

TEXTE

05/2021

Prüfung möglicher Ansätze zur Stärkung des Recyclings, zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recyclebarer Materialien und zur verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten im Bereich der Bauprodukte

Abschlussbericht

TEXTE 05/2021

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3718 34 327 0

FB000429

Prüfung möglicher Ansätze zur Stärkung des Recyclings, zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien und zur verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten im Bereich der Bauprodukte

Abschlussbericht

von

Alexander Potrykus, Ferdinand Zotz, Joachim Felix Aigner, Jakob Weißenbacher,
Maria Burgstaller, Veronika Abraham, Luca Merzoug
Ramboll Deutschland GmbH, München

Dr. Volker Thome, Dr. Sebastian Dittrich, Norbert Leiss
Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Valley

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Ramboll Deutschland GmbH
Werinherstraße 79
81541 München

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Standort Holzkirchen
Fraunhoferstraße 10
83626 Valley

Abschlussdatum:

Oktober 2020

Redaktion:

Fachgebiet III 1.2 Rechtsangelegenheiten, Vollzug ElektroG und BattG
Isabel Wagner

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Januar 2021

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

Kurzbeschreibung: Prüfung möglicher Ansätze zur Stärkung des Recyclings, zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien und zur verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten im Bereich der Bauprodukte

In diesem Bericht werden die Möglichkeiten branchenindividueller bzw. produktspezifischer Anreize zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien im Bereich der Bauprodukte systematisch erschlossen. Außerdem werden Verursachungsbeiträge für eine mögliche verursachergerechte Zuordnung der Entsorgungskosten erörtert.

Zunächst werden die Gesamtumstände der Abfallbewirtschaftung und die Rahmenbedingungen für ein Recycling von Bauprodukten in Deutschland erörtert. Hierbei wird ein umfassender Überblick des rechtlichen Rahmens gegeben, grundlegende Beteiligte und ihre Beiträge werden vorgestellt und die derzeitige Entsorgungssituation in Deutschland wird dargestellt. Weiterhin erfolgt eine ausführliche Beschreibung des selektiven Rückbaus sowie dessen Herausforderungen. Nachfolgend werden Faktoren zur Beurteilung der grundsätzlichen Eignung für die Stärkung des Recyclings und der Verwendung von rezyklierten Materialien im Bereich von Bauprodukten vorgestellt. Diese Faktoren sind die Grundlage für die Erörterung der ausgewählten Produkt- und Materialbeispiele: PVC-Fensterprofile, Flachglas aus Fenstern und Porenbeton. Für jedes dieser Produkt- oder Materialbeispiele folgt eine systematische und produktspezifische Erörterung von Hemm- und Förderfaktoren zur Stärkung des Recyclings und der Verwendung von rezyklierten Materialien. Außerdem sind die wirtschaftliche Zumutbarkeit sowie ökologische und soziale Ziele essenzielle Grundbedingungen zur Stärkung des Recyclings und der Verwendung von rezyklierten Materialien. Anhand dieser Vorgehensweise werden produktspezifische Modelle für die drei ausgewählten Produkte oder Materialien entwickelt und diskutiert. Bei den Modellen handelt es sich nicht um konkrete Regulierungsvorschläge oder abschließend bewertete Maßnahmen. Vielmehr beinhalten die Modelle Ansätze, Ideen und Impulse, welche politisch weiterverfolgt werden können. Für die anschließende Ableitung und Priorisierung von Lösungsvorschlägen sowie als Grundlage für politische Entscheidungsprozesse wird die jeweilige Machbarkeit dieser Maßnahmen rechtlich, organisatorisch, technisch, sozio-ökonomisch und ökologisch anhand der ausgewählten Beispiele bewertet.

Abstract: Evaluation of possible approaches to strengthen recycling, to create incentives for the use of recyclable materials, and to allocate disposal costs according to the costs-by-cause principle with regard to construction products

This report systematically explores the possibilities of sector-specific or product-specific incentives to strengthen recycling and to create incentives for the use of recyclable materials in the construction products sector. In addition, possible allocation of disposal costs in line with the costs-by-cause principle is discussed.

First, the overall circumstances of waste management and the framework conditions for the recycling of construction products in Germany are discussed. A comprehensive overview of the legal framework is given, fundamental actors and their contributions are presented, and the current disposal situation in Germany is described. Furthermore, a detailed description of selective dismantling and its challenges is given. Factors for the evaluation of the suitability for recycling and the use of recycled materials in the field of construction products are presented. These factors are the basis for the discussion of the selected product and material examples, including: PVC window profiles, flat window glass, and aerated concrete. For each of these product or material examples, a systematic and product-specific discussion of inhibiting and promoting factors to strengthen recycling and the use of recycled materials follows. Economic

reasonableness as well as ecological and social objectives are essential basic conditions for strengthening the recycling and use of recycled materials. Based on this approach, product-specific models for the three selected products or materials are developed and discussed. The models are not concrete regulatory proposals or finally evaluated measures, rather, the models contain approaches, ideas and incentives which can be pursued on a political basis. For the subsequent development and prioritisation of proposed solutions, and as a basis for political decision-making processes, the respective feasibility of these measures will be assessed from a legal, organisational, technical, socio-economic and ecological perspective.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	11
Tabellenverzeichnis.....	12
Abkürzungsverzeichnis.....	16
Zusammenfassung.....	19
Summary.....	31
1 Hintergrund und Zielsetzung.....	43
2 Rechtlicher Rahmen.....	45
2.1 Grundlagen im Bereich Abfallrecht.....	46
2.1.1 Relevanter Rechtsrahmen bei der Entsorgung von Bauabfällen.....	46
2.1.2 Schlüsseldefinitionen und Abfallhierarchie.....	46
2.1.3 Pflichten der GewAbfV zur Getrennthaltung von Bauabfällen.....	48
2.1.4 Einstufung von Abfällen und daraus resultierende Pflichten.....	49
2.1.5 Ende der Abfalleigenschaft.....	53
2.1.6 Abfallrechtliche Produktverantwortung.....	54
2.2 Produktrecht.....	55
2.2.1 EU-Bauproduktenverordnung.....	55
2.2.2 Nationales Bauordnungsrecht in Deutschland.....	56
2.3 Chemikalienrecht.....	58
2.3.1 Allgemeines Chemikalienrecht.....	58
2.3.2 Besonderes Chemikalienrecht.....	59
2.4 Zusammenfassung rechtlicher Rahmen.....	59
3 Beteiligte und ihre Beiträge.....	61
3.1 Bezugssystem für Analyse der Beteiligten und deren Beiträge.....	61
3.2 Grundlegende Beiträge zum Recycling.....	63
3.3 Zusammenfassung der Beiträge und Zusammenhänge beim Rückbau eines Gebäudes.....	66
4 Derzeitige Entsorgungspraxis Bau- und Abbruchabfälle.....	68
4.1 Abgrenzung und Definition.....	68
4.2 Abfallaufkommen und Entsorgungswege.....	70
4.2.1 Boden und Steine.....	71
4.2.2 Bauschutt.....	74
4.2.3 Straßenaufbruch.....	76
4.2.4 Bauabfälle auf Gipsbasis.....	77

4.2.5	Baustellenabfälle	79
4.3	Beispiele für freiwillige Initiativen und Rücknahmesysteme im Baubereich.....	83
4.4	Selektiver Rückbau.....	93
4.4.1	Definition und Abgrenzung von Begriffen	93
4.4.2	Vorgehensweise selektiver Rückbau	94
4.4.3	Schadstoffbelastung in Gebäuden und Folgen.....	96
4.4.4	Herausforderungen des selektiven Rückbaus.....	102
5	Produktspezifische Erörterungen der gegenwärtigen Entsorgungspraxis.....	106
5.1	PVC-Fensterprofile	107
5.1.1	Derzeitige Entsorgungspraxis.....	107
5.1.1.1	Rechtliche/Institutionelle Faktoren.....	109
5.1.1.2	Sozio-ökonomische Faktoren.....	112
5.1.1.3	Informatorische und organisatorische Faktoren	113
5.1.1.4	Technische Faktoren.....	114
5.1.1.5	Ökologische Faktoren	115
5.2.1	Derzeitige Entsorgungspraxis.....	119
5.2.1.1	Rechtliche/institutionelle Kriterien	124
5.2.1.2	Sozio-ökonomische Kriterien	125
5.2.1.3	Informatorische und Organisatorische Kriterien.....	125
5.2.1.4	Technische Kriterien	126
5.2.1.5	Ökologische Kriterien.....	126
5.3	Porenbeton	127
5.3.1	Derzeitige Entsorgungspraxis.....	127
5.3.1.1	Rechtliche/institutionelle Kriterien	129
5.3.1.2	Sozio-ökonomische Kriterien	131
5.3.1.3	Informatorische und Organisatorische Kriterien.....	131
5.3.1.4	Technische Kriterien	132
5.3.1.5	Ökologische Kriterien.....	132
6	Produktspezifische Modellentwicklung	133
6.1	Vorgehensweise zur Modellentwicklung.....	133
6.2	Vorgehensweise zur Bewertung von Maßnahmen.....	137
6.3	PVC-Fensterprofile	139
6.3.1	Definition der Ziele	139

6.3.2	Identifikation produktspezifischer Hemm- und Förderfaktoren	139
6.3.3	Produktspezifische Modellentwicklung	141
6.3.3.1	Identifikation von potenziellen Maßnahmen und Instrumenten.....	141
6.3.3.2	Modellentwicklung und Diskussion	145
6.3.4	Produktspezifisches Recyclingmodell und Bewertung der Maßnahmen	151
6.3.4.1	Bewertung der Maßnahmen	152
6.4	Flachglas aus Fenstern	162
6.4.1	Definition der Ziele	162
6.4.2	Identifikation produktspezifischer Hemm- und Förderfaktoren	162
6.4.3	Produktspezifische Modellentwicklung.....	164
6.4.3.1	Identifikation von potenziellen Maßnahmen und Instrumenten.....	164
6.4.3.2	Modellentwicklung und Diskussion	168
6.4.4	Produktspezifisches Recyclingmodell und Bewertung der Maßnahmen	173
6.4.4.1	Bewertung der Maßnahmen	175
6.5	Porenbeton	183
6.5.1	Definition der Ziele	183
6.5.2	Identifikation produktspezifischer Hemm- und Förderfaktoren	183
6.5.3	Produktspezifische Modellentwicklung.....	184
6.5.3.1	Identifikation von potenziellen Maßnahmen und Instrumenten.....	184
6.5.3.2	Modellentwicklung und Diskussion	187
6.5.4	Produktspezifisches Recyclingmodell und Bewertung der Maßnahmen	192
6.5.4.1	Bewertung der Maßnahmen	194
7	Kategorisierung, Priorisierung und Umsetzung von Lösungsvorschlägen	205
7.1	Ziel und Vorgehen	205
7.2	Lösungsvorschläge zur Stärkung des Recyclings und zur stärkeren Verwendung von Rezyklaten im Bausektor.....	206
7.3	Priorisierung von Lösungsvorschlägen.....	212
7.4	Umsetzung von Lösungsvorschlägen	213
7.4.2	Merkmale des Baubereichs im Kontext der verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten.....	215
8	Schlussfolgerungen und Ausblick	218
A	Begriffsglossar	231
B	Übersicht von Definitionen und Beschreibungen des hochwertigen Recyclings im Baubereich	235
C	Übersicht produktbezogener Maßnahmen und Instrumente.....	236

D Überblick über einschlägige Regelwerke zum Recycling..... 238

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Priorisierung von Lösungsvorschlägen (ohne Einordnung der finanziellen Anreize).....	29
Figure 2:	Prioritization and implementation of proposed solutions (without classification of financial incentives).....	41
Abbildung 3:	Vereinfachte Darstellung des Lebenszyklus von Bauprodukten und relevanten Rechtsbereichen	45
Abbildung 4:	Fünfstufige Abfallhierarchie nach KrWG	48
Abbildung 5:	Bezugssystem für Beteiligte und ihre übergeordneten Beiträge anhand der zeitversetzten Lebenszyklen eines Bauwerks und Bauprodukts.....	62
Abbildung 6:	Rahmenkonzept zur beispielhaften Darstellung der Zusammenhänge beim Rückbau eines Gebäudes.....	67
Abbildung 7:	Mineralische Bauabfälle im Jahr 2016 in % und Mio. t	71
Abbildung 8:	Entsorgungswege der Kategorie Boden und Steine im Jahr 2016	73
Abbildung 9:	Entsorgungswege der Kategorie Bauschutt im Jahr 2016.....	75
Abbildung 10:	Entsorgungswege der Kategorie Straßenaufbruch im Jahr 2016.....	77
Abbildung 11:	Entsorgungswege der Kategorie Bauabfälle auf Gipsbasis im Jahr 2016.....	78
Abbildung 12:	Entsorgungswege der Kategorie Baustellenabfälle im Jahr 2016	82
Abbildung 13:	Vereinfachte Darstellung eines selektiven Rückbaus.....	95
Abbildung 14:	Materialflussanalyse von PVC in Deutschland im Jahr 2017 (in t)	108
Abbildung 15:	Materialflussanalyse von PVC-Abfall aus Fensterprofilen in Deutschland im Jahr 2018 (in t)	109
Abbildung 16:	Übersicht Glasproduktion im Jahr 2018 und die Anteile der einzelnen Glasbranchen.....	118
Abbildung 17:	Übersicht Altglasaufbereitungsanlagen und Glashütten in Deutschland (Behälterglashütten = rote Quadrate; Aufbereitungsanlagen für Behälterglas = blaue Rauten)	121
Abbildung 18:	Abwärtsspirale im Glasrecycling.....	122
Abbildung 19:	Aufbereitungsroutine für die Aufbereitung von Bauschutt zur Abtrennung von Porenbeton.....	128
Abbildung 20:	Vorgehensweise zur Entwicklung der Modelle	133
Abbildung 21:	Schematische Vorgehensweise bei der produktspezifische Modellentwicklung	134
Abbildung 22:	Rahmenkonzept für die Modellentwicklung	137
Abbildung 23:	Entwicklung der Produktionsmenge von PVC-Fenstern in Millionen Einheiten in Deutschland (Zahlen bis 1990 für die BRD) (1 Einheit = 1,69 m ²).....	141
Abbildung 24:	Allgemeiner Recyclingcode (links) und privatwirtschaftliches Nachhaltigkeitszeichen für PVC-Produkte (rechts)	150
Abbildung 25:	Modell zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung rezyklierter PVC-Fensterprofile.....	151

Abbildung 26:	Konzeptionelles Modell zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung von Flachglasscherben (Darstellung von ausgewählten Maßnahmen und Instrumenten, die zusätzlich zur etablierten Praxis in Betracht gezogen werden könnten).....	174
Abbildung 27:	Konzeptionelles Modell zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung von Porenbetonabbruch (Darstellung von ausgewählten Maßnahmen und Instrumenten, die zusätzlich zur etablierten Praxis in Betracht gezogen werden könnten)	193
Abbildung 28:	Priorisierung von Lösungsvorschlägen (ohne Einordnung der finanziellen Anreize).....	212

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis identifizierte Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von PVC-Altfensterprofilen und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren sowie rezyklierten PVC-Fensterprofilen	21
Tabelle 2:	Zusammenfassung der Beurteilung der Machbarkeit von priorisierten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer PVC-Fensterprofile.....	23
Tabelle 3:	Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis identifizierte Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von Flachgläsern aus Fenstern und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren Flachgläser.....	24
Tabelle 4:	Zusammenfassung der Beurteilung der Machbarkeit von priorisierten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Flachgläser	26
Tabelle 5:	Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis identifizierte Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von Porenbetonabbruch und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren Porenbetonprodukten	26
Tabelle 6:	Zusammenfassung der Beurteilung der Machbarkeit von priorisierten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbaren Porenbetons.....	28
Table 7:	Inhibiting and promoting factors for strengthening the recycling of PVC window profiles and the use of secondary raw materials in the production of new, recyclable and recycled PVC window profiles.....	33
Table 8:	Summary of the assessment of the feasibility of prioritized individual measures to strengthen recycling and to create incentives for the use of recyclable PVC window profiles	35

Table 9:	Inhibiting and promoting factors for strengthening the recycling of flat glass from windows and the use of secondary raw materials in the production of new flat glass or container glass.....	36
Table 10:	Summary of the assessment of the feasibility of prioritized individual measures to strengthen recycling and to create incentives for the use of recyclable flat glass	37
Table 11:	Inhibiting and promoting factors for strengthening the recycling of demolished aerated concrete and the use of secondary raw materials in the manufacture of new, again recyclable aerated concrete products	38
Table 12:	Summary of the assessment of the feasibility of prioritized individual measures to strengthen recycling and to create incentives for the use of recyclable cellular concrete.....	39
Tabelle 13:	Abfallschlüssel Kapitel Bauabfälle (AVV)	49
Tabelle 14:	Einteilung von Abfällen in der Baupraxis und Zuordnung zu Abfallarten nach AVV (BBS 2018, S. 5).....	68
Tabelle 15:	Abfälle der VDI-Kategorisierung Boden und Steine	71
Tabelle 16:	Abfälle der VDI-Kategorisierung Bauschutt.....	74
Tabelle 17:	Abfall der VDI-Kategorisierung Straßenaufbruch.....	76
Tabelle 18:	Beschreibung ausgewählter Abfallfraktionen der Kategorie Gipsabfälle	77
Tabelle 19:	Beschreibung ausgewählter Abfallfraktionen der Kategorie Baustellenabfälle.....	79
Tabelle 20:	Auswahl von Initiativen und Rücknahmesystemen im Baubereich	84
Tabelle 21:	Überblick Schadstoffgruppen in Gebäuden	98
Tabelle 22:	Einfluss der Bauweise auf den selektiven Rückbau.....	102
Tabelle 23:	Faktoren zur Beurteilung der grundsätzlichen Eignung für die Stärkung des Recyclings und der Verwendung von rezyklierten Materialien im Bereich von Bauprodukten.....	106
Tabelle 24:	Einsatzgebiete und Zusammensetzung wichtiger Glasarten (in %)	122
Tabelle 25:	Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis identifizierte Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von PVC-Altfensterprofilen und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren sowie rezyklierten PVC-Fensterprofilen	139
Tabelle 26:	Maßnahmen zum Abbau von Hemmfaktoren für das Recycling von PVC-Altfensterprofilen und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen und recycelbaren PVC-Fensterprofilen.....	143
Tabelle 27:	Zusammenfassung der Beurteilung der rechtlichen Machbarkeit von ausgewählten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer PVC-Fensterprofile.....	153
Tabelle 28:	Beurteilung der organisatorischen Machbarkeit von Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Förderung rezyklierter PVC-Fensterprofile.....	155
Tabelle 29:	Beurteilung der technischen Machbarkeit von ausgewählten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Förderung des Einsatzes rezyklierter PVC-Fensterprofile	157

Tabelle 30:	Beurteilung der ökologischen Machbarkeit von Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Förderung des Einsatzes rezyklierter PVC-Fensterprofile	159
Tabelle 31:	Beurteilung der sozio-ökonomischen Machbarkeit von Einzelmaßnahmen zur Förderung des Recyclings und des Einsatzes rezyklierter PVC-Fensterprofile	161
Tabelle 32:	Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis identifizierte Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von Flachgläsern aus Fenstern und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren Flachgläsern	162
Tabelle 33:	Maßnahmen zum Abbau von Hemmfaktoren für das Recycling von Flachglas aus Fenstern und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen und recycelbaren Flachgläsern für Fenster	165
Tabelle 34:	Beurteilung der rechtlichen Machbarkeit von Maßnahmen zur Förderung des Recyclings und zur Verwendung recycelbarer Flachgläser	176
Tabelle 35:	Beurteilung der organisatorischen Machbarkeit von Maßnahmen zur Förderung des Recyclings und zur Verwendung recycelbarer Flachgläser	178
Tabelle 36:	Beurteilung der technischen Machbarkeit von Maßnahmen zur Förderung des Recyclings und zur Verwendung recycelbarer Flachgläser	179
Tabelle 37:	Beurteilung der ökologischen Machbarkeit von Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Verwendung recycelbarer Flachgläser	180
Tabelle 38:	Beurteilung der ökonomischen Machbarkeit von Maßnahmen zur Förderung des Recyclings und zur Verwendung recycelbarer Flachgläser	182
Tabelle 39:	Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis identifizierte Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von Porenbetonabbruch und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren Porenbetonprodukten	183
Tabelle 40:	Maßnahmen zum Abbau von Hemmfaktoren für das Recycling von Porenbetonabbruch und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen und recycelbaren Porenbetonprodukten	185
Tabelle 41:	Beurteilung der rechtlichen Machbarkeit von Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings von Porenbeton	195
Tabelle 42:	Beurteilung der organisatorischen Machbarkeit von Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings von Porenbeton	197
Tabelle 43:	Zusammenfassung der Beurteilung der technischen Machbarkeit von ausgewählten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbaren Porenbetonabbruchs	199
Tabelle 44:	Beurteilung der ökologischen Machbarkeit von Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings von Porenbeton	201
Tabelle 45:	Beurteilung der sozio-ökonomischer Machbarkeit von Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings von Porenbeton	204
Tabelle 46:	Lösungsvorschläge und entsprechende Maßnahmen laut EU-Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft	211

Tabelle 47:	Zuordnung der priorisierten Einzelmaßnahmen zu Aspekten der Produktverantwortung nach § 23 KrWG	213
Tabelle 48:	Definitionen zu allgemein gültigen Begriffen sowie Begriffe im Kontext dieses Vorhabens.....	231
Tabelle 49:	Definitionen des hochwertigen Recyclings im Baubereich	235
Tabelle 50:	Übersichtssammlung von möglichen produktbezogenen Maßnahmen und Instrumenten zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien.....	236
Tabelle 51:	Überblick über Regelwerke zum Recycling von PVC-Fensterprofilen	238
Tabelle 52:	Überblick über Regelwerke zum Recycling von Altglas.....	239
Tabelle 53:	Überblick über Regelwerke zum Recycling von Porenbeton	240

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
AP	Arbeitspaket
Art.	Artikel
ASI-Arbeiten	Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten
BG	Baggergut
BIM	Bauwerksinformationsmodelle
BM	Bodenmaterial
Cd	Cadmium
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.
DIN	Deutsches Institut für Normung
EPD	Umweltproduktdeklaration (von engl. Environmental Product Declaration)
ECHA	Europäische Chemikalienagentur (von engl. European Chemicals Agency)
ETFE	Ethylen-Tetrafluorethylen
EU	Europäische Union
FCKW	Fluorkohlenwasserstoffe
HBCD	Hexabromcyclododecan
IBU	Institut Bauen und Umwelt e. V.
Kap.	Kapitel
KSP	Keramik, Steine, Porzellan
KMF	Künstliche Mineralfasern
LAGA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
OLED	Organische Leuchtdiode (von engl. organic light emitting diode)
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCP	Pentachlorphenol
PCT	Polychlorierte Terphenyle
POP	Persistente organische Schadstoffe (von engl. persistent organic pollutants)
PVB	Polyvinylbutyral
PVC	Polyvinylchlorid
PVC-U	Hart-Polyvinylchlorid (u = von engl. unplasticised)
RC-Baustoff	Recyclingbaustoff
SEAC	Sozio-Ökonomische Analyse (von engl. Socio-Economic Analysis)
SF6	Schwefelhexafluorid
SVHC	Besonders besorgniserregende Stoffe (von engl. substances of very high concern)

WDVS	Wärmedämmverbundsystem
w/w	Gewichtsprozent (von engl. weight by weight)
Z-Werte	Zuordnungswerte
Abkürzungen rechtliche Regelungen:	
AltholzV	Altholzverordnung
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
BauGB	Baugesetzbuch
ChemOzonSchichtV	Chemikalien-Ozonschichtverordnung
DepV	Verordnung über Deponien und Langzeitlager
EG-AbfRRL	Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien
EG-CLP-Verordnung	Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006
EG-REACH-Verordnung	Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission
EU-Bauproduktenverordnung	Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates
EU-POP-Verordnung	Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe
ErsatzbaustoffV	Ersatzbaustoffverordnung
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung
LBO	Landesbauordnung
LKrWG RfP	Landeskreislaufwirtschaftsgesetz Rheinland-Pfalz
MantelV	Mantelverordnung
MBO	Musterbauordnung

MVV TB	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen
NachwV	Nachweisverordnung
PCBAbfallV	PCB/PCT Abfallverordnung
POP-Abfall-ÜberwV	POP-Abfall-Überwachungs-Verordnung

Zusammenfassung

Unter Bau- und Abbruchabfällen (häufig auch nur als Bauabfälle bezeichnet) lassen sich alle Abfälle zusammenfassen, die bei der Errichtung, dem Umbau, der Renovierung oder der Beseitigung eines Bauwerks anfallen. Diese können sowohl gefährlich oder ungefährlich sein. Die Wichtigkeit und auch das Potential eines Recyclings von Baustoffen wird deutlich, wenn man berücksichtigt, dass in Deutschland jährlich rund 200 Mio. t mineralische Bauabfälle anfallen bzw. statistisch erfasst werden.

Trotz einer nominal hohen Verwertungsquote für Bau- und Abbruchabfälle werden Produktkreisläufe nur unzureichend geschlossen oder die stofflich-technischen Eigenschaften von Bauabfällen werden nicht vollumfänglich ausgeschöpft. Ob für eine hochwertige Verwertung von Bauabfällen nun möglichst enge Produktkreisläufe herbeigeführt werden sollen, die Ökobilanz durch das Recycling verbessert werden soll oder lediglich ein werkstoffliches Recycling dies gewährleisten kann, hängt nicht zuletzt vom jeweiligen Abfallstrom und den Produkteigenschaften ab. Eine individuelle und produktspezifische Betrachtung von Recyclingaktivitäten ist daher unabdingbar. Hierfür ist es notwendig, die aktuelle Entsorgungssituation im Baubereich abzubilden und beispielhaft zu analysieren. Dies wiederum ist die Grundvoraussetzung, um Ansätze zur Stärkung des Recyclings, zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien und zur verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten im Bereich der Bauprodukte zu entwickeln. In diesem Bericht werden die Möglichkeiten branchenindividueller bzw. produktspezifischer Anreize für die zuvor genannten Zielsetzungen im Bereich der Bauprodukte systematisch erschlossen.

Zunächst werden die Gesamtumstände der Abfallbewirtschaftung und die Rahmenbedingungen für ein Recycling von Bauprodukten in Deutschland erörtert. Hierbei wird ein umfassender Überblick des rechtlichen Rahmens gegeben, grundlegende Beteiligte und ihre Beiträge werden vorgestellt und die derzeitige Entsorgungssituation wird dargestellt. Weiterhin erfolgt eine ausführliche Beschreibung des selektiven Rückbaus sowie dessen Herausforderungen.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Betrachtung des rechtlichen Rahmens orientiert sich am Lebenszyklus von Bauprodukten: begonnen mit dem Abbruch und Rückbau, der Stufe als Abfall, dem Recycling, der Herstellung von Bauteilen und damit der Rückführung in den Kreislauf, der Vermarktung und der Nutzung. Folglich sind über den gesamten Lebenszyklus auch eine Vielzahl an Rechtsgebieten und einzelnen rechtlichen Regelungen zu berücksichtigen.

Sobald Produkte oder Stoffe die Stufe des Abfalls erreichen, spielt das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) eine wichtige Rolle. Dieses enthält unter anderem Regelungen bezüglich des Abfallbegriffs (§ 3 Abs. 1 KrWG), der Definition von Erzeuger und Besitzer (§ 3 Abs. 8 und 9 KrWG), der Abfallhierarchie (§ 6 KrWG) und dem Ende der Abfalleigenschaft (§ 5 KrWG). Weiter sind Vorgaben zur abfallrechtlichen Produktverantwortung enthalten. Für Bauprodukte gibt es jedoch noch keine spezifischen Vorgaben in diesem Bereich.

Weitere relevante Regelungen auf den Stufen Abbruch und Rückbau, Abfall und Recycling sind die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) mit der Getrennthaltungspflicht bestimmter Bauabfälle und die AVV zur Bezeichnung und Einstufung von Abfällen nach ihrer Gefährlichkeit. Je nach Einstufung der Abfälle ergeben sich bestimmte Konsequenzen für die Entsorgung der Abfälle. Gerade für gefährliche Abfälle, POP-haltige Abfälle und sonstige Schadstoffe ergibt sich die Notwendigkeit, das politische Ziel europäischer und nationaler Abfallpolitik, durch Recycling die Kreislaufwirtschaft zu fördern und folglich natürliche Ressourcen zu schonen im Kontext des

im Chemikalienrecht und im Abfallrecht verankerten Ziels zu betrachten, Mensch und Umwelt zu schützen, indem schädliche oder gefährliche Abfälle aus dem Kreislauf ausgeschleust werden.

Sobald der Abfall den Abfallstatus verlässt und wieder in den Kreislauf zurückgeführt wird, unterliegt er grundsätzlich als Produkt aus Sekundärrohstoffen den gleichen Bedingungen, Beschränkungen oder Verboten des Inverkehrbringens und der Verwendung wie auch Produkte aus Primärrohstoffen (sofern nicht spezielle Regelungen für rezyklierte Stoffe anzuwenden sind). So greift ab diesem Punkt das Chemikalienrecht mit der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH-Verordnung), der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (EG-CLP-Verordnung) sowie der Verordnung (EU) 2019/1021 über persistente organische Schadstoffe (EU-POP-Verordnung).

Anforderungen an die Herstellung, den Einsatz und den Ausbau mineralischer Ersatzbaustoffe werden in Zukunft in der Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (ErsatzbaustoffV) festgelegt (zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts ist die ErsatzbaustoffV als Entwurf vorhanden). Beim Inverkehrbringen von Bauprodukten ist die Verordnung (EU) Nr. 305/2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten (BauPVO) anzuwenden.

Unter nationalem Bauordnungsrecht sind die Musterbauordnung (MBO) sowie die darin enthaltenen Technischen Baubestimmungen zu berücksichtigen. Sie werden durch Umsetzung in die Landesbauordnungen der Bundesländer verbindlich.

Weiter existieren für einzelne Stoffe und Produkte spezifische Normen oder technische Regelungen.

Beteiligte und ihre Beiträge

Die Entwicklung und Verwendung möglichst recycelbarer Materialien sowie der Einsatz von rezyklierten Baustoffen setzen unterschiedliche und abgestimmte Beiträge aller direkt und indirekt beteiligten Akteurinnen und Akteure entlang des gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks und der verbauten Produkte voraus. Der Lebenszyklus eines Baustoffes oder Baumaterials kann analog zum Lebenszyklus eines Bauwerks gezeichnet werden. Dabei gilt es zu beachten, dass entscheidende Lebenszyklusphasen des Bauprodukts (z.B. Produktdesign) oftmals bereits durchlaufen sind, wenn der Lebenszyklus eines Bauwerks beginnt. Allerdings kann es bei bestimmten Produkten und Bauwerken auch zu parallelen oder sequenziellen Phasen im jeweiligen Lebenszyklus kommen. Diese Phasen sind dann idealerweise miteinander abgestimmt bzw. bedingen einander.

Produktspezifische Erörterungen der gegenwärtigen Entsorgungspraxis

Für die systematische Erörterung von derzeitigen Hemm- und Förderfaktoren wurden zunächst allgemeine Faktoren herangezogen. Diese wurden im Rahmen von projektbegleitenden Fachgesprächen und Begleitkreisen diskutiert. Dabei wurde darauf geachtet, die Besonderheiten im Bereich der Bauprodukte abzubilden. Die gewählten Faktoren schließen

- ▶ rechtlich/institutionelle (z.B. Auswirkungen bestehender Rechtspflichten im Bereich Abbruch und Rückbau);
- ▶ sozio-ökonomische (z.B. Entsorgungskosten);
- ▶ informatorische/organisatorische (z.B. Informationsgrundlagen);

- ▶ technische (z.B. Beschaffenheit von Produkten); und
- ▶ ökologische Aspekte (z.B. ökobilanzielle Effekte)

mit ein.

Diese Faktoren sind die Grundlage für die Erörterung der ausgewählten Produkt- und Materialbeispiele: **PVC-Fensterprofile, Flachglas aus Fenstern und Porenbeton**. Für jedes dieser Produkt- oder Materialbeispiele folgt eine systematische und produktspezifische Erörterung von Hemm- und Förderfaktoren zur Stärkung des Recyclings und der Verwendung von rezyklierten Materialien. Anhand dieser Vorgehensweise werden produktspezifische Modelle für die drei ausgewählten Produkte oder Materialien entwickelt und diskutiert. Bei den Modellen handelt es sich nicht um konkrete Regulierungsvorschläge oder abschließend bewertete Maßnahmen. Vielmehr beinhalten die Modelle Ansätze, Ideen und Impulse, welche politisch weiterverfolgt werden können. Für die anschließende Ableitung von Lösungsvorschlägen sowie als Grundlage für politische Entscheidungsprozesse wird die jeweilige Machbarkeit dieser Maßnahmen rechtlich, organisatorisch, technisch, sozio-ökonomisch und ökologisch anhand der ausgewählten Beispiele bewertet.

PVC-Fensterprofile

Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis wurden nachfolgende Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von PVC-Altfensterprofilen und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren sowie rezyklierten PVC-Fensterprofilen identifiziert:

Tabelle 1: Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis identifizierte Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von PVC-Altfensterprofilen und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren sowie rezyklierten PVC-Fensterprofilen

Hemmfaktoren	Förderfaktoren
Zum Teil ökonomisch nicht tragfähige flächendeckende Sammlung von lokal geringfügigen Abfallmengen (d.h. ein weiterer Ausbau der etablierten Sammelstrukturen ist nicht wirtschaftlich darstellbar unter den aktuellen Bedingungen);	Etabliertes privatwirtschaftliches (freiwilliges) und bundesweites Recyclingsystem der führenden profilherstellenden Unternehmen zur sortenspezifischen Sammlung (Hol- und Bringsystem) und Verwertung von PVC-Altfensterprofilen;
Schadstoffgehalte in PVC-Altfensterprofilen (u.a. Cadmium- und Bleiverbindungen als Stabilisatoren) und potenzielle Dissipation von Schadstoffen sowie Beschränkungen durch Grenzwertfestlegungen bei der Wiedereinbringung von belasteten Sekundärrohstoffen aus den entsprechenden Materialströmen;	Prinzipiell gute Möglichkeit der separaten Erfassung und Sammlung von PVC-Altfensterprofilen nach der Nutzungszeit, da es sich hierbei um Systemelemente handelt, welche i.d.R. eine unterschiedliche Nutzungszeit als Gebäude aufweisen und somit oftmals separat anfallen;
Akzeptanzprobleme hinsichtlich optischer, technischer, ästhetischer oder gesundheitlicher Eigenschaften von PVC-Recyclingprodukten	Homogene Marktsituation im Bereich der Kunststofffensterprofile (ausschließliche Verwendung von PVC);

Hemmfaktoren	Förderfaktoren
	<p>Verfügbarkeit und Erfassung von ausreichenden Abfallmengen aus etablierter Sammlung für ein wirtschaftliches werkstoffliches Recycling bei einem stabilen positiven Marktwert von PVC-Recyclinggranulat;</p> <p>Ausgereiftes Verfahren für das werkstoffliche Recycling mit Potenzial für weitere Optimierungen;</p> <p>Nachgewiesene ökobilanzielle Vorteile durch werkstoffliches Recycling von PVC gegenüber Primärherstellung;</p> <p>Entwicklung einer europäischen Norm als Garantie für eine sichere Herstellung sowie den Einsatz von Produkten aus Altkunststoffen (siehe hierzu Kap. 5.1.1.4 sowie Kap. 6.3.3.2);</p> <p>Produktdesign neuer PVC-Fensterprofile erlaubt einen Anteil von bis zu 50 % Rezyklat, welcher im Kern des Profils konzentriert ist;</p> <p>Nachhaltigkeitszeichen für PVC-Produkte oder Produktgruppen (VinylPlus) enthält u.a. geschlossene Materialkreisläufe und Recycling als Bewertungskriterium (siehe nähere Informationen in Kap. 6.3.3.2)</p>

Basierend auf den erörterten Hemm- und Förderfaktoren wird ein Modell zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung rezyklierter PVC-Fensterprofile vorgeschlagen. Das Modell beinhaltet die folgenden Komponenten (siehe ebenfalls Abbildung 25):

1. Erhöhung des Angebots

- ▶ Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat durch gezielte Förderprogramme

2. Erhöhung der Nachfrage

- ▶ Einheitliche Kennzeichnung von RC-Produkten
- ▶ Weiterentwicklung Umweltproduktdeklarationen und konsistente Bewertungssysteme

3. Verwendung recyclingfähiger Materialien

- ▶ Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken (Dimensionen Ökologie, Soziales und Ökonomie)
- ▶ Lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten (Dimensionen Ökologie und Soziales)
- ▶ Qualitätsanforderungen an Rezyklate (Dimensionen Ökologie und Soziales)

Hierbei wäre die ökonomische Incentivierung von Recyclingaktivitäten ein geeigneter Ansatz. Unterstützend könnte eine lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten zur Akzeptanz des Recyclings beitragen. Weiterhin kann die Festlegung von Qualitätsanforderungen an Rezyklate und PVC-Fensterprofile aus Rezyklat einen Beitrag zur Sicherstellung des Materialkreislaufs leisten. Die Erforschung und Entwicklung von neuartigen Recyclingverfahren kann hingegen keinen unmittelbaren Beitrag leisten und ist zudem zeitlich deutlich nachgelagert. Dennoch wird in der Erforschung ergänzender Recyclingverfahren aufgrund der aktuellen Entwicklungen auf EU-Ebene ein wichtiger Beitrag zum fortwährenden Recycling von PVC-Altfensterprofilen gesehen. Die vorgeschlagenen Einzelmaßnahmen zur Steigerung der Nachfrage weisen deutliche Synergiepotenziale im Zusammenhang mit den Qualitätsanforderungen und der Schadstoffdokumentation auf. So ermöglicht eine lückenlose Kontrolle und Dokumentation eine sachgerechte und valide Kennzeichnung von RC-Produkten. Die Weiterentwicklung von Umweltproduktdeklarationen kann sich an den Qualitätsanforderungen orientieren und diese bei der Auswertung und Interpretation einbeziehen.

Die jeweilige Machbarkeit von priorisierten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer PVC-Fensterprofile wird wie folgt eingeschätzt (Grün – Machbarkeit gegeben bzw. Maßnahme und deren unmittelbaren Folgeeffekte weisen keinerlei Wechselwirkungen mit dem jeweiligen Machbarkeitskriterium auf; Gelb – Machbarkeit teilweise gegeben; Rot – Machbarkeit nicht gegeben):

Tabelle 2: Zusammenfassung der Beurteilung der Machbarkeit von priorisierten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer PVC-Fensterprofile

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Rechtliche Machbarkeit	Organisatorische Machbarkeit	Technische Machbarkeit	Ökologische Machbarkeit	Sozio-ökonomische Machbarkeit
Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat durch gezielte Förderprogramme	Gelb	Gelb	Grün	Gelb	Grün
Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
Lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten	Gelb	Grün	Grün	Grün	Rot
Qualitätsanforderungen an Rezyklate	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Rechtliche Machbarkeit	Organisatorische Machbarkeit	Technische Machbarkeit	Ökologische Machbarkeit	Sozio-ökonomische Machbarkeit
Einheitliche Kennzeichnung von RC-Produkten	Gelb	Grün	Grün	Grün	Gelb
Weiterentwicklung Umweltproduktdeklarationen und konsistente Bewertungssysteme	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün

Flachglas aus Fenstern

Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis wurden nachfolgende Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von Flachgläsern aus Fenstern und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren Flachgläsern oder Behälterglas identifiziert:

Tabelle 3: Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis identifizierte Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von Flachgläsern aus Fenstern und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren Flachgläser

Hemmfaktoren	Förderfaktoren
Abwanderung von Flachglasscherben in andere Glasanwendungen;	Rechtliche Kriterien auf Bundes- und EU-Ebene klar geregelt (siehe Regelungen in Tabelle 52 im Anhang);
Unzureichende Aufklärung über fachgerechte Entsorgung von Flachglasabfällen;	technische Voraussetzungen für den Einsatz hoher Rezyklatanteile sind erfüllt;
Fehlende flächendeckende Rückbaukonzepte;	Gute regionale Verfügbarkeit von Abfällen;
Sortierbarkeit der Flachglasscherben bezogen auf die chemische Zusammensetzung	Energieeinsparung beim Wiedereinsatz von Glasscherben;
	Hohe Akzeptanz von Sekundärrohstoffen;
	Recyclingfreundliches Produktdesign;
	Verfügbarkeit von geeigneten Recyclingverfahren;
	Keine besorgniserregenden Schadstoffe;
	Beitrag zur Ressourcenschonung;
	Positive ökobilanzielle Effekte

Basierend auf den erörterten Hemm- und Förderfaktoren wird ein Modell zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung von Flachglasscherben

vorgeschlagen. Das Modell beinhaltet die folgenden Komponenten (siehe ebenfalls Abbildung 26):

1. Erhöhung des Angebots

- ▶ Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern
- ▶ Verpflichtende Rückbaukonzepte

2. Erhöhung der Nachfrage

- ▶ Entwicklung von Sortiertechnologien für Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung

3. Verwendung recyclingfähiger Materialien

- ▶ Ausbau der sortenspezifischen Sammellogistik (Dimensionen Ökologie und Soziales)
- ▶ Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen (Dimensionen Ökologie und Soziales)

Zunächst müssen technische Lösungen geschaffen werden, um die geforderte Sortenreinheit von Scherben beim glasaufbereitenden Unternehmen für die Herstellung neuer Produkte bei Unternehmen der Glasherstellung zu erreichen. Diese ist heute aufgrund der nichtvorhandenen Detektionstechnik nicht gegeben, weshalb viele Scherben hoher Qualität nicht bei der Herstellung hochqualitativer Flachglasprodukte landen. Folglich müssten diese Unternehmen hohe Rohstoffpreise und Transportkosten tragen, um dieses Defizit durch Primärrohstoffe auszugleichen. Deshalb sollte hier mit Forschung angesetzt werden, damit zukünftig deutlich höhere Mengen an Flachglasscherben aus Altglas als Rohstoff bei der Herstellung von neuen Flachgläsern Einsatz finden. Zudem müssen infrastrukturelle Maßnahmen wie der Ausbau einer sortenspezifischen Sammellogistik, Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasabfällen sowie die Einführung von Rückbaukonzepten für eine höhere Verfügbarkeit von reinen Flachglasabfällen eingeführt bzw. ausgebaut werden. Dies ist vor allem bei kleineren Baustellen in Gebieten mit schwacher Infrastruktur noch ein Hindernis, weshalb dort verschiedene Abfälle nicht getrennt erfasst werden. Damit gehen Altflachgläser aufgrund der dadurch resultierenden hohen Verunreinigung und des zu hohen Trennaufwands oft auf die Deponie.

Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen sollen ein ausgeprägteres Bewusstsein für die Bedeutung der sortenreinen Trennung bei den Mitarbeitenden der ausführenden Betriebe auf den Baustellen erzeugen. Dort wird der Grundstein für einen erneuten Einsatz von Altflachglas in der Herstellung von neuen Flachglasprodukten gelegt. Je sauberer und effizienter diese Glasabfälle dort aufbereitet werden, umso geringer ist anschließend der Aufwand für die Unternehmen der Glasaufbereitung und -herstellung.

Die jeweilige Machbarkeit von priorisierten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Flachgläser wird wie folgt eingeschätzt (Grün – Machbarkeit gegeben bzw. Maßnahme und deren unmittelbaren Folgeeffekte weisen keinerlei Wechselwirkungen mit dem jeweiligen Machbarkeitskriterium auf; Gelb – Machbarkeit teilweise gegeben; Rot – Machbarkeit nicht gegeben):

Tabelle 4: Zusammenfassung der Beurteilung der Machbarkeit von priorisierten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Flachgläser

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Rechtliche Machbarkeit	Organisatorische Machbarkeit	Technische Machbarkeit	Ökologische Machbarkeit	Sozio-ökonomische Machbarkeit
Verpflichtende Rückbaukonzepte	Gelb	Gelb	Grün	Gelb	Grün
Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern	Grün	Grün	Grün	Gelb	Gelb
Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen	Gelb	Gelb	Grün	Gelb	Gelb
Ausbau der sortenspezifischen Sammellogistik	Grün	Grün	Grün	Gelb	Gelb
Entwicklung von Sortiertechnologien für Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzungen	Grün	Grün	Gelb	Gelb	Gelb

Porenbeton

Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis wurden nachfolgende Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von Porenbetonabbruch und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren Porenbetonprodukten identifiziert:

Tabelle 5: Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis identifizierte Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von Porenbetonabbruch und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren Porenbetonprodukten

Hemmfaktoren	Förderfaktoren
Kein etabliertes Sammelsystem für Porenbetonabbruch;	Hohe Kosten für Deponierung von Porenbetonabbruch; Verknappung von primären Ressourcen;

Hemmfaktoren	Förderfaktoren
Notwendige gleichbleibende Qualität (Reinheit) des Porenbetonabbruchs für Verwertung nicht gegeben;	Konzepte für technisch umsetzbare Verwertungsverfahren vorhanden
Klare Regelung zu Schadstoffen in RC-Produkten fehlt	

Basierend auf den erörterten Hemm- und Förderfaktoren wird ein Modell zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung von Porenbetonabbruch vorgeschlagen. Das Modell beinhaltet die folgenden Komponenten (siehe ebenfalls Abbildung 27).

1. Erhöhung des Angebots

- ▶ Erfassung von Porenbetonabbruch durch eigenen Abfallschlüssel
- ▶ Selektiver Rückbau von Porenbeton
- ▶ Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren

2. Erhöhung der Nachfrage

- ▶ Akzeptanzsteigernde Imagekampagnen

3. Verwendung recyclingfähiger Materialien

- ▶ Erforschung und Entwicklung von industriell relevanten Verwertungsmöglichkeiten (Dimensionen Ökologie, Soziales und Ökonomie):
- ▶ Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe (Dimensionen Ökologie und Soziales)
- ▶ Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen (Dimensionen Ökologie und Soziales)
- ▶ Finanzielle Förderung (Dimension Ökonomie)

Hier muss zunächst eine technische Lösung gefunden und etabliert werden, damit eine sortenreine Trennung des Porenbetons von anderen Baustoffen, insbesondere dem Mauerwerk erfolgen kann. Dieser Schritt der Aufbereitung, welcher durch flankierende Maßnahmen wie BIM zusätzlich gefördert werden kann, ermöglicht durch die dadurch gewonnene Rohstoffqualität eine Nutzung des Materials bei der Herstellung neuer Produkte. So kann letztlich die grundsätzliche Nachfrage nach dem Sekundärrohstoff Porenbetonabbruch erhöht werden. Eine klare Regelung des Materialstroms in Form eines eigenen Abfallschlüssels kann Maßnahmen zur Erhöhung der Rohstoffqualität weiter unterstützen. Ein weiterer essenzieller Punkt ist die Umsetzung eines Konzeptes zur flächendeckenden Sammlung des Porenbetonabbruchs. Die Umsetzung hat die größten Erfolgsaussichten, wenn diese auf die drei Schwerpunkte Erforschung und Entwicklung industriell relevanter Verwertungsmöglichkeiten, Akzeptanzsteigernde Imagekampagne und finanzielle Förderung ausgerichtet wird. Durch die Förderung zielgerichteter Forschung sollen die bereits erzielten Ergebnisse der Grundlagenforschung zu industrietauglichen Konzepten weiterentwickelt werden. Durch

bedarfsgerechte Imagekampagnen soll betroffenen Beteiligten der Wert des Sekundärrohstoffs Porenbetonabbruch bewusst gemacht werden, um dadurch sowohl Angebot als auch Nachfrage für dieses Material zu erhöhen bzw. zu garantieren. Durch eine zusätzliche finanzielle Förderung kann insbesondere der kostenaufwändige Transport von dezentralen, zeitlich begrenzt existierenden Rohstoffquellen für die einzelnen Beteiligten abgefangen werden. Als übergreifenden Aspekt gilt es eine einheitliche Regelung für die Bewertung und Festlegung von Schadstoffen im Rohstoff oder Produkt zu treffen, welche praxistauglich ist und nach Möglichkeit dafür sorgt, dass Porenbetonabbruch möglichst frühzeitig ein Ende der Abfalleigenschaft erreicht.

Die jeweilige Machbarkeit von priorisierten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbaren Porenbetons wird wie folgt eingeschätzt (Grün – Machbarkeit gegeben bzw. Maßnahme und deren unmittelbaren Folgeeffekte weisen keinerlei Wechselwirkungen mit dem jeweiligen Machbarkeitskriterium auf; Gelb – Machbarkeit teilweise gegeben; Rot – Machbarkeit nicht gegeben):

Tabelle 6: Zusammenfassung der Beurteilung der Machbarkeit von priorisierten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbaren Porenbetons

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Rechtliche Machbarkeit	Organisatorische Machbarkeit	Technische Machbarkeit	Ökologische Machbarkeit	Sozio-ökonomische Machbarkeit
Erfassung von Porenbetonabbruch durch einen eigenen Abfallschlüssel	Grün	Grün	Grün	Grün	Gelb
Selektiver Rückbau von Porenbeton	Grün	Gelb	Grün	Grün	Grün
Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
Erforschung und Entwicklung von industriell relevanten Verwertungsmöglichkeiten	Grün	Grün	Grün	Grün	Gelb
Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe	Gelb	Gelb	Grün	Grün	Gelb
Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für	Gelb	Grün	Grün	Grün	Gelb

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Rechtliche Machbarkeit	Organisatorische Machbarkeit	Technische Machbarkeit	Ökologische Machbarkeit	Sozio-ökonomische Machbarkeit
Mitarbeitende von Rückbauunternehmen	Gelb	Grün	Grün	Grün	Gelb
Akzeptanzsteigernde Imagekampagne	Grün	Grün	Grün	Gelb	Gelb
Finanzielle Förderung	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün

Priorisierung und Umsetzung von Lösungsvorschlägen

Basierend auf den produktspezifischen Erörterungen wurden Lösungsvorschläge abgeleitet und priorisiert, welche einen allgemeingültigen Charakter für den Baubereich haben und grundsätzlich auf Bauprodukte anwendbar sind.

Abbildung 1: Priorisierung von Lösungsvorschlägen (ohne Einordnung der finanziellen Anreize)



Quelle: Eigene Darstellung

Bei einer Vielzahl der identifizierten und priorisierten Maßnahmen im Baubereich tritt der Gesetzgeber in einer begleitenden bzw. befähigenden Rolle auf. Eine mögliche Ausgestaltung der

erarbeiteten Lösungsvorschläge stellt in diesem Zusammenhang die abfallrechtliche Produktverantwortung dar, welche eine Reihe an möglichen Maßnahmen umfasst, um bereits bei der Entwicklung und Herstellung von Produkten eine Kreislaufführung zu stärken. Die Produktverantwortung ist eine Maßnahme zur verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten und damit eine Umsetzung des Verursacherprinzips. Entsorgungskosten fallen im Baubereich bei der Errichtung, während des Um- / Rückbaus und bei Sanierungen an. Derzeit erfolgt die Finanzierung der Entsorgung der in Bauwerken verwendeten Bauprodukte durch den Bauverantwortlichen des Rückbauvorhabens. Auf Grund der Komplexität in der Nutzung und der Lebensdauer von Bauprodukten konnte nicht abschließend geklärt werden, auf welche Beteiligten die Verantwortung für Entsorgungskosten verteilt werden kann.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Eine funktionierende Kreislaufwirtschaft im Baubereich setzt aufeinander abgestimmte Maßnahmen und Lösungsansätze während des gesamten Lebenszyklus von Bauprodukten sowie den daraus entstehenden Bauwerken voraus.

Die beispielhaften Erörterungen für die drei Produkte bzw. Materialien sowie die darauf aufbauenden Diskussionen im Rahmen der Modellentwicklung können als Nachweis angeführt werden, dass geeignete Maßnahmen und konkrete Lösungsvorschläge im Baubereich vorwiegend produkt- oder gar anwendungsfallspezifisch sind.

Bei der verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten im Rahmen von Maßnahmen der Produktverantwortung ist eine entscheidende Frage die nach der inhaltlichen Gerechtigkeit in einem Umfeld, das Produkte mit verschiedener Lebensdauer und einer Vielzahl möglicher Beteiligter umfasst. Bei der Identifikation und Beurteilung von weiteren Merkmalen des Baubereichs – neben der Komplexität der Nutzung von Bauprodukten und der Zeitspanne zwischen Inverkehrbringen und der Entledigung des Produktes – wird weiterer Forschungsbedarf gesehen. Einzelne Elemente der abfallrechtlichen Produktverantwortung, wie Rücknahmeanforderungen, die recyclinggerechte Konstruktion, die Kennzeichnung schadstoffhaltiger Erzeugnisse oder der Einsatz von Rezyklaten, können jedoch wichtige Beiträge zur Stärkung des Recyclings und zum Einsatz von Sekundärrohstoffen liefern.

Summary

Construction and demolition waste (often referred to simply as construction waste) covers all waste generated during the construction, conversion, renovation or disposal of a building. This can be hazardous or non-hazardous. The importance and the potential of recycling building materials becomes clear when one considers that around 200 million tonnes of mineral construction waste are produced or recorded in Germany every year.

Despite a proportionally high recycling rate for construction and demolition waste, product cycles are often insufficiently completed, or the material and technical properties of construction waste are not fully exploited. In this regard high-quality recycling is ambiguous. Whether product cycles are to be closed tightly, or whether the ecological balance is to be improved, or whether only mechanical recycling can guarantee this, depends not least on the respective waste stream and the product properties. An individual and product-specific consideration of recycling activities is therefore indispensable. For this purpose, it is necessary to depict the current disposal situation in the construction sector and to analyze it by way of example. This, in turn, is the basic prerequisite for developing approaches to strengthen recycling, to create incentives for the use of recyclable materials and to allocate disposal costs in the area of construction products in a way that is fair to the originator. This report systematically explores the possibilities of sector-specific or product-specific incentives for the aforementioned objectives in the field of construction products.

First, the overall circumstances of waste management and the framework conditions for recycling of construction products in Germany are discussed. A comprehensive overview of the legal framework is given, basic actors and their contributions are presented, and the current waste management situation is described. Furthermore, a detailed description of selective dismantling and its challenges is given.

Legal Framework

The consideration of the legal framework is based on the life cycle of construction products: starting with demolition and dismantling, the stage as waste, recycling, the production of components and the return into the cycle, marketing and use. Consequently, over the entire life cycle, many legal areas and individual legal regulations must also be taken into account.

As soon as products or materials reach the waste stage, the Circular Economy Act (KrWG) plays an important role. Among other things, it contains regulations concerning the concept of waste (§ 3 (1) KrWG), the definition of producer and owner (§ 3 (8) and (9) KrWG), the waste hierarchy (§ 6 KrWG) and the end-of-waste status (§ 5 KrWG). It also contains specifications on product responsibility under waste law. However, there are not yet any specific requirements in this area for construction products.

Other relevant regulations at the demolition and dismantling, waste and recycling stages are the Commercial Waste Ordinance (GewAbfV) with its obligation to keep certain construction waste separate and the Ordinance on the European list of waste (AVV) on the designation and classification of waste according to its hazardousness. There are certain consequences for the disposal of waste depending on the classification of the waste. The political objective of European and national waste policy to promote recycling, and thus to conserve natural resources, must be considered in the context of the underlying chemical and waste legislation's objective to protect people and the environment by removing hazardous (POPs or other pollutants) or harmful waste from the cycle.

As soon as the material leaves the waste stage and is returned to the cycle, it is basically subject to the same conditions, restrictions or prohibitions on marketing and use as products made from primary raw materials (unless special regulations for recycled materials apply). From this point on, the chemicals legislation takes effect with Regulation (EC) No. 1907/2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (EC REACH Regulation), Regulation (EC) No. 1272/2008 on Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures (EC CLP Regulation) and Regulation (EU) 2019/1021 on Persistent Organic Pollutants (EU POP Regulation).

Requirements for the production, use and expansion of mineral substitute building materials will be laid down in the future in the Substitute Building Materials Ordinance (ErsatzbaustoffV) (at the time of writing, the ErsatzbaustoffV is available as a draft). Regulation (EU) No. 305/2011 establishes conditions for the marketing of construction products (BauPVO).

Under national building regulations, the Model Building Regulation (MBO) and the technical building regulations contained therein must be taken into account. They become binding through implementation in the building regulations of the federal states.

Furthermore, specific standards or technical regulations exist for individual materials and products.

Actors and their contributions

The development and use of recycled and recyclable building materials require coordinated actions from all directly and indirectly involved actors throughout the entire life cycle of the materials.

The life cycle of a building material or construction material can be drawn analogous to the life cycle of a building. It should be noted that decisive life cycle phases of the construction product (e.g. product design) are often already completed when the life cycle of a building begins. However, certain products and structures may also have parallel or sequential phases in their respective life cycle. These phases are then interdependent, or ideally coordinated with each other.

Product-specific discussion of current disposal practice

Initially, general factors were used for the systematic discussion of inhibiting and promoting factors. These were discussed in the context of project-accompanying expert talks and support groups. In doing so, care was taken to reflect the special features in the field of construction products. The selected factors include:

- ▶ legal/institutional (e.g. effects of existing legal obligations in the field of demolition and dismantling);
- ▶ socio-economic (e.g. disposal costs);
- ▶ informational/organizational (e.g. information basis);
- ▶ technical (e.g. nature of products); and
- ▶ ecological aspects (e.g. life cycle assessment effects).

