dieser ‚ausgeschleust‘.

Verfüllbetriebe werden im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes der Verwertungsphase zugeschrieben. Im dargestellten Netzwerk werden Verfüllbetriebe jedoch dem Bereich der Entsorgung zugesprochen, da sie, wie die

Deponien, in gleicher konfliktärer Beziehung zu den Recyclingunternehmen stehen. Bauherren, Architekten und Ingenieure so gestaltet, dass der übergeordnete Einfluss auf den gesamten Bau beziehungsweise Abbruch deutlich wird. Daher umspannen diese Akteure gemäß ihrer Wirkungsdauer und Verantwortlichkeit weitere Akteure.

Das Akteursnetzwerk

Betrachtet werden zunächst die auftretenden Stoffströme. Primärrohstoffe werden von den Baustoffunternehmen an die Produktion, respektive die Bauunternehmen, geliefert. Aus der Verarbeitung dieser läuft einerseits ein Materialstrom in Form von Produkten sowie zugehöriger Dokumentation zum Konsum und andererseits ein Materialstrom in Form von Bauabfällen, die entweder den Recycling- oder den Entsorgungsunternehmen zugeführt werden. Am Ende der Nutzungsphase werden unter anderem die rückzubauenen bzw. abzubrechenden Bauwerke sowie eventuell vorhandenen Dokumentationen bezüglich der Materialzusammensetzung des Bauwerkes der Reduktionswirtschaft „übergeben“. Die dort verorteten Abbruchunternehmen induzieren hieraus Abbruchabfälle, die wie die obig ausgeführt entweder den Recycling- oder den Entsorgungsunternehmen zugeführt werden. Zudem können ganze Bauteile und -elemente an Bauteilbörsen übergeben werden, die diese aufbereiten und wieder auf dem Markt anbieten. Die Recyclingunternehmen verwerten die Bau- und Abbruchabfälle zu RC-Baustoffen, die sie wiederum auf dem Markt der Produktion anbieten. Die in der Aufbereitung anfallenden Abfälle werden an die Entsorgungsunternehmen abgeführt.

Im Akteursnetzwerk können diverse Akteursbeziehungen identifiziert werden. So existieren zwischen den Bauherren und planenden Berufen sowie den Bauunternehmen Unklarheiten bezüglich der Abfallverantwortlichkeit. Dieser Sachverhalt ist sowohl im Bereich der Produktion wie auch in der Reduktion anzutreffen. So besteht für jeden einzelnen die Möglichkeit der Einflussnahme, welche Baustoffarten bei welchem Verwendungszweck zur Umsetzung eines Bauprojektes, respektive zur Erstellung eines Produktes, berücksichtigt werden (vgl. die bereits durchgeführte Charakterisierung der

Akteure). Durch das Ausüben der Einflüsse ergeben sich indirekte Beziehungen, dergestalt, dass hierdurch eine Nachfrage nach RC-Baustoffen oder Primärrohstoffen induziert wird, die sich wiederum auf die Erlöse der Anbieter, sprich Recycling- und Baustoffunternehmen, auswirkt.

Aufgrund weitverbreiteter fehlender Akzeptanz für eine vielfältige und hochwertige Verwendung von RC-Baustoffen, wird die indirekte Beziehung der Nachfrage mit einem Minus konnotiert.

Auch in der Reduktionswirtschaft sind es Bauherren, Architekten und Ingenieure, die in Zusammenarbeit mit Abbruchunternehmen, die beim Rückbau entstehenden Stoffströme maßgeblich beeinflussen. Durch die Gestaltung des Abbruchs entscheiden die aufgeführten Akteure über die Güte, sprich Homogenität und Schadstoffbelastung, und beeinflussen dadurch indirekt die Qualität der Verwertungsmöglichkeiten. Die indirekte Beziehung wird vor diesem Hintergrund über Pfeile an beiden Enden der Verbindung dargestellt, da Recyclingunternehmen hinsichtlich der Qualität ihrer Erzeugnisse, maßgeblich von der Homogenität des Inputstroms der Bau- und Abbruchabfälle abhängen. Recyclingunternehmen sehen sich darüber hinaus großer Konkurrenz gegenübergestellt. Während man auf Inputseite mit Entsorgungsunternehmen, Deponien und Verfüllbetrieben um Bau- und Abbruchabfälle konkurriert, versucht man sich auf Outputseite mit den hergestellten RC-Baustoffen als Substitut für Primärrohstoffe gegen die Baustoffunternehmen zu behaupten. Letztgenannte können wiederum über Erlöse eigener Verfüllbetriebe, den niedrigen Preis der Primärrohstoffe und somit die eigene Wettbewerbsfähigkeit erhalten.

Betrachtet man die Entsorgungsunternehmen im Allgemeinen, so beeinflussen diese, über teils aggressive Annahmepreise, den Massenstrom der Bau- und Abbruchabfälle negativ. Dadurch wird indirekt ebenfalls die Ausbringungsmenge der RC-Baustoffe negativ beeinflusst. Vor dem Hintergrund der stetigen Verknappung von Deponieraum sowie dem geplanten Inkrafttreten der Mantelverordnung und der damit einhergehenden Massenstromverschiebungen hin zu Deponien, entstehen u.a. in Folge von wachsenden Transportwegen und -kosten, momentan noch abgeschwächt

durch die niedrigen Kraftstoffpreise, negative Auswirkungen für Bau- und Abbruchunternehmen.

Das Akteursnetzwerk in Verbindung mit der Öffentlichen Hand und Verbänden

Die öffentliche Hand kann auf verschiedene Weise agieren. So kann sie als Bauherr wirtschaftliche Impulse setzen, sowie als Vorbild bei der Verwendung von RC-Baustoffen auftreten. Darüber hinaus kann der Staat beispielsweise mittels der Förderung von Bildungs- und Forschungseinrichtungen oder über KfW-Banken, Anreize vermitteln und durch Subventionen gestalterisch in Erscheinung treten. Die mächtigste Möglichkeit der Einflussnahme des Staates auf alle Akteure des engeren Netzwerkes besteht jedoch in der Festlegung der Gesetzgebung. Da die Auswirkungen in der Regel immer eine große Anzahl an Akteuren betreffen, ist der Prozess der Gesetzesarbeit oftmals sehr langwierig. In diesem Zusammenhang muss erneut auf die Mantel-Verordnung verwiesen werden. In diesem Kontext müssen insbesondere die Verbände angeführt werden, die auf Ebene des erweiterten Netzwerkes als Interessensvertretung der Akteure agieren und versuchen ihrerseits Einfluss auf staatliche Handlungen zu nehmen. Der Gesamteinfluss der öffentlichen Hand auf die Akteure der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen ist signifikant. Die konkrete Ausprägung ist aus der Literatur jedoch nicht eindeutig festzustellen, was aber im Rahmen der Akteursmodellierung im Folgenden noch berechnet wird (vgl. Abschnitt 4.5). Grundsätzlich kann man der Politik jedoch einen positiven Willen unterstellen, die Kreislaufwirtschaft und deren Akteure zu bestärken.

Einen, in der Regel positiven Einfluss weisen Bildungs- und Forschungseinrichtungen auf. Sie unterstützen den Staat und andere Akteure mittels neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse bei der Entscheidungsfindung und können darüber hinaus neue Impulse durch Weiter- oder Neuentwicklung geben. Zudem können sie unmittelbar bei Aus- oder Fortbildung des Fachpersonals zur Schließung von Informationsdefiziten beitragen.

4.4 Abgeleitete Maßnahmen zur Ressourcenschonung im Bauwesen

Auf Basis der in den Vorkapiteln durchgeführten Akteursanalyse unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen konnten, ergänzt durch weitere Literaturrecherchen, aktuelle und zukünftige Maßnahmen abgeleitet werden, die zu einer Steigerung der Ressourcenschonung im Bauwesen (von Baden-Württemberg) beitragen können. Die auf diese Weise identifizierten Maßnahmen wurden zur besseren Übersichtlichkeit und auch zur Vorbereitung für Umfragen und Expertengespräche in 21 Maßnahmengruppen gegliedert (vgl. Tabelle 4-2). Diese Maßnahmengruppen können den Literaturquellen gemäß Abbildung 4-6 entnommen werden.

Tabelle 4-2: Gliederung identifizierter Maßnahmen in Maßnahmengruppen

Nr.	Maßnahmengruppen	Maßnahmen
1	Anreizsysteme entwickeln	<ul style="list-style-type: none"> • Weitere Preise für ressourcen-/umweltschonende Bauprojekte vergeben (wie z.B. Holzbaupreis) • Bevorzugte Landvergabe/Bauerlaubnis an Bauvorhaben, die überwiegend aus Recyclingbaustoffen erstellt werden • Erhöhung von Deponiegebühren, um Recycling attraktiver zu machen • Schaffen neuer Finanzprodukte (Kredite/Subventionen) für ressourcenschonendes Bauen (z.B. Recyclingprodukte werden nicht als Risiko bewertet) • Mehr Geld für Förderprogramme im Bereich Sanierung bereitstellen/Neue Finanzprodukte/Kredite/Subventionen zur Förderung von Sanierungen schaffen
2	Barrieren beim ressourcenschonenden Handeln abschaffen	<ul style="list-style-type: none"> • Neue Richtlinien/Gesetze zur Gleichstellung von Recycling- und Primärbaustoffen einführen • Zusätzliche Bürokratie/Richtlinien zur Verwendung von Recyclingbaustoffen minimieren
3	Bauabläufe im Sinne der Kreislaufwirtschaft gestalten	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktion der Menge und Vielfältigkeit der verwendeten Betriebs- und Hilfsstoffe.
4	Baumaterialien im Sinne des Ressourcenschutzes herstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Substituten für nicht wiederverwendbare/erneuerbare und schädliche Baumaterialien • Schadstoffbelastung der Baumaterialien (bereits in der Produktion) reduzieren/minimieren

4 Akteursmodell für nachhaltiges Bauen im Bestand in Baden-Württemberg (AP3)

5	Bauprozesse abfallarm gestalten	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung von Abfall, Lärm, Staub während der Bau-, Instandhaltungs- und Abbruchsprozesses und Materialherstellung • Förderung der Informationsverfügbarkeit/Transparenz über Abfallvermeidung • Einführung strengerer Abfallbehandlungs- und Verwertungsvorschriften, Umweltaktivitäten von Unternehmen
6	Bewusstsein für Ressourcenschutz schaffen	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassung von Lehrinhalten (z.B. Ingenieure, Architekten) und das Anbieten von Weiterbildungen zur Förderung des Umweltbewusstseins • Förderung der „freiwilligen“ Wahrnehmung der Produktverantwortung entlang des Lebenszyklus durch Hersteller • Kommunikationskonzepte verbessern • Aufmerksamkeit der Akteure auf Ressourceneffizienz lenken • Betrachtung der Gebäude im Bestand als eine Ressource und Kapital • Förderung der Information und Weiterbildung der Akteure im Bereich Nachhaltigkeit
7	Weiterentwicklung der Recyclingtechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung der F&E für Sortier- und Recyclingtechnik zur Erforschung u. Entwicklung neuer Verfahren und Maschinen sowie Einsatzbereiche (Z.B. Fördern technischer Möglichkeiten im Kunststoffrecycling) • Fördern der Forschung & Entwicklung in Recyclingunternehmen
8	Investments in die kreislaufwirtschaftsorientierte Forschung	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung von Innovation • Förderung der Forschung u. Entwicklung umwelt- und recyclingfreundlicher Baustoffe, um „nicht rezyklierbare“ Baumaterialien zu ersetzen. • Förderung der Weiterentwicklung von Methoden und Techniken im Bereich Rückbau und Aufbereitung. • Förderung Selektiver Rückbau • Sortierungs- und Aufbereitungstechniken • Förderung der Forschung u. Entwicklung zur Verbesserung von Bauprozessen. (Ressourceneinsparung durch besseren Materialeinsatz, z.B. weniger Verschnitt, Abfall).
9	Höhere Informationsverfügbarkeit gewährleisten	<ul style="list-style-type: none"> • Kunden/Akteure informieren z.B. bzgl. Recyclingfähigkeit, Umwelteinwirkungen und Lebenszykluskosten der Materialien • Schaffen einer vollständigen, transparenten, anwenderfreundlichen und übersichtlichen Informationsplattform z.B. über: <ul style="list-style-type: none"> – Abfallvermeidungswege – Möglichkeiten des nachhaltigen Bauens – Umweltauswirkungen von Stoffen und Produkten – Umweltaktivitäten von Unternehmen, CSR

4.4 Abgeleitete Maßnahmen zur Ressourcenschonung im Bauwesen

10	Instandhaltungsmaßnahmen initiieren	<ul style="list-style-type: none"> • Bestehende Bauwerke an heutige Anforderungen anpassen (Weniger Neubaubedarf)
11	Ausrichtung Interner Berechnungs- und Planungsprozesse auf Ressourceneffizienz	<ul style="list-style-type: none"> • Planungen stärker am gesamten Lebenszyklus eines Produktes ausrichten (z.B. Lebenszykluskostenrechnung einführen) • Kosten- und Nachhaltigkeitsbewertung unterschiedlicher Handlungsalternativen zur Entscheidungsunterstützung • Aufbau einer umweltökonomischen Gesamtrechnung als Komplement zur volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung
12	Kooperationen zwischen Akteuren entwickeln	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung freiwilliger Abkommen/ Selbstverpflichtungen im Sinne der Ressourcenschonung zwischen Unternehmen sowie zwischen Unternehmen und Staat zur Selbstverpflichtung zu Ressourcenschonungszielen) • Förderung von Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette-Bau zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs • Kostenteilung im Falle von Mehrkosten, Investitionen oder Entwicklung • Vertikale Kooperationen zwischen Akteuren entlang eines Stoffstroms wie z.B. Architekten, Baustoffhersteller, Handwerker und Unternehmen der Baurestmassenbehandlung
13	Kreislaufwirtschaftsge-rechte Abfall-behandlung gewährleisten	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung des Selektiven Rückbaus durch Vorgaben in Nachhaltigkeitsbewertungssystemen oder durch Anforderungen bei Vorhaben der öffentlichen Hand
14	Ressourceneffiziente Gebäude- und Infrastrukturplanung	<ul style="list-style-type: none"> • Ansprechende Gestaltung nachhaltiger Bauten (Abriss aus „Design-Gründen“ verhindern) • Förderung der Berücksichtigung von Recycling-/Entsorgungskonzepten für eingesetzte Materialien/Bauteile bei der Gebäudeplanung (Design for Deconstruction)
15	Ressourceneffiziente Gebäude- und Infrastrukturplanung	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilität und Anpassbarkeit der Bauten (Umnutzungsfähigkeit) für andere Zwecke vorausplanen (Mehrzweckgebäude) • Hohe Widerstandsfähigkeit, Langlebigkeit und Beständigkeit der Bauten berücksichtigen
16	Hohe Bauqualität zur Lebenszyklus-verlängerung	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitätskontrollen entlang des Planungs- und Bauprozesses
17	Hohe Qualität der RC-Baustoffe gewährleisten	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitätssicherung der Abfalltrennung zur Qualitätsgewährleistung der RC-Baustoffe • Förderung der Gütesiegelvergabe für Recycling-Betriebe, die Qualitätsstandards erfüllen (Fachverbände und Vergabestellen.)

4 Akteursmodell für nachhaltiges Bauen im Bestand in Baden-Württemberg (AP3)

18	Ressourcenschonende Verwendung von Baumaterialien	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung der Verwendung von Materialien mit hoher Recyclingfähigkeit (z.B. durch ausgestellte Rücknahmegarantien) • Bevorzugte Nutzung von RC-Baustoffen/ Materialien, geringe Verwendung von Primärrohstoffen • Verwendung nachwachsender Rohstoffe, kontrollierte und nachhaltige Beschaffung der Baumaterialien • Effiziente Ressourcennutzung während des Bauprozesses
19	Vermarktung / Image der RC-Baustoffe verbessern	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung von Eco-Labeling (z.B. blauer Engel) zur besseren Vermarktung von Recyclingbaustoffen • Förderung der Informationsverfügbarkeit, Transparenz und des Images des nachhaltigen Bauens (z.B. Informationen über Einsatz von Recyclingbaustoffen bei Baustoffhändlern)
20	Vorbildcharakter des Staates gewährleisten	<ul style="list-style-type: none"> • Der Staat sollte im Rahmen des Möglichen nachhaltig Bauen • In Bauprojekt-Ausschreibungen (z.B. vom Staat) sollen ressourcenschonende Lösungen bevorzugt werden
21	Strafsysteme entwickeln	<ul style="list-style-type: none"> • Zusatzkosten/Steuern auf Kauf von Primärrohstoffen • Einführung strenger Abfallbehandlungs- und Verwertungs-vorschriften z.B. Strafzahlungen für nicht sachgemäße Entsorgung von Baustoffen
22	Vorschriften ausbauen	<ul style="list-style-type: none"> • Einführung einer Mindestquote für den Einsatz von Recyclingbaustoffen bei Neubauten, statt maximaler Begrenzung • Einführung eines Deponieverbots für recyclingfähiges Material • Überprüfung der Mantelverordnung hinsichtlich der Zweckmäßigkeit der Restriktionen und Anpassung der Vorschriften für die Verwendung der RC-Materialien • Überprüfung der Zweckmäßigkeit der Restriktionen • Anpassung der Vorschriften für die Verwendung der RC-Materialien • Überprüfung der Abfallbehandlungs- und Verwertungs-vorschriften • Aufbau und Kommunikation eines Stoffbuchhaltungssystems zur Erstellung und Pflege eines Materialpasses von Gebäuden (Baustoffart, Menge, Einbauort und -zeitraum) • Verstärkte Einbeziehung von Akteuren bei der Planung von Vorschriften/Initiativen • Dokumentationspflichten ausbauen: • Fordern eines Abbruch-/ Recyclingkonzeptes bereits in der Planungsphase • Datensammlung über Konstruktion und verbaute Materialien • Nachweisführung schädlicher Materialien

4.5 Akteursbasiertes Maßnahmenbewertungsmodell (SAM)

Maßnahmengruppen							Anzahl	
Anreizsysteme entwickeln	Seller, 2005	Deutscher Abbruchverband e.V., 2007	Dechertbender et al. (2015)	Köhler und Hassler, 1999	Yuan et al., 2011		5	
Barrieren beim ressourcenschonendem Handeln abschaffen	ZDB, 2015a, ZDB, 2015b	Deutscher Abbruchverband e.V., 2007	Dechertbender et al. (2015)				3	
Bauschutt im Sinne der Kreislaufwirtschaft gestalten	Köhler und Hassler, 1999						1	
Baumaterialien im Sinne des Ressourcenschutzes beschaffen	BMVBS, 2013/ BMVBS, 2011	Deutscher Abbruchverband e.V., 2007	Lehmann, 1999	Daebck et al., 2011	Kleine, 2009	Köhler und Hassler, 1999	6	
Bauprozesse abfallarm gestalten	KfWG	Deutscher Abbruchverband e.V., 2007	BMVBS, 2013/ BMVBS, 2012	Arendt, 2000			4	
Bewusstsein schaffen	Seller, 2005	Arendt, 2000	Lützendorff und Lorenz, 2005	BMUB, 2015	Ascher, 2006	World sustainable Building Conference, 2014	6	
Entwickeln der Recycling unterstützenden Technik	Pfister und van der Linde, 1995	World sustainable Building Conference, 2014					2	
in die kreislaufwirtschaftsorientierte Forschung investieren	Knappe, 2012	Deutscher Abbruchverband e.V., 2007	Daebck et al., 2011	Kleine, 2009	Person, 2009		5	
Informationen verfügbar machen	Arendt, 2000	Curwell, 2003	Ascher, 2006	Schneier, 2003			4	
Instandhaltungsmaßnahmen initiieren	Köhler und Hassler, 1999	Köhler, 1999	Umweltbundesamt, 2010	BMVBS, 2013/ BMVBS, 2012			4	
Interne Berechnungs- und Planungsprozesse anpassen	Seller, 2005	Arendt, 2000					2	
Kooperationen entwickeln	Arendt, 2000	Ortiz et al., 2009	World Sustainable Building Conference, 2014				3	
Kreislaufwirtschaft gerechte Arbeitsbedingung gewährleisten	Köhler und Hassler, 1999	BMVBS, 2013					2	
Planung im Sinne des Ressourcenschutzes gestalten	BMVBS, 2013/ BMVBS, 2011	Lehmann, 2002	Daebck et al., 2011 Daebck et al., 2010	Lützendorff und Lorenz, 2005	Köhler, 1999	BMW, 2014 Allianz für nachhaltige Beschaffung Person, 2009 Kern et al., 2015 Berner et al., 2015 Clement et al., 2010	10	
Qualität der Bauteile gewährleisten	BMVBS, 2013/ BMVBS, 2011	Mora, 2007					2	
Qualität der RC-Baustoffe gewährleisten	Daebck et al., 2011	Mora, 2007					2	
ressourcenschonende Verwendung der Baumaterialien	Daebck et al., 2011	ZDB, 2015	ZDB, 2015	Person, 2009	Knappe 2008, USA	Umweltbundesamt, 2010	6	
Strafsysteme entwickeln	Seller, 2005	Daebck et al., 2011	Köhler und Hassler, 1999				3	
Vermarktung/Image der RC-Baustoffe verbessern	Köhler, 1999	Deutscher Abbruchverband e.V., 2007					2	
Vorbildcharakter des Staates gewährleisten	Seller, 2005	Köhler, 1999	Enquête-Kommission, 1994				3	
Vorschriften ausbauen	Clement et al., 2010	Deutscher Abbruchverband e.V., 2007	ZDB, 2015	KfWG	Arendt, 2000	Köhler und Hassler, 1999	BMVBS, 2013 BMVBS, 2011 Daebck et al., 2010 Daebck et al., 2011	9

Abbildung 4-6: Literaturübersicht der Maßnahmengruppen

4.5 Akteursbasiertes Maßnahmenbewertungsmodell (SAM) zur Analyse ressourcenschonender Maßnahmen

4.5.1 Konzept des SAM-Modells

Für die in Kapitel 4.3 analysierten Akteure wurde zunächst auf Basis der Stakeholder-Theorie aus Kapitel 4.2 eine Berechnungslogik entwickelt, um (1) die Eigenschaften und (2) die Beziehungen der Akteure modellieren zu können. Im Anschluss wurde die Berechnungslogik erweitert, um die in Kapitel 4.4 identifizierten (3) Maßnahmen unter Berücksichtigung der Akteure miteinander vergleichen zu können. Auf diese Weise können jene Maßnahmen

identifiziert werden, die am effektivsten zum Ressourcenschutz im Bauwesen im Bauwesen beitragen können. Durch die Kombination der Akteursmodellierung mit der Effizienzbewertung von Maßnahmen entsteht das Akteursbasierte Maßnahmenbewertungsmodell, im Folgenden SAM genannt (**Stakeholder-based Assessment Model for Resource efficiency measures**) (s. Abbildung 4-7).

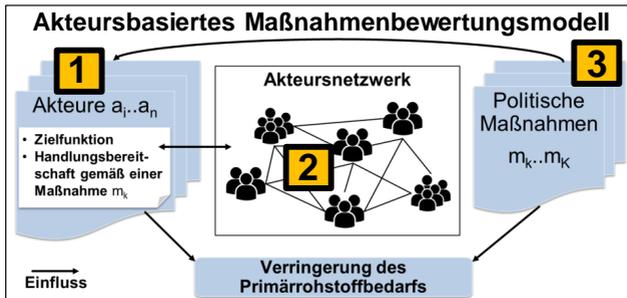


Abbildung 4-7: Entwicklung des Akteursbasierten Maßnahmenbewertungsmodells (SAM)

4.5.2 Berechnungslogik des SAM-Modells

Herleitung Zielfunktion der Akteure

Wie bereits erläutert, sind es die Eigenschaften von Akteuren, die ihr Handeln sowie ihre Wirkung auf andere bestimmen. Ziel ist es daher zunächst für jeden Akteur eine Funktion aufzustellen, die diesen bestmöglich beschreibt. In Kapitel 4.3 wurde evident, dass das primäre Ziel für die Beteiligten die Wirtschaftlichkeit darstellt. Allerdings zeigen alltägliche Beispiele, wie in einem Expertengespräch mit der Firma Feess Erdbau GmbH&CO. KG, dass auch umweltrelevante oder technische Faktoren für den Unternehmenserfolg relevant sind. Um zu analysieren, wie Akteure in ihrem Unternehmensalltag agieren und auf andere Akteure und Maßnahmen reagieren, wird auf die von Kaplan und Norton (1992) entwickelte Balanced Scorecard (BSC) zurückgegriffen. Sie dient dazu auch nicht-monetäre Ziele in die Firmenstrategie zu integrieren (vgl. Diederichs 2012). Die holistische

Betrachtung des Unternehmenserfolges ermöglicht darüber hinaus auch die Entwicklung der passenden Key Performance Indicators sowie die Kontrolle der Zielerreichung (vgl. Diederichs 2012). Die BSC wird im Rahmen der Akteursmodellierung dazu verwendet, die Zielfunktionen der Akteure quantitativ zu definieren. Die relevanten Faktoren der BSC können Abbildung 4-8 entnommen werden. Alle fünf Faktoren verfügen über unterschiedliche Gewichtungen und tragen dementsprechend unterschiedlich stark zur Zielerreichung, dem Unternehmenserfolg, bei. Im Rahmen des Forschungsprojekts soll der Erfolg einzelner Akteure jedoch nicht gemessen werden. Relevant sind also in erster Linie die Gewichtungen der Faktoren und die Wirkung von externen Effekten, wie die Durchführung politischer Maßnahmen, auf die Faktoren der Zielfunktion. Die Gewichtungen, g_{faktor} , der einzelnen Faktoren für die jeweiligen Akteure werden durch die Auswertung der Umfragen und Interviews bestimmt.

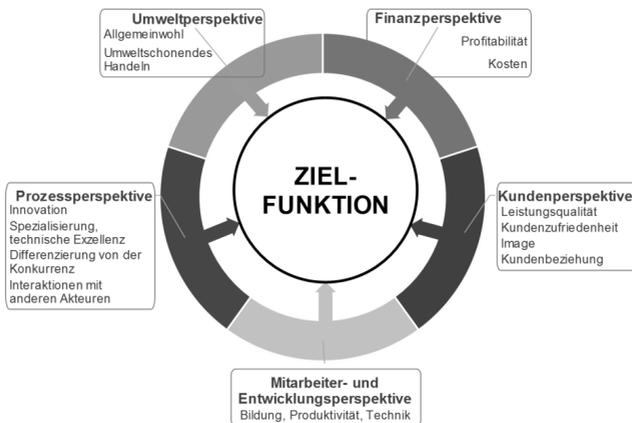


Abbildung 4-8: Faktoren der Balanced Scorecard zur Beschreibung der Akteure (Vgl. Diederichs, 2012; Figge et al., 2002)

Berechnungslogik des akteursbasierten Maßnahmenbewertungsmodells SAM

In SAM werden Akteure A mit einer Maßnahmenmenge M verknüpft. Die Auswirkung $w_{m,a}$ einer Maßnahme $m \in M$ auf den Erfolg des Akteurs $a \in A$ wird mittels Faktoren der Zielfunktion eines jeden Akteurs quantifiziert, die wie beschrieben auf der Balanced Scorecard basiert:

$$\begin{aligned}
 w_{m,a} = & g_{fin_a} * w_{m,fin_a} + g_{kunde_a} * w_{m,kunde_a} + g_{prozess_a} \\
 & * w_{m,prozess_a} + g_{entw_a} * w_{m,entw_a} + g_{umwelt_a} \\
 & * w_{m,umwelt_a}
 \end{aligned} \quad (4-7)$$

$w_{m,a}$ = Einfluss der Maßnahme m auf den Erfolg des Akteurs a [-2;2]

$w_{m,Faktor_a}$ = Auswirkung von m auf Faktor der Zielfunktion von a [-2;2]

g_{Faktor_a} = Gewichtungen der einzelnen Faktoren je Akteur [0;1]

Faktoren: fin_a = Finanzieller Erfolg; $kunde_a$ = Kundenzufriedenheit; $prozess_a$ = Erfolg des Prozessdesigns; $entw_a$ = Entwicklungserfolg; $umwelt_a$ = Erfolg umweltschonenden Verhaltens

Die Stärke $s_{m,a}$ beschreibt die Betroffenheit des Akteurs a durch die Maßnahme m , wodurch dieser zum Handeln bewegt werden kann. Die „vorläufige“ Handlungsbereitschaft $B_{m,a}$ gibt an, wie stark der Akteur bereit ist, im Sinne einer Maßnahme zu agieren. Sie ist „vorläufig“ da die Stakeholder zunächst isoliert betrachtet werden, die Interaktion zwischen den Stakeholdern ist also noch nicht berücksichtigt. Ist $B_{m,a}$ negativ, wird die Maßnahme bei dem Akteur auf Widerstand stoßen. Dabei kann über eine leicht negative Einstellung oder fehlende Unterstützung hinaus der jeweilige Akteur auch gegen die Maßnahme handeln. Bei einer isolierten Betrachtung der jeweiligen Stakeholder entspricht damit die vorläufige Handlungsbereitschaft:

$$B_{m,a} = w_{m,a} * s_{m,a} \quad (4-8)$$

$m_{,a}$ = Bereitschaft zur Ausführung oder Akzeptanz der Maßnahme m von Akteur a [-10;10]

$s_{m,a}$ = Intensität des Einflusses der Maßnahme m auf Akteur a [1;5]

Der netzwerkliche Charakter des Modells wird durch die Betrachtung der gegenseitigen Beeinflussung der Akteure berücksichtigt. Die Einflussstärke $e_{a_i a_j}$ von Akteur a_i auf Akteur a_j bestimmt zusätzlich zur jeweiligen Zielfunktion die Entscheidungen der Akteure. Der konkrete Einfluss von Stakeholder a_i auf Stakeholder a_j in Bezug auf die Maßnahme m wird durch folgenden formellen Zusammenhang beschrieben:

$$E_{a_i a_j}(m) = w_{m,a} * s_{m,a} * e_{a_i a_j} \quad (4-9)$$

$E_{a_i a_j}(m)$ = Einfluss von Stakeholder a_i auf Stakeholder a_j hinsichtlich Maßnahme m [-50;50]

$e_{a_i a_j}$ = Einflussstärke $e_{a_i a_j}$ von Akteur a_i auf Akteur a_j [0;5]

Die Stärke der Beziehungen wird dabei durch einen paarweisen Vergleich nach dem AHP (nach Saaty 1990) bestimmt. Durch die Einflüsse anderer Systemteilnehmer entsteht damit eine erweiterte „zusätzliche“ Handlungsbereitschaft:

$$Infl_a = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i,j=1}^n E_{a_i a_j}(m)}{\frac{1}{n} \sum_{i,j=1}^n e_{a_i a_j}} \quad (4-10)$$

$Infl_a$ = Zusätzliche Handlungsbereitschaft/Akzeptanz von a [-10;10]

n = Anzahl Beteiligter

Da die Akteure überwiegend durch die Optimierung der eigenen Zielfunktion angetrieben wird ergibt sich die erweiterte Handlungsbereitschaft $B'_{m,a}$ zu:

$$B'_{m,a} = \frac{Infl_a + 2 * w_{m,a} * s_{m,a}}{3} \quad (4-11)$$

Weiterhin übt jeder Akteur einen Einfluss r_{α} auf den Ressourcenschutz aus. Der Faktor l_m beschreibt die Auswirkung einer Maßnahme m auf den Ressourcenschutz. Allgemein soll dieser Faktor die Auswirkung der Maßnahmen auf ökologische, ökonomische und soziale Aspekte der Nachhaltigkeit beschreiben (Müller et. al 2017).

Die Effektivität orientiert sich an der Struktur des Vill (Vgl. Kap 3.2), da die erwartete Effektivität durch die relative Stärke der Wirkung einer Maßnahme auf den Ressourcenschutz (Wirkung des Interesses $*$) und der relativen Handlungsbereitschaft (Interesse $)$ bestimmt wird. Da es sich in der Betrachtung um eine gemeinsame Effektivität handelt, wird anschließend über alle Akteure der Durchschnitt gebildet (Müller et. al 2017):

$$Eff(m) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt[3]{\frac{l_m * r_{\alpha_i} * B_{m,\alpha_i}}{250}} \quad (4-12)$$

Eff(m)= Effektivität der Maßnahme m [-1;1] || ***l_m*** = Auswirkung einer Maßnahme m auf den Ressourcenschutz [1;5] || ***r_{α_i}***= Einfluss des Stakeholders α_i auf den Ressourcenschutz [1;5]

Die maßnahmenspezifische Effektivität $Eff(m)$ gibt an, wie viel Prozent der maximalen Wirkung der Maßnahme auf den Ressourcenschutz unter Berücksichtigung der Akteure erreicht werden kann. Die maximale Wirkung entspricht 1 (100%).

4.5.3 Ergebnisse des SAM-Modells

Die Effektivität der Maßnahmen, wird im Folgenden als *akteursbasierte Effektivität der Maßnahmen* definiert und beschreibt das Potenzial einer Maßnahme Ressourcen zu schützen. Für alle Maßnahmengruppen wurden auf Basis des Effekts der Maßnahmen auf den Ressourcenschutz (Abbildung 4-11), der Bereitschaft der Akteure gemäß der Maßnahme zu handeln (Abbildung 4-12) und den Interaktionen zwischen den Akteuren (beides Formel (4-11)) die *akteursbasierte Effektivität der Maßnahme* berechnet (Formel (4-12)) und in Abbildung 4-12 dargestellt.

Auf Basis der Ergebnisse zu den bewerteten Maßnahmengruppen und der Literaturanalyse zu den Maßnahmen aus Kap 4.4 werden im Verlauf die wichtigsten Maßnahmen abgeleitet, die das größte Potenzial aufweisen, die Ressourcen im Bauwesen nachhaltig zu schonen. Die Datenbasis von SAM beruhte zu diesem Zeitpunkt zum einen auf einer Umfrage die an 170 verschiedene Akteure versendet wurde, wovon 10 Rückläufer in das Modell verarbeitet werden konnten. Zum anderen wurden Expertengespräche zur Validierung der Datenbasis geführt. Im Verlauf des Forschungsprojekts wurde die Datenbasis zur Berechnung der Effektivität und des Ressourcenschonungspotenzials der wichtigsten 31 Maßnahmen um 88 weitere Umfrage-Rückläufer erweitert. Davon konnten 40 vollständig als Dateninput verwendet werden. Davon sind 12 Akteure im Bereich Recycling tätig, 4 sind Bauherren, 12 arbeiten im Bereich Planung und 23 im Bereich Bauausführung (Mehrfachnennungen waren möglich). Entsprechend kann die akteursbasierte Effektivität einzelner Maßnahmen, also ohne Aggregation in Gruppen, den Ergebnissen der Berechnungen zu den finalen (wichtigsten) Maßnahmen in Kapitel 4.5.5 entnommen werden.

Identifikation von vier Haupt-Akteursgruppen

In den Expertengesprächen und Umfragen (Fragebögen s. Anlage) wurden unter Anderem auch die Kooperationspotentiale der Akteure zum Ressourcenschutzes abgefragt. Dies wurde genutzt, um bestimmte Akteure in Gruppen zusammenzuschließen, die stärker miteinander vernetzt werden sollten. Dazu konnten die Befragten eine Akteurs-Matrix ausfüllen und mit Punkten von 1 bis 5 das Kooperationspotenzial zwischen den jeweiligen Akteuren bewerten. Es konnten vier Gruppen identifiziert werden:

1. Öffentliche Hand
2. Bauherren und Eigentümer
3. Bauplaner und bauausführende Unternehmen
4. Recycling-, Abbruch- und Entsorgungsunternehmen sowie Baumaterialhersteller

Die öffentliche Hand stellt eine der mächtigsten Gruppierungen dar, obwohl diese nicht direkt am Bauprozess beteiligt ist. Sehr einflussreich und zusätzlich direkt am Bau beteiligt sind Bauherren und Eigentümer. Die Zusammenfassung von Bauplanern und bauausführenden Unternehmen liegt häufig in der Praxis vor, beispielsweise in Form von Generalunternehmern. Unternehmen, die sich mit Abbruch, Recycling und Entsorgung sowie der Baumaterialherstellung befassen bilden ebenfalls eine Gruppe und bieten ein hohes Potential zur Ressourcenschonung. Dies liegt vor allem in den Lieferanten-Produzenten-Beziehungen sowie allgemein in den Produktionsprozessen begründet. Zum Beispiel stellt speziell diese Beziehung einen wichtigen Faktor für den erfolgreichen Vertrieb von RC-Baustoffen dar.

Einflussmacht zwischen den Haupt-Akteursgruppen

Abhängig von jeder Maßnahme kann ein Einflussdiagramm zwischen Akteuren erstellt werden. Je größer der Einfluss eines Akteurs E_{ij} , den ein Stakeholder i auf einen Stakeholder j in Bezug auf die Maßnahme ausübt, umso breiter ist der Pfeil. Zudem wird für jeden Akteur die eigene Bereitschaft, ohne den Einfluss anderer Akteure, angegeben (5 = maximale Bereitschaft, 1 = minimale Bereitschaft) gemäß dieser Maßnahme zu agieren. Abbildung 4-9 veranschaulicht dies exemplarisch für die Maßnahmengruppe „Anreizsysteme entwickeln“.

Aus SAM geht hervor, dass die Akteursgruppe der *Recycling-/Abbruchunternehmen/Entsorger/Baumaterialhersteller* im Vergleich zu den anderen Akteursgruppen zwar die größte Bereitschaft aufweist im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu handeln (x-Achse), gleichzeitig aber am wenigsten Einfluss auf die anderen Akteursgruppen ausüben kann (5 Punkte; 20 = maximaler Wert) (y-Achse); es ihnen also an Durchsetzungskraft mangelt. Die einflussstarke Gruppe der *Bauherren/Eigentümer*, welche wichtige Entscheidungen treffen und zu erbringende Leistungen festlegen, weisen im Bauprozess hingegen eine vergleichsweise geringe Handlungsbereitschaft unter den derzeitigen Rahmenbedingungen auf (s. Abbildung 4-10). Darüber hinaus veranschaulicht die Größe der Kreise den direkten Einfluss der Akteursgruppe

auf den Ressourcenschutz. Dabei wird ersichtlich, dass sich die Stakeholdergruppen gegenseitig ähnlich einflussstark bewerten den Ressourcenschutz positiv zu beeinflussen. Doch wird Bauherren/Eigentümern das höchste Potenzial (4 von 5) zugewiesen.

Maßnahmen	Ø Handlungsbereitschaft der Akteure in %	Akteur mit geringster Handlungsbereitschaft	Hauptdurchführender	Effektivität der Maßnahme in %	Effekt der Maßnahme auf Ressourcenschutz in %
Anreizsysteme entwickeln	40,71	Planer/ Bauauf.	öffentl. Hand	61,48	73,33

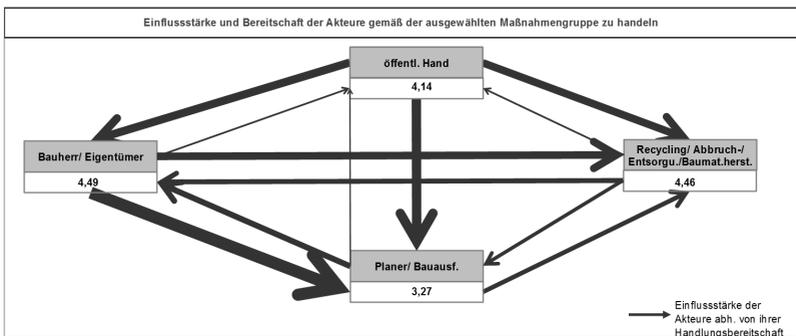


Abbildung 4-9: Einflussstärke und Handlungsbereitschaft der Akteure in Abhängigkeit einer Maßnahmengruppe

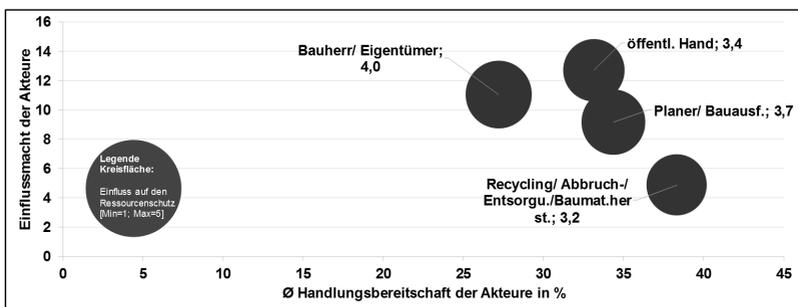


Abbildung 4-10: Auswertung der Handlungsbereitschaft und des Einflusses der Akteure auf den Ressourcenschutz, bewertet durch Selbst- und Fremdeinschätzung von 46 Akteuren

Effektivität der Maßnahmen auf den Ressourcenschutz

Bei der Analyse der Maßnahmen/Instrumente fällt auf, dass rund die Hälfte der besonders ressourcenschonenden Maßnahmen durch die öffentliche Hand, der einflussreichsten Akteursgruppe (vgl. Abbildung 4-10), durchgeführt werden können. Insgesamt ist die Bereitschaft/Akzeptanz bei den Akteuren gering, wenn auch nicht negativ, was bedeutet, dass zwar keine Widerstände abgebaut werden müssen, die Bereitschaft aber dennoch stark gefördert werden muss.

Basierend auf den Literaturrecherchen, Umfragen und Expertengesprächen, hat sich im Hinblick auf Einfluss und Maßnahmenakzeptanz (also die Handlungsbereitschaft) ergeben, dass die öffentliche Hand durch Ihre Einflussmacht auf andere Akteure und auf den Ressourcenschutz stark zum ressourcenschonenden Handeln beitragen kann. Im Einzelnen hat sich herauskristallisiert, dass die öffentliche Hand in ihren Handlungen die fördernde Rolle einnehmen muss, sei es in Form der Schaffung von Anreizen, oder dem Abbau von Hindernissen. Zusätzlich ist die Vorreiterrolle der öffentlichen Hand beim eigenen ressourcenschonenden Handeln von zentraler Bedeutung. Dies kann sich beispielsweise in der expliziten Bevorzugung von RC-Materialien in öffentlichen Bauausschreibungen äußern.

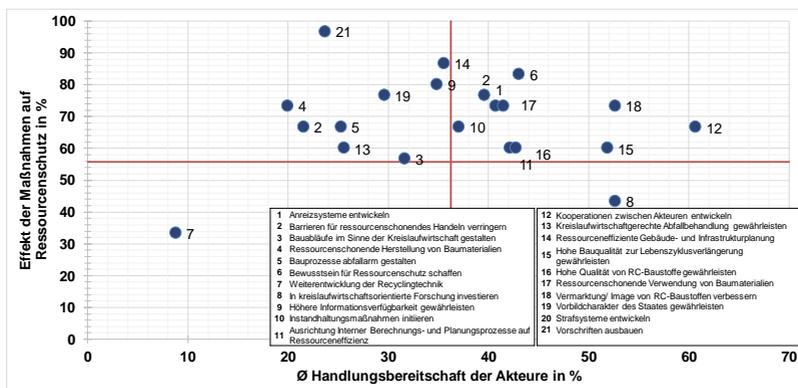


Abbildung 4-11: Auswertung des Effekts der Maßnahmen auf den Ressourcenschutz, bewertet auf Basis von Umfrage 1

Generell sollten aus Handlungs-/Steuerungsperspektive (z.B. öffentliche Hand) alle Maßnahmengruppen/Instrumente des oberen rechten Quadranten aus Abbildung 4-11 und der oberen Hälfte der Abbildung 4-12 den übrigen Instrumenten vorgezogen werden, da diese aufgrund der Einschätzung der befragten Stakeholder am effektivsten zum Ressourcenschutz im Bauwesen beitragen. Eine Entwicklung der Maßnahmengruppen hin zu passenden präzisen Maßnahmen auf Basis der Literaturanalyse und der Ergebnisse von SAM kann entsprechend Kapitel 4.5.4 entnommen werden.

Die befragten Akteure erwarten den stärksten Effekt auf den Ressourcenschutz bei Maßnahmen aus den Gruppen (21) „Vorschriften ausbauen“, (14) „Ressourceneffiziente Gebäude- und Infrastrukturplanung“, (6) „Bewusstsein für Ressourcenschutz schaffen“ und (9) „Höhere Informationsverfügbarkeit gewährleisten“ (vgl. Abbildung 4-11).

Die größte Handlungsbereitschaft der Akteure besteht durchschnittlich bei Maßnahmen aus den Gruppen (12) „Kooperationen zwischen Akteuren entwickeln“, (18) „Vermarktung/Image von RC-Baustoffen verbessern“, (8) „In kreislaufwirtschaftsorientierte Forschung investieren“ und (15) „Hohe Bauqualität von RC-Baustoffen gewährleisten“ (vgl. Abbildung 4-12).

Aus diesen Zwischenergebnissen zu den Maßnahmen geht deutlich hervor, dass die Maßnahmengruppe (6) „Bewusstsein für Ressourcenschutz schaffen“, die einzige ist, die sowohl zu hoher Handlungsbereitschaft als auch zu großen Effekten im Hinblick auf den Ressourcenschutz führt. Mit 60,64 % weist die Maßnahmengruppe (12) „Kooperationen entwickeln“ die größte Akzeptanz / Handlungsbereitschaft der Akteure auf.