These factors are the basis for the discussion of the selected product and material examples: **PVC window profiles, flat window glass, and aerated concrete**. For each of these product or material examples, a systematic and product-specific discussion of inhibiting and promoting

factors to strengthen recycling and the use of recycled materials follows. Based on this approach, product-specific models for the three selected products or materials are developed and discussed. The models are not concrete regulatory proposals or finally evaluated measures. Rather, the models contain approaches, ideas and impulses which can be pursued politically. For the subsequent development of proposed solutions and as a basis for political decision-making processes, the respective feasibility of these measures is assessed from a legal, organizational, technical, socio-economic and ecological perspective.

PVC window profiles

Based on current waste management practices, the following inhibiting and promoting factors have been identified to strengthen the recycling of PVC window profiles and the use of secondary raw materials in the production of new, recyclable and recycled PVC window profiles:

Table 7: Inhibiting and promoting factors for strengthening the recycling of PVC window profiles and the use of secondary raw materials in the production of new, recyclable and recycled PVC window profiles

Inhibiting Factors	Promoting Factors
In some cases, area-wide collection of locally small quantities of waste is not economically viable (i.e. further expansion of the established collection structures is not economically feasible under the current conditions);	Established private-sector (voluntary) and nationwide recycling system of the leading profile manufacturers for type-specific collection (collection and return system) and recycling of old PVC window profiles;
Pollutant contents in PVC end-of-life window profiles (including cadmium and lead compounds as stabilizers) and potential dissipation of pollutants, as well as restrictions due to the setting of limit values for the reintroduction of contaminated secondary raw materials from the relevant material streams;	In principle, good possibility of separate collection of old PVC window profiles after the period of use, since these are system elements which usually have a different period of use than buildings and therefore often occur separately;
Acceptance problems regarding the visual, technical, aesthetic or health features of recycled PVC products	Homogeneous market situation in the field of plastic window profiles (exclusive use of PVC);
	Availability and collection of sufficient quantities of waste from established collection for economic mechanical recycling with a stable positive market value of recycled PVC granulate;
	Mature process for mechanical recycling with potential for further optimization;
	Proven environmental benefits of mechanical recycling of PVC over primary production;
	Development of a European standard as a guarantee for the safe production and use of products made of old plastics (see chap. 5.1.1.4 and 6.3.3.2);
	Product design of new PVC window profiles allows a proportion of up to 50% recycled material, which is concentrated in the core of the profile;

Inhibiting Factors	Promoting Factors
	Sustainability label for PVC products or product groups (VinylPlus) includes closed material cycles and recycling as evaluation criteria (see more detailed information in chapter 6.3.3.2)

Based on the inhibiting and encouraging factors discussed, a model is proposed to strengthen recycling and create incentives to use recycled PVC window profiles. The model includes the following components (see also Abbildung 25):

1. Increase in supply

- ▶ Increase in price difference between new PVC and recycled PVC through targeted promotion programmes

2. Increase in demand

- ▶ Uniform labelling of recycled products
- ▶ Further development of environmental product declarations and consistent assessment systems

3. Use of recyclable materials

- ▶ Research and development of recycling processes and techniques (Ecological, Social and Economic dimension)
- ▶ Seamless control and documentation of pollutant levels (Ecological and Social dimension)
- ▶ Quality requirements for recyclates (Ecological and Social dimension)

The economic incentive of recycling activities would be a suitable approach here. Complete control and documentation of pollutant levels could support the acceptance of recycling. Furthermore, the definition of quality requirements for recycled materials and PVC window profiles made of recycled material could contribute to ensuring the material cycle. The research and development of novel recycling processes, on the other hand, cannot make a direct contribution and is clearly downstream. Nevertheless, research into complementary recycling processes is seen as an important contribution to the ongoing recycling of PVC window profiles due to current developments at EU level. The proposed individual measures to increase demand show clear synergy potentials in connection with quality requirements and pollutant documentation. For example, seamless control and documentation will enable the proper and valid labelling of RC products. The further development of environmental product declarations can be based on the quality requirements and include them in the evaluation and interpretation.

The respective feasibility of prioritized individual measures to strengthen recycling and to create incentives for the use of recyclable PVC window profiles is assessed as follows (green - feasibility given or measure and its direct consequences show no interaction with the respective feasibility criterion; yellow - feasibility partially given; red - feasibility not given):

Table 8: Summary of the assessment of the feasibility of prioritized individual measures to strengthen recycling and to create incentives for the use of recyclable PVC window profiles

Individual measure according to model development	Legal feasibility	Organisational feasibility	Technical feasibility	Ecological feasibility	Socio-economic feasibility
Increasing the price difference between primary PVC and PVC recyclate through targeted promotion programmes	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Green
Research and development of novel recycling processes and techniques	Green	Green	Green	Green	Green
Seamless control and documentation of pollutant levels	Yellow	Green	Green	Green	Red
Quality requirements for recyclates	Yellow	Green	Green	Green	Green
Uniform labelling of RC products	Yellow	Green	Green	Green	Yellow
Further development of environmental product declarations and consistent assessment systems	Yellow	Green	Green	Green	Green

Flat window glass

On the basis of current disposal practice, the following inhibiting and promoting factors have been identified for strengthening the recycling of flat glass from windows and the use of secondary raw materials in the production of new flat glass or container glass that can be recycled again:

Table 9: Inhibiting and promoting factors for strengthening the recycling of flat glass from windows and the use of secondary raw materials in the production of new flat glass or container glass

Inhibiting Factors	Promoting Factors
Migration of flat glass cullet to other glass applications;	Legal criteria clearly regulated at federal and EU level (see regulations in Table 40 in the Appendix);
Inadequate information on the proper disposal of flat glass waste;	technical requirements for the use of high recycle contents are fulfilled;
Lack of area-wide deconstruction concepts;	Good regional availability of waste;
Sortability of flat glass cullet in terms of chemical composition	Energy saving when reusing broken glass; High acceptance of secondary raw materials; Recycling-friendly product design; Availability of appropriate recycling processes; No pollutants of concern; Contribution to the conservation of resources; Positive ecological balance sheet effects

Based on the inhibiting and promoting factors discussed, a model is proposed to strengthen recycling and create incentives for the use of flat glass cullet. The model includes the following components (see also Abbildung 26):

1. Increase in supply

- ▶ Requirements for the separate collection of flat glass components by providing separate containers
- ▶ Mandatory dismantling concepts

2. Increase in demand

- ▶ Development of sorting technologies for flat glass cullet of different chemical composition

3. Use of recyclable materials

- ▶ Expansion of glass-specific collection logistics (Ecological and Social dimension)
- ▶ Training measures for dismantling companies (Ecological and Social dimension)

First, technical solutions must be created to achieve the required purity of cullet at the glass processor to produce new products at the glass manufacturer. This is not possible today due to the lack of detection technology, which is why many high-quality fragments do not end up in the production of high-quality flat glass products. Consequently, these companies would have to bear high raw material prices and transport costs to compensate for this deficit with primary raw materials. Therefore, research should be conducted to ensure that in future significantly higher quantities of flat glass cullet from waste glass will be used as raw material in the

production of new flat glass products. In addition, infrastructural measures such as the expansion of a type-specific collection logistics system, specifications for the separate collection of flat glass waste and the introduction of dismantling concepts for a higher availability of pure flat glass waste must be introduced or expanded. This is still an obstacle, especially for smaller construction sites in areas with weak infrastructure, which is why different types of waste are not collected separately there. As a result, waste flat glass often ends up in landfills due to the resulting high level of contamination and the excessive effort required for separation. Training measures for dismantling companies are intended to create a greater awareness of the importance of separation according to type among the employees of the companies carrying out the work on the construction sites. There, the foundation is laid for the renewed use of old flat glass in the manufacture of new flat glass products. The cleaner and more efficiently this glass waste is processed there, the lower the subsequent costs for the glass processors and manufacturers.

The respective feasibility of prioritized individual measures to strengthen recycling and to create incentives for the use of recyclable flat glass is assessed as follows (Green - feasibility given or measure and its direct consequences show no interaction with the respective feasibility criterion; Yellow - feasibility partly given; Red - feasibility not given):

Table 10: Summary of the assessment of the feasibility of prioritized individual measures to strengthen recycling and to create incentives for the use of recyclable flat glass

Individual measure according to model development	Legal feasibility	Organisational feasibility	Technical feasibility	Ecological feasibility	Socio-economic feasibility
Mandatory dismantling concepts	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Green
Requirements for the separate collection of flat glass components by providing separate containers	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
Training measures for dismantling companies	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow
Expansion of variety-specific collection logistics	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
Development of sorting technologies for flat glass cullet of different chemical composition	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow

Aerated concrete

On the basis of current disposal practice, the following inhibiting and promoting factors have been identified for strengthening the recycling of demolished aerated concrete and the use of secondary raw materials in the manufacture of new, again recyclable aerated concrete products:

Table 11: Inhibiting and promoting factors for strengthening the recycling of demolished aerated concrete and the use of secondary raw materials in the manufacture of new, again recyclable aerated concrete products

Inhibiting Factors	Promoting Factors
No established collection system for aerated concrete demolition;	High costs for landfill of porous concrete demolition;
Necessary constant quality (purity) of the aerated concrete demolition material for recycling is not given;	Scarcity of primary resources;
No clear regulation on pollutants in RC products	Concepts for technically feasible recycling processes available

Based on the inhibiting and promoting factors discussed, a model is proposed to strengthen recycling and to create incentives for the use of aerated concrete demolition. The model includes the following components (see also Abbildung 27):

1. Increase in supply

- ▶ Registration of aerated concrete demolition by means of a separate waste code
- ▶ Selective deconstruction of porous concrete
- ▶ Development of practical sorting methods

2. Increase in demand

- ▶ Acceptance-enhancing image campaign

3. Use of recyclable materials

- ▶ Research and development of industrially relevant recycling possibilities (Ecological, Social and Economic dimension)
- ▶ Introduction of product-based limit values for pollutants (Ecological and Social dimension)
- ▶ Training courses on the proper separation and disposal of waste during dismantling for employees of dismantling companies (Ecological and Social dimension)
- ▶ Financial support (Economic dimension)

Here, a technical solution must first be found and established so that a pure separation of the aerated concrete from other building materials, such as masonry, can take place. This step of processing, which can be additionally promoted by flanking measures such as BIM, enables the material to be used in the manufacture of new products due to the quality of the raw material obtained. In this way, the fundamental demand for the secondary raw material aerated concrete demolition can ultimately be increased. A clear regulation of the material flow in the form of a

separate waste code can further support measures to increase the raw material quality. A further essential point is the implementation of a concept for the area-wide collection of aerated concrete demolition waste. The implementation has the best chances of success if it is focused on the three main areas of research and development of industrially relevant recycling possibilities, an image campaign to increase acceptance and financial support. By promoting targeted research, the results already achieved in basic research are to be further developed into concepts suitable for industrial use. By means of demand-oriented image campaigns, affected actors are to be made aware of the value of the secondary raw material aerated concrete demolition in order to increase or guarantee both supply and demand for this material. Additional financial support can be provided to compensate for the costly transport of decentralized, temporary sources of raw materials for the individual players. As an overarching aspect, a uniform regulation for the evaluation and determination of pollutants in the raw material or product must be established, which is practicable and, if possible, ensures that aerated concrete demolition reaches an end of waste characteristics as early as possible.

The respective feasibility of prioritized individual measures to strengthen recycling and to create incentives for the use of recyclable cellular concrete is assessed as follows (Green - feasibility given or measure and its direct consequences show no interaction with the respective feasibility criterion; Yellow - feasibility partly given; Red - feasibility not given):

Table 12: Summary of the assessment of the feasibility of prioritized individual measures to strengthen recycling and to create incentives for the use of recyclable cellular concrete

Individual measure according to model development	Legal feasibility	Organisational feasibility	Technical feasibility	Ecological feasibility	Socio-economic feasibility
Registration of aerated concrete demolition by means of a separate waste code	Green	Green	Green	Green	Yellow
Selective deconstruction of porous concrete	Green	Yellow	Green	Green	Green
Development of practical sorting methods	Green	Green	Green	Green	Green
Research and development of industrially relevant recycling possibilities	Green	Green	Green	Green	Yellow
Introduction of product-based limit values for pollutants	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow

Individual measure according to model development	Legal feasibility	Organisational feasibility	Technical feasibility	Ecological feasibility	Socio-economic feasibility
Training courses on the proper separation and disposal of waste during dismantling for employees of dismantling companies	Yellow	Green	Green	Green	Yellow
Acceptance-enhancing image campaign	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
Financial support	Yellow	Green	Green	Green	Green

Prioritization and implementation of proposed solutions

Based on the product-specific discussions, proposals for solutions were developed and prioritized, which have a general applicability to the construction sector and to construction products.

Figure 2: Prioritization and implementation of proposed solutions (without classification of financial incentives)



Source: own representation

In many of the identified and prioritized measures in the construction sector, the legislator plays a supporting or enabling role. In this context, one possible form of the proposed solutions is product responsibility under waste law, which comprises a series of possible measures to strengthen recycling management as early as the development and manufacture of products. Product stewardship is a measure for the allocation of disposal costs in line with the polluter-pays principle. Disposal costs are incurred in the construction sector during construction, during conversion and dismantling, and during refurbishment. Currently, the disposal of building products used in buildings is financed by the owner of the deconstruction project. Due to the complexity of the use and life cycle of building products, it could not be finally clarified to which actors the responsibility for disposal costs can be distributed.

Conclusion and Outlook

A functioning circular economy in the construction sector requires coordinated measures and solutions throughout the entire life cycle of building products and the constituted buildings and infrastructures.

The discussions of the three example materials within the framework of model development can be cited as evidence that suitable measures and solution approaches in the construction sector are predominantly product-specific or even application-specific. When allocating disposal costs

in the context of extended producer responsibility schemes, it is crucial to establish fair allocation procedures within a recycling situation that is characterized by products with deviating life cycles and a large number of possible actors. There is a need for further research concerning the identification and assessment of further characteristics of the construction sector - apart from the complexity of the use of construction products and the time span between placing on the market and disposal of the product. However, individual elements of extended producer responsibility schemes, such as take-back requirements, design-for-recycling, the labelling of products containing harmful substances or the use of recycled materials, can help strengthening recycling and the use of secondary raw materials.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Der Bausektor gehört zu den rohstoffintensivsten Wirtschaftsbereichen und ist in der EU für etwa 50 % der gesamten Rohstoffgewinnung verantwortlich. Gleichzeitig entfallen über 35 % des gesamten Abfallaufkommens in der EU auf das Baugewerbe (European Commission 2020, S. 14). Bauwerke enthalten wertvolle Roh- und Werkstoffe, verursachen aber auch Kosten in der Entsorgung, die z.B. bei weitgehender stofflicher Trennung oder enthaltenen Gefahrstoffen erheblich sein können. Ressourcenschonendes Bauen beinhaltet daher auch die Nutzung von Sekundärrohstoffen. Das theoretisch verfügbare Rohstofflager für Sekundärrohstoffe aus dem Bausektor stellt der aktuelle Bestand an Gebäuden und sonstiger Infrastruktur dar. Der Baubereich (Hochbau, Tiefbau, Haustechnik) markiert den mengenmäßig weitaus größten Teil des verfügbaren anthropogenen Materiallagers von insgesamt schätzungsweise 51,7 Milliarden Tonnen Material im Jahr 2010 (Umweltbundesamt 2017a, S. 29). Neben Metallen, Kunststoffen, Holz und anderen Materialien, wird das anthropogene Rohstofflager von mineralischen Materialien dominiert. Wenngleich nicht der gesamte Bestand für eine Sekundärrohstoffnutzung zur Verfügung steht, bleiben derzeit Potenziale für ein Recycling und den Einsatz von Sekundärrohstoffen ungenutzt.

Trotz einer nominal hohen Verwertungsquote für Bau- und Abbruchabfälle, werden Produktkreisläufe nur unzureichend geschlossen oder die stofflich-technischen Eigenschaften von Bauabfällen werden nicht vollumfänglich ausgeschöpft (Umweltbundesamt 2016c). Mineralische Fraktionen werden häufig im Straßenbau eingesetzt und Kunststoffe lediglich energetisch verwertet. In diesem Zusammenhang wird oftmals von einem sogenannten „Downcycling“ gesprochen. Dieser Ausdruck suggeriert wiederum die Notwendigkeit eines „hochwertigen“ Recyclings. Im öffentlichen Diskurs wird das hochwertige Recycling vielmals als zentrales Ziel ausgewiesen. Der Begriff ist jedoch derzeit nicht rechtlich verbindlich geregelt und es existieren zahlreiche Auffassungen in der einschlägigen Literatur (siehe hierzu eine Übersicht von Beschreibungen im Appendix B). Hierbei wird deutlich, dass unterschiedlichste Kriterien für die sogenannte Hochwertigkeit eines Recyclings herangezogen werden können. Ob nun möglichst enge Produktkreisläufe herbeigeführt werden sollen, die Ökobilanz durch das Recycling verbessert werden soll oder lediglich ein werkstoffliches Recycling dieser Beschreibung entsprechen kann, hängt nicht zuletzt vom jeweiligen Abfallstrom und den Produkteigenschaften ab. Eine allgemein akzeptierte Definition der Begrifflichkeit für den gesamten Baubereich ist daher nach Ansicht der Autoren nicht empfehlenswert. Vielmehr könnte eine individuelle und produktspezifische Auslegung angestrebt werden. Hierfür ist es unabdingbar die aktuelle Entsorgungssituation im Baubereich abzubilden und beispielhaft zu analysieren. Dies wiederum ist die Grundvoraussetzung, um Ansätze zur Stärkung des Recyclings, zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien und zur verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten im Bereich der Bauprodukte zu entwickeln. Die Realisierung dieser Ansätze kann sich auf zwei wesentlichen Handlungsfelder beziehen:

- ▶ Wiedergewinnung von Sekundärrohstoffen aus dem Bauwerksbestand;
- ▶ Planung von ressourcenschonenden und recyclinggerechten Neubauten.

In diesem Bericht werden die Möglichkeiten branchenindividueller bzw. produktspezifischer Anreize für die zuvor genannten Zielsetzungen im Bereich der Bauprodukte systematisch erschlossen.

Zunächst werden die Gesamtumstände der Abfallbewirtschaftung und die Rahmenbedingungen für ein Recycling von Bauprodukten in Deutschland erörtert. Hierbei wird ein umfassender Überblick des rechtlichen Rahmens gegeben, grundlegende Beteiligte und ihre Beiträge werden vorgestellt und die derzeitige Entsorgungssituation in Deutschland wird dargestellt. Weiterhin erfolgt eine ausführliche Beschreibung des selektiven Rückbaus sowie dessen Herausforderungen.

Nachfolgend werden Faktoren zur Beurteilung der grundsätzlichen Eignung für die Stärkung des Recyclings und der Verwendung von rezyklierten Materialien im Bereich von Bauprodukten vorgestellt. Diese Faktoren sind die Grundlage für die Erörterung der ausgewählten Produkt- und Materialbeispiele: PVC-Fensterprofile, Flachglas aus Fenstern und Porenbeton. Für jedes dieser Produkt- oder Materialbeispiele folgt eine systematische und produktspezifische Erörterung von Hemm- und Förderfaktoren zur Stärkung des Recyclings und der Verwendung von rezyklierten Materialien. Außerdem sind die wirtschaftliche Zumutbarkeit des Recyclingsystems sowie ökologische und soziale Ziele essenzielle Grundbedingungen für die Stärkung des Recyclings und die Verwendung von rezyklierten Materialien. Anhand dieser Vorgehensweise werden produktspezifische Modelle für die drei ausgewählten Produkte oder Materialien entwickelt und diskutiert. Bei den Modellen handelt es sich nicht um konkrete Regulierungsvorschläge oder abschließend bewertete Maßnahmen. Vielmehr beinhalten die Modelle Ansätze, Ideen und Impulse, welche politisch weiterverfolgt werden können. Für die anschließende Ableitung von Lösungsvorschlägen sowie als Grundlage für politische Entscheidungsprozesse wird die jeweilige Machbarkeit dieser Maßnahmen rechtlich, organisatorisch, technisch, sozio-ökonomisch und ökologisch anhand der ausgewählten Beispiele bewertet.

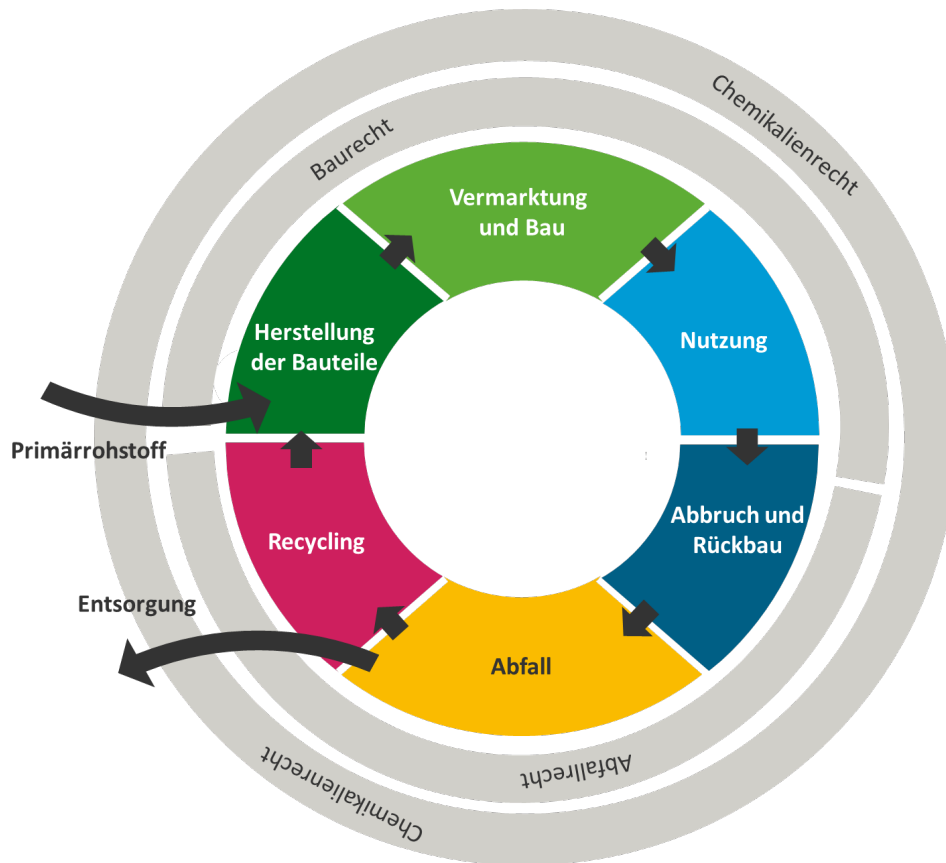
Basierend auf den produktspezifischen Erörterungen werden Lösungsvorschläge abgeleitet, welche einen allgemeingültigen Charakter für den Baubereich haben und grundsätzlich auf Bauprodukte anwendbar sind. Die Lösungsvorschläge basieren somit auf wichtigen und umfassenden Überlegungen (RIVM 2016, S. 48):

- ▶ Einem grundsätzlichen Verständnis und einer Vorstellung von der Größe und Mengenrelevanz der betroffenen Stoff- und Materialströme;
- ▶ Kenntnisse um potenzielle Schadstoffgehalte sowie der etablierten Recyclingstrukturen und mögliche Entwicklungen;
- ▶ Einem Verständnis bzgl. des komplexen Zusammenspiels der einzelnen Beteiligten und deren Interessen;
- ▶ Der Berücksichtigung des Schutzes von Mensch und Umwelt sowie geeigneter Maßnahmen und Kompetenzen dies zu gewährleisten.

2 Rechtlicher Rahmen

Entlang ihres Lebenswegs sind Bauprodukte Gegenstand verschiedener Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Normen. Diese werden vereinfacht in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung des Lebenszyklus von Bauprodukten und relevanten Rechtsbereichen



Quelle: Eigene Darstellung

Dieses Forschungsprojekt soll sich auf Anforderungen an das Baustoffrecycling und den Einsatz **rezyklierter** Baustoffe fokussieren. Es umfasst:

- ▶ den relevanten Rechtsrahmen nach der Nutzungsphase, mit der Entledigung und dem damit verbundenen Beginn der Abfalleigenschaft;
- ▶ Fragen des Endes der Abfalleigenschaft;
- ▶ Anforderungen, die sich aus dem Produktrecht ergeben können (einschließlich von Regelungen der allgemeinen abfallrechtlichen Produktverantwortung, soweit diese durch Regelungen konkretisiert sind¹).

Der Aufbau des Kap. zum rechtlichen Rahmen folgt dabei dem Lebenszyklus von Bauprodukten. Da der Fokus auf rezyklierten Baustoffen liegt, beginnt die Darstellung auf der Stufe des Abfalls über das Ende der Abfalleigenschaft (z.B. durch Recycling) bis hin zum Wiedereinsatz als

¹ Für Bauprodukte gibt es bislang keine konkreten Vorgaben der abfallrechtlichen Produktverantwortung wie auch keine erweiterte Verantwortung herstellender Unternehmen.

Produkt (Herstellung – Vermarktung – Nutzung) und den daraus resultierenden rechtlichen Anforderungen.

2.1 Grundlagen im Bereich Abfallrecht

2.1.1 Relevanter Rechtsrahmen bei der Entsorgung von Bauabfällen

Zentrales Bundesgesetz des deutschen Abfallrechts ist das KrWG. Das Abfallrecht ist stark EU-rechtlich geprägt; relevante Änderungen der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle (Abfallrahmenrichtlinie, EG-AbfRRL), die vom KrWG noch nicht nachvollzogen wurden, aber bis 2020 in nationales Recht umzusetzen sind, sind vermerkt. Neben dem KrWG ist die Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen, Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV), die 2017 maßgeblich überarbeitet wurde, wichtigstes Rechtsdokument bei der Entsorgung von Bauabfällen.

2.1.2 Schlüsseldefinitionen und Abfallhierarchie

Abfallbegriff und Anwendungsbereich

Im KrWG werden Stoffe oder Gegenstände als Abfall definiert, „deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss“ (§ 3 Abs. 1 Satz 1 KrWG). Dies kennzeichnet den Beginn der Abfalleigenschaft. Bauwerke, welche dauerhaft mit dem Grund und Boden verbunden sind, sind vom KrWG ausgeschlossen (§ 2 Abs. 2 Nr. 10 KrWG), aber nicht bei Rückbautätigkeiten anfallende Abfälle und ausgekofferte Böden.

Erzeuger und Besitzer als Pflichtenadressaten

Erzeuger von Abfällen nach § 3 Abs. 8 KrWG ist jede natürliche oder juristische Person, durch deren Tätigkeit Abfälle anfallen (Ersterzeuger) oder die Vorbehandlungen, Mischungen oder sonstige Behandlungen vornimmt, die eine Veränderung der Beschaffenheit oder der Zusammensetzung dieser Abfälle bewirken (Zweiterzeuger). **Besitzer** von Abfällen hingegen ist jede natürliche oder juristische Person, die die tatsächliche Sachherrschaft über Abfälle hat (§ 3 Abs. 9 KrWG).

Hierzu ist zu bemerken, dass der Erzeuger der Abfälle in der Regel auch der erste Besitzer ist. Erzeuger und Besitzer können auch juristische Personen sein, wie § 3 Abs. 8 KrWG für den Abfallerzeuger und Abs. 9 KrWG für den Fall des Besitzes ausdrücklich klarstellt:

Besitzer von Abfällen im Sinne dieses Gesetzes ist jede natürliche oder juristische Person, die die tatsächliche Sachherrschaft über Abfälle hat.

Der Bezug auf „die tatsächliche Sachherrschaft“ wird so verstanden, dass es auf eine tatsächliche **Verfügungsgewalt** ankommt.

In **Auftragsverhältnissen** ist in der Regel der oder die **Auftragnehmende** der Abfallerzeuger; d.h. die Bauunternehmerin bzw. der Bauunternehmer ist regelmäßig der Abfallerzeuger, weil er derjenige ist, der zum Zeitpunkt des Anfalls (Erzeugung) der Abfälle „als Inhaber der Sachherrschaft die letzte Ursache für die Umwandlung einer Sache in Abfall gesetzt hat“.

Die Pflichten im Abfallrecht – namentlich die Verwertungsgrundpflicht aus § 7 Abs. 2 KrWG und die Pflichten zur Getrennterfassung verschiedener Fraktionen von Bauabfällen und Zuführung im Sinne der Abfallhierarchie entsprechend § 8 GewAbfV – richten sich üblicherweise an Erzeuger *und* Besitzer, die beide nebeneinander für die Erfüllung der entsprechenden Pflichten verantwortlich sind (siehe auch Vollzugshinweise zur Gewerbeabfallverordnung (Mitteilung der

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 14): „Der zuständigen Behörde wird empfohlen, insbesondere im Hinblick auf die Pflichten zur getrennten Sammlung, vorrangig den Erzeuger als in der Entsorgungskette frühesten Verursacher der Abfallentstehung in Anspruch zu nehmen.“).

Abfallhierarchie und Definitionen der Behandlungskategorien, insbes. Recycling

Einen zentralen Bestandteil des europäischen und deutschen Abfallrechts stellt die Festlegung der fünfstufigen Abfallhierarchie dar (Art. 4 EG-AbfRRL, § 6–8 KrWG) (siehe Abbildung 4), auf die auch § 8 GewAbfV Bezug nimmt. Die fünfstufige Abfallhierarchie von Art. 4 EG-AbfRRL legt europaweit eine grundsätzliche „**Prioritätenfolge**“ (Erwägungsgrund 31 der EG-AbfRRL) zum **Umgang mit Abfällen** fest. Die Prioritätenfolge lautet wie folgt:

Vermeidung
Vorbereitung zur Wiederverwendung
Recycling
Sonstige, z.B. energetische Verwertung und Verfüllung
Beseitigung.

Nach der Vermeidung als erste Priorität, ist auf zweiter Stufe die Vorbereitung zur Wiederverwendung eingestuft. Gemäß § 3 Abs. 24 KrWG ist darunter jedes

Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur zu verstehen, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile von Erzeugnissen, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wieder für denselben Zweck verwendet werden können, für den sie ursprünglich bestimmt waren.

Auf dritter Stufe der Abfallhierarchie wird das **Recycling** eingeordnet. Recycling gehört zunächst zu den Verwertungsverfahren, d.h. gemäß § 3 Abs. 23 KrWG zu den Verwertungsverfahren,

als deren Hauptergebnis die Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie entweder andere Materialien ersetzen, die sonst zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder indem die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen.

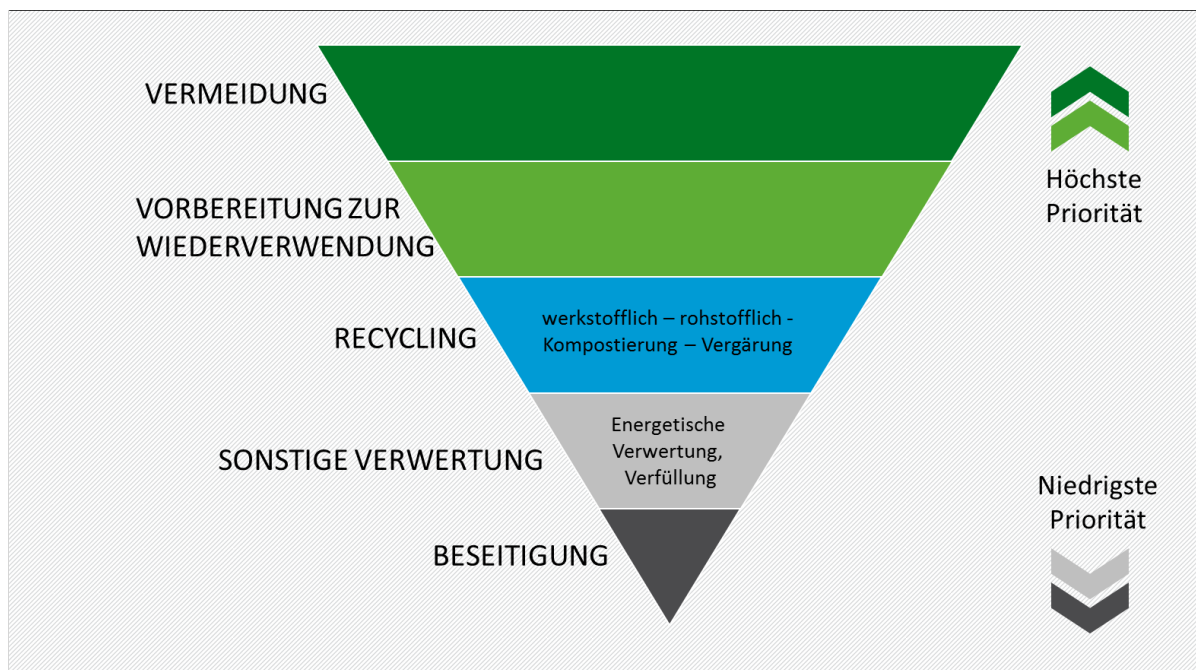
Soweit durch Verwertungsverfahren, „Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden“ (§ 3 Abs. 25 Satz 1 KrWG), liegt Recycling vor.

„Recycling im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden; es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, nicht aber die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind (§ 3 Abs. 25 Satz 1 KrWG).“

Verfüllungen können demnach nicht als Recycling gewertet werden.

Die Beseitigung von Abfällen – negativ definiert als Verfahren, das keine Verwertung ist – hat die letzte Priorität in der Abfallhierarchie. Abfälle zur Beseitigung sind unter den Voraussetzungen des § 17 Abs. 1 Satz 2 KrWG an den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger zu überlassen.

Abbildung 4: Fünfstufige Abfallhierarchie nach KrWG



Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von § 6 KrWG

2.1.3 Pflichten der GewAbfV zur Getrennthaltung von Bauabfällen

Spezielle Pflichten und Regelungen zum Umgang mit Bau- und Abbruchabfällen sind in der GewAbfV enthalten. § 8 Abs. 1 Satz 1 der GewAbfV bestimmt die Pflicht der Erzeuger und Besitzer von Bau- und Abbruchabfällen mindestens die Abfallfraktionen Glas, Kunststoff, Metalle, Holz, Dämmmaterialien, Bitumengemische, Baustoffe auf Gipsbasis, Beton, Ziegel sowie Fliesen und Keramik getrennt zu sammeln, zu befördern sowie vorrangig der Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zuzuführen. Der Anteil an Fehlwürfen und Verunreinigung sollte hierbei 5 Massenprozent nicht überschreiten (Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 21). Diese Pflicht entfällt, sofern eine getrennte Sammlung technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht zumutbar ist (§ 8 Abs. 2 GewAbfV). Die GewAbfV enthält hierzu konkrete Anforderungen, die durch die Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34 weiter konkretisiert werden. So ist eine technische Unmöglichkeit beispielsweise dann gegeben, wenn für die Aufstellung entsprechender Behältnisse nicht genug Platz vorhanden ist, oder wenn bei mineralischen Abfällen eine getrennte Sammlung aufgrund „rückbaustatischer und rückbautechnischer Gründe“ ausscheidet. Weitere Fälle der technischen Unmöglichkeit wären beispielsweise bei Brand- oder Wasserschäden gegeben oder aber bei Verbundstoffen (Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 51–52). Eine wirtschaftliche Unzumutbarkeit liegt dann vor, wenn die Kosten für die getrennte Sammlung außer Verhältnis zu den Kosten für eine gemeinsame Sammlung und anschließende Vorbehandlung bzw. Aufbereitung stehen. Dies ist beispielsweise bei sehr geringen Abfallmengen einer Fraktion (Richtwert bis 1 m³) oder hoher Verschmutzung gegeben (z.B. durch Anhaftungen, Störstoffanteile, Verklebungen) (Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 52–53). Die GewAbfV lässt die Sammlung weiterer Abfallfraktionen und die weitere getrennte Sammlung innerhalb einer Fraktion ausdrücklich zu (§ 8 Abs. 1 Satz 2 GewAbfV).

Ist die Getrennthaltung aus oben genannten Gründen nicht möglich, müssen diese als Gemische je nach Material einer Vorbehandlungsanlage oder einer Aufbereitungsanlage zugeführt werden. Einer Vorbehandlungsanlage (Sortierung) sind dabei Gemische zuzuführen sofern diese überwiegend aus Kunststoffen, Metallen oder Holz² bestehen; einer Aufbereitungsanlage (Herstellung von Gesteinskörnungen), sofern diese überwiegend Beton, Ziegel, Fliesen oder Keramik enthalten (§ 9 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1 und Nr. 2 GewAbfV). Auch hier gibt es die Ausnahme der technischen Unmöglichkeit und der wirtschaftlichen Unzumutbarkeit (§ 9 Abs. 4 Satz 1 GewAbfV).

Betreiber von Aufbereitungsanlagen müssen dabei sicherstellen, dass die entstehenden Gesteinskörnungen den öffentlich-rechtlichen Vorschriften und den gültigen DIN-Normen sowie den damit verbundenen Qualitätsansprüchen entsprechen und den Erzeugern und Besitzern dies bestätigen (§ 9 Abs. 2 GewAbfV, siehe auch (Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 66)). Betreiber von Vorbehandlungsanlagen müssen dabei insbesondere die ordnungsgemäße technische Ausstattung nachweisen (§ 6 Abs. 1 GewAbfV) sowie die Sortier- und Recyclingquoten einhalten (§ 6 Abs. 3 bis 6 GewAbfV).

Des Weiteren enthält die GewAbfV auf jeder Stufe der Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und Bau- und Abbruchabfällen umfangreiche Dokumentationspflichten.

2.1.4 Einstufung von Abfällen und daraus resultierende Pflichten

Ein Teil der Pflichten der Erzeuger und Besitzer von Abfällen ist die korrekte Bezeichnung der Abfälle sowie die Einstufung von Abfällen nach ihrer Gefährlichkeit.

Einstufung von Abfällen nach AVV und gefährliche Abfälle

Die Bezeichnung und Einstufung von Abfällen nach ihrer Gefährlichkeit ist gemäß der Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung, AVV) vorzunehmen. Diese enthält das Gesamtverzeichnis der Abfallarten, in dem sowohl die nicht gefährlichen als auch die gefährlichen Abfallarten erfasst sind. Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten) werden unter Kap. 17 der AVV gelistet. Dieses umfasst folgende Abfallarten:

Tabelle 13: Abfallschlüssel Kapitel Bauabfälle (AVV)

17	Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)
17 01	Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik
17 01 01	Beton
17 01 02	Ziegel
17 01 03	Fliesen und Keramik
17 01 06*	Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten
17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 01 06 fallen
17 02	Holz, Glas und Kunststoff

² Altholz wird in der Verordnung über die Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung, AltholzV) geregelt. Die Verordnung wird im Moment überarbeitet.

17	Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)
17 02 01	Holz
17 02 02	Glas
17 02 03	Kunststoff
17 02 04*	Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
17 03	Bitumengemische, Kohlenteer und teerhaltige Produkte
17 03 01*	kohlenteerhaltige Bitumengemische
17 03 02	Bitumengemische mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 03 01 fallen
17 03 03*	Kohlenteer und teerhaltige Produkte
17 04	Metalle (einschließlich Legierungen)
17 04 01	Kupfer, Bronze, Messing
17 04 02	Aluminium
17 04 03	Blei
17 04 04	Zink
17 04 05	Eisen und Stahl
17 04 06	Zinn
17 04 07	gemischte Metalle
17 04 09*	Metallabfälle, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
17 04 10*	Kabel, die Öl, Kohlenteer oder andere gefährliche Stoffe enthalten
17 04 11	Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 04 10 fallen
17 05	Boden (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten), Steine und Baggergut
17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten
17 05 04	Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen
17 05 05*	Baggergut, das gefährliche Stoffe enthält
17 05 06	Baggergut mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 05 05 fällt
17 05 07*	Gleisschotter, der gefährliche Stoffe enthält
17 05 08	Gleisschotter mit Ausnahme desjenigen, der unter 17 05 07 fällt
17 06	Dämmmaterial und asbesthaltige Baustoffe
17 06 01*	Dämmmaterial, das Asbest enthält
17 06 03*	anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält
17 06 04	Dämmmaterial mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 06 01 und 17 06 03 fällt

17	Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)
17 06 05*	asbesthaltige Baustoffe
17 08	Baustoffe auf Gipsbasis
17 08 01*	Baustoffe auf Gipsbasis, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
17 08 02	Baustoffe auf Gipsbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 08 01 fallen
17 09	Sonstige Bau- und Abbruchabfälle
17 09 01*	Bau- und Abbruchabfälle, die Quecksilber enthalten
17 09 02*	Bau- und Abbruchabfälle, die PCB enthalten (z.B. PCB-haltige Dichtungsmassen, PCB-haltige Bodenbeläge auf Harzbasis, PCB-haltige Isolierverglasungen, PCB-haltige Kondensatoren)
17 09 03*	sonstige Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich gemischter Abfälle), die gefährliche Stoffe enthalten
17 09 04	17 09 04 gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01, 17 09 02

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der AVV

Gefährliche Abfälle

Gefährliche Abfälle sind in der AVV mit einem * gekennzeichnet. Als gefährlich gilt ein Abfall, sobald er eine oder mehrere Eigenschaften aufweist, welche in Anhang III der EG-AbfRRL gelistet sind.

Grundsätzlich gelten für alle Abfälle, ungeachtet ihrer Gefährlichkeit, die Einhaltung der Abfallhierarchie und die Grundpflichten der §§ 7 und 8 KrWG. Sofern keine der drei Ausnahmen nach § 9 Abs. 2 Nr. 1 – 3 KrWG zutrifft, gilt nach § 9 Abs. 2 Satz 1 KrWG ein Vermischungs- sowie Verdünnungsverbot für gefährliche Abfälle mit anderen Abfällen, Stoffen oder Materialien. Sind nach Landesrecht Andienungs- und Überlassungspflichten für gefährliche Abfälle zur Beseitigung (sowie bspw. im Falle von Rheinland-Pfalz gemäß § 8 Abs. 4 Landeskreislaufwirtschaftsgesetz Rheinland-Pfalz (LKrWG RPF), das auch Andienungspflichten bei gefährlichen Abfällen zur Verwertung festlegt) bestimmt, muss diesen nachgekommen werden (§ 17 Abs. 4 KrWG). Die Erzeuger, Besitzer, Sammler, Beförderer und Entsorger von gefährlichen Abfällen haben eine ordnungsgemäße Entsorgung gefährlicher Abfälle nachzuweisen (§ 50 KrWG i.V.m. § 2 der Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (Nachweisverordnung, NachwV). Insbesondere kann die Einstufung von Abfällen als gefährlich insofern hinderlich für Recyclingaktivitäten sein, als beim Umgang mit diesen Abfällen eine entsprechende Genehmigungslage beim Abfallbehandler vorliegen muss. Generell kennt das Abfallrecht eine Skepsis gegenüber Recyclingaktivitäten bei gefährlichen Aktivitäten, wo diese zur Anreicherung gefährlicher Substanzen im Stoffkreislauf führen (siehe aktuell bereits § 6 Abs. 2 Satz 2 Nr. 4 KrWG); die EG-AbfRRL regelt in Art. 10 Abs. 5:

Falls (...) zur Erleichterung oder Verbesserung der Verwertung erforderlich ist, treffen die Mitgliedstaaten die notwendigen Maßnahmen, um vor oder während der Verwertung gefährliche Stoffe, Gemische oder Bestandteile aus gefährlichen Abfällen zu entfernen um sie anschließend im Einklang mit Artikel 4 und 13 zu behandeln.

POP und POP-Abfälle

Generell ist das Ziel, nach der EU-POP-Verordnung unter dem Vorsorgeprinzip persistent organische Schadstoffe (POPs) und POP-haltige Abfälle aus dem Kreislauf auszuschleusen (Art. 1 EU-POP-Verordnung). Enthalten Abfälle Konzentrationen oberhalb der relevanten Grenzwerte von Anhang IV und V der EU-POP-Verordnung, gelten die Pflichten aus Art. 7 dieser Verordnung. Laut Anlage der AVV führt die Überschreitung der Grenzwerte bei einigen Stoffen – wie bei PCB (siehe unten)– zugleich automatisch zur Einstufung des Abfalls als gefährlich; falls nicht, gelten die nationalen Pflichten aus der Verordnung über die Getrenntsammlung und Überwachung von nicht gefährlichen Abfällen mit persistenten organischen Schadstoffen (POP-Abfall-ÜberwV). Diese sieht vor, dass POP-Abfälle zwar nicht als gefährlich gelten, aber dennoch überwachungsbedürftig sind. Durch die POP-Abfall-ÜberwV soll eine lückenlose Überwachung der Abfälle bis zum Punkt der Zerstörung oder unumkehrbaren Umwandlung der POP gewährleistet werden (§§ 4 und 5 POP-Abfall-ÜberwV). Weiter konkretisiert die POP-Abfall-ÜberwV in Anlehnung an die Regelungen zu gefährlichen Abfällen das Getrenntsammlungsgebot und das Vermischungsverbot der EU-POP-Verordnung (§ 3 POP-Abfall-ÜberwV).

Die Konsequenzen der Entsorgung von POPs werden anhand eines Beispiels für HBCD (früherer Einsatz als Flammschutzmittel) verdeutlicht: Unter Anhang IV der EU-POP-Verordnung liegt die Konzentrationsgrenze für HBCD-haltigen Abfällen bei 1.000 mg/kg. HBCD-haltige Abfälle mit einer Konzentration > 1.000 mg/kg müssen daher gemäß Art. 7 Abs. 2 EU-POP-Verordnung,

„ohne unnötige Verzögerung und in Übereinstimmung mit Anhang V Teil I so beseitigt oder verwertet werden, dass die darin enthaltenen persistenten organischen Schadstoffe zerstört oder unumkehrbar umgewandelt werden, damit die verbleibenden Abfälle und Freisetzungen nicht die Eigenschaften persistenter organischer Schadstoffe aufweisen“.

Laut Anhang V, Teil 1 der EU-POP-Verordnung gehören zu den möglichen Behandlungs- und Verwertungsverfahren die chemisch/physikalische Behandlung (D9), die Verbrennung an Land (D10), die Hauptverwendung als Brennstoff oder anderen Mittel der Energieerzeugung mit Ausnahme PCB-haltiger Abfälle (R1) und Verwertung/Rückgewinnung von Metallen und Metallverbindungen (R4). In Ausnahmefällen ist für gelistete Abfälle in Teil 2, Anhang V der EU-POP-Verordnung eine permanente Lagerung in sicheren, tief gelegenen Felsformationen, in Salzbergwerken oder auf Deponien für gefährliche Abfälle erlaubt. Dabei dürfen sie den jeweiligen maximalen POP-Grenzwert nicht überschreiten (Teil 2, Anhang V der EU-POP Verordnung). Jedoch sind in Deutschland laut § 7 Abs. 2 der Verordnung über Deponien und Langzeitlagerung (Deponieverordnung, DepV) keine Abfälle auf obertägigen Deponien zugelassen, welche nach Anhang III der Richtlinie 2008/98/EG als explosiv, brandfördernd, entzündbar oder ätzend eingestuft werden.

Polychlorierte Biphenyle, polychlorierte Terphenyle und halogenierte Monomethyldiphenylmethane

Die Entsorgung polychlorierter Biphenyle, polychlorierter Terphenyle und halogenerter Monomethyldiphenylmethane regelt die Verordnung über die Entsorgung polychlorierter Biphenyle, polychlorierter Terphenyle und halogenerter Monomethyldiphenylmethane (PCB/PCTAbfallverordnung, PCBAbfallV). PCB müssen nach § 2 Abs. 1 PCBAbfallV unverzüglich beseitigt werden, sofern diese nicht im Sinne von § 1 Abs. 2 Nr. 3 nach Abs. 2 PCBAbfallV verwertet werden dürfen. Für kontaminierte Abfälle, welche bei Bautätigkeiten anfallen, gilt es bereits vor einer Sortierung sicherzustellen, dass die Fraktionen, die Stoffe nach § 1 Abs. 2 Nr. 1 oder Zubereitungen nach § 1 Abs. 2 Nr. 2 enthalten, entfernt, getrennt gehalten sowie getrennt beseitigt werden, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist (§ 2 Abs. 3

PCBAAbfallV). Die PCBAAbfallV ist im Baubereich vorrangig für Kondensatoren in beispielsweise Leuchtstofflampen relevant. Für die im Baubereich maßgeblich offenen Anwendungen gilt Art. 7 der EU-POP-Verordnung.

Asbest

Zentrale Regelwerke beim konkreten Umgang mit Asbestprodukten sind die Technische Regel für Gefahrstoffe 519 (TRGS 519) sowie die Asbestrichtlinien der jeweiligen Bundesländer. Die TRGS 519 gibt hierbei den Stand der sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen, hygienischen sowie arbeitswissenschaftlichen Anforderungen hinsichtlich des Umganges mit Asbest wieder. Die TRGS 519 enthält somit besondere Schutzmaßnahmen für den Umgang mit Asbest und asbesthaltigen Gefahrstoffen bei Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten (ASI-Arbeiten) sowie bei der Abfallentsorgung (aktive Gefährdung).

Die dem Bauordnungsrecht zugeordneten Asbestrichtlinien der einzelnen Bundesländer gelten ausschließlich für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Innenräumen (z.B. Punkt 1 „Richtlinie für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden“ (Staatlichen Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg 2001, S. 2)). Mit Hilfe der Asbestrichtlinien wird das generelle Gefahrenpotenzial für die Gebäudenutzer durch die vorhandenen Asbestprodukte bewertet (passive Gefährdung). Die Asbestrichtlinien regeln hierbei in erster Linie die Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen sowie den Schutz der Gebäudenutzer im Zusammenhang mit entsprechenden Sanierungsarbeiten. Die einschlägigen Asbestrichtlinien finden in der Regel keine Anwendung bei Asbestzementprodukten.

Weiter dient die Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 23 („Vollzugshilfe zur Entsorgung asbesthaltigen Abfälle) als Vollzugshilfe „für den Umgang mit asbesthaltigen Abfällen bei kontrolliertem Rückbau, Beförderung, Behandlung, Verwertung, Lagerung, Beseitigung und soll zu einem bundeseinheitlichen Vorgehen nach dem Stand der Technik führen (Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 23, S. 5).“

Weitere typische Schadstoffe, die in Bauprodukten vorkommen werden in Kap. 4.4.3 behandelt.

2.1.5 Ende der Abfalleigenschaft

Laut § 5 Abs. 1 KrWG endet die Abfalleigenschaft eines Stoffes oder Gegenstand, sofern er ein Verwertungsverfahren durchlaufen hat und so beschaffen ist, dass,

- 1. er üblicherweise für bestimmte Zwecke verwendet wird,*
- 2. ein Markt für ihn oder eine Nachfrage nach ihm besteht,*
- 3. er alle für seine jeweilige Zweckbestimmung geltenden technischen Anforderungen sowie alle Rechtsvorschriften und anwendbaren Normen für Erzeugnisse erfüllt sowie*
- 4. seine Verwendung insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt führt.*

Von besonderem Interesse ist hier insbesondere Kriterium 3, das die Einhaltung von allgemeinen und speziellen Produktanforderungen einfordert und insofern die Verknüpfung zum Produktrecht herstellt (siehe hierzu sogleich Kap. 0). Kriterium 4 erfordert eine vergleichende Sicherheitsbetrachtung. Hier muss geprüft werden, ob ein vergleichbares Sicherheitsniveau außerhalb das Abfallregimes erreicht wird. Ist dies zusätzlich zu Kriterium 1-3 gegeben, kann das Ende der Abfalleigenschaft erreicht werden.

Während es für einzelne wenige ausgewählte Abfallströme (bestimmte Arten von Bruchglas, Eisen- und Kupferschrotte) europäisch harmonisierte Verordnungen zum Ende der Abfalleigenschaft gibt, bestehen auf nationaler Ebene keine stoffstromspezifischen Regelungen

hierzu. Der Entwurf der Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (Ersatzbaustoffverordnung, ErsatzbaustoffV) (genauere Ausführungen siehe Kap. 2.2.2) enthält spezifische Regelungen zu Nebenprodukten und dem Ende der Abfalleigenschaft für mineralische Ersatzbaustoffe.

Die geänderte EG-AbfRRL entwickelt die Vorgaben zum Ende der Abfalleigenschaft fort. Die EU-Kommission überwacht die Erarbeitung nationaler Kriterien für das Ende der Abfalleigenschaft in den Mitgliedstaaten und prüft auf dieser Grundlage, ob unionsweit geltende Kriterien erarbeitet werden müssen. Zu diesem Zweck erlässt die Kommission gegebenenfalls Durchführungsrechtsakte zur Festlegung detaillierter Kriterien für die einheitliche Anwendung der Bedingungen aus Art. 6 Abs. 1 EG-AbfRRL auf bestimmte Abfallarten. Mit diesen detaillierten Kriterien muss ein hohes Maß an Schutz für Mensch und Umwelt sichergestellt und die umsichtige und rationelle Verwendung der natürlichen Ressourcen ermöglicht werden. Sie beinhalten gemäß Art. 6 Abs. 2 EG-AbfRRL:

- a) Abfallmaterialien, die der Verwertung zugeführt werden dürfen,
- b) zulässige Behandlungsverfahren und -methoden,
- c) Qualitätskriterien im Einklang mit den geltenden Produktnormen, erforderlichenfalls auch Schadstoffgrenzwerte, für das Ende der Abfalleigenschaft bei Materialien, die durch das Verwertungsverfahren gewonnen werden
- d) Anforderungen an Managementsysteme zum Nachweis der Einhaltung der Kriterien für das Ende der Abfalleigenschaft, einschließlich an die Qualitätskontrolle und Eigenüberwachung sowie gegebenenfalls Akkreditierung und
- e) das Erfordernis einer Konformitätserklärung.

Bei Erlass dieser Durchführungsakte berücksichtigt die Kommission die relevanten Kriterien, die die Mitgliedstaaten entsprechend festgelegt haben, wobei ihr die strengsten und die Umwelt am besten schützenden dieser Kriterien als Ausgangspunkt dienen (Art. 6 Abs. 2 EG-AbfRRL).

2.1.6 Abfallrechtliche Produktverantwortung

Die (abfallrechtliche) Produktverantwortung basiert auf dem Gedanken, dass bereits bei der Entwicklung und Herstellung von Produkten Aspekte der Kreislaufführung berücksichtigt werden sollen. Insbesondere werden herstellende und vertreibende Unternehmen von Produkten für den gesamten Lebenszyklus in die Pflicht genommen; viele Maßnahmen der Produktverantwortung knüpfen Pflichten an das Inverkehrbringen (neuer) Produkte.

Die Produktverantwortung umfasst eine Reihe von möglichen Maßnahmen wie

- ▶ Vorgaben für die Entwicklung mehrfach verwendbarer, langlebiger und umweltverträglicher Produkte;
- ▶ den Einsatz von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung neuer Erzeugnisse;
- ▶ die Kennzeichnungspflicht schadstoffhaltiger Erzeugnisse, die Hinweise auf Rückgabe-, Wiederverwendungs- und Verwertungsmöglichkeiten bzw. -pflichten sowie
- ▶ die Rücknahme und umweltgerechte Entsorgung nach Gebrauch (§ 23 Abs. 2 KrWG).

Diese Vorschriften sind jedoch abstrakte Grundpflichten, welche bei einer Missachtung folgenlos bleiben. Jedoch ist die Bundesregierung nach § 23 Abs. 4 KrWG ermächtigt, Rechtsverordnungen

bezüglich der Ausgestaltung von Produktverantwortung zu erlassen. Regelungen zur Produktverantwortung bestehen beispielsweise für die Abfallströme Verpackungen (Verpackungsgesetz - VerpackG), Fahrzeuge (Altfahrzeugverordnung - AltfahrzeugV), Batterien (Batteriegesetz - BattG), Elektro- und Elektronikgeräte (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG, Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung - ElektroStoffV)) sowie (Mineral-) Öle (Altölverordnung - AltölV)). Für Bau- und Abbruchabfälle generell ist bislang keine Produktverantwortung rechtlich festgelegt, so dass es bei der abstrakten Grundpflicht verbleibt. Es können aber Vorgaben aus den genannten Rechtsdokumenten auch für Bauprodukte relevant sein; so müssen Bauprodukte, die die Definition eines Elektrogerätes des ElektroG und der ElektroStoffV erfüllen, die dort genannten Anforderungen erfüllen.

2.2 Produktrecht

Produkte, die Sekundärrohstoffe enthalten, müssen grundsätzlich (zu Ausnahmen sogleich) dieselben Anforderungen bei dem Inverkehrbringen einhalten wie Produkte aus Primärrohstoffen. Da Produkte aus Sekundärrohstoffen bereits einen gesamten Lebenszyklus durchlaufen haben (der bei der Lebensdauer eines Gebäudes bzw. Bauproduktes meist zwischen 40 und 100 Jahren liegt (Agethen et al. 2015, S. 2)) ist es oftmals mit einigen Hindernissen verbunden, diese Anforderungen zu erfüllen; besonders im Gegensatz zu Produkten aus Primärrohstoffen.

Insofern ist Voraussetzung jeder rechtskonformen Recyclingtätigkeit, dass die erzeugten Produkte alle Anforderungen an Produkte erfüllen. Tatsächlich spielt Konformität mit produktrechtlichen Anforderungen bereits eine Rolle bei der Frage, ob für Abfall das Ende der Abfalleigenschaft erreicht wird bzw. werden kann, siehe hierzu oben Kap. 2.1.5. Im Rahmen dieses Kap. werden folgende Produkthanforderungen dargestellt:

- ▶ Relevante Regelungen der EU-Bauproduktenverordnung;
- ▶ Relevante Regelungen des sonstigen Baurechts.

2.2.1 EU-Bauproduktenverordnung

Die EU-Bauproduktenverordnung legt Bedingungen für das Inverkehrbringen von Bauprodukten oder ihre Bereitstellung auf dem Markt fest. Unter Anhang I legt die EU-Bauproduktenverordnung Grundanforderungen an Bauwerke fest. Unter Punkt 7 (Anhang I (7) EU-Bauproduktenverordnung) wird die Forderung einer nachhaltigen Nutzung der natürlichen Ressourcen dargelegt. So muss das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können, das Bauwerk dauerhaft sein und für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden. Die allgemeinen Anforderungen sind die Grundlage für die Ausarbeitung von Normungsaufträgen und harmonisierter technischer Spezifikationen.

Für Bauprodukte, die in den Anwendungsbereich von harmonisierten Normen nach der EU-Bauproduktenverordnung (beispielsweise Glas im Bauwesen - beschichtetes Glas (EN 1096-4), Kunststoffe - Profile aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) für die Anwendung im Bauwesen (EN 13245-2)) fallen oder die einer Europäischen Technischen Bewertung entsprechen, muss das herstellende Unternehmen eine Leistungserklärung für das Produkt erstellen³. Die Leistungserklärung gibt nach Art. 6 Abs. 1 EU-Bauproduktenverordnung die

³ Eine Liste der harmonisierten Normen findet man hier: <http://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/construction-products/>

Leistung von Bauprodukten in Bezug auf die wesentlichen Merkmale dieser Produkte gemäß den einschlägigen harmonisierten technischen Spezifikationen an. Es sind also bei der Leistungserklärung die in den Spezifikationen festgelegten Verfahren und Kriterien für die Bewertung der Leistung von Bauprodukten zu beachten. Der Inhalt einer Leistungserklärung ist näher in Art. 6 Abs. 3 EU-Bauproduktenverordnung geregelt.

Bauprodukte, für welche eine Leistungserklärung erstellt wurde, müssen die CE-Kennzeichnung tragen. Bei Produkten, die von einem Europäischen Technischen Bewertungsdokument erfasst sind, ist eine CE-Kennzeichnung nur verpflichtend, sofern für das Produkt eine Europäische Technische Bewertung ausgestellt wurde. Mit der CE-Kennzeichnung übernimmt das herstellende Unternehmen die Verantwortung für die Konformität des Bauprodukts mit dessen erklärter Leistung sowie für die Einhaltung aller geltenden Anforderungen, die in der EU-Bauproduktenverordnung und in anderen einschlägigen Harmonisierungsrechtsvorschriften der Union festgelegt sind, welche die Anbringung vorsehen (Art. 8 Abs. 2 EU-Bauproduktenverordnung).

2.2.2 Nationales Bauordnungsrecht in Deutschland

MBO

Um die Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Bundesländer im Bauwesen möglichst zu vereinheitlichen haben die 16 Bundesländer eine Standard- und Mindestbauordnung, die Musterbauordnung (MBO) erstellt. Diese wurde 2002 erstellt und zuletzt 2016 novelliert. Die MBO ist kein Gesetz, sondern dient als Orientierungsrahmen für die Bauordnungsgesetzgebung der Länder.

LBOen

Planung, Bemessung und Ausführung von Bauwerken und die Verwendung von Bauteilen sind in den Landesbauordnungen (LBO) geregelt. Diese enthalten unter anderem bundeslandspezifische Anforderungen, wann eine Abbruchgenehmigung erforderlich ist. Die Landesbauordnungen orientieren sich grundsätzlich an der gemeinsamen MBO.

MVV TB

Im Zuge der Novellierung der MBO wurden technische Bestimmungen (§ 85a MBO) in einer sogenannten Muster-Verwaltungsvorschrift Technischer Baubestimmungen (MVV TB) zusammengefasst. Diese enthalten Bestimmungen (anzuwendende Gesetze, Normen etc.) für Bauwerke, Bauteile und Bauprodukte. Um ein konkretes Beispiel zu zeigen, wird hier auf Anforderungen an Flächenbeläge aus Beton, hergestellt aus rezyklierten Gesteinskörnungen, eingegangen. Unter anderem handelt es sich dabei um folgende Vorgaben⁴ (Anhang 10 Kap. 6.1.1 MVV TB):

⁴ Die Musterbauordnung (MBO) enthält in § 85 a Abs. 1 MBO die Ermächtigung, im Rahmen einer Verwaltungsvorschrift die allgemeinen Anforderungen an bauliche Anlagen, Bauprodukte und andere Anlagen und Einrichtungen durch Technische Baubestimmungen zu konkretisieren.

In § 85 a Abs. 2 MBO werden detaillierte Vorgaben gemacht, zu welchen bauaufsichtlichen Anforderungen Konkretisierungen vorgenommen werden können. Die Konkretisierungen können durch Bezugnahme auf technische Regeln und deren Fundstellen oder auf andere Weise erfolgen; dabei enthalten die Teile A und B der MVV TB im Wesentlichen Vorschriften für die Planung, Bemessung und Ausführung von Bauwerken.

Das Deutsche Institut für Bautechnik macht nach Anhörung der beteiligten Kreise im Einvernehmen mit den obersten Bauaufsichtsbehörden die Technischen Baubestimmungen als Muster-Verwaltungsvorschrift bekannt. Für eine unmittelbare Geltung in dem jeweiligen Land ist die öffentliche Bekanntmachung der Verwaltungsvorschrift erforderlich (MVV TB).

- ▶ Es dürfen als Eingangsmaterialien in einer Bauschuttrecyclinganlage zur Herstellung der rezyklierten Gesteinskörnung nur Abfälle angenommen werden, die bei Bautätigkeiten angefallen sind und zuvor als natürliche oder künstliche mineralische Baustoffe in gebundener oder ungebundener Form im Hoch- und Tiefbau eingesetzt waren;
- ▶ Abfälle müssen bestimmten Abfallarten entsprechen;
- ▶ Kontaminierte Baustoffe und Bauteile sind während des Rückbaus eines Bauwerks zu separieren und einer geordneten Entsorgung zuzuführen;
- ▶ Die Stoffkonzentrationen im Eluat nach DIN EN 12457-4 sowie die Stoffgehalte im Feststoff der rezyklierten Gesteinskörnung müssen die Obergrenzen gemäß Tabelle A-3 einhalten.

Weiterhin beinhaltet die MVV TB unter anderem Angaben bzw. Verweise zu technischen Anforderungen für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile, schwach gebundene Asbestprodukte und Pentachlorphenol (PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (A 3.2.4, A 3.2.4 und A 3.2.7 MVV TB).

Die Neuerungen der MBO bzw. MVV TB wurden bereits von vierzehn Bundesländern, mit zum Teil landesspezifischen Abweichungen, in die LBO mitaufgenommen (noch nicht umgesetzt von Mecklenburg-Vorpommern und Saarland– Stand Mai 2020) (Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) 2020).

Mineralische Ersatzbaustoffe

Mit der Verwertung mineralischer Abfälle befasst sich die LAGA Mitteilung 20 „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen - Technische Regeln“ und wird aktuell in den meisten Bundesländern angewandt (Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20). Diese unterscheidet folgende Einbauklassen beim Einbau mineralischer Abfälle in bauliche Anlagen:

- ▶ Einbauklasse 0: Stellt die uneingeschränkte Verwertung von geeignetem Bodenmaterial in bodenähnlichen Anwendungen (Verfüllung von Abgrabungen und Abfallverwertung im Landschaftsbau außerhalb von Bauwerken) dar;
- ▶ Einbauklasse 1 (Zuordnungswerte Z 1.1 und Z 1.2): Eingeschränkter offener Einbau (wasserdurchlässige Bauweise);
- ▶ Einbauklasse 2 (Zuordnungswerte Z 2): Eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen (nicht oder nur gering wasserdurchlässige Bauweise).

Zuordnungswerte > Z 2 verlangen eine Ablagerung in Deponien (Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20, S. 13).

Handelt es sich um den Einsatz von Abfällen in Produkten, beispielsweise als Zuschlagstoff zur Herstellung von (Bau-)Produkten, müssen diese mindestens Z 2 erreichen, die grundsätzlichen Anforderungen der LAGA 20 erfüllen und die Zuordnungswerte der Technischen Regel „Abfalleinsatz in Produkten“. Eine Verschleppung von Schadstoffen muss ausgeschlossen werden (Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20, S. 23).

Die LAGA Mitteilung 20 bildet weder eine bundeseinheitliche noch eine rechtsverbindliche Grundlage. Künftig sollen ihre Regelungen durch die ErsatzbaustoffV als Teil der sogenannten

Mantelverordnung (MantelV)⁵ abgelöst werden, die sich derzeit im politischen Diskussionsprozess befindet. Diese legt spezielle Bedingungen für die schadlose Verwendung und das Inverkehrbringen mineralischer Ersatzbaustoffe aus Bautätigkeiten, industriellen Herstellungsprozessen oder aus Aufbereitungsanlagen fest. Dies betrifft die Annahme von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen (Abschnitt 2, ErsatzbaustoffV), das Herstellen von mineralischen Ersatzbaustoffen (Abschnitt 3, ErsatzbaustoffV), den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen (Abschnitt 4, ErsatzbaustoffV) sowie die getrennte Sammlung mineralischer Abfälle (Abschnitt 5, ErsatzbaustoffV).

2.3 Chemikalienrecht

2.3.1 Allgemeines Chemikalienrecht

Die EG-REACH-Verordnung stellt die Grundlage des allgemeinen Chemikalienrechts in der EU und aufgrund ihrer unmittelbaren Wirkung als Verordnung auch innerhalb Deutschlands dar. Sie enthält EU-weit harmonisierte Bedingungen für die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung von Stoffen als solchen, in Gemischen und in Erzeugnissen und gilt unmittelbar in allen Mitgliedstaaten der Europäischen Union.

Abfälle gelten gemäß Art. 2 Abs. 2 EG-REACH-Verordnung nicht als Stoff, Gemisch oder Erzeugnis im Sinne des Art. 3 der EG-REACH-Verordnung mit der Folge, dass Pflichten der EG-REACH-Verordnung ab Beginn der Abfalleigenschaft (also ab Vorliegen eines der Entledigungstatbestände) bis zum Ende der Abfalleigenschaft keine Anwendung finden. Im Folgenden werden die wichtigsten Pflichten der REACH-Verordnung beschrieben, die auch für Produkte aus Sekundärrohstoffen grundsätzlich uneingeschränkt zu erfüllen sind; Besonderheiten für Rezyklate sind angemerkt.

Neben der EG-REACH-Verordnung gilt die EG-CLP-Verordnung) als zweite große Verordnung des EU-Binnenmarktrechts zu Chemikalien. Die darin harmonisierten und rechtlich verbindlichen Einstufungen und Kennzeichnungen von Stoffen haben Auswirkungen auf mögliche Informationspflichten, Stoff- und Verwendungsbeschränkungen sowie Einstufungen unter der REACH-Verordnung.

Registrierung (Titel II EG-REACH-Verordnung)

Gemäß Art. 6 der EG-REACH-Verordnung müssen Stoffe als solche oder in Gemischen (und unter den weiteren Voraussetzungen des Art. 7 der EG-REACH-Verordnung auch Stoffe in Erzeugnissen) vor Inverkehrbringen bei der Europäischen Chemikalienagentur ECHA registriert werden. Die Registrierung besteht in der Übermittlung eines definierten Datensatzes. Unter den Bedingungen des Art. 2 Abs. 7 d) der EG-REACH-Verordnung können rezyklierte Stoffe von der Registrierung freigestellt sein.

Zulassung (Titel VII EG-REACH-Verordnung)

Die Zulassung unter der EG-REACH-Verordnung ist für so genannte besonders besorgniserregende Stoffe (*substances of very high concern, SVHC*) vorgesehen (Art. 56 EG-REACH-Verordnung). Diese Stoffe werden zunächst in die Kandidatenliste und dann in den Anhang XIV der EG-REACH-Verordnung gelistet. Nach Aufnahme in Anhang XIV unterliegen die Stoffe der Zulassungspflicht, d. h. diese Stoffe dürfen nur dann in Verkehr gebracht und

⁵ Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung

verwendet werden, wenn sie für die jeweilige Verwendung von der EU-Kommission ausdrücklich zugelassen wurden.

Beschränkungen (Titel VIII EG-REACH-Verordnung und ChemVerbotsV)

Die EG-REACH-Verordnung enthält des Weiteren Beschränkungen, d.h. Verbote oder Beschränkungen der Herstellung, des Inverkehrbringens oder der Verwendung von Stoffen. Die Beschränkungen sind in Anhang XVII der EG-REACH-Verordnung aufgeführt; einzelne Beschränkungen enthalten gesonderte Vorgaben für Rezyklate, namentlich enthält Eintrag Nr. 23 zu Cadmium unter Punkt 4 einen abweichenden, gegenüber nicht rezyklierten Stoffen weniger strengen, Grenzwert für Cadmium in PVC-Erzeugnissen wie Fenstern oder Türen, sofern diese rezykliert wurden.

Ergänzend enthält die Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens und über die Abgabe bestimmter Stoffe, Gemische und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (Chemikalien-Verbotsverordnung, ChemVerbotsV) zusätzliche nationale Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens und Anforderungen an die Abgabe von bestimmten gefährlichen Stoffen und Gemischen sowie von bestimmten Erzeugnissen⁶.

2.3.2 Besonderes Chemikalienrecht

Zusätzlich zum allgemeinen Chemikalienrecht treten bestimmte Regime des besonderen Chemikalienrechts, die Bedingungen für die Herstellung, das Inverkehrbringen oder die Verwendung von Stoffen, Gemischen oder Erzeugnissen enthalten. Hierzu zählen etwa die Beschränkungen für das Inverkehrbringen, die sich für POPs aus der EU-POP-Verordnung ergeben. Anhang I dieser Verordnung beinhaltet Stoffe, welche als solche in Zubereitungen oder als Bestandteile von Artikeln verboten sind. So ist beispielsweise die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung von Hexabromcyclododecan (HBCD) ab einer Konzentration von 100 mg/kg (Anhang 1 EU-POP-Verordnung) verboten. Dieser Grenzwert ist auch bei der Herstellung, dem Inverkehrbringen oder der Verwendung von rezyklierten Stoffen einzuhalten. Bestimmte Beschränkungen für das Inverkehrbringen und die Verwendung gelten für die in Anhang II der EU-POP-Verordnung aufgeführten Stoffe.

Schließlich können im konkreten Einzelfall weitere chemikalienrechtliche Beschränkungen für Stoffe bestehen, die auch in Bauprodukten eingesetzt werden, insbesondere die Verordnung (EU) 2017/852 über Quecksilber oder die Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase.

2.4 Zusammenfassung rechtlicher Rahmen

Unter Kap. 2 wurde ein Überblick über den rechtlichen Rahmen erarbeitet, welcher die wichtigsten Regelungen mit Bezug auf den Einsatz von rezyklierten Baustoffen darstellt. Die dort dargestellten Regelungen umfassen den gesamten Lebenszyklus: begonnen mit dem Abbruch und Rückbau, der Stufe als Abfall, dem Recycling, der Herstellung von Bauteilen und damit der Rückführung in den Kreislauf, der Vermarktung und der Nutzung (der Lebenszyklus ist in Abbildung 3 dargestellt). Folglich sind über den gesamten Lebenszyklus auch eine Vielzahl an Rechtsgebieten und einzelnen rechtlichen Regelungen zu berücksichtigen.

⁶ Für definierte Gehalte in bestimmten Produkten, die Abgabe für bestimmte Verwendungszwecke oder bestimmte Summen- oder Massegehalte von Formaldehyd, Dioxine und Furane, Pentachlorphenol und biopersistente Fasern bestehen Inverkehrbringensverbote (Anlage 1 ChemVerbotsV).

Sobald Produkte oder Stoffe die Stufe des Abfalls erreichen, spielt das KrWG eine wichtige Rolle. Dieses enthält unter anderem Regelungen bezüglich des Abfallbegriffs (§ 3 Abs. 1 KrWG), der Definition von Erzeuger und Besitzer (§ 3 Abs. 8, 9 KrWG), der Abfallhierarchie (§ 6 KrWG) und dem Ende der Abfalleigenschaft (§ 5 KrWG). Weiter sind Vorgaben zur abfallrechtlichen Produktverantwortung enthalten. Für Bauprodukte gibt es jedoch noch keine spezifischen Vorgaben in diesem Bereich.

Weitere relevante Regelungen auf den Stufen Abbruch und Rückbau, Abfall und Recycling sind die GewAbfV mit der Getrennthaltungspflicht bestimmter Bauabfälle und die AVV zur Bezeichnung und Einstufung von Abfällen nach ihrer Gefährlichkeit. Je nach Einstufung der Abfälle ergeben sich bestimmte Konsequenzen für die Entsorgung der Abfälle. Gerade für gefährliche Abfälle, POP-haltige Abfälle und sonstige Schadstoffe ergibt sich daher die Notwendigkeit, das politische Ziel europäischer und nationaler Abfallpolitik, durch Recycling die Kreislaufwirtschaft zu fördern und folglich natürliche Ressourcen zu schonen im Kontext des im Chemikalienrecht und im Abfallrecht verankerten Ziels zu betrachten, Mensch und Umwelt zu schützen, indem schädliche oder gefährliche Abfälle aus dem Kreislauf ausgeschleust werden.

Sobald der Abfall den Abfallstatus verlässt und wieder in den Kreislauf zurückgeführt wird, unterliegt er grundsätzlich als Produkt aus Sekundärrohstoffen den gleichen Bedingungen, Beschränkungen oder Verboten des Inverkehrbringens und der Verwendung wie auch Produkte aus Primärrohstoffen (sofern nicht spezielle Regelungen für rezyklierte Stoffe anzuwenden sind). So greift ab diesem Punkt das Chemikalienrecht mit der EG-REACH-Verordnung, der EG-CLP-Verordnung sowie der EU-POP-Verordnung.

Anforderungen an die Herstellung, den Einsatz und den Ausbau mineralischer Ersatzbaustoffe werden in Zukunft in der ErsatzbaustoffV festgelegt (zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts ist die ErsatzbaustoffV als Entwurf vorhanden). Für die Vermarktung von Bauprodukten gilt es die BauPVO anzuwenden.

Unter nationalem Bauordnungsrecht sind die MBO sowie die darin enthaltenen Technischen Baubestimmungen bzw. die LBO zu berücksichtigen.

Weiter existieren für einzelne Stoffe und Produkte spezifische Normen oder technische Regelungen. Diese sind in Anhang D zu diesem Bericht enthalten.

3 Beteiligte und ihre Beiträge

Die Entwicklung und Verwendung möglichst recycelbarer Materialien sowie der Einsatz von rezyklierten Baustoffen setzen unterschiedliche und abgestimmte Beiträge aller direkt und indirekt beteiligten Akteurinnen und Akteure entlang des gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks und der verbauten Produkte voraus. Im Hinblick auf die Realisierung beider Ansätze gilt es zwischen zwei wesentlichen Handlungsfeldern zu unterscheiden:

- ▶ Wiedergewinnung von Sekundärrohstoffen aus dem Bauwerksbestand;
- ▶ Planung von ressourcenschonenden und recyclinggerechten Neubauten.

Trotz zahlreicher Wechselwirkungen erfordern die beiden Handlungsfelder unterschiedliche Beiträge und betreffen verschiedene Beteiligte (KNBau 2018, S. 8).

Der Lebenszyklus eines Baustoffes oder Baumaterials kann analog zum Lebenszyklus eines Bauwerks gezeichnet werden. Dabei gilt es zu beachten, dass entscheidende Lebenszyklusphasen des Bauprodukts (z.B. Produktdesign) oftmals bereits durchlaufen sind, wenn der Lebenszyklus eines Bauwerks beginnt. Allerdings kann es bei bestimmten Produkten und Bauwerken auch zu parallelen oder sequenziellen Phasen im jeweiligen Lebenszyklus kommen. Diese Phasen sind dann idealerweise miteinander abgestimmt bzw. bedingen einander. Beispielsweise werden Spezialbauteile (z.B. speziell angefertigte Fensterrahmen) während der Konzeptions- und Ausführungsplanung eines Bauwerks designt. Das Bauwerk ist aufgrund der Langlebigkeit der konstitutiven Bestandteile – insbesondere der tragenden Teile – wiederum eine Konfiguration unterschiedlicher und zeitlich begrenzter Einzelbauteile (Balck und Lützkendorf 2015, S. 33). Zahlreiche Bauprodukte weisen aufgrund von Umbaumaßnahmen oder Instandsetzungen eine deutlich kürzere Nutzungsphase als die des Bauwerks und der konstitutiven Bestandteile auf. Wandbeschichtungen weisen beispielsweise nur eine Lebensdauer von 2 bis 8 Jahren auf, sofern sie während Renovierungsarbeiten nicht erhalten bleiben (z.B. durch Überstreichen) (Balck und Lützkendorf 2015, S. 33). Mit Blick auf die gewünschte Stärkung des Recyclings sowie des Einsatzes von Sekundärrohstoffen bei Neuprodukten und der verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten ist es essenziell, zwischen den unterschiedlichen produktspezifischen Lebenszyklen, welche sich häufig deutlich von der Gesamtdauer eines Bauwerks unterscheiden, zu differenzieren.

3.1 Bezugssystem für Analyse der Beteiligten und deren Beiträge

In Abbildung 5 wird zwischen zwei elementaren, systematisch verknüpften Lebenszyklen unterschieden. Zum einen der Lebenszyklus eines Bauproduktes und zum anderen der des Bauwerks. Weiterhin werden direkt beteiligte Akteurinnen und Akteure sowie deren beispielhafte Beiträge in den jeweiligen Lebenszyklusphasen benannt. Die hier gezeigte Auswahl beschränkt sich auf Beteiligte, die entweder im Besitz der Bauprodukte (z.B. Bauverantwortliche) sind oder aktiv an der Steuerung der Materialflüsse sowie Materialauswahl beteiligt sind (z.B. Architekturschaffende) (Wahlström et al. 2020, S. 18). Weitere wichtige Beteiligte (z.B. Verwaltungen, Kontrollorgane, Prüfinstitute, Forschungseinrichtungen) sind in der Regel indirekt an der Ausgestaltung von Materialkreisläufen beteiligt und werden mit Blick auf die konkreten Rahmenbedingungen ausgewählter Produkte weiterführend analysiert. Die identifizierten Beiträge gehen teils über die rechtlichen Pflichten und Aufgaben der Beteiligten hinaus, sind aber dennoch in der heutigen Praxis etabliert (z.B. in Form von freiwilligen Selbstverpflichtungen). Außerdem beziehen sich die Beiträge auf das Recycling eines

3.2 Grundlegende Beiträge zum Recycling

Ein Recycling von Bauprodukten erfordert gezielte Beiträge von allen Beteiligten. Die in Abbildung 5 genannten Beiträge bilden den momentanen und produktunspezifischen Stand der Entsorgungs- und Recyclingpraxis ab. Je nach Bauprodukt können die Beteiligten und Beiträge variieren. Im Folgenden werden einzelne, übergeordnete Beiträge kurz beschrieben. Die hauptsächlich verantwortlichen Beteiligten sind Abbildung 5 zu entnehmen.

► Optimierung der Baustellenlogistik und Aufbereitung beim Abbruch, Rückbau oder bei Renovierungen

Eine optimierte Baustellenlogistik muss an die Bedingungen am Abbruchort sowie die angestrebte Verwertung angepasst sein. Dabei kommt es in der Regel zu einer Kombination aus Abbruch und selektivem Rückbau einzelner Komponenten (siehe hierzu Kap. 4.4) (KNBau 2018, S. 10). Zentrale Bestandteile einer optimierten Baustellenlogistik sind die örtlich verfügbaren Methoden zur Detektion, (sensorbasierte) Sortierung und Trennung von Baumaterialien. Die anschließende Aufbereitung kann in mobilen oder stationären Anlagen erfolgen (KNBau 2018, S. 12). Bestimmte Bau- und Abbruchabfälle erfordern allerdings gesonderte Aufbereitungstechnologien und müssen dementsprechend von spezialisierten Entsorgern behandelt werden. Beispielsweise gibt es für die selektive Aufbereitung von Verbundwerkstoffen wie Beton bereits vielversprechende Ansätze aus der Forschung, jedoch sind diese Verfahren aktuell noch nicht im industriellen Maßstab einsetzbar.

► Ausschleusung von Schadstoffen

Als Schadstoffe werden Substanzen mit potenziell negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt bezeichnet, welche im Bauschutt oder als Bestandteil von Baustoffen vorliegen können. Typische Beispiele sind Asbest, Mineralwolle, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, polychlorierte Biphenyle (PCB), Schwermetalle, bromierte Flammschutzmittel (z.B. HBCD, PBDE, decaBDE) sowie kurzkettige Chlorparaffine (SCCP) (KNBau 2018, S. 14).

Die Reduzierung bzw. Ausschleusung von Schadstoffen stellt eine zentrale Herausforderung für den Wiedereinsatz von rückgebauten Baustoffen an. Bei Verdacht auf schadstoffbelastete Baustoffe (z.B. Asbest) werden diese idealerweise bereits am Ort des Rückbaus durch Spezialfirmen sortenrein getrennt und separat entsorgt. Problematisch wird die Feststellung von Schadstoffbelastungen bei Unkenntnis über die Herkunft und Zusammensetzung einzelner verbauter Baustoffe. Ein Nachweis von Schadstoffen kann dann nur stichprobenartig nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt werden. Es gilt, dass beim Abriss von Bestandsgebäuden gemäß § 7 Abs. 1 Gefahrstoffverordnung ein Abriss- und Schadstoffkataster mit einem Rückbau- und Entsorgungskonzept von einem beauftragten Bausachverständigen anzulegen ist. Diese Aufgaben werden im Falle eines Rückbaus in der Regel vom Abrissunternehmen übernommen. Eine lückenlose Überwachung von Baustoffen auf Schadstoffe ist derzeit und wohl auch in Zukunft wirtschaftlich nicht realistisch umsetzbar. Aktuell ist davon auszugehen, dass unbemerkt aufbereitete Schadstoffe in belasteten Baustoffen durch die Vermischung mit anderen Baustoffen hochgradig „verdünnt“ werden und in der Folge oft kein unmittelbares Gefährdungspotential darstellen. Dies ist insofern plausibel, als dass Schadstoffe überwiegend aus privaten Baumaßnahmen (meist dürfte Unkenntnis der Grund sein) ihren Weg zurück in den Stoffkreislauf finden. Diese Mengen sind deutlich kleiner als sie bei Rückbaumaßnahmen durch beauftragte

Abrissunternehmen entstehen und werden somit stark verdünnt am Ende der Bauschutttaufbereitung vorliegen. Hierbei gilt es in jedem Fall zu berücksichtigen, dass gemäß § 9 Art. 2 KrWG ein Vermischungs- sowie Verdünnungsverbot für gefährliche Abfälle mit anderen Abfällen, Stoffen oder Materialien gilt (siehe Kap. 2.1.4).

Eine effektive Ausschleusung von Schadstoffen aus dem Bauwerksbestand bzw. aus den entnommenen Bauprodukten erfordert lückenlos abgestimmte untergeordnete Beiträge (Aktivitäten) mehrerer Beteiligter. Einer dieser untergeordneten und nachgelagerten Beiträge bezieht sich auf die Behandlung von Schad- und Störstoffen, die aus dem Materialkreislauf für ein Recycling ausgeschleust wurden. Eine detaillierte Betrachtung dieser untergeordneten Beiträge kann nur auf Produktebene erfolgen.

► **Produktspezifische Rücknahme von ausgebauten Produkten und Materialien**

Freiwillige oder vorgeschriebene Rücknahmesysteme der herstellenden Unternehmen oder von Zusammenschlüssen aus unterschiedlichen Beteiligten (z.B. herstellende Unternehmen und Recyclingunternehmen) können einen wesentlichen und übergeordneten Beitrag zu einem Recycling liefern. Konkret beinhaltet dieser mögliche Beitrag die Zufuhr von ausgebauten Produkten oder Materialien in den Herstellungsprozess. Ein essenzieller, untergeordneter Beitrag besteht darin, den Nachweis über relevante Qualitätskriterien zu erbringen.

Diese Art der produktspezifischen Rücknahme und Verantwortung – oftmals im Rahmen freiwilliger Selbstverpflichtungen - führt zu einer optimalen Ausnutzung von technischen Kompetenzen und des Innovationspotenzials von herstellenden Unternehmen hinsichtlich der recyclinggerechten Gestaltung von Bauprodukten. Bereits in der Praxis etablierte Rücknahmesysteme für den Baubereich existieren z.B. für Steinwolle, PVC-Fensterrahmen und Dachbahnen (KNBau 2018, S. 15). Diese Rücknahmesysteme basieren auf freiwilligen Selbstverpflichtungen oder anderweitigen Initiativen von herstellenden Unternehmen und/oder Recyclingunternehmen. Weiterhin existieren diverse Rücknahmesysteme der jeweiligen herstellenden Unternehmen für Pre-Consumer Abfälle (z.B. Porenbeton-Verschnitt).

► **Einsatz von Sekundärrohstoffen in produktbezogener Beschaffung**

Um den Einsatz von Sekundärrohstoffen in Bauprodukten zu ermöglichen, muss zunächst der Besitzer (i.d.R. Abfallerzeuger) von Sekundärrohstoffen in die Pflicht genommen werden, die Qualität der Sekundärrohstoffe sicherzustellen. Dies dient der Produktsicherheit und ist eine Voraussetzung für einen rechtmäßigen und technisch einwandfreien Einsatz. Zu diesem Zweck müssen sowohl die bestehenden rechtlichen Anforderungen (z.B. REACH) sowie, falls vorhanden, material-/produktspezifische Spezifikationen oder Qualitätsanforderungen (z.B. Sortenreinheit, Farbreinheit, etc.) erfüllt werden. Dem verwendenden Unternehmen von Sekundärrohstoffen, also den Herstellfirmen von Bauprodukten, dürfen durch den Einsatz keine Nachteile entstehen. Je sortenreiner die Sekundärrohstoffe angeboten werden können, desto hochwertiger können die daraus produzierten Produkte sein.

► **Recyclinggerechtes Produktdesign und Kennzeichnung**

Idealerweise erfolgt die Entwicklung und Herstellung von neuen Bauprodukten vor dem Hintergrund einer späteren individuellen oder kollektiven Rücknahme durch die jeweiligen herstellenden Unternehmen oder deren Recyclingpartner. Neben dem Einsatz von

rezyklierten Materialien, muss das Produktdesign den selektiven Rückbau erleichtern und ein Recycling begünstigen (KNBau 2018, S. 16). Dabei spielt auch die Kennzeichnung von möglichen Schadstoffen bereits während der Vermarktung der Produkte eine wichtige Rolle.

► **Vermarktung von RC-Baustoffen**

Um die Akzeptanz von RC-Baustoffen zu erhöhen, sollten diese aktiver beworben und den jeweiligen Verwendenden bzw. Entscheidungstragenden (z.B. Architekturschaffende, Bauverantwortliche) zielstrebig angeboten werden. Dabei können Aspekte wie Schonung primärer Rohstoffquellen durch den Einsatz von RC-Material gezielt als Werbeslogan eingesetzt werden. Allerdings kann eine aktive Bewerbung von RC-Baustoffen im Einzelfall sogar hinderlich für die Stärkung des Recyclings sein, sofern Kunden und Kundinnen nicht ausreichend über die tatsächlichen Chancen und Risiken informiert sind bzw. die Information hierüber die grundsätzlichen Bedenken nicht ausräumen kann.

► **Nachhaltige Planung und Errichtung von Bauwerken**

Gemäß der EU-Bauproduktenverordnung muss die Neubauplanung dafür Sorge tragen, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden können (siehe hierzu auch Kap. 2.2.1). Somit stellt eine lebenszyklusbasierte Betrachtungsweise einen unabdingbaren Beitrag der planenden und ausführenden Akteurinnen und Akteure dar. Neben einem geeigneten und recyclingoptimierten Produktdesign müssen rückbaubare Konstruktionen während der Planungsphase entwickelt und dokumentiert werden (KNBau 2018, S. 8,16). Dies beinhaltet u.a. eine Planung mit lösbaren Verbindungen und modularen Bauwerkselementen. Aber auch die initiale Auswahl von geeigneten Bauprodukten obliegt den planenden Akteurinnen und Akteuren und muss in enger Abstimmung mit den herstellenden Unternehmen erfolgen. Dies entspricht einer horizontalen Integration von Beteiligten. Aufgrund der unterschiedlichen Lebensdauern von einzelnen Bauprodukten, muss der Zugang zu diesen Produkten eingeplant werden. Typischerweise schwer oder nur unter hohem Aufwand recycelbare Verbundmaterialien sind, wenn möglich, zu vermeiden. Zusammenfassend lassen sich drei Grundprinzipien bzw. untergeordnete Beiträge der nachhaltigen und ressourcenschonenden Neubauplanung herausstellen (KNBau 2018, S. 16):

- Lösbarkeit von Verbindungen,
- Verträglichkeit von Materialien,
- Verzicht auf Schad- und Störstoffe.

► **Gebäudedokumentation und Rückbaukonzept**

Die Beiträge hinsichtlich Materialien- und Produktauswahl sowie der konstruktiven Gestaltung müssen mit einer lückenlosen Dokumentation einhergehen. Nur so können aufwendige Analysen in Zukunft vermieden werden. Eine umfassende Baudokumentation kann beispielsweise auf Grundlage von BIM-Methoden (siehe hierzu auch Kap. 4.4.4) basieren (KNBau 2018, S. 16). Der als hochwertig deklarierte Verwertungspfad (vgl. Anhang B), also das Schließen von Materialkreisläufen ist nicht zwangsläufig die ökologisch sinnvollste Alternative. Beispielsweise können sich Energieaufwendungen für einen Transport zu weit entfernten Verwertungsanlagen negativ auf die Umwelt auswirken und eines der erklärten Ziele des Recyclings könnte demzufolge verfehlt werden. Um diese Art

von Auswirkungen abschätzen zu können, kommen in der Praxis umfassende Ökobilanzen zum Einsatz (VDI 2014, S. 44).

Unter dem Begriff Rückbau wird per Definition der selektive bzw. verwendungs-/verwertungsorientierte Rückbau als eine spezifische Abbruchart verstanden, der zum Ziel hat, die anfallenden Abfallfraktionen hochwertig zu verwerten (Meetz et al. 2015, S. 9). Im Wesentlichen ist damit die möglichst sortenreine Erfassung der Stoffe beim Rückbau von Gebäuden und deren fachgerechte Entsorgung gemeint. Ein Rückbaukonzept schließt die Planung der Vorbereitung als auch der Durchführung des Rückbaus ein. Die Vorbereitung und Realisierung der Maßnahme unterteilt sich dabei vor allem in die Verantwortungsbereiche der folgenden Akteurinnen und Akteure (Meetz et al. 2015, S. 14):

- Planende Personen und Institutionen,
- Bauverantwortliche,
- Behörde,
- Rückbauunternehmen,
- Recyclingunternehmen.

Dabei trägt der Bauverantwortliche die Gesamtverantwortung bei einer Rückbaumaßnahme. Wenn dieser nicht über die geeignete Fachkunde für einzelne Aufgaben verfügt – und das ist die Regel - so beauftragt er die geeigneten Fachleute (Meetz et al. 2015, S. 14).

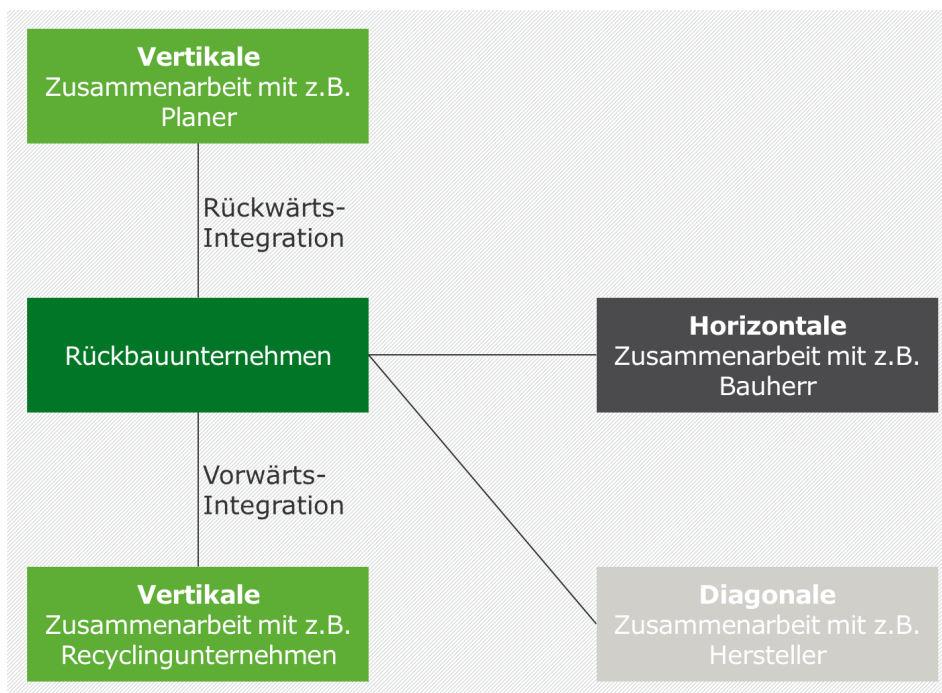
3.3 Zusammenfassung der Beiträge und Zusammenhänge beim Rückbau eines Gebäudes

Wie aus Abbildung 5 (S.62) bereits visuell hervorgeht, lassen sich potenzielle Beitragslücken (= Hemmfaktoren für ein Recycling) identifizieren, die allerdings nur bei Betrachtung spezifischer Bauprodukte näher analysiert werden können. Ein erheblicher Bruch innerhalb der vertikalen Integration (siehe auch Abbildung 6) entlang der Wertschöpfungskette von Bauprodukten entsteht nach der Fertigstellung einzelner Bauleistungen bzw. eines kompletten Bauwerks. Der Verantwortungsbereich von herstellenden Unternehmen und vom Bauverantwortlichen beauftragten Firmen beschränkt sich auf teilweise ungenügende Gewährleistungsfristen, welche den überwiegenden und aus Recyclingsicht entscheidenden Teil des Lebenszyklus nicht abdecken (Balck und Lützkendorf 2015, S. 37). Eine abfallrechtliche Produktverantwortung, die die herstellenden und vertreibenden Unternehmen in die Pflicht nimmt - wie dies in anderen Bereichen bereits der Fall ist - ist im Baubereich nicht etabliert.

Die horizontale Integration von Beteiligten (Abbildung 6), insbesondere die Verknüpfung der Bauproduktosphäre mit der Bauwerksphäre gestaltet sich ebenfalls fragmentiert und ist von potenziellen Informations- und Kommunikationsbrüchen gekennzeichnet. Das vorhandene und umfangreiche Produktwissen wird unzureichend mit planenden Personen bzw. Institutionen und Architekturschaffenden ausgetauscht, da in der Regel lediglich ein Abgleich mit entsprechenden Normen erfolgt (Balck und Lützkendorf 2015, S. 37). In die entgegengesetzte Richtung fließen ebenso wenig Betreiberinformationen von den Nutzern zurück zu den planenden Personen bzw. Institutionen.

Ausgehend von den direkt beteiligten Akteurinnen und Akteuren während der Lebenszyklusphase des Rückbaus werden die Zusammenhänge in Abbildung 6 beispielhaft grafisch dargestellt. Um der Komplexität der Bauwirtschaft und den produktspezifischen Besonderheiten beim Rückbau eines Gebäudes gerecht zu werden, müssen die Zusammenhänge stets produktspezifisch erörtert werden (siehe Kap. 5).

Abbildung 6: Rahmenkonzept zur beispielhaften Darstellung der Zusammenhänge beim Rückbau eines Gebäudes



Quelle: Eigene Darstellung

4 Derzeitige Entsorgungspraxis Bau- und Abbruchabfälle

4.1 Abgrenzung und Definition

Unter Bau- und Abbruchabfällen (häufig auch nur als Bauabfälle bezeichnet) lassen sich alle Abfälle zusammenfassen, die bei der Errichtung, dem Umbau oder der Beseitigung eines Bauwerks anfallen. Diese können sowohl gefährlich oder ungefährlich sein. In der Baupraxis wird der Regel folgende Kategorisierung vorgenommen (Müller 2018, S. 80):

- ▶ Bauschutt: z.B. aus Abbruch von Gebäuden, Tiefbauten und Ingenieurbauwerken;
- ▶ Bodenaushub / Boden und Steine: z.B. aus der Errichtung von Hochbauten und bei der Erneuerung oder Neuerrichtung von Straßen- und Tiefbauten;
- ▶ Straßenaufbruch: z.B. aus Straßen und Verkehrsflächen;
- ▶ Bauabfälle auf Gipsbasis: z.B. Gipskartonplatten oder Spachtelmassen;
- ▶ Baustellenabfälle: z.B. aus Ausbau oder Gebäudesanierung.

In der Abfallverzeichnisverordnung sind Bau- und Abbruchfälle in Kap. 17 mit insgesamt 38 Abfallarten erfasst. 16 Abfallarten sind gefährlich, zehn davon als Spiegeleintrag. Nachfolgende Tabelle zeigt, welche ungefährlichen Abfallarten den zuvor genannten Kategorien jeweils zugeordnet werden können.⁷

Tabelle 14: Einteilung von Abfällen in der Baupraxis und Zuordnung zu Abfallarten nach AVV (BBS 2018, S. 5)

Einteilung Baupraxis	AVV-Nummer	Bestandteile
Bodenaushub / Boden und Steine	17 05 04	Boden und Steine ohne gefährliche Stoffe
	17 05 06	Baggergut ohne gefährliche Stoffe
	17 05 08	Gleisschotter ohne gefährliche Stoffe
Straßenaufbruch	17 03 02	Bitumengemische ohne gefährliche Stoffe
Bauschutt	17 01 01	Beton
	17 01 02	Ziegel
	17 01 03	Fliesen und Keramik
	17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik ohne gefährliche Stoffe
Baustellenabfälle	17 02 01	Holz
	17 02 02	Glas
	17 02 03	Kunststoff

⁷ Hinweis: Da das Vorhaben auf eine Stärkung des Recyclings insbesondere für ungefährliche Abfälle abzielt, werden gefährliche Abfälle an dieser Stelle nicht näher dargestellt. Da Schadstoffe in Gebäuden die Rückbau- und Entsorgungspraxis jedoch maßgeblich beeinflussen, werden diese in Kap. 5 näher betrachtet.

Einteilung Baupraxis	AVV-Nummer	Bestandteile
	17 04 01	Kupfer, Bronze, Messing
	17 04 02	Aluminium
	17 04 03	Blei
	17 04 04	Zink
	17 04 05	Eisen und Stahl
	17 04 06	Zinn
	17 04 07	gemischte Metalle
	17 04 11	Kabel ohne gefährliche Stoffe
	17 06 04	Dämmmaterial ohne gefährliche Stoffe
	17 09 04	Gemischte Bau- und Abbruchabfälle ohne gefährliche Stoffe
Bauabfälle auf Gipsbasis	17 08 02	Baustoffe auf Gipsbasis ohne gefährliche Stoffe

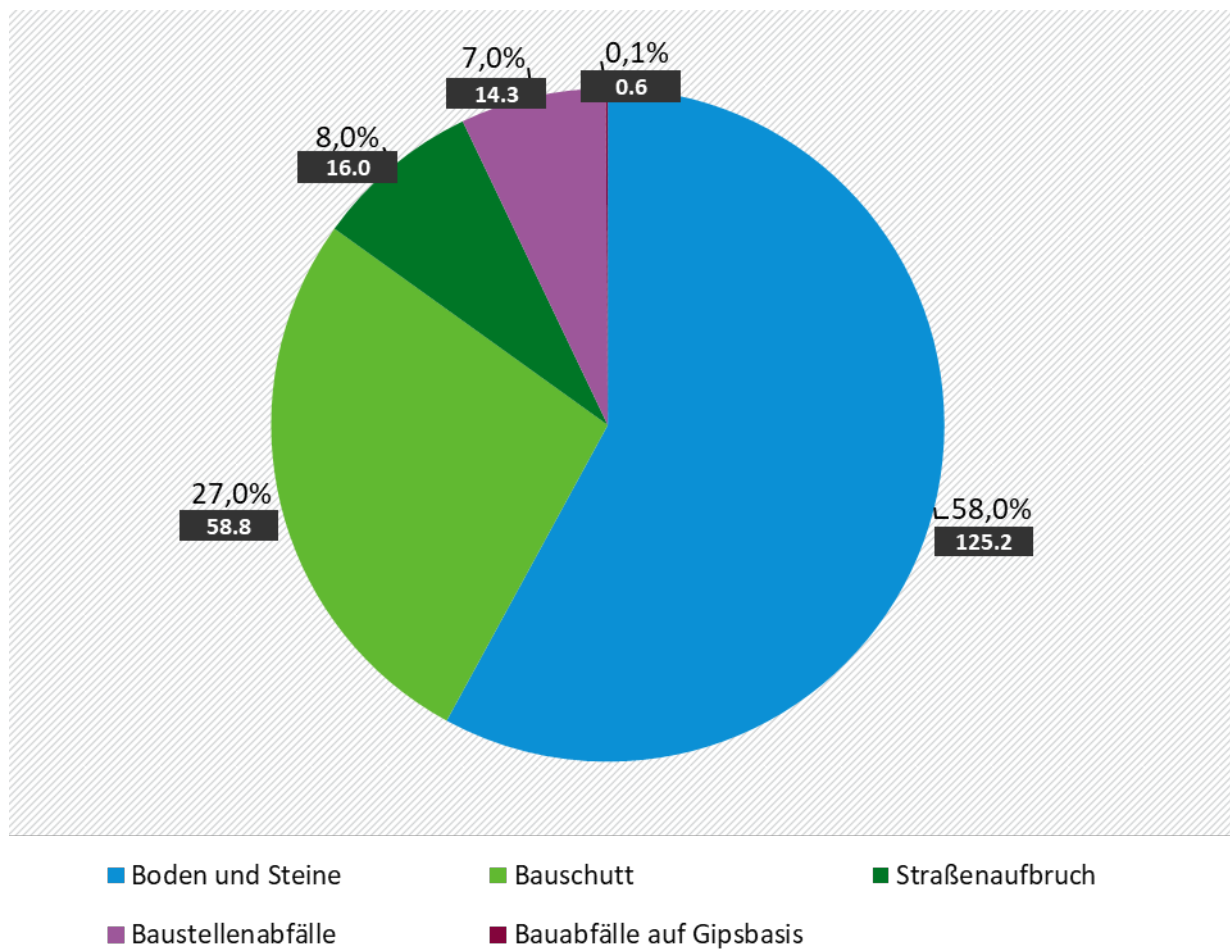
4.2 Abfallaufkommen und Entsorgungswege

Das Statistische Bundesamt dokumentiert in der jährlichen Statistik über die Abfallentsorgung das Aufkommen, die Verwertung und die Beseitigung von Abfällen (Destatis 2019). Grundlage der erfassten Abfallarten ist die Abfallverzeichnisverordnung (AVV). Für Bau- und Abbruchabfälle werden somit jährlich Erhebungen für alle in Kap. 17 der AVV enthaltenen sechststelligen Abfallschlüssel veröffentlicht. Basierend auf den amtlichen Daten des Statistischen Bundesamtes veröffentlicht die Initiative „Kreislaufwirtschaft Bau“ im Zweijahresrhythmus Monitoring-Berichte zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle. Diese Monitoring-Berichte sind geeignet, einen Überblick über Abfallaufkommen und Entsorgungswege ungefährlicher Bau- und Abbruchabfälle zu geben.⁸

Im derzeit aktuellen 11. Monitoring-Bericht wird die Situation für 2016 dargestellt (BBS 2018, S. 6). Demnach wurden in Deutschland im Jahr 2016 214,6 Mio. t mineralische Bauabfälle statistisch erfasst. Nachstehende Abbildung zeigt erfasste Mengen sowie prozentuale Anteile der in Kap. 4.1 dargestellten fünf Kategorien verschiedener Bau- und Abbruchabfälle an der Gesamtmenge.¹⁰

⁸ Hinweis: Da das Vorhaben auf eine Stärkung des Recyclings insbesondere für ungefährliche Abfälle abzielt, werden Aufkommen und Entsorgungswege gefährlicher Abfälle an dieser Stelle nicht näher dargestellt. Da Schadstoffe in Gebäuden die Rückbau- und Entsorgungspraxis jedoch maßgeblich beeinflussen, werden diese in Kap. 5 näher betrachtet. Im direkten Vergleich mit ungefährlichen Abfällen sind gefährliche Abfälle mengenmäßig von untergeordneter Bedeutung. Nach der „Erhebung der Abfallentsorgung“ des Statistischen Bundesamts wurden im Jahr 2016 knapp 6 Mio. t gefährliche Bau- und Abbruchabfälle in Abfallentsorgungsanlagen in Deutschland behandelt.

Abbildung 7: Mineralische Bauabfälle im Jahr 2016 in % und Mio. t



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf BBS (2018, S. 6))

4.2.1 Boden und Steine

In der Kategorie Boden und Steine wurden im Jahr 2016 125,2 Mio. t Bodenaushub, Baggergut und Gleisschotter erfasst (BBS 2018, S. 7). Dies entspricht etwa 58 % der insgesamt erfassten Menge mineralischer Bau- und Abbruchabfälle.

Nachstehende Tabelle gibt eine nähere Beschreibung der in der Kategorie Boden und Steine erfassten Abfälle an (VDI 2014, S. 17–21).

Tabelle 15: Abfälle der VDI-Kategorisierung Boden und Steine

Fraktion	Beschreibung	Mögliche Verwertungswege	Einflussfaktoren auf mögliche Verwertung
Bodenaushub	Natürlich anstehendes oder umgelagertes Locker- und Festgestein, das im Rahmen von Unterhaltungs-, Neu- und Ausbaumaßnahmen im terrestrischen Bereich ausgehoben oder abgetragen wird	Bodenverbesserung zur nachhaltigen Verbesserung einer natürlichen Bodenfunktion (z.B. Erhöhung der Filter- oder Pufferwirkung, Vergrößerung der durchwurzelbaren Bodenschicht);	Schadstoffbelastung; Als Abgrenzung zur Beseitigung sollte der Einsatz des Aushubmaterials zur Vorbereitung zur Wiederverwendung oder

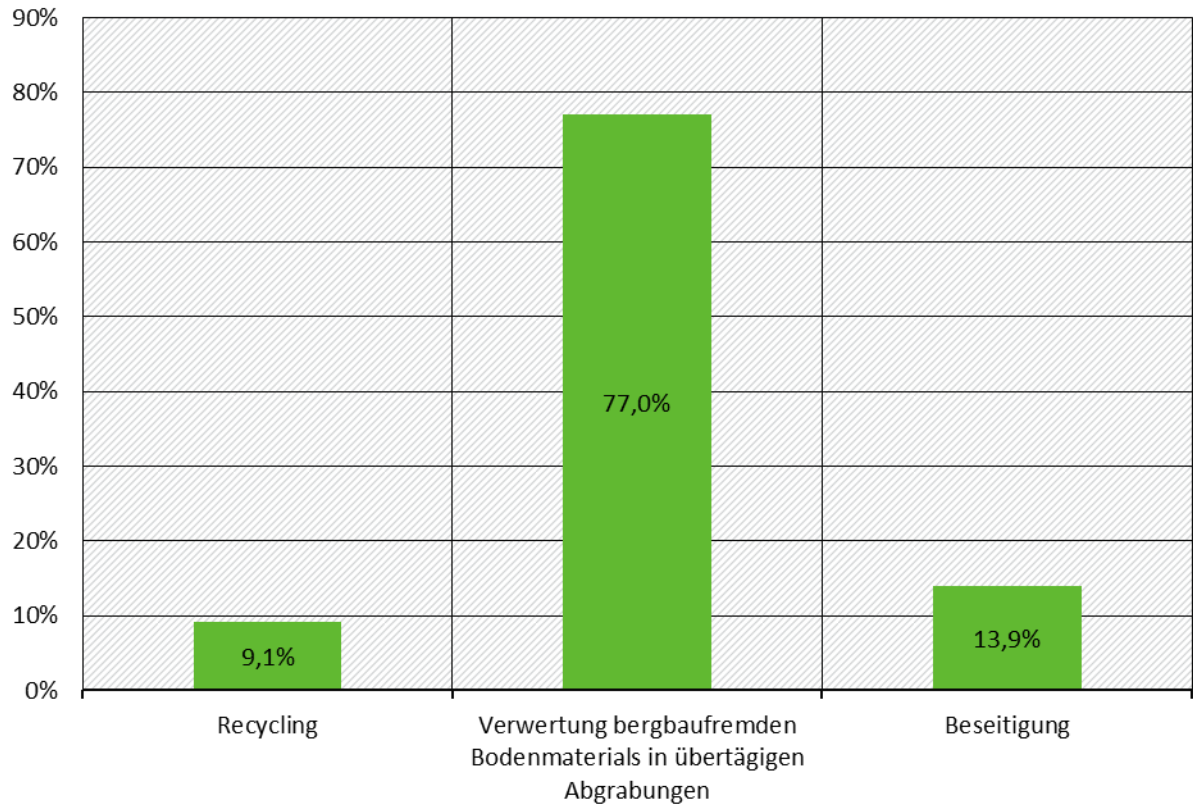
Fraktion	Beschreibung	Mögliche Verwertungswege	Einflussfaktoren auf mögliche Verwertung
		<p>Rekultivierung, um natürliche Bodenfunktionen wiederherzustellen (z.B. Rohstoffabbaustätten, Deponien nach deren Verfüllung, Rückbau von Infrastrukturen);</p> <p>Baumaßnahmen wie Landschafts- oder Straßenbau, Errichtung von Hochwasser- und Lärmschutzdämmen, Verfüllungen von Baugruben</p>	<p>für eine stoffliche Verwertung einem vorab definierten Zweck dienen (z.B. Verfüllung);</p> <p>Grundsätzlich soll nur Bodenmaterial mit vergleichbarer stofflicher und physikalischer Beschaffenheit kombiniert werden;</p> <p>Einzubauendes Bodenmaterial muss qualitativ hochwertiger sein, als die vorhandene Auftragsfläche;</p> <p>Verbesserung einer natürlichen Bodenfunktion</p>
Baggergut	Bei Arbeiten im und am Gewässer anfallendes Boden- und Sedimentmaterial. Dabei handelt es sich um ein Gemisch verschiedener anorganischer und organischer Bestandteile	<p>Einsatz als Baustoff nach Aufbereitung (z.B. Sand);</p> <p>Landschaftsbau;</p> <p>Rekultivierung von Deponiestandorten</p>	<p>Schadstoffbelastung;</p> <p>Eignung für Verwertung in Abhängigkeit von Örtlichkeit, da Zusammensetzungen von Aushubmaterial entsprechend schwanken</p>
Gleisschotter	Besteht aus hochwertigen Gesteinsarten wie Basalt, Quarzporphyr oder Grauwacke und weist aufgrund seiner kubischen Kornform eine hohe Scharfkantigkeit auf, wodurch er einen stabilen und stützenden Unterbau für das Gleisbett gewährleistet	<p>Vorbereitung zur Wiederverwendung durch Reinigung und Regenerierung sowie bei nachgewiesener Eignung des Kornspektrums;</p> <p>Unter-, Damm- und Wegebbaumaterial;</p> <p>Verfüllen von Leitungsgräben Bauwerkshinterfüllung;</p> <p>Einsatz als Abdeck- oder Füllsand im Garten- und Landschaftsbau;</p> <p>Edelsplitt</p>	<p>Schadstoffbelastung;</p> <p>Korngröße</p>

Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf VDI (2014, S. 17–27))

Nachstehende Abbildung zeigt die Entsorgungswege dieser Fraktionen (BBS 2018, S. 7). Rund 9 % der erfassten Menge wurden dem Recycling in Form der Herstellung von Recyclingbaustoffen zugeführt. Mit einem Anteil von 77 % waren die Verwertung in

übertägigem Bergbau sowie andere Maßnahmen, insbesondere Deponiebau, klar dominierend. Knapp 14 % der in der Kategorie Boden und Steine erfassten Abfälle wurden beseitigt.

Abbildung 8: Entsorgungswege der Kategorie Boden und Steine im Jahr 2016



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf BBS (2018, S. 7–8))

4.2.2 Bauschutt

In der Kategorie Bauschutt wurden im Jahr 2016 insgesamt 58,5 Mio. t Abfälle erfasst, darunter Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik (BBS 2018, S. 7–8). Mit einem Anteil von rund 27 % an der insgesamt erfassten Menge mineralischer Bau- und Abbruchabfälle ist die Kategorie Bauschutt nach Boden und Steine die mengenmäßig zweitgrößte Fraktion.

Nachstehende Tabelle gibt eine nähere Beschreibung der in der Kategorie Bauschutt erfassten Abfälle (VDI 2014, S. 9–15).