Die Maßnahmengruppen mit der höchsten aktorsbasierten Effektivität Ressourcen zu schonen, sind die Maßnahmengruppen (12) „Kooperationen zwischen Akteuren entwickeln“, (18) „Vermarktung/Image von RC-Baustoffen verbessern“, (6) „Bewusstsein für Ressourcenschutz schaffen“ und (14) „Ressourceneffiziente Gebäude- und Infrastrukturplanung“.

4.5.4 Detaillierung der wichtigsten Maßnahmen

Auf Basis der aus der Literaturanalyse abgeleiteten Maßnahmen aus Kapitel 4.4, den Ergebnissen der Umfrage und den Berechnungen aus SAM konnten 31 Hauptmaßnahmen identifiziert werden, die das größte Potenzial aufweisen, die Ressourcen im Bauwesen nachhaltig zu schonen. Wie groß die einzelnen Ressourcenschonungspotenziale dieser 31 Maßnahmen (vgl. Tabelle 4-3) sind, soll im Rahmen von Kapitel 5.3 mit dem **StAR-Bau-Modell** beantwortet werden.

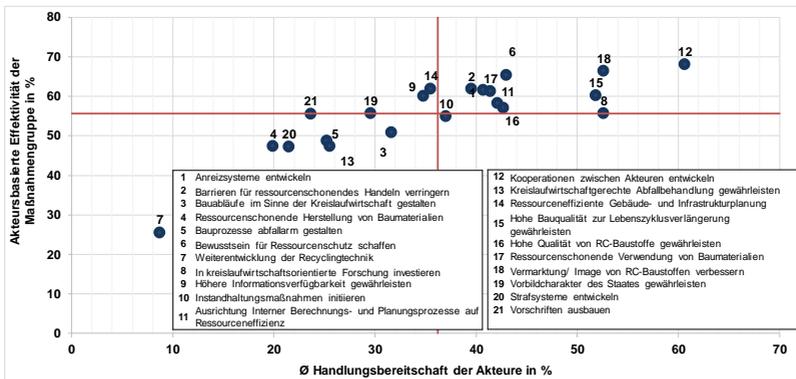


Abbildung 4-12: Auswertung der Effektivität der Maßnahmengruppen und Berücksichtigung der Akteure, bewertet auf Basis von Umfrage 1

4.5.5 Akteursbasierte Effektivität der wichtigsten Maßnahmen

Die Abfrage der Einzelmaßnahmen in der 2. Umfrage hat ergeben, dass die Maßnahmen 18, 12, 13, 14 und 8 die höchste akteursbasierte Effizienz aufweisen und dementsprechend eine hohe Bereitschaft der Akteure existiert im Rahmen dieser Maßnahmen zu agieren bzw. Ihr Handeln entsprechend dieser Maßnahmen auszurichten. Bei den politischen Maßnahmen mit den vier höchsten Effizienzen handelt es sich um Fördermaßnahmen des Staa-

tes. So soll bspw. der selektive Rückbau, der Bereich Forschung und Entwicklung zu Recyclingtechnik, Recyclingbaustoffen und Prozessoptimierung stärker durch staatliche Gelder gefördert werden. Ebenso wird die Einführung einer Mindestquote für den Einsatz von Recyclingbaustoffen bei Neubauten von den Akteuren begrüßt. (s. Tabelle 4-4).

Tabelle 4-3: Wichtigste Ressourcenschonungsmaßnahmen im Bauwesen von Baden-Württemberg, Ergebnis der Befragung, Literaturrecherche und Modellrechnungen

Nr.	Wichtigste Maßnahmen	Maßnahmenkategorie	Effekt
1	Anpassung von Lehrinhalten (z.B. Ingenieure, Architekten) und das Anbieten von Weiterbildungen zur Förderung des Umweltbewusstseins	Informatorisch	unspezifisch
2	Aufbau einer umweltökonomischen Gesamtrechnung als Komplement zur volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung	Informatorisch	unspezifisch
3	Aufbau und Kommunikation eines Stoffbuchhaltungssystems zur Erstellung und Pflege eines Materialpasses / Kataster von Gebäuden (z.B. Welcher Baustoff wurde wann und in welcher Menge verbaut)	Organisatorisch	unspezifisch
4	Bevorzugte Landvergabe/Bauerlaubnis an Bauvorhaben, die überwiegend aus Recyclingbaustoffen erstellt werden	Rechtlich	unspezifisch
5	In Bauprojekt-Ausschreibungen (z.B. vom Staat) sollen ressourcenschonende Lösungen bevorzugt werden	Informatorisch	unspezifisch
6	Zusätzliche Bürokratie/Richtlinien zur Verwendung von Recyclingbaustoffen minimieren	Organisatorisch	unspezifisch
7	Förderung der „freiwilligen“ Wahrnehmung der Produktverantwortung entlang des Lebenszyklus durch Hersteller	Organisatorisch	unspezifisch
8	Einführung einer Mindestquote für den Einsatz von Recyclingbaustoffen bei Neubauten, statt maximaler Begrenzung	Rechtlich	spezifisch
9	Einführung eines Deponieverbots für recyclingfähiges Material	Rechtlich	spezifisch
10	Einführung strengerer Abfallbehandlungs- und Wertungsvorschriften z.B. Strafzahlungen für nicht sachgemäße Entsorgung von Baustoffen	Rechtlich	unspezifisch
11	Erhöhung von Deponiegebühren	Finanziell	unspezifisch
12	Förderung der F&E für Recyclingtechnik sowie neuer Verfahren und Maschinen, um Materialien zu recyceln. (Z.B. Fördern technischer Möglichkeiten im Kunststoffrecycling)	Forschung & Entwicklung	unspezifisch

4 Akteursmodell für nachhaltiges Bauen im Bestand in Baden-Württemberg (AP3)

13	Förderung der Forschung u. Entwicklung neuer umwelt- und recyclingfreundlicher Baustoffe, um „nicht rezyklierbare“ Baumaterialien zu ersetzen	Forschung & Entwicklung	unspezifisch
14	Förderung der Forschung u. Entwicklung zur Verbesserung von Bauprozessen (Ressourceneinsparung durch besseren Materialeinsatz, z.B. weniger Verschnitt, Abfall)	Forschung & Entwicklung	unspezifisch
15	Förderung der Gütesiegelvergabe für Recycling-Betriebe, die Qualitätsstandards erfüllen (mehr Gelder in Fachverbände und Vergabestellen)	Informativ	unspezifisch
16	Förderung der Verwendung von Materialien mit hoher Recyclingfähigkeit (z.B. durch ausgestellte Rücknahmegarantien)	Informativ	spezifisch
17	Förderung/Preise für energieeffiziente/schadstoffarme Materialherstellungsverfahren und Materialhersteller: Nutzen erneuerbarer Energie, effiziente Nutzung von Wasser	Finanziell	unspezifisch
18	Förderung des Selektiven Rückbaus durch Vorgaben in Nachhaltigkeitsbewertungssystemen oder durch Anforderungen bei Vorhaben der öffentlichen Hand	Informativ	unspezifisch
19	Förderung der Informationsverfügbarkeit und des Images des nachhaltigen Bauens (z.B. Einsatz von Recyclingbaustoffen)	Informativ	unspezifisch
20	Förderung von Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette-Bau zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs	Organisatorisch	unspezifisch
21	Förderung freiwilliger Abkommen/Selbstverpflichtungen im Sinne der Ressourcenschonung zwischen Unternehmen sowie zwischen Unternehmen und Staat (Anreize setzen, damit sich Unternehmen selbst verpflichten Ressourcenschonungsziele zu setzen und zu erreichen)	Organisatorisch	unspezifisch
22	Neue Richtlinien/Gesetze zur Gleichstellung von Recycling- und Primärbaustoffen einführen	Rechtlich	spezifisch
23	Förderung der Informationsverfügbarkeit/Transparenz über Abfallvermeidung, Einführung strengerer Abfallbehandlungs- und Verwertungsvorschriften und von Umweltaktivitäten von Unternehmen	Informativ	unspezifisch
24	Neue Finanzprodukte/Kredite/Subventionen für ressourcenschonendes Bauen schaffen (z.B. Recyclingprodukte werden nicht als Risiko bewertet)	Finanziell	spezifisch
25	Mehr Geld für Förderprogramme im Bereich Sanierung - Neue Finanzprodukte/Kredite/Subventionen zur Förderung von Sanierungen schaffen	Finanziell	unspezifisch
26	Weitere Preise für ressourcen-/umweltschonende Bauprojekte vergeben (wie z.B. Holzbaupreis)	Finanziell	unspezifisch

27	Förderung der Berücksichtigung von Recycling-/ Entsorgungskonzepten für eingesetzte Materialien/ Bauteile bei der Gebäudeplanung (Design for Deconstruction)	Organisatorisch	unspezifisch
28	Überprüfung der Mantelverordnung hinsichtlich der Zweckmäßigkeit der Restriktionen und Anpassung der Vorschriften für die Verwendung der RC-Materialien	Rechtlich	unspezifisch
29	Förderung von Eco-Labeling (z.B. blauer Engel) zur besseren Vermarktung von Recyclingbaustoffen	Informatorisch	spezifisch
30	Verstärkte Einbeziehung von Akteuren bei der Planung von Vorschriften/Initiativen	Organisatorisch	unspezifisch
31	Zusatzkosten/Steuern auf den Kauf von Primärrohstoffen	Finanziell	unspezifisch

4.5.6 Kritische Würdigung

Mit SAM können Maßnahmen hinsichtlich ihres allgemeinen Effektes auf den Ressourcenschutz respektive Handlungsbereitschaften und Interdependenzen involvierter Akteure evaluiert werden. Mit der kombinierten Betrachtung von gegenseitiger Beeinflussung und Maßnahmenwirkung auf die Akteure stellt SAM eine Weiterentwicklung und Kombination relevanter Stakeholder-Konzepte dar.

Allerdings werden bisher keine Interdependenzen zwischen Maßnahmen berücksichtigt. Ein simultaner Einsatz verschiedener Maßnahmen kann somit nicht bewertet werden, da entsprechende Wirkungen sich nicht zwingend addieren. Ferner muss die Wirkungsrichtung nicht identisch sein. So könnten zwei Maßnahmen, die in der singulären Betrachtung positive Auswirkungen hinsichtlich des Ressourcenschutzes vorweisen, durch eine kombinierte Anwendung dem Ressourcenschutz schlimmstenfalls entgegenwirken und neutralisieren (Lee, 2013). Andererseits besteht die Möglichkeit, dass sich Maßnahmen gegenseitig verstärken.

4 Akteursmodell für nachhaltiges Bauen im Bestand in Baden-Württemberg (AP3)

Tabelle 4-4: Akteursbasierte Effizienz der wichtigsten Maßnahmen aus Kap. 4.5.4

	Maßnahmen	Akteursbasierte Effizienz [%]
18	Förderung des Selektiven Rückbaus durch Vorgaben in Nachhaltigkeitsbewertungssystemen oder durch Anforderungen bei Vorhaben der öffentlichen Hand	58,8
12	Förderung der F&E für Recyclingtechnik sowie neuer Verfahren und Maschinen, um Materialien zu recyceln. (Z.B. Fördern technischer Möglichkeiten im Kunststoffrecycling)	55,0
13	Förderung der Forschung u. Entwicklung neuer umwelt- und recyclingfreundlicher Baustoffe, um „nicht rezyklierbare“ Baumaterialien zu ersetzen	55,0
14	Förderung der Forschung u. Entwicklung zur Verbesserung von Bauprozessen (Ressourceneinsparung durch besseren Materialeinsatz, z.B. weniger Verschnitt, Abfall)	55,0
8	Einführung einer Mindestquote für den Einsatz von Recyclingbaustoffen bei Neubauten, statt maximaler Begrenzung	50,0
31	Zusatzkosten/Steuern auf den Kauf von Primärrohstoffen	48,3
	Neue Finanzprodukte/Kredite/Subventionen für ressourcenschonendes Bauen schaffen (z.B. Recyclingprodukte werden nicht als Risiko bewertet)	46,7
24		46,7
22	Neue Richtlinien/Gesetze zur Gleichstellung von Recycling- und Primärbaustoffen einführen	45,8
6	Zusätzliche Bürokratie/Richtlinien zur Verwendung von Recyclingbaustoffen minimieren	45,7
25	Mehr Geld für Förderprogramme im Bereich Sanierung - Neue Finanzprodukte/Kredite/Subventionen zur Förderung von Sanierungen schaffen	45,5
	Bevorzugte Landvergabe/Bauerlaubnis an Bauvorhaben, die überwiegend aus Recyclingbaustoffen erstellt werden	44,6
4		44,6
1	Anpassung von Lehrinhalten (z.B. Ingenieure, Architekten) und das Anbieten von Weiterbildungen zur Förderung des Umweltbewusstseins	43,5
	strengerer Abfallbehandlungs- und Verwertungsvorschriften und von Umweltaktivitäten von Unternehmen	43,5
23		43,5
10	Einführung strengerer Abfallbehandlungs- und Verwertungsvorschriften z.B. Strafzahlungen für nicht sachgemäße Entsorgung von Baustoffen	43,2
	Förderung der Verwendung von Materialien mit hoher Recyclingfähigkeit (z.B. durch ausgestellte Rücknahmegarantien)	41,8
16		41,8
26	Weitere Preise für ressourcen-/umweltschonende Bauprojekte vergeben (wie z.B. Holzbaupreis)	40,7
9	Einführung eines Deponieverbots für recyclingfähiges Material	39,8
11	Erhöhung von Deponiegebühren	39,8
	Förderung der Berücksichtigung von Recycling-/Entsorgungskonzepten für eingesetzte Materialien/Bauteile bei der Gebäudeplanung (Design for Deconstruction)	39,5
27		39,5
20	Förderung von Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette-Bau zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs	37,4
	Förderung freiwilliger Abkommen/Selbstverpflichtungen im Sinne der Ressourcenschonung zwischen Unternehmen sowie zwischen Unternehmen und Staat (Anreize setzen, damit sich Unternehmen selbst verpflichten Ressourcenschonungsziele zu setzen und zu erreichen)	37,4
21		37,4
30	Verstärkte Einbeziehung von Akteuren bei der Planung von Vorschriften/Initiativen	37,4
	Aufbau und Kommunikation eines Stoffbuchhaltungssystems zur Erstellung und Pflege eines Materialpasses / Kataster von Gebäuden (z.B. Welcher Baustoff wurde wann und in welcher Menge verbaut)	35,7
3		35,7
19	Förderung der Informationsverfügbarkeit und des Images des nachhaltigen Bauens (z.B. Einsatz von Recyclingbaustoffen)	33,7
	Förderung der Gütesiegelvergabe für Recycling-Betriebe, die Qualitätsstandards erfüllen (Mehr Gelder in Fachverbände und Vergabestellen.)	32,1
15		32,1
	In Bauprojekt-Ausschreibungen (z.B. vom Staat) sollen ressourcenschonende Lösungen bevorzugt werden	31,9
5		31,9
29	Recyclingbaustoffen	30,0
	Aufbau einer umweltökonomischen Gesamtrechnung als Komplement zur volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung	29,6
2		29,6
7	Förderung der „freiwilligen“ Wahrnehmung der Produktverantwortung entlang des Lebenszyklus durch Hersteller	29,6
	Überprüfung der Mantelverordnung hinsichtlich der Zweckmäßigkeit der Restriktionen und Anpassung der Vorschriften für die Verwendung der RC-Materialien	28,9
28		28,9
	Förderung/Preise für energieeffiziente/schadstoffarme Materialherstellungsverfahren und Materialhersteller: Nutzen erneuerbarer Energie, effiziente Nutzung von Wasser	24,2
17		24,2

Insgesamt bietet das Modell durch eine konsistente und fundierte Berechnungslogik eine Basis, um im weiteren Verlauf mit dem Stoffstrommodell gekoppelt zu werden. Es müssen jedoch Ergänzungen vorgenommen werden. Diese betreffen insbesondere die Berücksichtigung von: Wechselwirkungen von Maßnahmen, die unterschiedlichen Wirkungsverläufe der Maßnahmen, da Maßnahmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten wirken und ggfs. auch Anlaufzeiten benötigen und schließlich auch die materialspezifische Wirkung der Maßnahmen. Auf diese Weise soll beachtet werden, dass die Durchführung einer Maßnahme nicht auf alle Materialien die gleiche ressourcenschonende Wirkung entfaltet.

5 Integration der Stoffstrom- und Akteursmodellierung zum StAR-Modell (AP4)

5.1 Vorgehensweise zur Entwicklung des StAR-Modells

Zur Entwicklung des StAR-Modells wurde zunächst ein Konzept erstellt, das sowohl beschreibt, welche Fragestellungen durch das Modell beantwortet werden sollen als auch aufzeigt welche Faktoren zur Zielerreichung zusätzlich noch berücksichtigt werden müssen (vgl. Kap. 5.1.1). Im Anschluss wurden die identifizierten, zusätzlichen Faktoren, wie Wechselwirkungen von Maßnahmen oder Wirkungsverläufe von Maßnahmen in die Modellentwicklung integriert (vgl. Kap. 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4. Nachdem die Berechnungslogik für alle Inputfaktoren formuliert wurde (vgl. Kap. 5.2), konnte die Datenbasis für jeden Inputfaktor übertragen werden. Nach der Fertigstellung des Modells konnten Szenario Rechnungen auf Basis der diskutierten Szenarien aus dem Stoffstrommodell durchgeführt werden. Darauf basierend wurden Maßnahmen ausgewertet, zu Bündeln zusammengeschlossen und die Durchführung von Maßnahmen und Maßnahmenbündeln simuliert. (vgl. Kap. 5.3).

Eine detaillierte Übersicht der einzelnen Arbeitsschritte und zu erreichender Meilensteine, aufbauend auf den Tätigkeiten zur Akteursmodellierung aus dem AP3 bzw. Kapitel 3, kann Abbildung 5-1 entnommen werden.

	AP3: Tätigkeiten Akteursmodellierung	Meilensteine		AP4: Tätigkeiten Gesamtmodell	Meilensteine
I.	Literaturrecherche zu Akteuren im Bauwesen	E	XIV.	Konzeptionierung und Entwicklung des StAR-Bau Gesamtmodells (StAR): (Aufstellen einer Berechnungslogik zur Prognose von Stoffströmen unter Berücksichtigung von Akteuren und Maßnahmen, um Ressourcenschonungspotenziale der Maßnahmen ableiten zu können.	H + J
II.	Expertengespräche mit Akteuren	E	XV.	Integration von Wirkungsverläufen in Gesamtmodell (Aus 2. Umfrage)	H + K
III.	Gestaltung eines Akteursnetzwerks im Bauwesen	E	XVI.	Integration von Maßnahmeninterdependenzen in Gesamtmodell (Aus 2. Umfrage)	H + K
IV.	Durchführung der 1. Umfrage zu Akteuren und Maßnahmen zur Ressourcenschonung	E	XVII.	Integration von Auswirkungen der Maßnahmen auf Stoffströme in Gesamtmodell (allgemeine und spezifische Wirkung) (Aus 2. Umfrage)	H + K
V.	Literaturrecherche Stand der Forschung Akteursmodelle	E	XVIII.	Fertigstellung Gesamtmodell	K
VI.	Konzeptionierung und Entwicklung Akteursmodell / Einflussnetzwerk	F	XIX.	Diskussion der Szenarien und Daten mit Beirat und Konsortium	I + J
VII.	Analyse der Akteure (z.B. Zielfunktionen, Einflussmacht)	F	XX.	Konzeptionierung von Maßnahmenbündeln	M
VIII.	Literaturrecherche zu politischen Maßnahmen für Ressourcenschutz	H	XXI.	Durchführung von Szenarioberechnungen	M
IX.	Herleitung und Gruppierung der Maßnahmen	H	XXII.	Analyse der Ergebnisse	M
X.	Konzeptionierung und Entwicklung eines akteursbasierten Maßnahmenbewertungsmodells (SAM) . (Aufstellen einer Berechnungslogik zur Abschätzung der Effektivität einer Maßnahme Ressourcen zu schützen)	G			
XI.	Analyse der Maßnahmengruppen aus IX hinsichtlich der Maßnahmeneffektivität	H	Legende Meilensteine: E: Konzept für Akteursmodell (literaturbasiert), Akteursumfrage und Expertengespräche F: Abschluss Akteursumfrage, Prototyp Akteursmodell G: Akteursmodell H: Konzept des Gesamtmodells und Definition betrachteter Instrumente I: Mit Projektbeirat abgestimmte Szenarien J: Prototyp des Gesamtmodells K: Gesamtmodell L: Mit Projektbeirat abgestimmte Modellergebnisse M: Handlungsempfehlungen		
XII.	Konkretisierung der Maßnahmen / Aufstellen eines Katalogs mit relevanten politischen Maßnahmen zur Ressourcenschonung (gemäß des akteursbasierten Maßnahmenbewertungsmodells)	H			
XIII.	Durchführung der 2. Umfrage zu Akteuren und politischen Maßnahmen zur Ressourcenschonung	F, H, I			

Abbildung 5-1: Tätigkeiten der Kapitel bzw. Arbeitspakete 3 und 4

5.1.1 Konzept des Gesamtmodells

Das Stoffstrommodell (Kap. 3) wurde mit dem akteursbasierten Maßnahmenbewertungsmodell SAM (Kap. 3) zu einem Gesamtmodell gekoppelt, um Behörden und politischen Entscheidungsträgern als Werkzeug zur Identifikation von Wirkungszusammenhängen und zur Beurteilung von verschiedenen Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft im Bauwesen zu dienen.

Das Gesamtmodell, im Folgenden StAR genannt (Stofffluss- und Akteursmodell zur Ressourcenschonung), berücksichtigt sieben Haupteinflussfaktoren (s. Aufzählung). Die Einflussfaktoren 1. - 4. wurden in den Kapiteln 3 und 4 im Rahmen der Untermodelle berechnet und vorgestellt. Neu sind die Einflussfaktoren 5.-7., deren Konzept im Folgenden kurz näher erläutert werden.

Hauptinflussfaktoren für Gesamtmodell:

1. *Akteurseigenschaften (Ziele, Eigenschaften, Einfluss eines Akteurs auf den Erhalt von Ressourcen) (AP3)*
2. *Akteure in ihren Beziehungen untereinander (Einflussmacht) (AP3)*
3. *Auswirkungen von Maßnahmen auf Akteure (Bereitschaft gemäß einer Maßnahme zu handeln, Betroffenheit des Akteurs durch die Maßnahme) (AP3)*
4. *Stoffströme auf Basis politischer und gesellschaftlicher Rahmenbedingungen (AP2)*
5. *Wirkungsverlauf von Maßnahmen (z.B. Finanziell wirkt schneller als Informativ) (AP4)*
6. *Maßnahmeninterdependenzen (Synergien oder gegenseitiges Abschwächen von Maßnahmenbündeln) (AP4)*
7. *Auswirkungen von Maßnahmen auf Stoffströme (spez. Maßnahmen und allgemeinwirkende Maßnahmen, Größe der Wirkung) (AP4)*

Mithilfe des Modells StAR kann das **Ressourcenschonungspotenzial** der betrachteten Maßnahmen (im Folgenden „**RESPOT**“ genannt) und der Einfluss der Maßnahmen auf zukünftige Stoffströme simuliert werden.

Die jährlichen, prognostizierten Input- und Output-Stoffströme in oder aus dem Bestand sowie die Differenz der Input- und Output-Ströme (Stoffstrom-Bilanz) sind aus dem Stoffstrommodell bekannt. **Eine Vergrößerung der Stoffstrom-Bilanz** im Vergleich zum Vorjahr deutet auf die Verwendung zusätzlichen Primärmaterials hin, z.B. erhöht sich die Bilanz, wenn die Input-Ströme im Vergleich zu den Output-Strömen zunehmen (es kommt also zusätzliches Primärmaterial in den Bestand). Theoretisch wäre auch der Fall denkbar, dass die Bilanz dadurch größer wird, dass weniger Material in den Bestand hinein und mehr Materialströme herausfließen. Entsprechend würde mehr Material verwertet werden und die Bevölkerung (wachsend/

stagnierend) müsste pro Kopf mit weniger umbautem Raum bzw. Infrastruktur zurechtkommen. Dies ist jedoch ein unwahrscheinlicher Fall, der angesichts der prognostizierten Entwicklung auch von anderen Studien nicht großflächig eintreten wird. Höchstens einige schrumpfende Regionen/Kreise könnten davon betroffen sein.

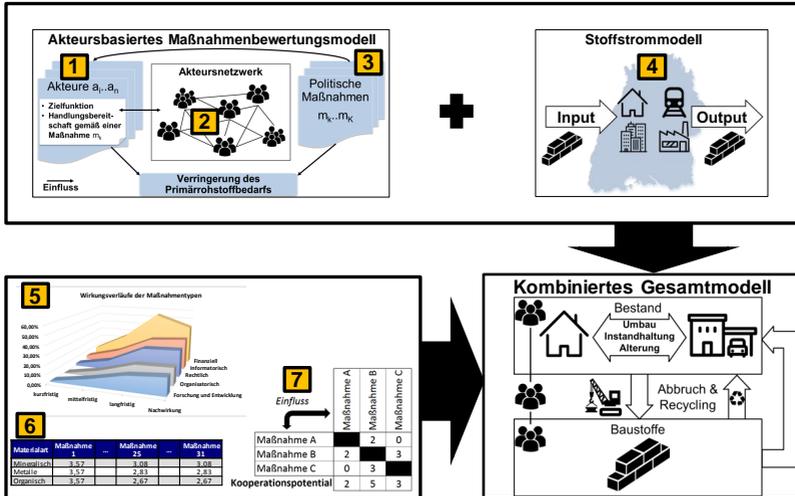


Abbildung 5-2: Gesamtmodell - Sieben Haupteinflussfaktoren

Eine Verkleinerung der Bilanz bedeutet, dass Ressourcenschonungspotenziale (RESPOT) genutzt werden konnten (z.B. durch weniger Primärmaterialnutzung oder höhere Sekundärmaterialnutzung aus dem Output). Dies geschieht bspw. durch die Verlängerung der Lebenszyklen von Bauprodukten bzw. ganzen Gebäuden (Inputströme nehmen ab), oder durch die Vergrößerung des Sekundärmaterialanteils an den Input-Strömen.

Ziel der Anwendung von StAR ist es, jene Maßnahmen zu identifizieren, deren Umsetzung das größte Potenzial haben, die Stoffstrom-Bilanzen der Basisprognosen des Stoffstrommodells zu verkleinern und somit definitiv-entsprechend Ressourcen zu schonen.

5.1.2 Wirkungsverläufe von Maßnahmen

Bei dynamischen Systemen sind Wirkungsverläufe insbesondere relevant, die sich durch eine sich verändernde Art des Einflusses, sich ändernde Intensität der Wirkungen sowie durch den veränderten zeitlichen Verlauf auszeichnen (Jonda, 2005). Hier wird eine kurz- mittel- und langfristige Wirkung sowie eine mögliche Nachwirkung unterschieden. Es wurden fünf Maßnahmenkategorien (Forschung und Entwicklung, Informativ, Organisatorisch, Finanziell, Rechtlich) (vgl. Tabelle 4-2, Tabelle 4-3) mit unterschiedlichen Wirkungsverläufen eingeführt.

Alle 31 im Projekt betrachteten ressourcenschonenden Maßnahmen lassen sich einer dieser fünf Maßnahmenkategorien zuordnen. Der zeitliche Wirkungsverlauf findet durch eine Aufteilung des Betrachtungszeitraums nach der Basisprognose aus dem Stoffstrommodell Eingang in StAR. Zur Aufteilung der Zeiträume gibt es gemäß Tabelle 5-1 in der Literatur unterschiedliche Angaben.

Tabelle 5-1: Zeithorizonte

	Kurzfristig	Mittelfristig	Langfristig
Wünsche (2015)	< 1 Jahr	1 – 5 Jahre	> 5 Jahre
Bölke (2003)	1 – 5 Jahre	6 – 10 Jahre	11 – 20 Jahre
Harlfinger (2006)	Bis 10 Jahre	10-30 Jahre	>30 Jahre

Aufgrund der Trägheit des Systems sowie langer Zeiträume, die in der Bauwirtschaft zu beachten sind, wird eine kurzfristige Perspektive von maximal einem Jahr als zu gering empfunden (Wünsche, 2015). Nach Harlfinger (2006) umfasst die kurz- und mittelfristige Perspektive aggregiert 30 Jahre, was wiederum relativ lang ist. Eine Betrachtung nach Bölke (2003) erscheint entsprechend mit fünf Jahren realistisch. Da von Betrachtungsräumen einer Länge von in etwa 15 bis 30 Jahren ausgegangen wird, werden die Varianten nach Tabelle 5-2 untersucht.

Tabelle 5-2: Untersuchung Betrachtungszeiträume

	Kurzfristig	Mittelfristig	Langfristig
Variante a	1 – 5 Jahre	6 – 10 Jahre	> 10 Jahre
Variante b	Jeweils das gerundete Drittel des gesamten Betrachtungszeitraums		Restlicher Betrachtungszeitraum

Das Ergebnis der Untersuchung ist in Abbildung 5-3 dargestellt. Die Analyse vier möglicher Betrachtungszeiträume zwischen 13 und 30 Jahren zeigen durch die Varianten (a) und (b) die Relevanz der gewählten Aufteilung, durch jeweilige zeitliche Verschiebung. Weiß ist dabei der betrachtete Zeitraum der Basisprognose markiert. Der graue Bereich liegt entsprechend außerhalb des Betrachtungszeitraums der Basisprognose.

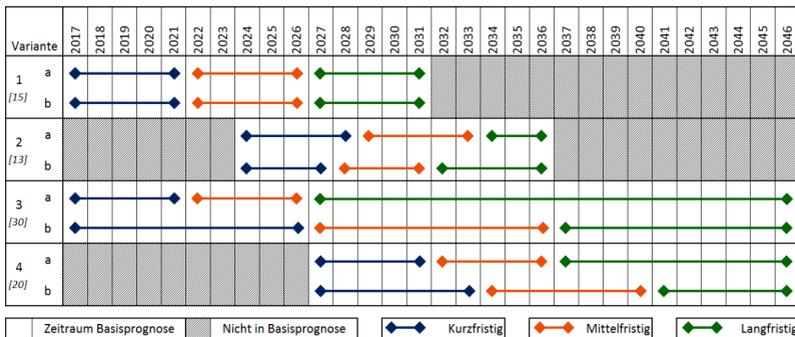


Abbildung 5-3: Aufteilung Zeiträume

So beträgt nach Variante (b) im Betrachtungszeitraum (3) die Länge der kurzfristigen Perspektive zehn Jahre im Vergleich zu den fünf Jahren der ersten Variante. Damit stellt in dem antizipierten Betrachtungszeitraum (2016-2030) von etwa 10 bis maximal 30 Jahren Variante (b) die geeignetste Variante dar. Diese trägt der Abhängigkeit zu beobachtender Entwicklungen vom betrachteten Zeitraum Rechnung. Gleichzeitig bewegen sich entsprechende Abweichungen der Zeiträume in einem realistischen Rahmen.

(2) und (4) sind weitere Beispiele, um die Länge der Perspektiven in Abhängigkeit der Varianten aufzuzeigen. In Fall (2) würde die langfristige Perspektive in Variante a) zu kurz kommen. Im Fall (4) würde die langfristige Perspektive der Variante a), wie auch im Fall (3), ein zu großes Gewicht bekommen.

Für jede der fünf Maßnahmenkategorien wurde in einem ersten Schritt ein charakteristischer Wirkungsverlauf auf Basis der Literatur erstellt (vgl. Abbildung 5-4). Maßnahmen der **Forschung und Entwicklung (F&E)** wirken über den zeitlichen Horizont des Maßnahmeneinsatzes hinaus. Nach Schmidt-Bleek und Klütting (1994) benötigen durchgreifende technische Veränderungen zur Entwicklung und Marktdurchdringung zehn bis zwanzig Jahre. Somit sind hier Veränderungen der Stoffströme in erster Linie langfristig zu erwarten. **Informatorische** Maßnahmen wie Bildungsprogramme dagegen können Akteure zur kritischen Reflexion ihrer Entscheidungen bewegen (Busse, 2012). Solche Maßnahmen entwickeln ihre Wirkung erst im Zeitverlauf (Busse, 2012). Die Zeithorizonte ökologischer Informationen im Unternehmensumfeld sind nach Sepp (1996) meist langfristig. **Organisatorische** Maßnahmen wirken direkt in involvierten Unternehmen oder der Struktur von anderen Stakeholdern. Durch eine differenzierte Ausgestaltung betreffender Maßnahmen und Organisationen wird hier überwiegend auf Maßnahmen referenziert, die eine strukturelle Veränderung erzielen. Dabei wird erwartet, dass solche Veränderungen einen kurz- bis mittelfristigen Anlauf brauchen, um sich auf den Ressourcenschutz auszuwirken. **Finanzielle** Maßnahmen wie eine Anreizschaffung durch zinsgünstige Darlehen sind meist kurzfristig wirksam, allerdings in einigen Fällen nicht nachhaltig. Gleiches gilt für finanzielle Förderungen oder Begünstigungen bei nachhaltigen Bauprojekten, deren mittelfristige Auswirkung auf die Akteursentscheidungen bspw. in (Busse, 2012) angezweifelt wird. **Rechtliche** Maßnahmen wirken effektiv ab dem Zeitpunkt, zu dem eine Vorschrift in geltendes Recht umgesetzt wird. Sobald beispielsweise eingeführte, ressourcenschonende Regulierungen abgeschafft werden, kann im Gegensatz zu einer durch Informationen geschaffenen Motivation die positive Maßnahmenwirkung verschwinden.

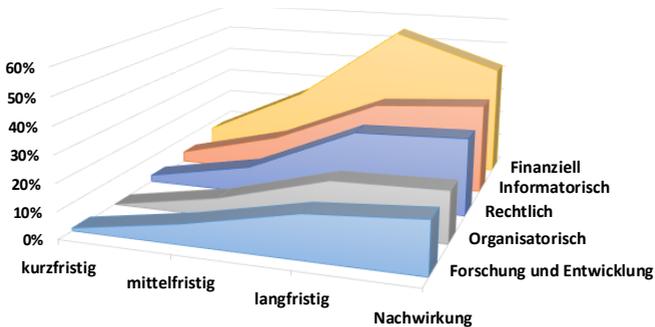


Abbildung 5-4: Generische Wirkungsverläufe der Maßnahmentypen (eigene Darstellung nach Schmidt-Bleek und Klütting 1994, Busse 2012, Sepp 1996)

In einem zweiten Schritt wurden auf Basis der Literaturrecherche und von Expertengesprächen **maßnahmenspezifische Wirkungsverläufe** erstellt, die durch den Projektbeirat und das Projektkonsortium plausibilisiert wurden. Die Wirkungsverläufe sind zunächst unabhängig von der tatsächlichen Größe der Wirkung. Sie geben jeweils den Prozentsatz an, zu dem eine Maßnahme nach Zeitintervall ihre maximal erreichbare Wirkung [100%] erzielt¹. Im Modell gibt es daher bei den Wirkungsverläufen beispielsweise große Unterschiede zwischen „informativ“ und „finanziell“ Maßnahmen². In den Ergebnissen zu den Wirkungsverläufen hat sich herausgestellt, dass vor allem finanzielle Maßnahmen (z.B. Subventionen für Sanierungen, oder Erheben einer Zusatzsteuer auf Primärrohstoffe) über den gesamten Förderzeitraum eine hohe Wirkung entfalten und darüber hinaus je nach

¹ z.B. Subvention für Sanierung, kurzfristige Wirkung: Wie viel Prozent der möglichen Nutzer bewegt die Subvention dazu zu sanieren, statt neu zu bauen? Die maximale Wirkung [100%] wäre, dass sich jeder mögliche Nutzer aufgrund der Subvention für eine Sanierung statt eines Neubaus entscheidet

² Informativische Maßnahmen wie Bildungsprogramme können Akteure zur kritischen Reflexion ihrer Entscheidungen bewegen und entwickeln ihre Wirkung erst im Zeitverlauf (Busse, 2012), sind also langfristig orientiert. Finanzielle Maßnahmen wie eine Anreizschaffung durch zinsgünstige Darlehen sind meist kurzfristig wirksam. Gleiches gilt für finanzielle Förderungen oder Begünstigungen bei nachhaltigen Bauprojekten (Busse, 2012).

Maßnahme auch eine hohe Nachwirkung aufweisen können. Wie erwähnt gibt es allerdings auch finanzielle Maßnahmen, wie kurzfristige günstige Zinsdarlehen, die keine Nachwirkung entfachen.

5.1.3 Maßnahmeninterdependenzen

Neben der absoluten und zeitlichen Wirkung einer Maßnahme müssen beim parallelen Einsatz mehrerer Maßnahmen Wechselwirkungen betrachtet werden. Neben dem absichtlichen Zweck sind daher auch Interdependenzen zu berücksichtigen, die nicht nur aus den Zielsetzungen der Maßnahmen resultieren (Lee, 2013). Über den eigentlichen Maßnahmeneinsatz hinaus kann dies auch der Fall sein, wenn eine Maßnahme noch nach ihrem Einsatz eine Wirkung zeigt. Um Interdependenzen verschiedener Maßnahmen zu analysieren, gibt es bisher wenige Ansätze. Auf Gesetzesesebene erfolgt die Betrachtung der Belastungskumulation durch die Begutachtung der jeweiligen Einzelmaßnahmen hinsichtlich ihrer singulären Attribute. Im Anschluss daran wird die zusammenhängende Wirkung aller betrachteter Maßnahmen untersucht (Lee, 2013). Damit müssen potentielle gegensätzliche, verstärkende sowie neutrale Faktoren der Interdependenzen zwischen Maßnahmen Eingang in die Bewertung mehrerer Maßnahmen finden. Mit dem neuen Ansatz kann ein Maßnahmenkooperationspotential definiert werden, das widerspiegelt, wie kompatibel eine Maßnahme zur simultanen Anwendung mit anderen Maßnahmen ist.

Die Interdependenzen wurden daher in der zweiten Umfrage und durch Expertenbefragungen identifiziert und mit Punkten von 0 (Maßnahmen heben sich auf) bis 4 (Maßnahmen verstärken sich stark) quantifiziert. Prinzipiell basiert dies auf einer symmetrischen Wechselwirkungsanalyse. Um Szenarien mit mehr als zwei Maßnahmen zu quantifizieren, wurden Mittelwerte der Interdependenz-Koeffizienten kalkuliert.

	Maßnahme A	Maßnahme B	Maßnahme C
Maßnahme A		2	0
Maßnahme B	2		3
Maßnahme C	0	3	
Kooperationspotential	2	5	3

Abbildung 5-5: Wechselwirkungen von Maßnahmen

Bei der Auswertung der Interdependenzen hat sich herausgestellt, dass sich die Wirkungen von Maßnahmen zur „Erhöhung von Deponiegebühren“ und Maßnahmen zur „Anpassung von Lehrinhalten (z.B. Ingenieure, Architekten) und das Anbieten von Weiterbildungen zur Förderung des Umweltbewusstseins“ durch eine Bündelung stark verstärken. Die Bündelung der Maßnahmen „Zusätzliche Bürokratie zur Verwendung von RC-Baustoffen minimieren“ und „Einführung strenger Abfallbehandlungs- und Verwertungsvorschriften z.B. Strafzahlungen für nicht sachgemäße Entsorgung von Baustoffen“ hat eine abschwächende Wirkung zur Folge (vgl. Anhang Abbildung D-1).

5.1.4 Auswirkung von Maßnahmen auf Stoffströme

Jede Maßnahme hat eine unterschiedlich starke Wirkung auf die betrachteten Stoffströme und wirkt entweder allgemein, d.h. auf alle Stoffströme³, oder die Maßnahme wirkt stoffstromspezifisch, d.h. die Stoffströme werden je nach Stoff unterschiedlich stark von der Maßnahme beeinflusst⁴. Beispielsweise hätte eine Zusatzsteuer auf bestimmte Primärrohstoffe gemäß der Umfrage eine größere Wirkung auf mineralische Stoffströme (3,08 von 5 Punkten) als auf metallische (2,83 von 5) und organische Stoffströme (2,67 von 5).

³ z.B. Anpassung von Lehrinhalten (z.B. Ingenieure, Architekten) und das Anbieten von Weiterbildungen zur Förderung des Umweltbewusstseins

⁴ z.B. Erheben einer Zusatzsteuer auf bestimmte Primärrohstoffe

5.1.5 Funktionsweise des Tools

Das Modell ist so konstruiert, dass alle Einflussparameter bzgl. der Akteure und Maßnahmen in einem Eingabebereich vom Nutzer einfach verändert bzw. auch ggf. erweitert werden können (vgl. Abbildung 5-6 Schritt 1). Das Modell ermöglicht das Zusammenstellen verschiedener Maßnahmen bei verschiedenen Laufzeiten zu Maßnahmenbündeln (Schritt 2) und simuliert die Entwicklung zukünftiger Stoffstrombilanzen für Baden-Württemberg sowohl kreis- als auch materialspezifisch (Schritt 4).

1. Datenbank (Aktualisierung möglich auf Basis Literatur, Umfragen, etc.)



2. Abfrage der zu simulierenden Maßnahmen

3. Berechnung starten



4. Ergebnisse zu Stoffströmen, RESPOT der Maßnahmen etc., z.B.:

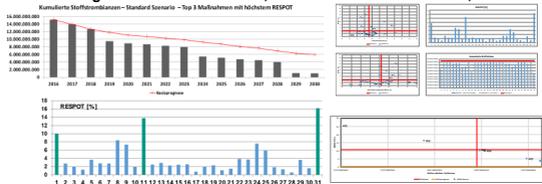


Abbildung 5-6: Funktionsweise StAR-Modell

5.2 Berechnungslogik des StAR-Modells

Bevor das entwickelte Modell in eine Berechnungslogik überführt werden kann, bedarf es zunächst allgemeinen Definitionen von Berechnungsmengen und Grundlagen.

5.2.1 Grundlegende Definitionen

Stoffströme werden im Modell definiert durch die Materialart $mat \in MAT$, ihren Anwendungsbereich $ber \in BER$ und ihr Bezugsjahr $j \in J$.

Jeder so definierte Stoffstrom besitzt eine Basisgröße $S_{ber,mat,j}^b$ sowie eine Transformationsgröße $S_{M_d,ber,mat,j}^t$, die von der Menge durchgeführter Maßnahmen $M_d \subseteq M$ abhängt. Ferner gehört jedes Material $mat \in MAT$ genau einer Materialgruppe $g \in G$ an. Entsprechend gelten folgende Mengendefinitionen und Relationen:

$$\begin{aligned}
 A &:= \text{Menge aller Akteure} \\
 M &:= \text{Menge aller Maßnahmen} \\
 a &:= \text{Durchgeführte Maßnahmen} \\
 &\quad \{m \mid m \in M \wedge \text{Durchfuehrung von } m \\
 &\quad \quad \text{soll simuliert werden}\} \\
 MAT &:= \text{Menge aller Materialien} \\
 G &:= \text{Menge aller Materialgruppen} \\
 BER &:= \text{Menge aller Anwendungsbereiche} \\
 J &:= \{j \mid j \in \mathbb{N} \setminus 0 \wedge j \text{ ist Jahr der Basisprognose}\}
 \end{aligned} \tag{5-13}$$

Die bijektive Abbildung f beschreibt die Zugehörigkeit von Materialien auf die ihnen übergeordneten Gruppen. So gilt $\{Beton\} \in MAT$ und $\{Minerale\} \in G$. Dann legt f fest, dass $\{Beton\} \in \{Minerale\}$.

$$\begin{aligned}
 f: MAT \rightarrow G, mat \mapsto f(mat) := i, \quad mat \in G_{f(mat)} \\
 G_i \cap G_j = \emptyset
 \end{aligned} \tag{5-14}$$

Beginn und Ende des Basiszeitraumes werden als erstes bzw. letztes Jahr der Menge J festgelegt. Weiterhin wird die Dauer des Zeitraums der Basisprognose bestimmt.

$$\begin{aligned}
 Start &:= \min_{j \in J} j \\
 Ende &:= \max_{j \in J} j \\
 Dauer &:= |J|
 \end{aligned} \tag{5-15}$$

Der spezifische Einsatzzeitraum J_m einer konkreten Maßnahme m bestimmt maßgeblich die Auswirkungen einer Maßnahme auf den Ressourcenschutz. $Start_m$ bezeichnet dabei den Einsatzzeitpunkt, zu dem eine

Maßnahme m implementiert wird. Das letzte Jahr, in dem m effektiv eingesetzt wird, beschreibt $Ende_m$.