Tabelle 16: Abfälle der VDI-Kategorisierung Bauschutt

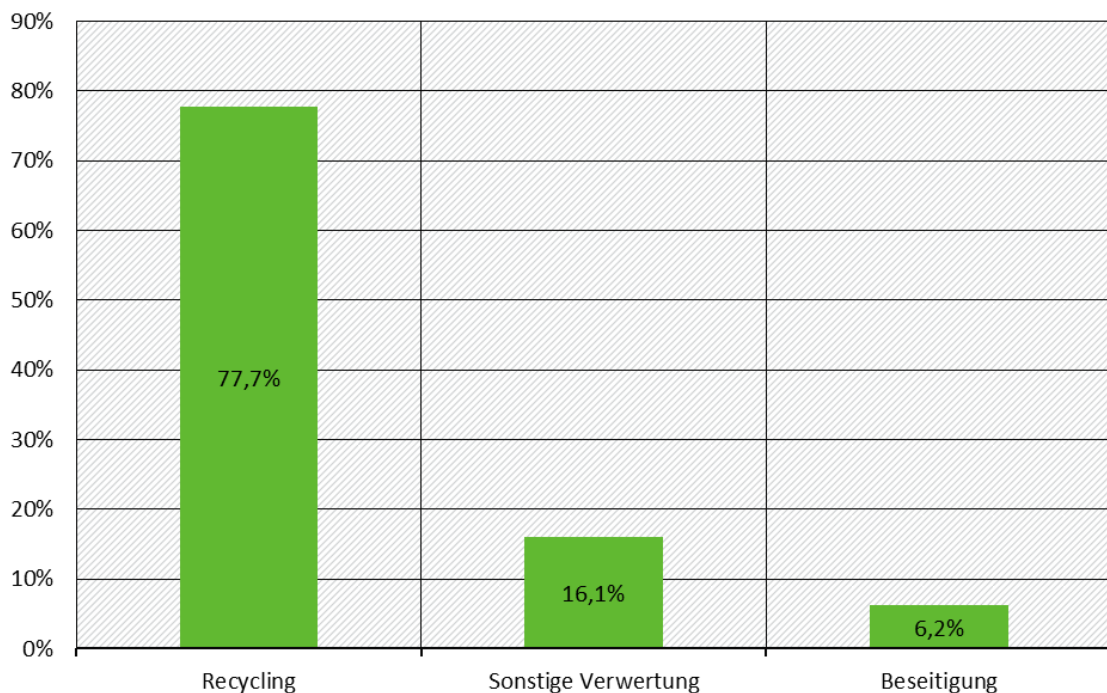
Fraktion	Beschreibung	Mögliche Verwertungswege	Einflussfaktoren auf mögliche Verwertung
Beton	Besteht aus Zement, Gesteinskörnung und Wasser	Verwertung im offenen Kreislauf z.B. geschredderter Betonschutt als Belag unter Straßen; Recycling-Gesteinskörnungen als Ersatz von Kies oder Naturstein (Recycling-Beton); Beton-Recycling (sortenreine Auftrennung verschiedener Bestandteile als Sekundärrohstoffe)	Frisch- oder Altbeton; Trennbarkeit Materialien; Gesteinskörnungen (Vorgaben für rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 - Teil 102: Typprüfung und Werkseigene Produktionskontrolle)
Ziegel	Unterscheidung nach Mauer- und Dachziegeln	Vorbereitung zur Wiederverwendung als ganzer Ziegel durch geeignete Reinigung und Prüfung; Abbruchziegel als Zuschlagstoff für Mörtel und Putz; natürliches Schütt- oder Unterbaumaterial im Straßen-, Wege- und Landschaftsbau; Grundstoff für Lärmschutzwälle; Ziegelsplitt als Leichtzuschlag für Beton; Tennissand; Pflanzensubstrate; Zuschlagstoff für Kalksandsteine	Beschädigung; Reinigungsfähigkeit und -art
Fliesen und Keramik	Ton als Hauptwerkstoff von Keramik;	Aufbereitung und Zuschlag gesinterten Recyclingmaterials in neuen Materialmischungen (nur Grobkeramik, Rückbau der	Reinheit und Korngrößen der verarbeiteten Rohstoffe

Fraktion	Beschreibung	Mögliche Verwertungswege	Einflussfaktoren auf mögliche Verwertung
	Quarze und verschiedene Minerale als häufige Zuschlagsstoffe; Grobkeramik (0,2 bis 2 mm): Baukeramik, Steinzeug und Feuerfeststeine Feinkeramik (< 0,2 mm): Steingut, Porzellan und technische Keramik	Materialien nach Stoffarten erforderlich); Verwertung als mineralischer Sekundärbaustoff, beispielsweise im Straßen-, Wege- und Sportplatzbau als Vegetationssubstrat oder als Verfüllmaterial; Recycling Seltener Erden in Keramik (jedoch geringe Mengen)	

Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf VDI (2014, S. 9–15))

Nachstehende Abbildung zeigt die Entsorgungswege dieser Fraktionen (BBS 2018, S. 7–8). Knapp 78 % der erfassten Menge wurden dem Recycling zugeführt. Rund 16 % wurden durch Verfüllung von Abgrabungen sowie auf Deponien verwertet. Ein geringer Anteil von gut 6 % des Bauschutts wurde beseitigt.

Abbildung 9: Entsorgungswege der Kategorie Bauschutt im Jahr 2016



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf BBS (2018, S. 7–8))

4.2.3 Straßenaufbruch

In der Kategorie Straßenaufbruch wurden im Jahr 2016 insgesamt 16 Mio. t Abfälle erfasst (BBS 2018, S. 8). Dies entspricht einem Anteil von 7,4 % an der insgesamt erfassten Menge mineralischer Bau- und Abbruchabfälle.

Nachstehende Tabelle gibt eine nähere Beschreibung der in der Kategorie Straßenaufbruch erfassten Abfälle (Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 47; VDI 2014, S. 14–15).

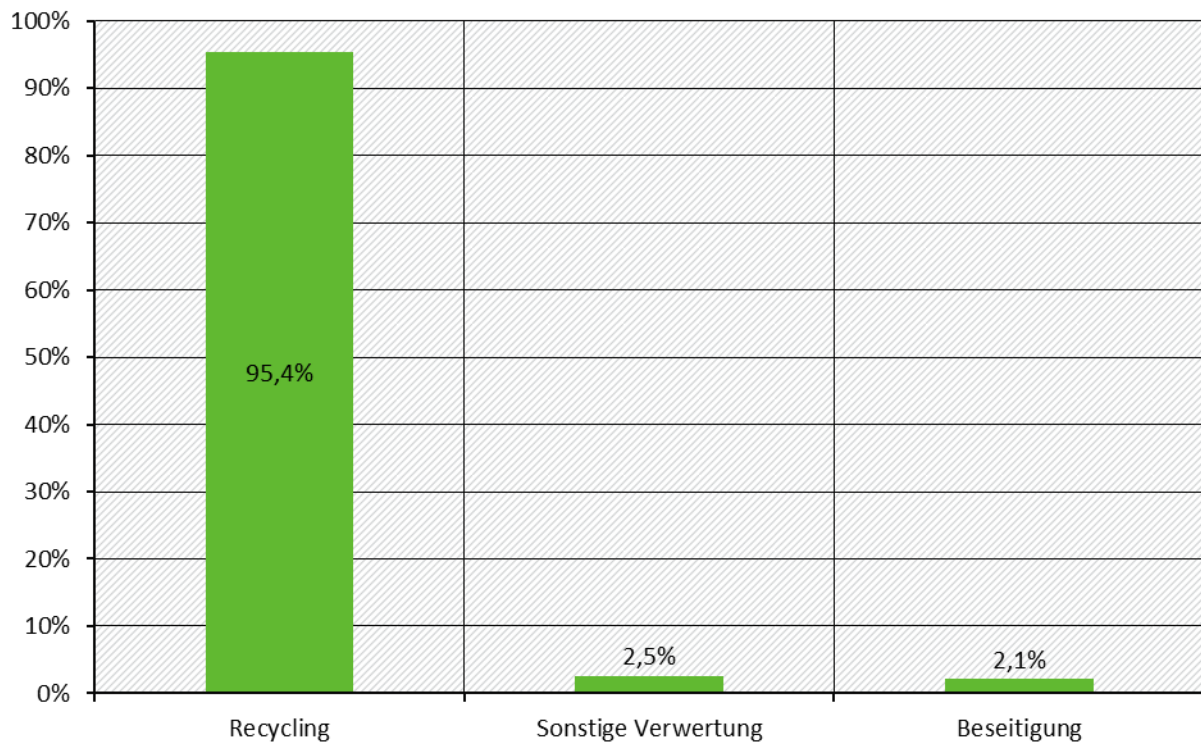
Tabelle 17: Abfall der VDI-Kategorisierung Straßenaufbruch

Fraktion	Beschreibung	Mögliche Verwertungswege	Einflussfaktoren auf mögliche Verwertung
Bitumen-gemisch (Beispiel Asphalt)	<p>Bitumen kommt als Gemisch in der Natur vor, wird jedoch hauptsächlich mit Hilfe der Vakuum-destillation aus Erdöl gewonnen;</p> <p>Einsatz als Trag-, Binder- und Deckschichten im Straßen- und Wegebau, als Estrich oder Dachpappe, für Abdichtungen, etc.;</p> <p>Asphalt als bekannteste Bitumen-mischung</p>	<p>Verfahren für Ausbauasphalt: „Recycle in Plant“ im Mischwerk, Verarbeitung mit zusätzlichem Mischgut, hohe Qualität; „Recycle in Place“ an Ort und Stelle mit oder ohne zusätzlichem Mischgut, Qualitätsverbesserung begrenzt</p>	Teergehalt

Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf VDI (2014, S. 14–15; Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 47))

Nachstehende Abbildung zeigt die Entsorgungswege von Straßenaufbruch (BBS 2018, S. 8). Über 95 % der erfassten Menge wurden dem Recycling zugeführt. 2,5 % wurden durch Verfüllung von Abgrabungen sowie im Deponiebau verwertet. Ein geringer Anteil von 2,1 % wurde beseitigt.

Abbildung 10: Entsorgungswege der Kategorie Straßenaufbruch im Jahr 2016



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf BBS (2018, S. 8))

4.2.4 Bauabfälle auf Gipsbasis

In der Kategorie Bauabfälle auf Gipsbasis wurden im Jahr 2016 insgesamt 641.000 t Abfälle erfasst (BBS 2018, S. 8–9). Dies entspricht einem Anteil von lediglich 0,3 % an der insgesamt erfassten Menge mineralischer Bau- und Abbruchabfälle. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass weitere Mengen Gipsabfälle in der Kategorie Bauschutt in Bauschuttgemischen enthalten sind.

Nachstehende Tabelle gibt eine nähere Beschreibung der in der Kategorie Bauabfälle auf Gipsbasis erfassten Abfälle (Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 47–48; VDI 2014, S. 22–24).

Tabelle 18: Beschreibung ausgewählter Abfallfraktionen der Kategorie Gipsabfälle

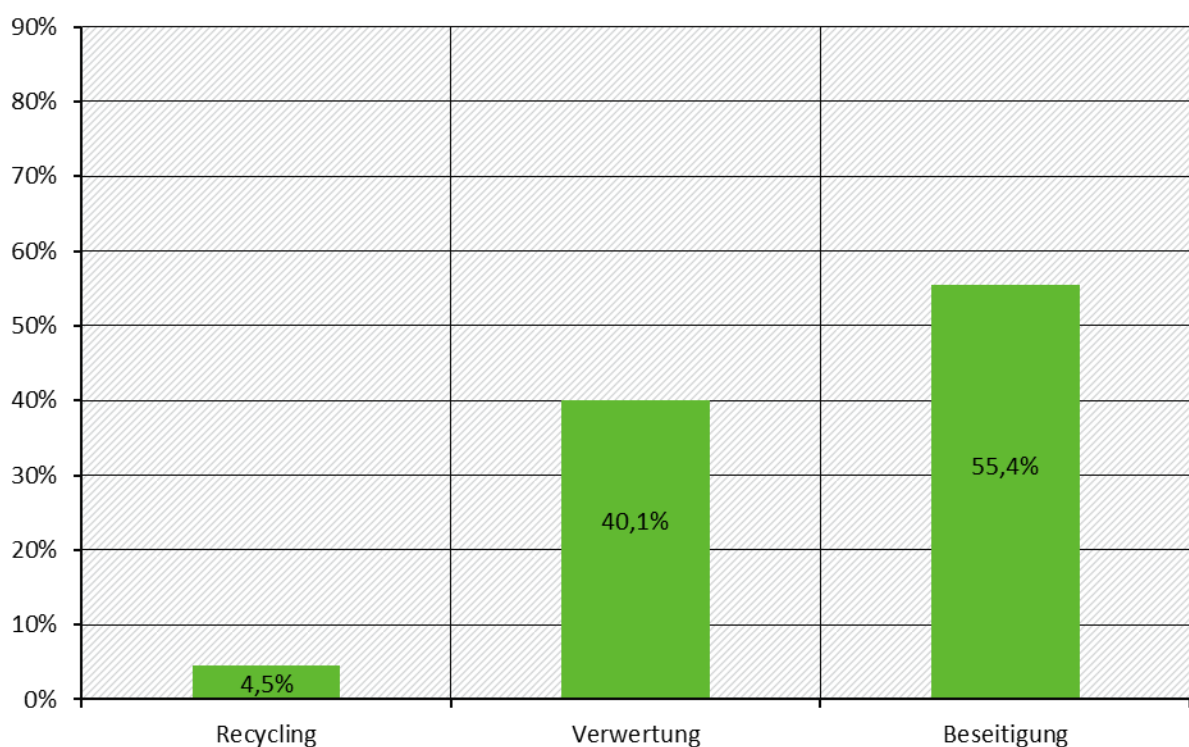
Fraktion	Beschreibung	Mögliche Verwertungswege	Einflussfaktoren auf mögliche Verwertung
Gips	<p>Calciumsulfat, kommt in der Natur häufig in Form von Gipsstein vor;</p> <p>Fällt bei verschiedenen chemischen Industrie-verfahren als Nebenprodukt an;</p>	<p>Reste von Gipsputzen und Estrichmörteln bei Neubaumaßnahmen: Verwertung in Werken der Herstellfirmen über Rücknahme der Silorestinhalte;</p> <p>Restinhalte von Gipsputzen in Säcken: gemeinsame Entsorgung über Gipsplattenrecycling</p>	<p>Verunreinigungen und Zusätze;</p> <p>Sortenreine Erfassung oder Bestandteil Bauschuttgemisch;</p> <p>Wasserzutritt</p>

Fraktion	Beschreibung	Mögliche Verwertungswege	Einflussfaktoren auf mögliche Verwertung
	Einsatz im Baubereich: Gipsplatten, Gips-Wandbauplatten, Gipsfaserplatten, Gipsmörtel, Gipsputz, gipshaltige Estriche (Trockenestrich oder Fließestrich), weitere raumaus-kleidende Produkte z.B. Stuck		

Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf VDI (2014, S. 22–24; Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 47–48)

Nachstehende Abbildung zeigt die Entsorgungswege dieser Fraktionen (BBS 2018, S. 8–9). Nur 4,5 % der erfassten Menge wurden dem Recycling zugeführt. Rund 40 % wurden im Deponiebau und Bergbau verwertet. Mit 55,4 % wurde der überwiegende Anteil der Fraktion Bauabfälle auf Gipsbasis auf Deponien beseitigt.

Abbildung 11: Entsorgungswege der Kategorie Bauabfälle auf Gipsbasis im Jahr 2016



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf BBS (2018, S. 8–9))

4.2.5 Baustellenabfälle

Zur Gruppe der Baustellenabfälle zählen verschiedene mineralische und nicht-mineralische Abfallfraktionen. Im Jahr 2016 rund 14,3 Mio. t Baustellenabfälle erfasst (BBS 2018, S. 9). Diese bestanden zu rund 50 % aus Eisen und Stahl, zu rund 20 % aus Altholz und zu rund 5 % aus Glas, Kunststoff, Metall und Dämmmaterial. Die verbleibenden 25 % waren insbesondere in gemischten Bau- und Abbruchabfällen enthaltene mineralische Bestandteile.

Nachstehende Tabelle gibt eine nähere Beschreibung der in der Kategorie Baustellenabfälle erfassten Abfälle (Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 45–49; VDI 2014, S. 24–42).

Tabelle 19: Beschreibung ausgewählter Abfallfraktionen der Kategorie Baustellenabfälle

Fraktion	Beschreibung	Mögliche Verwertungswege	Einflussfaktoren auf mögliche Verwertung
Holz	<p>Altholzkategorien nach AltholzV;</p> <p>A I: z.B. Baustellensortimente aus naturbelassenem Vollholz ohne Schadstoffe;</p> <p>A II: mehrere Baustellensortimente aus Holzwerkstoffen und behandeltem Vollholz, z.B. beschichtete und verleimte Schalbretter (Multiplexplatten) sowie schalölbehaftete Massivholzplatten, Altholz aus dem Abbruch und Rückbau sowie Dielen, Bretterschalungen, Türblätter, Zargen, Deckenpaneele, Zierbalken, Bauspanplatten etc. aus dem Innenbereich;</p> <p>A III und AIV: schadstoffbelastetes Altholz, mit halogenorganischen Verbindungen beschichtet oder mit Holzschutzmittel behandelt, z.B. Paletten mit Verbundmaterialien, Konstruktionshölzer für tragende Teile, Holzfachwerk und Dachsparren oder imprägnierte Bauhölzer aus dem Außenbereich</p>	<p>Getrennt gesammeltes Altholz: Recycling, energetische Verwertung (oder Beseitigung), in Abhängigkeit der Altholzqualität</p>	<p>Getrenntsammlung;</p> <p>Altholzkategorie /-qualität</p>
Glas	<p>Fällt beim Abbruch von Gebäuden als Flachglas vor allem aus Fenstern und Türen (einfaches Fensterglas, teilweise auch Draht- oder Verbundglas) sowie Glasfassaden (Spezialgläser wie</p>	<p>Erneuter Einsatz in der glasproduzierenden Industrie;</p> <p>Aufbereitetes Altglas kann in spezifizierten Körnungen bei der Herstellung von z.B.</p>	<p>Getrenntsammlung;</p> <p>Störstoffe;</p> <p>Reinigungsaufwand</p>

Fraktion	Beschreibung	Mögliche Verwertungswege	Einflussfaktoren auf mögliche Verwertung
	z.B. Wärmedämm- oder Sonnenschutzglas) an	<p>Flachglas, Profilglas, Glaswolle oder Hohlglas verwendet werden;</p> <p>Herstellung von Glasschaum-Granulat zur Wärmedämmung;</p> <p>Verwendung von Recyclingglas als Solarglas für Photovoltaik- und Solarthermieanlagen (allerdings sind die Anforderungen (z.B. Transmissionseigenschaften) an rezykliertes Glas hierbei höher als bei gewöhnlichem Bauglas);</p> <p>Entsorgung durch Fachbetrieb von Altfenstern mit Schwefelhexafluorid (SF6) als Isolier- und Schallschutzfüllung aufgrund von EU F-Gas-Verordnung Nr. 517/2014</p>	
Metalle, einschließlich Legierungen	<p>Stahlbauteile ;</p> <p>Nicht-Eisen-Metalle, z.B. Aluminium in Dampfsperren im Bereich der Gebäudehülle, in Fenster- und Türprofilen oder in Gussteilen, Kupfer als Blech oder in Rohren sowie in Leitungen, Zink in Verkleidungen, Abdeckungen und Fallrohren</p>	<p>Stahlrecycling ist ohne Verlust an Qualität durch Einschmelzen und Herstellen neuer, hochwertiger Produkte möglich;</p> <p>Demontierbare Stahlbauteile: können nach selektivem Rückbau, gegebenenfalls nach einer Vorbereitung zur Wiederverwendung, für denselben Zweck wieder- oder weiterverwendet werden, ansonsten Recycling;</p> <p>Nicht-Eisen-Metalle: Vorbereitung zur Wiederverwendung in Form von Bauteilen, Recycling</p>	<p>Grundsätzlich: Stahl als werthaltiges und -beständiges Material, welches nach dem Lebensende stets neu genutzt wird;</p> <p>Einflussfaktoren produktspezifisch, z.B. Trennung verschiedener Legierungen beim Aluminiumrecycling</p>
Kunststoffe	Einsatz in Form von Bauplatten, Bodenbelägen, Dachbahnen, Fenster- und Türrahmen und	Aufbereitung zu möglichst sortenreinem Granulat (sog. Rezyklat) und Rückführung	Getrenntsammlung Störstoffe

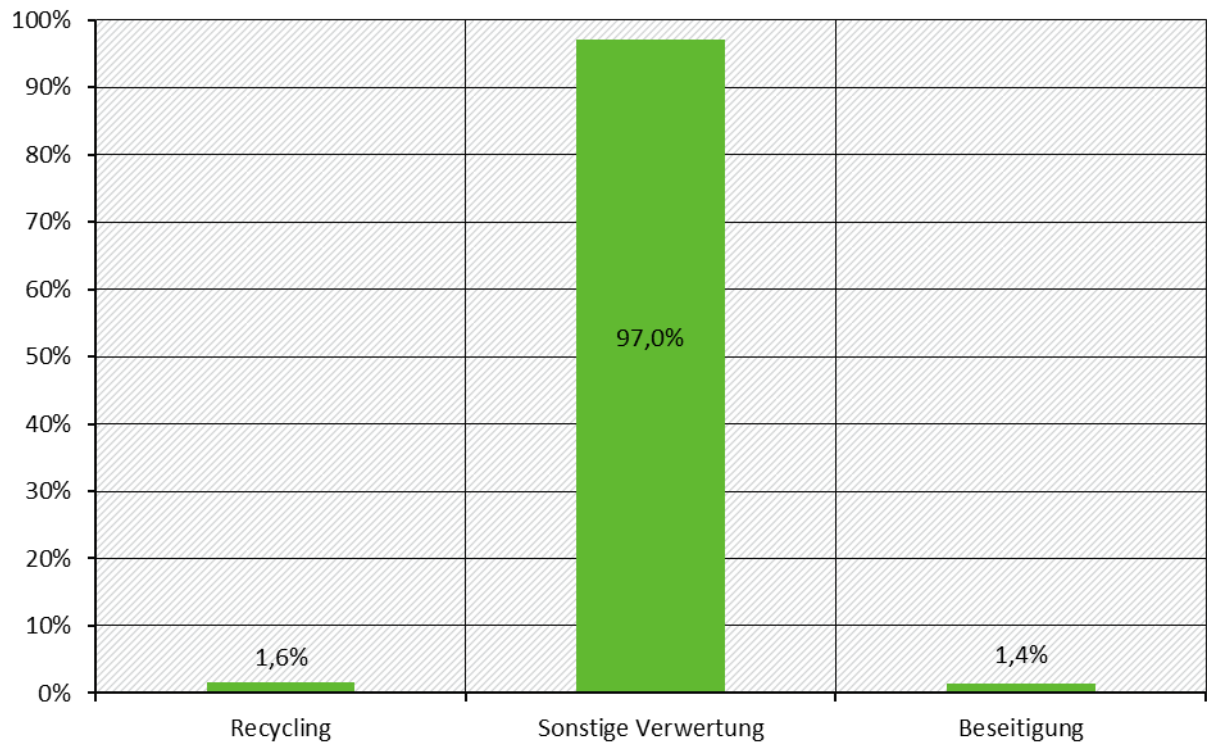
Fraktion	Beschreibung	Mögliche Verwertungswege	Einflussfaktoren auf mögliche Verwertung
	<p>sonstigen Profilen, Rohren, Kabelisolierungen, Lichtwänden und -kuppeln, Rollläden oder Sanitäröbekte;</p> <p>Vielzahl von Kunststoffen, häufig in Verbunden;</p> <p>Bedeutend: Anteile an Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE), expandiertem Polystyrol (EPS), Polyurethan (PUR) und Acryl</p>	<p>in den Produktionsprozess (Voraussetzung: hohe Reinheit)</p>	
Dämmmaterial	<p>Kategorie umfasst sehr unterschiedliche Materialien;</p> <p>Am häufigsten: mineralische Dämmstoffe (wie Glas- oder Steinwolle), mineralölbasierte Dämmstoffe wie z.B. Dämmplatten aus Polystyrol (EPS und XPS) oder Polyurethan (PUR);</p> <p>Anwendung: Wärme- und Schallisolierung, Brandschutz</p>	<p>Recyclingkapazitäten für Steinwolle und Glaswolle befinden sich im Aufbau (Hinweis bezieht sich auf Erstellungsphase LAGA M34), u.a. da Kosten für Deponierung und Gemengerohstoffe (v.a. Bor) stetig steigen; bisher: nur Recycling von Produktionsabfällen aus der Steinwolle-herstellung;</p> <p>Sortenreine Abfälle aus PUR-Hartschaum grundsätzlich für werkstoffliches⁹ Recycling geeignet;</p> <p>Hexabromcyclodo-decan-(HBCD)-freier Verschnitt von expandiertem oder extrudiertem Polystyrol: werkstoffliche Verwertung grundsätzlich möglich, Verwendung des gesammelten Verschnitts zur Erzeugung eines PS-„Re-Granulats“</p>	<p>Getrenntsammlung von Glas- und Steinwolle Grundvoraussetzung für Rückführung in eigentlichen Produktionsprozess;</p> <p>Abfälle aus PUR-Hartschaum: Sortenreinheit</p>

Quelle: Eigene Darstellung, (basierend auf VDI (2014, S. 24–42; Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 45–49))

⁹ Bei der Verwertung von Kunststoffabfällen kann neben der energetischen Verwertung zwischen einer werkstofflichen und einer rohstofflichen Verwertung unterschieden werden. Bei einer werkstofflichen Verwertung durch mechanische Aufbereitung (Zerkleinerung, Reinigung, etc.) bleibt die chemische Struktur unverändert. Bei einer rohstofflichen Verwertung werden hingegen Polymerketten aufgespalten (z.B. durch Wärmeeinwirkung) und die Rezyklate sind demnach Monomere oder petrochemische Grundstoffe (z.B. Öle und Gase).

Nachstehende Abbildung zeigt die Entsorgungswege für Baustellenabfälle (BBS 2018, S. 9). Nur 1,6 % der erfassten Menge wurde recycelt. Rund 97 % wurden einer sonstigen Verwertung zugeführt. Mit 1,4 % wurde ein sehr geringer Anteil auf Deponien beseitigt.

Abbildung 12: Entsorgungswege der Kategorie Baustellenabfälle im Jahr 2016



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf BBS (2018, S. 9))

4.3 Beispiele für freiwillige Initiativen und Rücknahmesysteme im Baubereich

In einer ressourcenschonenden Bauwirtschaft spielen Rücknahmesysteme, in denen herstellende Unternehmen (bzw. Vereinigungen herstellender Unternehmen) ausgebaute Produkte nach der Nutzung ihren Produktionsprozessen wieder zuführen und so Materialkreisläufe schließen, eine zunehmend wichtigere Rolle (KNBau 2018, S. 15). Solche Rücknahmesysteme können freiwillig oder verpflichtend vorgeschrieben sein und bieten den Vorteil, wirtschaftliches Interesse, technische Kompetenz sowie Innovationspotential in einer Hand zu bündeln. Neben Rücknahmesystemen für spezifische Produkte oder Materialien können jedoch auch allgemeinere Initiativen im Baubereich einen wichtigen Beitrag hin zu mehr Ressourcenschonung leisten.

Nachstehende Tabelle gibt einen Überblick zu ausgewählten Initiativen und Rücknahmesystemen in Europa und Deutschland. Bei den aufgelisteten Initiativen und Systemen handelt es sich entweder um branchenspezifische Lösungen aus dem Baubereich oder um industriespezifische Programme, die u.a. Bauprodukte erfassen.

Tabelle 20: Auswahl von Initiativen und Rücknahmesystemen im Baubereich

Name der Initiative	Fokus	Beschreibung	Finanzierung	Information
Kreislaufwirtschaft Bau (Deutschland)	Mineralische Bauabfälle	<p>Initiative der Baustoffindustrie, der Bauwirtschaft sowie der Entsorgungswirtschaft zur Förderung geschlossener Stoffkreisläufe im Bausektor;</p> <p>Selbstverpflichtung aus dem Jahr 1995: Halbierung der Menge mineralischer Bauabfälle, die trotz Verwertungspotentials deponiert wurden, innerhalb von zehn Jahren;</p> <p>Erfolgreiche Erfüllung der Selbstverpflichtung sowie Steigerung der Verwertungsquote auf rund 90 Prozent der anfallenden mineralischen Bauabfälle</p> <p><i>Informationsquelle: http://kreislaufwirtschaft-bau.de</i></p>	Keine Information	Veröffentlichung von Monitoring-Berichten zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Zweijahresrhythmus
VinylPlus (Europa)	PVC-Branche	<p>Freiwillige Selbstverpflichtung der europäischen PVC-Branche zu nachhaltigem Wirtschaften. Sie enthält konkrete Leitideen und Ziele, darunter die weitere Emissionsbegrenzung bei der PVC-Herstellung, die Substitution von Blei-Stabilisatoren, aber auch die Verwertung von PVC-Abfällen;</p> <p>Das Programm schafft einen langfristigen Rahmen für die nachhaltige Entwicklung der Industrie, indem es eine Reihe kritischer Herausforderungen in der EU-28, Norwegen und der Schweiz angeht;</p> <p>Die kritischen Herausforderungen sind: Schaffung eines Managementregelkreises für PVC;</p>	<p>Finanzierung über die Vinyl Foundation, welche sich über Geldmittel von europäischen PVC-verarbeitenden Unternehmen finanziert: Liste der Unterstützer hier;</p> <p>Der Beitrag der Unternehmen richtet sich nach der jährlich verarbeiteten Menge an PVC;</p> <p>Ausgaben von VinylPlus im Jahr 2017: 5,6 Mio. Euro</p>	<p>Veranstaltungen: VinylPlus Sustainability Forum. Event zur Förderung des Nachhaltigkeitsdialogs zwischen PVC-Verarbeitern und externen Stakeholdern;</p> <p>Einführung des VinylPlus® Product Label zur Zertifizierung von nachhaltigen PVC Produkten</p>

Name der Initiative	Fokus	Beschreibung	Finanzierung	Information
		<p>Reduzierung der Emissionen von organischen Chlorverbindungen; Die nachhaltige Nutzung von Additiven; Nachhaltige Energie und Klimastabilität; Schaffung eines Nachhaltigkeitsbewusstseins;</p> <p><i>Informationsquelle: https://www.vinylplus.de</i></p>		
Recovinyll (Europa)	PVC-Branche	<p>Recovinyll ist eine Initiative der europäischen PVC-Wertschöpfungskette, mit dem Ziel die Sammlung und das Recycling von PVC-Abfällen im Rahmen der Selbstverpflichtung von Vinyl 2010 und jetzt VinylPlus® zu erleichtern;</p> <p>Ziel von Recovinyll ist es, das Recycling von 800.000 Tonnen PVC-Abfällen bis 2020 als eine der Herausforderungen der freiwilligen Selbstverpflichtung von VinylPlus zu fördern und zu zertifizieren;</p> <p>Angehende Mitglieder werden nach dem EUCertPlast Protokoll überprüft und zertifiziert (www.eucertplast.eu);</p> <p>Ziele:</p> <ul style="list-style-type: none"> Gewährleistung von Qualität und Sicherheit, durch ein System zur Rückverfolgbarkeit des Materials über seinen Recyclingpfad; Optimierung der Ressourceneffizienz durch Vermittlung zwischen Beteiligten der PVC Industrie; Zusammenarbeit mit den EU-Behörden bei der Behandlung des Problems der Altadditive in PVC <p><i>Informationsquelle: https://www.recovinyll.com</i></p>	Die Mitgliedschaft bei Recovinyll ist laut dem „Recovinyll Membership Guide“ kostenlos	

Name der Initiative	Fokus	Beschreibung	Finanzierung	Information
Rewindo (Deutschland)	Fenster, Rollläden, Türen aus Kunststoff	<p>Recycling-Initiative der deutschen herstellenden Unternehmen von Kunststoffprofil für ausgebaute Fenster, Rollläden und Türen aus Kunststoff;</p> <p>Beim Ausbau alter Fenster, Türen und Rolllädenpanzer aus PVC sind definierte Annahmebedingungen für Recyclinganlagen zu berücksichtigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Rahmen und Flügel: grob oder ganz entglast; Rolllädenpanzer: ohne Welle und Gurt; Türen: ohne Glas, ohne Füllung (Türblatt), da diese zum Teil aus anderen Kunststoffen bestehen; Allgemein: Restabfall oder andere Stoffe wie Holz oder Fremdkunststoffe dürfen nicht in Behältern sein; Materialien grob gereinigt und mit geringen Anhaftungen von Putzresten bzw. Montageschaum <p>Möglichkeiten zur Übergabe als Abfallbesitzer:</p> <ul style="list-style-type: none"> Selbstanlieferung beim Rewindo-Recyclingpartner; Abholung durch den Rewindo-Recyclingpartner; Selbstanlieferung bei einer regionalen Annahmestelle und kostenfreie Übergabe, insbesondere für Kleinstmengen von unter zehn Fenstern (Partner-Netz befindet sich im Aufbau) <p>Rewindo-Recyclingpartner: Ansprechpartner vor Ort, Organisation und Koordination Recycling-Logistik, Angebotsunterbreitung für Abholung, Transport und Recycling</p>	Keine Information	<p>Förderung von mehr Wissen um Möglichkeiten und Vorteile des PVC-Recyclings und damit wachsende Unterstützung;</p> <p>Publikation erzielter Ergebnisse nach Prüfung durch unabhängige Dritte</p>

Name der Initiative	Fokus	Beschreibung	Finanzierung	Information
		<i>Informationsquelle: https://www.rewindo.de</i>		
ROOFCOLLECT (Europa)	Dachbahnen, Dichtungsbahnen	<p>ESWA (European Single Ply Waterproofing Association), der Europäische Dachverband der herstellenden Unternehmen von Kunststoff-Dachbahnen, beteiligt sich an der freiwilligen Selbstverpflichtung der PVC-Industrie VinylPlus, Abfallmaterialien anzunehmen, zu sammeln und wiederaufzubereiten;</p> <p>ESWA hat das ROOFCOLLECT® System eingeführt, das ROOFCOLLECT® arbeitet hierbei mit verschiedenen Recyclern zusammen;</p> <p>Bereitstellung von Transportsäcken für den Abtransport der Dachbahnen durch Partnerunternehmen wird durch das Partner Unternehmen ISD – INTERSEROH Entsorgungsdienstleistungs-GmbH organisiert;</p> <p>ROOFCOLLECT erstellt Vorgaben für den Abbau und Abtransport der Dachbahnen sowie Übernahme Kriterien: Dachbahnen müssen in 1m-breite Streifen geschnitten werden; Grobe Verunreinigungen und Befestigungselemente müssen entfernt werden; Abtransport in Absprache mit dem Partner ISD - INTERSEROH</p> <p><i>Informationsquelle: https://www.roofcollect.com</i></p>	Keine Information	
AGPU (Deutschland)	PVC-Branche	Der AGPU (Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V.) verbindet rund 60 Unternehmen der gesamten Wertschöpfungskette	Keine Information	Organisation von Arbeitskreisen

Name der Initiative	Fokus	Beschreibung	Finanzierung	Information
		<p>Ziel des AGPU Fördert einen offenen Dialog mit den Beteiligten der PVC-Industrie;</p> <p>Der AGPU engagiert sich mit ihren Mitgliedsunternehmen entlang der PVC-Wertschöpfungskette, fördert dessen nachhaltige Entwicklung und führt einen intensiven Dialog mit Entscheidern aus Politik, Wirtschaft, Handel und NGOs.</p> <p><i>Informationsquelle: https://www.agpu.de</i></p>		<p>Veröffentlichung der Fachbroschüre „Alles über PVC – Von der Herstellung bis zum Recycling“;</p> <p>Führen einer PVC-Wissensdatenbank</p>
AgPR (Deutschland)	PVC-Bodenbeläge	<p>Die Arbeitsgemeinschaft PVC-Bodenbelag Recycling ist ein Zusammenschluss von Herstellfirmen von PVC- und Bodenbelag, welcher gemeinsam eine Recycling-Anlage in Troisdorf bei Köln errichtet hat;</p> <p>Ein Netz von Sammelstellen in Deutschland und verschiedene Logistiksysteme in europäischen Nachbarländern garantieren eine Annahme der PVC-Altbeläge und ihre Weiterleitung zur AgPR-Anlage;</p> <p>Annahmebedingungen werden durch die AgPR vorgegeben;</p> <p>Die AgPR verwendet das Cryogen®-Verfahren zur Feinvermahlung des PVCs</p> <p><i>Informationsquelle: http://www.agpr.de</i></p>	Kostspflichtige Abgabestelle	
A U F (Deutschland)	Aluminium	<p>Verein zur Organisation eines geschlossenen Wertstoffkreislaufes für Aluminium in den Bereichen Fenster, Türen und Fassaden;</p>	Keine Information	<p>Zertifizierung für Mitglieder;</p> <p>Förderung des Bewusstseins für die</p>

Name der Initiative	Fokus	Beschreibung	Finanzierung	Information
		<p>Ziel ist es die umweltfreundliche und ressourcenschonende Verwertung des Wertstoffes Aluminium engagiert zu fördern. Das Material verbleibt dabei innerhalb der europäischen Gemeinschaft und dessen Kreislaufsystems, es erfolgt kein Export außerhalb Europas.</p> <p><i>Informationsquelle: https://www.a-u-f.com</i></p>		Vorteile eines geschlossenen Wertstoffkreislaufes für Aluminium
Die Initiative Zink (Deutschland)	Zink	<p>Zusammenschluss von herstellenden Unternehmen von Zinklegierungen, Zinkrecyclern, und Anwendenden von Zink, in Deutschland im Netzwerk der WVMetalle;</p> <p>Die Initiative Zink ist Ansprechperson für Behörden, Presse und Anwendende in Fragen rund um den Werkstoff Zink und zur Bedeutung von Zink für Mensch und Umwelt;</p> <p>Die Initiative Zink bietet ein Forum für den Dialog zwischen den Beteiligten in der Zinkindustrie;</p> <p>Erklärtes Ziel ist die Steigerung des Bekanntheitsgrades des Werkstoffes Zink durch Öffentlichkeitsarbeit</p> <p><i>Informationsquelle: https://www.initiative-zink.de/basiswissen/die-initiative-zink</i></p>	Finanzierung über Mitgliedsbeiträge	<p>Veröffentlichung von Pressemitteilungen zu Zink relevanten Themen;</p> <p>Bereitstellung von Unterrichtsmaterialien für Schulen</p>
TEPPFA (Europa)	Kunststoffrohre	<p>TEPPFA (European Plastic Pipes and Fittings Association) ist ein Zusammenschluss von herstellenden Unternehmen von Kunststoffrohrsystemen;</p> <p>Ziel ist Kunststoffrohrsysteme durch fundierte Sachdaten zu fördern und die Interessen des europäischen Kunststoffrohr- und Armaturenssektors zu vertreten;</p>	Keine Information	Veröffentlichung von Positionspapieren

Name der Initiative	Fokus	Beschreibung	Finanzierung	Information
		<p>Drei Säulen sollen zur Erreichung der Ziele beitragen: Zertifizierung und Standardisierung; Kommunikation durch die Entwicklung von Kernbotschaften; Interessensvertretung der Kunststoffrohr-Industrie auf EU-Ebene</p> <p><i>Informationsquelle: https://www.teppfa.eu</i></p>		
KRV (Deutschland)	Kunststoffrohre	<p>KRV ist der Fachverband der Kunststoffrohr-Industrie;</p> <p>Der KRV bringt sich in relevante Gesetzgebungsverfahren ein, formuliert Positionspapiere, führt Gespräche und organisiert Parlamentarische Veranstaltungen;</p> <p>Setzt sich in Positionspapieren unter anderem für eine Reduzierung der Regulierungen für den Einsatz von Sekundärstoffen ein, um die Kreislaufwirtschaft zu fördern.</p> <p><i>Informationsquelle: https://www.krv.de</i></p>	Keine Information	<p>Veranstaltung von Gastvorträgen an Hochschulen;</p> <p>Wissensportal zu Fachinformation über Kunststoffrohrsysteme (WIPO);</p> <p>Veröffentlichung von Positionspapieren</p>
Rockcycle® (Deutschland)	Steinwolle	<p>Gebührenpflichtiger Rücknahmeservice für Steinwolle Dämmstoffe der Steinwolle Herstellfirma ROCKWOOL;</p> <p>Bei Neubelieferung der Baustelle mit ROCKWOOL Dämmstoffen kann die alte ROCKWOOL Steinwolle-Dämmung zurückgenommen und für die Herstellung neuer Steinwolle-Dämmstoffe verwertet werden. Der Entsorgungsnachweis erfolgt im Rahmen der freiwilligen Rücknahme gemäß § 26 KrWG durch einen Übernahmeschein;</p>	Gebührenpflichtige Rücknahme	

Name der Initiative	Fokus	Beschreibung	Finanzierung	Information
		<p>Voraussetzungen für die Rücknahme bei Rockcycle: Nur ROCKWOOL Dämmstoffe werden zurückgenommen; Dämmstoffe müssen sortenrein sein; Dämmstoffe müssen fachgerecht verpackt werden (Big Bags, Presscontainer, Großraumcontainer mit Deckel);</p> <p>Abtransport erfolgt i.d.R. über ein beauftragtes Entsorgungsunternehmen.</p> <p><i>Informationsquelle: https://www.rockwool.de</i></p>		
fermacell Big Bag Rücknahme-System (Deutschland)	Gipsfasern	<p>Firmeneigenes Rücknahme-System für Gipsfaser-Abschnitte der Fermacell GmbH;</p> <p>Es werden kostenpflichtige Big Bags für die Befüllung mit den Gipsfaser-Abschnitten bereitgestellt;</p> <p>Die Abholung wird durch das Unternehmen fermacell organisiert.;</p> <p>Voraussetzung für die Rücknahme: Sortenreiner fermacell Gipsfaser; Keine Verunreinigung mit Fremdstoffen</p> <p><i>Informationsquelle: https://www.fermacell.de/5429.php</i></p>	Gebührenpflichtige Rücknahme	
Ytong Big Bags Rücknahme-system (Deutschland)	Porenbeton	<p>Firmeneigenes Rücknahmesystem der Xella GmbH;</p> <p>Pre-Consumer Abfälle, die an der Baustelle beim Neubau anfallen, können mittels dieses Sammelsystems an ein herstellendes Unternehmen zurückgeführt werden;</p>	Kostenlose Rücknahme (Ytong Big Bags werden bequem direkt auf die Baustelle geliefert. Die Abholung der Ytong Big Bags ist kostenlos	

Name der Initiative	Fokus	Beschreibung	Finanzierung	Information
		<p>Sortenreine Abfälle werden entweder dem Produktionsprozess zugeführt oder anderweitig als Granulat verwertet</p> <p><i>Informationsquelle: https://www.ytong-silka.de/recycling.php</i></p>		

4.4 Selektiver Rückbau

4.4.1 Definition und Abgrenzung von Begriffen

Die Eignung von Bau- und Abbruchabfällen zur Vorbereitung zur Wiederverwendung bzw. zum Recycling hängt nicht nur von den vorhandenen Materialien ab, sondern auch von der Vorgehensweise beim Abbruch. Gesetzliche Vorgaben und steigende Kosten für die Beseitigung von Abfällen führen zu einer Steigerung der stofflichen Verwertung und sind erfahrungsgemäß effektive Maßnahmen. Gegenüber konventionellen Abbrucharten gewinnen deshalb die Techniken an Bedeutung, mit denen Stoffströme getrennt erfasst werden können. Hierzu zählen Techniken des selektiven oder kontrollierten Rückbaus, Demontagetechniken sowie der verwendungsorientierte Rückbau. Im ersten Schritt einer Abbruchmaßnahme – der Planung – muss die Art, der Umfang und Vorgehensweise für die Maßnahme bestimmt werden (Umweltbundesamt 2013, S. 41).

Abbruch

Unter Abbruch versteht man gemäß den Regelungen in DIN 18007 „die Beseitigung der konstruktiven Elemente der technischen und/oder baulichen Anlagen oder deren Teilen mit Zerstörung der Funktionalität, teilweise oder vollständig, konventionell oder selektiv“ (Umweltbundesamt 2013, S. 43). Der Begriff Rückbau wird meist synonym verwendet.

Konventioneller Abbruch

Die konventionelle Methode stellt dabei den Abbruch von Bauten ohne aufwendige Vorarbeiten oder Separierung von Abfallströmen dar. Die Separation des so gewonnenen Gemisches in seine unterschiedlichen Fraktionen wird erst in einem nächsten Schritt, meist durch Sortieranlage, vorgenommen (Umweltbundesamt 2013, S. 43). Folglich fallen für die Entsorgung meist höhere Kosten an. Weiter kann es durch das Vermischen der Materialien zu Verunreinigungen durch Schad- und Störstoffe kommen. Die Verwertung kann dadurch eingeschränkt werden oder ist nicht mehr möglich (Rentz et al. 2001, S. 12).

Selektiver Rückbau

Im Gegensatz zum konventionellen Abbruch werden beim selektiven Rückbau (auch selektiver Abbruch bzw. verwendungsorientierter Abbruch/Rückbau) „Bau-, Konstruktions- und Ausrüstungsteile nach ihrer Funktion oder Materialzusammensetzung und unter Berücksichtigung des sortenreinen Erfassens und Entsorgens des Abbruchmaterials zurückgebaut“ (Rentz et al. 2001, S. 6). Das Ziel ist dabei die Möglichkeit der Vorbereitung zur Wiederverwendung zu steigern und das Recycling sicherzustellen. Durch einen kontrollierten Rückbau und eine sofortige Separierung kann eine Verschleppung von unerwünschten Stoffen verhindert bzw. minimiert werden.

Eine Mischform des selektiven und konventionellen Abbruchs stellt der teilselektive Rückbau dar. Dieses Verfahren beinhaltet zumindest eine teilweise Vorbehandlung bzw. Entfernung einzelner Abfallfraktionen (Umweltbundesamt 2013, S. 43).

Verfahren zum Abbruch bzw. Rückbau lassen sich dabei in folgende Kategorien einteilen:

- ▶ Mechanisches Abbruchverfahren (wie z.B. Abtragen, Schlagen, Fräsen und Schälen, Einschlagen, Eindrücken und Einreißen, Demontieren, Sägen);
- ▶ Sprengverfahren;

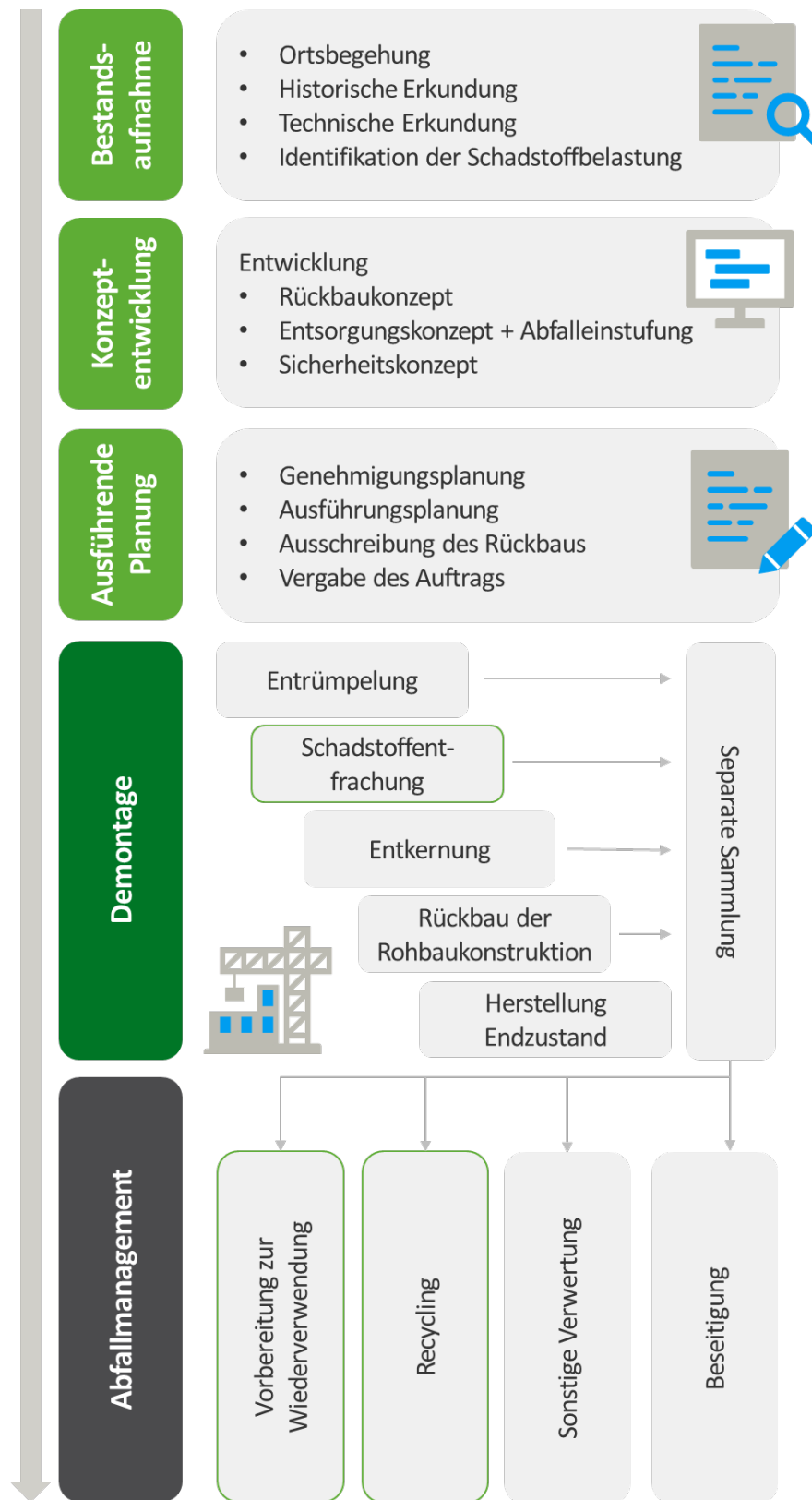
- ▶ Hydrodynamische Verfahren;
- ▶ Thermische Verfahren (z.B. durch Erhitzung, energiereiche Strahlung, elektromagnetische Energie);
- ▶ Sonstige Verfahren (z.B. Expansionsverfahren, Spalten).

Grundsätzlich können alle Verfahren für den selektiven Rückbau verwendet werden, solange auf eine sorgfältige Trennung der Materialien sowie eine frühzeitige Separierung von Schad- und Störstoffen geachtet wird (Umweltbundesamt 2013, S. 47–60).

4.4.2 Vorgehensweise selektiver Rückbau

Das selektive Rückbauverfahren kann in folgendes generelles Ablaufschema eingeteilt werden (siehe Abbildung 13). Diese Vorgehensweise kann je nach Vorhaben abweichen. Grundsätzlich wird der selektive Rückbau mit vorausgehenden Bestandsaufnahmen eingeleitet. Hierbei werden Art und Menge der zu erwartenden Baumaterialien erfasst, sodass die Baustellenlogistik (z.B. Flächen für Zwischenlagerung, Abtransport) entsprechend geplant werden kann.

Abbildung 13: Vereinfachte Darstellung eines selektiven Rückbaus



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf Umweltbundesamt (2015b, S. 44–52; Wahlström et al., S. 18)

Die ersten drei Ebenen (Bestandsaufnahme, Konzeptentwicklung und ausführende Planung) betreffen die vorbereitenden Schritte vor dem eigentlichen Rückbau. Dieser besteht aus den

Schritten der Entrümpelung, Schadstoffentfrachtung, Entkernung, Rückbau der Rohbaukonstruktion und der Herstellung des Endzustands. Die Schritte werden nach Möglichkeit so ausgeführt, dass die Bauteile und -materialien sortenrein gelagert und gesammelt werden und eine hohe Qualität aufweisen. Das Ziel besteht in einer Abfallbehandlung gemäß den prioritären Stufen der Abfallhierarchie (Vorbereitung zur Wiederverwendung und Recycling). Folglich ist auch eine ordnungsgemäße Schadstoffentfrachtung während der Demontage von großer Bedeutung (Umweltbundesamt 2013, S. 6, 2015c, S. 50–53).

Der selektive Rückbau und das Ziel „bei der Verwertung von Abfällen eine den Schutz von Mensch und Umwelt am besten gewährleistende, hochwertige Verwertung anzustreben“ (Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 53) wird durch § 8 der GewAbfV mit der Pflicht zur getrennten Sammlung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und Recycling von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen gefördert. Weiterhin bestehen in der getrennten Erfassung von Wertstoffen sowie in geringeren Entsorgungskosten wirtschaftliche Vorteile, die ebenfalls für den selektiven Rückbau sprechen (Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34, S. 53).

Durch mögliche Schadstoffbelastungen können einerseits Hindernisse bestehen, wobei andererseits zum Zweck der gezielten Schadstoffentfrachtung selektive Rückbaumaßnahmen sinnvoll sind.

4.4.3 Schadstoffbelastung in Gebäuden und Folgen

Als Gebäudeschadstoffe werden Baustoffe oder Zubereitungen zur Behandlung von Baustoffen bezeichnet, deren Inhaltsstoffe in eingebautem Zustand eine Gefährdung für Mensch oder Umwelt darstellen können (Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft 2006, S. 8). Diese können

- ▶ baustoffimmanent (liegen in der Herstellung von Bauprodukten, Baustoffen und Einbauten vor; z.B. Asbestzementplatten, PCB-haltige Dichtungen);
- ▶ nutzungsbedingt (gelangen durch objektspezifische Nutzung in Bausubstanz; z.B. Lagerung von Chemikalien, Ablagerung in Rohrleitungen);
- ▶ umweltbedingt (werden über Luft als Gas, Aerosol, Staub oder Fauna eingetragen; z.B. Taubenkot, Hausschwamm); oder
- ▶ Sonderfälle (z.B. durch Brandschaden)

sein (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat und Bundesministerium der Verteidigung 2015, S. 44; Streck 2011). Als weitere Quelle können geogene Schadstoffe im Boden genannt werden. Die Verantwortung eine potenzielle Gefährdung durch Schadstoffe zu verhindern bzw. verringern liegt dabei bei der Bauherrin bzw. dem Bauherrn. Gibt es den Verdacht, dass ein rückzubauendes Gebäude Schadstoffe enthält, muss nach VDI/GVSS 6202 (Blatt 1 „Sanierung schadstoffbelasteter Gebäude und Anlagen“) eine Schadstofferkundung durch einen Schadstoffgutachter durchgeführt werden (Meetz et al. 2015, S. 28). Das Ergebnis ist ein Schadstoffkataster, welches in das Rückbaukonzept wie auch das Entsorgungskonzept eingeht. Die Schadstoffentfrachtung findet vor bzw. während des Rückbaus unter Begleitung eines Sachkundigen statt und kann im Rahmen von mechanischen, mechanisch-hydraulischen oder thermischen Verfahren erfolgen (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat und Bundesministerium der Verteidigung 2015, S. 19; Meetz et al. 2015, S. 27,36).

Ein Überblick über mögliche Schadstoffe, die in Gebäuden vorkommen können in Verbindung mit relevanten Informationen ist in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21: Überblick Schadstoffgruppen in Gebäuden

Schadstoff (-gruppe)	Potenzielle Vorkommen	Beispiele	Verbot	Häufigster Entsorgungsweg
Asbest	Schwachgebundene Asbestfasern (in Nachtspeicheröfen, Brandschutzplatten) Fest-gebundene Asbestfasern (Asbestzementplatten, Estrichbeläge)		Schrittweises Verbot ab 1969; Deutschlandweites Verbot 1993; Rechtsgrundlage Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)	Entsorgung als gefährlicher Abfall, Deponierung Wiederverwendung belasteter Teile ausgeschlossen (Elektrogeräte nach ElektroG zu entsorgen)
Holzschutzmittel	Holzbauteile im Außenbereich Konstruktionshölzer für tragende Teile Holzfenster und Außentüren aus Holz Dämm- und Schallschutzplatten	Lindan – Insektizid PCP - Fungizid DDT – Insektizid Carbolineum – Fungizid und Insektizid	Zwischen 1970er Jahren und 1990 schrittweises Verbot der unterschiedlichen Typen; Rechtsgrundlage: GefStoffV	Verbrennung
Künstliche Mineralfasern (KMF)	Isoliermaterial (Dachisolierung, Rohrummantelung) Wärmedämmmaterial	Mineralwolle Glasfaser Keramikfaser Glasmikrofaser	Alte Mineralwolle (vor 1996 eingebaut): krebserzeugend/-verdächtig; Endgültiges Herstellungs- und Verwendungsverbot alter Mineralwolle ab 2000; Rechtsgrundlage: GefStoffV	Deponierung, Herstellung von Zuschlagsstoffen für Ziegelindustrie
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	Dichtungsmassen Anstriche Kondensatoren Weichmacher in Kunststoffen und dauerelastischen Fugenmassen		Kondensatoren: Verbot in BRD 1984; Für Bauteile: Verbot 1994;	Wiederverwendung belasteter Teile ausgeschlossen, Sonderabfallverbrennung

Schadstoff (-gruppe)	Potenzielle Vorkommen	Beispiele	Verbot	Häufigster Entsorgungsweg
	Korrosionsschutzanstriche, Flammschutzanstriche, Beschichtungen Kabelummantelungen Starterkondensatoren in Lampen für Leuchtstoffröhren		Rechtsgrundlage: EU-POP-Verordnung; PCBAbfallV	
Schwermetalle	Korrosionsschutz auf Metallen, z.B. Rohrleitungen, Kabel Anstriche, Rostschutzmittel Quecksilber: Leuchtstoffröhren	Blei Cadmium Chrom Kupfer Quecksilber	Kein allgemeines Verbot; Verbote für Spezialanwendungen; Quecksilber: Verbot 1992; Rechtsgrundlage ChemVerbotsV	Je nach Typ Verbrennung, oberirdische oder Untertagedeponierung Elektrogeräte sind nach ElektroG zu entsorgen
PAK (Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe) - Teer	Dicht- und Isolierstoffe, zum Teil auch in Klebstoffen Schornsteine	Naphthalin Benzo[α]pyren	Verwendungsverbot PAK-haltiger Erzeugnisse ab 1984; Zeitpunkt Verbot abhängig von PAK Produkt; Ausnahmen für Spezialanwendungen heute noch möglich; Rechtsgrundlage ChemVerbotsV	Je nach Typ Verbrennung, oberirdische oder Untertagedeponierung, Aufbereitung zu hydraulisch gebundenen Tragschichten
Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW)	Kühlgeräte, Kühlanlagen, Klimaanlageanlagen		Ab 1991 schrittweises Verbot in BRD;	Elektrogeräte sind nach ElektroG zu entsorgen Abtrennung und Zerstörung des FCKW und stoffliche

Schadstoff (-gruppe)	Potenzielle Vorkommen	Beispiele	Verbot	Häufigster Entsorgungsweg
			Chemikalien- Ozonschichtverordnung – (ChemOzonSchichtV)	Verwertung der übrigen Teile des Abfalls

Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf Berg (2014, S. 35–554; Umweltbundesamt, S. 46–48; Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat und Bundesministerium der Verteidigung, S. 121–126; Rentz et al., S. 10; Müller, S. 114–116))

Weitere mögliche Schadstoffe und Verunreinigungen in Gebäuden sind Chromverbindungen, Dichlormethan, Ruß, Schimmelpilzbefall, Formaldehyd, untersch. Flammschutzmittel (z.B. HBCD, bestimmte PBDE), Mineralöl-Kohlenwasserstoffe, Pentachlorphenol, Tetrachlorethen, Perchlorethylen, Polychlorierte Dioxine, Furan, Radon, Sprengstofftypische Verbindungen, Styrol, mittel- bis schwerflüchtige organische Verbindungen, Taubenkot, Tris(2-chlor-ethyl)phosphat, Toluol, Uran, Vanadium, flüchtige organische Verbindungen, Xylol oder Schadstoffe durch Brandschäden (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat und Bundesministerium der Verteidigung 2015, S. 121–126). HFKW und andere F-Gase (HFKW-Kältemittel; SF₆ in Fenstern) wären ebenfalls zu nennen.