Damit gilt:

$$J_m \subseteq J \quad (5-16)$$

$$Start_m = \min_{j \in J_m} j \quad (5-17)$$

$$nde_m = \max_{j \in J_m} j \quad (5-18)$$

$$Start \leq Start_m \leq Ende_m \leq Ende \quad (5-19)$$

Ferner kann mit J_t ein von J und J_m abweichender Betrachtungszeitraum festgelegt werden. Für diesen gelten gleiche Relationen wie für J_m . Zwischen J_m und J_t muss keine weitere Relation bestehen.

$$J_t \subseteq J \quad (5-20)$$

$$Start_t = \min_{j \in J_t} j \quad (5-21)$$

$$Ende_t = \max_{j \in J_t} j \quad (5-22)$$

$$Start \leq Start_t \leq Ende_t \leq Ende \quad (5-23)$$

Die betrachteten Stoffströme bezeichnen wie erwähnt Bilanzen. Sie basieren auf In- und Outputs der Basisprognose. Damit werden die Basisgrößen der Stoffströme respektive Gleichung (5-18) wie folgt als Masseströme kalkuliert:

$$S_{ber,mat,j}^b = INPUT_{ber,mat,j}^b - OUTPUT_{ber,mat,j}^b \quad (5-24)$$

$S_{ber,mat,j}^b$ = Bilanz des Materials mat im Anwendungsbereich ber bezogen auf das Jahr j

$INPUT_{ber,mat,j}^b$ = Zugang des Materials mat zum Bauwerks- und Infrastrukturbestand des Anwendungsbereiches ber im Jahr j

$OUTPUT_{ber,mat,j}^b$ = Abgang von mat aus dem Bauwerks- und Infrastrukturbestand des Anwendungsbereiches ber im Jahr j

5.2.2 Transformation

Zur Berechnung bzw. Überführung des Einflusses von Maßnahmen auf Stoffströme, im Folgenden Transformation genannt, dient die Transformationskomponente, die folgenden Zusammenhang beschreibt:

$$S_{M_d,ber,mat,j}^t = S_{ber,mat,j}^b * (1 - \delta_{M_d,mat,j}) \quad (5-25)$$

$$\forall ber \in BER, \quad \forall mat \in MAT, \quad \forall j \in J_t$$

$S_{M_d,ber,mat,j}^t$ = Durch den Maßnahmeneinsatz von M_d transformierte Stoffstrombilanz des Materials mat im Anwendungsbereich ber bezogen auf das Jahr j

$\delta_{M_d,mat,j}$ = Transformationsfaktor in Abhängigkeit des Maßnahmenbündels M_d , des Materials mat und des Jahres j

Sollen Restriktionen, wie Input- oder Output-Obergrenzen beachtet werden, ergeben sich die transformierten Stoffströme wie folgt:

$$S_{M_d,ber,mat,j}^t = \begin{cases} S_{min}(mat), & \text{wenn } S_{ber,mat,j}^b * (1 - \delta_{M_d,mat,j}) \\ S_{max}(mat), & \text{wenn } S_{ber,mat,j}^b * (1 - \delta_{M_d,mat,j}) > S_{max}(mat) \\ S_{ber,mat,j}^b * (1 - \delta_{M_d,mat,j}), & \text{sonst} \end{cases} \quad (5-26)$$

$$\forall ber \in BER, \quad \forall mat \in MAT, \quad \forall j \in J_t$$

$S_{min}(mat)$ = jährliches Minimum einer Materialbilanz je Anwendungsbereich

$S_{max}(mat)$ = jährliches Maximum einer Materialbilanz je Anwendungsbereich

Demnach können jährliche Minima und Maxima der Bilanzen für jeden Anwendungsbereich berücksichtigt werden.

Der Transformationsfaktor $\delta_{M_d,mat,j}$ zur Berechnung des Einflusses von Maßnahmen auf Stoffströme wird in den folgenden Unterkapiteln hergeleitet.

5.2.2.1 Auswirkung einer Maßnahme auf Stoffströme

Zur Simulation der Durchführung aller Maßnahmen der Menge M_d wird für jedes $m \in M_d$ nach Abschnitt 5.1.4 die Auswirkung einer Maßnahme auf die Stoffströme kalkuliert. Dazu wird die Auswirkung einer Maßnahme m

auf einen Stoffstrom des Materials mat betrachtet, der sich gemäß vorangehenden Betrachtungen zu $a_{m,mat}$ ergibt

$$a_{m,mat} = s_{m,mat} * r_{m,mat} \quad (5-27)$$

$a_{m,s}$ = Auswirkung von m auf mat [-5;5]

$s_{m,mat}$ = Wirkungsstärke von m auf mat [1;5]

$r_{m,mat}$ = Wirkrichtung von m respektive mat [-1;1]

5.2.2.2 Wirkungsverlauf

Der Wirkungsverlauf einer spezifischen Maßnahme ergibt sich damit gemäß Abschnitt 5.1.1 zu:

$$e_{m,j} = \begin{cases} e_m(1), & j \in \left[Start_m; Start_m + \left\lfloor \frac{Dauer}{3} \right\rfloor - 1 \right] \\ e_m(2), & j \in \left[Start_m + \left\lfloor \frac{Dauer}{3} \right\rfloor; Start_m + 2 * \left\lfloor \frac{Dauer}{3} \right\rfloor - 1 \right] \\ e_m(3), & j \in \left[Start_m + 2 * \left\lfloor \frac{Dauer}{3} \right\rfloor; Ende \right] \end{cases} \quad (5-28)$$

$e_{m,j}$ = Komponente des Wirkungsverlaufs von m für j , $e_{m,j} \in [0;1]$

$e_m(1)$ = kurzfristige Komponente [0;1]

$e_m(2)$ = mittelfristige Komponente [0;1]

$e_m(3)$ = langfristige Komponente [0;1]

Um diesen Wirkungsverlauf auf den tatsächlichen Einsatzzeitraum zu begrenzen, wird eine Entscheidungsvariable definiert, die angibt, ob die Maßnahme in dem jeweiligen Jahr durchgeführt wird oder nicht:

$$x_{m,j} = \begin{cases} 1, & \text{wenn } m \in M_d \wedge j \geq Start_m \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (5-29)$$

$x_{m,j}$ = Entscheidungsvariable über Einsatz von m in j , $x_{m,j} \in [0;1]$

Zusätzlich zu der kurz-, mittel- und langfristigen Komponente wird die Nachwirkung $n_{m,j}$ betrachtet, die nach der Beendigung eines Maßnahmeinsatzes greift. Dazu wird der Zeitraum wie folgt abgegrenzt:

$$y_{m,j} = \begin{cases} 1, & \text{wenn } m \in M_d \wedge j \geq \text{Ende}_m \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (5-30)$$

$y_{m,j}$ = Entscheidungsvariable über beendeten Einsatz von m in j , $y_{m,j} \in [0;1]$

Nach Formel (5-31) wird die akteursbasierte Maßnahmeneffizienz Eff_m einbezogen. Diese gibt auf Basis der Eingangsgrößen l_m, r_a und $B'_{m,a}$ an wie groß das akteursbasierte Potenzial einer Maßnahme ist, Ressourcen zu schützen (s. Modell SAM Kap. 4.5.2):

$$Eff_m = \frac{1}{|A|} \sum_{a \in A} \sqrt[3]{\frac{l_m * r_a * B'_{m,a}}{250}} \quad (5-31)$$

Eff_m = Akteursbasierte Maßnahmeneffektivität m , [-1;1]

l_m = Auswirkung von m auf den Ressourcenschutz, [1;5]

r_a = Einfluss des Stakeholders a auf den Ressourcenschutz, [1;5]

$B'_{m,a}$ = Bereitschaft zur Ausführung oder Akzeptanz der Maßnahme m von Akteur a , [-10;10]

Um neben der gekoppelten Sichtweise von Stoffströmen und Stakeholdern eine Berechnung des rein stofflichen Potentials zu ermöglichen, erfolgt die Implementierung einer Entscheidungsvariablen:

$$m = \begin{cases} 1, & \text{wenn Akteursnetzwerk einbezogen wird} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (5-32)$$

z_m = Entscheidung, ob Einfluss des Akteursnetzwerks beachtet werden soll, $z_m \in [0;1]$

Dabei muss für eine gemeinsam betrachtete Maßnahmenkombination entschieden werden, ob sie unter dem Aspekt der Akteursbeeinflussung bewertet werden soll oder rein stoffliche Größen und Einflüsse berechnet werden sollen. Daher muss gelten:

$$z_{m_p} = z_{m_q} \quad \forall m_p, m_q \in M_d \quad (5-33)$$

Aus diesen Zusammenhängen resultiert die maßnahmen-, material- und jahresspezifische Transformationskomponente $\delta_{m,mat,j}$ in Abhängigkeit der Entscheidung, ob Akteurseinflüsse berücksichtigt werden sollen. Der Quotient von 5 trägt der Normierung von $a_{m,mat}$ Rechnung.

$$\delta_{m,mat,j} = \begin{cases} \frac{Eff_m * a_{m,mat} * [(e_{m,j} * x_{m,j}) + (n_m * e_{m,Endem} * y_{m,j})]}{5} \\ a_{m,mat} * \frac{[(e_{m,j} * x_{m,j}) + (n_m * e_{m,Endem} * y_{m,j})]}{5}, \end{cases} \quad (5-34)$$

$\delta_{m,mat,j}$ = Prozentuale Änderung von *mat* im Jahr *j* durch *m*, [-1;1]

$n_{m,j}$ = Komponente der Langzeitwirkung von *m* für *j* [0;1]

5.2.2.3 Interdependenzen

Im Modell ist aktuell eine Betrachtung von maximal drei Maßnahmen berechenbar, die gleichzeitig durchgeführt werden können. Mehr als drei Maßnahmen sind im Modell nicht abbildbar, weil plausible Ergebnisse erzeugt werden sollen und durch jede zusätzliche Maßnahme eine höhere Ungenauigkeit erzielt wird (s. Fall mit drei Maßnahmen). Dies führt zur Restriktion

$$|M_d| \leq 3 \quad (5-35)$$

Entsprechend werden die Fälle $|M_d| = 1$, $|M_d| = 2$ sowie $|M_d| = 3$ betrachtet.

Eine Maßnahme

Für den Fall $|M_d| = 1$, d.h. dass nur eine Maßnahme m angewendet werden soll, gilt:

$$M_d = \{m\} \quad (5-36)$$

Damit ergibt sich der Transformationsfaktor zur maßnahmenspezifischen Komponente nach (5-34):

$$\delta_{M_d,mat,j} = \delta_{m,mat,j} \quad \forall mat \in MAT, \forall j \in J \quad (5-37)$$

Zwei Maßnahmen

Für den Fall, dass zwei Maßnahmen im Verlauf eines Jahres J_t angewendet werden sollen, gilt

$$|M_d| = 2 \quad (5-38)$$

und damit

$$M_d := \{m_p, m_q\}, \quad m_p, m_q \in M \quad (5-39)$$

Weiterhin wird durch Restriktion (5-33) festgelegt, dass gilt

$$z_{m_p} = z_{m_q} \quad (5-40)$$

Damit können nach Formel (5-34) die spezifischen Transformationskomponenten $\delta_{m_p,mat,j}$ und $\delta_{m_q,mat,j}$ berechnet werden. Beim Einsatz mehrerer Maßnahmen müssen Interdependenzen im Rahmen der Wechselwirkungsmatrix beachtet werden. Aus der Wechselwirkungsmatrix ergibt sich der Interdependenz-Koeffizient dep_{M_d} für $|M_d| = 2$ wie folgt:

$$dep_{M_d} = \begin{cases} matrix_{m_p m_q}, & j \geq Start_{m_p} \wedge j \geq Start_{m_q} \\ 1, & \text{sonst} \end{cases} \quad (5-41)$$

dep_{M_d} = Interdependenz-Koeffizient des Maßnahmenbündels M_d , [-2;2]

$matrix_{m_p m_q}$ = Eintrag der Wechselwirkungsmatrix der Maßnahmen m_p und m_q , [-2;2]

Durch die Berechnung wird berücksichtigt, dass Wechselwirkungen ab dem Zeitpunkt auftreten, zu dem die betreffenden Maßnahmen erstmals gleichzeitig eingesetzt werden. Damit folgt für den Transformationsfaktor:

$$\delta_{M_d,mat,j} = dep_{M_d} * \sum_{m \in M_d} \delta_{m,mat,j} \quad (5-42)$$

Drei Maßnahmen

Bei drei Maßnahmen muss beachtet werden, dass die Berechnung aufgrund der Vielzahl unsicherer Faktoren, wie z.B. dem Einfluss der Maßnahme p auf Maßnahme q, der Einfluss von Maßnahme p auf Maßnahme r und der Einfluss von Maßnahme q auf Maßnahme r, mit jeder weiteren Maßnahmeninterdependenz zunehmend ungenauere Ergebnisse liefert. Zur Berechnung der kumulierten Interdependenz von drei Maßnahmen wird angenommen, diese am genauesten über den Mittelwert abzubilden, da entsprechende Quantifizierungen in der Literatur nicht vorhanden sind. Für den Fall, dass gilt

$$|M_d| = 3 \quad (5-43)$$

wird festgelegt

$$M_d = \{m_p, m_q, m_r\}, \quad m_p, m_q, m_r \in M \quad (5-44)$$

Analog zu vorherigen Zusammenhängen gilt

$$z_{m_p} = z_{m_q} = z_{m_r} \quad (5-45)$$

Mit den drei Interdependenz-Koeffizienten $matrix_{m_p m_q}$, $matrix_{m_p m_r}$ und $matrix_{m_q m_r}$ aus der Wechselwirkungsmatrix ergibt sich der Interdependenz-Koeffizient

$$dep_{M_d} = \begin{cases} \frac{matrix_{m_p m_q} + matrix_{m_p m_r} + matrix_{m_q m_r}}{3}, & j \geq Start_m \quad \forall m \in M_d \\ matrix_{\alpha, \beta}, & (j \geq Start_\alpha \wedge j \geq Start_\beta \wedge j < Start_\gamma)^* \\ 1, & sonst \end{cases} \quad (5-46)$$

* $\forall \alpha, \beta, \gamma \in M_d$ mit $\alpha \neq \beta \neq \gamma$

Mit den genannten Interdependenz-Koeffizient lässt sich der Transformationsfaktor nach (5-42) berechnen.

5.2.2.4 Maßnahmenkooperationspotential

Ebenso wie die Berechnung der Wechselwirkungsmatrix, welche die Interdependenzen der Maßnahmen untereinander widerspiegelt, ergibt sich das Kooperationspotential einer Maßnahme $m_p \in M$ zu

$$MKOOP(m_p) = \frac{\sum_{\substack{m_q \in M \\ m_q \neq m_p}} matrix_{m_p m_q}}{2 * (|M| - 1)} \quad (5-47)$$

MKOOP(m_p) = Maßnahmen-Kooperationspotential der Maßnahme m_p [-1; 1]

Diese Größe kann als Entscheidungshilfe bei der Szenario-Bildung dienen, da diese angibt wie geeignet eine Maßnahme ist, um mit anderen Maßnahmen kombiniert zu werden.

5.2.2.5 Simultaner Maßnahmenvergleich

In einem integrierten Maßnahmenvergleich, um alle Maßnahmen miteinander zu vergleichen, sollen alle Maßnahmen simultan betrachtet werden. Dazu wird jeweils ein separater Maßnahmen-Einsatz simuliert, der sich über den gesamten Zeitraum der Basisprognose erstreckt. Es wird also nach Abschnitt 5.2.1 eine Maßnahme angewendet (5-48). Damit gelten folgende Spezifikationen:

$$M_d = \{m\} \text{ und damit } |M_d| = 1 \quad (5-48)$$

$$J_m = J_t = J \quad (5-49)$$

$$Start_m = Start_t = Start \quad (5-50)$$

$$Ende_m = Ende_t = Ende \quad (5-51)$$

$$x_{m,j} = 1, \quad \forall j \in J \quad (5-52)$$

$$y_{m,j} = 0, \quad \forall j \in J \quad (5-53)$$

Da der Maßnahmeneinsatz über den Zeitraum der Basisprognose erfolgt, gilt (5-49) und (5-50) und (5-51) sind die logische Konsequenz daraus, da die Maßnahmen über den gesamten Betrachtungszeitraum laufen und damit im 1. Jahr der Basisprognose starten und im letzten Jahr der Basisprognose enden. Weiterhin folgen Formeln (5-52) und (5-53) aus dem Einsatzzeitraum, da keine Nachwirkung einsetzen kann, bzw. diese entsprechend vorangehender Ausführungen mit 100 % quantifiziert werden würde. Eine Nachwirkung kann im Betrachtungszeitraum nur abgebildet werden, wenn die Durchführung der Maßnahme schon vor dem Ende des Betrachtungszeitraums endet. (vgl. Kap. 5.2.2.2). Aus diesen Spezifika resultiert folgende Wirkungskomponente, die über den gesamten Zeitraum Anwendung findet:

$$e_{m,j} = \begin{cases} e_m(1), & j \in \left[\text{Start}; \text{Start} + \left\lceil \frac{\text{Dauer}}{3} \right\rceil - 1 \right] \\ e_m(2), & j \in \left[\text{Start} + \left\lceil \frac{\text{Dauer}}{3} \right\rceil; \text{Start} + 2 * \left\lceil \frac{\text{Dauer}}{3} \right\rceil - 1 \right] \\ e_m(3), & j \in \left[\text{Start} + 2 * \left\lceil \frac{\text{Dauer}}{3} \right\rceil; \text{Ende} \right] \end{cases} \quad (5-54)$$

Entsprechend vereinfacht sich (5-34) zu dem folgenden maßnahmenspezifischen Transformationsfaktor:

$$\delta_{m,mat,j} = \begin{cases} \frac{\text{Eff}_m * a_{m,mat} * e_{m,j}}{5}, & z_m = 1 \\ \frac{a_{m,mat} * e_{m,j}}{5}, & z_m = 0 \end{cases} \quad (5-55)$$

5.2.3 Summe der Stoffströme und Ressourcenschonungspotenzial

Die Aggregation der Stoffströme und die Berechnung der Maßnahmenwirkung zur Ergebnisbewertung findet in mehreren Stufen über Summierungen (*Sum*) statt. Eine Aggregation der Stoffe über den Betrachtungszeitraum *J* sowie nach Anwendungsbereich *BER* kann folgendermaßen abgeleitet werden:

$$Sum_{M_d,mat}^t = \sum_{ber \in BER} \sum_{j \in J_t} S_{M_d,ber,mat,j}^t, \quad \forall mat \in MAT \quad (5-56)$$

Zunächst werden die jeweiligen Größen nach Materialgruppen zu gruppierten Stoffströmen kumuliert:

$$um_{M_d,ber,g,j}^t = \sum_{mat \in G_f(mat)} S_{M_d,ber,mat,j}^t \quad \forall ber \in BER, \quad (5-57)$$

$$\forall g \in G, \quad \forall j \in J$$

In Verbindung mit (5-56) resultieren daraus gruppierte, maßnahmenpezifische Stoffströme des Stoffes g über den gesamten Zeitraum:

$$Sum_{M_d,g}^t = \sum_{ber \in BER} \sum_{j \in J_t} S_{M_d,ber,g,j}^t, \quad \forall g \in G \quad (5-58)$$

Diese können weiter aggregiert werden zur gesamten Maßnahmensumme kumulierter Stoffströme, d.h. der kumulierten Stoffströme im Betrachtungszeitraum, die durch die Maßnahme reduziert werden können:

$$Sum_{M_d}^t = \sum_{g \in G} Sum_{M_d,g}^t \quad (5-59)$$

Die Ergebnisse aus den aktors- und maßnahmenpezifischen Berechnungen können nun den Summen aus dem Stoffstrommodell gegenübergestellt werden, die auf Basis folgender Formeln berechnet werden können:

$$Sum_{mat}^b = \sum_{ber \in BER} \sum_{j \in J_t} S_{ber,mat,j}^b, \quad \forall mat \in MAT \quad (5-60)$$

$$Sum_{ber,g,j}^b = \sum_{mat \in G_f(mat)} S_{ber,mat,j}^b \quad (5-61)$$

$$\forall ber \in BER, \quad \forall g \in G, \quad \forall j \in J$$

$$Sum_g^b = \sum_{ber \in BER} \sum_{j \in J_t} S_{ber,g,j}^b, \quad \forall g \in G \quad (5-62)$$

$$Sum^b = \sum_{g \in G} S_g^b \quad (5-63)$$

Anhand beider Berechnungen kann über den Betrachtungszeitraum das RESPOT des Maßnahmenbündels M_d , berechnet werden (s. Formel (5-64)). Damit kann die mögliche Reduktion der Stoffströme im Vergleich zur Basisberechnung ohne Akteurs- und Maßnahmeneinfluss berechnet werden. zu der prozentualen Abweichung der gruppierten, maßnahmenspezifischen Stoffströme nach:

$$RESPOT_{M_d} = \frac{Sum^b - Sum_{M_d}^t}{Sum^b} \quad [\%] \quad (5-64)$$

Weiterhin können die möglichen Reduktionspotenziale auch für jedes einzelne Material berechnet werden:

$$Total_{M_d,mat} = \frac{Sum_{mat}^b - Sum_{M_d,mat}^t}{Sum_{mat}^b} \quad (5-65)$$

5.3 Ergebnisse des StAR-Modells

Ziel der Analyse ist es, jene Maßnahmen zu identifizieren deren Umsetzung das größte Potenzial haben die Stoffstrombilanzen aus dem Stoffstrommodell zu verkleinern und somit definitionsgemäß Ressourcen geschont werden können.

Untersuchungsrahmen für das vorliegende Projekt StAR-Bau war eine Betrachtung für das Bundesland Baden-Württemberg. Dazu wurden im Folgenden unterschiedliche Szenarien zunächst für ganz Baden-Württemberg und anschließend spezifisch für einzelne Kreise berechnet. Diese Szenarien sind identisch zu den aufgestellten Szenarien aus Kapitel 3, auf deren Basis die Basisprognosen zu den Stoffströmen durchgeführt wurden. Zusammengefasst charakterisieren sich die Szenarien wie folgt:

- Standardszenario: Realistisch zu erwartende Stoffströme durch realitätsnah angenommene Sanierungsraten und Ersatzneubaubedarfe
- Min-Szenario: Geringe zu erwartende Stoffströme durch minimale, angenommene Sanierungsraten und minimalen Ersatzneubaubedarf
- Max-Szenario: Hohe zu erwartende Stoffströme durch maximal, angenommene Sanierungsraten und maximalen Ersatzneubaubedarf

Nach Analyse der zu erwartenden Stoffströme (Standardszenario) und den geeignetsten Maßnahmen diese Stoffströme zu reduzieren, wurden Analysen auf Kreisebene durchgeführt. Es wurde untersucht, in welchen Kreisen die Maßnahmen das größte Ressourcenschonungspotenzial aufweisen. Auf diese Weise wird in Bezug auf das Erarbeiten von Handlungsempfehlungen für kommunale Entscheidungsträger erkennbar, wo die Maßnahmen den größten Nutzen entfalten würden. Die Modellergebnisse basieren auf den in den Kapiteln 2 bis 5.2 beschriebenen Eingangsgrößen und Berechnungslogiken.

5.3.1 Standardszenario Baden-Württemberg

Zunächst wurde für Baden-Württemberg eine Auswertung aller Maßnahmen hinsichtlich ihres Ressourcenschonungspotenzials (RESPOT) auf Basis des Standardszenarios durchgeführt (vgl. Abbildung 5-7). Das Standardszenario bildet das wahrscheinlichste Szenario zur Stoffstromentwicklung ab und wurde, wie auch weitere Szenarien, mit dem Projektbeirat und -konsortium abgestimmt.

Bei der Berechnung des Standardszenarios weisen die Maßnahmen 1, 11 und 31 das höchste RESPOT unter Berücksichtigung aller 7 Einflussfaktoren auf. Maßnahme 31 (Zusatzkosten/Steuern auf Kauf von Primärrohstoffen) weist im Standardszenario ein RESPOT von 14,2 %, Maßnahme 11 (Erhöhung von Deponiegebühren) von 12,5 % und Maßnahme 1 (Anpassung von Lehrinhalten (z.B. Ingenieure, Architekten) und Weiterbildungen zur Förderung des Umweltbewusstseins) von 9,3 % auf. Werden diese 3 Maßnahmen auf Basis der Interdependenzen zu einem Maßnahmenpaket gebündelt

Vergleicht man die Maßnahmen weiterhin anhand ihrer Rubriken, wird deutlich, dass finanzielle Maßnahmen, dargestellt als Version V(5) (vgl. Abbildung 5-8), den stärksten Einfluss ausüben können, die Ressourcen zu schonen. Den schwächsten Einfluss bis 2030 haben Maßnahmen zur Förderung der Forschung und Entwicklung. Die Top 3 der *finanziellen Maßnahmen* sind: (31) Zusatzkosten/Steuern auf Kauf von Primärrohstoffen, (11) Erhöhung von Deponiegebühren und (24) Neue Finanzprodukte/Kredite/Subventionen für ressourcenschonendes Bauen schaffen (z.B. Recyclingprodukt wird nicht als Risiko bewertet). Gebündelt weisen diese Maßnahmen im Anwendungszeitraum 2019-2030 ein RESPOT von 19,9 % auf.

Die Top 3 Maßnahmen aus der Rubrik *Forschung und Entwicklung*, die gebündelt von 2019-2030 ein RESPOT von 4,4 % bewirken können, sind die Maßnahmen (13), (12) und (14): (13) Förderung der Forschung u. Entwicklung neuer umwelt- und recyclingfreundlicher Baustoffe, um „nicht rezyklierbare“ Baumaterialien zu ersetzen, (12) Förderung der F&E für Recyclingtechnik sowie neuer Verfahren und Maschinen, um Materialien zu recyceln (Z.B. Fördern technischer Möglichkeiten im Kunststoffrecycling) und (14) Förderung der Forschung u. Entwicklung zur Verbesserung von Bauprozessen (Ressourceneinsparung durch besseren Materialeinsatz, z.B. weniger Verschnitt, Abfall).

Würde das Maßnahmenbündel mit den Top 3-Maßnahmen aus Version (1) von 2019-2030 eingeführt werden, könnte dies absolut gesehen zu einer Verringerung der kumulierten Stoffstrombilanzen der Jahre 2018-2030 von **119 Mio. t** (rote Linie) **auf 82 Mio. t Baustoffe** führen (Summe der grauen Balken) (vgl. Abbildung 5-9). Unter den roten Linien der Basisprognose stellen die grauen Zylinder die zu erwartende Stoffstrombilanz des jeweiligen Jahres dar. Es ist zu erkennen, dass sich die Maßnahmen erst nach ein paar Jahren entfalten und mit zunehmender Dauer immer größere Auswirkungen auf die Stoffströme entfalten können. Dadurch ist ersichtlich, dass die Lücken zwischen der Basisprognose und der Prognose unter Berücksichtigung der Durchführung des Maßnahmenbündels der Version V(1) stetig

größer werden. Es benötigt also eine gewisse Anlaufzeit, bis sich die Strukturen im Bauwesen bzw. die der verwandten Prozesse verändern.

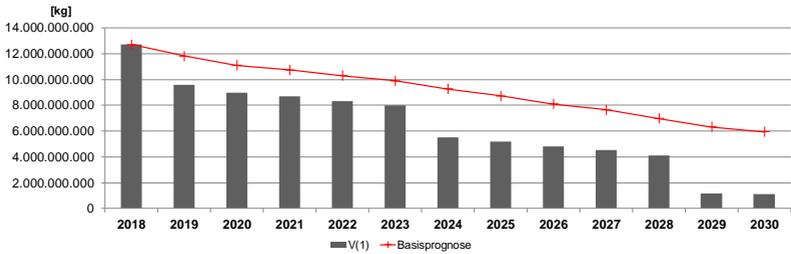


Abbildung 5-9: Basisprognose der Stoffstrombilanzen 2018-2030 im Standardszenario und mögliche Veränderung der Stoffströme bei Durchführung der Top 3-Maßnahmen mit höchstem RESPOT von 2019-2030 durch V(1) = Maßnahmenbündel der Maßnahmen 1, 11 und 31

Diese 82 Mio. t Baustoffe, die nach aktueller Berechnung zwischen 2018 und 2030 netto neu in den Bestand von Baden-Württemberg fließen würden, setzen sich insbesondere aus 24,3 Mio. t Mauerwerk, 18,3 Mio. t Beton, und 13,0 Mio. t ungebundenen Materialien zusammen. Vor allem im Bereich Holz, Asphalt und sonstigen Materialien wie Estrich, Putz und Lehm würden die Maßnahmen zu den größten relativen Einsparungen führen. Der Bedarf an Bauprodukten aus neu produzierten und verarbeiteten Holzwerkstoffen der Klassen III und IV könnte bspw. um ca. 43 % reduziert werden und in eine negative in eine positive Bilanz umgewandelt werden, was bedeutet, dass weniger in den Bestand fließt, als ihm entnommen wird.

Auch bei den anderen Materialkategorien sind entsprechend der Modellergebnisse ca. 30% Einsparungspotenzial vorhanden, außer bei Glas (ca. 25 %) und bei Leichtbaustoffen (ca. 17 %).

Material	Summe [Mio. t]	Einsparung
Beton	18,3	29,7%
Mauerwerk (>2000 kg/m ³)	24,3	31,4%
Leichtbaustoffe (<2000 kg/m ³)	5,8	17,3%
Dachziegel (nicht Betonsteine)	0,9	32,0%
Gips	2,2	31,3%
ungebundene Materialien	13,0	34,8%
Glas	1,3	25,2%
Asphalt	7,8	35,3%
Sonstiges (Estrich, Putze, Keramik, Lehme, etc.)	2,1	30,7%
Eisen	1,4	29,0%
NE-Metalle	0,8	31,7%
Holz (I+II)	0,9	30,4%
Holz (III+IV)	-0,02	42,8%
Kunststoffe - PVC, EPS, PE, Sonstige	0,1	31,4%
Textilien	0,02	28,7%
Daemnstoffe	3,3	30,2%

Abbildung 5-10: Kumulierte Materialströme 2018-2030 im Standardszenario bei Durchführung der Top-3-Maßnahmen von 2019-2030 (inkl. Einsparungen) und dadurch erzielte Ressourceneinsparung in [%]

5.3.2 Szenario Maximale Stoffströme Baden-Württemberg

In den Berechnungen auf Basis der maximal zu erwartenden Stoffströme, im Folgenden Max-Szenario genannt, wiesen die Maßnahmen 1, 11 und 31, wie schon im Standardszenario (vgl. Abschnitt 5.3.1), das höchste RESPOT auf. Die Top 3-Maßnahmen wurden dabei im Modell erneut von 2019-2030 durchgeführt. Maßnahme 31 (Zusatzkosten/Steuern auf Kauf von Primärrohstoffen) hat ein RESPOT von 15,2 %, Maßnahme 11 (Erhöhung von Deponiegebühren) von 13,1 % und Maßnahme 1 (Anpassung von Lehrinhalten (z.B. Ingenieure, Architekten) und Weiterbildungen zur Förderung des Umweltbewusstseins) von 9,6 %. Werden diese 3 Maßnahmen auf Basis der Interdependenzen zu einem Maßnahmenpaket gebündelt, hat dies für

2019-2030 ein **RESPOT von 32,44%**⁶ zur Folge. Absolut betrachtet könnte dies zu einer Verringerung der kumulierten Stoffstrombilanzen der Jahre 2018-2030 von **172 Mio. t** (rote Linie) **auf 116 Mio. t Baustoffe** führen (Summe der grauen Balken) (vgl. Abbildung 5-12).

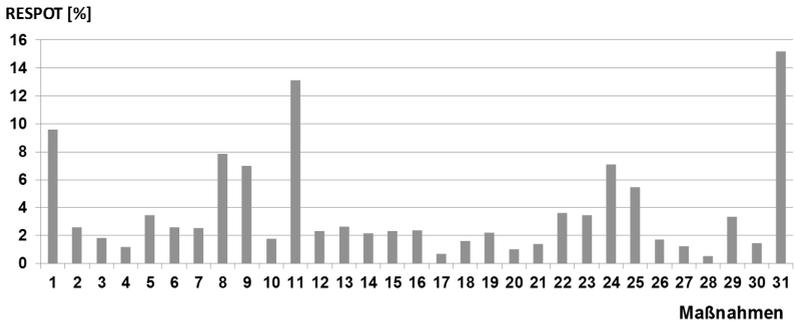


Abbildung 5-11: Kumuliertes RESPOT [%] der 31 wichtigsten Maßnahmen zwischen 2018-2030 im Max-Szenario in Baden-Württemberg

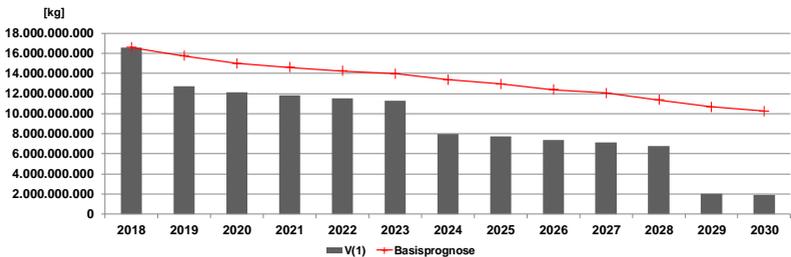


Abbildung 5-12: Basisprognose der Stoffstrombilanzen 2018-2030 im Max-Szenario in Baden-Württemberg und mögliche Veränderung der Stoffströme durch Durchführung der Top3 Maßnahmen mit höchstem RESPOT von 2019-2030

Nachfolgende Maßnahmen 8, 9 und 24 weisen das nächsthöhere Ressourcenschonungspotenzial auf. Maßnahme (8) ist die Einführung einer Mindestquote für den Einsatz von Recyclingbaustoffen bei Neubauten, statt

⁶ Aufgrund der Interdependenz dieser drei Maßnahmen ergibt sich laut Modell eine RESPOT von 32,44%.

maximaler Begrenzung, Maßnahme (9) ist die Einführung eines Deponieverbots für recyclingfähiges Material und Maßnahme (24) sind Neue Finanzprodukte/Kredite/Subventionen für ressourcenschonendes Bauen schaffen (z.B. Recyclingprodukte werden nicht als Risiko bewertet).

Diese 116 Mio. t Baustoffe, die laut der Modellrechnungen in diesem Szenario netto neu in den Bestand fließen würden, setzen sich vor allem aus 35,1 Mio. t Mauerwerk, 28,8 Mio. t Beton, und 14,1 Mio. t ungebundenen Materialien zusammen. Im Max-Szenario würden die Top 3-Maßnahmen, vor allem im Bereich Holz zu den größten relativen Einsparungen führen. Der Bedarf an neu produzierten und verarbeiteten Bauteilen aus Holz und Holzwerkstoffen der Klassen III und IV könnte um ca. 47 % reduziert werden. Die prozentuale Einsparung der anderen Materialkategorien liegt bei fast allen Kategorien um die 30% (vgl. Abbildung 5-13).

Material	Summe [Mio. t]	Einsparung
Beton	28,8	32,2%
Mauerwerk (>2000 kg/m3)	35,1	32,8%
Leichtbaustoffe (<2000 kg/m3)	10,2	27,7%
Dachziegel (nicht Betonsteine)	1,2	33,1%
Gips	3,1	32,8%
ungebundene Materialien	14,1	35,0%
Glas	2,5	31,7%
Asphalt	7,8	35,3%
Sonstiges (Estrich, Putze, Keramik, Lehme, etc.)	3,0	32,6%
Eisen	2,1	32,0%
NE-Metalle	1,2	33,0%
Holz (I+II)	1,3	32,6%
Holz (III+IV)	0	46,8%
Kunststoffe - PVC, EPS, PE, Sonstige	0,1	32,9%
Textilien	0,04	32,1%
Daemmstoffe	5,0	32,6%

Abbildung 5-13: Kumulierte Materialströme 2018-2030 im Max-Szenario bei Durchführung der Top 3-Maßnahmen in Baden-Württemberg von 2019-2030 und dadurch erzielte Ressourceneinsparung in [%]

5.3.3 Szenario Minimale Stoffströme Baden-Württemberg

In den Berechnungen auf Basis der minimal zu erwartenden Stoffströme, im Folgenden Min-Szenario genannt, wiesen ebenfalls die Maßnahmen 1, 11 und 31, wie schon im Standard- und Max-Szenario, das höchste RESPOT in Baden-Württemberg auf. Maßnahme 31 (Zusatzkosten/Steuern auf Kauf von Primärrohstoffen) hat hier ein RESPOT von 13,5%, Maßnahme 11 (Erhöhung von Deponiegebühren) von 12,1% und Maßnahme 1 (Anpassung von Lehrinhalten (z.B. Ingenieure, Architekten) und Weiterbildungen zur Förderung des Umweltbewusstseins) von 9,2%. Werden diese 3 Maßnahmen auf Basis der Interdependenzen zu einem Maßnahmenpaket gebündelt, hat dies ein **RESPOT von 29,62%**⁷ zur Folge. Würde dieses Maßnahmenbündel von 2019 - 2030 in Baden-Württemberg eingeführt werden, könnte dies zu einer Verringerung der kumulierten Stoffstrombilanzen der Jahre 2018-2030 von **102 Mio. t** (rote Linie) **auf 72 Mio. t Baustoffe** führen (Summe der grauen Balken) (vgl. Abbildung 5-12).

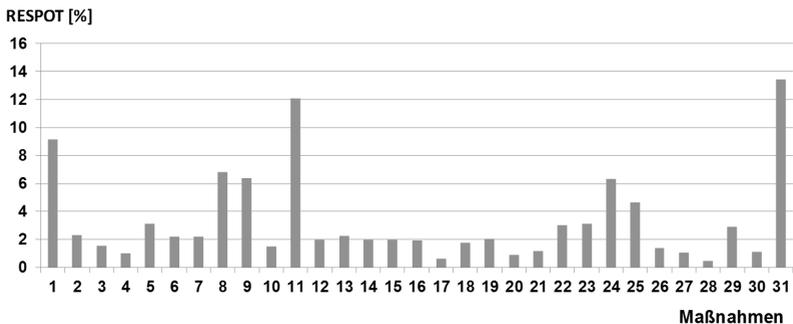


Abbildung 5-14: Kumuliertes RESPOT [%] der 31 wichtigsten Maßnahmen zwischen 2018-2030 im Min-Szenario in Baden-Württemberg

⁷ Aufgrund der Interdependenz dieser drei Maßnahmen ergibt sich laut Modell eine RESPOT von 29,62%.

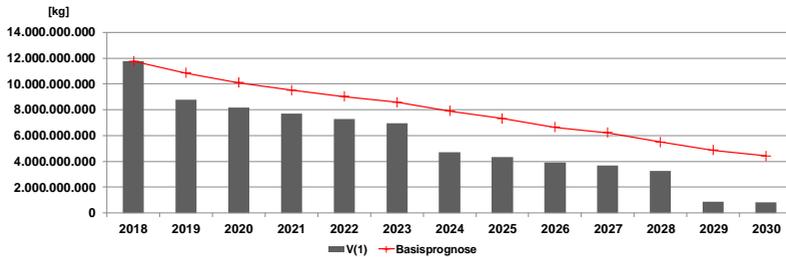


Abbildung 5-15: Basisprognose der Stoffstrombilanzen 2018-2030 im Min-Szenario und mögliche Veränderung der Stoffströme durch Durchführung der Top 3-Maßnahmen mit höchstem RESPOT von 2019-2030 in Baden-Württemberg

Die 72 Mio. t Baustoffe, die nach den Modellberechnungen in Baden-Württemberg zwischen 2018-2030 netto neu in den Bestand fließen würden, setzen sich vor allem aus 20,5 Mio. t Mauerwerk, 13,5 Mio. t Beton, und 12,6 Mio. t ungebundenen Materialien zusammen. Im Min-Szenario würden die Top 3-Maßnahmen, vor allem im Bereich Holz zu den größten relativen Einsparungen führen. Der Bedarf an neu produzierten und verarbeiteten Bauteilen aus Holz und Holzwerkstoffen der Klassen III und IV könnte um ca. 46 % reduziert werden. Die prozentuale Einsparung der anderen Materialkategorien liegt bei fast allen Kategorien (außer Glas und Leichtbaustoffe) um die 25-30% (vgl. Abbildung 5-16).

Material	Summe [Mio t.]	Einsparung
Beton	13,5	26,7%
Mauerwerk (>2000 kg/m³)	20,5	30,4%
Leichtbaustoffe (<2000 kg/m³)	7,2	18,1%
Dachziegel (nicht Betonsteine)	0,8	31,4%
Gips	1,9	30,3%
ungebundene Materialien	12,6	34,7%
Glas	0,8	13,5%
Asphalt	7,8	35,4%
Sonstiges (Estrich, Putze, Keramik, Lehme, etc.)	1,8	29,4%
Eisen	1,0	25,4%
NE-Metalle	0,7	30,8%
Holz (I+II)	0,7	28,7%
Holz (III+IV)	-0,02	45,5%
Kunststoffe - PVC, EPS, PE, Sonstige	0,09	30,4%
Textilien	0,02	25,7%
Daemmstoffe	2,6	28,3%

Abbildung 5-16: Kumulierte Materialströme 2018-2030 im Min-Szenario bei Durchführung der Top3 Maßnahmen von 2019-2039 und dadurch erzielte Ressourceneinsparung, Basisjahr 2015

5.3.4 Vergleich der Szenarien

Beim Vergleich der Szenarien fällt auf, dass das Ressourcenschonungspotenzial mit steigenden Stoffstrombilanzen größer wird (vgl. Tabelle 5-3). Auch wenn der relative Anstieg, im Vergleich zum Anstieg der Stoffstrombilanz, nur marginal ist.

Größer werdende Bilanzen sprechen im Rahmen des Max-Szenarios für stark steigende Inputströme (Neubau, Ersatzneubau und Sanierung) bei ebenfalls (aber schwächer) steigenden Outputströmen (Ersatzneubau und Sanierung). Da die Bilanz aber stark zunimmt, sind die Inputströme im Max-Szenario deutlich größer als die Outputströme. Von einer identischen Recyclingrate des Outputmaterials, im Vergleich zu den anderen Szenarien, kann abgeleitet werden, dass der Anteil an Sekundärmaterial zwar gleichbleibt,

die absolute Menge an eingesetztem Primärmaterial aber stark zunimmt. Das benötigte Material im Max-Szenario wird also hauptsächlich durch zusätzliches Primärmaterial bereitgestellt. Als Ursache für das steigende RESPOT mit steigender Materialmenge wird angenommen, dass sich die ausgewählten Maßnahmen, z.B. Maßnahme (31) – Zusatzsteuer auf Primärrohstoffe, nun verstärkt auswirkt und sich dadurch der Anteil des Sekundärmaterials nachhaltig steigert.

Tabelle 5-3: Berechnetes RESPOT der Top 3-Einzelmaßnahmen für Baden-Württemberg, dargestellt nach Szenarien, Basisjahr 2015

Szenario	Basisprognose Stoffstrombilanz (2018-2030)	RESPOT der Top3-Maßnahmen		
		1	11	31
Min	102 Mio. t	9,2 %	12,1 %	13,5 %
Standard	119 Mio. t	9,3 %	12,5 %	14,2 %
Max	172 Mio. t	9,6 %	13,1 %	15,2 %

Tabelle 5-4: Berechnetes RESPOT der Top 3-Maßnahmen durch Bündelung für Baden-Württemberg, dargestellt nach Szenarien, Basisjahr 2015

Szenario	Basisprognose Stoffstrombilanz (2018-2030)	Stoffstrombilanz (2018-2030) Bündelung Maßnahmen 1, 11 u. 31 (2019-2030)	RESPOT Bündelung Maßnahmen 1, 11 u. 31	Erzielte Einsparung Material (2018-2030)
Min	102 Mio. t	72 Mio. t	29,6 %	30 Mio. t
Standard	119 Mio. t	82 Mio. t	30,8 %	37 Mio. t
Max	172 Mio. t	116 Mio. t	32,4 %	56 Mio. t

5.3.5 Szenarioberechnung auf Kreisebene und deren Analyse

In Abbildung 5-17 wird schon anhand der Basisprognose (rote Linie) sichtbar, wie sich die drei Typkreise (vgl. Strukturtypen der Kreise in Abschnitt 3.4.4 und Kapitel 6.2) in ihrer Entwicklung unterscheiden. Für den Regionstyp A wird ermittelt, dass sich die Stoffstrombilanzen in ihrer Basisprognose, also ohne das Einführen zusätzlicher Maßnahmen, auf einem konstant hohen Niveau befinden. Es fließt also bis 2030 netto viel Primärmaterial in den Bestand. In den Regionstypen B und C nehmen die Stoffstrombilanzen zunehmend ab. Dies ist auf den nur moderaten oder geringen Zubau in diesen Regionen und Kreisen zurückzuführen.

Für jeden Regionstyp wurde für einen Beispielkreis aus Baden-Württemberg eine nähere Untersuchung der zu erwartenden Stoffstrombilanzen unter Berücksichtigung der Top 3-Maßnahmen durchgeführt. Unter den roten Linien der Basisprognose stellen die grauen Zylinder in Abbildung 5-17 die zu erwartende Stoffstrombilanz des jeweiligen Jahres dar. Die gewählten, stellvertretenden Kreise sind für den Strukturtyp A der Kreis Breisgau-Hochschwarzwald, für den Strukturtyp B der Kreis Rastatt und für den Strukturtyp C der Kreis Heidenheim.

Bei allen Kreisen ist ersichtlich, dass sich die Maßnahmen erst nach ein paar Jahren stark entfalten. Es benötigt also eine gewisse Anlaufzeit, bis sich die Strukturen im Bauwesen bzw. der verwandten Prozesse, verändern.

Tendenziell weisen die Regionen des Typs A, die noch durch starken Zubau charakterisiert werden, das größte Potenzial Ressourcen zu schonen auf, da dort in großem Maße ressourcenschonende Bauweisen und Inputmaterialien eingesetzt werden können (vgl. Tabelle 5-5), beispielsweise durch die Wahl von Primärmaterialien, die am Ende des Lebenszyklus wieder besser recycelt werden können, oder durch die Erhöhung des Anteils von Sekundärmaterial am Inputmaterial, der durch die Maßnahme (31) – Zusatzsteuer auf Primärmaterial.

5 Integration der Stoffstrom- und Akteursmodellierung zum StAR-Modell (AP4)

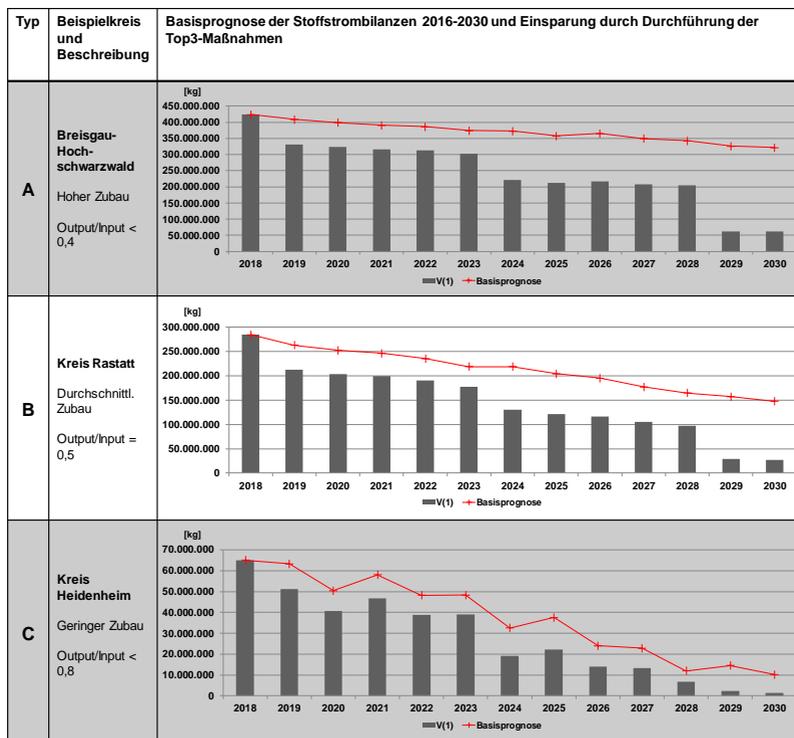


Abbildung 5-17: Vergleich der Typkreise bzgl. der Basisprognosen der Stoffstrombilanzen von 2018-2030 und dem RESPOT der Top3-Maßnahmen bei einer Durchführung von 2019-2030

Tabelle 5-5: Vergleich RESPOT der Top 3-Maßnahmen in den Typkreisen von Baden-Württemberg

Regi- onstyp	Beispielkreis	RESPOT Maßnahme			Bündelung 1, 11 u. 31 (2019-2030)	Einsparung Primärmaterial (2018-2030)
		1	11	31		
A	Breisgau-Hochschwarzwald	9,8 %	13,6 %	15,9 %	33,7 %	1,62 Mio. t
B	Kreis Rastatt	9,4 %	12,7 %	14,5 %	31,5 %	0,87 Mio. t
C	Kreis Heidenheim	8,6 %	10,8 %	11,4 %	25,9 %	0,13 Mio. t

Man sieht in Tabelle 5-5, dass die Bündelung der gleichen drei Maßnahmen in den Typkreisen zu einem unterschiedlichen RESPOT führt (A: 33,7%, B: 31,5% und C: 25,9%). Der RESPOT-Wert für ganz Baden-Württemberg (vgl. Tabelle 5-4) liegt im Standardszenario bei 30,8% (Min-Szenario: 29,6%; Max-Szenario: 32,4%).

5.4 Kritische Würdigung

Die erzeugten Ergebnisse basieren auf öffentlich verfügbaren Daten⁸, Akteursbefragungen, Expertengesprächen und Szenarien, die mit dem Projektkonsortium und dem Beirat abgestimmt worden sind. Die Plausibilität der Modellergebnisse ist gemäß Meilenstein L nur schwer bestimmbar, da es keine vergleichbaren Arbeiten gibt. Darüber hinaus basieren die Ergebnisse auf Einzelbetrachtungen der Maßnahmen oder auf einer Kombination von maximal drei Maßnahmen. In der Realität werden weit mehr als drei Maßnahmen durchgeführt, die Messbarkeit und der Effekt der Maßnahmen ist daher umso schwerer feststellbar.

Grundsätzlich hängen die Ergebnisse vor allem aber von der **Datenlage** ab. Diese ist insbesondere in Bezug auf den Nichtwohngebäudebestand sehr lückenhaft. Daher musste der kreisspezifische Nichtwohngebäudebestand über die Verrechnung von Kennzahlen aus Gebäude- und Beschäftigtenstatistik für Deutschland und Hamburg ermittelt werden, wofür manuelle Zuordnungen von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nach Wirtschaftszweig und Berufsgruppe zu Gebäudetypen erfolgen mussten. Der zukünftige Bestand und der daraus resultierende Netto-Zubau bzw. Netto-Abgang wurde auf Basis der prognostizierten Wohnflächennachfrage bzw. über die aus der Prognose der Erwerbstätigen und den Kennzahlen abgeleitete Nachfrage nach Nichtwohnfläche errechnet. Dafür musste eine unsichere, regionsunspezifische Entwicklung der Leerstandsquote angenommen werden. Hinzu kommen unsichere, regionsunspezifische und zeitlich

⁸ z.B. ZENSUS 2011, Wohnungsmarktprognose 2030 des BBSR, Erwerbstätigenprognose des BBSR, Statistiken der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten der Agentur für Arbeit etc.

konstante Quoten für Ersatzneubau und Sanierung bezüglich des Bestands in Abhängigkeit der Leerstandsquote, um den gesamten In- und Output zu bestimmen. Für Wohngebäude hat das BBSR diese Faktoren zum Wohnungsneubaubedarf kombiniert, welcher aber aufgrund der unbekannteren Berechnungsmethodik nicht übernommen werden konnte. Weiterhin unsicher ist der Anteil der Nachfrage nach Nichtwohnflächen in Wohngebäuden. Zudem hängen die weiteren Haupteinflussfaktoren des Gesamtmodells (insbesondere hinsichtlich der Ressourcenschonungsmaßnahmen und Akteursinteraktion) von den Ergebnissen der Akteursbefragungen und den Expertengesprächen ab. Es ist davon auszugehen, dass Umfragen mit größeren Rückläuferzahlen präzisere Prognosen ermöglichen. Die absolute Höhe der berechneten Stoffströme kann aufgrund der angesprochenen Datenlage von der zukünftigen Entwicklung abweichen.

Jedoch können sehr wohl präzise Aussagen zu den **zukünftigen Entwicklungen (Trends)** der Stoffströme sowohl für Baden-Württemberg, als auch für einzelne Kreise getroffen werden (z.B. wachsende oder stagnierende Kreise). Des Weiteren ist auch eine Empfehlung zur Umsetzung von Maßnahmen je nach vorliegendem oder prognostiziertem Trend möglich. Die Höhe des absoluten RESPOT einzelner Maßnahmen kann von der Realität zwar abweichen, aber eine grundlegende Tendenz, bzw. der relative Vergleich des RESPOTS der Maßnahmen untereinander ist grundsätzlich gegeben (z.B. Maßnahme 31 hat auf jeden Fall ein höheres RESPOT als Maßnahme 17).

Nicht betrachtet werden in diesem Forschungsvorhaben **besondere Materialströme**, die bspw. aus der Photovoltaik-Nutzung entstehen. In Zukunft werden sich die Abfallverwerter aufsteigende Abfallströme bzw. Recyclinganfragen, sowie auch auf eine steigende Menge an Dämmstoffen mit ggf. speziellen Anforderungen an eine stoffliche Nutzung einstellen müssen. Bislang werden die Dämmstoffe größtenteils verbrannt.

6 Handlungsempfehlungen (AP5)

Im Folgenden werden Handlungsempfehlungen, die im Laufe des Projektes in den Arbeitspaketen AP2, AP3 und AP4 erarbeitet wurden dargestellt.

6.1 Handlungsempfehlungen auf Basis des StAR-Modells (AP 4)

Wie aus den obigen Ausführungen und der Auflistung in Abbildung 6-1 deutlich wird, deuten die Berechnungen mit dem Gesamtmodell darauf hin, dass in allen drei Szenarien (Standard, min, max) die folgenden Maßnahmen/gruppen am vielversprechendsten sind:

- 31 (Zusatzkosten/Steuern auf Kauf von Primärrohstoffen),
- 11 (Erhöhung von Deponiegebühren) und
- 1 (Anpassung von Lehrinhalten (z.B. Ingenieure, Architekten) und Weiterbildungen zur Förderung des Umweltbewusstseins)

Diese Maßnahmen und Maßnahmenbündel haben für den Zeitraum bis 2030 die größten Einspar- und Schonungseffekte auf die Stoffströme in Baden-Württemberg. Ihnen kommt zudem auch aus Sicht der befragten Akteure der größte Einfluss zu, die Ressourcen in Baden-Württemberg nachhaltig zu schonen.

Jedoch variiert das berechnete RESPOT jeder Maßnahme je nach Kreis und Kreistyp, wie man in Tabelle 6-1 für die drei Regionstypen A, B und C erkennen kann. Wie jedoch auch deutlich wird, verändert sich dadurch nicht die Gewichtung. Für alle untersuchten Regionstypen haben die oben genannten Maßnahmen/-gruppen die vergleichsweise größte Bedeutung.

Wie aus der Gegenüberstellung jedoch auch deutlich wird, sind die Hebel in den Regionstypen deutlich unterschiedlich. Abgeleitet aus dem Siedlungsbestand und den Bautätigkeiten sind in den Kreisen der Regionen A und

6 Handlungsempfehlungen (AP5)

auch B in Zukunft deutlich die größten Massenflüsse zu verzeichnen. Maßnahmen zur Ressourcenschonung haben damit das größte Potenzial.

Rang	Nr.	Maßnahme	RESPOT [%]
1.	31	Zusatzkosten/Steuern auf Kauf von Primärrohstoffen	14,2
2.	11	Erhöhung von Deponiegebühren	12,5
3.	1	Anpassung von Lehrinhalten, Anbieten von Weiterbildungen	9,3
4.	8	Einführung einer Mindestquote für den RC-Einsatz bei Neubauten	7,2
5.	24	Neue Finanzprodukte für ressourcenschonendes Bauen	6,6
6.	9	Einführung eines Deponieverbots für recyclingfähiges Material	6,6
7.	25	Mehr Gelder für Förderprogramme im Bereich Sanierung bereitstellen	5,0
8.	5	Bevorzugung ressourcenschonender Lösungen in Bauprojekt-Ausschreibungen	3,3
9.	22	Neue Richtlinien/Gesetze zur Gleichstellung von RC- und Primärrohstoffen	3,3
10.	23	Informationsverfügbarkeit über Abfallvermeidung, Abfallbehandlungsvorschriften	3,3
11.	29	Förderung von Eco-Labeling zur besseren Vermarktung von RC-Baustoffen	3,1
12.	2	Aufbau einer umweltökonomischen Gesamtrechnung	2,4
13.	13	Förderung der F&E von Substituten nicht rezyklierbarer Baumaterialien	2,4
14.	6	Zusätzliche Bürokratie zur Verwendung von RC-Baustoffen minimieren	2,4
15.	7	Förderung der Produktverantwortung entlang des Lebenszyklus durch Hersteller	2,4
16.	12	Förderung der F&E für Recyclingtechnik	2,1
17.	15	Förderung der Gütesiegelvergabe für RC-Betriebe	2,2
18.	19	Förderung von Informationsverfügbarkeit und Image nachhaltigen Bauens	2,1
19.	16	Förderung der Herstellung und Verwendung von RC-Materialien	2,1
20.	14	Förderung der F&E zur Verbesserung von Bauprozessen	2,0
21.	3	Aufbau und Kommunikation eines betrieblichen Stoffbuchhaltungssystems	1,7
22.	18	Förderung des selektiven Rückbaus	1,6
23.	10	Einführung strenger Abfallbehandlungs- und Verwertungsvorschriften	1,6
24.	26	Weitere Preise für ressourcen-/umweltschonende Bauprojekte vergeben	1,5
25.	30	Verstärkte Einbeziehung von Akteuren bei der Planung von Vorschriften/Initiativen	1,2
26.	21	Förderung von Selbstverpflichtungen im Sinne des Ressourcenschutzes	1,3
27.	27	Förderung der Berücksichtigung von RC-/Entsorgungskonzepten während der Gebäudeplanung	1,1
28.	4	Bevorzugte Bauerlaubnis an RC-relevante Bauvorhaben	1,1
29.	20	Förderung von Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette	1,0
30.	17	Förderung energieeffizienter/schadstoffarmer Materialherstellung	0,7
31.	28	Überprüfung der MantelIV	0,5

Abbildung 6-1: RESPOT der wichtigsten 31 Maßnahmen

Tabelle 6-1: Maßnahmenvergleich für Regionstypen in Baden-Württemberg

Regi- onstyp	Beispielkreis	RESPOT Maßnahme			Bündelung 1, 11 u. 31 (2019-2030)	Einsparung Primärmaterial (2018-2030)
		1	11	31		
A	Breisgau-Hoch- schwarzwald	9,8 %	13,6 %	15,9 %	33,7 %	1,62 Mio. t
B	Kreis Rastatt	9,4 %	12,7 %	14,5 %	31,5 %	0,87 Mio. t
C	Kreis Heidenheim	8,6 %	10,8 %	11,4 %	25,9 %	0,13 Mio. t

6.1.1 Optimierung der finanziellen Rahmenbedingungen für die Recyclingwirtschaft

Die finanziellen Spielräume für den Recycler von mineralischen Bauabfällen sind allgemein sehr eng. Der Aufwand für die Aufbereitung der Abfallmassen zu hochwertigen Baustoffen ist mit einem vergleichsweise hohen finanziellen Aufwand verbunden, der angesichts zunehmender Heterogenität und Vielfalt der Baumaterialien, aber auch steigender Fremdstoffanteile weiter anwachsen dürfte. Die Gebäudekonstruktionen sind in der Regel nicht recyclinggerecht. Es werden zudem eine Vielfalt von Bau- und Dämmstoffen verbaut, die ebenfalls einen oft nicht oder nur unzureichend lösbaren Materialverbund darstellen. Werden hochwertige Baustoffe hergestellt, liegen die reinen Produktionskosten schon heute über den Gesteinskosten der Natursteinindustrie.

Die Kostendeckungsbeiträge für das Bauschuttrecycling resultieren aus den Erlösen, die bei der Annahme von mineralischen Bauabfällen erzielt werden können sowie aus der Vermarktung der RC-Bauprodukte. Die Vermarktung erfolgt in Konkurrenz zu den konventionellen Baustoffen der Natursteinindustrie. Die über die Abfallannahme erzielbaren Erlöse stehen in Konkurrenz zur Entsorgungsalternative der Ablagerung auf einer Deponie. Nicht in allen Regionen erlauben diese wirtschaftlichen Rahmenbedingungen den Aufbau und Betrieb von insbesondere 2-stufigen Recyclinganlagen. Um die ambitionierten abfall- und ressourcenpolitischen Ziele zu erreichen, die bspw. mit dem KrWG und ProgRes gesetzt wurden, sind darüber hinaus dringend weitere technisch ambitioniertere Aufbereitungsanlagen notwendig, die mit entsprechenden Investitionen aber auch Betriebskosten verbunden sind.

Eine Besteuerung der Primärrohstoffgewinnung könnte hier deshalb ein wichtiges Instrument sein. Sie wird als „Kiespfennig“ schon seit Jahren in Deutschland diskutiert und kann auf ähnliche Maßnahmen im europäischen Ausland verweisen. In einer Studie für das Umweltbundesamt (PoRes)

erfolgte für das Arbeitspapier 1 (Bahn-Walkowiak et al. (2013)) eine Recherche und Zusammenstellung durch das Wuppertal Institut. Danach zeigte sich im Jahr 2013 folgende Situation:

Tabelle 6-2: Steuern und Abgaben auf Baumineralien und Steuer-/Abgaberraten im OECD/EEA-Raum (Wuppertal Institut 2013)

Land	Steuer / Abgabe	Steuerobjekt	Jahr der Einführung	Steuerrate
Albanien	Exploration License	Mineralrohstoffe und Baumaterialien	1994	100 CHF/km ²
Bulgarien	Mining Charge	Lehm, Ton, Bruchstein, Sand, Kies	1997	0,05 – 0,15 €/m ³ 0,03 – 0,08 €/m ³
Dänemark	Duty on raw materials	Mineralrohstoffe	1990	5 DKK / m ³
Estland	Mineral resources charge	Dolomit, Granit, Kies, Sand, Kalkstein, Lehm, Torf, Phosphatstein, Ölschiefer	1991	zwischen 0,57 €/m ³ für Füllkies und 3,03 €/m ³ für hochwertiges Dolomitgestein
Frankreich	Tax on extracted minerals	Granulate	1999	0,20 €/t
Großbritannien	Aggregate levy	Gesteinskörnungen	2002	2,30 €/t
Kanada (British Columbia)	Mineral Taxes	Kalkstein, Dolomit, Marmor, Schiefer, Ton, Sand, Kies, Vulkanasche, Kieselgur und Mergel	1997	12,5% des Nettogewinns durch die Gewinnung
Kroatien	Extraction charge, Mining charge	Kies + Sand Mineralische Rohstoffe	1996 1959	0,41 bzw. 0,55 €/m ³ 2,6% der Erlöse
Lettland	Materials extraction charge	Lehm, Ton, Dolomit, Sand, Kies, Kalkstein, Quarzsand, Gips, Boden	1995	0,01 – 0,35 €/m ³
Litauen	Minerals extraction charge	Gips, Kreide, Kalkstein, Lehm, Dolomit, Sand, Kies, Bauerde	1991	0,04 – 0,22 €/m ³
Schweden	Natural gravel tax	Kies, Sand, Feldstein, Geröll	1996	1,44 €/t
Tschechische Republik	Fee for extracted minerals	Mineralien	1992	Bis zu 10% des Marktpreises
Zypern	Materials extracted from quarries	Extrahiertes Material	1990	0,26 €/t

Auch laut der Gutachter des Wuppertal Instituts sind derzeit viele der erhobenen Abgaben und Steuern zu gering, um eine echte Steuerungswirkung zu erreichen. Ein direkter Bezug zur gezielten Verbrauchsminderung ist demnach nur für Großbritannien, Schweden und Dänemark belegt.

„Derzeit bestehen einige steuerrechtliche Hemmnisse, welche die stoffliche Nutzung von Biomasse gegenüber der energetischen Nutzung oder der fossil basierten stofflichen Nutzung benachteiligen [...] Damit bleibt die energetische Nutzung von Biomasse attraktiv, wohingegen die stoffliche Nutzung einer ungeschützten, starken Konkurrenz zur petrochemischen Industrie ausgesetzt bleibt.“ (Carus et al. 2014, S. 155). Daher ist die Besteuerung für die stoffliche Nutzung von Holz zu hinterfragen (vgl. Carus et al. 2014, S. 155), bspw. im Hinblick auf die Besteuerung von fossilen, petrochemischen Rohstoffen, die als Basis für Kunststoffe dienen und damit in vielen Bauprodukten in Substitutionskonkurrenz mit Holz stehen.

Eine Rohstoffsteuer stößt zwangsläufig bei der Rohstoffindustrie auf entsprechende Widerstände, wie auch angesichts der Überlegungen auf Ebene der EU seitens dem Wirtschaftsverband *vero* (2018)¹ deutlich wurde. Die oben genannten Erfahrungen aus den drei Mitgliedsländern negierend, wird die Wirksamkeit und Notwendigkeit eines derartigen Instrumentes bezweifelt. Weiterhin wird trotz wachsender Baukonjunktur ein stabil bleibender Rohstoffbedarf erwartet (*vero*, 2018). Nimmt man das ressourcenpolitische Ziel der Verdopplung der Ressourcenproduktivität als Maßstab, ist allerdings der spezifische Rohstoffeinsatz zu halbieren und dies gerade im Baubereich mit seinem hohen Rohstoffeinsatz. Auch konstatiert die Baustoffindustrie eine Recyclingrate der Baumaterialien von >90% (*vero*, 2018). Dies ist jedoch falsch zitiert; benannt wird eine Verwertungsquote von >90%. Hierzu zählen jedoch auch Verwertungen auf Deponien oder über die Verfüllung von Abgrabungen. Die Recyclingquote liegt für Bauschutt etwas

¹ <https://www.euroquarz.de/wissen-ueber-quarzsand-quarzkies/faktencheck-rohstoffsi-cherung/themen-faktenscheck/ressourceneffizienz/>

höher als 70% und hier auch nur bezogen auf den Input in die Aufbereitungsanlage. Die Baustoffindustrie führt weiterhin in Feld, dass die Bautechnologie und gesetzlichen Anforderungen an die Beschaffenheit von Bauwerken dagegensprechen, dass bei der Konstruktion von Gebäuden Effizienzsteigerungen im Sinne von Materialeinsparungen möglich sind (vero, 2018). Dieses Statement negiert die architektonischen Möglichkeiten, die nicht zuletzt auch darin deutlich werden, dass es zahlreiche Hochschulen und Universitäten gibt, die das ressourceneffiziente Bauen zum Lehrinhalt machen und auch entsprechende Lehrstühle aufweisen.

Es wird auch befürchtet, dass eine einseitige Verteuerung durch Deutschland zu Wettbewerbsnachteilen und letztlich möglicherweise auch zu höheren Importquoten führt (vero, 2018). Die Auflistung in Abb. 6-3 belegt jedoch, dass eher die Rohstoffwirtschaft in den Nachbarländern unter Wettbewerbsnachteilen leidet, da nahezu nur Deutschland auf eine Besteuerung der Rohstoffe verzichtet. Zudem kollidiert laut vero (2018) eine Besteuerung mit der grundgesetzlich festgelegten Eigentumsgarantie. Auch wenn an dieser Stelle keine rechtliche Beurteilung erfolgen kann, dürfte es sich bei der seit langen Jahren praktizierten Mineralölsteuer um eine vergleichbare Besteuerung handeln.

Eine Rohstoffsteuer oder –abgabe kann demnach ein durchaus sinnvolles Instrument sein. Hierzu bedarf es keiner Regelung auf Ebene der EU. Derartige Maßnahmen können auch auf nationaler Ebene durchgeführt werden. Sie sollten nicht jedoch auf Ebene der einzelnen Bundesländer etabliert werden, da dies zu kleinteiligen rechtlichen Regelungen sowie Wettbewerbsverzerrungen, Informationsasymmetrien und mehr Transporten von primären und sekundären Baustoffen führen könnte.

Aus einzelwirtschaftlicher Perspektive werden Stoffe dann recycelt, wenn der Nutzen (bspw. Kosteneinsparungen) höher ist als die Kosten, die bspw. mit einer Beseitigung verbunden sind. Steigen also die Kosten für die Beseitigung, so wird der Anreiz für die einzelwirtschaftlichen Akteure erhöht, andere Verwertungswege zu identifizieren, die die Kostenbelastung der Entsorgung mindern, bspw. zu recyceln. Vor diesem Hintergrund ist der

Anreiz für die Materialbesitzer i.d.R. gering, hochwertige Materialien zur Verfügung zu stellen. Um es am Beispiel des Abrisses von Gebäuden zu verdeutlichen: so lange es möglich ist, die damit verbundenen Stoffströme kostengünstig zu "entsorgen", ist der Anreiz eher gering bspw. einen ambitionierteren, selektiven (und zumeist kostenträchtigeren) Abriss vorzunehmen und damit hochwertiges Material zur Verfügung zu stellen. Im Grundsatz wird mit der Möglichkeit der undifferenzierten Entsorgung der Ansatz des Downcycling gefördert.

Die Diskussion um den Einsatz ökonomischer Instrumente hat sich in den vergangenen Jahren versachlicht, in dem einerseits die Bedeutung ökonomischer Instrumente zwar betont wird, ohne aber den Stellenwert der klassischen „command and control“ Ansätze zu vernachlässigen. Eine Deponiesteuer oder –abgabe ist – wie auch die Besteuerung der Rohstoffe – immer ein Instrument, das nur Teil eines Maßnahmenbündels sein sollte. So ist der Abfallerzeuger und –besitzer nicht nur verpflichtet, die bei Baumaßnahmen anfallenden Abfälle separat zu erfassen und einer Wiederverwendung oder einem Recycling zuzuführen, sofern dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist. Mit der Novellierung der Gewerbeabfallverordnung (die explizit auch Bauabfälle miteinschließt) muss dies auch entsprechend dokumentiert und auf Verlangen nachgewiesen werden. Die Ablagerung auf einer Deponie – unabhängig ob es sich rechtlich um eine Verwertungs- oder Beseitigungsmaßnahme handelt –, dürfte zukünftig immer nur eine Ultima Ratio darstellen. Entscheidend wird auf Seiten der öffentlichen Hand der Wille zur Umsetzung sein. Trotzdem dürfte eine Flankierung durch die Beeinflussung der Kostenstrukturen – Erhöhung der Deponiegebühren – durchaus hilfreich sein. Allerdings sind damit eventuelle Mehrkosten für Bauherren und Eigentümer sowie ggf. auch für Recycling-, Abbruch- und Entsorgungsunternehmen bei Bau- und Abbruchvorhaben verbunden.

Deponien werden in vielen Fällen von der öffentlichen Hand betrieben. Die Betriebe unterliegen daher nicht der Gewinnmaximierung, so dass sie durchaus als Steuerungselement genutzt werden können. Die Gestaltung der Annahmepreise ist dabei nur ein Instrument – weitere Instrumente

wären bspw. die konsequente Verweigerung der Ablagerung von Abfallmassen mit Recyclingpotenzial oder die Umsetzung der Gewerbeabfallverordnung. Ersteres lässt sich an der Waage und dem Annahmepunkt einer Deponie allerdings nur schwer feststellen, da das Erkennen von Recyclingpotential einen geschulten Blick erfordert, den nur eine erfahrende Person aus der Recyclingbranche hat. Ein Mitarbeiter einer Deponie agiert vor einem deutlich anderen Erfahrungshintergrund und kann dies meist nicht beurteilen, bzw. müsste entsprechend weitergebildet werden. Eine einfache Alternative zur Experteneinschätzung kann sein, nur Material anzunehmen, das bei einem Recycler nachweislich zur Annahme abgelehnt wurde.

Eine weitere Lösung könnte darin bestehen, dass Altmaterialien grundsätzlich einem Recycler übergeben werden müssen, der dann – ggf. nach Aufbereitungsschritten – ungeeignete Teilmengen an Deponien übergibt. Weiterhin wäre es möglich, dass nur Abfallmassen zur Ablagerung angenommen werden, für die die fehlende Recyclingfähigkeit durch die nach Gewerbeabfallverordnung erforderliche Dokumentation der Abwägungsgründe (technisch nicht möglich versus wirtschaftlich nicht zumutbar) belegt ist.

Weiterhin sind Deponiegebühren so festzulegen, dass es keine finanziellen Anreize für die Abfallbesitzer gibt, die Abfallmassen direkt auf der Deponie zu entsorgen. Die Annahmepreise müssen dabei die Annahmepreise der Recycler, die Transportkosten sowie die durch fehlende Selektivität auf der Baustelle vermiedenen Kosten berücksichtigen.

6.1.2 Anpassung von Lehrinhalten / Anbieten von Weiterbildungsmaßnahmen

Auch wenn die Problematik der fehlenden Ressourcenproduktivität, der in vielen Fällen eher aus vielerlei Gründen problematischen Rohstoffversorgung und auch der Notwendigkeit zur Kreislaufwirtschaft seit vielen Jahren thematisiert wird und dies nicht nur im fachlichen Zusammenhang, sondern auch in populären Medien, ist der Informations- und Kenntnistand auch

weiterhin noch vergleichsweise schlecht. Dies gilt insbesondere für die fachliche Ebene und im Detail. Entsprechend verwundert es nicht, dass dieser Aspekt in der Analyse und den Modellrechnungen entsprechend prominent vertreten ist, sondern auch häufig von den Akteuren aus dem Baubereich rückgemeldet wurde.

Das Bestreben, den Informationsstand zu erhöhen sollte in zwei Richtungen erfolgen: Zum einen in Richtung der besseren Information hinsichtlich eines recyclinggerechten Bauens und selektiven Rückbaus. Dies gilt insbesondere für den Hochbau; die Selektivität des Rückbaus ist auch ein Thema des Tiefbaus. Zum anderen sollte sich der Baustoffeinsatz auf Baustoffe konzentrieren, die zumindest in Anteilen auf Basis sekundärer Rohstoffe hergestellt wurden: Dies gilt für den Hochbau wie für den Tiefbau.

Eine Optimierung im Sinne der Stärkung der Kreislaufwirtschaft kann nur erreicht werden, wenn über den Markt eine Nachfrage nach diesen Baustoffen besteht und damit Anreize zu deren Produktion gesetzt werden und zugleich bei der Konstruktion der Bauwerke und der Auswahl der Baumaterialien auf eine hohe Recyclingfähigkeit geachtet wird. Unlösbare oder schwer lösbare Konstruktions- und Materialverbunde sollten vermieden werden. Bereits bei der Konstruktion eines Bauwerkes an sein Lebensende zu denken, ist bislang schwer zu vermitteln, obwohl recyclinggerechtes Bauen in der Fachöffentlichkeit seit Jahren ein wichtiges Thema ist. Nach dem Austausch mit zahlreichen Akteuren aus der Baubranche schlagen wir folgende Maßnahmen vor:

- Anpassung der Curricula von Architekten, Ingenieuren und allen Studiengängen, die in den Hochschulen und Universitäten der Ausbildung in Bauberufen dienen. Im Vordergrund stehen Studiengänge für Architekten und klassische Bauingenieure sowie die Ausbildungen des Bauhandwerkes: Dies muss auf Ebene der einzelnen Bundesländer erfolgen und kann gerade bei Hochschulen und Universitäten auch wahrscheinlich nur eher empfehlenden Charakter haben

- Gezielte Weiterbildungsmaßnahmen zum Themenkomplex Recycling durch Angebote der Kammern (Handwerks-, Architekten-, Ingenieurskammer) in Form von Seminaren, möglichst in Verbindung mit der Besichtigung von Best Practice Beispielen in Form von Bauvorhaben oder der Produktion von entsprechenden Baustoffen
- Gezielte Weiterbildung von Bauamtsleitern, Bauleitern der öffentlichen Hand zum Thema Ausschreibung und Vergabe sowie nachhaltigem Bauen. Dies erhöht das Wissen und die Kompetenz in den entsprechenden öffentlichen Bauämtern und kann die Vergabe von nachhaltigeren Bauprojekten und die Vorbildfunktion der öffentlichen Beschaffung verstärken.

6.2 Handlungsempfehlungen auf Basis des Stoffstrommodells (AP2)

Aus dem Stoffstrommodell hat sich gezeigt, dass in Regionen mit weiterem Wachstum im Gebäudebestand² und solchen mit Stagnation und nachfolgender Abnahme desselben unterschieden werden muss. Dazu werden im Folgenden drei Regionstypen innerhalb Baden-Württembergs anhand der kumulierten Stoffströme von 2016 bis 2030 unterschieden (vgl. Tabelle 6-3, Tabelle 6-4), für die im Folgenden auch unterschiedliche Handlungsempfehlungen abgeleitet wurden:

² Unter Wachstum im Gebäudebestand wird hier ein Netto-Zuwachs des umbauten Raums [m³] verstanden.

Tabelle 6-3: Einteilung der Strukturtypen nach Entwicklung der Wohngebäude, Nichtwohngebäude und des Output/Input-Verhältnisses in den gesamten Gebäudebestand

Regionstyp	Wohngebäudebestand (WG)	Nicht-Wohngebäudebestand (NWG)	Output/Input der Stoffströme in bzw. aus Gebäuden, gesamt
A	(netto) wachsend	(netto) wachsend	<0,45
B	(netto) wachsend	zumeist (netto) stagnierend/ schrumpfend	0,45-0,75
C	(netto) fast stagnierend	zumeist (netto) schrumpfend	>0,75

6.2.1 Materialströme

Bei Wohngebäuden wie auch Nicht-Wohngebäuden ist bis zum Jahr 2030 eher noch von weiterem Wachstum des Gebäudebestandes auszugehen. Die Straßeninfrastruktur wird weiterhin einen gleichbleibenden Netto-Bedarf an Baustoffen haben, wobei sich die Input- und Outputströme in einzelnen Kreisen von denen aus dem Gebäudebereich unterscheiden können. Je nach Struktur der Kreise können zudem die Materialströme für die Straßeninfrastruktur sehr deutlich unter denen der Gebäude liegen (städtische Kreise) oder sehr weit darüber (ländliche Kreise).

Tabelle 6-4: Einteilung der Kreise Baden-Württembergs nach ihrem Strukturtyp

Regionstyp	Kreise Baden-Württembergs
A	Breisgau-Hochschwarzwald, Emmendingen, Konstanz, Ludwigsburg, Rhein-Neckar-Kreis, Karlsruhe Lkr., Tübingen, Bodenseekreis, Böblingen, Lörrach, Esslingen, Ravensburg
B	Stuttgart, Ortenaukreis, Calw, Rems-Murr-Kreis, Rastatt, Biberach, Alb-Donau-Kreis, Baden-Baden, Freiburg, Heilbronn Lkr., Reutlingen, Enzkreis, Freudenstadt, Schwäbisch-Hall, Waldshut, Mannheim, Hohenlohekreis, Neckar-Odenwald-Kreis, Göppingen, Karlsruhe Skr., Tuttlingen, Heilbronn Skr., Rottweil, Sigmaringen, Schwarzwald-Baar-Kreis, Heidelberg, Ostalbkreis, Ulm, Zollernalbkreis, Pforzheim
C	Main-Tauber-Kreis, Heidenheim

In Regionen des Typs A mit weiterem Wachstum kann eine erfolgversprechende Maßnahme sein, im Ersatzneubau eine möglichst nutzungsflexible Bebauung zu gewährleisten. Eine derartige bei der Neubebauung ansetzende Maßnahme greift jedoch erst in einigen Jahrzehnten. Die Maßnahme, Gebäude so zu konstruieren, dass sie jederzeit und vergleichsweise einfach auf sich ändernde Ansprüche der Nutzer reagieren können, ist jedoch sehr wichtig. Nach den errechneten Massenbilanzen sind die Ersatzneubauten, und damit vorausgehender Rückbau einer alten Gebäudesubstanz, der Hauptgrund für die Outputmassen aus dem Gebäudebestand. Da aufgrund geringer Leerstandsquoten kaum Ausweichmöglichkeiten gegeben sind, ist auch in Gebieten mit Gebäudezuwachs mit einem erhöhten Aufkommen an Bauschutt zu rechnen. Der Gebäudezuwachs ist auch mit entsprechenden Baustoff- und damit Materialbedarfen verbunden. Aus Ressourcensicht ideal wäre es, diesen Rohstoff- und Materialbedarf möglichst weitgehend durch die Verwendung der aufbereiteten Outputmassen zu decken. Wenn immer möglich, sollten Gebäude vorrangig einer Sanierung unterzogen werden. Damit sind weit weniger Bauabfallaufkommen und Baustoffnachfrage verbunden. Diese Bestandserhaltung ist tendenziell auch bei Nachverdichtungen möglich. In den Kreisen resultiert die Baustoffnachfrage insbesondere aus dem Zuwachs an Wohngebäuden. Daher sind Wohnformen und Gebäudekonzeptionen wichtig, die den spezifischen Wohnflächenbedarf pro Haushalt oder Kopf verringern helfen (z.B. durch eine bessere Auslastung bestehender Gebäude, Multifunktionsflächen, Sharing-Konzepte, Flexibilisierung von Wohnflächen in MFH oder eine Reduktion der spezifischen Wohnfläche pro Kopf). Zusätzlich sind ressourcenschonende Neubauten (insb. von Wohngebäuden) sinnvoll, zum Beispiel durch Gradientenbauteile³ aus Beton oder ressourcenschonende Materialien wie R-Betone, Celitement-Betone etc. die zu einer Gewichts-

³ Dies sind ressourcenoptimierte Bauteile, um den Mengenbedarf an Rohstoffen zu senken, etwa durch gezielte makroskopische Hohlräume, durch die die Gesamtkonstruktion schlanker wird. Weitere bereits erforschte Varianten sind bspw. Textil-/Carbonbetone oder ultrahochfesten Betone (vgl. Kaiser und Krauss, 2015).

(primärer Effekt) oder zu Energieeinsatz- oder Emissionsreduktion (sekundärer Effekt) führen oder auch die Substitution von Baustoffen (z.B. durch Faserverbundwerkstoffe), die aber ggf. mit anderen Nachteilen behaftet sind. Entsprechende Maßnahmen sind daher:

- Angepasste Aus-/ Weiterbildung der Architekten bezüglich einer nutzungsflexiblen Bauweise sowie von Wohnformen und Gebäudekonzeptionen wichtig, die den spezifischen Wohnflächenbedarf pro Haushalt oder Kopf verringern oder durch Einsatz von ressourcenschonenden Bauteilen und Materialien (Akteure: Architektenkammern)
- Angepasste Aus-/ Weiterbildung der Architekten und Ingenieure zu ressourcenschonende Neubauten (insb. von Wohngebäuden) zu ressourcenschonenden Materialien und Bauteilen (Akteure: Architekten-, Ingenieurskammern)
- Beispielgebendes ressourceneffizientes bzw. nachhaltiges Bauen durch die entsprechenden Behörden und Ämter auf Ebene des Bundes, der Länder, der Kreise und Kommunen – Vorbildfunktion der öffentlichen Hand (Akteure: öffentlichen Hand)

In Regionen des Typs B mit teilweiser Stagnation oder des Typs C gelten die oben genannten Überlegungen und Ansätze grundsätzlich analog. Da in diesen Regionen die Baustoffnachfrage teilweise deutlich niedriger liegt, sollte der Gebäudebestand idealtypisch noch mehr als Rohstofflager verstanden werden. Nicht nur, dass die Outputmassen aus dem Bestand möglichst umfassend zu hochwertigen Baustoffen aufbereitet wieder in den Bauwerksbestand zurückfließen. Idealerweise folgt der Rückbau der Bausubstanz der Rohstoffnachfrage und damit dem Baustoffbedarf. In der Straßeninfrastruktur wird im prognostizierten Zeitraum noch ein Netto-Bedarf nach Baustoffen vorhanden sein, so dass Outputmassen aus dem Gebäudebestand hier untergebracht werden können. Im Zweifel würden Bauwerke auch bei Leerstand solange erhalten, bis die Nachfrage aus dem Markt eine hochwertige Nutzung der anfallenden Output-Massen verspricht. Dies

dürfte in der Praxis in den wenigsten Fällen möglich sein. Vor diesem Hintergrund sind folgende Maßnahmen und Akteure denkbar:

- Ausweisung von Zwischenlagerflächen für Bauabfallmassen durch Kommunen und Kreise, um Zeiträume mit einer zu geringen Nachfrage nach Baumaterialien und damit auch Bauabfällen als Rohstoff abfangen zu können
- Um auch bei knapper Nachfrage möglichst viele Altmaterialien wieder in den Baustoffkreislauf rückführen zu können, müssen neue Recyclingstrategien und Absatzwege erschlossen werden. Bislang ist R-Beton die einzige Möglichkeit, Abfallmassen aus dem Hochbau wieder dem Hochbau zur Verfügung zu stellen (s.u.); Ähnliche Strategien sind für die übrigen Baustoffe im Hochbau zu prüfen und entsprechend zu erschließen.
- Dazu dienen entsprechende Forschungsprojekte oder auch Demonstrationsvorhaben, initiiert durch die Länder oder die Institutionen des Bundes.

Insgesamt bedingt der große Anteil an Leichtbaustoffen insbesondere in Wohngebäuden das Problem, dass sich aufgrund der Bestandszusammensetzung der Hochbaubereich derzeit nicht selbst mit Materialien versorgen kann, selbst wenn mehr abgerissen als neu gebaut wird, solange Leichtbaustoffe aus technischer Sicht nicht im Kreislauf geführt werden können. Auch im Tiefbau gibt es hierfür keine Verwendung. Daher sollte bei zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben die Erarbeitung von techno-ökonomisch und ökologisch tragbaren Lösungsvorschlägen für die nachhaltige Nutzung von Leichtbaustoffen (insbesondere Porenbetonen und leichten Mauerwerkssteinen) im Vordergrund stehen. Andernfalls ist über die Nutzung dieser Materialkategorie im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung zu diskutieren, wenn alternative Materialien mit besserer Nachnutzung oder besseren Möglichkeiten der Kreislaufführung existieren.

- Forschungsprogramm oder -projekte zur Entwicklung und Erprobung der Kreislaufführung von Altmaterialien aus mineralischen Leichtbaustoffen (Akteure: Institutionen des Bundes und der Länder)

Asphalt und Materialien aus dem Hochbau, die nicht wieder in diesem Bereich eingesetzt werden können, können im Tiefbau verwendet werden, werden dort aber aufgrund der relativ geringen Menge zunächst nur einen geringen Teil des Bedarfs an diesen Materialien decken. Mit geringer werdendem Netto-Bedarf im Tiefbau ist es sinnvoll, die Kreislaufführung innerhalb des Hochbaus zu verstärken. Insbesondere ist zunächst aufgrund der Modellrechnungen von einem bezüglich des Bestands größeren Output aus dem Nichtwohngebäudebestand, der entsprechend betonlastig ist, auszugehen. Im Input sind die Wohngebäude relativ stark vertreten, die zu größeren Anteilen Mauerwerk und Leichtbaustoffe benötigen, was jedoch ein Recycling von Gesteinskörnung bspw. in R-Beton beim Gebäudeabriss erschwert. Mit zukünftig stärkerem Output auch aus dem Wohngebäudebereich wird der Knickpunkt erreicht werden, ab dem der Netto-Bedarf zu einem Netto-Überangebot wird. Im Jahr 2030 wird im Mittel in ganz Baden-Württemberg der umbaute Raum in Summe aus Wohn- und Nichtwohngebäuden nicht weiter zunehmen. Aber es wird weiterhin netto noch zusätzliche Materialmasse in den Gebäudebestand eingebracht, wenngleich auf schon deutlich geringerem Niveau. In- und Output in den Straßeninfrastrukturbereich sind über die Summe der Jahre 2016-2030 bezogen auf den Bestand größer als dies im Hochbaubereich der Fall ist, der Bedarf von Baumaterialien im Tiefbau ist daher weiterhin von Bedeutung.

6.2.2 RC-Gesteinskörnung für den Einsatz im R-Beton

Die Netto-Bilanz der Materialien zeigt zwar den Trend auf, in wieweit potenziell Primärmaterialien durch die im Output anfallenden Baustoffe substituiert werden können. Nach heutiger Praxis werden aber nur ein Teil der Altstoffe recycelt und nur ein Teil tatsächlich wieder zur Produktion von

hochwertigen Baustoffen verwendet. Ein neuer, viel diskutierter Recyclingweg ist die Wiedernutzung von Altbeton und Mauerwerksbruch als Gesteinskörnung zur Produktion von Beton (R-Beton).

Nach der DIN 4226-101 ist für den Beton mit dem Typ II eine RC-Gesteinskörnung zugelassen, die in Anteilen auf Altbeton und Mauerwerk zurückgreift. Beim Bauschutttaufbereiter wird das Material klassiert und gebrochen. Das Material <2 mm (Brechsand und Vorsiebmaterial) kann nach dem geltenden Regelwerk nicht eingesetzt werden. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass 50 % des Altbetons und Mauerwerk potenziell zu RC-Gesteinskörnung aufbereitet werden kann, die sich im R-Beton einsetzen lässt. Im R-Beton ist laut Regelwerk der Einsatz von 30 % Typ II-RC-Gesteinskörnung bezogen auf den Zuschlag (Steine, Sand) möglich. Nach der Rezeptur für einen Standardbeton des Typs C25/30 aus [Stürmer & Kulle 2017] sind darin 1.833 kg/m^3 Steine, Sand und Kies sowie Zement 310 kg/m^3 enthalten, d.h. 30 % der 1833 kg/m^3 Gesteinskörnung ist austauschbar (= 550 kg/m^3). Nach Umrechnung über die Rohdichte von 2.346 kg/m^3 des Betons ergibt sich daraus, dass gut 23 % des R-Betons aus recycelter Gesteinskörnung bestehen können.

Die Gegenüberstellung des Angebots an RC-Gesteinskörnung aus Gebäuden und dessen Bedarf in zukünftigem R-Beton zeigt zum einen, in wie weit Kreise sich innerhalb des Gebäudebereichs potenziell selbst mit der benötigten Gesteinskörnung versorgen können, um den zukünftigen Beton komplett in R-Beton ausgestalten zu können. Dafür ist ein Output/Input-Verhältnis von ≥ 1 nötig (vgl. Abbildung 6-2). Mit der Produktion von R-Beton ist eine teilweise Einsparung von Primärgesteinen garantiert. Die Gegenüberstellung der Bilanzen aus den Kreisen gibt auch Aufschluss darüber, ob diesbezügliche Unterschiede in welcher Quantität zwischen benachbarten Kreisen existieren, so dass ein lokaler Austausch zwischen Nachbarkreisen zweckmäßig ist (vgl. Abbildung 6-3). Sowohl die Bilanz als auch das Output/Input-Verhältnis werden in folgenden thematischen Karten als Mittelwert aus den entsprechenden Materialströmen von 2016 bis 2030 für die

einzelnen Kreise dargestellt (vgl. Abbildung 6-2, Abbildung 6-3). Es ist demnach zu erwarten, dass in allen Kreisen die jährlichen Outputmengen im Mittel der Jahre 2016 bis 2030 ausreichen werden, um den neu zu verbauenden Beton als R-Beton ausgestalten zu können (unter der Annahme, dass 23 % des R-Betons aus RC-Gesteinskörnung ist). Dieses Ressourcenpotenzial kann und sollte in den nächsten Jahren durch verstärkte Nutzung von Recyclingbeton genutzt werden, bspw. bei öffentlichen Bauvorhaben. Diese Analyse stützt die bereits vorhergehend in Abschnitt 6.1.1 erläuterte Maßnahme zur Nutzung dieses Ressourcenpotenzials durch eine Erhöhung der Preise für Primärgesteinskörnung, sodass die Aufbereitung und der Einsatz von Sekundärmaterial trotz des größeren Verarbeitungs- und ggf. Transportaufwands wettbewerbsfähig wird.