Der Umgang mit als schadstoffbelastet deklarierten Bauteilen hängt von dem bestimmten Schadstoff ab. Während sich baustoffimmanente Schadstoffe oft leicht erkennen und demontieren lassen, sind Schadstoffe der anderen Kategorien oftmals nicht sichtbar, oder zwar sichtbar, aber nicht demontierbar. Dies ist besonders kritisch, da sie zu Belastungen von Boden und Grundwasser führen können (Müller 2018, S. 116).

Wie bereits in Kap. 2 dargestellt, sind Zuordnungswerte für kritische Inhaltsstoffe, die bei der Verwertung von Bodenaushub, unaufbereitetem Bauschutt bzw. Recycling-Baustoffen nicht überschritten werden dürfen, in der Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft (Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20, S. 13) angegeben. Parallel dazu sind die Bedingungen für den ungebundenen Einbau dieser Materialien festgelegt. Der Zuordnungswert ist folglich ausschlaggebend für den weiteren Umgang mit den Materialien. Werden die Zuordnungswerte überschritten, muss das Material deponiert werden (Müller 2018, S. 117).

Für ausgewählte Materialien gibt es zudem technische Regelungen oder Normen, welche spezifische Regelungen für den Rückbau/die Demontage und die Entsorgung enthalten.

Verallgemeinert lassen sich folgende Einschätzungen tätigen:

- ▶ Erhöhte Aufmerksamkeit sollte auf Holzbauteile (Türen, Treppen), Putze, Spachtelmassen, Fliesenkleber, Fugen, Dichtungen, Parkettkleber, Fußbodenbeläge, Ummantelungen, Brandschutztüren, Dacheindeckungen, Kondensatoren, Isolierungen, Dämmmaterialien, Anstriche, Schimmel an Wand oder Fliesen, Heizungsanlagen und Schornsteine gelegt werden;
- ▶ Entscheidend ist das Jahr des Einbaus eines Bauteils und ob der Einsatz von Stoffen, welche heute als Schadstoffe gelten, zu dieser Zeit noch erlaubt waren (siehe Tabelle 21); grundsätzlich wurden schadstoffhaltige Bauteile vor allem zwischen 1950 und den 1990er Jahren verarbeitet (Meetz et al. 2015, S. 26);
- ▶ Ein erhöhtes Schadstoffpotenzial hängt neben der Art des Materials sowie dem Jahr des Einbaus auch vermehrt mit dem Einsatzort und der Art der Vorbehandlung des Bauteils zusammen

(Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat und Bundesministerium der Verteidigung 2015, S. 121–126; Meetz et al. 2015, S. 26–27; Umweltbundesamt 2015b, S. 46–48) [Click or tap here to enter text..](#)

4.4.4 Herausforderungen des selektiven Rückbaus

Heute wie auch in Zukunft stehen dem selektiven Rückbau einige grundsätzliche Hemmnisse entgegen (Umweltbundesamt 2015c, S. 73–74):

- ▶ Generell höherer Aufwand für Planung, Bestandsaufnahme und Beprobung der verbauten Materialien im Gegensatz zum konventionellen Abbruch und damit höhere Kosten möglich;
- ▶ Häufig knapper zeitlicher und finanzieller Rahmen für Rückbaumaßnahmen;
- ▶ Platzbedarf für die getrennte Sammlung v.a. bei kleineren Baustellen;
- ▶ Zusätzliche Fachkräfte notwendig, um flexibel reagieren zu können;
- ▶ Keine flächendeckenden Annahmestellen für ausgebaute Bauteile und folglich unzureichender Markt;
- ▶ Unzureichende Informationen führen zu Unsicherheiten (rechtlicher Art, Haftungs- und Gewährleistungsfragen, Bestimmung von Schadstoffgehalten);
- ▶ Zusätzliche Kosten für Sachverständige zur Qualitätssicherung nötig;
- ▶ Aufwändige Kommunikation zur Qualitätssicherung von ausgebauten Teilen (fehlende Informations- und Kommunikationssysteme);
- ▶ Wenig Akzeptanz für gebrauchte Bauteile auf Abnehmerseite (z.B. lassen sich Dachziegel sehr gut demontieren und potenziell als Bauteile wiederverwenden, dennoch werden selbst intakte Altdachziegel nur selten zum Eindecken von Dächern eingesetzt, sondern werden eher in anderen Industriebereichen verwertet).

Diese Hemmnisse stehen häufig nicht nur einem selektiven Rückbau entgegen, sondern folglich auch einer hochwertigen Verwertung. Diese wird zudem durch die Schadstoffbelastung einiger Bauteile beeinträchtigt.

Ein weiterer Faktor, welcher entscheidend für den Erfolg des selektiven Rückbaus sowie einer Vorbereitung zur Wiederverwendung oder des stofflichen Recyclings ist, ist die Art der Gebäudebauweise. Diese hat sich im Laufe der Zeit stark verändert und auch in Zukunft ist mit weiteren Veränderungen zu rechnen. Diese können Herausforderungen aber auch Chancen für den selektiven Rückbau und damit verbundene Ziele bedeuten. Im Folgenden wird ein Überblick über potenzielle Einflussfaktoren der Bauweise von Altgebäuden, Gebäuden neuer Bauzeit sowie zukünftiger Gebäude auf den selektiven Rückbau gegeben. Potenzielle Herausforderungen des selektiven Rückbaus der Zukunft werden in den Textblöcken genannt.

Tabelle 22: Einfluss der Bauweise auf den selektiven Rückbau

Kategorie	Gebäudebestand	Gebäude der Zukunft
Bauweise	Beton-Massivbau Fertighäuser (v.a. Holzstrukturen)	Modulare Bauweise
Materialien	Materialvielfalt und Komplexität der Verbundkonstruktionen	Einsatz von Nanomaterialien, Einsatz von Membranen

Kategorie	Gebäudebestand	Gebäude der Zukunft
Schadstoffe	Einbau von Stoffen, welche inzwischen als Schadstoffe gelten	Umweltfreundliche Flammschutzmittel, nachhaltige Materialien und neue Beschichtungswerkstoffe
Verbindungen	Vergießen, verschweißen, verkleben der Bauteile, Ausschäumen und Abdichten von Anschlussfugen	Konstruktives Kleben
Digitale Elemente und Automatisierung	Kaum vorhanden	Digitalisierung bei Planung (z.B. Softwareeinsatz) und Bau (z.B. Intelligente Steuerung und Überwachung der Energie, Heizung, Klimaanlage, Beleuchtung)
Energiesysteme	Vermehrter Einsatz erneuerbare Energien	Fokus auf erneuerbare Energien
Sonstiges	Nachverdichtung	Nachverdichtung, Dachbegrünung, Produktdesign

Bauweise

Die Bauweise von Gebäuden variiert mit dem Standort, den regionalen Gegebenheiten, dem Zweck, den politischen Rahmenbedingungen oder der persönlichen Präferenz entsprechend. So gibt es Massivhäuser, Fertighäuser, Fachwerkhäuser sowie Holzhäuser und andere. Bis circa 1970 besteht dieser zum Großteil (55,4 – 59,9 %) aus Mauerwerk. Später überwiegt der Beton-Massivbau mit einem Anteil von circa 86 % Beton (Walberg et al. 2015, S. 22; Müller 2018, S. 92).

In Zukunft könnte die modulare Bauweise von Gebäuden die vorrangige Bauweise darstellen. Dabei werden ganze Elemente (z.B. Wände, Fassadenteile) modular gefertigt und nach dem Baukastenprinzip miteinander kombiniert werden. Auf diese Weise können einzelne Elemente auch nachträglich oder im Schadensfall ausgetauscht werden. Im Falle eines Rückbaus können die einzelnen Elemente separat betrachtet und einer gezielten Aufbereitung zugeführt werden. Die modulare Bauweise entspricht in gewissem Umfang einer recyclinggerechten Konstruktion.

Materialien

Eine große Veränderung der Gebäude neuer Bauzeit zu Altgebäuden ist der Einsatz vielfältiger Materialien sowie eine steigende Komplexität der Verbundkonstruktionen (Meetz et al. 2015, S. 32; Umweltbundesamt 2013). Dies erfordert einen erhöhten Aufwand bei Rückbauaktivitäten und Trennung der unterschiedlichen Materialien und erschwert folglich den selektiven Rückbau. Baustoffabfälle fallen vermehrt als Gemische an.

Zukünftig wird ein steigender Einsatz von Nanomaterialien im Bausektor erwartet. Dabei werden voraussichtlich folgende Materialien eine wichtige Rolle spielen (Fraunhofer Allianz BAU 2012, S. 10–11):

- ▶ Nanoskaliges Titandioxid zur Erzeugung einer aktiven schmutzabbauenden Oberfläche (Selbstreinigung) für beispielsweise PVC-Fensterrahmen, Dachziegel oder Verglasungen;
- ▶ Zeolithe, welche durch ihr Absorptionsvermögen zur Verbesserung der Raumluft beitragen;

- ▶ Nanoporöse Schichten auf Photovoltaikanlagen zur Verhinderung des Energieverlusts durch Reflexion.

Weiter ist der verstärkte Einsatz von Nanotechnologien in der Bautechnik für Produkte wie umweltverträgliche Brandschutzmittel, schaltbare Glasfassaden, ultrastabile Leichtbau-Konstruktionsstoffe, OLED-Beleuchtungen, funktionsoptimierte Asphaltmischungen, korrosionsbeständigen Hochleistungsbeton, keramische Folien als Wandbelag oder hocheffiziente Wärme- und Schallschutz denkbar (Luther 2009, S. 5). Nanopartikel in Bauteilen sind meist fest in einem Stoff eingebunden. Bislang müssen Produkte, welche Nanopartikel enthalten, nicht speziell ausgewiesen werden (Umweltbundesamt 2018). Diese beiden Faktoren hindern eine getrennte Erfassung von Nanopartikeln und den Bauteilen und können zugleich die Recyclingfähigkeit bzw. die Wiederaufnahme des Bauteils in einen neuen Lebenszyklus beeinflussen.

Schadstoffe und Emissionen

Bei Wohngebäuden geht man von einer Lebensdauer von mindestens 40 Jahren aus (40-100 Jahre je nach Nutzung und Pflege). Einzelne Bauteile haben eine kürzere Lebensdauer (Agethen et al. 2015, S. 2). Unter der Annahme, dass der Großteil der heute als Schadstoff deklarierten Stoffe zwischen 1950 und den 1990er Jahren eingesetzt wurden, kann man davon ausgehen, dass Gebäude, welche heute rückgebaut werden, Schadstoffe enthalten. Außerdem können potenziell emissionsrelevante Stoffe, bei denen eine Gefährdung für Mensch oder Umwelt bei der Freisetzung auftritt (z.B. das klimawirksame SF₆ in Fenstern), besondere Herausforderungen für den selektiven Rückbau und die anschließende Verwertung oder Entsorgung darstellen. Für die Zukunft werden Entwicklungen im Bereich neuartiger Materialien wie recycelbarer Bioschaumstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, umweltfreundlicher Flammenschutzmittel oder neuartiger Beschichtungswerkstoffe als Bestandteil innovativer Gebäude ausgewiesen (Fraunhofer Allianz BAU 2012, S. 13). So wird mit einem verringerten Einsatz von Schadstoffen in Zukunft gerechnet. Bei einer Lebensdauer von Gebäuden bzw. Bauteilen von 40-100 Jahren würde sich dieser verringerte Einsatz ab ca. 2060 im Bau- und Abbruchabfall bemerkbar machen.

Verbindungen von Bauteilen

Laut Umweltbundesamt (2015b, S. 20) ist die Bauweise der älterer Gebäude oftmals von Vergießen und Verschweißen von Bauteilen sowie Ausschäumen und Abdichten geprägt. Dies erschwert eine Trennung der Materialien und folglich die Vorbereitung zur Wiederverwendung bzw. das Recycling. Das konstruktive Kleben kann als neue Verbindung für zukünftige Bauweisen betrachtet werden. Nahezu alle Werkstoffkombinationen lassen sich so langfristig und beständig verbinden (Fraunhofer Allianz BAU 2012, S. 12). Klebeverbindungen sind hier Bestandteil der Konstruktion und somit stärker mit dem Bauteil verbunden.

Im Zuge eines Rückbaus kann ein konstruktiv verklebtes Bauteil mitunter schwerer zu trennen sein als ein herkömmlich verklebtes Bauteil. In großem Maße hängt der Aufwand aber vom verwendeten Klebstoff ab und kann nicht pauschal benannt werden. Derzeit laufen einige Untersuchungen (z.B. aktuell laufendes Fraunhofer-Projekt „DämmDeBond“) zu reversiblen Klebstoffen, welche die Demontage von Verbundsystemen (z.B. WDVS) deutlich verbessern sollen und eine selektive Rückgewinnung der verklebten Komponenten ermöglichen.

Digitale Elemente

Digitalisierung sowie Automatisierung wird in Zukunft auch im Bauwesen von Bedeutung sein. Zur Steigerung der Effizienz und der Betrachtung des gesamten Lebenswegs wird ein Fokus auf digitale Prozesse im Planungs- und Errichtungsprozess, wie die Nutzung von Softwareprogrammen, welche mit digitalen Daten des Lebenszyklus eines Gebäudes arbeiten (z.B. Bauwerksinformationsmodelle (BIM)) sowie die Programmierung und Konfiguration von Gebäuden erwartet (VDI 2016, S. 12–13). Weiter ist das „Ziel der Gebäudeautomation [...], die bauphysikalischen Eigenschaften eines Gebäudes durch ganzheitliche Regelungskonzepte und den Einsatz geeigneter Technologien zu verbessern“ (Fraunhofer Allianz BAU 2012, S. 18). Dies soll durch miniaturisierte Sensortechnik oder Mikroprozessoren für integrale Steuerungs- und Überwachungssysteme erreicht werden.

Falls die digitalisierten Daten zum Zeitpunkt des Rückbaus eines Objektes vorliegen, kann der Rückbau wesentlich gezielter durchgeführt werden. In diesem Fall sind dem Abbruchunternehmen etwaige kritische bzw. schadstoffbelastete Bauteile im Objekt bekannt und können somit selektiv rückgebaut und entsorgt werden.

Energiesysteme

Im derzeitigen Gebäudebestand (2015) spielt Erdgas mit fast 50 % die größte Rolle als Energieträger für beheizte Wohnungen in Deutschland. 26,5 % werden durch Heizöl beheizt und Fernwärme hat einen Anteil von 13,6 %. Im Wohnungsneubau liegt der Fokus mit knapp 50 % ebenfalls auf Erdgas, jedoch gefolgt von Wärmepumpen (20,7 %) und Fernwärme (20,6 %) (Pfnür et al. 2016, S. 10). Mit dem Ziel, die Energieeffizienz in Gebäuden deutlich zu steigern werden unter anderem folgende Entwicklungen erwartet (Fraunhofer Allianz BAU 2012, S. 22–23) (VDI 2016):

- ▶ ein besserer sommerlicher und winterlicher Wärmeschutz (z.B. Dämmung);
- ▶ bedarfsgerechte und energieeffiziente gebäudetechnische Anlagen (z.B. Wärme- und Kältespeicher, sorptive Systeme und gebäudeintegrierte Solar- und Klimatechnik);
- ▶ ein steigender Anteil an regenerativen Energiequellen für die Energieerzeugung;
- ▶ dichte Fenster aus Isolierglas, Thermopenglas, Dämmglas mit geringem Wärmedurchgangskoeffizienten und ggf. mit Titandioxidnanopartikeln funktionalisiert gegen Sonneneinstrahlung;
- ▶ dichte Rollladenkästen unter Berücksichtigung des Anhang 3 der MVV TB.

Prinzipiell ergeben sich aus den genannten Neuerungen keine erheblichen Auswirkungen auf den selektiven Rückbau. In Bezug auf Dämmung bleibt zu klären, wie gut beispielsweise eine Dämmung von den tragenden Schichten getrennt werden kann.

Sonstiges

Als weitere Entwicklungen der Zukunft sind die Nachverdichtung oder die Dachbegrünung zu nennen. Die Nachverdichtung kann dazu führen, dass die Einhaltung der Anforderungen einer getrennten Sammlung nach GewAbfV aufgrund von Platzmangel nicht möglich ist. Durch eine Dachbegrünung ist ggf. die Weiterverwendung des Untergrunds (Ziegel, Kunstfasermatte etc.) nicht mehr möglich.

5 Produktspezifische Erörterungen der gegenwärtigen Entsorgungspraxis

Für die systematische Erörterung von derzeitigen Hemm- und Förderfaktoren sollen die folgenden, zunächst allgemeinen Faktoren herangezogen werden. Diese wurden im Rahmen von projektbegleitenden Fachgesprächen und Begleitkreisen diskutiert sowie in Anlehnung an Umweltbundesamt (2016a, S. 33–34) definiert. Dabei wurde darauf geachtet, die Besonderheiten im Bereich der Bauprodukte abzubilden. Dies wird mittels einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren erreicht, wobei die produktspezifischen Ausprägungen der Faktoren (Hemm- oder Förderfaktor) mit Blick auf die aktuelle Praxis beurteilt werden. Auf Basis der in Tabelle 23 aufgelisteten Faktoren kann somit eine fundierte Beurteilung einzelner Bauprodukte oder Materialien erfolgen.

Tabelle 23: Faktoren zur Beurteilung der grundsätzlichen Eignung für die Stärkung des Recyclings und der Verwendung von rezyklierten Materialien im Bereich von Bauprodukten

Faktoren	Beispielaspekte
Rechtliche/Institutionelle Faktoren:	
Auswirkungen bestehender Rechtspflichten im Bereich Abbruch und Rückbau	Getrennthaltungspflicht
Auswirkungen bestehender Rechtspflichten am Lebensende	Ende der Abfalleigenschaften, Vorgaben zum Entsorgungsweg
Auswirkungen bestehender Rechtspflichten beim Einsatz als Sekundärprodukt in neuen Lebenszyklus	Chemikalienrecht, Produktrecht, Bauordnungsrecht
Sozio-ökonomische Faktoren:	
Entsorgungskosten	Preisvolatilität (schwankende Preise für konkurrierende Primärrohstoffe), Kosten für Aufbereitung
Marktstrukturen	Stabilität und Homogenität des Markts, kleinteilige Marktstrukturen oder zentralisierte Aufbereitung, Absatzmarkt; EU-weite Regelungen
Zu-/Abflüsse von Abfällen	Import von Abfällen aus anderen Ländern oder Industrien, Grenzüberschreitung von Abfällen
Alternative Entsorgungswege	Energetische Verwertung, Deponiekapazitäten
Informatorische und organisatorische Faktoren:	
Akzeptanz von Sekundärrohstoffen	Image von RC-Baustoffen, öffentliche Ausschreibungen mit verpflichtender Abnahme von RC-Materialien
Informationsgrundlagen	Umweltproduktdeklarationen, Informationen zu Abfallqualitäten, Informationsaustausch zwischen Beteiligten

Faktoren	Beispielaspekte
Sensibilisierung von Beteiligten	Schulung und Qualifikation der ausführenden Beteiligten (Rückbauunternehmen, Entsorger)
Technische Faktoren:	
Beschaffenheit von Produkten	Komplexität der Produkte
Abfallqualität	Sortenreinheit, Trennbarkeit, Störstoffe
Verfügbarkeit von geeigneten Recyclingverfahren	existierende oder sich in der Entwicklung befindliche Verfahren
Qualitätssicherung	Private technische Regelungen mit Empfehlungscharakter (Normen, Standards, bilaterale Absprachen zwischen Beteiligten)
Ökologische Faktoren:	
Schadstoffe	POPs, SVHCs
Ressourcenverknappung	lokale Verfügbarkeit von Ressourcen
Ökobilanzielle Effekte	Vorteilhaftigkeit des Recyclings, hohe Transportdistanzen

Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf Umweltbundesamt (2016a))

Die Erörterung der angewendeten Recyclingpraxis ist die Grundlage für die Identifikation von produktspezifischen Maßnahmen für die weitere Stärkung des Recyclings von Baumaterialien und -produkten. Die rechtlichen Rahmenbedingungen sind hierbei von großer Bedeutung. Weiterhin werden sozio-ökonomische, informatorische, technische sowie ökologische Faktoren berücksichtigt.

Das Recycling der folgenden Baumaterialien und -produkte wird erörtert:

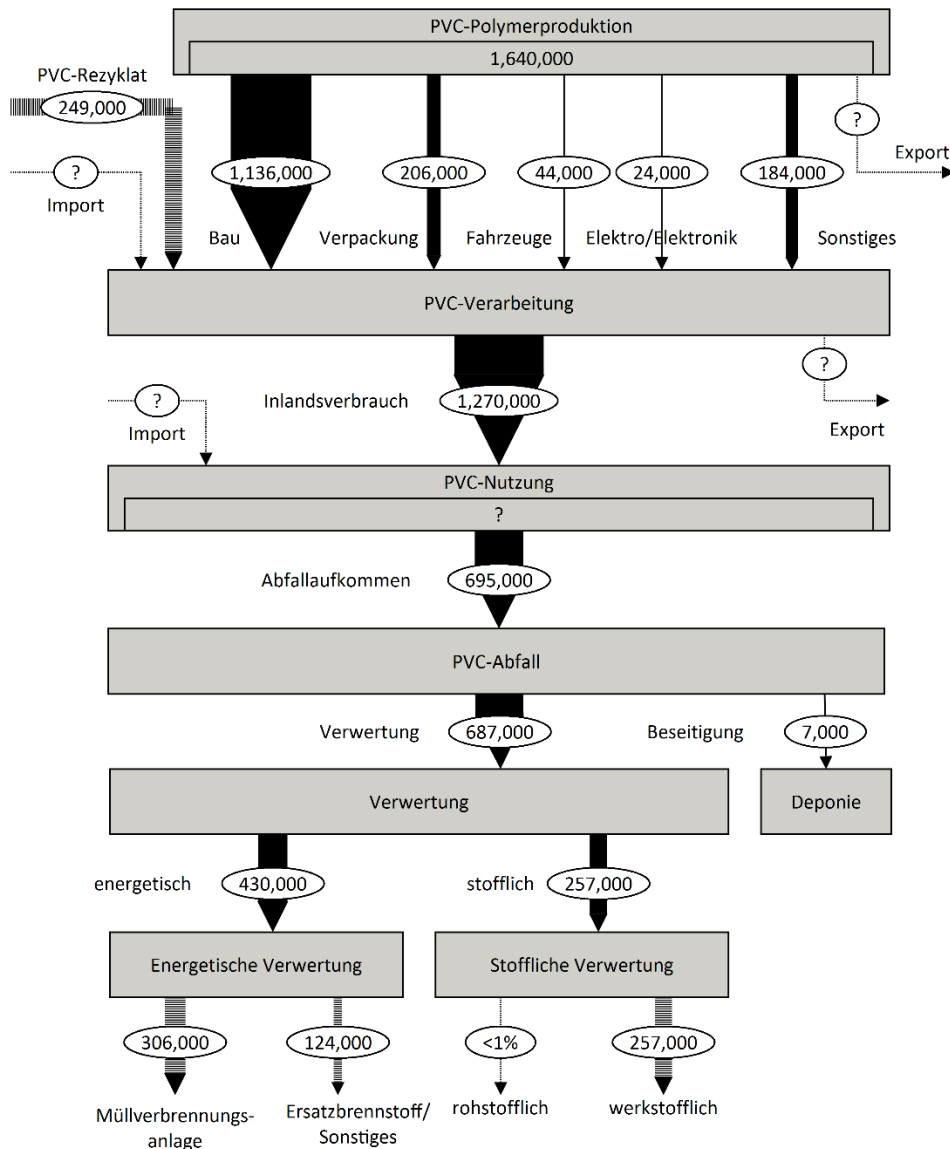
- ▶ PVC-Fensterprofile;
- ▶ Flachglas aus Fenstern;
- ▶ Porenbeton.

5.1 PVC-Fensterprofile

5.1.1 Derzeitige Entsorgungspraxis

Polyvinylchlorid (PVC) ist der mengenmäßig bedeutsamste Kunststoff im Bereich der Bauprodukte (Umweltbundesamt 2016a, S. 75). Damit stellt der Bausektor mit mehr als 70 % (siehe auch Abbildung 14) der Verarbeitungsmenge den wichtigsten Einsatzbereich für PVC in Deutschland dar (Conversio 2018a, S. 4). Die Differenz zwischen Inlandsverbrauch und Abfallaufkommen ist neben dem Exportüberhang auch auf die langlebigen Produkte im Baubereich zurückzuführen (Conversio 2018a, S. 4). Im Referenzjahr 2017 wurden ca. 37 % des gesamten PVC-Abfallaufkommens (inkl. Produktions- und Verarbeitungsabfällen) werkstofflich verwertet (siehe Abbildung 14).

Abbildung 14: Materialflussanalyse von PVC in Deutschland im Jahr 2017 (in t)

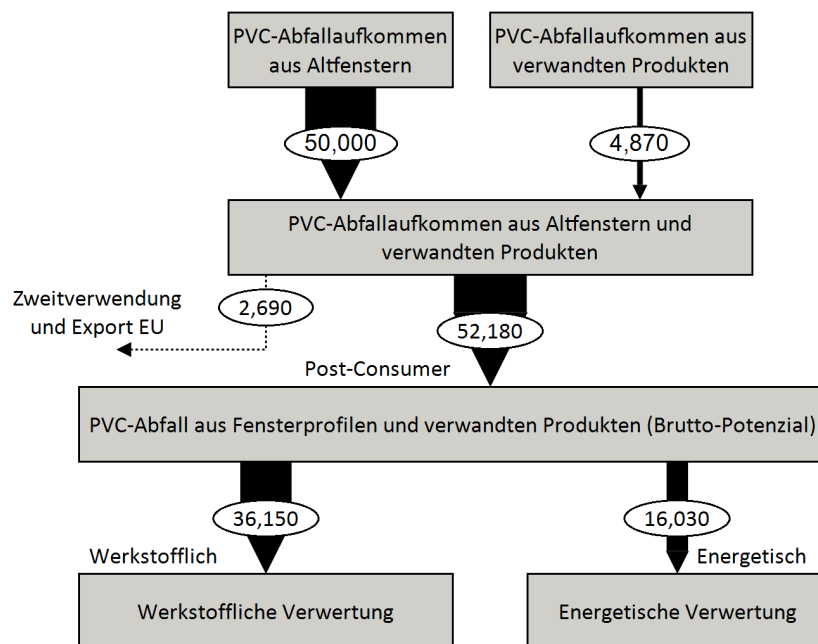


Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf Conversio (2018a))

Im Jahr 2017 lag der Marktanteil von Fensterprofilen bei 27 % der gesamten PVC-Verarbeitungsmenge (Conversio 2018b). Fensterprofile sind Vorprodukte im Fensterbau und werden als systemgebende Komponenten eines Fensters verstanden, welche die Qualität und Nachhaltigkeit des Endprodukts beeinflussen (Balck und Lützkendorf 2015, S. 115).

Das Abfallaufkommen an Altfenstern (bezogen auf das PVC-Polymer) lag 2018 bei etwas mehr als 52.000 Tonnen (siehe Abbildung 15). Für die anteiligen Materialströme aus Altfenstern und verwandten Produkten (z.B. Rollläden, Türrahmen, etc.) wird annäherungsweise von einem Verhältnis von 10:1 ausgegangen (Brunns 2019).

Abbildung 15: Materialflussanalyse von PVC-Abfall aus Fensterprofilen in Deutschland im Jahr 2018 (in t)



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf Conversio (2019))

Bezogen auf das Brutto-Potenzial des PVC-Abfallaufkommens aus Altfenstern und verwandten Produkten beträgt die Quote für das werkstoffliche Recycling innerhalb eines geschlossenen Produktkreislaufts ca. 70 %. Die restlichen ca. 30 % werden energetisch verwertet. Produktions- und Verarbeitungsabfälle aus der Profilerstellung und dem Fensterbau wurden im Jahr 2018 zu 100 % recycelt (Conversio 2019, S. 5).

5.1.1.1 Rechtliche/Institutionelle Faktoren

Erklärtes politisches Ziel europäischer und nationaler Abfallpolitik ist einerseits die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen, andererseits zielt die Abfallpolitik genauso auch auf die Sicherstellung des Schutzes von Mensch und Umwelt bei der Bewirtschaftung von Abfällen ab. Die Vorgaben zum Vorrang von Maßnahmen (Hiermit sind die Vorgaben des § 6 Abs. 2 KrWG gemeint.) im Rahmen der Abfallhierarchie verdeutlichen den grundsätzlich gewollten Ausgleich beider Ziele: Dort, wo Recycling letztlich zu einem aus Umwelt- und Gesundheitsperspektive unerwünschten Kreislauf von Schadstoffen führt und damit die Vorteile der Ressourcenschonung (nicht) überwiegen, gilt der hierarchische Vorrang des Recyclings nicht. Dort können und sollen Abfälle bzw. die darin enthaltenen Schadstoffe im Sinne des Umwelt- und Gesundheitsschutzes aus dem Wirtschaftskreislauf ausgeschleust werden.

Das Spannungsverhältnis zwischen den beiden dargestellten grundsätzlichen Zielen der Abfallpolitik wird unter anderem durch Festlegung von schadstoffspezifischen Grenzwerten ausgeglichen (Umweltbundesamt 2015a, S. 23). Zudem kann auf der Grundlage des Expositionsszenarios argumentiert werden.

Für das Recycling von PVC-Fensterprofilen ist zu berücksichtigen, dass in der Vergangenheit Cadmium- und Bleiverbindungen als Stabilisatoren für PVC-Fensterprofile eingesetzt wurden, welche heute als Schadstoffe gelten. Durch das Recycling von älteren Produkten und den Einsatz

des Rezyklats besteht das Risiko, dass Cadmium und Blei erneut in den Produktlebenszyklus eintreten.

Cadmium und Cadmiumverbindungen sind angesichts von (u.a.) karzinogenen und reproduktionstoxische Eigenschaften in Anhang VI Tabelle 3 „Liste der harmonisierten Einstufungen und Kennzeichnungen gefährlicher Stoffe“ der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP-Verordnung) harmonisiert eingestuft. Die Präsenz von Cadmium führt bei sog. „Spiegeleinträgen“ der AVV bei Überschreiten der relevanten Grenzwerte dazu, dass die Abfälle gefährlich sind (§ 3 Abs. 5 Satz 1 KrWG; § 3 Abs. 2 sowie Punkt 2.2.1 der Einleitung zum Anhang der AVV). Pflichten, die sich durch die Einstufung als gefährlich ergeben, sind in Kap. 2.1.4 dargestellt.

Beschränkungen für die Verwendung von Cadmium sind in Anhang XVII, Eintrag 23 der EG-REACH-Verordnung niedergelegt, der wie folgt lautet: „Aus Kunststoffen hergestellte Gemische und Erzeugnisse [...] dürfen nicht in Verkehr gebracht werden, wenn ihr Cadmiumgehalt 0,01 Gew.-% des Kunststoffs oder mehr beträgt“. Dies gilt nicht für „Gemische und Erzeugnisse, die Recycling-PVC enthalten, sofern ihr Cadmiumgehalt (Cd-Metall) 0,1 Gew.-% des Kunststoffs in folgenden Hart-PVC-Anwendungen nicht übersteigt: Profile und Hart-PVC-Platten für den Einsatz im Bauwesen, b) Türen, Fenster, Fensterläden, Wände, Jalousien, Zäune und Dachrinnen, c) Boden- und Terrassenbeläge, d) Kabelführungen, e) Wasserrohre [...]“ (Anhang XVII EG-REACH-Verordnung, Punkt 23, Unterabs. 4). Diese Ausnahme soll das Recycling von PVC-Fensterprofilen fördern.

Blei ist nach der EG-CLP-Verordnung harmonisiert als reproduktionstoxisch (Repr. 1A) eingestuft. Des Weiteren wurde Blei am 27. Juni 2018 in die Kandidatenliste aufgenommen (European Chemical Agency (ECHA) ohne Jahr). Somit gelten für Erzeugnisse, die Blei in einer Konzentration von mehr als 0,1 % Gewichtsprozent (w/w) enthalten, die Informationspflichten¹⁰ nach Art. 33 REACH; zudem könnte Blei künftig möglicherweise der Zulassungspflicht unter REACH unterliegen (die Konsequenzen einer Zulassungspflicht werden in Kap. 2.3.1 dargestellt).

Die Präsenz von Blei führt bei sog. „Spiegeleinträgen“ der AVV bei Überschreiten der relevanten Grenzwerte dazu, dass die Abfälle gefährlich sind (§ 3 Abs. 5 Satz 1 KrWG; § 3 Abs. 2 sowie Punkt 2.2.1 der Einleitung zum Anhang der AVV). Zunächst wurde im Rahmen des Vorhabens vermutet, dass PVC-Altfensterprofile als gefährlicher Abfall eingestuft werden. Im Rahmen einer schriftlichen Befragung wurden die zuständigen Behörden der Bundesländer stichprobenhaft um Informationen bezüglich der tatsächlichen Einstufung von PVC-Altfensterprofilen in der Praxis gebeten. Die zur Verfügung gestellten Informationen zeigen, dass PVC-Altfensterprofile aktuell nicht als gefährlich eingestuft werden. Grundsätzlich gehe man bei Kunststoffabfällen durch die Regelvermutung von nicht gefährlichen Abfällen aus und spezifische Untersuchungen auf Blei und Cadmium der PVC-Altfensterprofile seien nicht bekannt (Informationen zur Verfügung gestellt von Vertreterinnen und Vertreter aus Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Brandenburg/Berlin und Bayern¹¹).

¹⁰ Kommunikation in der Lieferkette sofern besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC) in einer Konzentration von mehr als 0,1 Masseprozent enthalten sind.

¹¹ Mündliche/schriftliche Stellungnahmen durch die Niedersächsische Gesellschaft zur Endablagerung von Sonderabfall mbH, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Bezirksregierung Detmold, Bezirksregierung Düsseldorf, SAM Sonderabfall-Management GmbH Rheinland-Pfalz, Sonderabfallgesellschaft Brandenburg/Berlin mbH und das Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz im Zeitraum Januar – Mai 2020.

Beschränkungen für die Verwendung von Blei sind in Anhang XVII, Eintrag 63 der EG-REACH-Verordnung geregelt; die Verwendung oder die Präsenz von Blei in PVC ist dort aktuell (Stand April 2020) nicht genannt. Nach Vorarbeiten auf Ebene der ECHA veröffentlichte die EU-Kommission Ende 2019 den Vorschlag einer Verordnung¹² zu einer Änderung von Eintrag 63, wonach PVC-Erzeugnisse, in denen die Konzentration von Blei (ausgedrückt als Metall) mehr als 0,1 Gewichtsprozent (w/w) beträgt, nicht in Verkehr gebracht werden dürften, zugleich wurde eine Ausnahme von diesem Verbot für rezykliertes Hart-PVC unter bestimmten Voraussetzungen (bestimmte Verwendungen, Kennzeichnung) festgelegt und für diese Ausnahmefälle ein Grenzwert von 2 Gewichtsprozent vorgeschlagen. Diese Ausnahme sollte nach siebeneinhalb Jahren überprüft werden. Das Europäische Parlament hat dem Verordnungsvorschlag der Kommission am 12. Februar 2020 widersprochen und die Kommission aufgefordert, einen neuen Vorschlag auszuarbeiten.¹³

Um das Ende der Abfalleigenschaft zu erreichen, müssen Alt-Fensterprofile aus PVC die Voraussetzungen des § 5 Abs. 1 KrWG erfüllen. Die Abfalleigenschaft eines Stoffes oder Gegenstandes endet demnach, wenn dieser ein Verwertungsverfahren durchlaufen hat und die weiteren Voraussetzungen der Nr. 1 bis 4 vorliegen.

- ▶ Nach § 5 Abs. 1 Nr. 1 KrWG ist zunächst Voraussetzung, dass der Gegenstand üblicherweise für einen bestimmten Zweck verwendet wird. Dies kann als gegeben betrachtet werden, wenn Alt-Fensterprofile aus PVC für die Herstellung neuer PVC Fensterprofile (oder verwandte Produkte im Bausektor) eingesetzt werden.
- ▶ Nach § 5 Abs. 1 Nr. 2 KrWG muss zudem auch ein Markt bzw. eine Nachfrage für recycelte PVC-Fensterprofile bestehen. In Deutschland wird dies vorrangig durch die Rewindo-Initiative gefördert.
- ▶ Weitere Voraussetzung ist nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 KrWG, dass die gesetzlich festgelegten Grenzwerte in den neu produzierten Erzeugnissen eingehalten werden („jeweilige Zweckbestimmung geltenden technischen Anforderungen sowie alle Rechtsvorschriften und anwendbaren Normen für Erzeugnisse [müssen] erfüllt werden“). Soweit diese Anforderungen eingehalten werden, kann diese Voraussetzung ebenfalls als erfüllt betrachtet werden.
- ▶ Nach § 5 Abs. 1 Nr. 4 KrWG darf die Verwendung des Stoffes oder Gegenstandes insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt führen. Die Verwendung von recycelten PVC-Fensterprofilen darf also nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt führen.

Für die Prüfung der Frage, ob die Verwendung des Gegenstandes insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen für Mensch und Umwelt führt, wird eine sogenannte vergleichende Sicherheitsbetrachtung gefordert. Hierbei wird das für Abfälle geltende Sicherheitsniveau über den gesamten Lebenszyklus hinweg mit dem des Produktrechts verglichen, unter das der aus der Abfalleigenschaft zu entlassende Stoff fallen würde. Dies wird etwa im Leitfaden der

¹²

https://ec.europa.eu/transparency/regcomitology/index.cfm?do=search.documentdetail&dos_id=0&ds_id=63675&version=3.

¹³ https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/B-9-2020-0089_DE.html.

Europäischen Kommission zum Verständnis von wichtigen Vorschriften der EG-AbfRRL wie folgt beschrieben:

„Compliance with this criterion can be indicated by comparing the use of the material under the relevant product legislation with the use of the same material under waste legislation. The following questions are also relevant: Is the product legislation sufficient to adequately **minimise the environmental or human health impacts**? Would releasing the material from the waste regime lead to higher environmental or health risks?¹⁴“

Letztlich war nach dem Verständnis der Gutachter der Verordnungsvorschlag der EU-Kommission zur Änderung von Eintrag 63 in Anhang XVII REACH ein Versuch, über die Grenzwertregelung eine Balance der widerstreitenden Umweltbelange (siehe Einführung zu diesem Kap.; plakativ: Ressourceneffizienz vs. „toxic free environment“) zu finden. Wäre diese – ausgesprochen differenzierte – Regelung verabschiedet und damit auf europäischer Ebene ein Konsens zu diesem Spannungsfeld im konkreten Anwendungsbereich des PVC-Recyclings gefunden worden, wäre dies nicht nur wegen § 5 Abs. 1 Nr. 3 KrWG unmittelbar relevant für das Vorliegen des Endes der Abfalleigenschaft gewesen, sondern hätte zugleich auch im Sinne des in § 5 Abs. 1 Nr. 4 KrWG genannten Kriteriums ein deutliches Signal an Vollzugsbehörden und Wirtschaftsakteurinnen- und akteure gesendet, inwieweit PVC-Recycling „insgesamt“ zu „schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt führen“. Nachdem dieser Konsens auf europäischer Ebene nicht erzielt werden konnte, ist die Bewertung offener denn je.

5.1.1.2 Sozio-ökonomische Faktoren

Im Vergleich zu anderen Bauabfällen sind PVC-Altfensterprofile Rohstoffe mit einem hohen ökonomischen Wert. Unter derzeitigen Marktbedingungen stellt das werkstoffliche Recycling eine wirtschaftliche Entsorgungsalternative dar, da PVC-Recyclinggranulate einen stabilen und positiven Marktwert erzielen (Umweltbundesamt 2015c, S. 142). Die Wirtschaftlichkeit hängt allerdings von den Abfallmengen ab. Dies ist vor allem bei großen Rückbau- oder Abrissmaßnahmen gegeben. Geringe Abfallmengen machen hingegen den Transport zu spezialisierten Recyclingunternehmen unwirtschaftlich und die PVC-Altfenster werden lokal energetisch verwertet. Für die Erfassung von geringen Abfallmengen werden aktuell neben den etablierten Holsystemen auch Bringsysteme (regionale Annahmestellen) für PVC-Altfenster implementiert (Rewindo o.J.b). Die tatsächliche Wirtschaftlichkeit der geschlossenen Kreislaufführung hängt allerdings auch von den Rohstoffpreisen für PVC ab. Detaillierte Kostenlasten der beteiligten Marktagierenden des werkstofflichen Recyclings von PVC-Altfensterrahmen sind nicht öffentlich zugänglich. Allerdings kann festgehalten werden, dass das PVC-Recycling und die Verwendung von PVC-Rezyklat innerhalb geschlossener und kontrollierter Kreisläufe im Rahmen einer freiwilligen Selbstverpflichtung (Branchenlösung) ein wirtschaftlich tragbares und erfolgreiches System ist. Die Branchenlösung profitiert außerdem von der homogenen Marktsituation im Bereich der Kunststofffensterprofile. In der Vergangenheit wurden Kunststofffenster ausschließlich aus PVC gefertigt. Bereits in den frühen 90er Jahren konnten sich erste freiwillige Systeme für die Rücknahme von PVC-Abfällen etablieren (Umweltbundesamt 2016a, S. 75). Im Bereich der Fensterprofile, Türen und Rollläden wird das bundesweite PCV-Recycling durch eine Recyclinginitiative der deutschen herstellenden Unternehmen von Kunststoffprofil (Rewindo GmbH) koordiniert. Die operative Umsetzung (logistisch und technisch) erfolgt durch zahlreiche Partnerfirmen.

¹⁴ EU-COM, Guidance on Key Provisions of the Waste Framework Directive, 2012, Ziff. 1.3.2; https://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/guidance_doc.pdf

Eine Wiederverwendung von PVC-Fenstern als auch der Export in das EU-Ausland (ca. 5 % des Gesamtabfallaufkommens im Jahr 2018) spielen nur eine nachgeordnete Rolle. Zumal dieser Anteil in den letzten Jahren stetig rückläufig ist (Borgmann et al. 2019, S. 40). Hingegen wird derzeit ein nicht unerheblicher Anteil (ca. 30 % Gesamtabfallaufkommens im Jahr 2018) der energetischen Verwertung zugeführt. Trotz dieses Umstands, welcher primär in der nicht wirtschaftlichen Erfassung von lokal auftretenden geringfügigen Abfallmengen (insbesondere bei kleinen Baustellen im Privatbereich) begründet ist, stellt die energetische Verwertung in Müllverbrennungsanlagen keine langfristige Alternative zum werkstofflichen Recycling dar, sofern durch das werkstoffliche Recycling eine sichere Kreislaufführung gewährleistet werden kann. Zudem ist eine Deponierung von Kunststoffabfällen nach dem deutschen Deponierecht (Verbot der Deponierung nicht vorbehandelter Abfälle seit 2005) nicht zulässig (Umweltbundesamt 2016a, S. 203).

5.1.1.3 Informatorische und organisatorische Faktoren

Eine Einschränkung für die Verwendung von PVC-Rezyklaten besteht in den Ansprüchen der Kunden und Kundinnen hinsichtlich der optischen Eigenschaften. Dies gilt in bestimmten Fällen selbst dann, wenn die technische Qualität mit Produkten aus Primär-PVC identisch ist (PE Europe 2004, S. 7). Zudem kann davon ausgegangen werden, dass die Verwendung von Additiven (z.B. Cadmium, Blei) zu weiteren Akzeptanzproblemen führt (siehe hierzu auch Kap. 5.1.1.5). Als Konsequenz werden neue Fensterprofile mit PVC-Rezyklatanteil eher selten explizit als Recyclingprodukt beworben.

Trotz der aus den beschriebenen Gründen zurückhaltenden Vermarktung von Fensterprofilen mit PVC-Rezyklatanteil gegenüber Endkunden und Endkundinnen sind umfangreiche Informationen und Produktdaten der derzeitigen Recyclingaktivitäten vorhanden und öffentlich verfügbar. Im Wesentlichen sind hier die folgenden Informationsquellen zu nennen:

- ▶ Umweltproduktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804 des Qualitätsverbands Kunststoffherzeugnisse (QKE) und der European PVC Window Profiles and Related Building Products Association (EPPA) (QKE e.V. und EPPA 2016);
- ▶ Online-Datenbank zur Unterstützung der Einhaltung der Vorgaben der europäischen EG-REACH-Verordnung, in der alle Kunststoffe und ihre zulässigen Anwendungen aufgeführt sind (inkl. erforderliche „Sicherheitsdatenblätter für Recyclingbetriebe“ sowie weitere publizierte Leitfäden) (VinylPlus 2015);
- ▶ Jährlicher Mengenstromnachweis für PVC-Fenster und verwandte Produkte der Rewindo GmbH;
- ▶ Liste regionaler Annahmestellen (sowie Annahmebedingungen) und der Recyclingpartner (Rewindo o.J.a);
- ▶ Praxisbeispiele und Best-Practice Broschüren (Rewindo 2018).

Die mengenmäßig relevante energetische Verwertung (siehe Abbildung 14) lässt sich neben der fehlenden Wirtschaftlichkeit unter anderem auch auf die unzureichende Information der Abfallbesitzer über geeignete Recyclingmöglichkeiten zurückführen. Zur weiteren Stärkung des Recyclings und der flächendeckenden Ausbreitung der Recyclinginitiative laufen daher aktuell Maßnahmen zur Steigerung des Bekanntheitsgrades. Es kann aktuell zudem davon ausgegangen werden, dass durch die etablierte Branchenlösung und die proaktive Koordination des

Recyclings im Bereich der PVC-Altfensterprofile und verwandter Produkte bereits eine ausreichende Sensibilisierung der beteiligten Akteurinnen und Akteure (z.B. Rückbauunternehmen, Logistikunternehmen, Recyclingunternehmen, herstellende Unternehmen) stattfindet.

5.1.1.4 Technische Faktoren

PVC-Fensterprofile bestehen heute zu ca. 90 % aus PVC und zu ca. 10 % aus Additiven. Häufig verwendete Additive sind die folgenden:

- ▶ 2-4 % Farbstoffe und Pigmente (oft Titandioxid),
- ▶ 2-4 % Füllstoffe (Kreide oder Talkum),
- ▶ 1-1,5 % Verarbeitungshilfen,
- ▶ 1-1,5 % Thermostabilisatoren (Metallseife mit Calcium-Zink-Verbindung),
- ▶ 0,5 – 1,5 % Antistatika,
- ▶ 0,8 – 2,5 % Gleitmittel,
- ▶ 0,2 – 0,6 % Trennmittel (Borgmann et al. 2019, S. 38).

Laut (Verbands-)Umweltproduktdeklaration (EPD) des Qualitätsverband Kunststoffherzeugnisse e.V. (QKE) und der European PVC Window Profiles and Related Building Products Association (EPPA) von 2016 werden 3,2 % Pigmente (Titanoxid), 8,1 % Füllstoffe, (Kreide) 4,9 % Schlagzähmodifikatoren und 2,8 % Stabilisatoren (Calcium-Zink) und 81 % PVC für die Produktion von Kunststofffenster aus PVC-U verwendet (QKE e.V. und EPPA 2016, S. 4). Basierend auf den abweichenden Literaturangaben kann davon ausgegangen werden, dass die Zusammensetzungen variieren können.

Grundsätzlich können PVC-Fensterprofile nach der Nutzungszeit sehr gut gesammelt, getrennt und verwertet werden (QKE e.V. und EPPA 2016, S. 7). Für PVC-Abfälle stehen zwei verschiedene Verwertungsoptionen zur Wahl: das werkstoffliche und das rohstoffliche Recycling.

Vorzugsweise wird das werkstoffliche Recycling bei sortenreinen und vorsortierten PVC-Abfällen angewandt (VinylPlus 2015, S. 26). Dabei werden die Fenster zunächst geschreddert und Glas, Metalle oder Mörtelreste abgetrennt. Anschließend wird das Grobmahlgut weiter zerkleinert, bis es die Größe von einigen Millimetern erreicht. Es folgen Trenn- und Aufbereitungsprozesse, welche ein PVC-Pulver hervorbringen. Um am Ende PVC-Granulat zu erhalten, wird das PVC-Pulver erhitzt und durch ein Sieb gepresst (Compoundierung). Das Granulat kann für die Herstellung neuer PVC-Fensterprofile genutzt werden (VDI 2014, S. 31). Das Rezyklat bildet häufig den Kern des Profils und wird von neuproduziertem PVC ummantelt. Laut Rewindo (Vetter 2019) liegt der Anteil an Rezyklaten dabei bei bis zu 50 %.

Nach VinylPlus (2015, S. 23) lässt sich das werkstoffliche Recycling durch verbesserte Trennverfahren, verbesserte Behandlung von gemischten PVC-Abfällen, die Kombination von PVC-Rezyklaten mit anderen Materialien und ein verbessertes Recycling von komplexen Abfallströmen optimieren.

Beim rohstofflichen Recycling wird durch thermische Behandlung von PVC-Abfällen Kohlenstoff entzogen, der wiederum als Rohstoff zur Produktion von Chemikalien verwendet wird. Da dieses

Verfahren hauptsächlich für verschmutzte Mischkunststoffe oder Verbundwerkstoffe angewandt wird (VinylPlus 2015, S. 23), ist dieses Verfahren für die sortenrein gesammelten PVC-Fensterprofile, welche dem etablierten und wirtschaftlicheren werkstofflichen Recycling zugeführt werden können, derzeit nicht von Bedeutung. Inwieweit die rohstoffliche Verwertung in Zukunft eine geeignete Alternative oder Ergänzung für das werkstoffliche Recycling werden kann, bleibt abzuwarten, da sich potenzielle Verfahren noch in der Entwicklung befinden. Als Beispiel hierfür kann das seit Juni 2019 laufende Projekt REMADYL (Laufzeit 48 Monate) angeführt werden (REMADYL 2020).

Die spezifischen Polymereigenschaften von PVC ermöglichen das vielfache werkstoffliche sowie rohstoffliche Recycling (VinylPlus 2015, S. 23). PVC-Fensterprofile lassen sich etwa sieben Recyclingzyklen (werkstoffliches Recycling) unterziehen (Umweltbundesamt 2012a, S. 88). Bei einer zunehmenden mittleren Produktlebensdauer von bis zu 40 Jahren (QKE e.V. und EPPA 2016, S. 4), beträgt die theoretische Materialnutzungsdauer des PVC im Bereich der Fensterprofile bis zu 280 Jahre (in der Praxis kann die Nutzungsdauer auch variieren). Abhängig von den beigemischten Additiven sowie der Materialalterung ist ein werkstoffliches Recycling von Kunststoffen allerdings nicht unbegrenzt möglich. Unterschiedliche Additive führen außerdem dazu, dass unterschiedliche PVC-Produkte in der Regel nicht gemeinsam recycelt werden können (Lahl und Zeschmar-Lahl 1997, S. 9; Borgmann et al. 2019, 40f). Deshalb ist eine branchen- bzw. produktspezifische Sammlung für ein Recycling unabdingbar.

Die Initiative „Controlled Loop PVC Recycling von Kunststofffenstern“ koordiniert die Erarbeitung einer europäischen Norm, die sich am Lebenszyklusmodell orientiert und damit folgende drei Bereiche abdecken soll: Sammlung der Altfenster, Aufbereitung zum einsatzfähigen Rezyklat und Festlegung von Produktdaten. Damit soll eine Norm geschaffen werden, die im Zusammenspiel mit der Norm EN 12608 für Kunststoff Fensterprofile und der Norm EN 14351-1 für Fenster und Türen eine sichere Herstellung und Kreislaufschließung gewährleistet (Vetter 2019; QKE e.V. 2016).

Borgmann et al. (2019, S. 41) merkt an, dass die Kontrolle und Dokumentation über die Schadstoffgehalte von Recycling-PVC einen großen Aufwand bedeutet. Die Alternative bestünde in der Herstellung ausschließlich schadstofffreier PVC-Fensterrahmen, was bedeutet, Schadstoffe wie Cadmium aus den Recycling-PVC mit chemischen Verfahren komplett zu entfernen und bestimmte Materialien rohstofflich zu recyceln.

5.1.1.5 Ökologische Faktoren

Grundsätzlich sollte eine funktionierende Kreislaufwirtschaft Rohstoffe in einem technischen und hochwertigen Materialkreislauf halten und somit den größtmöglichen wirtschaftlichen und ökologischen Nutzen aus den Ressourcen ziehen. Ein fortwährendes und produktübergreifendes Konfliktpotenzial besteht allerdings in der Priorisierung von konträren sozio-ökologischen Zielen, welches sich in dem Zielkonflikt zwischen einer progressiven Umsetzung der Kreislaufwirtschaft und einer effektiven Schadstoffausschleusung manifestiert (siehe dazu Kap. 5.1.1.1).

In der Vergangenheit wurden Cadmium- und Bleiverbindungen als Stabilisatoren für PVC-Fensterprofile eingesetzt. Heute werden innerhalb der EU fast ausschließlich die weniger problematischen Calcium-/Zinkverbindungen (Ca/Zn-haltige Stabilisatoren) verwendet. Außerhalb der EU werden hingegen weiterhin Cadmium-haltige Stabilisatoren für PVC hergestellt und vermarktet (Borgmann et al. 2019, S. 39). Unter Berücksichtigung der langen Lebensdauern von Fensterprodukten kann davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der

Schadstofffracht noch im Bauwerksbestand vorhanden ist. Durch die werkstoffliche Verwertung von diesen Produkten gelangen also weiterhin bestimmte Mengen an Cadmium und Blei (sog. "legacy substances") in die PVC-Rezyklate und somit in neue Produkte. Aufgrund ästhetischer sowie konstruktiver Anforderungen, werden PVC-Rezyklate ausschließlich für innenliegende Profiteile verwendet (EPPA 2018, S. 1–2). Damit sind potenzielle Schadstofffrachten im Kern neuer PVC-Fensterprofile konzentriert. Die ungleichmäßig verteilten Schadstofffrachten in den PVC-Rezyklaten können allerdings dazu führen, dass geltende Grenzwerte bezogen auf Gew.-% für Endprodukte in Einzelfällen überschritten werden (Borgmann et al. 2019, S. 41). Einzige temporäre Abhilfe zur sicheren Kreislaufschließung sind eine lückenlose Kontrolle und Dokumentation der Schadstoffgehalte. Da die Schadstoffe jedoch fest im Molekülgefüge verankert sind und somit Auslaugungsraten von Cadmium sowie Blei aus Hart-PVC sehr gering sind, gelangen sie beim sachgemäßen Gebrauch der Produkte nicht in die Umwelt und könnten so theoretisch innerhalb eines sicheren Materialkreislaufs geführt werden (EPPA 2018, S. 2; Mercea et al. 2018, S. 123; BiPRO 2015, S. 88–89). Grundsätzlich können die produktspezifischen Expositions- und Migrationsrisiken aufgrund der inhärenten chemischen Eigenschaften sowie der Schadstoffkonzentration im Kern der Produkte als eher gering eingestuft werden (EPPA 2018, S. 2; Mercea et al. 2018, S. 123). Dennoch bleibt das Risiko, dass der Einsatz von PVC-Rezyklaten in neuen PVC-Fensterprofilen zu einer zunehmenden Verdünnung und damit steigenden Dissipation von Schadstoffen führt (z.B. durch unsachgemäße Entsorgung, Brandfälle, etc.). Demnach würden ein rohstoffliches Recycling oder die energetische Verwertung von PVC-Altfenstern die einzigen Alternativen darstellen (Borgmann et al. 2019, S. 41). Hierbei könnten Schadstoffe gezielt aus dem Produktkreislauf geschleust werden und neue PVC-Fensterprofile könnten ausschließlich schadstofffrei hergestellt werden (ohne belasteten Rezyklatanteil). Im Umkehrschluss würde dies allerdings bedeuten, dass die stofflich-technischen Eigenschaften des hochwertigen Alt-PVCs für diese und weitere Anwendungen verloren gingen.