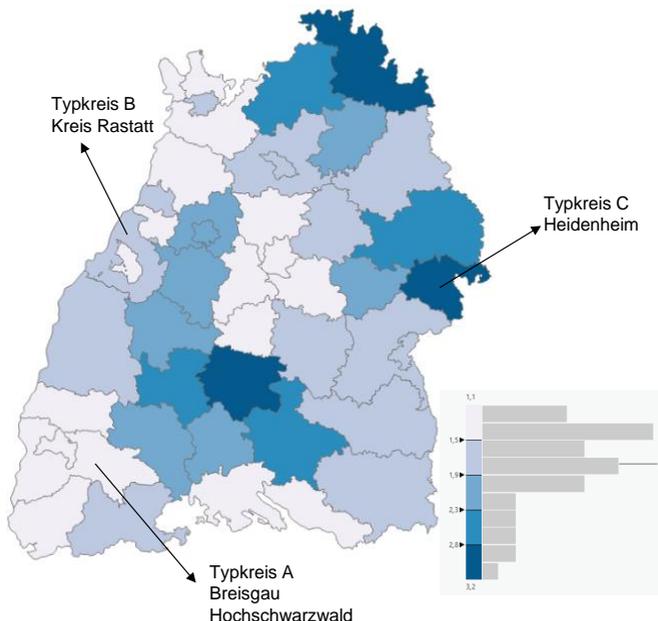


Abbildung 6-2: Im Mittel im Zeitraum von 2016 bis 2030 im Gebäudebereich anfallender jährlicher Output an Gesteinskörnung, die für den R-Beton eingesetzt werden kann, ins Verhältnis gesetzt zur RC-Gesteinskörnung, die im verbauten R-Betoninput benötigt wird; gleichverteilte Intervallgrößen

6.3 Handlungsempfehlungen auf Basis der Literaturanalyse und des SAM-Modells

In diesem Unterkapitel werden basierend auf den Erkenntnissen der Literaturanalyse und des SAM-Modells Ressourcenschonungspotenziale (RESPOT) identifiziert und daraus resultierend auch mögliche Handlungsempfehlungen an die Politik aufgezeigt.

Für das Jahr 2012 betrug die Substitutionsquote von Recycling-Gesteinskörnung (RC-GK) 12 % an der Gesamtproduktion. Vor dem Hintergrund, der in der Bauindustrie häufig wiederholten neunzigprozentigen Verwertungsquote von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen (vgl. Kreislaufwirtschaft Bau 2017), wird häufig der fälschliche Schluss gezogen, dass obig genannte Substitutionsquote und somit das zu erreichende Einsparpotenzial durch RC-GK über ein nur noch sehr geringes Wachstumspotenzial verfügt. Dem ist, bei näherer Aufschlüsselung der Verwertungsquote, zu widersprechen. Denn hierbei wird deutlich, dass lediglich knapp 21 % tatsächlich dem Recycling zugeführt und somit in der Asphalt- und Betonherstellung verwertet wurden. Im Umkehrschluss wurden ca. 80 % der mineralischen Bau- und Abbruchabfälle im Erd- oder Straßenbau zur Verfüllung verwertet (vgl. Kreislaufwirtschaft Bau 2017). Es ist davon auszugehen, dass ein großer Anteil dessen recyclingfähig ist, jedoch durch das Beziehungsgeflecht der Akteure, umgelenkt wird.

Einflussnehmende Akteure sind hierbei insbesondere die Deponien und Verfüllbetriebe, die mit niedrigen Annahmepreisen um mineralischen Bau- und Abbruchabfälle konkurrieren. Eine Lösung für dieses Problem kann unter anderem die Besteuerung oder Regulierung dieser Annahmepreise darstellen (vgl. Knappe et al. 2012, p. 85). Eine andere Möglichkeit wäre, die Deponiegebühren für ausgewählte Materialien zu erhöhen. Zusammenfassend lässt sich bezüglich des RESPOT konstatieren, dass zusätzlich 60 % der verwerteten Bau- und Abbruchabfälle potenziell als Inputstrom der RC-Unternehmen zugeführt werden könnten.

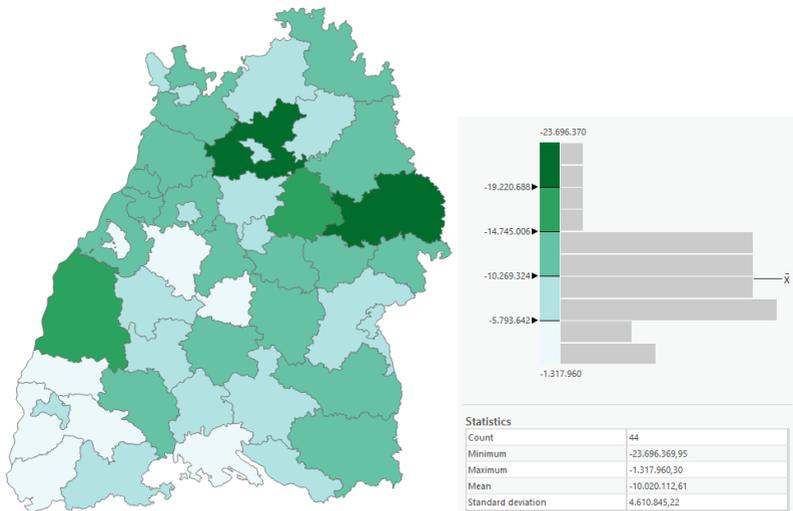


Abbildung 6-3: Im Mittel im Zeitraum von 2016 bis 2030 jährliche Bilanz von Gesteinskörnung im Gebäudebereich zur Verarbeitung im R-Beton für die Kreise Baden-Württembergs; gleichverteilte Intervallgrößen

Bedeutend größer ist das RESPOT jedoch auf Nachfrageseite, der Produktionswirtschaft. Es sind Bauherren und Planer die darüber bestimmen, ob und in welchen Bauwerken die angebotenen RC-GK überhaupt Verwendung finden. Das größte RESPOT liegt also in der Verantwortlichkeit über den Einsatz der Baustoffarten. Werden RC-Baustoffe, wie oftmals üblich, schon gar nicht bei der Ausschreibung berücksichtigt, können sie auch nicht herkömmliche Primär-GK substituieren. Eine Handlungsempfehlung ist es daher, die Diskriminierung der Recyclingbaustoffe in Ausschreibungen, auch insbesondere öffentlichen Ausschreibungen, zu reduzieren bzw. zu verhindern.

- Reduktion bzw. Verbot der Diskriminierung von Recyclingbaustoffen insbesondere in öffentlichen Ausschreibungen (Akteur: öffentliche Hand, Gesetzgeber)

Gründe für die oftmals fehlende Akzeptanz sind, wie bereits wiederholt angeführt, überwiegend auf das schlechte Image dieser hinsichtlich ihrer vermeintlich schlechteren Qualität zurückzuführen. Bedingt wird das schlechte Image der RC-GK zudem durch fehlendes Vertrauen in die uneinheitlichen Gütesicherungssysteme auf föderaler Ebene. Die unterschiedlichen Definitionen, wann ein Ersatzbaustoff einbaufähig ist, schafft zusätzliche Unsicherheit bei potentiellen Nutzern, ob dieser tatsächlich den bekannten Primärbaustoff ersetzen kann. Diese Problematik ist aufgrund der eigennutzenmaximierenden Grundhaltung bzw. der ökonomischen Komponente nicht intrinsisch von den Akteuren zu beheben. Letztlich liegt die Lösung der Gesamtproblematik und somit der Realisierung und Ausschöpfung des Einsparungspotenzials in staatlicher Hand. Dieser muss unter anderem durch eine **einheitliche Gütesicherung** sowie der Definierung von Qualitätsstandards und Grenzwerten das Vertrauen der in der Produktionswirtschaft verantwortlichen Akteure extrinsisch positiv beeinflussen. Hier können sich auch die beteiligten Akteure unterstützend engagieren, indem sie die Gütesicherungssysteme flächendeckend und konsequent umsetzen und als Standard etablieren.

- Einheitliche Gütesicherung sowie eine Definierung von Qualitätsstandards und Grenzwerten (Akteure: öffentliche Hand, Verbände)

Derzeit existiert noch keine bundeseinheitliche Regelung zum Einsatz von RC-Baustoffen. Jedoch sind mit dem Wasserhaushaltsgesetz, dem Bundesbodenschutzgesetz und der Bundes-Bodenschutzverordnung Rahmenbedingungen gegeben, die auch auf Ersatzbaustoffe zutreffend sind. Durch diese werden bereits Grenzwerte für mögliche Umweltbelastungen von Material, welches deponiert oder eingebaut werden soll, gegeben. Regelungen zum speziellen Gebrauch von RC-Baustoffen existieren derzeit auf Länderebene⁴. Die meisten Bundesländer arbeiten hierbei in Anlehnung an

⁴ Eine Übersicht der Länderregelungen findet sich auf der Seite Webseite der Bundesgütesicherungsgemeinschaft: <http://www.recycling-bau.de/start/ralguetesicherung/rechtsvorschriften-der-bundeslaender/umweltrelevanz-von-rc-baustoffen/badenwuerttemberg/index.html>

die Mitteilung M20 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) und somit der Einteilung von Ersatzbaustoffen in Einbauklassen mit Zuordnungswerten Z0 bis Z2 in Bezug auf ihre Gefährdung der Grundwasserbeschaffenheit. Diese Regelungen existieren je nach Bundesland in Form eines Leitfadens an Bauherren, Planer und Architekten, oder spezifischen Regelungen und Erlässen für die verschiedenen Einbaumöglichkeiten. Mitunter handelt es sich hierbei jedoch nicht ausschließlich um rechtsverbindliche Regelungen, sondern um Empfehlungen. Durch die Vielfalt an Regelungen und deren Uneinheitlichkeit der Regelungsart ergibt sich eine für Bauherren, Planer und Architekten, also den Kunden von RC-Baustoffproduzenten, eine unklare Situation darüber, wann ein Baustoff eingesetzt werden darf, wogegen die Länder in der Regel mit Informationsarbeit gegenwirken. Aufgrund der Unsicherheit wird trotzdem oft auf Primärbaustoffe zurückgegriffen, um die Einbaufähigkeit des Stoffes zu garantieren. Viele Unternehmen arbeiten länderübergreifend, weshalb es für diese schwierig ist, sich auf die Regelungsvielfalt einzustellen. An diese Unsicherheit der Einbaubarkeit knüpft auch das Gebiet der Gütesicherung an. Um mehr Klarheit über die Einbaubedingungen zu schaffen, wäre eine bundeseinheitliche Regelung und Vereinheitlichung der Materialkategorien, der Stoffannahmeklassen, der Deponieklassen und der Einbau-/Zweitnutzung-/Mehrfachnutzungsbedingungen wie die MantelV aus Sicht vieler RC-Baustoffproduzenten wünschenswert. Positiv wäre, neben dem übergeordneten Ziel der Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen Grundwasser und Boden vor schädlichen Verunreinigungen, dass beim Überführen der Stoff in bspw. andere Bundesländer kein Kategoriewechsel der Material-/Abfallfraktionen stattfindet und keine Anreize für weite Materialtransporte entstehen, sowie die Herstellung gleicher Wettbewerbsbedingungen, die aktuell durch Informationsasymmetrien hinsichtlich der Annahme- und Verwertungspreise nicht gegeben sind (vgl. auch Mettke und Sodermanns-Peschel 2015, S.551, Bleher et al. 2017).

- Bundeseinheitliche Regelung und Vereinheitlichung der Materialkategorien, der Stoffannahmeklassen, der Deponieklassen und der Einbau- / Zweitnutzung- / Mehrfachnutzungsbedingungen wie die geplante MantelV (Akteur: öffentliche Hand, Verbände)

Zudem kann die **öffentliche Hand selbst als Bauherr in ihrer Vorbildfunktion** auftreten und beispielsweise durch erhöhte Umsetzung der Selbstverpflichtungen zur Verwendung der Sekundärrohstoffe beitragen. Nach § 45 (1) KrWG ist die öffentliche Hand verpflichtet, Recyclingmaterial einzusetzen, sollte dies möglich sein. Ein positives Beispiel ist hierfür die Stadt Zürich, die für den öffentlichen Bau die Verwendung im Hochbau verpflichtend einführte (vgl. Dechantsreiter et al. 2015). Dass der Staat ausschlaggebend und in seiner Vorreiterrolle großen Einfluss ausüben kann zeigen zudem die Ergebnisse des SAM-Modells zur Bewertung von Maßnahmengruppen. Es hat herauskristallisiert, dass die öffentliche Hand in ihren Handlungen die fördernde Rolle einnehmen muss, sei es in Form der Schaffung von Anreizen oder dem Abbau von Hindernissen. Insbesondere ist die Vorreiterrolle der öffentlichen Hand beim eigenen ressourcenschonenden Handeln von zentraler Bedeutung. Dies kann sich wie erläutert beispielsweise in der expliziten Bevorzugung von RC-Materialien in öffentlichen Bauausschreibungen äußern.

- Umsetzung der Selbstverpflichtungen zur Verwendung der Sekundärrohstoffe nach § 45 (1) KrWG und Vorbildfunktion durch die öffentliche Hand

Bei Betrachtung der Verwertungszwecke recycelter Materialien wurde festgestellt, dass große Teile hinter den eigentlichen bauphysikalischen Verwertungsmöglichkeiten zurückbleiben. Dies ist vorwiegend auf fehlende Kenntnisse und Kompetenzen der verantwortlichen Akteure hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten der RC-Baustoffe zurückzuführen. Es gilt die **bestehenden Informationsdefizite zu schließen** und mittels staatlicher Förderung die Schaffung zentraler Datenbanken voranzutreiben oder durch die Integration des Wissens um den Einsatz und der Verwendungszwecke in

Bildungseinrichtungen, sowohl für Fachpersonal der Bau- und Abbruchunternehmen als auch für studierte Bauplaner, beschriebenes Potenzial auszuschöpfen. Auch wird eine unklare Definition des Begriffs "Recyclingbaustoff" häufiger erwähnt. Hier könnte durch eine genauere Definition hinsichtlich der Vermarktung/Image als auch hinsichtlich der Einheitlichkeit Vertrauen und Akzeptanz der potenziellen Nutzer aufgebaut werden.

- Schließung bestehender Informationsdefizite, z.B. durch Datenbankaufbau, Weiterbildungen und klare Definition von „Recyclingbaustoffen“

Weiterhin sollten RC-Baustofftests einfacher und kostengünstiger werden, sodass die Überwachung der Ersatzbaustoffe einfacher und günstiger wird und sich flächendeckend durchsetzt. Dafür ist ggf. Forschung und Entwicklung notwendig.

- Anpassung der ökonomischen Rahmenbedingungen, sodass Recyclingbaustoffe wettbewerbsfähig werden

Die regionale Verfügbarkeit von RC-Baustoffen für den Hochbau ist aktuell nicht flächendeckend gegeben. Die Transporte von den wenigen Produzenten an die wenigen derzeitigen Nachfrager sind oft nicht wirtschaftlich. Dies könnte durch entsprechende Subvention oder gezielte öffentliche Beschaffung und Nachfrage gefördert werden, um die Etablierung entsprechender Verwertungswege zu unterstützen.

- Öffentliche Nachfrage nach Recyclingbaustoffen stärken, z.B. durch gezielte Berücksichtigung in Ausschreibungen

Fazit: Insgesamt wird der stärkste Effekt auf den Ressourcenschutz bei Maßnahmen erwartet, die sich mit „Vorschriften ausbauen“, „Ressourceneffiziente Gebäude- und Infrastrukturplanung“, „Bewusstsein für Ressourcenschutz schaffen“ und „Höhere Informationsverfügbarkeit gewährleisten“ befassen. Die größte Handlungsbereitschaft der Akteure besteht durchschnittlich bei Maßnahmen aus den Gruppen „Kooperationen zwischen

Akteuren entwickeln“, „Vermarktung/Image von RC-Baustoffen verbessern“, „In kreislaufwirtschaftsorientierte Forschung investieren“ und „Hohe Bauqualität von RC-Baustoffen gewährleisten“. Letzteres deckt sich mit einer einheitlichen, flächendeckenden Gütesicherung.

Tabelle 6-5: Handlungsempfehlungen auf einen Blick

Handlungsempfehlungen auf einen Blick:

Optimierung der finanziellen Rahmenbedingungen für die Recyclingwirtschaft

- (1) Zusätzliche Abgaben oder Steuern auf den Kauf bzw. die Nutzung insbesondere von mineralischen und biogenen Primärrohstoffen durch die öffentliche Hand (vgl. Abschnitte 6.1.1, 6.3)
- (2) Erhöhung von Deponiegebühren durch die öffentliche Hand bzw. Kommunen (vgl. Abschnitte 6.1.1, 6.3)

Verbesserung der Information und Ausbildung der Planer und Öffentlichen Hand

- (3) Anpassung von Lehrinhalten und Curricula für die Ausbildung von Architekten, Ingenieuren sowie Einflussnahme auf Studiengänge/ Ausbildungen in mit dem Ziel der Stärkung folgender Themen: Umweltbewusstsein; recyclinggerechte und ressourcenschonende Bauweisen, Bauteile und Materialien (z.B. aus sekundären Rohstoffen); nutzungsflexible Bebauung; vorrangige Sanierung von Bestandsgebäuden; Wohnformen und Gebäudekonzeptionen mit geringem spezifischen Wohnflächenbedarf pro Haushalt oder Kopf (vgl. Abschnitte 6.1.2, 6.2.1)
- (4) Weiterbildungsmaßnahmen zum Themenkomplex Recycling durch Angebote der Kammern (Handwerks-, Architekten-, Ingenieurkammer) bspw. für Bauherren (vgl. Abschnitte 6.1.2, 6.3)
- (5) Gezielte Weiterbildung von Bauamtsleitern und Bauleitern der öffentlichen Hand zum Thema Ausschreibung, Vergabe und nachhaltiges Bauen mit dem Schwerpunkt Ressourceneffizienz (vgl. Abschnitt 6.1.2)

Rechtliche Maßnahmen bzw. deren lokale Durchsetzung

- (6) Umsetzung und Durchsetzung der Novellierung der Gewerbeabfallverordnung (die explizit auch Bauabfälle miteinschließt) mit Pflicht zur Dokumentation und Nachweis der Verwertung durch die öffentliche Hand (vgl. Abschnitt 6.1.1)

- (7) Konsequente Verweigerung der Ablagerung/Deponierung von Abfallmassen mit Recyclingpotenzial bzw. grundsätzliche Verbringung zu Aufbereitungsstandorten (und ggf. Weiterleitung von Teilfraktionen zur Deponierung) durch Deponiebetreiber bzw. Regulierung durch die öffentliche Hand (vgl. Abschnitt 6.1.1)
- (8) Reduktion bzw. Verbot der Diskriminierung von Recyclingbaustoffen in (öffentlichen) Ausschreibungen durch die öffentliche Hand (vgl. Abschnitt 6.3)
- (9) Einheitliche Gütesicherung sowie Definition von Qualitätsstandards und Grenzwerten in Bezug auf Recyclingbaustoffe durch die öffentliche Hand oder Verbände (vgl. Abschnitt 6.3)
- (10) Bundeseinheitliche Regelung und Vereinheitlichung der Materialkategorien, der Stoffannahmeklassen, der Deponieklassen und der Einbau-/Zweitnutzung-/Mehrfachnutzungsbedingungen wie die geplante MantelV durch öffentliche Hand und Verbände (vgl. Abschnitt 6.3)
- (11) Umsetzung der Selbstverpflichtungen zur Verwendung von Sekundärrohstoffen nach § 45 (1) KrWG und Vorbildfunktion der öffentlichen Hand (vgl. Abschnitt 6.3)

Maßnahmen in Wachstumsregionen

- (12) Anreize für eine möglichst nutzungsflexible Bebauung (auch insbesondere im Ersatzneubau) setzen z.B. durch Kommunen und Kreise (vgl. Abschnitt 6.2.1)
- (13) Anreize für vorrangige Sanierung und Umnutzung von Bestandsgebäuden statt Abriss und Ersatzneubau sowie für eine bessere Auslastung von Bestandsgebäuden z.B. durch Kommunen und Kreise (vgl. Abschnitt 6.2.1)
- (14) Anreize für Wohnformen und Gebäudekonzeptionen, die den spezifischen Wohnflächenbedarf pro Haushalt oder Kopf verringern z.B. durch Kommunen und Kreise (vgl. Abschnitt 6.2.1)

Zusätzliche Maßnahmen in stagnierenden / schrumpfenden Regionen

- (15) Ausweisen von Zwischenlagerflächen für Bauabfallmassen durch Kommunen und Kreise (vgl. Abschnitt 6.2.1)
- (16) Entwicklung neuer Recyclingstrategien und Erschließung neuer Absatzwege in den Hochbau, z.B. durch Forschungsprojekte oder Demonstrationsvorhaben initiiert durch die Länder oder die Institutionen des Bundes (vgl. Abschnitt 6.2.1)

Forschung und Entwicklung

- (17) Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für techno-ökonomisch und ökologisch tragbare Lösungsvorschläge für die nachhaltige Nutzung von Leichtbaustoffen (insbesondere Porenbetonen und leichten Mauerwerkssteinen) durch die öffentliche Hand (vgl. Abschnitt 6.2.1)
- (18) Analyse der Zahlungsbereitschaften, Kostenstrukturen und finanziellen Rahmenbedingungen der Recyclingwirtschaft sowie deren Optimierung, Wirkungsanalyse und Minimierung des Wertverlusts von Rohstoffen, gefördert durch die öffentliche Hand (vgl. Abschnitte 6.3, 9.3)
- (19) Kopplung der bisherigen Untersuchungen mit optimierenden Standort- und Logistikmodellen zur Reduktion bzw. Optimierung von Transporten insbesondere von mineralischen Baustoffen und transportbedingten Emissionen (vgl. Abschnitt 9.3)
- (20) Förderung einer Erhebung regionalisierter Gebäude- und Infrastrukturbestandsdaten (besonders für den heterogenen Nichtwohngebäudebestand sowie für Bahn, Kanäle und Leitungen), Sanierungszuständen, Schadstoffvorkommen sowie frei verfügbarer GIS-basierter Daten (vgl. Abschnitt 9.3)

7 Projektmanagement (AP6)

Das Projekt wurde über einen Zeitraum von 3 Jahren durchgeführt. Es startete am 01.04.2015 und endete planmäßig am 31.03.2018. Im Lauf des Projektes wurden alle Meilensteine erfüllt und zwei Treffen mit dem Projektbeirat veranstaltet. Im Rahmen des Förderprogramms und der Begutachtung wurden die Projektergebnisse im Rahmen einer Zwischenevaluation und im Rahmen der Abschlussbegutachtung den Gutachtern und dem anwesenden Fachpublikum vorgestellt.

8 Erfolge und geplante Veröffentlichungen

Bislang wurden Teilprojektergebnisse zum Stakeholder-basierten Bewertungsmodell (SAM) (vgl. Kapitel 3) auf einer internationalen Konferenz veröffentlicht. Dabei handelt es sich um folgende Publikation:

Müller, R. C.; Schamber, O.; Volk, R.; Schultmann, F. (2017): A Stakeholder-Based Assessment Model (SAM) for Resource -Efficiency Measures in the Construction Industry. 2017. Proceedings of the World Sustainable Built Environment Conference 2017: Transforming Our Built Environment through Innovation and Integration: Putting Ideas into Action, Hong Kong, 5-7 June 2017, 833-839, HKGBC, Hong Kong

Nach Abschluss des Projektes wurden die vorliegenden Ergebnisse in der Fachzeitschrift *Ecological Economics* veröffentlicht. Dabei handelt es sich um folgende Publikation:

Volk, R.; Müller, R.; Reinhardt, J.; Schultmann, F. (2019): An Integrated Material Flows, Stakeholders and Policies Approach to Identify and Exploit Regional Resource Potentials, *Ecological economics*, 161, 292–320. doi:10.1016/j.ecolecon.2019.03.020

Eine weitere Publikation ist nicht geplant.

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 Zusammenfassung der Projektergebnisse

Das Projekt StAR-Bau beschäftigte sich mit der Untersuchung der aktuellen und zukünftigen Stoffströme im Bauwesen von Baden-Württemberg. Dafür wurden 6 Arbeitspakete bearbeitet, die in den Kapiteln 2-7 beschrieben sind. Zunächst wurde ein Stoffstrommodell entwickelt, basierend auf den Vorarbeiten von Schiller, Deilmann, Gruhler, Böhm und Ortlepp am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) in Dresden sowie der Projektpartner Knappe und Reinhardt am Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu). Parallel dazu wurde am IIP eine Akteursanalyse durchgeführt, die zum einen die relevanten Akteure im Bauwesen befragte und zum anderen deren Beziehungen untereinander analysierte und modellierte. Beide Teilmodelle wurden dann zusammengeführt und gemeinsam entwickelte Szenarien zur zukünftigen Entwicklung entworfen und die Szenarioergebnisse berechnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass unabhängig vom gewählten Szenario aus Sicht der befragten Akteure die folgenden drei Maßnahmen bzw. Maßnahmengruppen für den Ressourcenschutz in Baden-Württemberg am vielversprechendsten sind:

- Maßnahme 31 (Zusatzkosten/Steuern auf Kauf von Primärrohstoffen),
- Maßnahme 11 (Erhöhung von Deponiegebühren) und
- Maßnahme 1 (Anpassung von Lehrinhalten (z.B. Ingenieure, Architekten) und Weiterbildungen zur Förderung des Umweltbewusstseins)

Je Maßnahme bzw. Maßnahmengruppe sind verschiedene detaillierte Ausgestaltungen denkbar. Beispielsweise können die Anpassungen der Lehrinhalte zum einen die Ausbildung umfassen und damit langfristig greifen und zum anderen aus Weiterbildungsmaßnahmen bestehen und damit eher eine kurzfristige Wirkung erzielen.

Gekoppelt über den Zeitraum zwischen 2016-2030 eingesetzt ergeben sie in den Modellberechnungen ein mittleres Ressourcenschonungspotenzial von 30,8 % für Baden-Württemberg (vgl. Kapitel 5.3). Würde das Maßnahmenbündel mit den Top 3-Maßnahmen von 2019-2030 eingeführt werden, könnte dies absolut gesehen zu einer Verringerung der kumulierten Stoffstrombilanzen der Jahre 2018-2030 von 119 Mio. t auf 82 Mio. t Baustoffe führen (Standardszenario, Baden-Württemberg gesamt). Allerdings unterscheidet sich dieses Potenzial zwischen den Kreisen des Bundeslandes, je nach prognostizierter Bevölkerungsentwicklung, Leerstandsquote in den unterschiedlichen Gebäudetypen, wirtschaftlicher Entwicklung sowie den geplanten Instandhaltungsmaßnahmen in der Straßeninfrastruktur.

Auf Basis der Modellrechnungen hat sich außerdem gezeigt, dass eine maximal verlaufende Bevölkerungsentwicklung durch die dann entsprechend steigenden Materialinputs insbesondere in den Wohngebäudebestand neben dem Ersatzneubaubedarf den größten Einfluss auf das Ergebnis haben.

Adressaten und Nutzer des entwickelten Modells sind Entscheidungsträger auf Bundes- und Landesebene sowie auf kommunaler Ebene. Diese kann unter Eingabe der Wohn- und Nichtwohngebäudebestandsentwicklung sowie der geplanten Infrastrukturentwicklung die Stoffstromentwicklung für 16 einzelne Stoffströme auf Landkreisebene bis 2030 prognostiziert werden. Darüber hinaus können die Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen (31, bis zu 3 Maßnahmen gleichzeitig) je Stadt- bzw. Landkreis ausgegeben werden. Das Modell kann für Simulationen und zur Entscheidungsunterstützung genutzt werden. Eine Übersicht über die insgesamt erarbeiteten Handlungsempfehlungen gibt Kapitel 6 sowie Tabelle 6-5.

9.2 Kritische Würdigung

Die kritische Würdigung der einzelnen Modellteile erfolgte bereits im Detail in den Abschnitten 3.3.1.3, 3.3.2.3 und 3.3.3.8 für das Stoffstrom- und Bestandsmodell sowie in Abschnitt 4.5.6 für das Akteursmodell SAM. Für

das Gesamtmodell StAR wird in Abschnitt 5.4 eine kritische Würdigung des Ansatzes vorgenommen.

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Punkte zusammengefasst. Die Aussagen des Modells sind stark von den Eingabedaten abhängig. Dies umfasst sowohl die unsicheren Bestandsdaten (insbesondere zu Nichtwohngebäuden) als auch die Parameter des Akteursmodells aus den durchgeführten Befragungen. Die Stichprobengröße der Umfragen ist u. U. nicht repräsentativ.

Unter der Annahme, es gäbe in Baden-Württemberg 1000 beteiligte Akteure am Bauwesen (Populationsgröße), die man hinsichtlich der Ressourcenschonung befragen könnte, dann müsste man für eine repräsentative Umfrage mit einem Konfidenzniveau¹ von 95% und einer Fehlermarge² von 5% mindestens 278 Akteure befragen. Bei 1000 (bzw. 500) Akteuren (Populationsgröße) einem Konfidenzniveau von 95% und einer Fehlermarge von 10% müsste man für eine repräsentative Umfrage mindestens 88 (bzw. 81) Akteure befragen. Im Rahmen der umfangreicheren, zweiten Umfrage konnten 88 Rückläufer ausgewertet werden, 40 davon vollständig. Da die Anzahl der beteiligten Akteure im Bauwesen (Architekten, Bauingenieure, Fachplaner, Gewerke, Bauunternehmen, Generalunternehmer, Abbruchunternehmen, Recyclingunternehmen, Bauprodukthersteller, Entscheider der öffentlichen Hand, Bauherren/Eigentümer, Deponien und Verfüllbetriebe, Bildungs-/Forschungseinrichtungen, Finanzdienstleister) in Baden-Württemberg unbekannt ist, kann hier zur Repräsentativität der Umfrage keine Aussage gemacht werden.

Weiterhin basieren die gebäudespezifischen Materialkennzahlen auf synthetischen Gebäuden und detailliert erhobenen Einzelgebäuden. Diese

¹ Maß für die Sicherheit, mit der die Stichprobe die gewählte Population bzw. Gruppe der zu Befragenden widerspiegelt. Übliche Werte sind 90 %, 95 % und 99 %.

² Maß für die Nähe bzw. die Abweichung der Antwort der Stichprobe vom „wahren“ Wert der Population (Gruppe der zu Befragenden). Je kleiner der Wert ist, desto näher liegt die Antwort am Konfidenzniveau.

Datenbasis kann und muss insbesondere im Nichtwohngebäudebestand erweitert und verbessert werden, um die Modellergebnisse zu verbessern. Ebenso sind einige wesentliche Teile der Infrastruktur (Bahn, Flughäfen, Schifffahrt) und Netze (Strom, Wasser, Abwasser, IT/Telekommunikation) und die damit verbundenen Stofflager und Stoffströme im Modell nicht abgebildet. Insbesondere durch aktuelle, große Veränderungen im Bahnnetz Baden-Württembergs („Stuttgart 21“) sowie hinsichtlich des Netzausbaus („Energiewende“) kann hier eine Verzerrung der Ergebnisse bzw. Abweichung zu realen Stoffströmen entstehen.

Darüber hinaus wäre es gut, wenn eine tatsächliche Messung der Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen zur Ressourcenschonung vorgenommen werden könnte, um größere Aussagekraft zu erhalten. Dies gilt sowohl für dieses Modell, als auch für andere Arbeiten in dem Bereich. Zudem ist die Validierung des Ansatzes schwierig. Dies ist allerdings kein spezifisches, singuläres Problem dieses Ansatzes, sondern generelles Problem der Modellierungen, Simulationen und Systemanalysen. Erst durch Beobachtung der tatsächlich eintretenden Situation und deren Bewertung kann ggf. eine Validierung erfolgen. Hierzu müssten von zuständigen Behörden im Sinne eines regionalen Nachhaltigkeitsmanagements entsprechende Stoffbestand- und Stoffstromdaten dringend erhoben werden, um einen Überblick über die aktuellen Stoffströme zu erhalten und diese mit den Modellergebnissen zu vergleichen.

Auch können mit dem Modell nicht die grundsätzlichen Probleme der Kreislaufführung gelöst werden, die bspw. in Schiller et al. 2015, S.180 diskutiert werden. Dazu zählt zum Beispiel, dass eine unendliche Kreislaufführung physikalisch nicht möglich ist, sondern nur eine Verlängerung der Nutzungsdauer, sowie dass der Anfall sekundärer Materialien ersetzt nicht komplett den Primärmaterialeinsatz ersetzen wird sowie dass beim Recycling teilweise nicht unerhebliche Verluste entstehen (siehe ebd.).

9.3 Ausblick und zukünftige Forschung

Wünschenswert wäre, im Rahmen der Erfüllung der Nachhaltigkeitsziele der EU und Deutschlands, die möglichst nachhaltige und langfristige Nutzung und ein möglichst kleiner Wertverlust der bereits in der Atmosphäre vorhandenen Stoffe. Dies ist nach wie vor eine Herausforderung – ebenso wie die politisch angestrebte Entkopplung des Ressourcenverbrauchs und des Wirtschaftswachstums.

Zukünftiger Forschungsbedarf besteht daher aus Sicht des Konsortiums nach wie vor in der Erhebung regionalisierter Gebäudebestandsdaten (besonders für den heterogenen Nichtwohngebäudebestand). Auch wären frei verfügbare GIS-basierte Daten für die Untersuchungsgebiete wünschenswert, die Informationen zur Gebäudekubatur, der Konstruktionsweise und Materialzusammensetzung sowie die Nutzungsart beinhalten. Weiterhin werden Materialien für Bahn, Kanäle und Leitungen sowie weitere Bauten im Bereich der Infrastruktur außerhalb des Straßenbereichs in dieser Studie nicht berücksichtigt. Die kann und sollte Gegenstand zukünftiger Studien sein, für die dann auch entsprechende Daten vorliegen sollten. Zudem liegen keine Daten zu den Sanierungszuständen von Gebäuden (je Typ, Altersklassen und bspw. Lage) vor, sodass die tatsächlichen Gebäudezustände (falls durch Sanierung abweichend vom Originalzustand) in derartigen Modellen nicht darstellbar sind.

Kaum belastbare Daten liegen zudem für Schadstoffe wie künstliche Mineralfasern (mineralische Faserdammstoffe, Steinwolle, Glaswolle), Asbest, Asbestzement, polychlorierte Biphenyle (PCB) und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie auch für zukünftige, heute noch nicht bekannte Schadstoffe im Gebäudebestand vor.

Für die Prognose des zukünftigen Wohngebäudebestands sollte die Berechnungsmethodik des BBSR zur Bestimmung des Wohnungsneubaubedarfs implementiert werden, um diesbezügliche Unsicherheiten durch die anzunehmende Höhe des Ersatzneubaubedarfs und anzunehmende Entwicklung der Leerstandsquote zu vermeiden. Weiterhin ist zu hinterfragen, in

wieweit Zubau und Abriss jeweils mit vollen Stoffflüssen verbunden ist und Interaktionen zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden gegeben sind. Die mit der Sanierung verbundene Eingriffstiefe muss bauteilspezifisch abgeleitet werden. Darüber hinaus muss die Verteilung des Abbruchgeschehens auf die verschiedenen Bauepochen genauer untersucht werden.

Hinsichtlich der Untersuchung der beteiligten Akteure und ihres Entscheidungsverhaltens sowie zum Systemverhalten liegen aktuell kaum gesicherte Informationen vor. Hier wären umfassendere, repräsentative Befragungen wünschenswert, die zu einem tieferen Verständnis der aktuellen Hemmnisse, Bedenken und Zahlungsbereitschaften möglicher Nutzer von Recyclingbaustoffen führen und, die Hinweise auf systemverändernde Anreize geben können. Dies wäre mit einer Analyse der erforderlichen Anpassung der ökonomischen Rahmenbedingungen und Zahlungsbereitschaften zu untersuchen. Beides könnte mit dem hier entwickelten StAR-Modell gekoppelt werden, um Prognosen für die zukünftige Entwicklung und Einflussnahme der Anpassung von ökonomischen Rahmenbedingungen auf bestimmte Stoffströme in Regionen zu erstellen und die Auswirkungen auf und Betroffenheit aller Akteure zu untersuchen.

Hinsichtlich der Datenlage auf Kreisebene ist anzumerken, dass aktuell hierzu keine Daten zum Gebäude- und Infrastrukturbestand sowie zu den aktuellen Stoffströmen vorliegen. Diese müssten von zuständigen Behörden im Sinne eines regionalen Nachhaltigkeitsmanagements dringend erhoben werden, um einen Überblick über die aktuellen Stoffströme zu erhalten. Zudem wäre eine flächendeckende, kreisscharfe Untersuchung auch über die Bundeslandgrenzen hinweg interessant (insbesondere im Lichte der MantelIV) sowie hinsichtlich der Betrachtung an Landesgrenzen, da auch hier die unterschiedlichen, nationalen Regelungen der europäischen Nachbarstaaten für eine wirtschaftliche Vorteilsnahme der Akteure genutzt wird, die nicht notwendigerweise im Sinne einer Ressourcenschonung oder Emissionsminimierung ist. Dies müsste eine Kopplung mit einer optimierenden Logistik- und Standortplanung umfassen, damit gleichzeitig

mit der Optimierung des Einsatzes von Baustoffen das Handling und die Transportwege (und damit die Treibhausgasemissionen) reduziert werden.

Ebenso wäre eine Fortschreibung dieser Informationen bis 2050 sinnvoll, die durch eine Erweiterung der Datenbasis leicht durchgeführt werden könnte. Dabei könnte bspw. das Ziel eines klimaneutralen Bauwesens simuliert werden und die politische Zielerreichung könnte mittels eines entsprechend erweiterten StAR-Modells unterstützt werden.

Acknowledgements

Wir danken der Baden-Württemberg Stiftung für die Finanzierung des Projektes StAR-Bau (Förderkennzeichen: NaBau6), das zu den beschriebenen Ergebnissen und dieser Veröffentlichung geführt hat. Weiterhin danken wir Rebecca Wehrle, Andreas Cordes, Olga Schamber, Andreas Müller, Mirea Meyer zu Rheda, Elias Naber und Simon Föll für ihre Beiträge im Projektverlauf.

Literaturverzeichnis

AE MantelV, Arbeitsentwurf der Mantel-Verordnung (2015): 3. AE Arbeitsentwurf der Mantel-Verordnung [Working Draft of the Mantel-Verordnung]. Bonn.

Amtsblatt der EU (2008): Richtlinien 2008/98/EG des europäischen Parlaments und des Rates über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien [Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council on waste (Waste Framework Directive) and for the deregulation of directives].

Amtsblatt der EU (2011): Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des europäischen Parlamentes und des Rates zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates.

ARGE KWTB (2007). Monitoring-Bericht Bauabfälle – Erhebung 2004 [Monitoring report on construction waste - 2004 survey]. Berlin: 2007.

Arendt, M. (2000): Kreislaufwirtschaft im Baubereich: Steuerung zukünftiger Stoffströme am Beispiel von Gips [Circular economy in the construction sector: control of future material flows using gypsum as an example]. Dissertation. Ruprecht-Karls-Universität. Heidelberg.

<http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/1795/1/Dissertation.pdf> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Arendt, M. (2001): Kreislaufwirtschaft im Baubereich: Steuerung zukünftiger Stoffströme am Beispiel von Gips. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, 296 S., zugl. Dissertation. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.

Ascher, W. (2006): Long-term strategy for sustainable development. Strategies to promote far-sighted action. Sustainability Science 1 (1), S. 15–22.

Bahn-Walkowiak, B.; Steger, S.; Bringezu, S. (2013): Politische und rechtliche Ansätze für inputorientierte Ressourcenziele in Europa und weltweit, Forschungszentrum für Umweltpolitik, <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/19978>

Banse, J.; Effenberger, K.-H. (2006): Deutschland 2050 – Auswirkungen des demographischen Wandels auf den Wohnungsbestand [Germany 2050 – Effects of demographic change on housing stock]. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR). In: IÖR-Texte 152. Dresden.

Bayrisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (2013): Zensusdatenbank 2011 – Ergebnisse dynamisch und individuell 2013.

BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2015): Bericht zur Lage und Perspektive der Bauwirtschaft 2015 [Report on the situation and prospects of the construction industry in 2015]. Bonn.

BBSR (2015a): Held, T; Waltersbacher, M.: Wohnungsmarktprognose 2030 [Housing market forecast 2030]. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. In: BBSR-Analysen KOMPAKT 07/2015. Bonn.

BBSR (2015b): Schlömer C., Bucher H., Hoymann J.: Die Raumordnungsprognose 2035 nach dem Zensus [Regional planning forecast 2035 according to the census]; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung; Bonn, April 2015.

BBSR (2016) (Mitteilung Hr. Schlomann): Persönlich beim BBSR angeforderte Prognose zu den Erwerbspersonen in den Kreisen [Forecast on the labour force in the districts personally requested from the BBSR]. 2016.

BDI, Bundesverband der Deutschen Industrie e.V (2015): Positionspapier. BDI-Kurzbewertung des 3. Arbeitsentwurfs zur sogenannten Mantelverordnung [Position paper. BDI short assessment of the 3rd draft on the so-called Mantelverordnung].

Berner, F., Kochendörfer, B. und Schach, R. (2015): Grundlagen der Baubetriebslehre 3, Baubetriebsführung [Basics of construction management 3, construction management]. Springer Vieweg.

Bilitewski, B./ Härdtle, G. (2013): Abfallwirtschaft. Handbuch für Praxis und Lehre. 4. Auflage. [Waste management. Handbook for practice and teaching. 4th edition] Springer, Berlin.

Binder, C.R. (2007): From material flow analysis to material flow management. Part II: The role of structural agent analysis. *Journal of Cleaner Production* 15 (17), S. 1605–1617.

https://www.researchgate.net/profile/Claudia_Binder/publication/223439379_From_material_flow_analysis_to_material_flow_management_Part_II_the_role_of_structural_agent_analysis/links/575446fb08ae10d9337a353d.pdf (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Bleher, D. Dehoust, G., Alwast, H., Grass, V., Thörner, T., Stuckenholz, F. Susset, B., Ewen, C., Albrich, H. (2017): Planspiel Mantelverordnung: Aspekte der Kreislaufwirtschaft und des Bodenschutzes, Planspiel mit dem Ziel einer Gesetzesfolgenabschätzung zu den Auswirkungen der Mantelverordnung (aktuelle Entwurfsfassung), UBA, Texte 104/2017 [Simulation game Mantelverordnung: Aspects of circular economy and soil protection, simulation game with the aim of assessing the legal consequences of the Mantelverordnung (current draft version), UBA, texts 104/2017], https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-11-08_texte_104-2017_planspiel-mantelvo.pdf

BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (2015): Forschungsinitiative Zukunft Bau [Research Initiative ZukunftBau].

<<http://www.bmub.bund.de/themen/bauen/bauwesen/forschungsinitiative-zukunft-bau/>>, abgerufen am 02.03.2016.

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (2006): Bauen im Lebenszyklus [Construction in the building life cycle]. Berlin.

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (Hrsg.) (Ed. 2018): Arbeitshilfen Recycling. Arbeitshilfen zum Umgang mit Bau- und Abbruchabfällen sowie zum Einsatz von Recycling – Baustoffen auf Liegenschaften des Bundes [Guidebook recycling. Guidebook for dealing with construction and demolition waste as well as for the use of recycled building materials on federal properties].

<https://www.fib-bund.de/Inhalt/Richtlinien/BFRR Recycling/>

(last access: 01. April 2019).

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (2009): Datenbank Ökobau.dat [Database Ökobau.dat] 2009.

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (2011): Umwelt-Produktdeklarationen (EPD) [Environmental product declarations]. BMVBS; 2011.

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (Hrsg.) (2011): Initiativen auf nationaler Ebene im Bereich des Nachhaltigen Bauens [Initiatives on national level in the field of sustainable construction]. Bearbeitung durch: Schultmann, F.; Kuehlen, A.; Hiete, M.. BMVBS-Online-Publikation, Nr. 09/2011.

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (Hrsg.) (2013): Leitfaden Nachhaltiges Bauen [Guide to sustainable construction]. http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Sonderveroeffentlichungen/2013/DL_LeitfadenNachhaltigBauen.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (letzter Zugriff: 3.10.2015).

BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (Hrsg.) (2014): Allianz für nachhaltige Beschaffung [Alliance for sustainable procurement]. Jahresbericht.

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/allianz-fuer-eine-nachhaltige-beschaffung-2014.html> (Zugriff: 05.04.2018).

BMWi (2018): Energiedaten und -szenarien, Gesamtausgabe der Grafiken zu Energiedaten [Energy data and scenarios, complete edition of graphics for energy data] Letzte Aktualisierung: Januar 2018, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/energiedaten-gesamt-pdf-grafiken.pdf?__blob=publicationFile&v=34, (Zugriff: 18.04.2018).

Bölke, R. (2003): Das SAP-Implementierungsmodell SASPF der Bundeswehr [The SAP implementation model SASPF of the German Federal Armed Forces]. Diplomarbeit. Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Wirtschaftsinformatik, 2003, ISBN: 978-3838669564.

Borshchev, A. und Filippov, A. (2004): From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: reasons, techniques, tools. The 22nd International Conference of the System Dynamics Society, July 25 - 29, 2004, Oxford, England.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.511.9644&rep=rep1&type=pdf> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Bosch, G. und Rehfeld, D. (2003): Zukunftsstudie Baugewerbe Nordrhein-Westfalen [Study on the future of North Rhine-Westphalia's construction industry]. Enderbericht /Final Report. Gelsenkirchen.

Bourne, L. (2009): Stakeholder relationship management. A maturity model for Organisatorisch implementation. Gower. Burlington, VT.

Bourne, L. (2010): Stakeholder relationship management. Using the Stakeholder Circle methodology for more effective stakeholder engagement of senior management. 7th Project Management National Benchmarking Forum PMI Chapter, 24.-26.11.2010, Rio de Janeiro, Brazil.

Bourne, L. und Walker, D. H. (2005): Visualising and mapping stakeholder influence. *Management decision* 43 (5), S. 649–660.

https://www.researchgate.net/profile/Derek_Walker/publication/235299660_Visualising_and_mapping_stakeholder_influence/links/00b7d51db14eb965f7000000/Visualising-and-mapping-stakeholder-influence.pdf
(letzter Zugriff: 04.07.2018).

BTB (2015): Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V.: Jahresbericht 2015/2016; Gremien und statistische Daten. Berlin. August 2016

Buchert M, Fritsche U, Jenseit W, Rausch L, Deilmann C, Schiller G, Sientop S, Lipkow A. (2004): Nachhaltiges Bauen und Wohnen in Deutschland: Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung – Verknüpfung des Bereiches Bauen und Wohnen mit dem komplementären Bereich „Öffentliche Infrastruktur“ [Sustainable construction and housing in Germany: Material flow-related modules for a national concept of sustainable development - linking the area of construction and housing with the complementary area of "public infrastructure"]. UBA; 2004.

Busse, D. (2012): Nachhaltigkeitsaspekte in Theorie und Praxis der Entscheidungsfindung. Perspektiven institutioneller Steuerung in der Immobilienwirtschaft [Sustainability aspects in theory and practice of decision making. Prospects for institutional control in the real estate industry]. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Karlsruhe. Gabler Verlag. Wiesbaden

BVSE (2018): BVSE und DA rufen neues bundesweit einheitliches Qualitätssicherungssystem für Ersatzbaustoffe ins Leben.

<https://www.bvse.de/ueber-uns-mineralik-menu/mineraliktag/einheitliches-qualitaetsicherungssystem-fuer-ersatzbaustoffe.html>

Carus, M.; Raschka, A.; Fehrenbach, H.; Rettenmaier, N.; Dammer, L.; Köppen, S.; Thöne, M.; Dobroschke, S.; Diekmann, L.; Hermann, A.; Hennenberg, K.; Essel, R.; Piotrowski, S.; Detzel, A.; Keller, H.; Kauertz, B.; Gärtner, S.; Reinhardt, J. (2014): Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse (Langfassung), UBA-Texte 01/2014, ISSN 1862-4804, https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Oekologische_Innovationspolitik_Langfassung_Deutsch.pdf (letzter Zugriff :08.08.2018)

Chinowsky, P., Diekmann, J. und Galotti, V. (2008): Social Network Model of Construction. *Journal of Construction Engineering and Management* 134 (10), S. 804–812.
http://ceae.colorado.edu/~diekmann/paul_victor_diek_%20social_%20networks.pdf (last access: 01. April 2019).

Clement, D, Hammer, K, Brunner, P.H., Anger, L (2009): Quo vadis Baurestmassen? Nachhaltige Bewirtschaftung von Baurestmassen – ein Beitrag zur Ressourcenschonung. Proceedings “Nachhaltige Nutzung von Baurestmassen – Ein Beitrag zur Ressourcenschonung und Umweltverträglichkeit im Bauwesen [Quo vadis demolition waste? Sustainable management of construction waste – a contribution to resource conservation. Proceedings "Sustainable use of demolition waste – A contribution to resource conservation and environmental compatibility in the building industry], 13. November, Wien. http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_187072.pdf.

Clement, D., Hammer, K. und Brunner, P.H. (2010): Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Abfallvermeidung und Abfallrecycling der EU. ACTION 6: Evaluierung des Stands der Technik und mittelfristiger Entwicklungsmöglichkeiten von selektivem Rückbau und Baurestmassenaufbereitung [Concept for sustainable use of construction waste based on the EU Strategy on Waste Prevention and Recycling. ACTION 6: Evaluation of the state of the art and medium-term development possibilities of selective deconstruction and demolition waste treatment]. Endbericht. Wien.

http://enba.rma.at/sites/enba.rma.at/files/EnBa_Endbericht_Action%206.pdf (letzter Zugriff: 11.1.2016).

Clement, D.; Hammer, K.; Schnöller, J.; Daxbeck, H.; Brunner, P. H. (2011): Wert- und Schadstoffe in Wohngebäuden. In: Österr Wasser- und Abfallw 63 (3-4), S. 61–69. doi.org/10.1007/s00506-010-0272-4.

Curwell, S. (2003): BEQUEST - An International Cross-cultural Cooperation and Information Exchange. In: Cole, R.J. und Lorch, R. (Hrsg.): Buildings, culture and environment. Informing local and global practices. Blackwell Publishing, Oxford, S. 202–22.

DAfStb (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton) (2010): rezyklierte Gesteinskörnung:2010-09, <https://www.beuth.de/de/technische-regel/dafstb-beton-rezyklierte-gesteinskoernung/139271550> (abgerufen am 06.06.2018)

Daxbeck, H., Buschmann, H., Flath, J. und Neumayer, S. (2010): Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Abfallvermeidung und Abfallrecycling der EU. ACTION 3: Untersuchung der derzeitigen Umsetzung der Thematischen Strategie in den aktuellen gesetzlichen Regelungen und in der abfallwirtschaftlichen Praxis [Concept for sustainable use of construction waste based on the EU Strategy on Waste Prevention and Recycling. ACTION 3: Investigation of the current implementation of the Strategy in current legal regulations and in waste management practice]. Endbericht. Wien.

[http://enba.rma.at/sites/enba.rma.at/files/Projekt%20EnBa_Endbericht_Action%203%20\(Vers.1.0\).pdf](http://enba.rma.at/sites/enba.rma.at/files/Projekt%20EnBa_Endbericht_Action%203%20(Vers.1.0).pdf) (letzter Zugriff: 11.1.2016).

Daxbeck, H., Flath, J., Lixia, R. und Buschmann, H. (2011): "Bauwerke in Lebenszyklen denken" - Österreich auf dem Weg zur Ressourceneffizienz ["Thinking Buildings in Life Cycles" - Austria on the way to resource efficiency] im. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 63 (11), S. 205–210.

DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) und VDI (Zentrum Ressourceneffizienz GmbH) (Hrsg.) (2015): Bauen und Wohnen – ressourcenschonend und energieeffizient [Construction and living - resource-saving and energy-efficient]. Steinbacher Druck GmbH. Osnabrück.

Dechantsreiter, U., Horst, P., Mettke, A., Asmus S., Schmidt, S., Knappe, F., Reinhardt, J., Theis, S., Lau, J.J. (2015): Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertiger Verwertung von Baustoffen [Instruments for the reuse of components and high-quality recycling of building materials]. UBA-Texte | 93/2015, Oktober 2015, FKZ: 3712 32 319, Umweltbundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/instrumente-zur-wiederverwendung-von-bauteilen>

Deilmann, C.; Behnisch, M.; Dirlich, S.; Gruhler, K.; Hagemann, U.; Peterleit R.; Kunz, C.; Peterleit, K. (2013): Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen [Systematic data analysis of non-residential buildings – recording and quantification energy saving and CO₂ reduction potentials]. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR); Ingenieurbüro Peterleit. Im Auftrag des BMVBS. Dresden, Göldenitz, Berlin.

Deilmann, C.; Krauß, N.; Gruhler, K.; Reichenbach, J. (2014): Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau [Sensitivity study on the circular economy potential in building construction]. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR); Intecus GmbH. Im Auftrag des BBSR und BBR. Dresden.

Demmich, J. (2006): Das Tongrubenurteil und Folgen [The Clay Pit Judgement and Consequences]. Vortrag anlässlich des 2. Rohstoffforums Mecklenburg-Vorpommern. Kurzfassung.

DepV (Deponieverordnung) (2009): Verordnung über Deponien und Langzeitlager [Directive on Landfills and Long-Term Storage]. https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/depv_2009/gesamt.pdf, abgerufen am 01.03.2016.

Destatis (2015): Pöttsch O., Rößger F.: Bevölkerung Deutschlands bis 2060; 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung; Statistisches Bundesamt; Wiesbaden, 2015,

https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/BevoelkerungDeutschland2060Presse5124204159004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt zugegriffen: 03.08.2018

Destatis (2017a): Umwelt / Environment, Abfallentsorgung / Waste disposal 2015, Fachserie 19 Reihe 1,

https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Abfallentsorgung2190100157004.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen: 23.03. 2018)

Destatis (2017b): Umweltstatistische Erhebungen, Abfallwirtschaft, Abfallbilanz 2015 [Environmental statistics, waste management, waste balance 2015],

<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Tabellen/TabellenAbfallbilanzKurzuebersicht.html> (abgerufen: 23.03. 2018)

Deutscher Abbruchverband (Hrsg.) (2007): Abbrucharbeiten. Grundlagen, Vorbereitung, Durchführung, [Demolition work. Basics, preparation, implementation]. Bearbeitung durch: Lippok, J.; Dietrich, K. 2., aktualisierte und erw. Aufl. R. Müller. Köln.

Diederichs, C. J. (2012): Bauwirtschaft und Baubetrieb. Unternehmensführung [Construction industry and construction operations. corporate management]. In: Konrad Zilch, C. J. Diederichs, Rolf Katzenbach und Klaus J. Beckmann (Hrsg.): Handbuch für Bauingenieure. Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit. 2., akt. Auflage. Springer, Berlin/Heidelberg, S. 569-622, doi.org/10.1007/978-3-642-14450-9.

DIN 277:2016-01: Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen, Januar 2016.

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) (2017): DIN 4226-101 Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 - Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen, <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/wdc-beuth:din21:273106163?sourceLanguage&destinationLanguage>.

Dirlich, S.; Gruhler, K.; Deilmann, C.; Petereit R.; Kunz, C.; Petereit, K. (2011): Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland [Typology and existence of heated non-residential buildings in Germany]. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR); Ingenieurbüro Petereit. Im Auftrag des BMVBS, BBSR und BBR. Dresden, Göldenitz.

DIW Berlin (2014): Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe – Berechnungen für das Jahr 2014 [Structural data on production and employment in construction – calculations for 2014]. Kurzfassung Endbericht. Berlin.

Dixit et. al. (2010): Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and Buildings*, 42(8), 1238-1247, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.02.016, http://faculty.arch.tamu.edu/media/cms_page_media/2861/Dixitetal_2010.pdf. (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Donaldson, T. und Preston, L. E. (1995): The Stakeholder Theory of the Corporation: Concepts, Evidence, and Implications. *The Academy of Management Review* 20 (1), S. 65–91. <https://www.jstor.org/stable/pdf/258887.pdf> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Enquête-Kommission (1994): Schutz des Menschen und der Umwelt-Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft [Protection of man and the environment - Assessment criteria and perspectives for environmentally compatible material cycles in industrial society]. Bericht (Drucksache 12/8260). Deutscher Bundestag

Europäische Kommission (2018): Energy: Energy Efficiency in Buildings. http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/buildings_en.htm, zugegriffen am 18.04.2018

Farmer, J. D. und Foley, D. (2009): The economy needs agent-based modelling. *Nature* 460 (7256), S. 685–686. <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/EconomyNeedsABM.NatureAug2009.FarmerFoley.pdf> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Figge, F.; Hahn, T.; Schaltegger, S. und Wagner, M. (2002): The Sustainability Balanced Scorecard - linking sustainability management to business strategy. *Business Strategy and the Environment* 11 (5), S. 269–284. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/bse.339> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Freeman, R. E. (2010): *Strategic management. A stakeholder approach*. 2. Aufl. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Freeman, R. E. (1984): *Strategic management. A stakeholder approach*. 1. Aufl. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Gausemeier, J., Fink, A. und Schlake, O. (1995): *Szenario-Management: Planen und führen mit Szenarien [Scenario management: planning and managing with scenarios]*. Hanser. München.

Graubner und Hüske (2003): *Nachhaltigkeit im Bauwesen – Grundlagen, Instrumente, Beispiele*, Berlin, Ernst & Sohn Verlag

Gruhler (2017): mündliche Mitteilung Karin Gruhler vom Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR), Dresden.

Gruhler, K; Böhm, R. (2011a): *Auswirkungen des demografischen Wandels auf das Stofflager und die Stoffflüsse des Wohngebäudebestandes – Deutschland 2050 [Effects of demographic change on the material stock and flows of the residential building stock - Germany 2050]*. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR), Dresden. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

Gruhler, K. und Böhm, R. (2011b): Ressourcenbezogene Kennwerte von Nichtwohngebäuden – Analyse und Aufarbeitung von Daten der Statistik „Bauen und Wohnen“ [Resource-related characteristics of non-residential buildings - Analysis and processing of statistical data on "construction and housing"]. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR), Dresden. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

Gruhler, K.; Böhm, R.; Deilmann, C.; Schiller, G. (2002): Stofflich-energetische Gebäudesteckbriefe. Gebäudevergleiche und Hochrechnungen für Bebauungsstrukturen [Material and energetic building specifications. Building comparisons and projections for development structures]. Hg. v. Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. Dresden. https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/39685/ssoar-2002-gruhler_et_al-Stofflich-energetische_Gebaudesteckbriefe_-_Gebäudevergleiche_und.pdf?sequence=1 (letzter Zugriff: 04.07.2018).

GTA GeoService GmbH (2013): GTA 3D city models Europe 2013.

Harlfinger, Thomas (2006): Referenzvorgehensmodell zum Redevelopment von Bürobestandsimmobilien [Reference procedure model for the redevelopment of existing office properties]. Books on Demand GmbH, Norderstedt, Dissertation, ISBN: 978-3833437502.

HDB (Hauptverband der deutschen Bauindustrie e.V.) (2015): Bauwirtschaft im Zahlenbild [Construction industry in figures]. http://www.bauindustrie.de/media/uploads/publikationen/bw_zahlenbild_2015_final.pdf (letzter Zugriff: 18.10.2015).

HDB & ZDB (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V und Zentralverband des Deutschen Baugewerbes) (2015): Baukostentreiber Abfallentsorgung. Entwicklung der Aufwendungen bei Baumaßnahmen [Construction cost drivers in waste disposal. Development of expenses for construction measures]. Berlin.

HeidelbergCement (2017): Betontechnische Daten von HeidelbergCement, Kap. 2.4 Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen nach

DIN EN 12620. <https://www.betontechnische-daten.de/de/anforderungen-an-rezyklierte-gesteinsk%C3%B6rnungen-nach-din-en-12620>.

Heugel, M. (2018): Ein rechtlicher Flickenteppich – Michael Heugel vom BMU sprach im Rahmen einer vom VDMA und bvse organisierten Vortragsreihe auf der IFAT über den aktuellen Stand der Mantelverordnung [A legal patchwork – Michael Heugel of the BMU spoke about the current status of the Mantelverordnung in a series of lectures organised by VDMA and bvse at IFAT]. Artikel vom 16.05.2018, RecyclingMagazin, <https://www.recyclingmagazin.de/2018/05/16/ein-rechtlicher-flickenteppich/>, aufgerufen am 25.05.2018

Hiete M, Stengel J, Ludwig J, Schultmann F. (2011): Matching construction and demolition waste supply to recycling demand: a regional management chain model. *Building Research & Information* 2011; 39:333–51.

IBU (2018): IBU.data, 1360 EPD-Datensätze <https://ibu-epd.com/ibu-data-start/v> (Zugriff: 07.08.2018)

IER (2009): Blesl M., Kempe S., Ohl M., Fahl U., König A., Jenssen T., Eltrop L.: Wärmeatlas Baden-Württemberg – Erstellung eines Leitfadens und Umsetzung für Modellregionen; Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung; 2009.

Diebel, A.; Knappe, F. (2010): Optimierung des Stoffstrommanagements für gemischten Bauschutt (Bauschutt mit Anteilen an Mauerwerksbruch). im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg [Optimisation of material flow management for mixed building rubble (building rubble with proportions of masonry). on behalf of the Ministry of the Environment, Climate and Energy of Baden-Württemberg, Heidelberg], https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/148174/20111110_bauschutt_endfassung_ifeu.pdf/bf800887-ac82-42e3-8b48-159a34ba3d85 (Zugriff: 19.04.2018).

Institut Bauen und Umwelt (IBU) (2013): IBU Umwelt-Produktdeklarationen (EPD) 2013.

IÖR (2018): Physis der gebauten Umwelt – Informationsportal zu Bauwerksdaten [Physical structure of the built environment - Information portal on building data], <http://bdat.ioer.eu>, letzter Zugriff: 02.05.2018

IWU (2015): Loga T., Stein B., Diefenbach N., Born R.: Deutsche Wohng Gebäudetypologie – Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden – zweite erweiterte Auflage [German residential building typology - exemplary measures to improve the energy efficiency of typical residential buildings - second extended edition]; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 2015.

IWU (2012): TABULA - Scientific Report Germany - Further Development of the German Building Typology. 2012.

IWU (2011): Deutsche Gebäudetypologie - Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Institut Wohnen und Umwelt; 2011.

IWU (2005): Dokumentation Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze; Stand: 22. Juni 2005. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Darmstadt.

IWU (2003): Deutsche Gebäudetypologie. Systematik und Datensätze [German building typology. Systematics and data sets]. Institut Wohnen und Umwelt, 2003.

Johnson, G., Scholes, K. und Whittington, R. (2006): Exploring corporate strategy. 7. Aufl. Financial Times Prentice Hall. Harlow u.a.

Jonda, M. (2005): Szenario-Management digitaler Geschäftsmodelle. Skizze einer Geschäftsmodellierung am Beispiel von Mobile-Health-Dienstleistungen [Scenario management of digital business models. Sketch of a mobile health services business model]. S. 366, zugl. Dissertation Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg.

<http://oops.uni-oldenburg.de/127/1/jonsze04.pdf>
(letzter Zugriff: 04.07.2018).

Kaiser, O., Krauss, O. (2015): Kurzanalyse Nr. 12: Systemische Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Bauwesen, VDI ZRE Publikationen, Zentrum Ressourceneffizienz, Juli 2015, Berlin, https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/VDI-ZRE_Kurzanalyse-12_Web.pdf (letzter Zugriff: 08.08.2018)

Kalusche, W. (2011): Grundflächen und Planungskennwerte von Wohngebäuden [Floor space and planning parameters of residential buildings]. Innovationen im Baubetrieb: Wirtschaft – Technik – Recht; Festschrift für Universitätsprofessor Dr.-Ing. Udo Blecken zum 70. Geburtstag. – Köln: Werner, ISBN 978-3-8041-1836-2. - 2011, p. 35-47

Kaplan, R.S. and Norton, D.P. (1992): The balanced scorecard - Measures that drive performance. Harvard Business Review, January–February 1992 Issue, Reprint 92105, https://steinbeis-bi.de/images/artikel/hbr_1992.pdf

Klauß S, Kirchhof W, Gissel J. (2009): Katalog regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten [Catalogue of regional materials in the building stock with reference to the building age class and derivation of typical component superstructures], Bericht. Kassel: Zentrum für Umweltbewusstes Bauen (ZUB);

<https://www.zub-systems.de/sites/default/files/downloads/Deutschlandkarte-2009-10.pdf>, 2009 (Zugriff: 19.04.2018).

Kleine, A. (2009): Operationalisierung einer Nachhaltigkeitsstrategie. Ökologie, Ökonomie und Soziales integrieren [Operationalization of a sustainability strategy. Integrating ecology, economy and social issues]. Dissertation. Technische Universität. Kaiserslautern. Gabler Verlag/ GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. Wiesbaden.

Knappe, F., Dehoust, G., Petschow, U. und Jakubowski, G. (2012): Steigerung von Akzeptanz und Einsatz mineralischer Sekundärrohstoffe unter Berücksichtigung schutzgutbezogener und anwendungsbezogener Anforderungen, des potenziellen, volkswirtschaftlichen Nutzens sowie branchenbezogener, ökonomischer Anreizinstrumente [Increasing the acceptance and use of secondary mineral materials, taking into account environmental protection and applications, potential economic benefits and incentives.]. UBA, Dessau-Roßlau. (Hrsg).
<http://www.uba.de/uba-info-medien/4305.html>
(letzter Zugriff: 19.4.2018).

Knoeri, C., Binder, C. R. und Althaus, H.-J. (2011a): An agent operationalization Approach for Context Specific Agent-Based Modelling. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 14 (4).
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/14/2/4.html> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Knoeri, C., Binder, C.R. und Althaus, H.-J. (2011b): Decisions on recycling. Construction stakeholders' decisions regarding recycled mineral construction materials. *Resources, Conservation and Recycling* 55 (11), S. 1039–1050.

Kohler, N. (1999): The relevance of Green Building Challenge. An observer's perspective. *Building Research & Information* 27 (4-5), S. 309–320.
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/096132199369426>
(letzter Zugriff: 04.07.2018).

Kohler, N. und Hassler, U. (Hrsg.) (1999): Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen. [Material flows and costs in the areas of construction and housing]. Springer. Berlin.

Kohler S. (2012): Die Energiewende erfolgreich gestalten – Marktinstrumente für die Sanierungsoffensive 2012, Neue dena-Studie zu Kosten und Potenzialen der energetischen Gebäudesanierung [Successfully shaping the energy transition – Market instruments for the 2012 refurbishment offensive, New dena study on the costs and potential of energy-efficient building refurbishment]. Pressekonferenz 26.03.2012, Berlin, <http://docplayer.org/14229259-Neue-dena-studie-zu-kosten-und-potenzialen-der-energetischen-gebaeudesanierung.html>,
zugegriffen: 18.04.2018

KWB (Kreislaufwirtschaft Bau) (Hrsg.) (2015): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2012. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2012. Berlin. http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/KWB_9.pdf (letzter Zugriff: 13.9.2015)

Kreislaufwirtschaft Bau (2017): Monitoringbericht der Initiative Kreislaufwirtschaft Bau [Monitoring report of the initiative recycling economy construction], Monitoringbericht Bau 10, <http://kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-10.pdf>, letzter Abruf: 09.02.2018

KrWG, Kreislaufwirtschaftsgesetz (2012): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen [Act to promote environmental services and ensure the environmentally compatible management of waste]. <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/krwg/gesamt.pdf>, abgerufen am 27.02.2016.

LAGA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall) (2013): Öffentlicher Bereich /Public Area. <http://www.laga-online.de/servlet/is/23348/>, abgerufen am 19.01.2016.

LAGA M20 (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall 20) (2003): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln - Allgemeiner Teil [Requirements for the recycling of mineral waste – Technical rules - General section]. Mainz.

LBO, Landesbauordnung Baden-Württemberg (2015).

http://www.gleichstellung.uni-freiburg.de/dokumente/gesetze/Landesbauordnung_BW, abgerufen am 16.02.2016.

Lee, Eun-Kyung (2013): Umweltrechtlicher Instrumentenmix und kumulative Grundrechtseinwirkungen. Überlegungen am Beispiel des Energierechts [Mix of instruments under environmental law and cumulative effects on fundamental rights. Considerations using the example of energy law]. Mohr Siebeck (Studien zum europäischen und deutschen öffentlichen Recht, 4), Tübingen, S. 250, zugl. Dissertation Freie Universität Berlin.

Lehmann, H. (1999): Zukunftsfähiges Bauen heißt Ressourcennutzung optimieren [Sustainable construction means optimising the use of resources]. In: Friedrich, S.-B. (Hrsg.): Das Wuppertal Haus. Bauen und Wohnen nach dem Mips-Konzept. Birkhäuser. Basel, s.l. S. 16-22. <http://susi-con.com/downloads/mibauen.pdf> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Littau, P. (2015): Managing Stakeholders in Megaprojects.

University of Leeds. Leeds.

https://bib.irb.hr/datoteka/768614.Managing_Stakeholders_in_Megaprojects.pdf (last access: 01. April 2019).

Ludewig und Meyer (2012). Ressourcenschonung durch die Besteuerung von Primärbaustoffen [Conserving resources through the taxation of primary building materials], Forum ökologisch-soziale Marktwirtschaft e.V.

Lützkendorf, T. und Lorenz, D. (2005): Sustainable property investment. Valuing sustainable buildings through property performance assessment. Building Research & Information 33 (3), S. 212–234.

Maas, A. (2010): Bestandsersatz als Variante der energetischen Sanierung [Replacement of existing buildings as a variant of energetic renovation].

Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.

<http://www.bvbaustoffe.de/root/img/pool/downloads/studie-bestandsersatz.pdf>, Zugriff: 19.4.2018

Mazur, N.A., Maller, C.J., Aslin, H.J. und Kancans, R. (2006): Australian animal welfare strategy stakeholder analysis phases 1-4. Australian Government, Bureau of Rural Sciences (Hrsg.).

McElroy, B. und Mills, C. (2000): Managing stakeholders. In: Turner, J.R. (Hrsg.): People in project management. Gower. Aldershot, S. 757–775.

Meetz, M. et al. (2015): Steigerung der Ressourceneffizienz des Recyclings von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen [Increasing the resource efficiency of the recycling of mineral construction and demolition waste]. Brandenburger Leitfaden für den Rückbau von Gebäuden. Potsdam.

Mettke, A. (2010): Leuchtturmprojekt aus Recyclingbeton [Lighthouse project with recycled concrete]. In Recycling Magazin 04/2010. S. 26-29.

Mettke, A. und Sodermanns-Peschel, W. (2015): Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen [Recycling of construction and demolition waste]. In: Abbrucharbeiten: Grundlagen, Planung, Durchführung. 3. Aufl., Rudolf Müller, 2015, S. 533–560

Mieth, P. (2007): Weiterbildung des Personals als Erfolgsfaktors der strategischen Unternehmensplanung in Bauunternehmen [Staff training as a success factor in strategic corporate planning in construction companies]. Universität Kassel.

Mißler-Behr, M. (1993): Methoden der Szenarioanalyse [Scenario analysis methods]. Springer. Heidelberg, Berlin.

Mitchell, R.K., Agle, B.R. und Wood, D.J. (1997): Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts. *Academy of Management Review* 22 (4), S. 853–886. <https://www.jstor.org/stable/pdf/259247.pdf> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Mora, E. P. (2007): Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials. *Building and Environment*, Pages 1329-1334.

Morsing, M. und Schultz, M. (2006): Corporate social responsibility communication. Stakeholder information, response and involvement strategies. *Business Ethics: A European Review* 15 (4), S. 323–338. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1467-8608.2006.00460.x> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Müller, Richard; Schamber, Olga; Volk, Rebekka; Schultmann, Frank (2017): A Stakeholder-based Assessment Model (SAM) for Resource - Efficiency Measures in the Construction Industry

Oetjen-Dehne, R. et al. (2015): Monitoring und Verifizierung der Grundaussagen des Gutachtens über die Entsorgung relevanter mineralischer Abfälle des Landes Sachsen-Anhalt [Monitoring and verification of the basic statements of experts on the disposal of relevant mineral waste in Saxony-Anhalt]. Halle Saale.

Olander, S. (2006): External stakeholder analysis in construction project management. Lund University. Lund.
<http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/D3ACFBE9-0622-43FE-8BFC-F313FD2B25AB%5CFinalReport%5CSBUF%2011346%20Slutrapport%20Doktorsavhandling%20External%20Stakeholder%20Analysis%20in%20Construction%20Management.pdf> (last access: 01.04.2019).

Olander, S. (2007): Stakeholder impact analysis in construction project management. *Construction Management and Economics* 25 (3), S. 277-287, <https://doi.org/10.1080/01446190600879125>.

Olander, S. und Landin, A. (2005): Evaluation of stakeholder influence in the implementation of construction projects. *International Journal of Project Management* 23 (4), S. 321–328.

Olander, S. und Landin, A. (2008): A comparative study of factors affecting the external stakeholder management process. *Construction Management and Economics* 26 (6), S. 553–561.

Ortiz, O., Castells, F. und Sonnemann, G. (2009): Sustainability in the construction industry. A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials* 23 (1), S. 28–39. https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41467940/Sustainability_in_the_construction_indus20160123-1833-1578n9x.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1530705993&Signature=moumawTJ7g%2Bn%2Fija8ERNh6AiB3w%3D&respons e-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSustainability_in_the_construction_indus.pdf (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Ortlepp, R.; Gruhler, K.; Schiller, G.; Ortlepp, S. (2017): Grundlagen für materialeffizientes Planen und Bauen [Basics for material-efficient planning and construction]. In: *Bautechnik* 94 (1), S. 10–18. DOI: 10.1002/bate.201600022.

Pahl, G.; Schäfer, B. (2015): 9. Monitoring Bericht 2012. Bericht zum Aufkommen und Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2012. Kreislaufwirtschaft Bau c/o Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (Hrsg.). Druckwerkstatt Lunow, Berlin

Parisi Kern, A., Ferreira Dias, M., Piva Kulakowski, M. und Paulo Gomes, L. (2015): Waste generated in high-rise buildings construction: a quantification model based on statistical multiple regression. *Waste management* (New York, N.Y.) 39, S. 35–44.

Park, B.I. und Choi, J. (2015): Stakeholder Influence on Local Corporate Social Responsibility Activities of Korean Multinational Enterprise Subsidiaries. *Emerging Markets Finance and Trade* 51 (2), S. 335–350.

PE International (2007): Methodische Grundlagen – Ökobilanzbasierte Umweltindikatoren im Bauwesen [LCA-based environmental indicators in the construction industry]. 2007.

Persson, U. (2009): Management of sustainability in construction works. Dissertation. Lund Institute of Technology, Lund University. Lund. Division of Construction Management.

Persson, U. und Olander, S. (2004): Methods to estimate stakeholder views of sustainability for construction projects. The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 19-22 September, 2004. Eindhoven. https://www.researchgate.net/profile/Urban_Persson/publication/253744025_Methods_to_Estimate_Stakeholder_Views_of_Sustainability_for_Construction_Projects/links/54c60030cf2911c7a56b6b4.pdf (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Pfarr, K. (1984): Grundlagen der Bauwirtschaft [Basics of the construction industry]. Deutscher Consulting Verl. Essen.

Porritt, J. (2000): Playing safe. Science and the environment. Thames & Hudson. London.

Porter, M.E. und van der Linde, C. (1995): Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives* 9 (4), S. 97–118.

<https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.9.4.97>

(letzter Zugriff: 04.07.2018).

Post, J. E., Preston, L.E. und Sachs, S. (2002): Managing the extended enterprise. The new stakeholder view. *California Management Review* 45 (1), S. 6–28.

https://files.transtutors.com/cdn/uploadassignments/877440_5_dks---wk10---rqdreading---managingtheextendedenterprise---spring2015---contentserver.pdf (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Rechberger, H., Clement, D. (2011): Urban Mining – städtebauliche Rohstoff-Potenziale [Urban Mining - Urban development raw material potentials]. *Recycling und Rohstoffe - Band 4, vol. 4*, TK Verlag; 2011.

Rentsch, L.; Brandstetter, C. P.; Gräbe, G.; Dürkoop, A. (Hg.) (2016): Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - Strategische Metalle und Mineralien [Innovative Technologies for Resource Efficiency - Strategic Metals and Minerals]. Ergebnisse der r3-Fördermaßnahme. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

Rentz, O.; Pitzini-Du , B.; Schultmann, F. (1998a): Audit et déconstruction sélective d'un bâtiment à ossature métallique [Selective audit and deconstruction of a metal frame building]. Internal Report, French-German Institute for Environmental Research, Karlsruhe (unpublished).

Rentz, O.; Pitzini-Du , B.; Zundel, T. (1999): Projektbericht: chantier de déconstruction sélective, Lycée Xavier Bichat, Nantua, réalisation et intégration d'un audit du bâtiment avant déconstruction au dossier de consultation des entreprises, planification, réalisation et suivi des travaux.

Rentz, O.; Ruch, M.; Schultmann, F.; Sindt, V.; Zundel, T.; Charlot-Vadieu, C.; Vimond, E. (1998b): Selektiver Geb uder ckbau und konventioneller Abbruch: technisch wirtschaftliche Analyse eines Pilotprojektes, Abfallpraxis ISBN 3-609-65280-2.

Rentz, O.; Schultmann, F.; Seemann, A. (1998c): Rückbau des staatlichen Aufbaugymnasiums Rottweil. Geb udeauditierung, Rückbau- und Verwertungsplanung. Endbericht eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Staatlichen Vermögens- und Bauamtes Rottweil [Dismantling of the public grammar school Rottweil. Building audit, dismantling and recycling planning. Final report of a research project on behalf of the Rottweil State Property and Construction Office].

Rentz, O.; Ruch, M.; Schultmann, F.; Sindt, V.; Zundel, T. (1998d): Deconstruction selective – etude scientifique de la deconstruction selective d' ne immeuble a Mulhouse [Selective deconstruction - scientific study of the selective deconstruction of a building in Mulhouse]. Société Alpine de Publications, Grenoble

Roloff, J. (2008): Learning from multi-stakeholder networks. Issue-focused stakeholder management. *Journal of Business Ethics* 82 (1), S. 233–250. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10551-007-9573-3.pdf> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Rowley, T.J. (1997): Moving beyond Dyadic Ties. A Network Theory of Stakeholder Influences. *The Academy of Management Review* 22 (4), S. 887. <https://www.jstor.org/stable/pdf/259248.pdf> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Saaty, T. (1990): How to make a decision. The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 48 (1), S. 9–26. https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34802958/06F167EF-B243-48ED-8C45-F7466B3136EB-WebPublishings-How_to_make_decision_AHP.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1530706252&Signature=K65GMV2XoxCvJs1t%2BToYXmcmJ9Q%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DHow_to_make_a_decision_The_Analytic_Hier.pdf (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Savage, G.T., Nix, T.W., Whitehead, C.J. und Blair, J.D. (1991): Strategies for Assessing and Managing Organisatorisch Stakeholders. *The Executive* 5 (2), S. 61–75.

Scheiner, J. (2003): Akteure in der Verkehrsplanung [Stakeholders in traffic planning]. Arbeitspapiere des Fachgebiets Verkehrswesen und Verkehrsplanung 6. Universität Dortmund. http://www.vpl.tu-dortmund.de/cms/Medienpool/PDF_Dokumente/Arbeitspapiere/AP06_von_Joachim_Scheiner.pdf (letzter Zugriff: 17.10.2015).

Schiller, G.; Deilmann, C.; Gruhler, K.; Röhm, P.; Reichenbach, J.; Baumann, J.; Günther, M. (2010): Ermittlung von Ressourcenschonungspotentialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung [Determination of resource-saving potentials in the recycling of construction waste and development of recommendations for

its use]. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR); Intecus GmbH. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. In: Umweltbundesamt (UBA)-Texte 56/2010, ISSN: 1862-4804, Dessau-Roßlau, <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ermittlung-vonressourcenschonungspotenzialen-bei>

Schiller, G.; Ortlepp, R.; Krauß, N.; Steger, S.; Schütz, H.; Acosta Fernández, J.; Reichenbach, J.; Wagner, J.; Baumann, J. (2015): Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, INTECUS GmbH – Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management, Im Auftrag des UBA, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_83_2015_kartierung_des_anthropogenen_lagers.pdf (Zugriff: 07.08.2018)

Schlomann, B.; Kleeberger, H.; Hardi, L.; Geiger, B.; Pich, A.; Gruber, E.; Gerspacher, A.; Holländer, E.; Roser, A. (2015): Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013 [Energy consumption of the trade, commerce and services sector in Germany in the years 2011 to 2013]. Fraunhofer ISI; IfE Technische Universität München; GfK Retail and Technology GmbH; IREES GmbH. Karlsruhe, München, Nürnberg. (http://www.irees.de/irees-wAssets/docs/publications/projektbericht-report/2015_Energieverbrauch-GHD_Endbericht.pdf).

Schmidt-Bleek, F. und Klütting, R. (1994): Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS - das Maß für ökologisches Wirtschaften [How much environment does man need? MIPS - the measure of ecological management]. Birkhäuser, Berlin.

Sedlbauer, K.; Wittstock, B.; Fischer, M. (2011): Die Zukunft ist da - Nachhaltigkeit im Bauwesen. wksb 65/2011, 54-60.

Seemann, A. (2003): Entwicklung integrierter Rückbau- und Recyclingkonzepte – Ein Ansatz zur Kopplung von Demontage, Sortierung und

Aufbereitung [Development of integrated dismantling and recycling concepts – An approach to coupling dismantling, sorting and processing], Dissertation, Promotionsschrift. Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung, Universität Karlsruhe

Selin, S. und Chevez, D. (1995): Developing a collaborative model for environmental planning and management. *Environmental management* 19 (2), S. 189–195.

Sellier, D. (2005): Use of economic instruments for sustainable construction and challenges for 2010 in Paris region. The 2005 World Sustainable Building Conference S. 27-29 September 2005 (SB05Tokyo). Tokyo. <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB4350.pdf> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Semaan, N.; Sarkis, S. (2015): Stakeholder impacted cost contingency model (SICC). *International Journal of Science, Environment and Technology* 4 (3), S. 690–700.
https://www.researchgate.net/profile/Nabil_Semaan/publication/313726829_Stakeholder_Impacted_Cost_Contingency_Model_SICC/links/58a4362caca272d3a4984ea2/Stakeholder-Impacted-Cost-Contingency-Model-SICC.pdf (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Sepp, H. (1996): Strategische Frühaufklärung. Eine ganzheitliche Konzeption aus ökologieorientierter Perspektive [Early strategic elucidation. A holistic concept from an ecologically oriented perspective]. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden.

StaBaWü (2016): *Abfallstatistik*, Internetangebot des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg, online abgerufen (Zugriff: 09.02.2018)

Stark, K. (2006): Baubetriebslehre – Grundlagen. Projektbeteiligte, Projektplanung, Projektablauf [Construction management – basics. Project participants, project planning, project flow]. Friedr.Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH. Wiesbaden. 1. Aufl.

Statista und vdz (Verein Deutscher Zementwerke) (2017): Spezifische CO₂-Emissionen der Zementindustrie in Deutschland in den Jahren 2008 bis 2015 (in Tonnen CO₂ pro Tonne Zement) [Specific CO₂ emissions of the cement industry in Germany in the years 2008 to 2015 (in tonnes of CO₂ per tonne of cement)],

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/217222/umfrage/co2-emissionen-der-zementindustrie-in-deutschland/> (Zugriff: 09.02.2018)

Statistik Südwest (2016): Auswertung des Statistik-Service-Südwest im Auftrag des ifeu. 2016.

Statistisches Bundesamt (1978): Systematik der Bauwerke [Systematics of buildings].

Statistisches Bundesamt (1999): Bautätigkeit und Wohnungen [Construction and Housing]. Fachserie 5, Reihe 1.

Statistisches Bundesamt (2012): Bauen und Wohnen: Mikrozensus – Zusatzerhebung 2010. Bestand und Struktur der Wohneinheiten. Wohnsituation der Haushalte. [Construction and Housing: Mikrozensus – Additional survey 2010. Stock and structure of residential units] Wiesbaden: Statistisches Bundesamt; 2012.

Statistisches Bundesamt (2015a): Umwelt. Abfallbilanz [Environment. Waste Balance] 2013. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2015b): Abfallentsorgung 2013 [Waste disposal 2013]. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2016): Bauen und Wohnen. Baugenehmigungen / Baufertigstellungen. Lange Zeitreihen z.T. ab 1949.

Stengel (2014): Akteursbasierte Simulation der energetischen Modernisierung des Wohngebäudebestands in Deutschland. KIT, Produktion und Energie 6.

Streck, S. (2010): Leitbild Bau – Zur Zukunft des Planens und Bauens in Deutschland [Mission Statement Construction - The Future of Planning and Building in Germany]. In Bauingenieur, Band 85/2010. S 53-60.

Stürmer et al. (2016): R-Beton in Betonfertigteilen und -waren; HTWG Hochschule Konstanz, ifeu-Institut; gefördert im Rahmen der Umweltforschung Baden-Württemberg; Konstanz/Heidelberg, Dezember 2016.

Stürmer S., Kulle C. (2017): Untersuchung von Mauerwerksabbruch (verputztes Mauerwerk aus realen Abbruchgebäuden) und Ableitung von Kriterien für die Anwendung in Betonen mit rezyklierter Gesteinskörnung (RC-Beton mit Typ 2 Körnung) für den ressourcenschonenden Hochbau [Investigation of masonry demolition (plastered masonry from real demolition buildings) and derivation of criteria for application in concretes with recycled stone granulation (RC concrete with type 2 granulation) for resource-saving building construction]; HTWG Konstanz in Zusammenarbeit mit IAB Weimar und ifeu-Institut; im Auftrag der DBU. Oktober 2017

UBA, Umweltbundesamt (2009): Allgemeine Abfallstatistik – Abfallaufkommen und Abfallbeseitigung in Deutschland 1999-2007. Umweltbundesamt (UBA), Statistisches Bundesamt (DESTATIS); 2009.

UBA, Umweltbundesamt (2013): Abfallrecht [Waste legislation]. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfallressourcen/abfallwirtschaft/abfallrecht> (Zugriff: 05.03.2016).

UBA (2016): Knappe, F.; Reinhardt, J.; Bergmann, T.; Mottschall, M.; Keck, I.; Köstlin, S.: Substitution von Primärrohstoffen im Straßen- und Wegebau durch mineralische Abfälle und Bodenaushub; Stoffströme und Potenziale unter Berücksichtigung von Neu-, Aus- und Rückbau sowie der Instandsetzung. Ifeu-Institut; Öko-Institut; Keck-Informationstechnologie. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau.

UBA, Umweltbundesamt (2017): Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen [Recycling of construction and demolition waste], <http://www.umweltbundesamt.de/daten/abfall-kreislaufwirtschaft/entsorgung-verwertung-ausgewaehlter-abfallarten/bauabfaelle#textpart-1> (Zugriff: 09.02.2018)

UBA, Umweltbundesamt (Hrsg.) (2010): Rohstoffeffizienz – Wirtschaft entlasten, Umwelt schonen [Raw material efficiency - relieve the economy, protect the environment]. http://www.myreach.eu/images/cis_herzog/download/Rohstoff-BMU.pdf (Zugriff: 15.12.2015).

Vero (2018): Eine Rohstoffsteuer als Beitrag zur Ressourceneffizienz?, *Verband der Bau- und Rohstoffindustrie e. V.*, Duisburg, <https://www.euroquarz.de/wissen-ueber-quarzsand-quarzkies/faktencheck-rohstoffsicherung/themen-faktenscheck/ressourceneffizienz/> (Zugriff: 07.08.2018)

Volk, R. (2017) (Hrsg.): Entwicklung eines mobilen Systems zur Erfassung und Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen beim Rückbau von Infrastruktur und Produkten („ResourceApp“): Schlussbericht des Forschungsvorhabens [Development of a mobile system to identify and exploit resource efficiency potentials in the deconstruction of infrastructure and products ("Resource App"): Final report]. 2017. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe. doi:10.5445/KSP/1000068354

Vallée, T.; Fech, S.; Grundwlad, C.; Adam, M. (2017): Einsatz von Faser-verbundwerkstoffen im Bauwesen. *Adhäsion Kleben & Dichten* 10, S. 32-37.

Wadenpohl, F. (2011): Stakeholder-Management bei grossen Verkehrsinfrastrukturprojekten [Stakeholder management for large transport infrastructure projects]. Dissertation ETH Zürich. vdf Hochschulverlag. Zürich. <https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/151876/eth-1099-02.pdf> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Wang, W., Liu, W. und Mingers, J. (2015): A systemic method for organisational stakeholder identification and analysis using Soft Systems Methodology (SSM). *European Journal of Operational Research* 246 (2), S. 562–574.

Wertschöpfungskette Bau (2008): Wertschöpfungskette Bau. Analyse der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Wertschöpfungskette Bau [Construction value chain. Analysis of the economic importance of the construction value chain]. Kurzfassung des Endberichts. Im Auftrag des BBR.

Winch, G.M. (2007): Managing project stakeholders. In: Morris, P.W.G. (Hrsg.): *The Wiley guide to project, program & portfolio management*. Hoboken, NJ, S. 271–289.

Wirth, Alex et al. (2011): *Privates Baurecht praxisnah* [Private building law]. Viehweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.

WSB (2014): World Sustainable Conference – Barcelona Manifesto. <http://www.wsb14barcelona.org/press-notes.html#manifesto> (letzter Zugriff: 16.9.2015).

Wünsche, M. (2015): *BWL für IT-Berufe. Ein praxisorientierter Leitfaden für das kaufmännische Denken* [Business Administration for IT Professions. A practice-oriented guideline for commercial thinking]. 3., aktualisierte Auflage. Springer, Wiesbaden.

Yang, J., Shen, G.Q., Ho, M., Drew, D.S. und Xue, X. (2011): Stakeholder management in construction. An empirical study to address research gaps in previous studies. *International Journal of Project Management* 29 (7), S. 900–910.
<http://prof.incheon.ac.kr:8082/~uicem/pdf/seminar/110322.pdf> (letzter Zugriff: 04.07.2018).

Yuan, H.P., Shen, L.Y., Hao, J.J. und Lu, W.S. (2011): A model for cost–benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain. *Resources, Conservation and Recycling* 55 (6), S. 604–612.