Der Einsatz von rezykliertem Material führt bei der Herstellung von PVC-Fensterprofilen aufgrund der Rohstoffeinsparung zu signifikanten Reduktionen der mit der Herstellung verbundenen Treibhausgasemissionen und leistet somit einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz (QKE e.V. und EPPA 2016, S. 9; Stichnothe und Azapagic 2013, S. 40). Konkret können durch die Substitution von Primärrohstoffen ca. 1,8 t CO₂-Äquivalente pro Tonne PVC-Rezyklat eingespart werden (EPPA 2018, S. 3). Dieses Potenzial hängt allerdings stark von den Transportdistanzen sowie -effizienzen hinsichtlich der Auslastung und Traglast ab (Stichnothe und Azapagic 2013, S. 46). Bezogen auf das Systemprodukt Fenster lassen sich diese Tendenzen bestätigen. Im Hinblick auf den Primärenergiebedarf sowie die stark korrelierenden Treibhausgasemissionen lassen sich Reduktionspotenziale entlang des Lebenszyklus von Fenstern mit einem PVC-Rezyklatanteil von 30 % gegenüber Fenstern ohne Rezyklatanteil feststellen (Recio et al. 2005, S. 32).

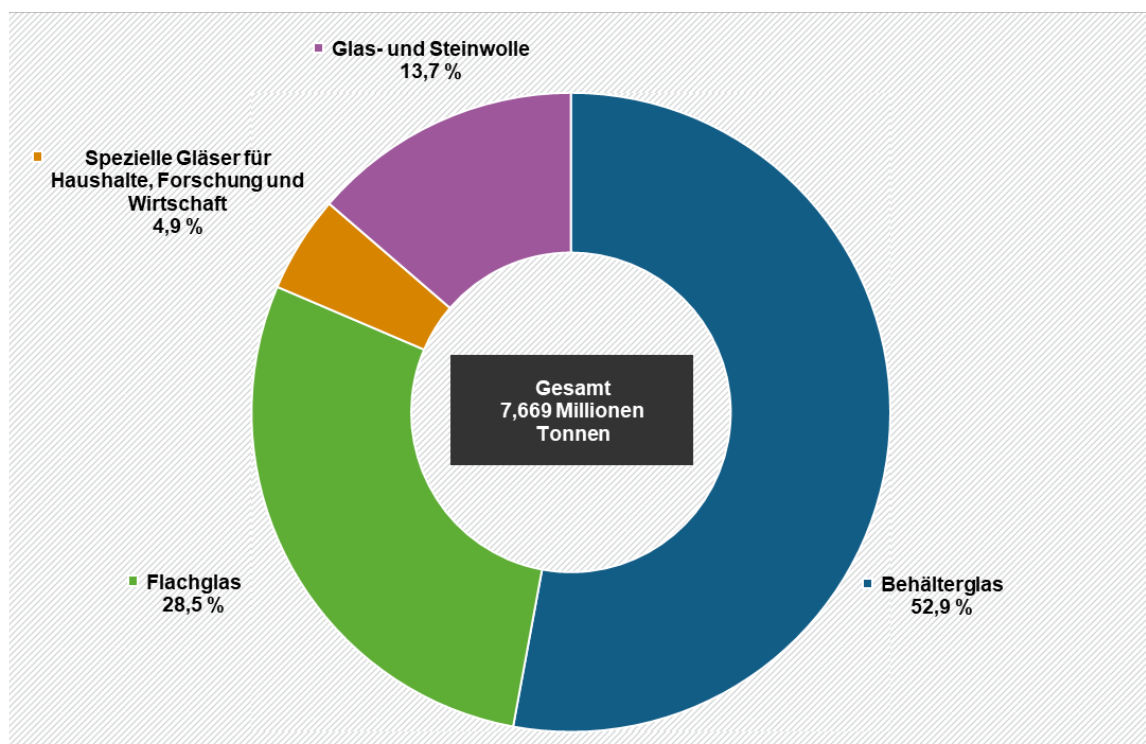
Allerdings müssen ökobilanzielle Vorteile jedoch im Kontext einer potenziellen Rezyklierung von Schadstoffen, was mittels ökobilanzieller Methoden und Indikatoren kaum zuverlässig zu quantifizieren und abzubilden ist, diskutiert bzw. abgewogen werden. Allgemein lässt sich konstatieren, dass die Verwendung von recyceltem PVC geringere Umweltauswirkungen als eine Deponierung aufweisen (PE Europe 2004, S. 6). Für ein werkstoffliches Recycling wird typischerweise eine gewisse Qualität und Sortenreinheit der PVC-Recyclingware benötigt. Ein rohstoffliches Recycling oder die energetische Verwertung stellen hingegen weniger Anforderungen an das Recyclingmaterial und können ebenfalls positive Auswirkungen auf die produktbezogene Ökobilanz haben (PE Europe 2004, S. 6). Diese Arten der Verwertung entsprechen allerdings nicht den potenziellen Definitionen eines hochwertigen Recyclings bzw.

Verwertung, welche die Weiternutzung der stofflich-technischen Eigenschaften sowie eine Herbeiführung möglichst enger Produktkreisläufe anstrebt (Umweltbundesamt 2012b, S. 16) (siehe hierzu auch Anhang B). Ebenso wenig entspricht aber ein Rezyklieren von Schadstoffen dem Verständnis eines Recyclings, welches stets schadstoffarme Produkte anstrebt. Jedoch erscheint ein Rezyklieren von Schadstoffen unter Betrachtung der momentanen Praxis des werkstofflichen Recyclings unvermeidbar.

5.2 Flachglas aus Fenstern

Generell wird Glas, das in einer flachen Form hergestellt wird, als Flachglas bezeichnet (Umweltbundesamt 2019a, S. 1). So bestehen beispielsweise Fenster- oder Autoscheiben, Spiegel, Solarglas für Photovoltaik- und Solarthermieanlagen oder Displayglas für Bildschirme, Fernseher und Monitore aus Flachglas (BV Glas o. J.). In Abbildung 16 sind neben Flachglas auch andere Glasarten nach Branche aufgeführt, wie zum Beispiel Behältergläser (Flaschen, Konservengläser, Trinkgläser, etc.). Zudem gibt es Faser- bzw. Fiberglas (z. B. in Glaswolle, Glasfaserkabel, glasfaserverstärkten Kunststoffen, Fassadenverkleidungen), optische Gläser (für Brillen, Ferngläser, Linsen, Objektive, etc.) und Rohrglas, aus welchem beispielsweise hochwertige Spritzen, Ampullen und Medikamentenfläschchen gefertigt werden. Glas liegt in der Regel in einer sortenreinen Form vor, deshalb ist es für einen geschlossenen Recyclingkreislauf besonders gut geeignet (Umweltbundesamt 2019a, S. 1). Nach der Verwendung kann ein Wiedereinschmelzen theoretisch unzählige Male erfolgen, ohne dass ein Qualitätsverlust auftritt (Umweltbundesamt 2019a, S. 1).

Abbildung 16: Übersicht Glasproduktion im Jahr 2018 und die Anteile der einzelnen Glasbranchen



Quelle: Umweltbundesamt (2019b)

Je nach Herstellungsart können sich Flachglasarten voneinander unterscheiden. Dabei ist eine der bekanntesten Herstellungsmethoden das Floatglas-Verfahren. Floatglas fließt als Schmelze über ein flüssiges Zinnbad, auf dem es aufgrund des Dichteunterschiedes schwimmt. Das aufschwimmende Glas erhält eine sehr glatte Oberfläche, da das Zinn eine niedrige Oberflächenspannung hat (Umweltbundesamt 2019a, S. 1). Eine andere Form des Flachglases ist Gussglas. Dabei wird Glasschmelze flach ausgegossen und mit Walzen strukturiert. Häufig wird hierbei auch ein Drahtnetz in das Glas gewalzt. Durch die Walzen und ggf. den Draht entsteht ein Muster auf der Oberfläche des Glases, weshalb es oft als Sichtschutz verwendet wird (Materialarchiv 2016). Eine weitere Art von Flachglas wird ausschließlich in Glasbläsereien

gefertigt. Dort entstehen geblasene Flachgläser, indem ein mundgeblasener Glaszylinder aufgeschnitten und sein Mantel geplättet wird (Glashütte Lamberts 2018). Zudem kann Flachglas nach Art der Anwendung unterschieden werden. Wird Glas besonders zur Wärmedämmung verwendet, so spricht man von Isolierglas bzw. Wärmedämmglas. Es besteht aus mindestens zwei Glasscheiben mit einem dämmenden Scheibenzwischenraum, der durch einen Abstandhalter vorgegeben wird (BV Glas o. J.). Zum Schutz vor übermäßiger Erhitzung in Räumen werden oft Sonnenschutzgläser eingebaut. Sie sind mit einer dünnen Beschichtung aus reflektierendem Edelmetall versehen, wodurch die Sonnenstrahlen selektiv reflektiert und absorbiert werden. So wird sichergestellt, dass genug Helligkeit, aber nicht zu viele Wärmestrahlen in den Raum gelangen (Flachglas Markenkreis 2009). Zur Schalldämmung wird Schallschutzglas, das aus zwei unterschiedlich dicken Gläsern und einer Zwischenschicht (meist aus Polyvinylbutyral (PVB)) besteht. Dadurch werden die Schallwellen gebrochen und weniger Lärm dringt in den Raum (BV Glas o. J.). Einscheibensicherheitsglas wird oft aufgrund der guten Biegezugfestigkeit verwendet, die durch thermisches Vorspannen entsteht. Das bedeutet, dass die Scheibe auf mehr als 600°C erhitzt und anschließend durch kalte Luft schlagartig erstarrt wird. Dadurch hat das Glas einen hohen Eigenspannungszustand, der es Schlag- und Stoßfest macht. Beim Bruch zerfällt es aufgrund der hohen inneren Spannung in kleine, würfelförmige Teile (Baunetz Wissen o. J.). Verbund-Sicherheitsglas hingegen besteht aus mindestens zwei (teilweise thermisch vorgespannten) Glasscheiben, die durch reißfeste PVB-Folien zu einer stabilen Einheit verklebt werden (BV Glas o. J.). Dadurch lassen sich die Scheiben nur sehr schwer einschlagen und bieten erhöhte Sicherheit. Um der Ausbreitung von Bränden entgegen zu wirken, wird Brandschutzglas verbaut, das wärmeundurchlässig ist und bei starker Hitze nicht zerspringt. Je nach Brandschutzklasse besteht es aus einer oder mehreren Scheiben. Bei der Mehrscheibenverglasung ist meist eine durchsichtige Schicht aus salzartigem Hydrogel zur Feuer- und Hitzedämmung im Scheibenzwischenraum (Fensterversand o. J.).

5.2.1 Derzeitige Entsorgungspraxis

Das Produktionsvolumen von Glas in Deutschland betrug im Jahr 2016 ca. 7,5 Mio. t. Der Flachglasanteil lag dabei bei 2,1 Mio. t. (Umweltbundesamt, 2019a, S.2). Der Studie des ift-Rosenheim aus dem Jahr 2019 zufolge, die sich mit dem Ist-Zustand beim Flachglasrecycling im Bauwesen befasst, fielen 2016 ca. 500.000 t Abfälle von Flachglas an. Fast 90 % von den in Deutschland anfallenden Flachglasscherben werden einem Recycling zugeführt (Rose, 2019, S. 70-71). Die von den Flachglasrecyclern erzeugten Rezyklate gingen nur zu etwa 11 % wieder in die Flachglasherstellung. Fast die Hälfte wurde der Behälterglasherstellung zugeführt. Etwa 30 % wurde bei der Herstellung von Mineralwolle, Glasperlen und Glasmehl eingesetzt. Was mit dem Rest von etwa 10 % passiert ist in der Studie nicht ausdrücklich erörtert. Der Einsatz eines so geringen Anteils recycelter Flachglasscherben in der Floatglasherstellung sei demnach eine Folge aus dem Zusammenspiel aus anfallenden Transportkosten, den hohen Qualitätsanforderungen der Glashütten sowie den Marktpreisen, die die abnehmenden Betriebe für die Scherben zu zahlen bereit sind.

Ein geschlossener Produktkreislauf von Flachglas aus Fenstern und anderen Baugläsern ist in Deutschland momentan nicht flächendeckend vorhanden. Das Flachglasrecycling ist in der Regel lokal organisiert und der Abtransport von sortenreinen Flachglasabfällen ist mit logistischen Hindernissen verbunden. Das liegt zum einen am hohen Platzbedarf bei der lokalen Sammlung der Flachglasfraktionen beim Rückbau. Zum anderen fallen meist zu geringe Mengen (kleiner als 1 Tonne) an Flachglasbauteilen für eine wirtschaftlich sinnvolle, sortenreine Trennung auf den Baustellen an. Entsprechend sind die Lohnkosten für den personellen Aufwand für die

händische Demontage vor Ort ein großes Hemmnis. Bei Großbaustellen mit einer hohen Menge an Glasbauteilen wiederum spielen diese Kosten eine vergleichsweise geringe Rolle.

Seit 2002 organisiert die Rewindo Fenster-Recycling-GmbH mit ihren Recyclingpartnern deutschlandweit die Verwertung ausgedienter Kunststofffenster, -rolläden und -türen bei kontinuierlich steigenden Verwertungsquoten (siehe hierzu Kap. 5.1). Diese Recyclingunternehmen nehmen nur Fenster ohne Glasanteil an, weshalb diese Gläser in der Regel noch auf den Baustellen manuell aus den Rahmen geschlagen werden (Rose, 2019, S. 70). Im Sinne des Flachglasrecyclings wäre es erstrebenswert komplette Fenster inklusive Glas anzunehmen. Jedoch beträgt das Gewicht des Glases einen Großteil des Gesamtgewichtes der Fenster weshalb lange Transportwege von Rewindo aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Kauf genommen werden.

Die Anforderungen an das Flachglasrecycling setzen sich also aus logistischen, technischen und wirtschaftlichen Aspekten sowie Qualitätsanforderungen zusammen. Bei der stofflichen Verwertung von Flachglasprodukten gelten besondere Anforderungen an die Qualität hinsichtlich Farbreinheit und Blasenfreiheit des Produkts. Die Flachglasindustrie ist daher bestrebt überwiegend sortenreine Glasscherben aus weiterverarbeitenden Betrieben und Eigenschcerben einzusetzen. Altflachgläser aus dem Rückbau von Gebäuden, die nicht den vorgegebenen Anforderungen an den Reinheitsgrad entsprechen, müssen aufbereitet werden. Diese Aufbereitung kann in den zahlreichen Aufbereitungsanlagen (blaue Rauten in Abbildung 17), die primär Behälterglasscherben verwerten, mit erfolgen, sofern es sich um einfache Flachgläser ohne Armierung oder Verbundfolien handelt. Weitere Flachglasaufbereitungsanlagen, die in der Karte in Abbildung 17 nicht aufgeführt sind wären z.B. Reiling Glas Recycling in Torgau, Reiling Glas Recycling in Gladbeck, Rhenus Recycling in Bennstedt sowie Komi Koppelberg & Migl in Jettingen. Dort können auch Verbundgläser oder armierte Flachgläser aufbereitet werden.

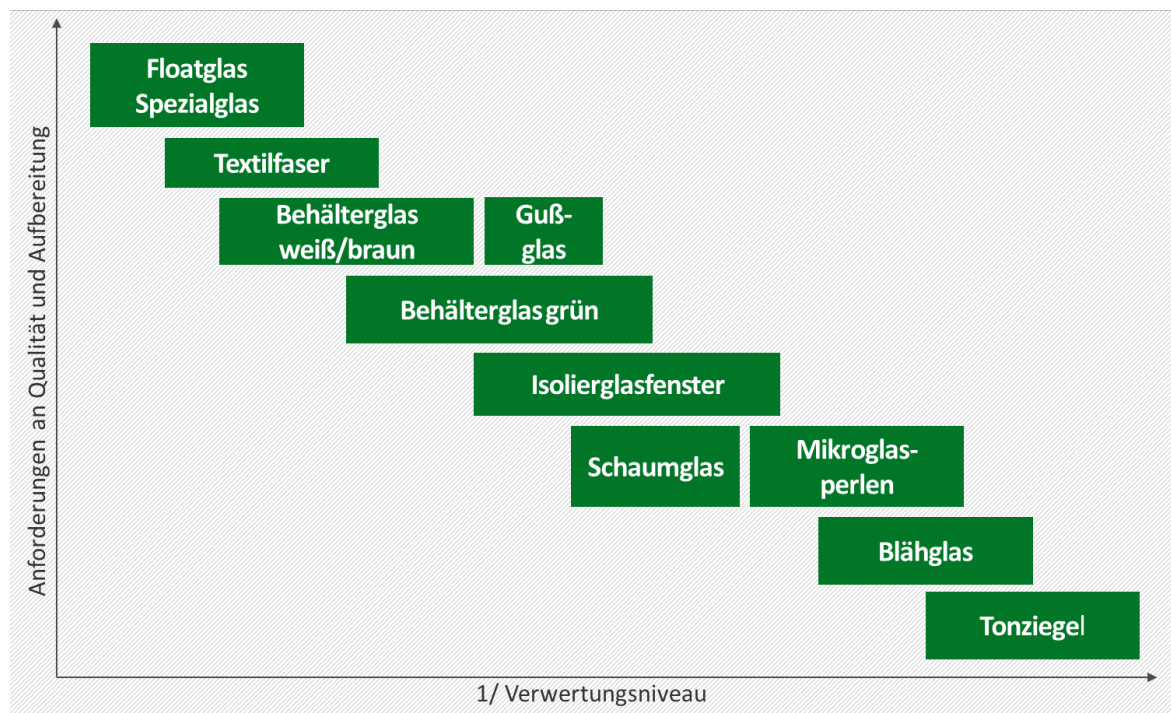
Abbildung 17: Übersicht Altglasaufbereitungsanlagen und Glashütten in Deutschland (Behälterglashütten = rote Quadrate; Aufbereitungsanlagen für Behälterglas = blaue Rauten)



Quelle: BV Glas (2019)

Altglasfraktionen aus Flachglas, die sich aus Qualitätsgründen nicht für die Herstellung neuer Flachgläser eignen, können bei der Herstellung von Behälterglas eingesetzt werden, aber auch bei der Herstellung von Dämmwolle, Schmirgelpapier, Schaumglas und Glasbausteinen (Umweltbundesamt 2019b). Abbildung 18 stellt den grundsätzlichen und derzeitigen Recyclingpfad für Glas in Deutschland dar.

Abbildung 18: Abwärtsspirale im Glasrecycling



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf Sack(2017, S. 7))

Tabelle 24 stellt die chemischen Zusammensetzungen von verschiedenen Glasarten in Abhängigkeit von deren Einsatzgebieten dar. Beim Vergleich ist erkennbar, dass Behälterglas und Flachglas eine ähnliche Zusammensetzung aufweisen. Damit lässt sich die relativ reibungslose Verwendung von Flachglasgranulat zur Herstellung von Behältergläsern erklären (Umweltbundesamt 2019a, S. 3).

Tabelle 24: Einsatzgebiete und Zusammensetzung wichtiger Glasarten (in %)

Glasart	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	BaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	PbO
Flachglas	72	14	1	8	4	-	1,3	-	-
Behälterglas	72	15	0,4	8,5	2	-	1,4	-	-
Beleuchtungsglas	67,5	13,6	1,8	9,1	-	-	5	-	-
Geräteglas	80,4	3,8	0,6	-	-	-	2,3	12,9	-
Apparatebauglas	52	-	-	-	22	...	-
Bildschirmfrontglas	68	8	7	0,3	-	11	3	2	-
Bildschirmtrichterglas	58	7	9	1	1	2	3	-	22

Glasant	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	BaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	PbO
Bleikristallglas	60	1	15	-	-	-	-	-	24

Quelle: Martens (2011), Nölle (2009), Hamidovic (1997)

In den Aufbereitungsanlagen werden die beim Rückbau ausgebauten und getrennt gesammelten Flachglasteile mittels verschiedener technischer Verfahren aufbereitet, um diese von Anhaftungen nicht glashaltiger Materialien weitgehend zu befreien. Diese von Glas verschiedenen Stoffe befinden sich in den Transportbehältern zusammen mit den Flachgläsern oder liegen im Glasinneren als Bewehrung vor. Diese werden bei der Aufbereitung als Störstoffe bezeichnet und können aus Keramik, Steinen, Porzellan, Bauschutt, Metallen, Fensterkitt, Kunststoffen, feuerfestem Glas oder Glaskeramik bestehen. Das sind also vielfach Materialien, die vom eigentlichen Glas nicht grundverschieden sind und daher nur mit besonderen Vorkehrungen oder Sortieraufwendungen aus dem Materialstrom herausgehalten werden können (BBSR 2017, S. 35). Der Aufbereitungsprozess ist sehr komplex und wird oft in die folgenden Prozessschritte unterteilt (Heitmann 2019, S. 13):

- ▶ Visuelle Kontrolle zum Zwecke der Eingangskontrolle;
- ▶ Fraktionierung mittels Schredder und Sieben;
- ▶ Homogenisierung mittels Hammermühle und Sieben;
- ▶ Entfernung von Folien und Papier mittels Sichter;
- ▶ Metallentfernung mittels Magnettechnik, Wirbelstromscheider und induktiven Sortierer;
- ▶ Glaskeramik Abtrennung durch einen XRF (Röntgenfluoreszenz)-Sortierer;
- ▶ KSP-Sortierung mittels optischer Sortiersysteme;
- ▶ Plastik/Gummi-Entfrachtung durch optische Sortiersysteme.

Die derzeitigen Herausforderungen im Flachglasrecycling aus Sicht der aufbereitenden Betriebe sind folgende:

- ▶ Abtrennung von Kunststoffen – Plexiglas und Gummi;
- ▶ Abtrennung von Organik im Feinkorn;
- ▶ Wirtschaftliche optische Sortierung im Feinkornbereich (< 3 mm);
- ▶ Abtrennung von Edelstahl;
- ▶ Aufschluss der Verbünde.

Bislang ist es Herstellerinnen und Herstellern von Flachgläsern möglich, einen Scherbenanteil von 20 – 40 Gew.-% einzusetzen (Umweltbundesamt 2019a, S. 1). Dabei handelt es sich größtenteils um werksinterne Scherben. Technisch möglich wäre ein Rezyklatanteil von 60 – 75 Gew.-%, der jedoch in der Praxis aufgrund der nicht ausreichenden Verfügbarkeit von hochwertigem Granulat nicht erreicht wird (Umweltbundesamt 2019a, S. 1).

Mit Blick in die Zukunft ist zu erwarten, dass insbesondere der hohe Anteil an Photovoltaik-Modulen eine Herausforderung für das Flach- bzw. Altglasrecycling darstellen wird. Auch der Einfluss von sogenannten „smarten“ Gläsern - also Gläser aus Touch-Screens (z.B. von Smartphones) - auf die Qualität von RC-Glas kann aktuell noch nicht eingeschätzt werden.

5.2.1.1 Rechtliche/institutionelle Kriterien

Glas aus Abbruch- und Rückbaumaßnahmen wird im Sinne von Bau- und Abbruchabfällen mit der Abfallschlüsselnummer 17 02 02 gemäß Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (AVV) geführt. Die in § 14 Abs. 3 KrWG genannte Vorbereitung zur Wiederverwendungs-, Recycling- und sonstige Verwertungsquote von 70 Gewichtsprozent für nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle, welche spätestens zum 01.01.2020 erreicht sein sollte, wird für Glas bereits deutlich erfüllt. Zudem sind durch die Verordnung (EU) 1179/2012 bereits seit 2013 Kriterien festgelegt, welche das Erreichen des Endes der Abfalleigenschaft im Sinne von Art. 6 EG-AbfRRL für bestimmte Arten von Bruchglas klar regeln (EU 2012). Demnach wird Glasbruch, der aus der Verwertung von Altglas gewonnen wird, nicht mehr als Abfall angesehen, wenn es die folgenden in Art. 3 der Verordnung (EU) 1179/2012 festgelegten Kriterien erfüllt:

1. Das bei dem Verwertungsverfahren gewonnene Bruchglas genügt den Kriterien in Anhang 1 Abschnitt 1.
2. Der dem Verwertungsverfahren zugeführte Abfall erfüllt die Kriterien in Anhang 1 Abschnitt 2.
3. Der dem Verwertungsverfahren zugeführte Abfall wurde in Einklang mit den Kriterien in Anhang 1 Abschnitt 3 behandelt.
4. Der Erzeuger genügt den Anforderungen in den Art. 4 und 5.
5. Das Bruchglas ist für die Herstellung von Glasmaterialien und -gegenständen im Einschmelzverfahren bestimmt.

Konkret wird in Anhang 1 Abschnitt 1 („Qualität des bei dem Verwertungsverfahren gewonnenen Bruchglases“) beschrieben, dass Bruchglas einer Kundenvorgabe oder einer Vorgabe der Industrie oder einer Norm für die Direktverwendung bei der Herstellung von Glasmaterialien und -gegenständen im Einschmelzverfahren in Glasherstellungsanlagen entsprechen muss. Der Anteil der folgenden Nicht-Glas-Komponenten entspricht:

- ▶ Eisenmetalle: ≤ 50 ppm;
- ▶ Nichteisenmetalle: ≤ 60 ppm;
- ▶ Anorganische Nichtmetall-Nichtglas-Stoffe:
 - < 100 ppm für Bruchglas der Größe > 1 mm
 - < 1500 ppm für Bruchglas der Größe ≤ 1 mm;
- ▶ Organische Stoffe: ≤ 2000 ppm.

Beispiele für anorganische Nichtmetall-Nichtglas-Stoffe sind Keramik, Steine, Porzellan, Pyrokeramik. Beispiele für organische Stoffe sind Papier, Gummi, Kunststoff, Gewebe, Holz.

Außerdem darf das Bruchglas keine der in Anhang III der Richtlinie 2008/98/EG aufgeführten gefahrenrelevanten Eigenschaften aufweisen. Das Bruchglas steht mit den in der Entscheidung 2000/532/EG der Kommission festgelegten Konzentrationsgrenzen in Einklang und

überschreitet nicht die in Anhang IV der EU-POP-Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates festgelegten Konzentrationsgrenzen.

Im Anhang I, Abschnitt 2 in der Verordnung (EU) Nr. 1179/2012 sind die folgenden Kriterien bezüglich des Abfalls aufgelistet, der dem Verwertungsverfahren zugeführt wird:

- ▶ Nur Abfall aus der Sammlung von verwertbarem Hohlglas, Flachglas oder bleifreiem Geschirr darf der Verwertung zugeführt werden. Das gesammelte Altglas kann unbeabsichtigte Kleinstmengen anderer Glasarten enthalten;
- ▶ Glashaltiger Abfall aus Siedlungsabfällen oder Abfälle aus dem Gesundheitswesen werden der Verwertung nicht zugeführt;
- ▶ Gefährliche Abfälle werden nicht der Verwertung zugeführt.

Das Vorgehen bezüglich der Verwertung bzw. Vorbereitung zur Wiederverwendung des betrachteten Flachglases ist also klar geregelt. Darüber hinaus sind in der deutschen Spezifikation TR 120 des bvse/BDE und dem BV Glas Qualitätsanforderungen an Altglasscherben zum Einsatz in der Behälterglasindustrie beschrieben (BV Glas 2014).

5.2.1.2 Sozio-ökonomische Kriterien

Die grundlegende Eignung für ein werkstoffliches Recycling von Glasprodukten ist in nachgewiesenen ökologischen (Energie, Rohstoffe, Treibhausgasemissionen) und finanziellen (Kosteneinsparungen) Vorteilen begründet (Heitmann 2019, S. 5–6). Detaillierte Materialströme sowie Informationen bzgl. der Herkunft bestimmter Glasabfälle sind in der Literatur sehr begrenzt.

Es ist ökonomisch sinnvoll, Flachglasprodukte zu recyceln, um Energie einzusparen, die bei der Herstellung von neuen Produkten notwendig ist. Durch den Wiedereinsatz von Glas werden zudem Emissionen in die Umwelt reduziert. Darüber hinaus können Primärmaterialien eingespart werden, für die die Flachglashütten in Zukunft tendenziell höhere Preise bezahlen und potenziell weitere Transportdistanzen in Kauf nehmen müssen.

5.2.1.3 Informativische und Organisatorische Kriterien

Aktuell gibt es in Deutschland kein flächendeckendes Rücknahme-/Sammelsystem für Flachgläser. Im Bereich der Behältergläser (z.B. Flaschenglas) hingegen schon. Wegen der noch fehlenden Infrastruktur für die Sammlung und aufgrund der unzureichenden Aufklärung auf Baustellen werden rückgebaute Flachgläser oftmals zusammen mit glasfremden Stoffen in gemeinsame Behälter eingebracht und damit ein Recycling von Flachglas erschwert. Ein weiteres zentrales organisatorisches Hemmnis für das Flachglasrecycling sind die hohen Kosten für die Separierung und Aussortierung von Störstoffen in den Abfallchargen auf Baustellen (z.B. KSP, Glaskeramik, Metalle, Organik). Eine Hauptursache für die nicht sortenrein erfassten Abfälle wird in dem „Faktor Mensch“ gesehen, da derzeit beim Rückbau nicht ausreichend genau auf eine sortenreine Erfassung und Trennung geachtet wird. Dies liegt unter Umständen aber auch an der bisher nicht etablierten proaktiven Zusammenarbeit mit Rückbauunternehmen. Zudem herrscht auf den Baustellen oftmals ein Mangel an Containern für die getrennte Sammlung der verschiedenen Störstoffe sowie ausreichend Fläche dafür. Eine sortenreine Trennung würde darüber hinaus einen separaten Arbeitsschritt für die Rückbauunternehmen bedeuten. Diese „Zwischenschritte“ sind in der heutigen Praxis bislang nicht überall üblich.

5.2.1.4 Technische Kriterien

Flachglasprodukte zeichnen sich allgemein durch besonders lange Einsatzzeiten aus. Im Gegensatz zu Behälterglas existieren keine offiziellen Normen bzgl. des Flachglasrecyclings. Das Standardblatt T 120 des BV Glas, bvse und BDE - „Qualitätsanforderungen an Glasscherben zum Einsatz in der Behälterglasindustrie“ ist lediglich eine Leitlinie (BV Glas 2014). Spezifische Anforderungen an die Scherben werden zwischen Lieferanten und Kunden und Kundinnen jeweils bilateral vereinbart. So werden bilaterale Abmachungen zwischen Glashütten und Recyclingunternehmen getroffen. Generell sind jedoch die Anforderungen an die Scherbenqualität für das Wiedereinschmelzen von Flachglas in Flachglaswannen deutlich höher als beim Wiedereinschmelzen in Behälterglaswannen.

Störstoffe, wie zum Beispiel KSP (Keramik, Steine, Porzellan), Glaskeramik, Metalle und Organik, müssen mittels teilweise aufwändiger Aufbereitungsverfahren aus den Flachglasprodukten separiert werden. Dabei ist fast immer auch eine händische Sortierung im Aufbereitungsprozess integriert.

Der Wiedereinsatz von Recyclingglas in der Herstellung von neuen Flachgläsern erfordert eine sehr hohe Reinheit. Dies bezieht sich zum einen auf die chemische Zusammensetzung des Glases an sich und zum anderen darauf, dass sich nur sehr geringe Verunreinigungen (z.B. durch Anhaftungen von PVC-Profilen oder anderen Stoffen) auf der Oberfläche von Altflachgläsern befinden dürfen. Schon Konzentrationen von weniger als 0,05% können Brechzahl oder Farbkonsistenz des Endproduktes beeinflussen. Bereitgestellte Sammel- und Transportbehälter müssen absolut sauber sein, damit keine störenden Materialien in das Recyclinggut gelangen (BBSR 2017, S. 35).

Für aufbereitete Flachglasscherben gibt es mehrere Verwendungsmöglichkeiten. Diese reichen vom Wiedereinsatz in der Floatglasproduktion über die Herstellung von Gussglas, Behälterglas, Dämmwolle, Schmirgelpapier bis hin zur Produktion von Glasbausteinen (Abbildung 18). Sie sind also für den Hochbaubereich durchaus von Bedeutung. Bei der Floatglasherstellung sind es allerdings noch die hochreinen Produktionsscherben, die vor allem als Sekundärmaterial für den Prozess genutzt werden. Anteilsmäßig können sie zwischen 20 – 40 % am Material Input des Endproduktes ausmachen. Fremdscherben müssen aufwendig aufbereitet werden. Die Verwertungsraten von Sekundärscherben aus Abbruch betragen je nach herstellendem Unternehmen 8 bis 15 %.

5.2.1.5 Ökologische Kriterien

Durch das Recycling von Flachglas kann der Energieverbrauch in der Glasherstellung gesenkt werden. Maßgeblich verantwortlich dafür ist der niedrigere Erweichungspunkt von rezykliertem Glas im Vergleich zu den für die Herstellung erforderlichen Rohstoffen. Pro Prozent Altglas, das eingesetzt wird, kann der Energiebedarf um etwa 0,2 bis 0,3% gesenkt werden (Umweltbundesamt 2019b). Daneben ist die Einsparung von primären Rohstoffen sowie die damit verbundenen rohstoffbedingten CO₂-Emissionen zu nennen, die durch den Einsatz von RC-Glas erreicht werden kann.

Durch die Senkung der Brenntemperatur wird der Ausstoß von Emissionen verringert. Dies sind insbesondere CO₂ aber auch Stickoxide. Auf diese Weise können entsprechende Abgasreinigungsanlagen langlebiger betrieben werden. Zudem kann damit ein Beitrag zum Erreichen der gesetzten Klimaschutzziele geleistet werden.

5.3 Porenbeton

Porenbeton ist ein leichter, mineralischer, hochporöser Baustoff. Dieser zeichnet sich durch hervorragende Wärmedämmeigenschaften sowie durch eine hohe Dauerhaftigkeit aus. Aus diesem Grund ist Porenbeton seit vielen Jahren im Wohnungsbau etabliert und trägt dazu bei, die Energieeffizienz von Gebäuden im Sinne der nachhaltigen Ressourcennutzung stetig zu verbessern. Porenbeton erhält seine Gefügestruktur in einem Treibprozess abhängig vom Treibmittel und den Fließeigenschaften des Treibmediums. In einem Autoklav erhält er durch hydrothermale Härtung bei einer Temperatur von ca. 190°C und einem Druck von etwa 12 bar seine endgültige Festigkeit. Chemisch-mineralogisch gesehen ist Porenbeton ein monomineralischer Baustoff aus Tobermorit. Tobermorit ist ein Calcium-Silikat-Hydrat und kommt auch im klassischen Zement bzw. Beton vor.

„Normaler“ Beton hingegen weist eine relativ hohe Dichte auf und zeichnet sich zudem durch seine relativ grobkörnige und vergleichsweise geschlossene, d.h. wenig poröse Struktur aus. Daher kann Normalbeton deutlich höhere Kräfte aufnehmen, weshalb er in tragenden Bauteilen bevorzugt zum Einsatz kommt. Verglichen mit Porenbeton handelt es sich bei normalem Beton um ein Material mit einem relativ geringfügigen Energieeinsatz während des Herstellungsprozesses, da die Komponenten lediglich wenige Minuten gemischt werden und die Härtung anschließend von alleine abläuft.

5.3.1 Derzeitige Entsorgungspraxis

Im Wohnungsbau ist bezogen auf die Genehmigung von Wohngebäuden mit 1 oder 2 Wohnungen Porenbeton nach Ziegel der am häufigsten verwendete Baustoff (Destatis 2018). Für die aktuell produzierten Mengen an Porenbeton gibt es leider kaum belastbare Zahlen. Im Jahr 2004 wurden in Deutschland ca. 3,6 Mio. Tonnen produziert (Kreft 2016, S. 184). Seit den 1950er Jahren hat sich die jährliche in Deutschland hergestellte und abgesetzte Menge an Porenbeton versechsfacht. Daher ist eine stetige Zunahme von Porenbeton als Bauschuttmaterial auch in Zukunft zu erwarten (BBSR 2017, S. 5). Aktuell wird die in Deutschland beim Gebäudeabbruch anfallende Menge an Porenbeton auf 0,5 – 1 Mio. Tonnen pro Jahr geschätzt (Kreft 2016, S. 184). Eine detailliertere Angabe zu den Mengen wird auch dadurch erschwert, dass Porenbeton aktuell in einem Abfallschlüssel mit Beton (170101 für Monochargen) oder als Gemisch mit den Abfallschlüsseln 170107 bzw. 170904 erfasst wird.

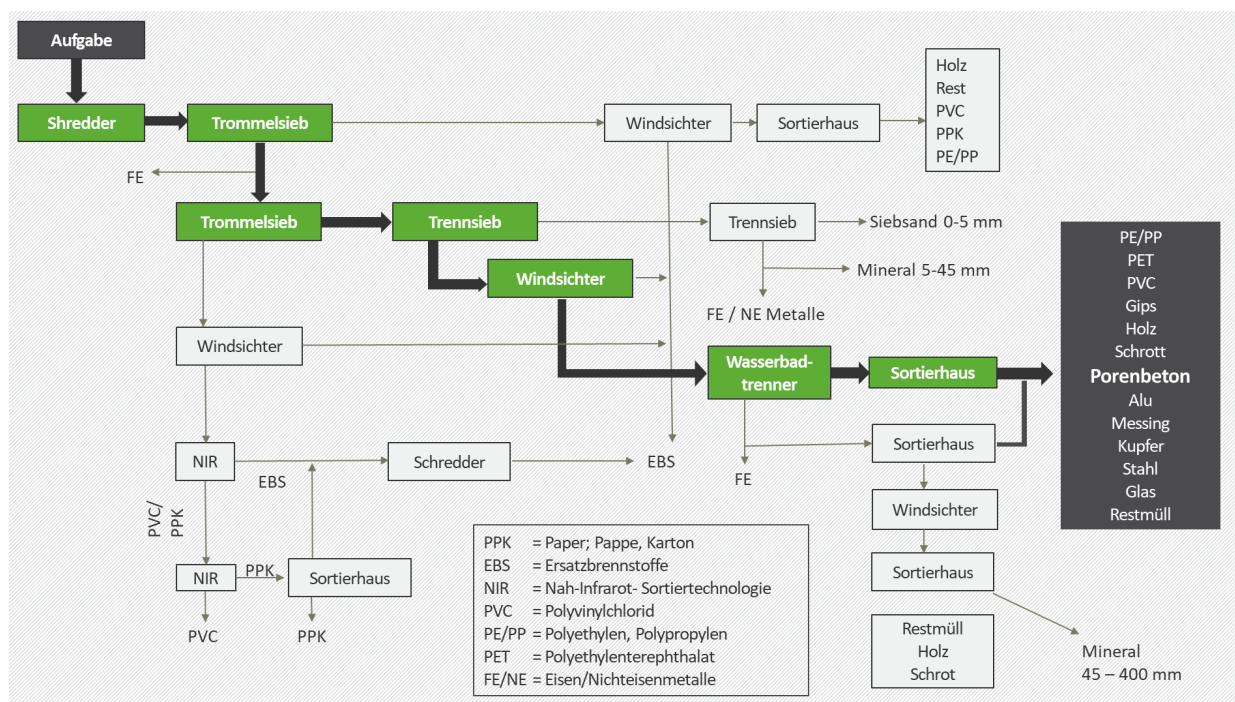
Werksintern anfallendes Porenbetonmaterial (z.B. Fehlproduktionen, oder Bruchware), im weiteren als Porenbetonbruch bezeichnet, kann bereits vollständig wiederverwendet oder weiterverwendet werden. Dabei kommt das Material also entweder bei der Herstellung von neuem Porenbeton zum Einsatz (Wiederverwendung) oder dient als Rohstoff bei der Herstellung von technischen Granulaten, z.B. Ölbinder, Katzenstreu (Weiterverwendung). Das Material erreicht gemäß § 3 Abs. 3 Nr. 2 KrWG dabei zu keiner Zeit die Abfalleigenschaft, da durch die beschriebenen Verwertungswege eindeutig ein Verwendungszweck vorliegt.

Traditionell wird Porenbetonabbruch aus Abbruch- bzw. Rückbaumaßnahmen auf Deponien entsorgt, da üblicherweise die Verwertung des Materials in der Produktion von neuem Porenbeton auf Grund von Fremdstoffen nicht möglich ist. Als Fremdstoffe werden hier andere Baustoffe wie Fliesen, Keramiken, Gipse, Putz, Polystyrol, Korrosionsschutz oder Anhaftungen aus bituminösen Massen verstanden (Kreft 2016, S. 185). Derzeit gibt es keine bundeseinheitliche Strategie bzw. Initiative für ein geordnetes Rücknahme- und Verwertungskonzept für Porenbeton aus Abbruch- und Rückbaumaßnahmen. In wissenschaftlichen Untersuchungen wurden diverse Möglichkeiten diskutiert und aufgezeigt,

um eine Verwertung von Porenbetonabbruch zu ermöglichen. Dabei besteht neben einer Verwertung des Porenbetonbruchs in Dachsubstraten (Bischoff et al. 2014), als Nährboden für methanoxidierende Bakterien (Eden et al. 2015) oder als calciniertes Granulat zur Reinigung schwermetallhaltiger Abwässer (Alandjiyska 2003) auch die Möglichkeit einer Verwertung mit dem Ziel Baustoffe herzustellen. Dabei können aus den Porenbetonrezyklaten Werk trockenmörtel hergestellt werden (Hlawatsch und Kropp 2008, S. 28–35). Diese Mörtel konnten sogar zur Herstellung eines Demonstratorgebäudes im Rahmen eines Forschungsprojektes verwendet werden (Hlawatsch et al. 2016, S. 433–545). Zudem kann Porenbetongranulat als Gesteinskörnung in zementgebundenen Estrichen eingesetzt werden (Bergmans et al. 2016, S. 9–14). All den genannten Entwicklungen und Anwendungsmöglichkeiten gemein ist, dass eine Umsetzung im industriellen Maßstab bisher nicht erfolgt ist. Einzelne Herstellerinnen und Hersteller von Porenbeton haben jedoch Maßnahmen getroffen bzw. geprüft, um das Potenzial einer Verwertung von Porenbetonabbruch im industriellen Maßstab auszuloten und letztendlich ein Recycling des Materials zu realisieren.

Aktuell prüft ein namhaftes herstellendes Unternehmen von Porenbeton zusammen mit einem Aufbereitungsunternehmen von Bauschutt, inwieweit Porenbetonabbruch so aufbereitet und sortiert werden kann, dass eine ausreichend hohe Sortenreinheit des Materials erlangt und ein Wiedereinsatz des Materials in der werkseigenen Produktion ermöglicht wird. Dazu können neben gewerblichen Abbruch- bzw. Rückbaumaßnahmen auch private Baustellen erfasst werden. Die Ergebnisse dieser Maßnahme werden zwar regelmäßig veröffentlicht und mit dem Bundesverband der Porenbetonindustrie e.V. geteilt, jedoch liegen keine konkreten Informationen vor, dass eine flächendeckende Umsetzung bereits realisiert wäre. Abbildung 19 ist die derzeitige Aufbereitungsroutine für Porenbeton aus Bauabbruch gezeigt, wie sie von an der Untersuchung beteiligten Partnern umgesetzt wird.

Abbildung 19: Aufbereitungsroutine für die Aufbereitung von Bauschutt zur Abtrennung von Porenbeton



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf Kreft (2016))

5.3.1.1 Rechtliche/institutionelle Kriterien

Im Hinblick auf Schadstoffe ist von Porenbeton kein erhöhtes Gefährdungspotential zu erwarten, weshalb Porenbeton unter Berufung auf einen Ratsbeschluss (2003/33/EG, 2002) als „nicht gefährlicher Abfall“ eingestuft wird (Bundesverband Porenbetonindustrie 2018, S. 19). Diese Einordnung darf jedoch nicht als allgemein gültig angesehen werden, da eine Zuordnung von Abfallschlüsseln nur nach den Vorgaben der AVV und im Einzelfall erfolgen kann.

Die größte Hürde für die Verwendung von Porenbetonabbruch als Rohstoff bzw. Recyclingmaterial in der Herstellung neuer Produkte (z.B. Porenbeton) liegt im Erreichen des Endes der Abfalleigenschaft. Dies ist nur dann möglich, wenn der Porenbetonabbruch die Voraussetzungen des § 5 Abs. 1 KrWG erfüllt:

- ▶ Nach § 5 Abs. 1 Nr. 1 KrWG ist zunächst Voraussetzung, dass der Gegenstand ein Verwertungsverfahren durchlaufen hat. Zwar sind in Anlage 2 des KrWG Verwertungsverfahren beispielhaft aufgeführt, diese sind allerdings sehr allgemein gehalten und haben nicht die notwendige Detailtiefe, um die Frage zu beantworten. Das Sortieren von Bauabfall ist eine „Grundoperation bei der Bauabfallaufbereitung“, da hierbei eine „Trennung der gemischten Bauabfälle in ihre mineralischen Bestandteile“ erfolgt (Müller 2018, S. 62). Dieser plausiblen Argumentation folgend, stellt die Sortierung des Porenbetonabbruchs einen essentiellen Schritt dar, um eine Verwertung des Porenbetonabbruchs in der Porenbetonindustrie zu ermöglichen. Dies wird zusätzlich durch die Aussage untermauert, dass ein Recycling von Porenbetonabbruch aus technologischer Sicht kein Problem ist, wohl aber das Erreichen einer hinreichenden Sortenreinheit (Kreft 2019b). Das Erreichen einer gewünschten Sortenreinheit ist stark abhängig von der Qualität des zu sortierenden Materials, hier also der Abfallqualität des Porenbetonabbruchs. Letztendlich ist die schwankende Abfallqualität auch ein Grund dafür, dass sich die Etablierung einer Produktverantwortung für Porenbeton schwierig darstellen dürfte (Kreft 2019a). Ein herstellendes Unternehmen von Porenbeton hat im Zuge eines Projektes bei der Umweltbehörde Hamburg um die Prüfung gebeten, ob das Aussortieren von Porenbeton aus Bauschutt bereits als Verwertungsverfahren erachtet werden kann. Von der Umweltbehörde Hamburg wurde der Sachverhalt als unkritisch im Sinne des KrWG eingestuft. Demnach sind die im genannten Projekt durchgeführten Aufbereitungsschritte (konkret die Sortierung) laut Umweltbehörde als Verwertungsverfahren im Sinne des KrWG zu sehen, so dass zumindest unter diesem Aspekt der Porenbetonabbruch nach der Aufbereitung das Ende der Abfalleigenschaft erreichen kann. Nach Aussage der Umweltbehörde gegenüber dem herstellenden Unternehmen von Porenbeton besteht demnach zur Klärung der Frage kein Bedarf einer behördlichen Stellungnahme (Kreft 2019a, 2020).
- ▶ Nach § 5 Abs. 1 Nr. 1 KrWG ist auch gefordert, dass ein Material nach Durchlaufen eines Verwertungsverfahrens so beschaffen ist, dass es üblicherweise für einen bestimmten Zweck verwendet wird. Für Porenbetonabbruch aus Abrissmaßnahmen sind theoretisch Verwendungszwecke bekannt, welche aber aktuell keine industrielle Anwendung finden. Untersuchungen prüfen den Einsatz von Porenbetonabbruch bei der Herstellung neuer Porenbetonsteine bzw. die Verwendung des Porenbetonabbruchs für die Herstellung

technischer Granulate wie Ölbinder. Ein potentieller Verwendungszweck ist somit gegeben, wenn auch die technische Umsetzung noch nicht abschließend betrachtet ist.

- ▶ Nach § 5 Abs. 1 Nr. 2 KrWG müsste zudem auch ein Markt bzw. eine Nachfrage für Stoffe oder Gegenstände aus „recyceltem Porenbetonabbruch“ bestehen. Es ist davon auszugehen, dass insbesondere für die Produktgruppe „technische Granulate“ - hergestellt aus Abbruchmaterial - ein entsprechendes Marktpotential besteht. Dabei wäre ein Absatz des Materials in Form von Katzenstreu oder Ölbinder möglich, sofern die technischen Vorgaben an das Material durch den Einsatz des Abbruchmaterials nicht beeinträchtigt sind. Aktuell werden die genannten Produkte lediglich aus Porenbetonbruch hergestellt. Für die aus Porenbetonbruch hergestellten Granulate ergibt sich eine Einstufung als Erzeugnis im Sinne von REACH, da die spezifische Kornform, Oberfläche und Gestalt die Funktion in einem größeren Maße als die chemische Zusammensetzung bestimmt. (Bundesverband Porenbeton, 2008). Nach Aussage eines herstellenden Unternehmens von Porenbeton existieren darüber hinaus keine weiteren Vorschriften zur Beschaffenheit der Produkte. Somit werden nur unternehmensinterne Auflagen hinsichtlich Qualität herangezogen, welche sich allerdings sehr stark an den Erwartungen und Wünschen der Kunden und Kundinnen orientieren (Kreft, 2020). Für Porenbetonsteine aus rezykliertem Porenbetonabbruch scheint in Deutschland ein Marktpotential vorhanden zu sein (siehe laufende Recyclingbestrebungen in Kap. 5.1.1), dieser kann aktuell aber nicht beziffert werden, da diesbezüglich noch keine belastbaren Zahlen verfügbar sind.
- ▶ Weitere Voraussetzung ist nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 KrWG, dass die gesetzlich festgelegten Grenzwerte in den neu produzierten Erzeugnissen eingehalten werden. In einer Studie zum Recycling von Porenbeton (Kreft 2016, S. 188) ist genau dies bestätigt worden, so dass dieser Punkt für Porenbeton als erfüllbar betrachtet werden kann. Prinzipiell ist eine Beurteilung zur Einhaltung der Grenzwerte nur als Einzelfallbetrachtung möglich, da diese abhängig vom Ausgangsmaterial und abhängig von der Zweckbestimmung sind (Schmidmeyer 2019).
- ▶ Nach § 5 Abs. 1 Nr. 4 KrWG darf die Verwendung des Stoffes oder Gegenstandes insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen für Mensch und Umwelt führen. Die geplante Verwendung des Materials als Baustoff, in Analogie zum Porenbetonstein aus Primärrohstoffen bringt zusätzlich keine schädlichen Auswirkungen für Mensch und Umwelt mit sich, sodass dieser Punkt für Porenbeton als erfüllt betrachtet werden kann. Problematisch ist hier die nicht spezifische Nennung, auf welche Schadstoffe hin das jeweilige Material analysiert werden soll. Eine klare Benennung zu welchem Zeitpunkt im Produktlebenszyklus nach welchen Umweltgesichtspunkten geprüft werden soll, ist im genannten Paragraphen ebenfalls nicht näher definiert. Für die abschließende Beurteilung, ob die Verwendung des Gegenstandes insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen für Mensch und Umwelt führt, wird eine sogenannte vergleichende Sicherheitsbetrachtung gefordert (siehe hierzu auch Kap. 5.1.1.1).

Nach aktuell gültiger Rechtslage wird Porenbetonabbruch nach der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) anhand der Zuordnungswerte aus der Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung, DepV) mit dem Abfallschlüssel 17 01 01 deklariert und muss damit auf einer Deponie der Klasse 1 (DK1) oder höher entsorgt werden. Damit gilt Porenbetonabbruch rechtlich als nicht gefährlicher Abfall.

5.3.1.2 Sozio-ökonomische Kriterien

Die Entsorgung von Porenbetonabbruch erfolgt gemäß Deponieverordnung auf Deponien der Klasse 1 (DK1). Da die Versorgungssicherheit mit Deponien der entsprechenden Klasse bundesweit sehr unterschiedlich ist, weisen auch die Kosten für die Entsorgung entsprechenden Materials eine starke Streuung auf. Aktuell findet eine kontroverse Diskussion der Grenzwerte zur Verwendung mineralischer Ersatzbaustoffe, welche mit Beschluss der Mantelverordnung Gültigkeit erlangen sollen, statt. Auf der einen Seite wird die Mantelverordnung kritisch eingeschätzt, da diese „keine Lösungen für aktuelle Probleme bei der Entsorgung von mineralischen Abfällen sowie bei der Verwertung von daraus hergestellten Ersatzbaustoffen“ sehen (Betram 2018, S. 44). Auf der anderen Seite wird durch die Verabschiedung der Mantelverordnung zwar eine Entlastung des aktuell verfügbaren Deponievolumens erwartet. Diese Entlastung ist allerdings nur eine temporäre Entlastung, da auf Grund fehlender Neugenehmigungen in benötigtem Ausmaß eine langfristige Verknappung des Deponievolumens bevorsteht (Haeming 2018, S. 490). Diese Entwicklung kann zukünftig zu steigenden Entsorgungskosten führen und auch teurere Aufbereitungsverfahren, welche eine werkstoffliche Verwertung ermöglichen wirtschaftlich interessant machen.

Seit 2014 findet im Allgemeinen eine Entsorgung gipshaltiger Abfälle im osteuropäischen Ausland, vorwiegend Tschechien statt (Bunzel und Wilczek 2016, S. 496). Auch für porenbetonhaltigen Bauschutt sind diese Entsorgungswege bekannt (Dittrich 2019).

Ein weiteres Kriterium, welches eine Verwertung aus wirtschaftlicher Sicht als nicht sinnvoll erscheinen lässt, ist die Logistik, welche für das Sammeln des Materials notwendig ist. Durch die dezentral auftretenden Abbruch- und Rückbaumaßnahmen kann der finanzielle Aufwand für Logistik und Transport von der Baustelle zum aufbereitenden und weiter zum verwendenden Unternehmen (z.B. porenbetonherstellendes Unternehmen) höhere Kosten verursachen als ein Transport des gesamten Abbruchmaterials zu nächstgelegenen Deponien. Hierbei kommt erschwerend hinzu, dass bei einzelnen Abbruch- bzw. Rückbaumaßnahmen teilweise nur geringfügige Mengen Porenbetonabbruch anfallen, welche eine wirtschaftliche Weiterverarbeitung unmöglich machen können.

5.3.1.3 Informatorische und Organisatorische Kriterien

Porenbeton gilt weithin als „sauberes“ Produkt, erfährt jedoch mit der aufkommenden Diskussion zur Auslaugung von Sulfat im Zuge der LAGA-Grenzwerte (TR Boden) eine beginnende Abwertung. Porenbetonbruch kann bei gegebener Sortenreinheit als Ölbinder, Katzenstreu oder Wärmedämmschüttung verwendet werden und erfährt in dieser Form eine hohe Akzeptanz am Markt. Dabei wird aktuell nur Porenbetonbruch verwendet, also Material aus der werkseigenen Produktion oder von Baustellen rückläufiges Material, welches beim Einbau nicht verwendet wurde (z.B. Verschnitt oder Überschuss). Zwar existieren bei den herstellenden Unternehmen von Porenbeton Pläne für die genannten Produkte anteilig auch Porenbetonabbruch zu verwenden, allerdings sind diese Pläne noch nicht umgesetzt (siehe technische Kriterien). Eine Einschätzung zur Akzeptanz von Porenbetonsteinen mit Anteilen an Recyclingmaterial kann noch nicht gegeben werden, da noch keine belastbaren Marktzahlen für diese Produkte verfügbar sind. Im Gegensatz zu anderen Stoffströmen existiert für

Porenbetonabbruch derzeit kein flächendeckendes Sammelsystem, um weitere Verwertungswege überhaupt erst denkbar zu machen.

5.3.1.4 Technische Kriterien

Je größer die Verunreinigung bzw. Vermischung des Porenbetonabbruchs mit anderen Baustellenabfällen ist, umso größer ist der Aufwand bei der Aufbereitung und Sortierung des Materials, um die geforderten Minimalanforderungen für den Wiedereinsatz zu erfüllen. In diesem Fall kann eine Verwertung des Materials vor allem aus ökonomischen Aspekten uninteressant werden. Auf Grund von Verunreinigungen müssen gewisse Verwertungswege (z.B. Porenbetonsteine auf Basis von Porenbetonabbruch) aus technologischer Sicht ausgeschlossen werden, eine Verwertung im Sinne von offenen Produktkreisläufen (z.B. ölbindende Granulate) wäre aber durchaus technologisch denkbar. Allerdings müssten dafür neben rechtlichen und akzeptanzbedingten Aspekten noch Technologien an den Produktionsstandorten etabliert werden, welche eine Abtrennung von (mitunter schadstoffhaltigen) Anhaftungen möglich machen. Der Hauptgrund für die Nichtverwendung von Porenbetonabbruch als Ausgangsstoff für die Herstellung von Ölbindern oder anderen Granulaten wie Katzenstreu sind nämlich Störstoffe wie Glassplitter, Metallteile oder Anhaftungen an Porenbetonpartikeln, welche zur Gefährdung des Verbrauchers oder aber zu Qualitätsschwankungen (z.B. Farbunterschiede) führen können.

Bislang sind nur Initiativen bekannt, die überschüssiges sortenreines Porenbetonmaterial (z.B. Verschnitt) aus dem Einbau adressieren. Dazu werden spezielle Transportbehälter auf die jeweiligen Baustellen geliefert und nach Befüllung durch die Bauherrin bzw. den Bauherrn wieder abgeholt und an das nächstgelegene Porenbetonwerk geliefert. Eine erste zweijährige Testphase in Bayern konnte von einem herstellenden Unternehmen von Porenbeton bereits erfolgreich beendet werden (Xella 2015).

5.3.1.5 Ökologische Kriterien

Prinzipiell kann durch das gezielte Recycling, insbesondere durch die Rückführung von Porenbetonabbruch aus Abbruch- und Rückbaumaßnahmen in die Herstellung eine Schonung primärer Rohstoffe erreicht werden.