ZDB (Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V.) (Hrsg.) (2015a):
Baumarkt-Zahlen. Ludwig Austermeier Offsetdruck oHG. Berlin.
[http://www.zdb.de/zdb-
cms.nsf/res/Baumarkt2014.pdf/\\$file/Baumarkt2014.pdf](http://www.zdb.de/zdb-cms.nsf/res/Baumarkt2014.pdf/$file/Baumarkt2014.pdf)
(letzter Zugriff: 17.10.2015).

ZDB (Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V.) (Hrsg.) (2015):
Kreislaufwirtschaft Bau [Circular Economy in construction]. Ludwig
Austermeier Offsetdruck oHG. Berlin. [http://www.zdb.de/zdb-
cms.nsf/res/2015_KreislaufwirtschaftBau.pdf/\\$file/2015_Kreislaufwirtsch
aftBau.pdf](http://www.zdb.de/zdb-cms.nsf/res/2015_KreislaufwirtschaftBau.pdf/$file/2015_KreislaufwirtschaftBau.pdf) (letzter Zugriff: 17.9.2015).

Zensus (2011): Ergebnisse aus der Zensusdatenbank 2011 [Results from the
2011 census database]; <https://ergebnisse.zensus2011.de/#Home>. (Zugriff:
Juli 2016).

Anhang

A Anhang zu AP 2

Tabelle A-1: Gebäudekenndaten für Nichtwohngebäuden auf Grundlage von [Deilmann 2013] und [Gruhler & Böhm 2011b]

Unbeheizte NWG	Geschosshöhe (m)	Faktor Bruttogeschossfläche zu Nettogeschossfläche
Gebäude für Land- und Forstwirtschaft	5,2	0,89
Gebäude der technischen Erschließung/Infrastruktur	5,6	0,89
Gebäude der verkehrlichen Erschließung/Infrastruktur	5,6	0,89
Sonstige NWG	3,96	0,89
Bildung		
Allgemeinbildende Schule	4	0,9
Hochschulen und Forschung	4	0,87
Kindergarten, Kindertagesstätte	3,5	0,86
Büro und Verwaltung		
Regierungs- und Gerichtsgebäude	3,55	0,84
Verwaltungs-, Polizei-, Feuerwehrgebäude	3,55	0,84
Allgemeine Bürogebäude	3,55	0,86
BürogebäudeArbeit	3,55	0,86
Gewerbe und Industrie		
Fabrikgebäude	5,6	0,89
Lagergebäude	5,6	0,89
Werkstattgebäude	5,6	0,91
Allgemeine Gewerbe-/Industriegebäude	5,6	0,89
Heilbehandlung		
Krankenhäuser, Kliniken	3,04	0,86
Praxisgebäude/Gesundheitseinrichtungen	3,32	0,86
Handel und Dienstleistung		
Kaufhäuser	5,5	0,88
Einkaufszentren	5,5	0,88
Allgemeine Verkaufsgebäude	5,5	0,88
Sport		
Sporthallen	7,04	0,91
Schwimmhallen	7,18	0,88
Allgemeine Sportbauten	5,14	0,91
Kultur und Unterhaltung		
Museum, Bibliothek, Ausstellungsgebäude	3,59	0,9
Oper, Theater und Veranstaltungshallen	6,31	0,9
Gebäude für kulturelle Zwecke	3,57	0,88
Beherbergung und Gastronomie		
Hotels und Pensionen	3,14	0,85
Gaststätten und Restaurants	3,36	0,85

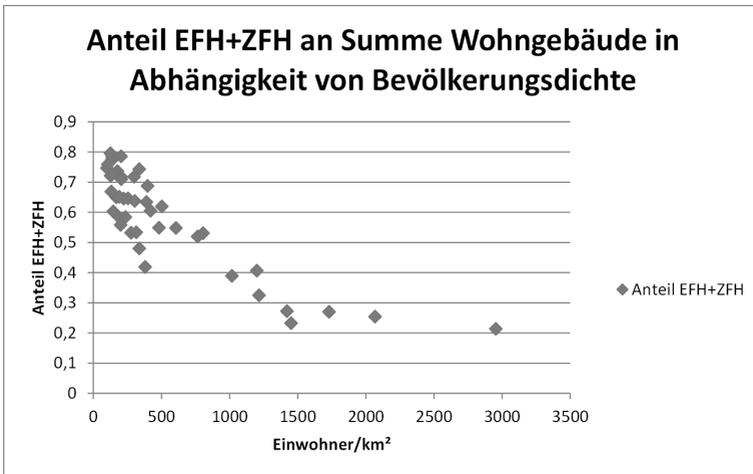


Abbildung A-1: Anteil Ein- und Zweifamilienhäuser (EFH und ZFH) am Wohngebäudebestand in BRI in den Landkreisen in Abhängigkeit von deren Bevölkerungsdichte

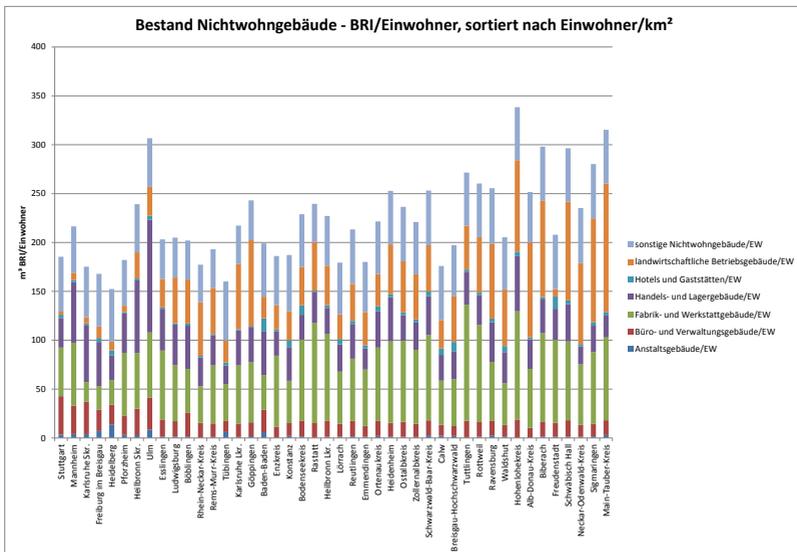


Abbildung A-2: Bestand Nichtwohngebäude in BRI, normiert auf Einwohner, sortiert nach absteigender Bevölkerungsdichte der Landkreise

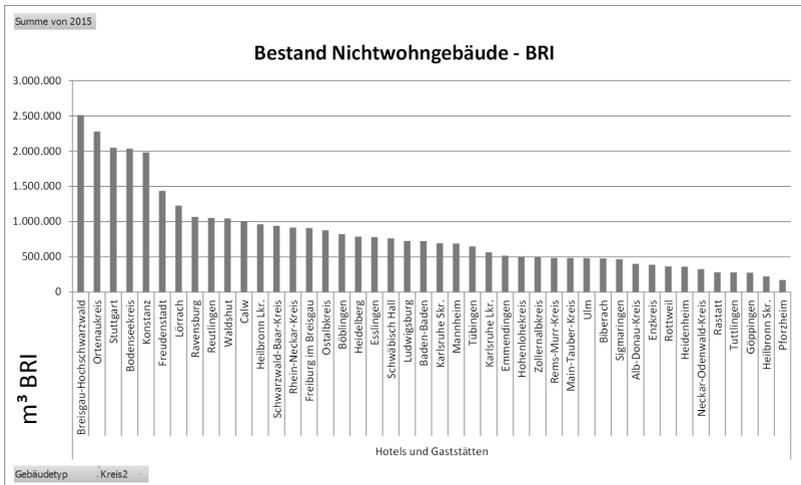


Abbildung A-3: Bestand des Nichtwohngebäudetyps Hotels und Gaststätten in Bruttorauminhalt (BRI)

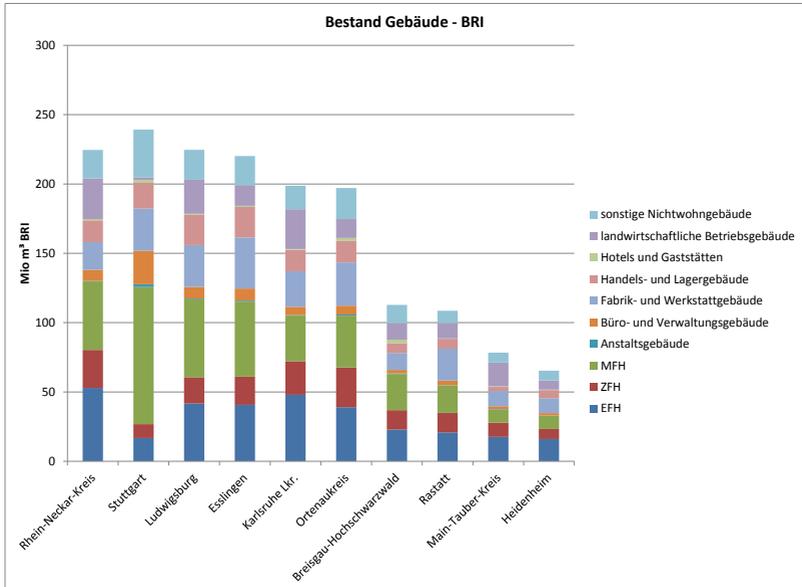


Abbildung A-5: Gebäudetypen im Gebäudebestand in Bruttoflächeninhalt (BRI) für ausgewählte Kreise

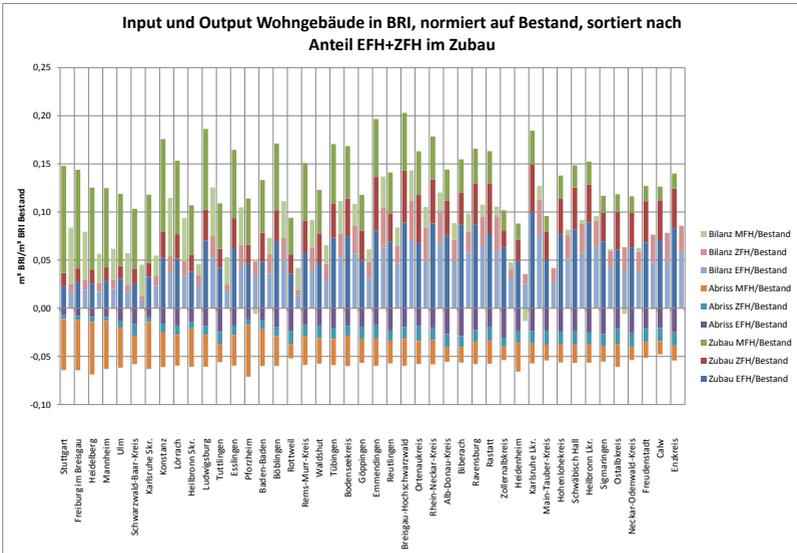


Abbildung A-6: Stoffstrominput- und -output sowie -bilanz für Wohngebäude in Brutto-rauminhalt (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, normiert auf den Bestand der Kreise, sortiert nach aufsteigendem Anteil von Ein- und Zweifamilienhäusern im Input in den Kreisen

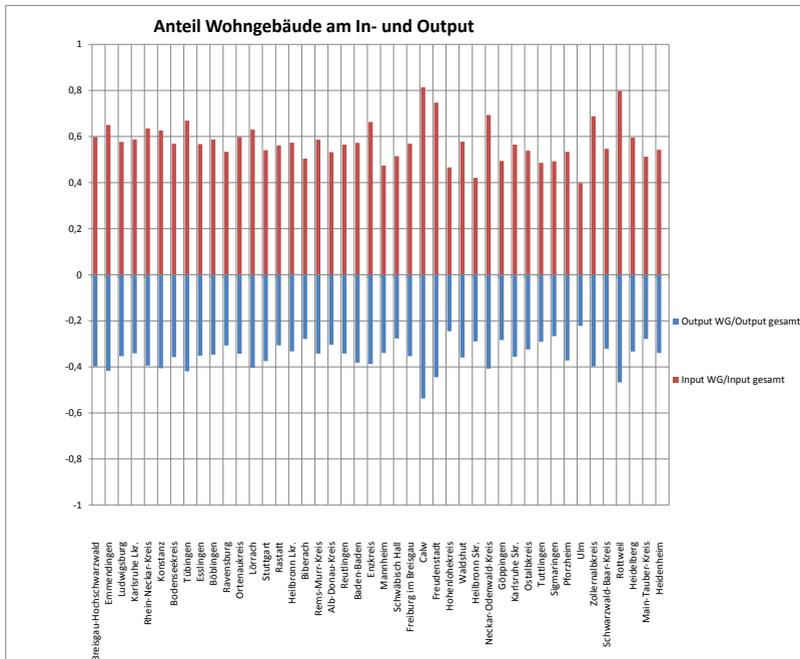


Abbildung A-8: Anteil Wohngebäude am gesamten In- und Output aus den Gebäuden als Bruttorauminhalt (BRI) kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030

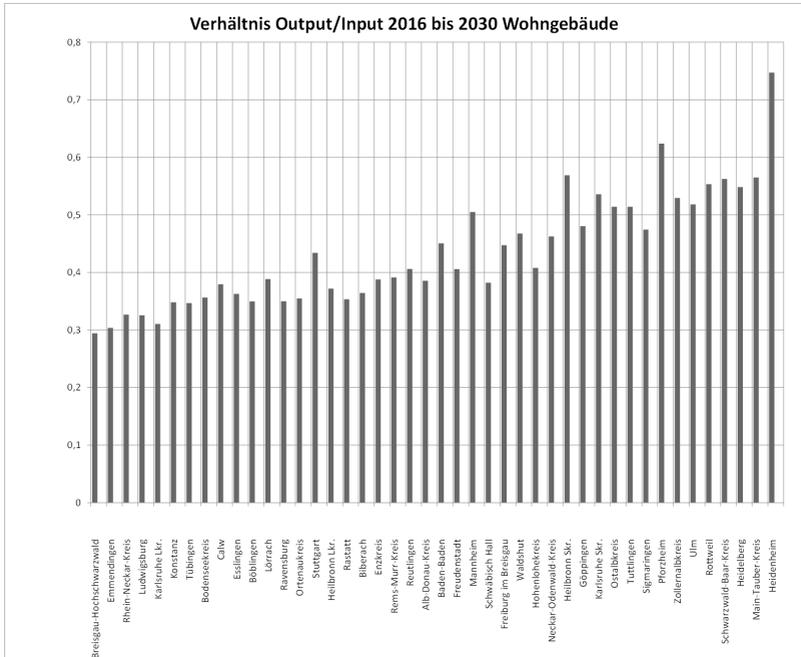


Abbildung A-9: Verhältnis Stoffstromout- zu -input für Wohngebäude in BRI kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030

Tabelle A-2: Relative Sensitivität des Verhältnisses von Output-/Inputströmen für Wohngebäude kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei einer Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses im Falle sinkender Nachfrage, einer anderen Bevölkerungsentwicklung und anderen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubedarf

Output/Input Wohngebäude	Standard: Leerstandszuwachs 0,15 %/a 2000-2030				Bevölkerung min; Trend: 0,0033x	Bevölkerung max; Trend: +0,0022x	Sanierungsquote min: 67% von Standard	Sanierungsquote max: 133% von Standard	Ersatzneubaubedarf min: 67% von Standard	Ersatzneubaubedarf max: 133% von Standard	Output/Input Standard
	Leerstandszuwachs 0 %/a 2000-2030	Leerstandszuwachs 0,075 %/a 2000-2030	Leerstandszuwachs 0,225 %/a 2000-2030	Leerstandszuwachs 0,3 %/a 2000-2030							
Stuttgart	100%	100%	100%	100%	100%	819	949	1059	889	1129	0,43
Böblingen	100%	100%	100%	100%	100%	829	939	1009	859	1139	0,35
Esslingen	100%	100%	100%	100%	100%	829	939	1009	859	1139	0,36
Östlingen	100%	100%	100%	100%	100%	779	949	1009	869	1109	0,48
Ludwigsburg	100%	100%	100%	100%	100%	999	959	1079	949	1149	0,33
Remp-Murr-Kreis	100%	100%	100%	100%	100%	819	939	1009	869	1129	0,39
Heilbronn	100%	104%	97%	94%	105%	739	909	1049	839	1089	0,57
Heilbronn	100%	100%	100%	100%	100%	819	939	1079	869	1129	0,37
Hohenlohekreis	101%	100%	100%	99%	104%	809	939	1009	809	1119	0,41
Schwäbisch Hall	101%	100%	100%	99%	100%	819	939	1009	809	1129	0,38
Main-Tauber-Kreis	100%	104%	97%	94%	107%	789	959	1049	809	1139	0,56
Heidenheim	100%	104%	96%	92%	100%	679	959	1029	969	1039	0,75
Ostalbkreis	100%	104%	95%	91%	103%	739	959	1049	909	1099	0,51
Baden-Baden	100%	100%	100%	100%	104%	739	949	1059	879	1119	0,45
Karlsruhe	100%	104%	97%	95%	100%	829	909	1049	889	1099	0,54
Karlsruhe	100%	100%	100%	100%	100%	839	929	1079	849	1149	0,31
Rastatt	100%	100%	100%	100%	100%	829	939	1079	859	1139	0,35
Heidenberg	110%	103%	96%	92%	103%	789	909	1049	839	1089	0,55
Mainheim	100%	100%	99%	97%	104%	819	939	1049	879	1109	0,51
Neckar-Odenwald-Kreis	100%	101%	99%	98%	104%	789	949	1009	889	1109	0,46
Rhein-Neckar-Kreis	100%	100%	100%	100%	100%	839	929	1079	849	1139	0,33
Pforzheim	113%	100%	94%	88%	104%	779	100%	929	829	1069	0,62
Calw	119%	100%	93%	88%	100%	879	929	1079	889	1119	0,38
Enzkreis	100%	103%	97%	94%	105%	859	939	1079	879	1119	0,39
Freudenstadt	113%	100%	95%	89%	103%	839	959	1079	889	1109	0,41
Freiburg im Breisgau	101%	100%	100%	99%	104%	819	959	1059	869	1119	0,45
Breisgau-Hochschwarzwald	100%	100%	100%	100%	100%	859	929	1079	849	1149	0,29
Emmendingen	100%	100%	100%	100%	100%	849	929	1079	849	1149	0,30
Odenaukreis	100%	100%	100%	100%	100%	829	939	1079	839	1139	0,35
Rottweil	101%	101%	99%	99%	103%	799	959	1049	909	1089	0,55
Schwarzwald-Baar-Kreis	100%	101%	99%	98%	102%	789	909	1049	839	1089	0,56
Tuttlingen	100%	100%	100%	100%	100%	759	959	1059	839	1099	0,51
Konstanz	100%	100%	100%	100%	100%	849	939	1009	849	1149	0,35
Lörrach	100%	100%	100%	100%	100%	819	939	1009	859	1129	0,39
Waldshut	100%	100%	100%	100%	104%	739	949	1059	879	1109	0,47
Rudolgers	100%	100%	100%	100%	104%	809	939	1069	859	1129	0,41
Tübingen	100%	100%	100%	100%	100%	829	939	1079	859	1139	0,35
Zollernalbkreis	100%	100%	100%	100%	100%	769	959	1059	839	1099	0,53
Ulm	100%	101%	99%	98%	103%	739	959	1049	889	1099	0,52
Alb-Donau-Kreis	100%	100%	100%	100%	104%	809	939	1009	849	1129	0,39
Biberach	100%	100%	100%	100%	100%	819	939	1079	859	1129	0,36
Bodenseekreis	100%	100%	100%	100%	100%	829	939	1009	859	1139	0,36
Ravensburg	100%	100%	100%	100%	100%	829	939	1079	859	1139	0,35
Sigmaringen	100%	101%	99%	98%	101%	789	949	1059	889	1109	0,47

Grün = größter Wert, rot = geringster Wert; rechte Spalte; Standard = 100 %; rechte Spalte: Output/Input Standard

Tabelle A-3: Relative Sensitivität des Verhältnisses von Output-/Inputströmen für Nichtwohngebäude kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 bei einer Veränderung des jährlichen Leerstandszuwachses im Falle sinkender Nachfrage, einer anderen Bevölkerungsentwicklung und anderen Quoten für Sanierung und Ersatzneubaubaubedarf (Grün = größter Wert, rot = geringster Wert; rechte Spalte; Standard = 100 %; rechte Spalte: Output/Input Standard)

Output/ Input Nichtwohngebäude	Standard: Leerstandszuwachs 0,15 %/a 2020-2030 bei sinkender Nachfrage				Bevölkerung min: 0,0003x	Bevölkerung max: Trend +0,0022x	Sanierungsquote min: 67% von Standard	Sanierungsquote max: 133% von Standard	Ersatzneubaubedarf min: von Standard	Ersatzneubaubedarf max: 133% von Standard	Output/Input Standard
	Leerstandszuwachs 0 %/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,3 %/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 0,75 %/a 2020-2030	Leerstandszuwachs 1,25 %/a 2020-2030							
Landkreis Standard = 100%											
Stuttgart	107%	93%	106%	96%	103%	81%	100%	100%	95%	103%	0,85
Böblingen	107%	94%	103%	97%	103%	81%	100%	100%	97%	101%	0,91
Esslingen	107%	93%	103%	97%	103%	89%	100%	100%	95%	103%	0,88
Sigmaringen	110%	87%	107%	95%	103%	89%	100%	100%	107%	93%	1,19
Ludwigsburg	105%	95%	103%	96%	103%	84%	100%	100%	92%	106%	0,81
Rems-Murr-Kreis	107%	93%	103%	97%	103%	80%	100%	100%	102%	99%	1,06
Heilbronn Skr.	108%	92%	104%	96%	103%	81%	100%	100%	100%	100%	1,01
Heilbronn Lkr.	107%	97%	104%	94%	103%	80%	100%	100%	100%	100%	1,00
Walensteinerkreis	103%	94%	103%	97%	103%	80%	100%	100%	103%	98%	1,10
Schwäbisch-Hall	105%	94%	103%	97%	103%	80%	100%	100%	102%	99%	1,06
Main-Tauber-Kreis	103%	92%	102%	97%	103%	78%	101%	99%	114%	92%	1,54
Heidenheim	103%	94%	101%	99%	104%	75%	101%	99%	113%	90%	1,72
Ostalbkreis	110%	87%	103%	95%	103%	86%	100%	100%	103%	98%	1,25
Baden-Baden	107%	93%	103%	97%	103%	81%	100%	100%	99%	100%	0,98
Karlsruhe Skr.	110%	90%	103%	95%	103%	82%	101%	99%	103%	98%	1,26
Karlsruhe Lkr.	106%	94%	103%	97%	103%	88%	100%	100%	94%	104%	0,85
Rastatt	107%	92%	104%	96%	103%	80%	100%	100%	101%	99%	1,03
Heidelberg	108%	92%	104%	96%	102%	83%	101%	99%	115%	92%	1,62
Mannheim	107%	93%	104%	96%	102%	82%	100%	100%	96%	103%	0,89
Nekar-Odenwald-Kreis	106%	89%	104%	93%	103%	76%	101%	99%	114%	92%	1,52
Rhein-Neckar-Kreis	103%	95%	103%	97%	103%	82%	100%	100%	95%	103%	0,87
Pforzheim	105%	91%	103%	95%	103%	81%	100%	100%	107%	94%	1,21
Calw	107%	89%	104%	92%	103%	81%	102%	98%	110%	94%	1,43
Enzkreis	106%	92%	103%	96%	102%	78%	100%	100%	103%	94%	1,21
Freudenstadt	104%	87%	102%	94%	103%	85%	101%	99%	112%	93%	1,50
Triebling im Breisgau	105%	90%	103%	95%	103%	82%	100%	100%	103%	98%	1,08
Breisgau-Hochschwarzwald	103%	91%	103%	95%	102%	85%	100%	100%	88%	103%	0,86
Emmendingen	105%	95%	103%	96%	102%	80%	100%	100%	91%	106%	0,73
Odenaukreis	108%	92%	104%	96%	103%	80%	100%	100%	103%	100%	1,01
Rottweil	93%	72%	99%	87%	104%	84%	104%	96%	121%	88%	2,50
Schwarzwald-Baar-Kreis	105%	91%	103%	96%	103%	81%	101%	99%	114%	93%	1,43
Tuttlingen	107%	91%	104%	94%	103%	89%	100%	100%	107%	98%	1,18
Konstanz	103%	95%	103%	97%	103%	81%	100%	100%	94%	103%	0,85
Lörrach	107%	93%	104%	96%	104%	80%	100%	100%	99%	101%	0,98
Waldshut	110%	90%	103%	95%	103%	80%	100%	100%	105%	97%	1,14
Reutlingen	108%	92%	104%	96%	103%	81%	100%	100%	101%	100%	1,02
Tübingen	107%	93%	103%	97%	103%	79%	100%	100%	99%	101%	0,97
Zollernalbkreis	101%	87%	103%	94%	103%	79%	101%	99%	113%	90%	1,77
Lins	105%	91%	103%	95%	102%	84%	100%	100%	102%	93%	1,20
Alb-Donau-Kreis	105%	95%	102%	97%	103%	81%	100%	100%	100%	100%	1,00
Biberach	106%	94%	103%	97%	103%	82%	100%	100%	98%	101%	0,96
Bodenseekreis	106%	94%	103%	97%	103%	82%	100%	100%	94%	104%	0,81
Ravensburg	105%	95%	103%	97%	103%	82%	100%	100%	96%	102%	0,91
Sigmaringen	103%	92%	104%	96%	102%	88%	100%	100%	100%	99%	1,27

Tabelle A-4: Vergleich des mit dem Modell für das Jahr 2016 errechneten Zubaus an Wohnflächen in Wohngebäuden ohne Nichtwohnflächen bzw. an Nichtwohnflächen in Nichtwohngebäuden mit dem in der Bautätigkeit im Mittel über die Jahre 2003 bis 2015 ausgewiesenen Zubau an Wohnflächen in Wohngebäuden inklusive Maßnahmen an bestehenden Gebäude bzw. Nichtwohnflächen in Nichtwohngebäuden inklusive Maßnahmen an bestehenden Gebäuden

	Wohngebäude	Nichtwohngebäude
	Zubau Modell Wohnflächen ohne NWG-Flächen/ Bautätigkeit Zubau Wohnfläche inkl. Maßnahmen an bestehenden Gebäuden	Zubau Modell Nutzflächen in NWG/Bautätigkeit Zubau Nutzfläche in NWG inkl. Maßnahmen an bestehende Gebäude
Stuttgart, Landeshauptstadt	1,92	1,83
Böblingen	1,29	1,12
Esslingen	1,47	1,47
Göppingen	1,36	1,26
Ludwigsburg	1,47	1,45
Rems-Murr-Kreis	1,31	1,02
Heilbronn	1,21	1,38
Heilbronn	1,24	0,80
Hohenlohekreis	1,15	0,73
Schwäbisch Hall	1,30	0,81
Main-Tauber-Kreis	1,02	0,74
Heidenheim	1,17	0,72
Ostalbkreis	1,15	0,68
Baden-Baden	1,43	1,29
Karlsruhe	1,80	1,38
Karlsruhe	1,74	1,67
Rastatt	1,67	1,33
Heidelberg	2,06	1,16
Mannheim	2,37	1,63
Neckar-Odenwald-Kreis	1,28	0,52
Rhein-Neckar-Kreis	1,68	1,31
Pforzheim	1,63	1,16
Calw	1,21	0,46
Enzkreis	1,27	0,84
Freudenstadt	1,28	0,56
Freiburg im Breisgau	1,97	3,62
Breisgau-Hochschwarzwald	1,44	1,53
Emmendingen	1,33	0,95
Ortenaukreis	1,42	1,02
Rottweil	0,86	0,24
Schwarzwald-Baar-Kreis	1,23	0,82
Tuttlingen	1,10	0,76
Konstanz	1,54	0,93
Lörrach	1,38	1,39
Waldshut	1,19	0,64
Reutlingen	1,42	1,02
Tübingen	1,28	0,91
Zollernalbkreis	1,23	0,42
Ulm	1,49	1,49
Alb-Donau-Kreis	1,04	0,62
Biberach	1,05	0,66
Bodenseekreis	1,27	1,34
Ravensburg	1,26	0,96
Sigmaringen	1,20	0,59

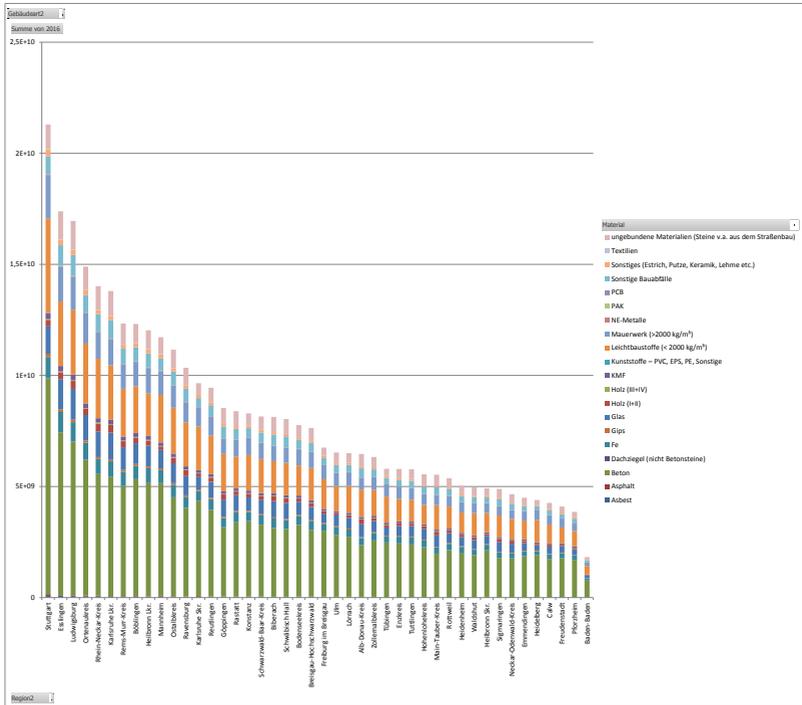


Abbildung A-12: Bestand der in Nichtwohngebäuden verbauten Materialien in den Kreisen Baden-Württembergs

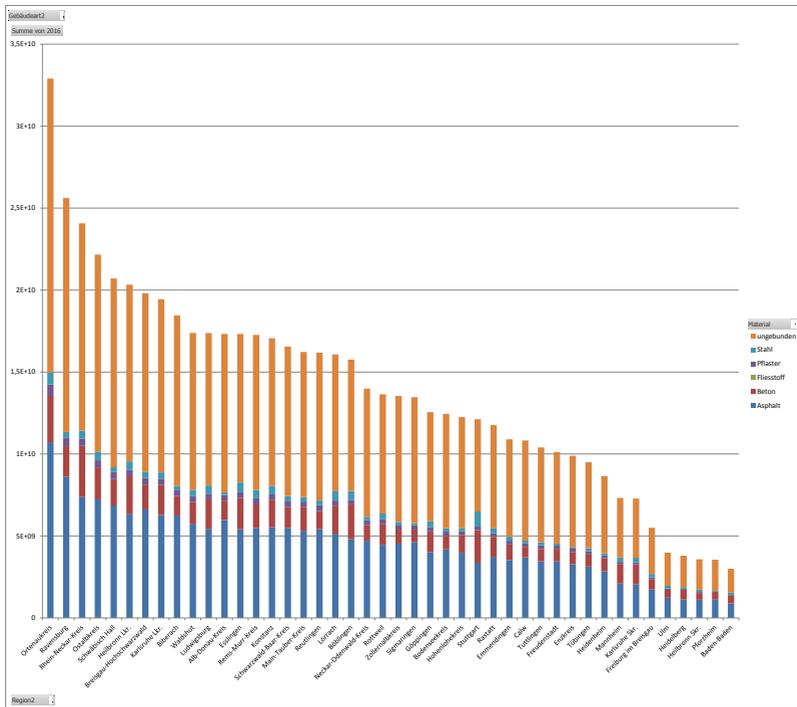


Abbildung A-13: Bestand der in der Straßeninfrastruktur verbauten Materialien in den Kreisen Baden-Württembergs

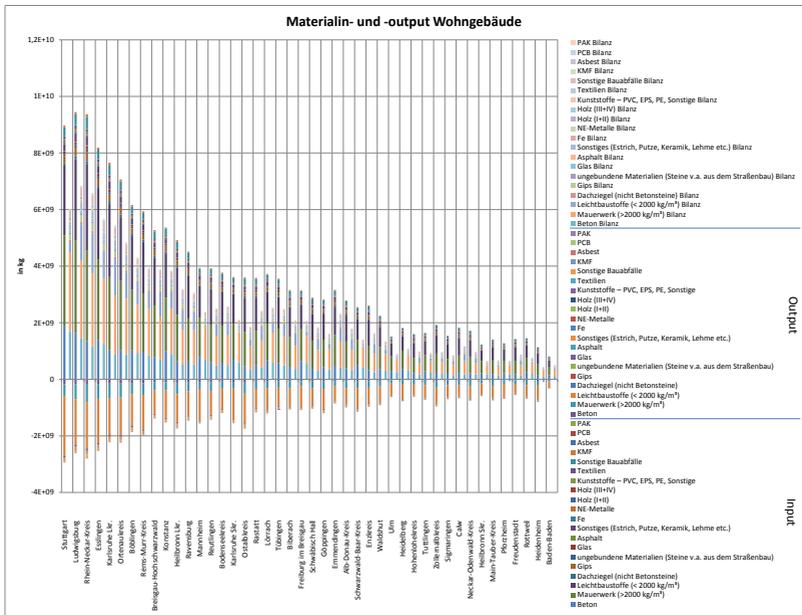


Abbildung A-14: Materialinput und –output sowie –bilanz für Wohngebäude in kg kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, sortiert nach Inputmenge in Gebäude

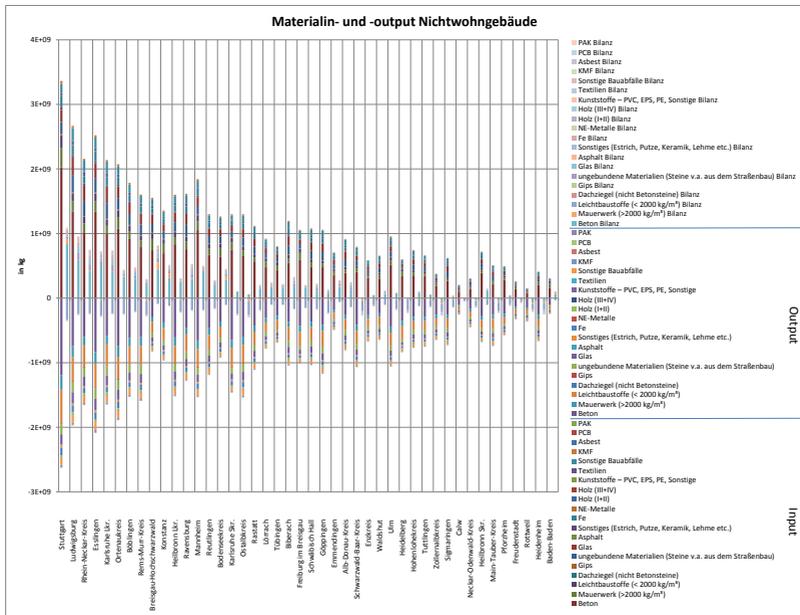


Abbildung A-15: Materialinput und -output sowie -bilanz für Nichtwohngebäude in kg kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, sortiert nach Inputmenge in Gebäude

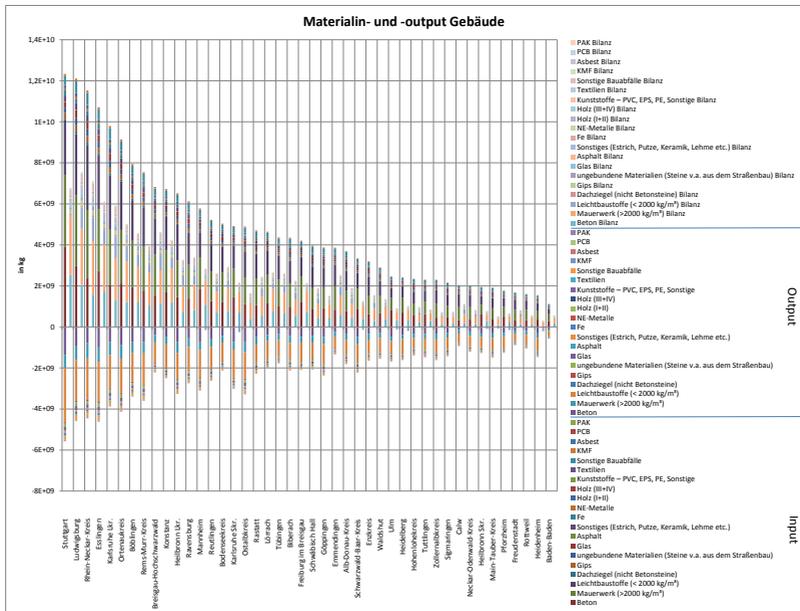


Abbildung A-17: Materialinput und -output sowie -bilanz für Gebäude in kg kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030

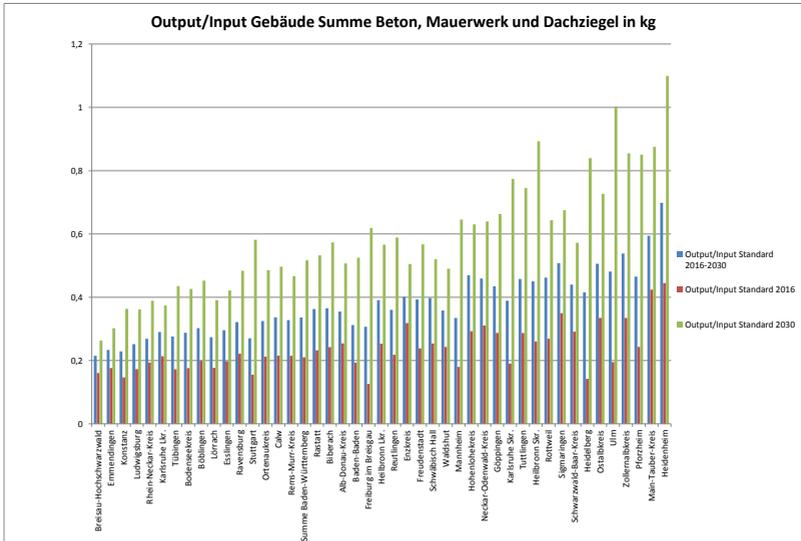


Abbildung A-18: Verhältnis von Output zu Input der Materialien Beton, Mauerwerk und Dachziegel in Summe aus und in Gebäude, jeweils kumuliert über die Zeitspanne von 2016 bis 2030 sowie jeweils nur im Jahr 2016 und 2030

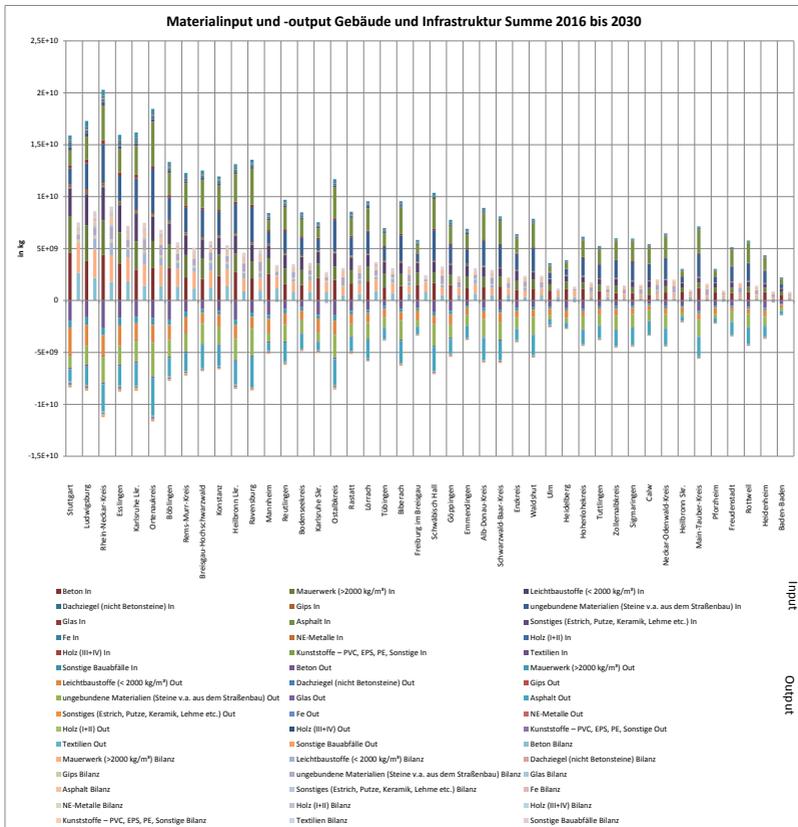


Abbildung A-20: Materialinput und -output sowie -bilanz in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in kg kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030, absteigend sortiert nach Materialinput in Gebäude

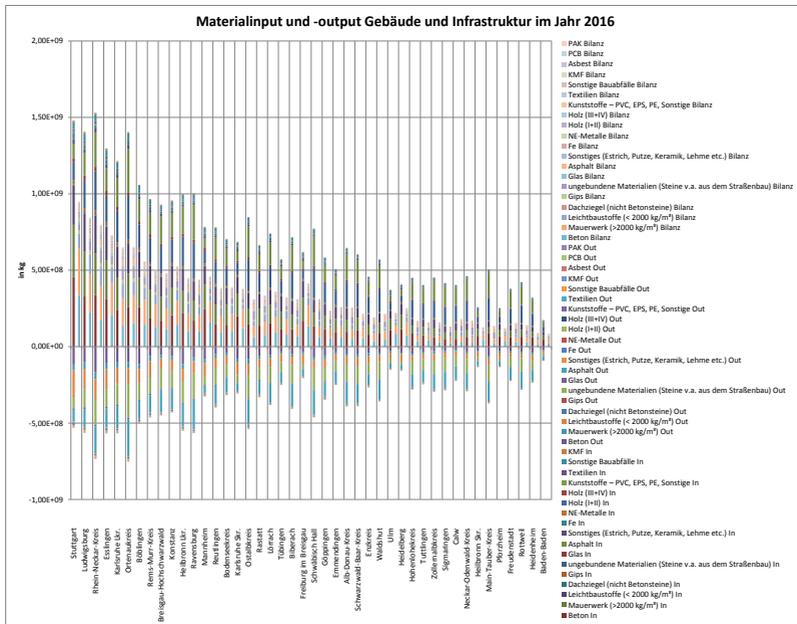


Abbildung A-21: Materialinput und –output sowie –bilanz in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in kg im Jahr 2016

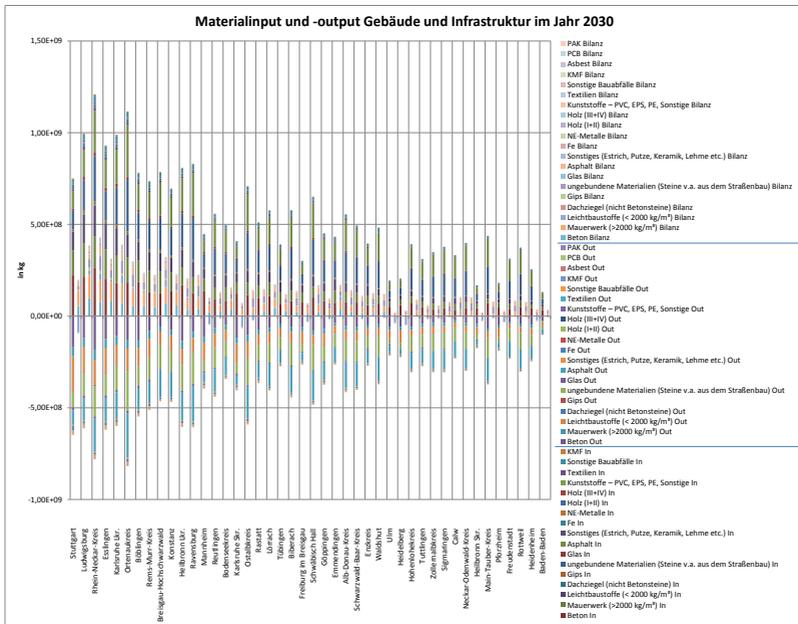


Abbildung A-22: Materialinput und -output sowie -bilanz in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in kg im Jahr 2030, absteigend sortiert nach Materialinput in Gebäude kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030

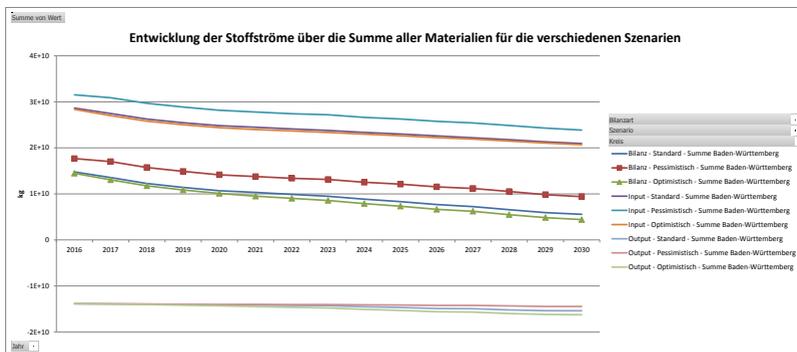


Abbildung A-23: Szenarien mit Standard-Werten, maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in ganz Baden-Württemberg; minimale Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung

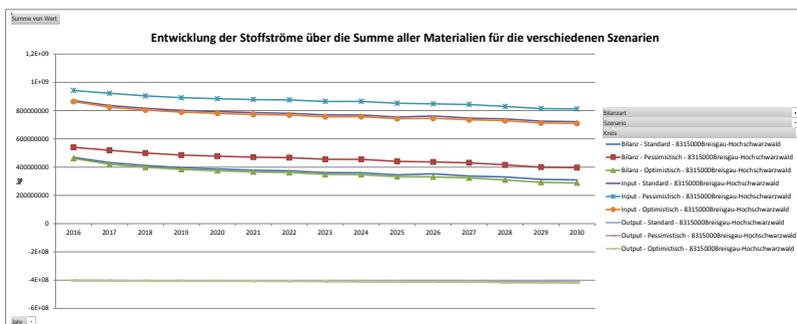


Abbildung A-24: Szenarien mit Standard-Werten, maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich im Kreis Breisgau-Hochschwarzwald; minimale Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung

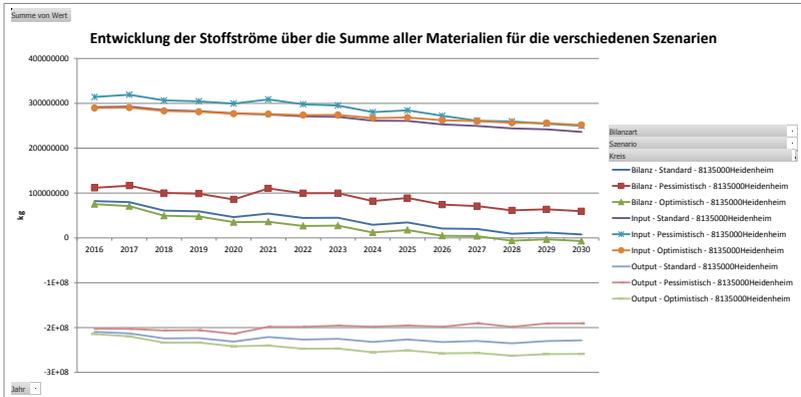


Abbildung A-25: Szenarien mit Standard-Werten, maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich im Kreis Heidenheim; minimale Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung

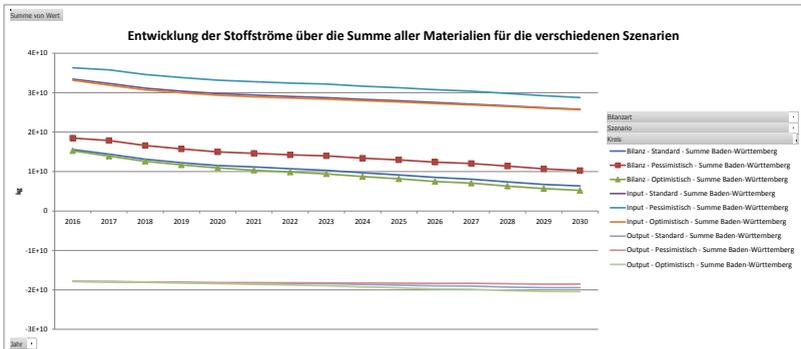


Abbildung A-26: Szenarien mit Standard-Werten, maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich in ganz Baden-Württemberg; maximale Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung

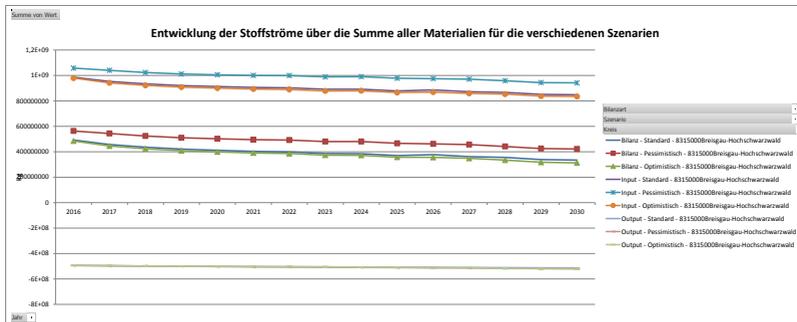


Abbildung A-27: Szenarien mit Standard-Werten, maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich im Kreis Breisgau-Hochschwarzwald; maximale Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung

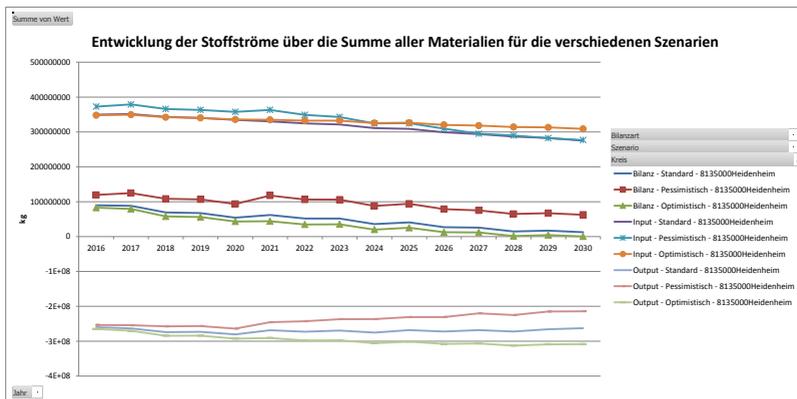


Abbildung A-28: Szenarien mit Standard-Werten, maximaler (pessimistischer) und minimaler (optimistischer) Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Materialströme in Summe aus Gebäude- und Straßeninfrastrukturbereich im Kreis Heidenheim; maximale Quoten für Ersatzneubaubedarf und Sanierung

Tabelle A-5: Vergleich der kumuliert über den Zeitraum von 2016 bis 2030 prognostizierten Materialinputs (links) und –outputs (rechts) im Standard-Szenario gegenüber den jeweiligen Extremausprägungen von optimistisch und pessimistischer Bestandentwicklung bei minimaler bzw. maximaler Quote für Ersatzneubaubedarf und Sanierung

Input alle Materialien Summe 2016-2030; Standard = 100 %	Output alle Materialien Summe 2016-2030; Standard = 100 %	
	Optimistisch Min	Pessimistisch Max
Stuttgart	84%	123%
Böblingen	89%	123%
Esslingen	87%	126%
Göppingen	88%	123%
Ludwigsburg	88%	125%
Rems-Murr-Kreis	87%	126%
Heilbronn	83%	130%
Heilbronn	90%	121%
Hohenlohekreis	91%	116%
Schwäbisch Hall	92%	115%
Main-Tauber-Kreis	95%	112%
Heidenheim	93%	114%
Ostalbkreis	91%	117%
Baden-Baden	89%	123%
Karlsruhe	83%	128%
Karlsruhe	89%	122%
Rastatt	89%	123%
Heidelberg	85%	126%
Mannheim	83%	129%
Neckar-Odenwald-Kreis	94%	116%
Rhein-Neckar-Kreis	90%	121%
Pforzheim	85%	127%
Calw	95%	118%
Enzkreis	91%	119%
Freudenstadt	95%	115%
Freiburg im Breisgau	84%	129%
Breisgau-Hochschwarzwald	91%	118%
Emmendingen	91%	120%
Ortenaukreis	90%	120%
Rottweil	95%	116%
Schwarzwald-Baar-Kreis	91%	119%
Tuttlingen	90%	120%
Konstanz	90%	121%
Lörrach	90%	120%
Waldshut	91%	116%
Reutlingen	88%	123%
Tübingen	89%	124%
Zollernalbkreis	92%	121%
Ulm	83%	130%
Alb-Donau-Kreis	91%	118%
Biberach	91%	119%
Bodenseekreis	89%	124%
Ravensburg	91%	118%
Sigmaringen	91%	115%
Baden-Württemberg	89%	122%

B Umfrage 1 in AP3



Meinungsforschung: Nachhaltige Kreislaufführung von Baustoffen

Bemerkung:

Ressourcenschutz und ressourcenschonendes Bauen: (Nicht)Verbrauch von Primärressourcen, Bodenversiegelung, Flächenabbau und Nutzen der Flächen als Deponien. Betrachtet wird der gesamte Lebenszyklus der Bauten.

1. Bitte ordnen Sie Ihre Firma entsprechend der Hauptgeschäftstätigkeit zu.

- | | |
|---|--|
| Bauherr/Eigentümer <input type="checkbox"/> | Abbrucharbeiten <input type="checkbox"/> |
| Bauausführung <input type="checkbox"/> | Recycling <input type="checkbox"/> |
| Bauplanung <input type="checkbox"/> | Hersteller von Baumaterialien <input type="checkbox"/> |
| Instandhaltung <input type="checkbox"/> | Abfallbeseitigung <input type="checkbox"/> |

2. Wie wichtig sind folgende Faktoren für den Erfolg Ihres Unternehmens?

	0 nicht wichtig	1	2	3	4	5 sehr wichtig	Bemerkung (optional)
Arbeitskosten	<input type="checkbox"/>						
Produktionskosten/ Baukosten	<input type="checkbox"/>						
Image der Firma	<input type="checkbox"/>						
Produktivität	<input type="checkbox"/>						
Materialkosten	<input type="checkbox"/>						
Qualität der erbrachten Leistung	<input type="checkbox"/>						
Prozesse	<input type="checkbox"/>						
Interaktion mit anderen Akteuren	<input type="checkbox"/>						
Innovation	<input type="checkbox"/>						
Kundenzufriedenheit	<input type="checkbox"/>						
Technische Exzellenz	<input type="checkbox"/>						
Seltene Spezialisierung	<input type="checkbox"/>						
Verbesserung des Allgemeinwohls	<input type="checkbox"/>						
Umweltschonendes Handeln	<input type="checkbox"/>						

3. Wie wirken sich die zum Ressourcenschutz dienenden Maßnahmen (vorgeschriebene und selbstinitiierte) auf folgende Aspekte Ihres Geschäftes aus?

	-2 sehr nega- tiv	-1	0 neut- ral	1	2 sehr positiv	Bemerkungen (optional)
Materialkosten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Differenzierung von der Konkurrenz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Marketing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Mitarbeitermotivation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Image	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Profitabilität der Leistungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Kundenzufriedenheit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Qualität	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Produktivität	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Effizienz der Prozesse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Innovation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Wettbewerbsfähigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Arbeitskosten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Produktionskosten/ Baukosten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Prozesse/ Abläufe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

4. Bitte bewerten Sie, wie stark folgende Akteure den Ressourcenverbrauch über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes beeinflussen.

	0 Gar nicht	1	2	3	4	5 sehr stark	Bemerkung (optional)
Bauherr/ Eigentümer	<input type="checkbox"/>						
Planer	<input type="checkbox"/>						
Bauausführende Unternehmen	<input type="checkbox"/>						
Abbruch-/ Entsorgungsunternehmen	<input type="checkbox"/>						
Recyclingunternehmen	<input type="checkbox"/>						
Öffentliche Hand	<input type="checkbox"/>						
Baumaterialhersteller/-händler	<input type="checkbox"/>						
Medien	<input type="checkbox"/>						

5. Bitte beurteilen Sie bei welchen Akteuren noch ein hohes Potenzial besteht ressourcenschonender zu handeln.

	0 Gar nicht	1	2	3	4	5 sehr stark	Bemerkung (optional)
Bauherr/Eigentümer	<input type="checkbox"/>						
Planer	<input type="checkbox"/>						
Bauausführende Unternehmen	<input type="checkbox"/>						
Abbruch-/ Entsorgungsunternehmen	<input type="checkbox"/>						
Recyclingunternehmen	<input type="checkbox"/>						
Öffentliche Hand	<input type="checkbox"/>						
Baumaterialhersteller/-händler	<input type="checkbox"/>						
Medien	<input type="checkbox"/>						

6. Bitte bewerten Sie den Einfluss Ihrer Firma auf die Geschäftstätigkeit folgender Akteure.

	0 Gar nicht	1	2	3	4	5 sehr stark	Bemerkung (optional)
Bauherr/Eigentümer	<input type="checkbox"/>						
Planer	<input type="checkbox"/>						
Bauausführende Unternehmen	<input type="checkbox"/>						
Abbruch-/ Entsorgungsunternehmen	<input type="checkbox"/>						
Recyclingunternehmen	<input type="checkbox"/>						
Öffentliche Hand	<input type="checkbox"/>						
Baumaterialhersteller/-händler	<input type="checkbox"/>						
Medien	<input type="checkbox"/>						

7. Bitte bewerten Sie, wie stark folgende Akteure die Geschäftstätigkeit Ihrer Firma beeinflussen.

	0 Gar nicht	1	2	3	4	5 sehr stark	Bemerkung (optional)
Bauherr/Eigentümer	<input type="checkbox"/>						
Planer	<input type="checkbox"/>						
Bauausführende Unternehmen	<input type="checkbox"/>						
Abbruch-/ Entsorgungsunternehmen	<input type="checkbox"/>						
Recyclingunternehmen	<input type="checkbox"/>						
Öffentliche Hand	<input type="checkbox"/>						
Baumaterialhersteller/-händler	<input type="checkbox"/>						
Medien	<input type="checkbox"/>						

8. Wie groß ist Ihrer Meinung nach das Potenzial Ressourcen zu schonen durch gezielte Kooperationen folgender Akteure?

(Auf einer Skala von 0: kein Potenzial bis 5: sehr hohes Potenzial durch Kooperation Ressourcen zu schonen)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Bauherr/ Eigentümer	Bauplaner	Bauausführende Unternehmen	Entsorgung-/ Abbruch- unternehmen	Recycling- unternehmen	Baumaterialher- steller/ -händler
(1) Bauherr/Eigentümer		bitte wai	bitte wä	bitte wä	bitte wä	bitte wä
(2) Bauplaner			bitte wä	bitte wä	bitte wä	bitte wä
(3) Bauausführende Unternehmen				bitte wä	bitte wä	bitte wä
(4) Entsorgung-/ Abbruchunternehmen					bitte wä	bitte wä
(5) Recyclingunternehmen						bitte wä

9. Was bewegt Ihre Firma dazu bei der Durchführung Ihrer Prozesse auf Ressourcennutzung und Ressourcenschutz zu achten?

	0 nicht wichtig	1	2	3	4	5 sehr wichtig	Bemerkung (optional)
Kundenerwartungen/ vorgaben	<input type="checkbox"/>						
Mithalten mit der Konkurrenz	<input type="checkbox"/>						
Finanzielle Anreize (günstigere Kredite, Subventionen, etc....)	<input type="checkbox"/>						
Marktlücken	<input type="checkbox"/>						
Öffentliche Hand	<input type="checkbox"/>						
Wir sehen es als Weiterentwicklungsmöglichkeit an	<input type="checkbox"/>						
Förderung der Kreislaufwirtschaft als Geschäftsziel	<input type="checkbox"/>						
Verständnis für die Bedeutung der Ökologie für die Welt	<input type="checkbox"/>						
Ressourcenschutz ist in der Branche nicht mehr wegzudenken	<input type="checkbox"/>						
Positives Image	<input type="checkbox"/>						
Die Präsenz des Themas Ressourcenschutz in den Medien	<input type="checkbox"/>						

Sonstige Gründe?

Hier können Sie weitere Gründe nennen, die Sie dazu motivieren ressourcenschonend zu Handeln

C Umfrage 2 in AP3

8%

Wie wichtig sind folgende Faktoren für den Erfolg Ihres Unternehmens?

	nicht wichtig	weniger wichtig	neutral	wichtig	sehr wichtig
Faktor Umwelt					
Umweltchonendes Handeln	<input type="radio"/>				
Verbesserung des Allgemeinwohls	<input type="radio"/>				
Faktor Finanzen					
Materialekosten	<input type="radio"/>				
Personalkosten	<input type="radio"/>				
Produktionskosten/ Baukosten	<input type="radio"/>				
Profitabilität der Leistungen	<input type="radio"/>				
Faktor Kunde					
Image der Firma	<input type="radio"/>				
Kundenbeziehung	<input type="radio"/>				
Kundenzufriedenheit	<input type="radio"/>				
Qualität der erbrachten Leistungen	<input type="radio"/>				
Faktor Prozesse					
Prozesse	<input type="radio"/>				
Innovation	<input type="radio"/>				
Spezialisierung	<input type="radio"/>				
Technische Exzellenz	<input type="radio"/>				
Interaktion mit anderen Akteuren	<input type="radio"/>				
Differenzierung von der Konkurrenz	<input type="radio"/>				
Faktor Mitarbeiter und Entwicklung					
Bildung	<input type="radio"/>				
Produktivität	<input type="radio"/>				
Vorhandene Technik	<input type="radio"/>				

[Weiter](#)

8%

Bitte schätzen Sie, in wie weit die folgenden Akteure den Ressourcenverbrauch über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes beeinflussen.

	sehr schwach	schwach	neutral	stark	sehr stark
Recyclingunternehmen	<input type="radio"/>				
Abbruchunternehmen	<input type="radio"/>				
Entsorgungsunternehmen	<input type="radio"/>				
Baumaterialhersteller	<input type="radio"/>				
Planer	<input type="radio"/>				
Bauausführende Unternehmen	<input type="radio"/>				
Bauherr/ Eigentümer	<input type="radio"/>				
Öffentliche Hand	<input type="radio"/>				
Medien	<input type="radio"/>				

Bitte bewerten Sie den Einfluss Ihrer Firma auf die Geschäftstätigkeit folgender Akteure.

	sehr schwach	schwach	neutral	stark	sehr stark
Recyclingunternehmen	<input type="radio"/>				
Abbruchunternehmen	<input type="radio"/>				
Entsorgungsunternehmen	<input type="radio"/>				
Baumaterialhersteller	<input type="radio"/>				
Planer	<input type="radio"/>				
Bauausführende Unternehmen	<input type="radio"/>				
Bauherr/ Eigentümer	<input type="radio"/>				
Öffentliche Hand	<input type="radio"/>				
Medien	<input type="radio"/>				

Bitte bewerten Sie, wie stark folgende Akteure die Geschäftstätigkeit Ihrer Firma beeinflussen.

	sehr schwach	schwach	neutral	stark	sehr stark
Recyclingunternehmen	<input type="radio"/>				
Abbruchunternehmen	<input type="radio"/>				
Entsorgungsunternehmen	<input type="radio"/>				
Baumaterialhersteller	<input type="radio"/>				
Planer	<input type="radio"/>				
Bauausführende Unternehmen	<input type="radio"/>				
Bauherr/ Eigentümer	<input type="radio"/>				
Öffentliche Hand	<input type="radio"/>				
Medien	<input type="radio"/>				

Bitte bewerten Sie das Potential folgender Maßnahmen, die Verwendung von Primärrohstoffen zu reduzieren.

	neutral	sehr schwach	schwach	stark	sehr stark
Finanzielle Maßnahmen					
Erhöhung von Deponiegebühren (um Recycling attraktiver zu machen)	<input type="radio"/>				
Förderung/Preise für energieeffiziente/schadstoffarme Materialherstellungsverfahren und Materialhersteller: (Nutzen erneuerbarer Energie, effiziente Nutzung von Wasser)	<input type="radio"/>				
Neue Finanzprodukte/Kredite/Subventionen zur Förderung von Sanierungen	<input type="radio"/>				
Neue Finanzprodukte/Kredite/Subventionen für ressourcenschonendes Bauen (z.B. Nutzung von Recyclingbaustoffen)	<input type="radio"/>				
Preise für ressourcen-/umweltschonende Bauprojekte	<input type="radio"/>				
Zusatzkosten/Steuern auf Kauf von Primärrohstoffen	<input type="radio"/>				
Forschung & Entwicklungs Maßnahmen					
Förderung der Forschung u. Entwicklung von Substituten für nicht recycelbare Baumaterialien	<input type="radio"/>				
Förderung der Forschung u. Entwicklung zur Verbesserung von Bauprozessen	<input type="radio"/>				
Förderung der Forschung u. Entwicklung für Recyclingtechnik	<input type="radio"/>				
Informatorische Maßnahmen					
Förderung der Informationsverfügbarkeit und des Images des nachhaltigen Bauens (z.B. Einsatz von Recyclingbaustoffen)	<input type="radio"/>				
Förderung der Herstellung und Verwendung von Materialien mit hoher Recyclingfähigkeit	<input type="radio"/>				
Anpassung von Lehrinhalten (z.B. Ingenieure, Architekten) oder das Anbieten von Weiterbildungen zur Förderung des Umweltbewusstseins	<input type="radio"/>				
Förderung nachhaltigkeit Materialbeschaffung (z.B. Carbon Footprint Deutscher Stahl vs. Chinesischer Stahl)	<input type="radio"/>				
Verbessertes Eco-Labeling zur besseren Vermarktung von Recyclingbaustoffen (Abschaffen der Wahrnehmung "ökö" = teuer)	<input type="radio"/>				
Aufbau einer umweltökonomischen Gesamtrechnung als Komplementär zur volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung	<input type="radio"/>				
Förderung der Gütesiegelvergabe für Recycling-Betriebe, die Qualitätsstandards erfüllen	<input type="radio"/>				
In Bauprojekt-Ausschreibungen (z.B. vom Staat) sollen ressourcenschonende Lösungen bevorzugt werden	<input type="radio"/>				
Förderung und Forderung des Selektiven Rückbaus	<input type="radio"/>				
Organisatorische Maßnahmen					
Förderung freiwilliger Abkommen/Selbstverpflichtungen im Sinne des Ressourcenschutz zwischen Unternehmen und Unternehmen und Staat	<input type="radio"/>				
Förderung der Informationsverfügbarkeit/Transparenz über Abfallvermeidung, Einführung strengerer Abfallbehandlungs- und Verwertungsrichtlinien, Umweltaktivitäten von Unternehmen	<input type="radio"/>				
Einführung einer klaren Verantwortungsordnung/Haftung für Bauteile/Baustoffe entlang des Bauzyklus	<input type="radio"/>				
Aufbau und Kommunikation eines betrieblichen Stoffbuchhaltungssystems	<input type="radio"/>				
Förderung von Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette- Bau zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs	<input type="radio"/>				
Verstärkte Einbeziehung von Akteuren bei der Planung von Vorschriften/Initiativen	<input type="radio"/>				
Bürokratie zur Verwendung von Recyclingbaustoffen minimieren	<input type="radio"/>				
Bereits während der Gebäudeplanung mögliche Recycling-/Entorgungskonzepte für eingesetzte Materialien/Bauteile berücksichtigen	<input type="radio"/>				
Rechtliche Maßnahmen					
Einführung einer Mindestquote für den Einsatz von Recyclingbaustoffen bei Neubauten, statt maximaler Begrenzung	<input type="radio"/>				
Gleichstellung von Recycling- und Primärbaustoffen	<input type="radio"/>				
Vermeidung von Abfall, Lärm, Staub während der Materialherstellungs-, Bau-, Instandhaltungs- und Abbruchprozessen	<input type="radio"/>				
Überprüfung der Mantelverordnung hinsichtlich der Zweckmäßigkeit der Restriktionen und Anpassung der Vorschriften für die Verwendung der RC-Materialien	<input type="radio"/>				
Einführung eines Deponieverbots für recyclingfähiges Material	<input type="radio"/>				
Einführung strengerer Abfallbehandlungs- und Verwertungsrichtlinien (z.B. Strafzahlungen für nicht sachgemäße Entorgung von Baustoffen)	<input type="radio"/>				
Bevorzugte Landvergabe/Bauförderungs an Bauvorhaben mit großem Anteil an Recyclingbaustoffen	<input type="radio"/>				

D Ergebnisse der Umfragen 1 und 2 (aggregiert)

Wie bewerten Sie das Zusammenspiel zweier Maßnahmen hinsichtlich einer verstärkenden bzw. abschwächenden Wirkung.
 Betrachten Sie, dass die Reihenfolge innerhalb der Bündelung irrelevant ist. Es macht somit keinen Unterschied, wie Maßnahme A auf Maßnahme B oder anders herum wirkt.

Die Maßnahme **

wirkt in Verbindung mit den folgenden Maßnahmen:

	stark abschwächend	abschwächend	neutral	verstärkend	stark verstärkend
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

D Ergebnisse der Umfragen 1 und 2 (aggregiert)

Ausgewählte akteursbezogene Ergebnisse				
g_{faktor_a}	Gewichtung der Faktoren für ausgewählte Akteursgruppen	Bauherr/ Eigentümer	Planer/ Bauausf.	Recycling etc.
	Finanzielle Aspekte	0,20	0,21	0,20
	Kundenorientierte Aspekte	0,23	0,23	0,20
	Prozessorientierte Aspekte	0,16	0,18	0,19
	Entwicklung	0,20	0,20	0,19
	Umwelt	0,21	0,18	0,22
$e_{a_i a_j}$	Einflussmacht zwischen ausgewählten Akteuren [1-5], 5=Maximum	Öffentl. Hand		
	Bauherr/ Eigentümer	-	4,08	3,61
	Planer/ Bauausf.	3,44	-	2,68
	Recycling/ Abbruch-/ Entsorgu./Baumat.herst.	2,95	2,62	-
	öffentl. Hand	2,50	3,05	2,86
	Einfluss des Akteurs auf den Erhalt von Ressourcen	3,72	3,68	3,18
				3,40

Abbildung D-1: Interaktionsmatrix [0=Neutralisierung bis 1,7=starke Synergie]

Tabelle D-2: Übersicht der Akteure, ihrer Aufgaben und Stellungen, Ziele, Vorteile und Herausforderungen im Ressourcenschutz
Eigene Darstellung (vgl. Huber und Weissenböck 2013; Busse 2012; BMVB 2008; IW Consult 2008; Pfarr 1984):

Akteur	Bauherr/ Eigentümer
Aufgaben/ Stellung des Akteurs im Bauprojekt	Planung, Ideenfindung, Auftragsvergabe Überwachung des Projektablaufes Vermietung, Vermarktung der Bauten Bestimmung der beteiligten Unternehmen und deren Entlassung sowie Festlegung der Vertragskonditionen Komplette Macht über das Projekt und Projektabbruch
Ziele des Akteurs	Erreichen der gewünschten Qualität Umsetzung des Projektes nach gesetzlichen Vorschriften Darstellung der Besonderheiten der eigenen Marke Sicherung des Images, Signalwirkung durch Projekte Befriedigung gesellschaftlicher Ansprüche Hohe, sichere Erlöse bei niedrigen Kosten Planungssicherheit Werterhalt und Wertsteigerung der Immobilie
Vorteile des Ressourcenschutzes für den Akteur	Wettbewerbsvorteil Langer Lebenszyklus und Qualität führen zum Werterhalt Positives Image und Signalwirkung
Herausforderung für ressourcenschonendes Bauen	Wirtschaftlichkeit wichtiger als Ökologie Ressourcenschutz eher nur, wenn gefordert oder wirtschaftlich nützlich ist Wenig Wissen über alternative Produkte und Technologie
Akteur	Planer
Aufgaben/ Stellung des Akteurs im Bauprojekt	Vorbereitung der Planung, Entwurfes und Bauablaufes Baucontrolling (Kosten, Termine...) Projektentwicklung Beratung des Bauherrn Abwicklung des Projektes Mitbestimmung bei der Auftragsvergabe Beeinflussung des Bauherrn durch die Beratungsleistungen
Ziele des Akteurs	Kundenzufriedenheit Hohe Qualität der Leistungen Einhaltung des vorgegebenen Budgets Erfüllung der Kundenanforderungen (Qualität, Komfort, Folgekosten) mit geringem Aufwand Befriedigung der privaten/ öffentlichen Bedürfnisse und Ziele Gewinnung eines großen Teiles des Auftrages Hoher Profit bei geringen Kosten Kostensicherheit Image als Werbeinstrument Wertschätzung durch Nutzer und Öffentlichkeit

	Erhöhung des Marktwertes des Architekten Anerkennung für Leistungen Kundenvertrauen
Vorteile des Ressourcenschutzes für den Akteur	Wettbewerbsvorteil Modernes Image Kundenakquise Besondere Spezialisierung und Know-how Weniger Nachbesserungsbedarf Mögliche Nutzerzufriedenheit und Prestige aufgrund der Projektart
Herausforderung für ressourcenschonendes Bauen	Priorität liegt auf Kostenoptimierung Bauherr bestimmt die Ausprägung der Nachhaltigkeit und hat die letztendliche Entscheidungsmacht Unzureichendes Wissen über Materialalternativen
Akteur	Bauausf. U.
Aufgaben/ Stellung des Akteurs im Bauprojekt	Beratung über Materialien und Bauweisen Ausführung des Baubetriebes und der Teilleistungen Baustellen einrichten, Geräte und Stoffe disponieren, Personalentscheidung, Bauarbeiten... Vorleistungen ((Ver-)Kauf von Inputgütern) erbringen/ sicherstellen
Ziele des Akteurs	Qualität der Leistung Leistungserfüllung gemäß Vertrag mit möglichst geringem Arbeitsaufwand Kundenzufriedenheit Wirtschaftlichkeit der Leistungen Imageerhalt
Vorteile des Ressourcenschutzes für den Akteur	Signalwirkung zur Akquise neuer Kunden Wettbewerbsvorteil durch Spezialisierung
Herausforderung für ressourcenschonendes Bauen	Nachfrageorientierte Handlungen Preise für umweltschonende Produkte als zu hoch und für die Profitabilität der Handlungen mindernd empfunden Wenig Wissen über neue Produkte
Akteur	Abbruch-/ Entsorgungs-/Recycling-Unternehmen
Aufgaben/ Stellung des Akteurs im Bauprojekt	Abbruch der Bauten; Demontage Ordnungsmäßige Entsorgung der Abfälle Recycling der Abfälle Sonstige Spezialisierungen wie Verfüllungen oder Revitalisierung der Landschaft
Ziele des Akteurs	Leistungserfüllung gemäß Leistungs- & Kostenvorgaben und Vorschriften Wirtschaftlichkeit der Leistungen
Vorteile des Ressourcenschutzes für den Akteur	Gesteigerte Nachfrage nach RC-Gütern und selektiven Rückbau ist gut für ihr Geschäft

D Ergebnisse der Umfragen 1 und 2 (aggregiert)

Herausforderung für ressourcenschonendes Bauen	stringente Zeit und Kostenvorgaben erschweren den selektiven Rückbau sehr starker Preiswettbewerb mit den primären Baustoffen
--	--

Akteur	Betreiber/Verwaltung/ Instandhaltung
Aufgaben/ Stellung des Akteurs im Bauprojekt	Facility Management Planung und Durchführung der Instandhaltung der Objekte Beratung der Eigentümer und möglicherweise der Planer während der Planungs- und Nutzungsphase zur Minimierung der Wartungs- und Pflegekosten der Bauten
Ziele des Akteurs	Reibungslos ablaufende Prozesse Langfristige Aufträge Kundenzufriedenheit Erreichen der vorgegebenen Ziele bei geringem Arbeitsaufwand und Kosten
Vorteile des Ressourcenschutzes für den Akteur	Resultierendes zunehmendes Instandhalten würde zu mehr Geschäft führen
Herausforderung für ressourcenschonendes Bauen	Umsetzung umweltschonender Maßnahmen nur, wenn sie Wirtschaftlichkeit bedeuten oder vom Arbeitgeber spezifisch verlangt wurden
Akteur	Medien
Aufgaben/ Stellung des Akteurs im Bauprojekt	Unabhängige Berichterstattung Zurverfügungstellung der Information
Ziele des Akteurs	Hohe Attraktivität für Kunden Treffen des Geschmacks der breiten Masse
Vorteile des Ressourcenschutzes für den Akteur	Sind nicht am Bauprozess beteiligt
Herausforderung für ressourcenschonendes Bauen	
Akteur	Finanzierer/ Investor
Aufgaben/ Stellung des Akteurs im Bauprojekt	Geldgeber Beratung über Finanzierungsmöglichkeiten Ablehnung von Kreditanträgen Unterbrechung eines Projektes Einfluss aufgrund der Abhängigkeit von Finanzmitteln
Ziele des Akteurs	Rentable Finanzinstrumente mit wenig Risiko Kundenbindung insbesondere für Folgekredite Reputation in der Branche Kundenakquise
Vorteile des Ressourcenschutzes für den Akteur	Ökologie als Anlagestrategie Anerkennung durch die Öffentlichkeit Wettbewerbsvorteile
Herausforderung für ressourcenschonendes Bauen	Risiken und Profitabilität des ressourcenschonenden Bauens noch ungewiss

Akteur	Baumaterialhersteller/ -händler
Aufgaben/ Stellung des Akteurs im Bauprojekt	Herstellung von Baumaterialien und Entwicklung neuer Verfahren Vertrieb und Lieferung der Materialien
Ziele des Akteurs	Aufrechterhaltung der Qualität Gutes Preis – Leistungsverhältnis Entwicklung der Materialien gemäß den nachgefragten Eigenschaften Gutes Image Gewinnmaximierung
Vorteile des Ressourcenschutzes für den Akteur	Wettbewerbsvorteile Kundengewinn aufgrund der Qualität
Herausforderung für ressourcenschonendes Bauen	Neue Technik und somit Startinvestitionen notwendig Kooperation mit Recyclingunternehmen notwendig, um die Verfügbarkeit der RC-Materialien sicherzustellen
Akteur	Nutzer
Aufgaben/ Stellung des Akteurs im Bauprojekt	Nutzung des Bauwerkes Beeinflussung der Planung durch Nachfrage in Bezug auf Flächengröße, Ausstattung, Qualität, Kosten. Mobbing der übrigen Nutzer Mobilisierung anderer Nutzer Einbeziehung der Medien möglich
Ziele des Akteurs	Flexible Nutzungsmöglichkeiten Kostengünstige Nutzung Guter Service und Qualität Erfüllung eigener Bedürfnisse Hoher Ausstattungsgrad Image und Prestige Bedürfnisbefriedigung
Vorteile des Ressourcenschutzes für den Akteur	Modernes Image In der Industrie: Mitarbeiterzufriedenheit
Herausforderung für ressourcenschonendes Bauen	Starke Preisorientierung

Tabelle D-3: Interaktionen der relevanten Akteure (Konflikte in rot)
 Eigene Darstellung (vgl. Scheiner, 2003; Busse, 2012;
 Huber und Weissenböck, 2013; Stark, 2006; Pfarr, 1984)

an - von	Bauausführende Unternehmen
Bauherr	Beratung über Materialien, Prozesse/Methoden Erbringen baurelevanter Leistungen ✎ Erbrachte Leistungen ✎ Preissetzung
Planer	Beratung über Materialien, Prozesse/ Methoden Erbringen baurelevanter Leistungen ✎ Erbrachte Leistungen ✎ Preissetzung
Bauausführende Unternehmen	Erbringen von Vorleistungen ((Ver)kauf von Inputgütern) Verkauf von baurelevanten Leistungen Bauliche Realisierung der Vorgaben Wettbewerb Kooperationen
an - von	Abbruch-/ Entsorgungs-/Recycling-Unternehmen
Bauherr	Beratung/ Empfehlungen der Herangehensweisen Erbringen von Abbruchs- und Entsorgungsleistungen ✎ Preissetzung ✎ Tatsächlicher Aufwand/ benötigte Zeit
Planer	Beratung/ Empfehlungen der Herangehensweisen Erbringen von Abbruchs- und Entsorgungsleistungen
Bauausführende Unternehmen	Abbruch-/ Entsorgungs-./ Recycling-Unternehmen
an - von	Öffentliche Hand
Bauherr	Vorschriften und Vorgaben (Sicherheit und Nutzen für Gemeinwohl) Finanzielle Anreize Kontrolle Anerkennung und Unterstützung Schaffen attraktiver Baubedingungen ✎ Steuerforderungen ✎ Interesse der Stadt und Gemeinde an ✎ Nutzung und Gestaltung der Bauten ✎ Vorgaben, Richtlinien
Planer	Auftraggeberstatus möglich Beauftragung als fachlicher Berater oder Kontrolleur ✎ Vorgaben, Richtlinien
Bauausführende Unternehmen	Einflussnahme auf Arbeitsdurchführung ✎ Vorschriften und Normen

D Ergebnisse der Umfragen 1 und 2 (aggregiert)

an – von	Baumaterialhersteller
Bauherr	Keine direkte Interaktion Richtet sich nach der vorherrschenden Nachfrage
Planer	Keine direkte Interaktion Richtet sich nach der vorherrschenden Nachfrage
Bauausführende Unternehmen	Lieferung der Baumaterialien nach Vorgabe Marketingaktivitäten ✍ gelieferte Qualität und Bepreisung

PRODUKTION UND ENERGIE

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



ISSN 2194-2404

- Band 1** **National Integrated Assessment Modelling zur Bewertung umweltpolitischer Instrumente.**
Entwicklung des otello-Modellsystems und dessen Anwendung auf die Bundesrepublik Deutschland. 2012
ISBN 978-3-86644-853-7
- Band 2** **Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Eisen-, Stahl- und Zinkindustrie (ERESTRE).** 2013
ISBN 978-3-86644-857-5
- Band 3** **Frederik Trippe**
Techno-ökonomische Bewertung alternativer Verfahrenskonfigurationen zur Herstellung von Biomass-to-Liquid (BtL) Kraftstoffen und Chemikalien. 2013
ISBN 978-3-7315-0031-5
- Band 4** **Dogan Keles**
Uncertainties in energy markets and their consideration in energy storage evaluation. 2013
ISBN 978-3-7315-0046-9
- Band 5** **Heidi Ursula Heinrichs**
Analyse der langfristigen Auswirkungen von Elektromobilität auf das deutsche Energiesystem im europäischen Energieverbund. 2013
ISBN 978-3-7315-0131-2

- Band 6** Julian Stengel
**Akteursbasierte Simulation der energetischen
Modernisierung des Wohngebäudebestands
in Deutschland.** 2014
ISBN 978-3-7315-0236-4
- Band 7** Sonja Babrowski
**Bedarf und Verteilung elektrischer Tagesspeicher im
zukünftigen deutschen Energiesystem.** 2015
ISBN 978-3-7315-0306-4
- Band 8** Marius Wunder
**Integration neuer Technologien der
Bitumenkalthandhabung in die Versorgungskette.** 2015
ISBN 978-3-7315-0319-4
- Band 9** Felix Teufel
**Speicherbedarf und dessen Auswirkungen auf
die Energiewirtschaft bei Umsetzung der politischen
Ziele zur Energiewende.** 2015
ISBN 978-3-7315-0341-5
- Band 10** D. Keles, L. Renz, A. Bublitz, F. Zimmermann, M. Genoese,
W. Fichtner, H. Höfling, F. Sensfuß, J. Winkler
**Zukunftsfähige Designoptionen für den deutschen
Strommarkt: Ein Vergleich des Energy-only-Marktes
mit Kapazitätsmärkten.** 2016
ISBN 978-3-7315-0453-5
- Band 11** Patrick Breun
**Ein Ansatz zur Bewertung klimapolitischer Instrumente
am Beispiel der Metallerzeugung und -verarbeitung.** 2016
ISBN 978-3-7315-0494-8
- Band 12** P. Ringler, H. Schermeyer, M. Ruppert, M. Hayn,
V. Bertsch, D. Keles, W. Fichtner
**Decentralized Energy Systems,
Market Integration, Optimization.** 2016
ISBN 978-3-7315-0505-1

- Band 13** Marian Hayn
Modellgestützte Analyse neuer Stromtarife für Haushalte unter Berücksichtigung bedarfsorientierter Versorgungssicherheitsniveaus. 2016
ISBN 978-3-7315-0499-3
- Band 14** Frank Schätter
Decision support system for a reactive management of disaster-caused supply chain disturbances. 2016
ISBN 978-3-7315-0530-3
- Band 15** Robert Kunze
Techno-ökonomische Planung energetischer Wohngebäudemodernisierungen: Ein gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsmodell auf Basis einer vollständigen Finanzplanung. 2016
ISBN 978-3-7315-0531-0
- Band 16** A. Kühlen, J. Stengel, R. Volk, F. Schultmann, M. Reinhardt, H. Schlick, S. Haghsheno, A. Mettke, S. Asmus, S. Schmidt, J. Harzheim
ISA: Immissionsschutz beim Abbruch - Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen) beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien aus Gebäudeabbruch. 2018
ISBN 978-3-7315-0534-1
- Band 17** Konrad Zimmer
Entscheidungsunterstützung zur Auswahl und Steuerung von Lieferanten und Lieferketten unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten. 2016
ISBN 978-3-7315-0537-2
- Band 18** Kira Schumacher, Wolf Fichtner and Frank Schultmann (Eds.)
Innovations for sustainable biomass utilisation in the Upper Rhine Region. 2017
ISBN 978-3-7315-0423-8

- Band 19** Sophia Radloff
Modellgestützte Bewertung der Nutzung von Biokohle als Bodenzusatz in der Landwirtschaft. 2017
ISBN 978-3-7315-0559-4
- Band 20** Rebekka Volk
Proactive-reactive, robust scheduling and capacity planning of deconstruction projects under uncertainty. 2017
ISBN 978-3-7315-0592-1
- Band 21** Erik Merkel
Analyse und Bewertung des Elektrizitätssystems und des Wärmesystems der Wohngebäude in Deutschland. 2017
ISBN 978-3-7315-0636-2
- Band 22** Rebekka Volk (Hrsg.)
Entwicklung eines mobilen Systems zur Erfassung und Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen beim Rückbau von Infrastruktur und Produkten („ResourceApp“): Schlussbericht des Forschungsvorhabens. 2017
ISBN 978-3-7315-0653-9
- Band 23** Thomas Kaschub
Batteriespeicher in Haushalten unter Berücksichtigung von Photovoltaik, Elektrofahrzeugen und Nachfragesteuerung. 2017
ISBN 978-3-7315-0688-1
- Band 24** Felix Hübner, Rebekka Volk, Oktay Secer, Daniel Kühn, Peter Sahre, Reinhard Knappik, Frank Schultmann, Sascha Gentes, Petra von Both
Modellentwicklung eines ganzheitlichen Projektmanagementsystems für kerntechnische Rückbauprojekte (MogaMaR): Schlussbericht des Forschungsvorhabens. 2018
ISBN 978-3-7315-0762-8

- Band 25** Karoline Fath
Technical and economic potential for photovoltaic systems on buildings. 2018
ISBN 978-3-7315-0787-1
- Band 26** Ann-Kathrin Müller
Decision Support for Biomass Value Chains for the Production of Biochemicals Considering Uncertainties. 2018
ISBN 978-3-7315-0820-5
- Band 27** Jonatan J. Gómez Vilchez
The Impact of Electric Cars on Oil Demand and Greenhouse Gas Emissions in Key Markets. 2019
ISBN 978-3-7315-0914-1
- Band 28** Carmen Schiel
Real Option Based Appraisal of Environmental Investments – An Assessment of NO_x Emission Control Techniques in Large Combustion Plants. 2019
ISBN 978-3-7315-0925-7
- Band 29** Hannes Schwarz
Optimierung der Investitions- und Einsatzplanung dezentraler Energiesysteme unter Unsicherheit. 2019
ISBN 978-3-7315-0919-6
- Band 30** Kai Mainzer
Analyse und Optimierung urbaner Energiesysteme – Entwicklung und Anwendung eines übertragbaren Modellierungswerkzeugs zur nachhaltigen Systemgestaltung. 2019
ISBN 978-3-7315-0882-3

- Band 31** Rupert Hartel, Viktor Slednev, Hasan Ümitcan Yilmaz, Armin Ardone, Dogan Keles, Wolf Fichtner, Anke Eßer, Marian Klobasa, Matthias Kühnbach, Pia Manz, Joachim Globisch, Rainer Elsland, Martin Wietschel (Hrsg.)
Dekarbonisierung des Energiesystems durch verstärkten Einsatz erneuerbaren Stroms im Wärme-, Verkehrs- und Industriesektor bei gleichzeitigen Stilllegungen von Kraftwerken – Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit in Süddeutschland. 2019
ISBN 978-3-7315-0879-3
- Band 32** Rebekka Volk, Richard Müller, Frank Schultmann, Jérémy Rimbon, Thomas Lützkendorf, Joachim Reinhardt, Florian Knappe
Stofffluss- und Akteursmodell als Grundlage für ein aktives Ressourcenmanagement im Bauwesen von Baden-Württemberg „StAR-Bau“ – Schlussbericht des Forschungsvorhabens. 2019
ISBN 978-3-7315-0858-8



Der vorliegende Schlussbericht des Forschungsprojektes „StAR-Bau“ wurde im Rahmen des Programms Nachhaltiges Bauen (NaBau) der Baden-Württemberg Stiftung erstellt. Das Projekt untersucht aktuelle und zukünftige Stoffströme im Bauwesen von Baden-Württemberg. Dafür wurde ein geeignetes regionales Stoffstrommodell für Gebäude und Straßeninfrastruktur entwickelt. Parallel dazu wurde eine Akteursmodellierung durchgeführt, die die relevanten Akteure im Bauwesen befragte, deren Beziehungen untereinander analysierte und sie modellierte. Beide Teilmodelle wurden dann zusammengeführt und Szenarien zur zukünftigen Entwicklung in Baden-Württemberg wurden entworfen und berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass die drei Maßnahmen Besteuerung von Primärrohstoffen, Erhöhung von Deponiegebühren und Anpassung von Lehr-/Ausbildungsinhalten zur Förderung des Umweltbewusstseins für den Ressourcenschutz in Baden-Württemberg am vielversprechendsten sind. Gekoppelt eingesetzt ergeben sie in den Modellberechnungen ein mittleres Ressourcenschonungspotenzial von 30,8 % für Baden-Württemberg bis 2030. Dies entspricht einer Verringerung der kumulierten Stoffstrombilanzen im gleichen Zeitraum von 119 auf 82 Mio. t. Adressaten und Nutzer des entwickelten Modells sind Entscheidungsträger auf Bundes- und Landesebene sowie auf kommunaler Ebene.

ISSN 2194-2404
ISBN 978-3-7315-0858-8