Sortenreines Porenbetonmaterial aus Abbruch- und Rückbaumaßnahmen kann aktuell bis zu 15% der Primärrohstoffe in der Herstellung von Porenbeton substituieren. In diesem Zuge können die Kosten für Primärrohstoffe und deren Aufbereitung (z.B. Aufmahlung) eingespart werden, so dass diese Art der Verwertung zudem ökonomisch sinnvoll ist.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde eine Nachhaltigkeitsanalyse für Mauerwerksrecycling durchgeführt (Rübner 2013, S. 13). Darin wird den vier betrachteten Wandbaustoffarten Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton und Leichtbeton eine gleichwertige Nachhaltigkeit im Sinne einer ökologischen, ökonomischen und sozialen Betrachtung und Recyclingfähigkeit bescheinigt.

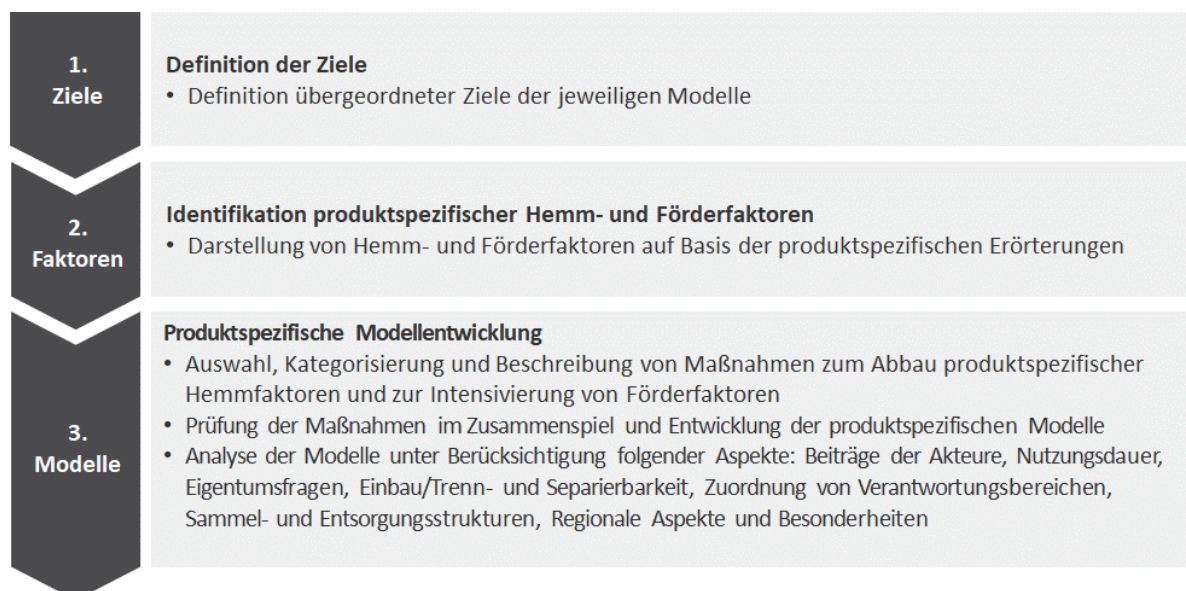
6 Produktspezifische Modellentwicklung

6.1 Vorgehensweise zur Modellentwicklung

Unter Berücksichtigung der erarbeiteten Faktoren (siehe Tabelle 23 in Kap. 5) sollen für die drei beispielhaft betrachteten Bauprodukte und -materialien Modelle entwickelt werden, um eine praktische Umsetzung und Implementierung von ganzheitlichen Recyclingkonzepten zu ermöglichen. Diese produktspezifischen Modelle setzen sich aus einzelnen Maßnahmen zu einem integrierten System zusammen, welches existierende Recyclingstrukturen und Marktbedingungen berücksichtigt.

Die Vorgehensweise wird im Folgenden beschrieben. Einen kurzen Überblick über die einzelnen Schritte bietet nachfolgende Abbildung.

Abbildung 20: Vorgehensweise zur Entwicklung der Modelle



Quelle: Eigene Darstellung

1. Ziele

Zu Beginn erfolgt eine Zieldefinition. Die übergeordneten Ziele sind hierbei:

- ▶ Stärkung des Recyclings (Möglichst stoffliche Verwertung und Rezyklateinsatz in Produkten);
- ▶ Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien (Einsatz als Sekundärrohstoff).

Neben diesen strategischen Zielen muss das Recycling finanzierbar sein. Dies ist insbesondere dann nötig, wenn bestimmte Maßnahmen nicht gewinnbringend sind und nicht umgesetzt werden. Die verursachergerechte Zuordnung von Entsorgungskosten ist ein übergelagertes ökonomisches Instrument, welches ausschlaggebend für die Implementierung von produktspezifischen Maßnahmen durch die jeweiligen Wirtschaftsakteurinnen- und -akteuren sein kann (siehe hierzu Kap. 7.4.2).

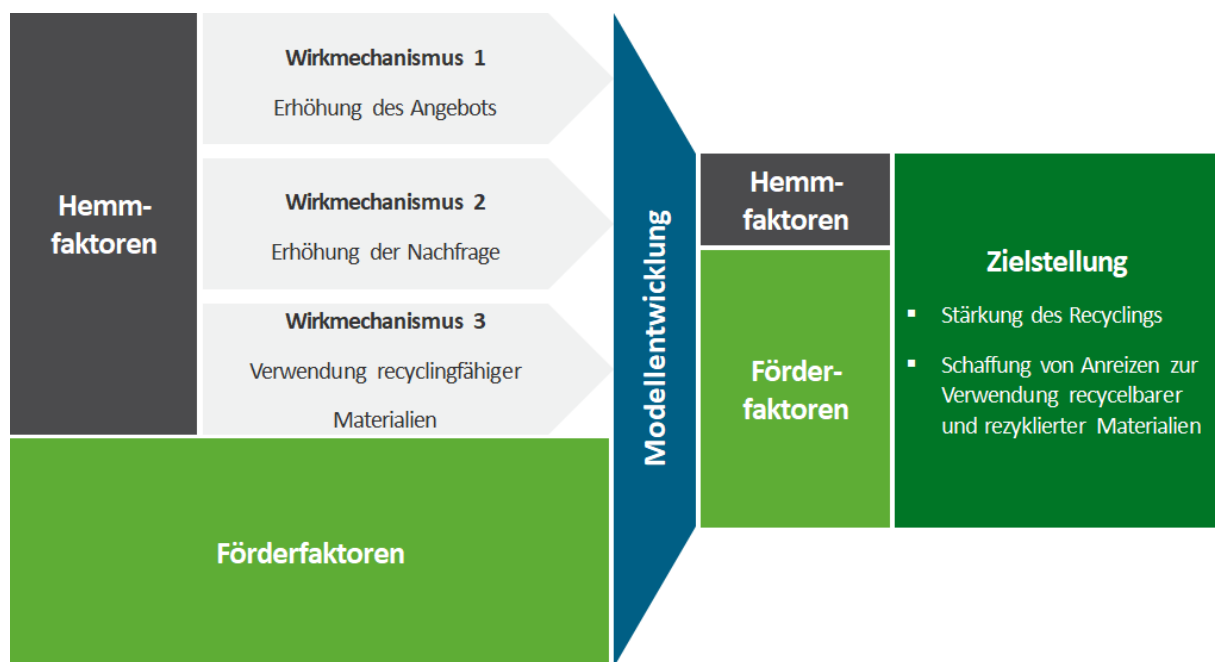
2. Faktoren

Basierend auf dieser Zielstellung werden produktspezifische Hemmfaktoren identifiziert, welche dem Erreichen der Ziele entgegenstehen. Zudem werden produktspezifische Förderfaktoren, welche das Erreichen der übergeordneten Ziele derzeit begünstigen, dargelegt. Die Basis dieser Analyse bildet die produktspezifische Erörterung im Kap. 5.

3. Modellentwicklung

Für die produktspezifische Modellentwicklung werden Maßnahmen identifiziert und abgeleitet, die Hemmfaktoren abbauen und Förderfaktoren nicht negativ beeinflussen bzw. ausbauen (siehe schematische Darstellung in Abbildung 21).

Abbildung 21: Schematische Vorgehensweise bei der produktspezifische Modellentwicklung



Quelle: Eigene Darstellung

Als Beispiele für Maßnahmen können hierbei Informationssysteme, wirtschaftliche Anreize, freiwillige Selbstverpflichtungen, Branchenlösungen oder die Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele gemäß EU-Bauproduktenverordnung (Anhang 1 BWR 7 Basic Construction Work Requirements) genannt werden. Dieser Schritt erfolgt zielgerichtet („Bottom-Up“), wobei nur jene Maßnahmen identifiziert werden, die mit Blick auf die vorgefundenen Hemmfaktoren und der Zielstellung relevant sind.

Die ausgewählten produktspezifischen Maßnahmen werden in einem nächsten Schritt unterschieden nach

- ▶ regulatorischen;
- ▶ ökonomischen;
- ▶ administrativen;
- ▶ informatorischen und

- ▶ planerischen Maßnahmenkategorien.

Ein funktionierendes Recyclingsystem setzt einerseits voraus, dass geeignete und erfassbare Abfälle vorhanden sind. Zum anderen muss nach dem Durchlaufen eines qualitätsgesicherten Verwertungsprozesses ein Absatzmarkt für Sekundärrohstoffe vorhanden sein (Umweltbundesamt 2016b, S. 7). Als generische und komplementäre Wirkmechanismen kommen für die systematische Modellentwicklung daher Folgende in Frage:

- ▶ **1) Erhöhung des Angebots**

Unter diesen Wirkmechanismus fallen Maßnahmen, mit welchen das Angebot eines Sekundärrohstoffes durch eine gesteigerte selektive Rückgewinnung erhöht wird. Dies könnte durch sorgfältigere Demontage, klare Handlungsanweisungen und Schulungen für Mitarbeitende gefördert werden. Größere Mengen eines bestimmten Materials erleichtern prinzipiell eine Steigerung des Recyclings.

- ▶ **2) Erhöhung der Nachfrage**

Diesem Wirkmechanismus sind Maßnahmen zuzuordnen, welche, zum Beispiel durch die Entwicklung neuer Produkte oder Verwertungswege, eine Steigerung der Nachfrage nach Sekundärrohstoffen bewirken. Dazu ist jedoch eine klare Kommunikation über den Gehalt an Sekundärbaustoffen in einem Bauprodukt und das mögliche Einsatzgebiet notwendig. Maßgaben der Bauwerkssicherheit sind dabei maßgeblich und ebenso wie für Primärbaustoffe nachzuweisen.

- ▶ **3) Verwendung recyclingfähiger Materialien**

Eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz von Sekundärbaustoffen sind recyclingfähige Primärmaterialien. Dazu sollte das Material langlebig, dauerhaft gegenüber physikalischen, chemischen und biologischen Einflüssen sein, und es sollten keine allzu komplexen Verbundmaterialien Einsatz finden. Vorteilhaft sind auch reparierbare, renovierbare und restaurierbare Materialien. Ein wichtiger Aspekt ist die gesicherte und möglichst hohe Qualität, was eine Schadstoffentfrachtung einschließt. Sinnvolle Qualitätsstandards und Kontrollmechanismen sind somit eine Voraussetzung für die Akzeptanz von Sekundärbaustoffen sowie die Erreichung politischer Ziele im Stoffrecht.

Im Zuge der produktspezifischen Modellentwicklung erfolgt eine Prüfung möglicher gegenläufiger Effekte oder sich gegenseitig verstärkender Effekte, welche durch das Zusammenspiel einzelner Maßnahmen hervorgerufen werden könnten. Neben diesen Wechselbeziehungen wird geprüft, inwieweit derzeitige Hemm- und Förderfaktoren von den Modellen beeinflusst werden.

Die produktspezifischen Modelle werden, sofern erforderlich, zudem mit Blick auf die folgenden Aspekte untersucht:

- ▶ Beiträge der Beteiligten;
- ▶ Nutzungsdauern von Bauwerken und der jeweiligen Bauprodukte;
- ▶ Eigentumsfragen;
- ▶ Einbau/Trenn- und Separierbarkeit;

- ▶ Zuordnung der Organisationsverantwortung;
- ▶ Sammel- und Entsorgungsstrukturen unter Berücksichtigung regionaler Aspekte und Besonderheiten.

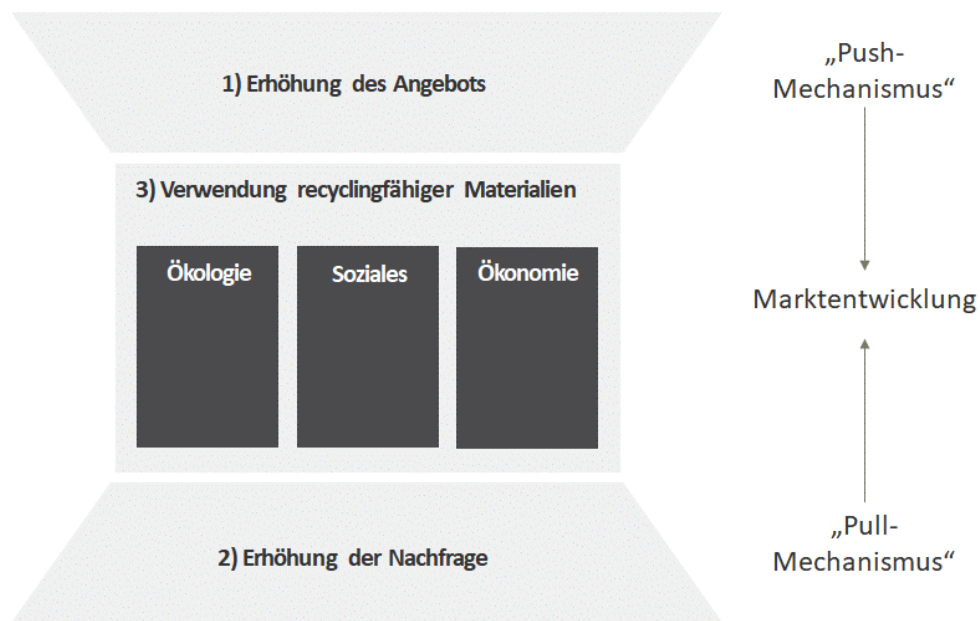
Zusammenfassend werden geeignete Einzelmaßnahmen anhand eines konzeptionellen Recyclingmodells abgebildet. Dieses Modell ist als komplementäres und integratives Maßnahmenbündel zu verstehen, welches sich in die etablierte Recyclingpraxis einfügt. Grundsätzliche Voraussetzung für die zielgerichtete Modellentwicklung sind hierbei die geltenden gesetzlichen Bestimmungen (z.B. Grenzwerte in den neu produzierten Erzeugnissen nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 KrWG).

Ausgehend von einer Erhöhung des Angebots an verwertbaren Bauabfällen, muss parallel ein Markt bzw. eine Nachfrage für die zu erzeugenden Sekundärrohstoffe bestehen (vgl. § 5 Abs. 1 Nr. 2 KrWG) oder stimuliert werden. Die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen bestimmt damit den Zweck der anschließenden Verwendung von Bauabfällen (vgl. § 5 Abs. 1 Nr. 1 KrWG). Das Zusammenspiel dieser beiden Wirkmechanismen (1 und 2) bewirkt grundsätzlich eine Intensivierung von bestimmten Recyclingaktivitäten. Die Art und Weise dieser Recyclingaktivitäten muss durch die Verwendung recyclingfähiger Materialien (Wirkmechanismus 3) gekennzeichnet sein. Außerdem darf die Verwendung eines Stoffes oder Gegenstandes insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt führen (vgl. § 5 Abs. 1 Nr. 4 KrWG). Folglich stützt sich die Verwendung recyclingfähiger Materialien auf die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit, welche somit den Kern der Modelle bilden:

- ▶ **Ökologie** – Ökologische Vorteilhaftigkeit sowie Risikobewertung basierend auf produktspezifischen Expositionsszenarien für die Umwelt;
- ▶ **Soziales** - Akzeptanz unter Berücksichtigung der bewerteten und kontrollierten Risiken anhand einer Risikobewertung basierend auf produktspezifischen Expositionsszenarien für den Menschen;
- ▶ **Ökonomie** – Ökonomische Tragfähigkeit des Recyclings (z.B. finanzielle Anreize, verursachergerechte Zuordnung von Entsorgungskosten).

Die entwickelten Modelle sollen alle Wirkmechanismen sowie Dimensionen der Nachhaltigkeit abdecken, um die oben genannten Zielstellungen langfristig zu erfüllen und dabei den Schutz von Mensch und Umwelt zu gewährleisten. Abbildung 22 zeigt das entsprechende Rahmenkonzept für die Modellentwicklung.

Abbildung 22: Rahmenkonzept für die Modellentwicklung



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf Umweltbundesamt (2016a, S. 301))

Je nach produktspezifischem Kontext (z.B. bereits etablierte Maßnahmen) ist es möglich, dass einzelne Wirkmechanismen oder Dimensionen im Rahmen der Modellentwicklung nicht bedient werden müssen. Dies ist dann zutreffend, wenn beispielsweise Materialien gänzlich frei von Schadstoffen sind oder wenn es bereits eine hohe Nachfrage nach bestimmten Sekundärrohstoffen gibt.

6.2 Vorgehensweise zur Bewertung von Maßnahmen

Im Rahmen der oben beschriebenen Modellentwicklung (Ableitung und Diskussion von Maßnahmen) werden Maßnahmen vorgeschlagen, um identifizierte Hemmfaktoren gezielt abzubauen bzw. abzumildern. Weiterhin werden die Maßnahmen mit Blick auf deren Effektivität, Notwendigkeit und Machbarkeit diskutiert. Im Anschluss an die jeweils entwickelten Modelle (= Maßnahmenbündel) erfolgt eine weiterführende Bewertung und Einordnung der Machbarkeit einzelner Maßnahmen anhand einheitlicher Kriterien. Dabei werden die folgenden Kriterien herangezogen (in Anlehnung an die Domänen zur Beurteilung der grundsätzlichen Eignung; siehe Kap. 5, Tabelle 23):

- ▶ Rechtliche Machbarkeit (z.B. Vereinbarkeit mit bestehenden rechtlichen Rahmenbedingungen);
- ▶ Organisatorische Machbarkeit (z.B. Nutzungsdauer von Bauwerken und von Teilen von Bauwerken, Zuordnung von Verantwortungsbereichen, Sammel- und Entsorgungsstrukturen, administrativer Aufwand für Implementierung und Überwachung sowie Informations- und Datenbeschaffung);
- ▶ Technische Machbarkeit (z.B. Einbau, Trenn- und Separierbarkeit, derzeitiger Stand der Technik);

- ▶ Ökologische Machbarkeit (z.B. Schutz von Mensch und Umwelt, ökologische Sinnhaftigkeit von Sammlung und Transport von Kleinstmengen);
- ▶ Sozio-ökonomische Machbarkeit (z.B. wirtschaftliche Zumutbarkeit und Verhältnismäßigkeit).

Die Einordnung der jeweiligen Machbarkeit erfolgt - sofern möglich und sinnvoll - unter Einbeziehung von unmittelbar erwarteten Folgeeffekten, um der integrativen Ausgestaltung der Modelle gerecht zu werden. Jede Maßnahme wird pro Vergleichskriterium anhand eines Ampelschemas mit

- ▶ **Grün** – Machbarkeit gegeben bzw. Maßnahme und deren unmittelbaren Folgeeffekte weisen keinerlei Wechselwirkungen mit dem jeweiligen Machbarkeitskriterium auf;
- ▶ **Gelb** – Machbarkeit teilweise gegeben;
- ▶ **Rot** – Machbarkeit nicht gegeben

bewertet. Im Rahmen dieser Machbarkeitsabschätzung erfolgt keine abschließende Bewertung der jeweiligen Maßnahmen, sondern eine fundierte Einordnung der Machbarkeit anhand von Indizien aus den ausführlich erörterten Produktbeispielen.

6.3 PVC-Fensterprofile

6.3.1 Definition der Ziele

Übergeordnete Ziele der Modellentwicklung sind bereits unter Kap. 6.1 (1.) definiert.

6.3.2 Identifikation produktspezifischer Hemm- und Förderfaktoren

Die zentrale Absicht bei der Stärkung des Recyclings und der Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien besteht darin, Ressourcen zu schonen und Mensch und Umwelt bei Rückbau und Recycling von Abbruchabfällen zu schützen. Vor diesem Hintergrund lassen sich die folgenden Hemm- und Förderfaktoren in Bezug auf die derzeitige Abfallbewirtschaftung von PVC-Altfensterprofilen zusammenfassen (siehe detaillierte Erläuterungen in Kap. 5.1):

Tabelle 25: Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis identifizierte Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von PVC-Altfensterprofilen und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren sowie rezyklierten PVC-Fensterprofilen

Hemmfaktoren	Förderfaktoren
Zum Teil ökonomisch nicht tragfähige flächendeckende Sammlung von lokal geringfügigen Abfallmengen (d.h. ein weiterer Ausbau der etablierten Sammelstrukturen ist nicht wirtschaftlich darstellbar unter den aktuellen Bedingungen);	Etabliertes privatwirtschaftliches (freiwilliges) und bundesweites Recyclingsystem der führenden profilverstellenden Unternehmen zur sortenspezifischen Sammlung (Hol- und Bringsystem) und Verwertung von PVC-Altfensterprofilen;
Schadstoffgehalte in PVC-Altfensterprofilen (u.a. Cadmium- und Bleiverbindungen als Stabilisatoren) und potenzielle Dissipation von Schadstoffen sowie Beschränkungen durch Grenzwertfestlegungen bei der Wiedereinbringung von belasteten Sekundärrohstoffen aus den entsprechenden Materialströmen;	Prinzipiell gute Möglichkeit der separaten Erfassung und Sammlung von PVC-Altfensterprofilen nach der Nutzungszeit, da es sich hierbei um Systemelemente handelt, welche i.d.R. eine unterschiedliche Nutzungszeit als Gebäude aufweisen und somit oftmals separat anfallen;
Akzeptanzprobleme hinsichtlich optischer, technischer, ästhetischer oder gesundheitlicher Eigenschaften von PVC-Recyclingprodukten	Homogene Marktsituation im Bereich der Kunststofffensterprofile (ausschließliche Verwendung von PVC);
	Verfügbarkeit und Erfassung von ausreichenden Abfallmengen aus etablierter Sammlung für ein wirtschaftliches werkstoffliches Recycling bei einem stabilen positiven Marktwert von PVC-Recyclinggranulat;
	Ausgereiftes Verfahren für das werkstoffliche Recycling mit Potenzial für weitere Optimierungen;
	Nachgewiesene ökobilanzielle Vorteile durch werkstoffliches Recycling von PVC gegenüber Primärherstellung;
	Entwicklung einer europäischen Norm als Garantie für eine sichere Herstellung sowie den Einsatz von Produkten aus Altkunststoffen (siehe hierzu Kap. 5.1.1.4 sowie Kap. 6.3.3.2);

Hemmfaktoren	Förderfaktoren
	<p>Produktdesign neuer PVC-Fensterprofile erlaubt einen Anteil von bis zu 50% Rezyklat, welcher im Kern des Profils konzentriert ist;</p> <p>Nachhaltigkeitszeichen für PVC-Produkte oder Produktgruppen (VinylPlus) enthält u.a. geschlossene Materialkreisläufe und Recycling als Bewertungskriterium (siehe nähere Informationen in Kap. 6.3.3.2)</p>

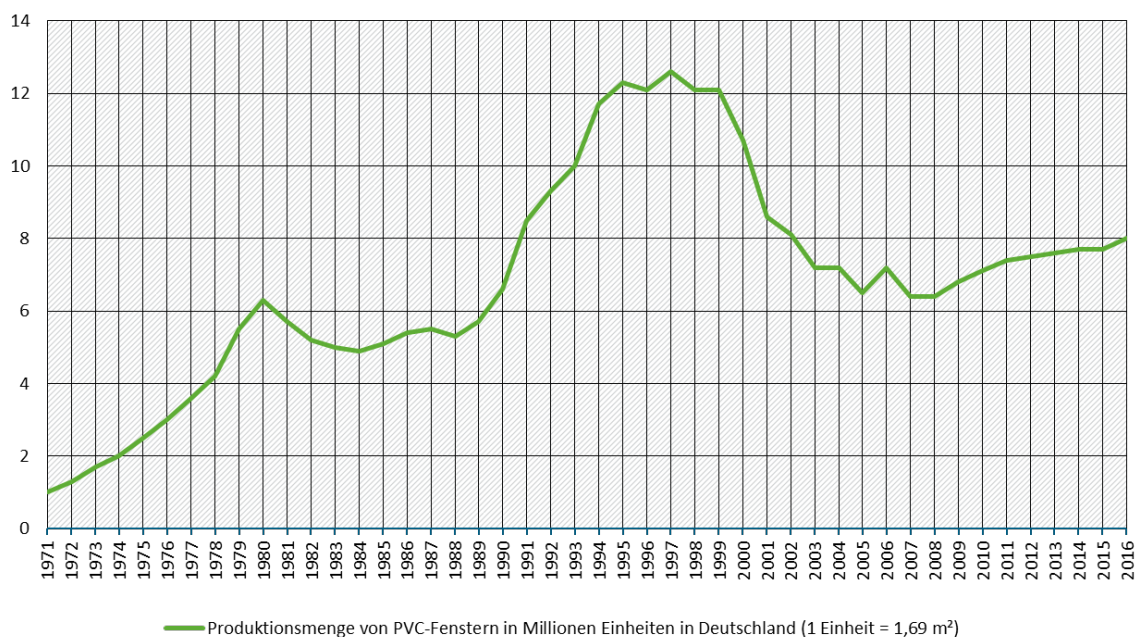
Aus der produktspezifischen Erörterung der potenziellen Eignung für ein Recycling sowie der in Tabelle 25 aggregierten Darstellung der Hemm- und Förderfaktoren wird deutlich, dass es sich bei dem Recycling von PVC-Fensterprofilen um ein etabliertes und funktionierendes freiwilliges System in Deutschland handelt. Das Fensterrecycling hat somit Vorbildcharakter mit Blick auf die organisatorischen Strukturen innerhalb der Branche. Dies zeigt sich vor allem in den zahlreichen Förderfaktoren, die in diesem Bereich aufgrund der Anstrengungen diverser Beteiligter realisiert werden konnten. So konnte beispielsweise ein Trenn- und Sortierverfahren entwickelt werden, welches trotz des etablierten Produktdesigns, bei dem eine leichte Trennung der Fensterrahmenkomponenten nicht priorisiert wurde (z.B. aufgrund von Verklebungen), ein mechanisches Verwertungsverfahren ermöglicht. Trotz der progressiven Anstrengungen zur weiteren Stärkung des Recyclings, gilt es qualitative Aspekte (insbesondere Schadstoffgehalte hinsichtlich Blei, Cadmium, Phthalate nach Anhang XVII der EG-REACH-Verordnung) fortwährend zu überprüfen.

Zusammenfassend ist das etablierte Sammel- und Recyclingsystem (Rewindo) für den Nischenmarkt der PVC-Fensterprofile bereits erfolgreich. Demontierte Fenster können den entsprechenden Sammelsystemen zugeführt werden und zu spezialisierten Recyclingunternehmen gebracht werden. An dieser Stelle kommt ein industrielles und ausgereiftes Recyclingverfahren zur mechanischen Verwertung der PVC-Altfensterprofile zum Einsatz. Das erhaltene PVC-Recyclinggranulat wird zu einem konkurrenzfähigen Preis innerhalb eines etablierten Absatzmarktes als Sekundärrohstoff bei der Herstellung neuer PVC-Fensterprofile verwendet. Eine Fallstudie des fensterherstellenden Unternehmens Rehau beziffert das Einsparpotenzial bei der Beschaffung von PVC-Rezyklaten auf bis zu 20% gegenüber Primär-PVC (Primär-PVC kostet etwa 1.000 €/t und PVC-Rezyklat etwa 800 €/t) (Figeac 2019, S. 30). Allerdings können diese Ersparnisse anfangs von den zusätzlichen Investitions- und Betriebskosten für spezielle Coextrusionsmaschinen und -werkzeuge sowie den zusätzlichen Qualitätskontrollen kompensiert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der Rezyklatchargen kann es sogar erforderlich sein, dass eine weitere Homogenisierung stattfinden muss (Figeac 2019, S. 30).

Die Konkurrenzfähigkeit des PVC-Recyclinggranulats ist eine Momentaufnahme. Langfristig könnte jedoch eine Erhöhung der Verfügbarkeit an kontrollierten oder gänzlich schadstofffreien Sekundärrohstoffen und entsprechender Recyclingaktivitäten zu einem niedrigeren Preisniveau für PVC-Recyclinggranulat führen (z.B. aufgrund von Amortisation best. Anlagentechnik). Bei einem gleichbleibend hohen Preisniveau für Primärrohstoffe wird zum einen eine erhöhte Nachfrage nach Alternativen erzeugt (Bardt 2006, S. 5). Zum anderen werden die finanziellen Spielräume bzw. Erlösmöglichkeiten durch Recyclingaktivitäten tendenziell steigen. Daher kann auch davon ausgegangen werden, dass ein hohes Preisniveau für PVC aus Primärrohstoffen ein Recycling fördern kann.

Trotz der erörterten Eignung von PVC-Fensterprofilen für ein Recycling (siehe hierzu Kap 5.1), gibt es Hemmfaktoren. Diese können teils weitreichende und vielschichtige Auswirkungen auf das Recycling von PVC-Altfensterprofilen bzw. dessen grundsätzlicher Eignung für das Recycling haben. Insbesondere die Verwendung der Stabilisatoren Cadmium und Blei in der Vergangenheit erweist sich als ein mögliches Hindernis für das heutige Recycling. Ein beträchtlicher Anteil (etwa 30% in 2018) des PVC-Abfallaufkommens aus Altfenstern wird zudem der energetischen Verwertung zugeführt (siehe hierzu Kap. 5.1.1). Die Hauptursache dafür ist die ökonomisch nicht tragfähige Sammlung von geringfügigen Mengen. Die Sammlung und damit Erhöhung der verfügbaren Abfallmenge stellt somit eine Herausforderung für eine weitere Steigerung des Recyclings dar. Damit besteht trotz einer funktionierenden Recyclingstruktur ein beträchtliches theoretisches Potenzial zur Stärkung des Recyclings bezogen auf die Brutto-Abfallmenge an PVC-Altfenstern. Es ist außerdem davon auszugehen, dass die Brutto-Abfallmenge in den kommenden Jahren weiter zunimmt, was an den langen Nutzungsdauern (30-40 Jahre) und der historischen Produktionsmenge mit Produktionsspitze im Jahr 1997 (12,6 Millionen Einheiten) sowie typischerweise geringen Exportquoten in Deutschland zurückzuführen ist (siehe Abbildung 23)

Abbildung 23: Entwicklung der Produktionsmenge von PVC-Fenstern in Millionen Einheiten in Deutschland (Zahlen bis 1990 für die BRD) (1 Einheit = 1,69 m²)



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf VFF und Bundesverband Flachglas (2017))

6.3.3 Produktspezifische Modellentwicklung

6.3.3.1 Identifikation von potenziellen Maßnahmen und Instrumenten

Die möglichen Maßnahmen und Instrumente beziehen sich auf die Stärkung des PVC-Altfenster-Recyclings aus Bau- und Abbruchabfällen sowie den für Mensch und Umwelt sicheren Einsatz als Sekundärrohstoff in einem neuen Produktkreislauf. Dabei muss die bestmögliche Operationalisierung des in Zukunft stattfindenden Recyclings berücksichtigt werden (Multirecycling-Ansatz). Weiterhin handelt es sich bei den nachfolgend identifizierten Maßnahmen um eine erste Bruttoauswahl an geeigneten produktspezifischen Maßnahmen,

welche anschließend unter Berücksichtigung der momentanen Recyclingsituation sowie potenziell entspringender Wechselwirkungen ggf. weiter selektiert werden.

In Tabelle 26 sind denkbare Einzelmaßnahmen benannt und der jeweiligen Kategorie, dem Wirkmechanismus sowie dem erwarteten Zielbeitrag zugeordnet. Die Auswahl an Maßnahmen ist produktspezifisch, da sie im Wesentlichen auf den Erörterungen zur grundsätzlichen Eignung von PVC-Fensterprofilen für ein Recycling aufbaut. Im Appendix befindet sich weiterhin eine Übersichtssammlung von möglichen produktbezogenen Maßnahmen und Instrumenten zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien.

Tabelle 26: Maßnahmen zum Abbau von Hemmfaktoren für das Recycling von PVC-Altfensterprofilen und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen und recycelbaren PVC-Fensterprofilen

Hemmfaktor	Einzelmaßnahme oder -instrument	Kategorie	Primärer Wirkmechanismus	Zielbeitrag
1) Zum Teil ökonomisch nicht tragfähige flächendeckende Sammlung von lokal geringfügigen Abfallmengen (d.h. ein weiterer Ausbau der etablierten Sammelstrukturen ist nicht wirtschaftlich darstellbar unter den aktuellen Bedingungen)	Verbot alternativer, nicht gewünschter Entsorgungswege	Regulatorisch	Erhöhung des Angebots	Stärkung des Recyclings (Abfall durch Verwertung in den neuen Lebenszyklus führen)
1) Zum Teil ökonomisch nicht tragfähige flächendeckende Sammlung von lokal geringfügigen Abfallmengen (d.h. ein weiterer Ausbau der etablierten Sammelstrukturen ist nicht wirtschaftlich darstellbar unter den aktuellen Bedingungen)	Steuer/Abgabe auf alternative, nicht gewünschte Entsorgungswege	Ökonomisch	Erhöhung des Angebots	Stärkung des Recyclings (Abfall durch Verwertung in den neuen Lebenszyklus führen)
1) Zum Teil ökonomisch nicht tragfähige flächendeckende Sammlung von lokal geringfügigen Abfallmengen (d.h. ein weiterer Ausbau der etablierten Sammelstrukturen ist nicht wirtschaftlich darstellbar unter den aktuellen Bedingungen)	Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat (z.B. durch gezielte Förderprogramme)	Ökonomisch	Erhöhung des Angebots / der Nachfrage	Stärkung des Recyclings (Abfall durch Verwertung in den neuen Lebenszyklus führen) / Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien
2) Schadstoffgehalte in PVC-Altfensterprofilen (u.a. Cadmium- und Bleiverbindungen als Stabilisatoren) und potenzielle Dissipation von Schadstoffen sowie rechtliche Zulässigkeit bei der Wiedereinbringung von belasteten Sekundärrohstoffen aus den entsprechenden Materialströmen	Nachweise zur Umwelt- und Humanverträglichkeit von Sekundärrohstoffen und RC-Materialien, die über die regulatorischen Anforderungen hinausgehen	Informativ	Verbesserung der Recyclingfähigkeit (Marktentwicklung und Qualitätssicherung)	Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien
2) Schadstoffgehalte in PVC-Altfensterprofilen (u.a. Cadmium- und Bleiverbindungen als Stabilisatoren) und potenzielle Dissipation von Schadstoffen sowie rechtliche Zulässigkeit bei der Wiedereinbringung von belasteten Sekundärrohstoffen aus den entsprechenden Materialströmen	Freiwillige und branchenspezifische Qualitätsanforderungen an Rezyklate in Bezug auf Umwelt- und Gesundheitswirkungen	Planerisch	Verbesserung der Recyclingfähigkeit (Marktentwicklung und Qualitätssicherung) Verbesserung der	Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien

Hemmfaktor	Einzelmaßnahme oder -instrument	Kategorie	Primärer Wirkmechanismus	Zielbeitrag
2) Schadstoffgehalte in PVC-Altfensterprofilen (u.a. Cadmium- und Bleiverbindungen als Stabilisatoren) und potenzielle Dissipation von Schadstoffen sowie rechtliche Zulässigkeit bei der Wiedereinbringung von belasteten Sekundärrohstoffen aus den entsprechenden Materialströmen	Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken	Planerisch	Recyclingfähigkeit (Marktentwicklung und Qualitätssicherung)	Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien
2) Schadstoffgehalte in PVC-Altfensterprofilen (u.a. Cadmium- und Bleiverbindungen als Stabilisatoren) und potenzielle Dissipation von Schadstoffen sowie rechtliche Zulässigkeit bei der Wiedereinbringung von belasteten Sekundärrohstoffen aus den entsprechenden Materialströmen	Lückenlose Kontrolle und Dokumentation der Schadstoffgehalte	Administrativ	Recyclingfähigkeit (Marktentwicklung und Qualitätssicherung)	Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien
3) Akzeptanzprobleme hinsichtlich optischer, technischer, ästhetischer und gesundheitlicher Eigenschaften von PVC-Recyclingprodukten	Einheitliche Kennzeichnung von RC-Produkten	Informativ	Erhöhung der Nachfrage/ Verbesserung der Recyclingfähigkeit	Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien (Einsatz als Sekundärrohstoff)
3) Akzeptanzprobleme hinsichtlich optischer, technischer, ästhetischer und gesundheitlicher Eigenschaften von PVC-Recyclingprodukten	Weiterentwicklung aussagekräftiger Umweltproduktdeklarationen und konsistente Bewertungssysteme	Informativ	Erhöhung der Nachfrage/ Verbesserung der Recyclingfähigkeit	Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien (Einsatz als Sekundärrohstoff)

6.3.3.2 Modellentwicklung und Diskussion

Ausgangspunkt für die produktspezifische Modellentwicklung sind die produktspezifischen Hemmfaktoren und die daraus abgeleiteten Maßnahmen. Grundsätzlich können diese Maßnahmen zum effektiven Abbau der beschriebenen Hemmfaktoren führen. Außerdem müssen die Maßnahmen auf die derzeitige Entsorgungspraxis sowie die geltenden rechtlichen Bestimmungen abgestimmt sein. Im Folgenden werden daher die Maßnahmen aus Tabelle 26 dahingehend diskutiert und priorisiert. Dabei empfiehlt es sich, freiwillige und verbindliche Instrumente miteinander zu kombinieren (European Commission 2000, S. 36).

1) Hemmfaktor: zum Teil ökonomisch nicht tragfähige flächendeckende Sammlung von lokal geringfügigen Abfallmengen

Mit dem Verbot der Deponierung von Kunststoffabfällen besteht bereits ein Verbot für einen aus Umwelt- und Gesundheitsgründen nicht gewünschten Entsorgungsweg. Theoretisch denkbar wäre daher auch ein entsprechendes **Verbot der energetischen Verwertung** von getrennt erfassbaren PVC-Abfällen. Dies wäre grundsätzlich im Einklang mit der Priorisierung gemäß der Abfallhierarchie nach KrWG. Ein solches Verbot kann unter Umständen als sinnvolle Ergänzung zum etablierten Deponieverbot angesehen werden, um das Recycling noch stärker zu fördern. Zunächst bleibt jedoch zu prüfen, inwieweit ein Verbot der energetischen Verwertung von PVC-Altfensterprofilen überhaupt die erwünschte Auswirkung auf die lokale Sammlung und den Abfalltransport zu Recyclingunternehmen entfaltet. Idealerweise führt es dazu, dass der momentane Ausbau regionaler Annahmestellen (Bringsysteme) für PVC-Altfenster intensiviert wird. Gleichzeitig würde dies bedeuten, dass geeignete Verfahren, Kapazitäten und Infrastrukturen zur werkstofflichen und rohstofflichen Verwertung, ggf. einschließlich notwendiger Ausschleußverfahren für Schadstoffe, vorhanden sein bzw. ausgebaut werden müssen. Ein engmaschiger Ausbau des Verwertungsmarktes und die hinreichende Bekanntmachung des Recyclingsystems sind in jedem Fall Schlüsselfaktoren zur Förderung der werkstofflichen Verwertung (Umweltbundesamt 2015c, S. 146). Diese Notwendigkeit wird bereits durch die freiwillige Selbstverpflichtung innerhalb der Branche umgesetzt (Umweltbundesamt 2015c, S. 146). Potenzielle Verbote müssten weiterhin auch die energetische Beseitigung einschließen, um einer nachteiligen Verschiebung der Entsorgungsstrukturen vorzubeugen. Insbesondere aber müsste die Verhältnismäßigkeit eines solchen generellen Verbotes sowie notwendiger Ausnahmeregelungen (z.B. für stark schadstoffbelastete Chargen) überprüft werden. Aufgrund der heterogenen Entsorgungssituation, welche sich z.B. in einer variablen ökologischen Vorteilhaftigkeit der energetischen Entsorgung (z.B. bei unterschiedlich langen Transportdistanzen zu geeignetem Recyclingunternehmen) widerspiegelt, ist ein generelles Verbot jedoch nicht anzustreben. Darüber hinaus kann an dieser Stelle nicht umfassend beurteilt werden, inwieweit ein alleiniges Verbot oder ein Verbot in Kombination mit anderen Maßnahmen die notwendige Lenkungswirkung entfaltet. Zudem würde ein solches Verbot ggf. einen starken Eingriff in die Grundrechte der Berufs- Eigentumsfreiheit bedeuten.

Eine ähnliche Lenkungswirkung könnte theoretisch durch eine zusätzliche **Steuer oder Abgabe auf die Verbrennung** von bestimmten Abfällen, wie PVC-Altfensterprofilen erzeugt werden. Dies könnte dazu beitragen, das Recycling von PVC-Altfensterprodukten insgesamt wettbewerbsfähiger zu machen (Umweltbundesamt 2016a, S. 223). Konkret könnte somit eine sortenreine Sammlung oder der Transport von Kleinstmengen wirtschaftlich realisiert werden, vorausgesetzt die ökologische Vorteilhaftigkeit des Recyclings wird nicht von den entstehenden Transportemissionen kompensiert. Die Einführung einer produktspezifischen Abfallabgabe erscheint jedoch in der Umsetzung schwierig und nicht zwingend zielführend. Insbesondere gilt

es die Verhältnismäßigkeit eines solch massiven Eingriffs in den Markt genau zu überprüfen (Umweltbundesamt 2016a, S. 239). Unklar ist zudem, welche Bemessungsgrundlage für eine potenzielle Steuer oder Abgabe herangezogen werden sollte. Weiterhin ist im Markt bereits eine ökonomische Lenkungswirkung etabliert, da das werkstoffliche Recycling derzeit die kostengünstigste Alternative ist und somit bereits einen Anreiz zur sortenreinen Sammlung und werkstofflichen Verwertung bietet.

Neben den klassischen abfallwirtschaftlichen Maßnahmen und Instrumenten erscheint prinzipiell auch eine **Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat** als ein potenzieller Ansatz. Da die Wirtschaftlichkeit des etablierten Recyclings stark von den jeweils vorherrschenden Preisdifferenzen abhängt, könnte beispielsweise entweder eine Verbrauchssteuer auf Primär-PVC (ähnlich einer Primärbaustoffsteuer) (ifeu 2016; Umweltbundesamt 2019d) oder Steuererleichterungen für Rezyklate (z.B. reduzierter Mehrwertsteuersatz von 7%) mehr finanziellen Spielraum für die bisher unwirtschaftliche Sammlung geringfügiger Abfallmengen bieten und somit einen beträchtlichen Beitrag zur weiteren Stärkung des Recyclings leisten. Im Gegensatz dazu würde eine Steuersenkung bei Rezyklaten zu Einbußen im Steuerhaushalt führen und somit weitere politische Interessenskonflikte verursachen. Grundsätzlich sind Eingriffe in die Steuerpolitik also nicht zu priorisieren, da diese – wie alle Eingriffe in Grundrechte Dritter - verfassungs- und europarechtlich überprüft werden müssen. Außerdem sind steuerliche Instrumente wenig flexibel und somit nicht geeignet, um auf Veränderungen in den Preis- und Kostenstrukturen zu reagieren.

Alternativ zu den genannten Eingriffen in die Steuerpolitik, könnten gezielte Förderprogramme durch die öffentliche Hand (z.B. im Rahmen von Förderanträgen) für die Steigerung des Recyclings (z.B. Anreizprogramme zur Sammlung von Kleinstmengen) sowie für den anschließenden Einsatz von Sekundärrohstoffen im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen oder bei Neubauten initiiert werden. Dadurch könnten Förderprogramme mittelbar dazu führen, den Ausbau von lokalen Sammelstrukturen (z.B. Bringsysteme) zu beschleunigen sowie potenziell unwirtschaftliche Regionen ebenfalls abzudecken. Darüber hinaus kann der anschließende Einsatz von Sekundärrohstoffen gezielt gefördert werden. Zur Operationalisierung dieses Ansatzes müsste allerdings überprüft werden, inwieweit die Berechtigung und Vergabe von Fördermitteln anhand von verbindlichen und anerkannten Kriterien erfolgen kann. Ein potenzieller Effekt dieses Ansatzes besteht in jedem Fall darin, dass ein rein finanzieller Anreiz zur Verwendung von PVC-Rezyklat entsteht. Dieser Effekt beschreibt zudem die zentrale Zielstellung im Bereich des Recyclings von PVC-Fensterprofilen, nämlich die Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien. Eine ökonomisch stimulierte Stärkung des Recyclings muss jedoch komplementär unter ökologischen Aspekten beurteilt bzw. abgesichert werden (siehe hierzu Kap. 6.3.4.1.4).

2) Hemmfaktor: Schadstoffgehalte in PVC-Altfensterprofilen

In diesem Hemmfaktor zeigt sich ein Problem zwischen Abfall- und Stoffrecht, welches nicht leicht aufzulösen ist. Generell ist darauf hinzuweisen, dass vorgenommene Beschränkungen im Stoffrecht mit Blick auf die menschliche Gesundheit und den Schutz der Umwelt nicht durch das abfallrechtliche Ziel einer hochwertigen Verwertung ausgehebelt werden können.

Ein potenzieller Hemmfaktor beim Einsatz von PVC-Rezyklaten in neuen Produkten sind also nicht – wie manchmal suggeriert – bestimmte Grenzwertregelungen, sondern die tatsächlichen Schadstoffgehalte in PVC-Altfensterprofilen (Cadmium- und Bleiverbindungen als Stabilisatoren) und potenzielle Verteilung von Schadstoffen sowie möglicherweise resultierende

rechtliche Zulassungsprobleme (siehe hierzu auch Kap. 5.1.1.1 und 5.1.1.5). Dieser Aspekt kann auf das werkstoffliche Recycling von PVC-Fensterprofilen zutreffen, wenngleich das produktspezifische Expositionsrisiko bei Fensterprofilen nachweislich gering ist (siehe Kap. 5.1.1.5). Zugleich ist das Recycling jedoch aus ökobilanziellen Erwägungen sowie hinsichtlich der Ressourcenschonung (Umweltbundesamt 2019e) erstrebenswert (siehe hierzu Kap. 5.1.1.5). Zudem hat diese Art der Verwertung Vorrang gegenüber der energetischen Verwertung (KrWG § 6 Abs. 1 KrWG).

Sofern die effektive Schadstoffausschleusung (siehe hierzu auch Erörterung zu Grenzwerten und aktuellen Entwicklungen auf EU-Ebene im Kap. 5.1.1.1) in Einklang mit der Schonung von Ressourcen gebracht werden soll (Friege et al. 2018, S. 17–18), könnte die **Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken** eine potenzielle, langfristig wirksame Maßnahme sein (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Österreich 2019; Umweltbundesamt 2016b, S. 11). In diesem Kontext wäre das bis Mai 2023 laufende EU-Forschungsprojekt „REMADYL“ zu nennen, welches explizit auf das Recycling von bleibelasteten PVC-Altfensterprofilen abzielt (European Commission 2019; REMADYL 2020). Hierbei soll innerhalb der kommenden vier Jahre ein komplett neuartiges und großtechnisches Verwertungsverfahren auf der Grundlage der extraktiven Extrusionstechnologie in Kombination mit Lösungsmitteln und Schmelzfiltration entwickelt werden (VinylPlus 2019b). Mit Hilfe dieses Verfahrens soll es möglich sein, Schadstoffe effektiv aus dem Materialkreislauf zu entfernen und ggf. anderweitig zu recyceln. Blei könnte demnach für die Wiederverwendung in Batterien vorbereitet werden. Das erklärte Ziel ist es, hochreines PVC-Rezyklat zu einem konkurrenzfähigen Marktpreis (ca. 570€ pro Tonne) anbieten zu können (European Commission 2019, S. 1).

Ein entscheidender Aspekt bei der Beurteilung, welche Art der Verwertung von PVC-Altfensterprofilen zu bevorzugen ist, besteht u.a. in der Überprüfung, ob es derzeit eine funktionierende Recyclingstruktur in diesem Bereich gibt (Umweltbundesamt 2016b, S. 10–11). Mit dem etablierten privatwirtschaftlichen Recyclingsystem (u.a. bestehend aus einer guten Sammellogistik zur sortenreinen Erfassung) der profilherstellenden Unternehmen und Recycler ist dies innerhalb Deutschlands vorhanden. Dies ist ein entscheidender Förderfaktor für etablierte und zukünftige Recyclingaktivitäten. Im Gegensatz zum rohstofflichen Recycling sowie den in Entwicklung befindlichen Verfahren (z.B. „REMADYL“) wird hierbei von einem mechanischen Verfahren Gebrauch gemacht, welches auf die Anforderungen (z.B. Abtrennung von Glasresten) aus den momentan entstehenden Abfallmengen abgestimmt ist. Das rohstoffliche Recycling kann also perspektivisch zu einer ergänzenden Lösung für die Stärkung des Recyclings werden, ohne dabei das werkstoffliche Recycling zu verdrängen oder zu substituieren. Denkbar wäre demnach, schadstoffbelastete PVC-Altfenster in Zukunft einem rohstofflichen Verwertungsverfahren und schadstofffreie PVC-Altfenster dem etablierten werkstofflichen Recycling zuzuführen. Dies setzt eine **lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten** in den jeweiligen Materialströmen voraus, was einen nicht unerheblichen administrativen Aufwand bedeuten könnte. Die Weiterverfolgung dieses Ansatzes ist insofern essenziell, da nicht grundsätzlich davon ausgegangen werden kann, dass die aktuell gültigen Ausnahmeregelungen zu den relevanten Schadstoffen Cadmium und Blei fortwährend gelten (siehe aktuelles Votum des EU-Parlaments, vgl. Kap. 5.1.1.1). Daher ist es wichtig, dass alternative Recyclingverfahren simultan vorangetrieben werden.

Weiterhin gilt es, die folgenden Aspekte bei der Priorisierung von Verwertungsverfahren für schadstoffhaltige Materialströme zu berücksichtigen (Umweltbundesamt 2016b, S. 10–11):

- Art und Konzentration der Schadstoffe in den Abfällen sowie in RC-Produkten;

- ▶ Beschränkungen und temporäre Ausnahmeregelungen bzgl. der relevanten Schadstoffe;
- ▶ Einsatzmöglichkeiten der Sekundärrohstoffe sowie Kontrollmöglichkeiten;
- ▶ Implikationen des Vermischungs- sowie Verdünnungsverbot nach KrWG.

Die Schaffung von Anreizen zur Verwendung rezyklierter PVC-Fensterprofile setzt außerdem ein Vertrauen in die Vorteilhaftigkeit und Sicherheit des derzeitigen werkstofflichen Recyclings voraus (The Natural Step 2018, S. 2). Eine essenzielle Maßnahme hierfür besteht in dem **Nachweis zur Umwelt- und Humanverträglichkeit** von Sekundärrohstoffen und RC-Materialien. Vor dem Hintergrund, dass bereits einige Publikationen sowie öffentlich zugängliche Studien eine gute Umwelt- und Humanverträglichkeit der aktuellen Recyclingpraxis sowie der daraus entstehenden PVC-Rezyklatprodukte bescheinigen (Schiller und Everard 2013; EPPA 2018; Mercea et al. 2018; BiPRO 2015; European Commission 2000), erscheint eine zusätzliche Nachweispflicht derzeit nicht angemessen. Die geltenden schadstoffrechtlichen bzw. Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an Primärprodukte bleiben davon unberührt und haben uneingeschränkte Gültigkeit für Sekundärprodukte.

Dass PVC-Rezyklate aus Altfenstern nur in gleichartigen Produkten, wie Fenstern eingesetzt werden, wird durch einen kontrollierten und qualitätsgesicherten Materialkreislauf sichergestellt. Hierzu wurden **Qualitätsanforderungen an Rezyklate** definiert. Ein europaweites Normungsvorhaben befindet sich derzeit in der Umsetzung und trägt den Titel „Controlled Loop PVC Recycling von Kunststofffenstern“ (siehe hierzu auch Kap. 5.1.1.4). Gemäß des entsprechenden Norm-Entwurfs sollen somit Qualitäts- und Prüfmethode für rezykliertes PVC zur Verwendung in PVC-Fensterprofilen definiert werden. Außerdem sollen so genannte „Traceability-Tools“ festgelegt werden, um den Produktkreislauf als kontrolliert zu charakterisieren. Mit Blick auf die Rezyklate und Produkte wird auf die entsprechenden Normen DIN EN 12608-1¹⁵ und DIN EN 14351-1¹⁶ verwiesen. Zusätzlich könnte im Rahmen der Standardisierung eine Qualitätssicherung in Bezug auf die immanenten Schadstoffe aufgegriffen werden. Konkret könnte dies beinhalten, dass Parameter für die Beschreibung von Schadstoffgehalten und Methoden zu deren Bestimmung definiert werden (Umweltbundesamt 2016b, S. 10–11). Weiterhin sollte diese Thematik in den einschlägigen Normen für Kunststoffrezyklate adressiert werden (Umweltbundesamt 2016b, S. 10–11). Ein sinnvolles Zusammenspiel von Designanforderungen und der derzeitigen Entsorgungspraxis ist ebenfalls sicherzustellen (Umweltbundesamt 2016b, S. 11). Abschließend bleibt jedoch auch zu überprüfen, welchen Einfluss die aktuell auftretenden Schadstoffgehalte im Rezyklat auf die Recyclingfähigkeit der neuen, mit Rezyklatanteil hergestellten Fenster haben.

Bei der Definition von Qualitätsstandards für Rezyklate sowie der Normierung von rezyklierten Produkten sollte außerdem darauf geachtet werden, weitere Materialkreisläufe und Trenn- und Recyclingprozesse zu erleichtern (z.B. durch konstruktiv einfache Trennbarkeit von Gummidichtungen und Profil).

3) Hemmfaktor: Akzeptanzprobleme

Komplementär zur planerischen Qualitätssicherung muss neben einer tatsächlichen, lückenlosen Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten auch die Berichterstattung durch beteiligte Akteurinnen und Akteure sowie die **einheitliche Kennzeichnung von RC-**

¹⁵ Titel der Norm: Profile aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) zur Herstellung von Fenstern und Türen - Klassifizierung, Anforderungen und Prüfverfahren - Teil 1: Nicht beschichtete PVC-U Profile mit hellen Oberflächen

¹⁶ Titel der Norm: Fenster und Türen - Produktnorm, Leistungseigenschaften - Teil 1: Fenster und Außentüren

Produkten und insbesondere solcher mit Schadstoffgehalten erfolgen (Friege et al. 2018, S. 18; The Natural Step 2018, S. 3; Umweltbundesamt 2016b, S. 13). Dies kann zwar einerseits einen erheblichen administrativen sowie finanziellen Aufwand für die beteiligten Akteurinnen und Akteure bedeuten (Borgmann et al. 2019, S. 41) Zu beachten ist, dass gemäß Art. 33 Abs. 1 der EG-REACH-Verordnung für Lieferanten von Erzeugnissen die Pflicht besteht, in der Lieferkette zu informieren, soweit die Erzeugnisse SVHC (Blei ist als SVHC identifiziert) in einer Konzentration von mehr als 0,1 % w/w enthalten; diese Informationen sind ab 2021 in Umsetzung von Art. 9 Abs. 1 lit. i) der EG-AbfRRL auch der ECHA über die sog. SCIP-Datenbank zur Verfügung zu stellen und damit sind diese Informationen dann öffentlich verfügbar.

Die tatsächliche Wirksamkeit einer einheitlichen Kennzeichnung und Identifikation von RC-Produkten hängt von den genutzten Kommunikationswegen ab. So könnten beispielsweise Produktdatenblätter ein geeignetes Format bieten. Darin könnten neben den sicherheitsrelevanten Informationen zu Schadstoffen auch potenzielle Verwertungswege aufgezeigt werden. Bei der Auswahl eines geeigneten Formats sollte außerdem bedacht werden, dass sich Empfehlungen hinsichtlich möglicher Verwertungswege oder Regelungen bezüglich der Schadstoffgrenzwerte ändern könnten. Zudem muss sichergestellt werden, dass die relevanten Informationen am Ende des Lebenswegs von Bauprodukten abrufbar sind. Ein perspektivisches Instrument im Kontext der digitalen Planungsmethode „Building Information Modeling (BIM)“, welche ab Dezember 2020 für Infrastrukturbauten verpflichtend wird, ist der (elektronische) **Materialpass**¹⁷. Hier können all jene Daten und Informationen (z.B. konstruktive Hinweise, Schadstoffgehalte) vorgehalten und kontinuierlich aktualisiert werden, die für ein zukünftiges Recycling von Bedeutung sind (Umweltbundesamt 2017a, S. 56). Zusätzlich und in Anwendungsfällen bei denen ein (elektronischer) Materialpass¹⁸ nicht realisiert werden kann (z.B. private Baumaßnahmen, aufgrund der i.d.R. nicht vorhandenen digitalen Verwaltungsstrukturen), ist zumindest eine klare und einheitliche Kennzeichnung oder Markierung der Fensterprofile erforderlich. Dies ist bereits übliche Praxis, indem die Profile mit einem Aufdruck „enthält recycelte Materialien“ versehen sind und der Lieferschein stets angibt, dass Cadmium und Blei enthalten sein können, so wie dies nach Anhang XVII Nummer 23 Abs. 4 der EG-REACH-Verordnung vorgeschrieben ist (Figeac 2019, S. 35; Friege et al. 2018, S. 13). Zudem regelt die aktuellste Fassung der DIN 6120 die Kennzeichnung von Kunststoffen bezüglich der Angabe des prozentualen Massenanteils des Rezyklats. Diese Regelung ist allerdings nicht verbindlich. Schließlich wird der allgemeine Recyclingcode nach EN 14021 mit der Nummer 3 für PVC zur weiteren Kennzeichnung verwendet (siehe Abbildung 24).

¹⁷ Ein Materialpass dient dazu, alle verbauten Stoffe elektronisch zu dokumentieren, sodass sie in Building Information Modelling (BIM)-Systeme integriert und verwaltet werden können. Dabei wird festgehalten, ob diese frei von Schadstoffen sind und welcher Art von Verwertung diese nach der Nutzungszeit zugeführt werden können.

¹⁸ Das Umweltinnovationsprogramm (UIP) ist ein Förderprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Gefördert werden Projekte, die den Stand der Technik in einer Branche weiterentwickeln und anderen Unternehmen der gleichen Branche oder branchenübergreifend aufzeigen, wie innovative Technik zu einer Umweltentlastung führen kann.

Abbildung 24: Allgemeiner Recyclingcode (links) und privatwirtschaftliches Nachhaltigkeitszeichen für PVC-Produkte (rechts)



Quelle: VinylPlus (2019a) und Figeac (2019)

Ein weiterer Beitrag zur Kennzeichnung von PVC-Fensterprofilen ist das Nachhaltigkeitszeichen von VinylPlus (siehe ebenfalls Abbildung 24). Es handelt sich hierbei um ein freiwilliges System zur Produktzertifizierung, welches die folgenden acht Kernkriterien umfasst (VinylPlus 2019a, S. 4):

- ▶ Partnerschaft und Unterstützung des Nachhaltigkeitsprogramms;
- ▶ Anforderungen an das Management der Organisation;
- ▶ Anforderungen an das Management der Beschaffungskette;
- ▶ Materialkreisläufe und Recycling;
- ▶ PVC-Rohstoffe aus nachhaltigen Quellen;
- ▶ Verantwortungsvoller Gebrauch von Additiven;
- ▶ Nachhaltige Energie- und Klimastrategie; und
- ▶ Nachhaltigkeitsbewusstsein und Kommunikation.

Mit Blick auf die Stärkung des Recyclings werden die Kreislaufführung (z.B. optimiertes Produktdesign für Recycling) von Materialien und das Recycling (z.B. Rezyklatanteil im Produkt) als zusätzliche Kriterien herangezogen (VinylPlus 2019a, S. 4). Cadmium- und bleifreie Formulierungen für neue PVC-Fensterprofile gehören als Pflichtkriterien zum Standard, jedoch bleiben diese Substanzen in Rezyklaten gemäß den derzeitigen Regelungen unter der EG-REACH-Verordnung (siehe hierzu Kap. 5.1.1.1) erlaubt.

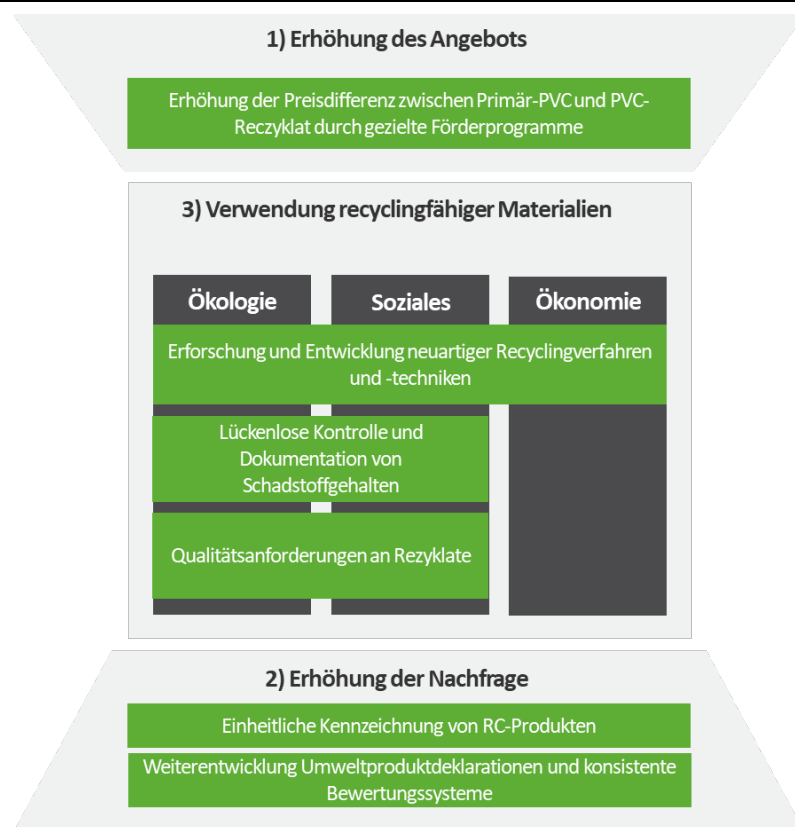
Die **Weiterentwicklung aussagekräftiger Umweltproduktdeklarationen** sind auch eine Möglichkeit der Verbraucherinformation. Momentan enthalten sie ausschließlich generische Informationen und Daten (z.B. sehr allgemeine Annahmen hinsichtlich des enthaltenen Recyclingmaterials). Daher sind diese Informationen im Hinblick auf die Beurteilung von Recyclingalternativen von begrenzter Aussagekraft. In Zukunft ist es aber durchaus denkbar, dass im Rahmen von Umweltproduktdeklarationen weitere und fallspezifischere Informationen (z.B. Informationen bezüglich Verunreinigungen und Schadstoffe, ökologische Bilanzierung von Entsorgungsszenarien für Kleinstmengen, anwendungsspezifische und qualitative Schadstoffbetrachtung) erhoben und kommuniziert werden. Für die Verfügbarmachung von harmonisierten und repräsentativen Daten und Informationen zu geeigneten Recyclingverfahren und der geforderten Beschaffenheit von Abfällen (z.B. Art und Umfang enthaltener Schad- oder Störstoffe) sind die jeweiligen Beteiligten der Recycling- und Entsorgungsindustrie bei der Erstellung von Umweltproduktdeklarationen miteinzubeziehen

(Umweltbundesamt 2020, S. 18). Komplementär zur Aufbereitung von Informationen und Daten in Umweltproduktdeklarationen muss die **Konsistenz und Vergleichbarkeit unterschiedlicher Bewertungssysteme** erhöht werden. Ein gesellschaftlicher Konsens über die Wichtigkeit des Recyclings und somit eine gesteigerte Nachfrage nach Sekundärrohstoffen können einen wichtigen Beitrag zur Stärkung des Recyclings leisten. Vorausgesetzt elektronische Materialpässe oder weiterentwickelte Umweltproduktdeklarationen finden ihre Anwendung in diesem Bereich, sind es wiederum Recyclingunternehmen und herstellende Unternehmen, die relevante Informationen einpflegen müssen.

6.3.4 Produktspezifisches Recyclingmodell und Bewertung der Maßnahmen

Die diskutierten und zu priorisierenden Maßnahmen und Instrumente werden in Abbildung 25 dargestellt. Das Modell ist als Maßnahmenbündel zu verstehen, welches sich in die etablierten Recyclingstrukturen einfügen lässt. Bei den in Abbildung 25 dargestellten Maßnahmen handelt es sich nicht um abschließend geprüfte Maßnahmen oder Regulierungsvorschläge. Vielmehr sind dies Ansätze, Ideen und Impulse, welche fachlich geprüft und ggf. politisch weiterverfolgt und priorisiert werden könnten. Dabei wurden außerdem nur jene Maßnahmen berücksichtigt, die in der Modellentwicklung und Erörterung priorisiert wurden. Weitere denkbare Ansätze in Verbindung mit den identifizierten Hemmfaktoren finden sich in Tabelle 26.

Abbildung 25: Modell zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung rezyklierter PVC-Fensterprofile



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf Modellentwicklung und Diskussion)

Die im Recyclingmodell dargestellten Einzelmaßnahmen sind als produktspezifische Lösungsvorschläge zu verstehen. Eine generelle Priorisierung von Einzelmaßnahmen ist auf Basis der produktspezifischen Erörterung (siehe Kap. 6.3.3.2) nicht möglich. Die Umsetzung der

vorgeschlagenen Einzelmaßnahmen ist unterschiedlich komplex und mit möglichen Konflikten verbunden (siehe hierzu Kap. 6.3.4.1). Eine ökonomische Incentivierung von Recyclingaktivitäten wäre ein geeigneter Ansatz. Unterstützend könnte eine lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten zur Akzeptanz des Recyclings beitragen. Weiterhin kann die Festlegung von Qualitätsanforderungen an Rezyklate und PVC-Fensterprofile aus Rezyklat einen Beitrag zur Sicherstellung des Materialkreislaufs leisten. Die Erforschung und Entwicklung von neuartigen Recyclingverfahren kann hingegen keinen unmittelbaren Beitrag leisten und ist zudem zeitlich deutlich nachgelagert. Dennoch wird in der Erforschung ergänzender Recyclingverfahren aufgrund der aktuellen Entwicklungen auf EU-Ebene (siehe Kap. 5.1.1.1) ein wichtiger Beitrag zum fortwährenden Recycling von PVC-Altfensterprofilen gesehen. Die vorgeschlagenen Einzelmaßnahmen zur Steigerung der Nachfrage weisen deutliche Synergiepotenziale im Zusammenhang mit den Qualitätsanforderungen und der Schadstoffdokumentation auf. So ermöglichen eine lückenlose Kontrolle und Dokumentation eine sachgerechte und valide Kennzeichnung von RC-Produkten. Die Weiterentwicklung von Umweltproduktdeklarationen kann sich an den Qualitätsanforderungen orientieren und diese bei der Auswertung und Interpretation einbeziehen.

Die identifizierten und erörterten Einzelmaßnahmen sind in dieser Zusammenstellung nur für das erörterte Produktbeispiel gültig. Zur abschließenden Abstraktion und Priorisierung von bestimmten Einzelmaßnahmen erfolgt eine Einordnung der jeweiligen Machbarkeit anhand des konkreten Produktbeispiels. Diese Einordnung dient als Orientierung für die Ableitung und Priorisierung von Lösungsansätzen im Bereich der Bauprodukte.

6.3.4.1 Bewertung der Maßnahmen

6.3.4.1.1 Rechtliche Machbarkeit

Der Förderung von Forschungstätigkeit einschließlich angewandter Forschung (hier im Bereich **Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken**) in Ausübung und im Rahmen des Aufgabenbereichs der zuständigen öffentlichen Stellen stehen keine rechtlichen Bedenken entgegen.

Die rechtliche Machbarkeit einer **Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat durch gezielte Förderprogramme** wird als gegeben angesehen, soweit sich diese auf Vorgaben bezieht, die im Rahmen von Bautätigkeit der öffentlichen Hand oder bei der Finanzierung privater Bauvorhaben durch öffentliche Mittel gemacht werden. In der aktuell diskutierten Revision des KrWG wird eine Fortentwicklung der öffentlichen Beschaffung diskutiert (Entwicklung der bisherigen Prüfpflicht zu einer Bevorzugungspflicht für ökologisch vorteilhafte Erzeugnisse). Problematisch, beihilferechtlich sorgfältig zu prüfen und nur zulässig unter strikter Beachtung des Gleichbehandlungsgrundsatzes, sind demgegenüber Förderungen außerhalb des Bereichs der öffentlichen Beschaffung sowie direkte staatliche Interventionen in Marktpreise.

Die Definition von Anforderungen an Produkte auf nationalstaatlicher Ebene (wie **Lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten, Qualitätsanforderungen an Rezyklate, einheitliche Kennzeichnung von RC-Produkten, sowie Weiterentwicklung von Umweltproduktdeklarationen und konsistente Bewertungssysteme**) sind insofern problematisch, als Teile dieser Anforderungen auf EU-Ebene geprüft und namentlich im Bereich des Kommissionsvorschlags zur Beschränkung von Blei (Eintrag 63 in Anhang XVII, siehe hierzu Kap. 5.1.1.1) als Teil der Voraussetzungen genannt sind, unter denen von den strengeren Grenzwerten für Blei in PVC abgewichen werden kann. Hier stellt sich die Frage, inwieweit über

die Mitarbeit bei der Rechtssetzung auf europäischer Ebene hinaus in einem Bereich, bei dem EU-weit harmonisierte Bedingungen der Vermarktung festgelegt sind, national abweichende Maßnahmen getroffen werden könnten. Eine abweichende oder weitergehende nationale Regelung in diesem Bereich müsste formell und inhaltlich den strengen Anforderungen der Art. 193 bzw. Art. 114 Abs. 4 und Abs. 5 AEUV genügen. Sinnvoll scheint hier nach dem jüngsten Votum des Europäischen Parlaments zum relevanten Vorschlag zunächst, weiteres abzuwarten, um den auf nationaler Ebene bestehenden rechtlichen Spielraum zu bestimmen.

Tabelle 27 fasst die Beurteilung der rechtlichen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 27: Zusammenfassung der Beurteilung der rechtlichen Machbarkeit von ausgewählten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer PVC-Fensterprofile

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Rechtliche Machbarkeit
Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat durch gezielte Förderprogramme	Gelb
Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken	Grün
Lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten	Gelb
Qualitätsanforderungen an Rezyklate	Gelb
Einheitliche Kennzeichnung von RC-Produkten	Gelb
Weiterentwicklung Umweltproduktdeklarationen und konsistente Bewertungssysteme	Gelb

6.3.4.1.2 Organisatorische Machbarkeit

Um vermehrt PVC-Altfensterprofile für eine werkstoffliche oder sonstige perspektivische Verwertung (z.B. rohstoffliches Recycling) zu sammeln, könnte die **Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat durch gezielte Förderprogramme** entsprechende Anreize setzen. Entscheidende organisatorische Machbarkeitskriterien (z.B. Nutzungsdauer von Bauwerken und von Teilen von Bauwerken, Zuordnung von Verantwortungsbereichen, Sammel- und Entsorgungsstrukturen) bleiben jedoch unberührt von dieser Maßnahme. Im Falle einer erfolgreichen Umsetzung dieser Maßnahme entstehen unmittelbare Folgeeffekte und potenziell könnten sogar organisatorische Synergieeffekte für andere Recyclingaktivitäten (v.a. Flachglasrecycling) entstehen bzw. proaktiv kreiert werden. Kleine Entsorger haben hingegen i.d.R. keinen physischen Platz für eine Zwischenlagerung, was somit ein nachgelagertes organisatorisches Hemmnis dieser Maßnahme sein könnte. Potenzielle Synergieeffekte müssen jedoch stets fallspezifisch untersucht werden, da z.B. Flachgläser i.d.R. bereits auf der Baustelle abgetrennt werden und daher nicht gemeinsam mit den Rahmen abtransportiert werden. Außerdem nehmen bestimmte Annahmestellen ebenfalls Rahmen aus

Holz und Aluminium an, was zu Synergieeffekten hinsichtlich des Transports führen kann oder allgemein die Wirtschaftlichkeit einer Annahmestelle steigern könnte. Andererseits wären mit der Initiierung eines Förderprogramms zunächst erhebliche organisatorische Anstrengungen z.B. auf Bundes- und/oder Länderebene verbunden. Auf behördlicher Seite müsste der Rahmen für eine Förderung gelegt werden, was u.a. Kriterien für eine Förderung beinhalten würde (Anforderungen an Menge, Qualität, berechnete Antragsteller etc.). Weiterhin bedarf es der notwendigen Infrastruktur und personellen Ressourcen für die Bearbeitung, Bewertung und Vergabe der Anträge und schlussendlichen Förderung sowie Maßnahmen, um die Zweckmäßigkeit und den Effekt der Förderung zu einem späteren Zeitpunkt zu bewerten. Die organisatorische Machbarkeit von Förderprogrammen zur Erhöhung der Preisdifferenz ist daher in der Praxis aufgrund des hohen organisatorischen und administrativen Aufwands nur teilweise gegeben. Es könnten jedoch vorhandene Programme mit starker ökologischer Ausrichtung wie beispielsweise das Umweltinnovationsprogramm genutzt werden.

Innovationen prägen das derzeitige werkstoffliche Kunststoffrecycling sowie perspektivische Verfahren und Möglichkeiten. Darum ist die weitere **Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken** notwendig. Die dafür notwendige Infrastruktur ist durch Universitäten und Forschungseinrichtungen vorhanden. Die Entwicklung von Recyclingverfahren wird durch entsprechende Forschung und Förderprogramme gefördert (u.a. auch auf EU-Ebene, siehe hierzu Kap. 6.3.3.2). Diese Maßnahme ist den tatsächlichen Recyclingaktivitäten vorgelagert und ist daher weitestgehend entkoppelt von den hier maßgeblichen organisatorischen Kriterien (z.B. Nutzungsdauer von Bauwerken und von Teilen von Bauwerken, Zuordnung von Verantwortungsbereichen, Sammel- und Entsorgungsstrukturen). Die organisatorische Machbarkeit der Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken ist jedoch gegeben.

Eine **lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten** in PVC-Fensterprofilen mit Rezyklatgehalt kann dazu dienen, unvermeidbare Schwankungen hinsichtlich der tatsächlich rezyklierten Schadstoffgehalte in den Endprodukten zuverlässig zu erfassen. Derzeit kann angenommen werden, dass die Kontrolle von Schadstoffgehalten stichprobenartig für Rezyklatchargen beim Recyclingunternehmen durchgeführt werden. Es handelt es sich hierbei um einen kontinuierlichen und statistisch abgesicherten Kontrollprozess, welcher in dem derzeit laufenden europaweiten Normungsvorhabens „Controlled Loop PVC Recycling von Kunststofffenstern“ spezifiziert wird (siehe hierzu auch Kap. 5.1.1.4). Eine entsprechende Ausweitung der bereits etablierten Kontrollmechanismen und anschließenden Dokumentation beim Inverkehrbringen durch die herstellenden Unternehmen steht daher aus rein organisatorischer Sicht nichts entgegen.

Qualitätsanforderungen an Rezyklate sowie **einheitliche Kennzeichnungen von RC-Produkten**, die über die regulatorischen Anforderungen (z.B. nach Anhang XVII Nummer 23 Abs. 4 der EG-REACH-Verordnung; siehe auch Kap. 6.3.3.2) hinausgehen, sind bereits erfolgreich umgesetzt und publiziert (Schiller und Everard 2013; EPPA 2018; Mercea et al. 2018; BiPRO 2015; European Commission 2000). Trotz der grundsätzlich aufwendigen Koordination solcher Bestrebungen, kann im vorliegenden Anwendungsfall davon ausgegangen werden, dass die organisatorische Machbarkeit für die Umsetzung durch die beteiligten Akteurinnen und Akteure (z.B. Abbruchunternehmen, Recyclingunternehmen, herstellende Unternehmen) dieser beiden, eng verzahnten Maßnahmen gegeben ist. Diese Einschätzung kann in erster Linie auf die kontinuierlichen Tätigkeiten der etablierten und proaktiven Vernetzungs-Beteiligten (insbesondere Rewindo-Initiative und EPPA) in diesem Bereich zurückgeführt werden.

Weiterhin ergeben sich aus der Umsetzung dieser beiden Maßnahmen keine unmittelbaren Folgeeffekte, die die organisatorische Machbarkeit beeinflussen würden.

Die **Weiterentwicklung von Umweltproduktdeklarationen und konsistenter Bewertungssysteme** wirkt sich nur indirekt auf die organisatorische Machbarkeit aus (z.B. Nutzungsdauer von Bauwerken und von Teilen von Bauwerken, Zuordnung von Verantwortungsbereichen, Sammel- und Entsorgungsstrukturen). Dennoch bedeutet die in diesem Anwendungsfall gewünschte Einbeziehung von spezifischen Informationen (z.B. ökologische Bilanzierung von Entsorgungsszenarien für Kleinstmengen, anwendungsspezifische und qualitative Schadstoffbetrachtung) einen erhöhten Aufwand hinsichtlich Informations- und Datenbeschaffung für die betroffenen Beteiligten. Auch wenn elektronische Materialpässe oder weiterentwickelte Umweltproduktdeklarationen Anwendung finden, müssen neben herstellenden Unternehmen auch Recyclingunternehmen relevante Informationen einpflegen, was wiederum mit einem organisatorischen Aufwand einhergeht. Eine weitere organisatorische Herausforderung kann in der Harmonisierung unterschiedlicher Bewertungssysteme (z.B. Zertifizierungssystem des DGNB im Vergleich zu Abschätzung von Umweltwirkungen in Umweltproduktdeklarationen des IBU) gesehen werden. Insgesamt gilt es auch beim Recycling sichere Produkte auf den Markt zu bringen. Das Schnittstellenmanagement zwischen Abfall-, Chemikalien- und Produktrecht kann langwierig sein, was sich negativ auf die Umsetzung auswirkt. Abschließend wird die organisatorische Machbarkeit dieser Maßnahme aber als gegeben eingestuft.

Tabelle 28 fasst die Beurteilung der organisatorischen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 28: Beurteilung der organisatorischen Machbarkeit von Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Förderung rezyklierter PVC-Fensterprofile

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Organisatorische Machbarkeit
Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat durch gezielte Förderprogramme	Gelb
Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken	Grün
Lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten	Grün
Qualitätsanforderungen an Rezyklate	Grün
Einheitliche Kennzeichnung von RC-Produkten	Grün
Weiterentwicklung Umweltproduktdeklarationen und konsistente Bewertungssysteme	Grün

6.3.4.1.3 Technische Machbarkeit

Die Machbarkeit der **Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat durch gezielte Förderprogramme** ist grundsätzlich von technischer Seite gegeben. Weder auf Seiten der Marktagierenden (z.B. Sammelpunkte oder Verwendung rezyklierter PVC-Fensterprofile) noch auf behördlicher Seite (Bearbeitung von Förderanträgen) stehen der Umsetzung dieser Maßnahme große Barrieren entgegen, wenngleich Aufwand mit der Maßnahme verbunden ist. Auf behördlicher Seite bezieht sich dies lediglich auf die technische Infrastruktur. Durch die unmittelbar erwarteten oder befähigten Folgeeffekte (ökonomischer Anreiz für die Getrennterfassung von Kleinstmengen) wären hingegen auf beispielsweise Recyclinghöfen neue Sammelstellen (z.B. Bringsysteme für kleine Mengen) erforderlich, was rein technisch als machbar einzuschätzen ist. Weitere Folgeeffekte, welche die technische Machbarkeit der Maßnahme beeinflussen, sind im Falle von PVC-Fensterprofilen im Bereich der Baustellenlogistik oder der weiteren Aufbereitung beim Abbruch oder Rückbau nicht zu erwarten, sofern ein selektiver Rückbau erfolgt. Grundsätzlich empfiehlt sich die in der Praxis bereits etablierte Getrennterfassung auf der Baustelle (zumindest auf Großbaustellen) als Komplementärmaßnahme (Umweltbundesamt 2015c, S. 146). Aufgrund der guten Trenn- und Separierbarkeit der PVC-Altfensterprofile sind keine größeren technischen Komplikationen in Verbindung mit der zielgerechten Intensivierung von Sammel- und Recyclingaktivitäten als unmittelbare Folge dieser Maßnahme zu erwarten. Somit ist die technische Machbarkeit dieser Maßnahme vollumfänglich gegeben.

Vor allem die technische Umsetzung ist in Bezug auf die **Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken** relevant. Eine Einschätzung hinsichtlich der Umsetzung der konkreten Machbarkeit kann jedoch auf dieser Ebene nicht erfolgen, sondern muss durch individuelle Betrachtung der entsprechenden technischen Lösung stattfinden. Generell betrachtet steht der Maßnahme von technischer Seite kein Hemmnis entgegen und weitere Forschung und Entwicklung findet derzeit in verschiedenen Bereichen statt. Als Nachweis für die technische Machbarkeit der großtechnischen Realisierung eines relevanten Recyclingverfahrens kann das neuartige und im Rahmen des Umweltinnovationsprogramm (UIP)¹⁹ geförderte „ECO.PROFILE-Verfahren“ der Firma aluplast angeführt werden, wodurch eine Erhöhung des Rezyklatanteils bei Rahmenprofilen um 18 % erreicht werden konnte (Spies und Przybilla 2019).

Die **lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten** verschafft bessere Planbarkeit und Überprüfbarkeit der Schadstoffgehalte im Endprodukt und kann somit auch zu mehr Akzeptanz rezyklierter Endprodukte beitragen. Aus rein technischer Sicht müsste ein PVC-Profil zur Messung der Schwermetall-Konzentration z.B. in einem Muffelofen verascht und der Rückstand mittels eines sauren Aufschlusses in Lösung gebracht werden. Diese würde anschließend mit dem Trennverfahren der Ionenchromatographie (ICP-MS) (DIN EN ISO 17294-2:2014) analysiert. Trotz des erheblichen Aufwands ist die rein technische Machbarkeit der Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten gegeben. Fraglich bleibt jedoch inwieweit die aktuellen technischen Rahmenbedingungen bei den Recyclingunternehmen eine lückenlose Kontrolle erlauben (siehe hierzu Kap. 6.3.4.1.5).

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der verwandten Maßnahme von **Qualitätsanforderungen an Rezyklate**. Deren Einhaltung ist nur überprüfbar, wenn eine Kontrolle und Dokumentation der

¹⁹ Das Umweltinnovationsprogramm (UIP) ist ein Förderprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Gefördert werden Projekte, die den Stand der Technik in einer Branche weiterentwickeln und anderen Unternehmen der gleichen Branche oder branchenübergreifend aufzeigen, wie innovative Technik zu einer Umweltentlastung führen kann.

Beschaffenheit gegeben sind. Das bereits beschriebene europaweite Normungsvorhaben „Controlled Loop PVC Recycling von Kunststofffenstern“ will Qualitäts- und Prüfmethoden festlegen, anhand derer die Nachweise der Qualität von PVC-Rezyklate zu messen sind. Es ist daher davon auszugehen, dass die Normentwürfe Verfahren zur Überprüfung beinhalten, die dem Stand der Technik entsprechen, weshalb die technische Machbarkeit dieser Maßnahme gegeben ist.

Die **einheitliche Kennzeichnung von RC-Produkten** kann als eine Weiterführung der Qualitätsanforderungen angesehen werden. Bei Erfüllen der Anforderungen ist eine darauffolgende Kennzeichnung technisch möglich. Im Vorfeld müsste ein einheitliches System zur Kennzeichnung entwickelt werden, welches beispielsweise auf den bestehenden Nachhaltigkeitszeichen für PVC-Fensterprofile aufbaut und Informationen über die Verwendung von Recyclingmaterial beinhaltet. Eine einheitliche Kennzeichnung könnte auch auf Basis von Umweltproduktdeklarationen und den darin enthaltenen Informationen stattfinden. Die **Weiterentwicklung aussagekräftiger Umweltproduktdeklarationen und konsistenter Bewertungssysteme** für PVC-Fensterprofile ist dafür eine wesentliche Voraussetzung. Die Weiterentwicklung derartiger Deklaration erfordert einen nicht unerheblichen organisatorischen Aufwand in Bezug auf die Datensammlung. Gleiches gilt für die Vereinheitlichung von Bewertungssystemen. Die technische Machbarkeit dieser Maßnahme wird aber als gegeben angesehen, da bestehenden Umweltproduktdeklarationen bei Verfügbarkeit der notwendigen Daten weitere Informationen hinzugefügt werden können und für die Vereinheitlichung der Bewertungssysteme Aufwand eher im Bereich der Administration und Organisation liegt.

Tabelle 29 fasst die Beurteilung der technischen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 29: Beurteilung der technischen Machbarkeit von ausgewählten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Förderung des Einsatzes rezyklierter PVC-Fensterprofile

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Technische Machbarkeit
Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat durch gezielte Förderprogramme	Grün
Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken	Grün
Lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten	Grün
Qualitätsanforderungen an Rezyklate	Grün
Einheitliche Kennzeichnung von RC-Produkten	Grün
Weiterentwicklung Umweltproduktdeklarationen und konsistente Bewertungssysteme	Grün

6.3.4.1.4 Ökologische Machbarkeit

Eine durch Förderung mit öffentlichen Mitteln induzierte **Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat** könnte dem Zweck dienen, Rohstoffe in einem technischen Materialkreislauf zu halten. Damit wird ein inhärenter Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet, was sich positiv in der Einordnung der ökologischen Machbarkeit dieser Maßnahme niederschlägt. Dennoch bemisst sich die ökologische Vorteilhaftigkeit bzw. Machbarkeit des jeweils intensivierten Recyclings auch an den unmittelbaren Folgeeffekten und damit den notwendigen Aufwendungen (z.B. für Transport und Sammlung) und Nachteilen für Mensch und Umwelt. Verfügbare ökobilanzielle Betrachtungen geben Aufschluss darüber, welche Entsorgungswege für PVC-Altfensterprofile aus ökologischer Sicht am vorteilhaftesten sind (siehe hierzu Kap. 5.1.1.5). Alternative Verwertungswege (z. B. energetische Verwertung) können also im Einzelfall durchaus ökologisch sinnvoll oder gar notwendig sein. Insgesamt gestaltet sich die ökologische Vorteilhaftigkeit der derzeitigen Abfallbewirtschaftung von PVC-Fensterprofilen heterogen und variabel. Abschließend ist die ökologische Sinnhaftigkeit von gezielten Förderprogrammen mit dem Ziel die Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat zu erhöhen nur teilweise gegeben.

Der inhärente Beitrag einer **lückenlosen Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten** durch die Recyclingunternehmen und herstellenden Unternehmen besteht darin, den Schutz von Mensch und Umwelt zu gewährleisten. Innerhalb des geschlossenen und kontrollierten Produktkreislaufes der PVC-Fensterprofile gelten die Risiken auf Mensch und Umwelt durch Schadstoffgehalte in Altfensterprofilen als beherrschbar. Zudem werden mit den etablierten Grenzwertregelungen in diesem Bereich die zusätzlichen ökologischen Vorteile des werkstofflichen Recyclings ermöglicht. Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten in den jeweiligen Materialströmen sind daher notwendig und ökologisch sinnvoll. Daher ist die ökologische Machbarkeit dieser Maßnahme gegeben.

Zur Unterstützung des Recyclings können Ökobilanzen und Umweltproduktdeklarationen herangezogen oder in Auftrag gegeben werden. Die enthaltenen Berechnungen sollten in diesem Zusammenhang hinsichtlich der Sensitivitätsbetrachtungen vereinheitlicht und gegebenenfalls erweitert werden. Somit könnten diese produktspezifischen Erklärungen kritische Parameter (z.B. Transportwege oder Mittel) sowie komplementäre negative Umweltauswirkungen eines bestimmten Entsorgungsszenarios aufzeigen. Die **Weiterentwicklung von Umweltproduktdeklarationen und konsistenter Bewertungssysteme** durch bauprodukteherstellende Unternehmen und entsprechende Zusammenschlüsse und Netzwerke (z.B. Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU)) ist daher ein wichtiger Beitrag für den Nachweis der fallspezifischen ökologischen Machbarkeit (d.h. ökologische Machbarkeit dieser Maßnahme ist gegeben).

Analog zu den oben erläuterten Maßnahmen (lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten; Weiterentwicklung von Umweltproduktdeklarationen und konsistenter Bewertungssysteme) sind durch die Umsetzung einer **einheitlichen Kennzeichnung von RC-Produkten** sowie durch **Qualitätsanforderungen an Rezyklate** keine unmittelbaren ökologischen Implikationen zu erwarten. Den herstellenden Unternehmen von PVC-Fensterprofilen bzw. Fenstersystemen kommt in diesem Zusammenhang eine Schlüsselrolle zu. In proaktiver Zusammenarbeit mit Recyclingunternehmen können mittels dieser Maßnahmen die Voraussetzungen für kontrollierte und qualitätsgesicherte Materialkreisläufe geschaffen werden. Da gesetzlich vorgeschriebene Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an neue Erzeugnisse davon unberührt bleiben bzw. explizit aufgegriffen werden, ist die ökologische Machbarkeit dieser beiden Maßnahmen grundsätzlich gegeben.

Im Rahmen der Modellentwicklung wurde die **Erforschung und Entwicklung neuer Recyclingverfahren und -techniken** als eine Maßnahme zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit von Alt-PVC aus Fensterprofilen vorgeschlagen. Da es sich hierbei um eine Maßnahme handelt, die der tatsächlichen Recyclingaktivität – welche wiederum ökologisch abgesichert werden muss - vorgelagert ist, ist die ökologische Machbarkeit gegeben. Dies kann beispielsweise anhand der Praxiseinführung und Erfolgskontrolle des „ECO.PROFILE-Verfahrens“ belegt werden, wonach neben einer Steigerung des Regranulatanteils im extrudierten Rahmenprofil auch die Energie-, Wasser- und Biozidbedarfe gegenüber konventionellen Anlagen verbessert werden konnten (Spies und Przybilla 2019).

Tabelle 30 fasst die Beurteilung der ökologischen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 30: Beurteilung der ökologischen Machbarkeit von Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Förderung des Einsatzes rezyklierter PVC-Fensterprofile

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Ökologische Machbarkeit
Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat durch gezielte Förderprogramme	Gelb
Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken	Grün
Lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten	Grün
Qualitätsanforderungen an Rezyklate	Grün
Einheitliche Kennzeichnung von RC-Produkten	Grün
Weiterentwicklung Umweltproduktdeklarationen und konsistente Bewertungssysteme	Grün

6.3.4.1.5 Sozio-ökonomische Machbarkeit

Bezogen auf die relevanten operativen Akteurinnen Akteure (insbesondere Rückbauunternehmen, Recyclingunternehmen, Logistikunternehmen) ist die **Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat durch gezielte Förderprogramme** eine Voraussetzung für die wirtschaftliche Zumutbarkeit, sofern diese in bestimmten Fällen nicht gegeben ist. Weiterhin können langfristig angelegte Förderprogramme Sicherheit für Investitionen in notwendige Infrastruktur (z.B. Ausbau von Sammelstrukturen und Recyclingmöglichkeiten) geben. Aufgrund der beschriebenen Ausgestaltung dieser Maßnahme und des charakteristischen Beitrags zur sozio-ökonomischen Machbarkeit des verstärkten Recyclings sowie anschließenden Einsatzes von Recyclingkunststoffen, wird die sozio-ökonomische Machbarkeit für die direkt am Recyclingmodell beteiligten Stakeholder (vgl. Kap. 3.1) als gegeben eingestuft.

Es besteht Grund zur Annahme, dass eine **lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten** einen großen technischen und administrativen Aufwand für Recyclingunternehmen und herstellende Unternehmen bedeuten (Borgmann et al. 2019, S. 41). Demnach wird eine Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten, welche über die gesetzlichen Nachweis- und Kennzeichnungspflichten hinausgehen, derzeit als wirtschaftlich nicht zumutbar eingestuft (d.h. sozio-ökonomische Machbarkeit nicht gegeben).

Die komplementäre und derzeit bereits stattfindende Einführung von branchenspezifischen **Qualitätsanforderungen an Rezyklate** erscheint sozio-ökonomisch machbar. Darüber hinaus bietet die Einführung von harmonisierten Qualitätsstandards gegebenenfalls sogar Kosteneinsparungspotenziale, was sich zusätzlich positiv auf die sozio-ökonomische Machbarkeit dieser Maßnahme auswirkt. Wichtig ist hierbei die Verständigung zwischen den involvierten Beteiligten sowie die Findung von Kompromissen, die wiederum zeitlich intensiv- und somit auch kostspielig für die beteiligten Akteurinnen und Akteure (z.B. Abbruchunternehmen, Recyclingunternehmen, herstellende Unternehmen) sein können. Dennoch wird davon ausgegangen, dass die finanziellen Vorteile diese Aufwendungen deutlich kompensieren. Als Nachweis hierfür kann die freiwillige Initiative „Controlled Loop PVC Recycling von Kunststofffenstern“ angeführt werden (siehe hierzu Kap. 6.3.3.2).

Weiterhin zu berücksichtigen ist in diesem Kontext die Akzeptanz auf dem Absatzmarkt, die es sicherzustellen gilt. Dafür müssen die RC-Produkte inklusive der entsprechenden Qualitätsmerkmale sowie potenziellen Risiken einheitlich gekennzeichnet werden. Die eigentliche Implementierung einer **einheitlichen Kennzeichnung von RC-Produkten** kann bezüglich der sozio-ökonomischen Machbarkeit als unkritisch eingestuft werden. Dennoch können daraus resultierende Effekte positive als auch negative Auswirkungen auf die gesamtheitliche sozio-ökonomische Machbarkeit dieser Maßnahme haben. Einerseits ist davon auszugehen, dass etablierte Nachhaltigkeitszeichen die sozio-ökonomische Machbarkeit erhöhen, da dadurch zusätzliche Erlösmöglichkeiten und Vorteile beim Absatz von entsprechend gekennzeichneten Produkten resultieren. Andererseits können herstellende Unternehmen durch ein explizites Kennzeichnen von Risiken im Zusammenhang mit Schadstoffgehalten finanzielle Einbußen beim Absatz von RC-Produkten erfahren, die sich wiederum negativ in der sozio-ökonomischen Machbarkeit dieser Maßnahme niederschlagen. Ausgehend von den relevanten operativen Akteurinnen und Akteuren (insbesondere herstellende Unternehmen von PVC-Fensterprofilen und Fenstersystemen), welche für die Umsetzung dieser Maßnahme ausschlaggebend sind, wird die sozio-ökonomische Machbarkeit dieser Maßnahme als teilweise gegeben eingestuft.

Die **Weiterentwicklung von Umweltproduktdeklarationen und konsistenter Bewertungssysteme** ist eine Maßnahme, die im Einklang mit einer einheitlichen Kennzeichnung von RC-Produkten durchgeführt werden kann. Somit könnten bei der Umsetzung dieser beiden Maßnahmen Synergiepotenziale erschlossen werden, die sich letztendlich auch positiv auf die jeweilige sozio-ökonomische Machbarkeit auswirken. Entscheidender für die Beurteilung der sozio-ökonomischen Machbarkeit ist aber, dass die Weiterentwicklung von Umweltproduktdeklarationen und konsistenter Bewertungssysteme ein kontinuierlicher Prozess ist, der von zahlreichen Beteiligten (insbesondere bauproduktherstellende Unternehmen) finanziell getragen wird. Demnach wird die sozio-ökonomische Machbarkeit dieser Maßnahme als gegeben eingestuft. Die Verhältnismäßigkeit dieser Maßnahme wird somit vom Markt bzw. von der Notwendigkeit und der gesellschaftlichen als auch privatwirtschaftlichen Bedeutung gefunden. Damit ist eine Einordnung der wirtschaftlichen Zumutbarkeit nicht ausschlaggebend und die sozio-ökonomische Machbarkeit dieser Maßnahme besteht.

Die sozio-ökonomische Machbarkeit der **Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken** hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Zentral ist hierbei die Aussicht auf Amortisation, also die Refinanzierung einer Investition, oder ein maßgeblicher gesellschaftlicher Mehrwert, sodass die Aufwendung öffentlicher Gelder gerechtfertigt werden kann. Eine entsprechende Beurteilung ist daher schwierig. Im Rahmen der Modellentwicklung wurde bereits auf eine vielversprechendes Forschungsprojekt („REMADYL“) hingewiesen, wobei ein konkurrenzfähiger Marktpreis des hochreinen PVC-Rezyklats erreicht werden soll (European Commission 2019). Die Integration neuer Verfahren und Innovationen in das derzeitige Recyclingsystem kann die langfristige sozio-ökonomische Machbarkeit positiv beeinflussen, da es nicht zwangsläufig zu einer Substitution bestehender Strukturen und Verfahren kommen muss. Als konkretes Beispiel für die sozio-ökonomische Machbarkeit kann hier das „ECO.PROFILE-Verfahren“ der Firma aluplast genannt werden, welches nicht zuletzt aufgrund eines Zuschusses aus dem Umweltinnovationsprogramm unter ökonomischen Gesichtspunkten und einer Amortisationszeit von unter drei Jahren vorteilhaft ist (Spies und Przybilla 2019). Für den konkreten Materialkreislauf würde dies bedeuten, dass unbelastete PVC-Altfenster weiterhin dem etablierten werkstofflichen Recycling zugeführt werden können. Ähnlich der Weiterentwicklung von Umweltproduktdeklarationen, wird die Verhältnismäßigkeit dieser Maßnahme vom Markt bzw. von der Notwendigkeit und der gesellschaftlichen Relevanz geregelt. Damit ist eine Einordnung der wirtschaftlichen Zumutbarkeit nicht ausschlaggebend und die sozio-ökonomische Machbarkeit dieser Maßnahme ist gegeben.

Tabelle 31 fasst die Beurteilung der sozio-ökonomischen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 31: Beurteilung der sozio-ökonomischen Machbarkeit von Einzelmaßnahmen zur Förderung des Recyclings und des Einsatzes rezyklierter PVC-Fensterprofile

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Sozio-ökonomische Machbarkeit
Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primär-PVC und PVC-Rezyklat durch gezielte Förderprogramme	Grün
Erforschung und Entwicklung neuartiger Recyclingverfahren und -techniken	Grün
Lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten	Rot
Qualitätsanforderungen an Rezyklate	Grün
Einheitliche Kennzeichnung von RC-Produkten	Gelb
Weiterentwicklung Umweltproduktdeklarationen und konsistente Bewertungssysteme	Grün

6.4 Flachglas aus Fenstern

6.4.1 Definition der Ziele

Übergeordnete Ziele der Modellentwicklung sind bereits unter Kap. 6.1 Punkt 1 definiert.

6.4.2 Identifikation produktspezifischer Hemm- und Förderfaktoren

Die zentrale Absicht bei der Stärkung des Recyclings und der Verwendung recycelbarer Materialien besteht darin, natürliche Ressourcen zu schonen und Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen zu schützen. Vor diesem Hintergrund lassen sich die folgenden Hemm- und Förderfaktoren in Bezug auf die Abfallbewirtschaftung von Flachglasfenstern zusammenfassen (siehe detaillierte Erläuterungen in Kap. 5.2):

Tabelle 32: Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis identifizierte Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von Flachgläsern aus Fenstern und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren Flachgläsern

Hemmfaktoren	Förderfaktoren
Abwanderung von Flachglasscherben in andere Glasanwendungen;	Rechtliche Kriterien auf Bundes- und EU-Ebene klar geregelt (siehe Regelungen in Tabelle 52 im Anhang);
Unzureichende Aufklärung über fachgerechte Entsorgung von Flachglasabfällen;	technische Voraussetzungen für den Einsatz hoher Rezyklatanteile sind erfüllt;
Fehlende flächendeckende Rückbaukonzepte;	Gute regionale Verfügbarkeit von Abfällen;
Sortierbarkeit der Flachglasscherben bezogen auf die chemische Zusammensetzung	Energieeinsparung beim Wiedereinsatz von Glasscherben;
	Hohe Akzeptanz von Sekundärrohstoffen;
	Recyclingfreundliches Produktdesign;
	Verfügbarkeit von geeigneten Recyclingverfahren;
	Keine besorgniserregenden Schadstoffe;
	Beitrag zur Ressourcenschonung;
	Positive ökobilanzielle Effekte

Die chemische Zusammensetzung sowie die Verunreinigungen von Altglasscherben aus Flachglas haben einen entscheidenden Einfluss auf deren Verwertungsweg. Aktuell wird ein Teil der Flachglasabfälle aus dem Rückbau von Gebäuden, der sich aus Qualitätsgründen nicht für die Herstellung neuer Flachgläser eignet, in anderen Glasanwendungen eingesetzt (Umweltbundesamt 2019b). Diese Scherben, die nach der Nutzungsphase des Glases anfallen, werden als post-consumer Fremdscherben bezeichnet. Bei diesen ist mit einem höheren Grad an Verunreinigungen und Störstoffen zu rechnen (Rose et al. 2019, S. 19). Die Flachglasscherben, die als Verschnitt aus weiterverarbeitenden Betrieben der glasverarbeitenden Industrie anfallen, werden als pre-consumer Fremdscherben bezeichnet. Deren stoffliche Zusammensetzung ist in der Regel bekannt und Verunreinigungen sind selten. Deshalb kommen

diese und auch Eigenscherben wieder bei der Herstellung von Flachglas zum Einsatz (Rose et al. 2019, S. 19). Die Anforderungen an das Produkt Flachglas sind dabei ausgesprochen hoch. Der Einsatz von Scherben wird durch die Anforderungen an deren Reinheit und Qualität limitiert (vgl. Umweltbundesamt; BV Glas (2019a)). Wenn Flachglasabfälle aus dem post-consumer Bereich zu verunreinigt sind und/oder die chemische Reinheit nicht für das Flachglasrecycling ausreicht, finden diese Scherben aufgrund ihrer dennoch ausreichend hohen Qualität Einsatz in der Herstellung von Dämmwolle, Schmirgelpapier, Schaumglas Glasbausteinen und vor allem auch bei der Herstellung von Behälterglas. Dort stellt Altglas laut Umweltbundesamt (2019b) mittlerweile die wichtigste Rohstoffkomponente dar. Eine Tonne Altglas darf dafür jedoch nicht mehr als 2 g an Keramik, Steinen und Porzellan (KSP-Fraktion) enthalten und maximal 5 g an Nichteisenmetallen wie Aluminium. Zudem sind Grenzwerte für Eisenmetalle und für organische Bestandteile wie Kunststoffe und Papier zu unterschreiten. Besonders wichtig ist die Farbreinheit der Altglasscherben. Um weißes Behälterglas herzustellen, ist bei einer Altglasscherbenzugabe von 50 % eine Farbreinheit von 99,7 % erforderlich. Der Fehlfarbenanteil im Braunglas darf die 8 % Marke nicht überschreiten. Lediglich grünes Glas lässt einen Fehlfarbenanteil von bis zu 15 % zu (Umweltbundesamt 2019b). Bei der Herstellung dieser Behältergläser finden heute in der Regel bis zu 15 % Altflachglasscherben Verwendung.

Somit lässt sich festhalten, dass das primäre Ziel des Recyclings, nämlich die Schließung des Materialkreislaufs, für das Produkt Flachglas aktuell nicht vollständig erreicht ist. Um eine weitere Optimierung der aktuellen Situation zu erreichen, werden im Folgenden auf Grundlage der Hemmfaktoren in Tabelle 32 abgeleitete potenzielle Maßnahmen dargestellt. Diese haben das Ziel noch mehr Flachglasscherben aus dem Rückbau mit ausreichender Reinheit als Rohstoff für die Flachglasherstellung verfügbar zu machen und eine sinnvolle Verwertung für die Scherben zu finden, deren Qualität nicht ausreichend ist. Da die Qualität von Flachglasscherben aus dem Rückbau, welche für die Wiederverwendung in der Flachglasherstellung nicht in Betracht gezogen werden aber für die Herstellung anderer Glasarten oftmals ausreichend ist, erscheint die stoffliche Verwertung dort sinnvoll. Dabei ist eine häufige Alternative die Behälterglasherstellung. Daher erfolgt im Folgenden auch die Betrachtung des alternativen Verwertungsweges von Flachglas zu Behälterglas wenngleich der Weg von Flachglas zu Flachglas die Präferenz ist. Von Vorteil am alternativen Weg in die Behälterglasherstellung sind die dort bereits bestehenden Aufbereitungstechniken, die etablierten Wege für das Altglas sowie ein bestehender Markt mit einer aktuell hohen Nachfrage nach Sekundärrohstoffen. Dagegen spricht, dass neben den zu minderwertigen zum Teil auch potentiell ausreichend hochwertige Flachglasscherben in einen anderen Pfad abwandern können, wenn die Nachfrage und die Verfügbarkeit zu einem gegebenen Zeitpunkt hoch sind.

Insbesondere die klar geregelten rechtlichen Kriterien auf Bundes-(§ 5 KrWG) sowie EU-Ebene (Artikel 6 EG-AbfRRL) ermöglichen es den Beteiligten im Glasbereich, anfallenden Glasabfall wieder als Rohstoff in der Herstellung von Glasprodukten einzusetzen (Kriesel 2015, S. 12). Im Gegensatz zu vielen anderen Baustoffen, sind im Bereich der Abfallbewirtschaftung von Glas eindeutige Regelungen hinsichtlich des Abfallstatus vorhanden. Etwaige Fragestellungen bezüglich der Qualität der Altgläser sind in einschlägigen Regelwerken geregelt, sodass jeglicher Glasabfall in Abhängigkeit seiner chemischen Zusammensetzung wieder als Ausgangsmaterial bzw. Sekundärrohstoff für die Herstellung neuer Glasprodukte dienen kann. Es wird jedoch andererseits im Positionspapier der GfE (Glass for Europe) aus dem Jahr 2013 (Glass for Europe (GfE) 2013, S. 3) davon ausgegangen, dass Bauglas so gut wie nie zu neuen Glasprodukten recycelt wird, sondern dass es deponiert oder zusammen mit anderen mineralischen Abfällen einer minderwertigen Nutzung (z.B. als Straßenunterbaumaterial) zugeführt wird (Rose et al. 2019, S. 1). Somit scheint die Auseinandersetzung mit den Verwertungswegen von Flachglas aus

dem post consumer Bereich definitiv gerechtfertigt und es sollte ausreichend Potential bestehen das Recycling mit den folgenden Maßnahmen weiter auszubauen.

6.4.3 Produktspezifische Modellentwicklung

6.4.3.1 Identifikation von potenziellen Maßnahmen und Instrumenten

Die folgenden potenziell in Frage kommenden Maßnahmen und Instrumente beziehen sich auf die Stärkung des Recyclings von Flachgläsern aus Fenstern aus Bau- und Abbruchabfällen sowie die Wiedereinbringung gewonnener Sekundärrohstoffe in einen neuen Produktkreislauf.

In Tabelle 33 sind denkbare Einzelmaßnahmen benannt und der jeweiligen Kategorie, dem Wirkmechanismus sowie dem erwartetem Zielbeitrag zugeordnet.

Tabelle 33: Maßnahmen zum Abbau von Hemmfaktoren für das Recycling von Flachglas aus Fenstern und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen und recycelbaren Flachgläsern für Fenster

Hemmfaktor	Einzelmaßnahme oder -instrument	Kategorie	Primärer Wirkmechanismus	Zielbeitrag
1) Abwanderung von Flachglasscherben in andere Glasanwendungen Flachglasscherben kommen in Glasanwendungen geringerer Qualität zum Einsatz	Verbot alternativer, nicht gewünschter Entsorgungswege	Regulatorisch	Erhöhung des Angebots	Flachglasscherben kommen ausschließlich bei der Flachglasherstellung zum Einsatz.
1) Abwanderung von Flachglasscherben in andere Glasanwendungen Flachglasscherben kommen in Glasanwendungen geringerer Qualität zum Einsatz	Steuer/Abgabe auf alternative, nicht gewünschte Entsorgungswege	Ökonomisch	Erhöhung des Angebots	Finanzielle Hürden für alternative Anwendungen sollen ein closed loop Recycling von Flachglas begünstigen.
1) Abwanderung von Flachglasscherben in andere Glasanwendungen Flachglasscherben kommen in Glasanwendungen geringerer Qualität zum Einsatz	Ausbau der sortenspezifischen Sammellogistik	Planerisch	Erhöhung des Angebots	Erhöhung der lokalen Verfügbarkeit von reinen Flachglasscherben durch die kommunale Sammlung oder durch Abholung seitens der Recycler.
1) Abwanderung von Flachglasscherben in andere Glasanwendungen Flachglasscherben kommen in Glasanwendungen geringerer Qualität zum Einsatz	Einführung von Recyclingquoten für Flachglas seitens des Gesetzgebers	Regulatorisch	Erhöhung der Nachfrage	Förderung des closed loop Recyclings von Flachglas. Der Wert und die Bestände von (Flach-) Glasscherben würden steigen.
1) Abwanderung von Flachglasscherben in andere Glasanwendungen Flachglasscherben kommen in Glasanwendungen geringerer Qualität zum Einsatz	Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primärrohstoffen und Flachglas-Rezyklat	Ökonomisch	Erhöhung des Angebots / der Nachfrage	Stärkung des Recyclings (Abfall durch Verwertung in den neuen Lebenszyklus führen) / Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien (Einsatz als Sekundärrohstoff).

Hemmfaktor	Einzelmaßnahme oder -instrument	Kategorie	Primärer Wirkmechanismus	Zielbeitrag
2) Unzureichende Aufklärung über fachgerechte Entsorgung von Flachglasabfällen	Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen	Informativ	Verbesserung der Qualität/Erhöhung des Angebots	Wissen über die Bedeutung der Reinheit der Abfälle.
2) Unzureichende Aufklärung über fachgerechte Entsorgung von Flachglasabfällen	Strafzahlungen	Ökonomisch	Verbesserung der Qualität	Schaffung finanzieller Anreize für die fachgerechte Trennung von Altflachgläsern.
3) Fehlende Rückbaukonzepte	Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern	Planerisch	Verbesserung der Qualität	Verbesserung der Recyclingfähigkeit
3) Fehlende Rückbaukonzepte	Verpflichtende Rückbaukonzepte	Planerisch	Verbesserung der Qualität	Rechtliche Verpflichtung der Unternehmen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau. Klärung der Verantwortlichkeiten auf den Baustellen beim Rückbau.
4) Sortierbarkeit der Flachglasscherben	Starken Glasbruch bereits bei der Erfassung der Glasbauteile und beim Transport zum aufbereitenden Unternehmen von Flachglas vermeiden	Ökonomisch	Erhöhung des Angebots	Reduzierung der Entstehung feinkörniger Flachglasscherben mit Korngrößen kleiner 3mm

Hemmfaktor	Einzelmaßnahme oder -instrument	Kategorie	Primärer Wirkmechanismus	Zielbeitrag
4) Sortierbarkeit der Flachglasscherben	Entwicklung von Sortiertechnologien für Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung	Planerisch	Erhöhung der Nachfrage	Erhöhung der Nachfrage nach hochreinen Flachglasscherben durch den Einsatz effizienterer Sortiertechnologien.

6.4.3.2 Modellentwicklung und Diskussion

1) Hemmfaktor: Abwanderung von Flachglasscherben in andere Glasanwendungen

Das Abwandern von Flachglasfraktionen aus dem Rückbau in andere Glaskreisläufe ist eine Folge verschiedener Herausforderungen. Durch ein **Verbot der Entsorgung bzw. Verwertung von Flachgläsern in anderen Glaskreisläufen** durch die Gesetzgebung könnte das Abwandern dieser Glasqualität so reguliert werden, damit Altflachglas ausschließlich für die Herstellung von neuen Flachglasprodukten zur Verfügung steht. Inwiefern dies dem Markt zuträglich ist, müsste produktspezifisch analysiert und kalkuliert werden. Heute bestehen bereits alternative wirtschaftliche Entsorgungswege für Altflachglas wie zum Beispiel als Rohstoff in der Behälterglasherstellung. Da diese zudem ein stoffliches Recycling sicherstellen, stellt sich in Anbetracht des administrativen und potenziell ökologischen Aufwandes die Frage nach der Vorteilhaftigkeit dieser Maßnahme. Zudem stellt sich die Frage, was mit Flachglasscherben geschieht, die die Anforderungen für die Wiederverwendung in der Flachglasherstellung nicht erfüllen. Für diese gäbe es in Flachglashütten keine Verwendung, weshalb dann der Einsatz dieser Scherben zum Beispiel in der Behälterglasherstellung wieder sinnvoll wäre. Eine weniger drastische Maßnahme zur Erreichung des Ziels wäre, **alternative Entsorgungswege zu besteuern**. Die Umsetzung dieser Maßnahme ist jedoch ebenfalls eher schwierig und nicht zwingend zielführend (siehe hierzu auch Erläuterungen in Kap. 6.3.3.1).

Reine Flachglasvorräte sind eine Bedingung für den Wiedereinsatz bei der Herstellung von Flachglas in Flachglashütten. Würde man die Verfügbarkeit von solchen reinen Flachglasscherben aus dem Rückbau mit ausreichender Qualität verbessern wollen, wäre der **Ausbau der sortenspezifischen Sammellogistik** mit noch flächendeckenderen Sammelsystemen für diese Flachgläser notwendig. Andererseits betragen die Transportkosten von Scherben zum Recycler und von diesem zur Floathütte bis zu einem Drittel der Gesamtkosten des Rezyklats (Rose 2019, S. 71). Insofern wäre die Einführung eines Sammelsystems in Anlehnung an die kommunale Sammlung von Behälterglas sinnvoll. Insbesondere für geringe Mengen an Ausbauteilen aus Flachglas wäre dies eine sinnvolle Maßnahme, um Transportkosten zu senken, den Einsatz wertvoller Flachglasscherben in der Behälterglasherstellung zu mindern und das Angebot dieser Rohstoffe für die Flachglasproduktion zu sichern bzw. entsprechend zu erhöhen. Denkbar wäre die Abholung von Containern auch mit relativ geringen Mengen von Flachglasbauteilen seitens der Recycler ähnlich dem Modell Rewindo. Dafür wäre es vorteilhaft, wenn auf einer Transportfahrt so viele Baustellen wie möglich liegen würden, welche nicht weit voneinander entfernt sind und an denen in Summe relativ hohe Mengen Flachglasbauteile für die Abholung bereitstehen. Zur Übermittlung der Informationen wäre eine Art Online-Informationsplattform hilfreich, auf der die Rückbauer diese Hinweise mit den Recyclern teilen können. Diese Plattform könnte Recycler über Rückbaumaßnahmen in einer gegebenen Region benachrichtigen und im Idealfall grobe Angaben zu dort anfallenden Mengen an Flachglasbauteilen geben. Wenn zu einem gegebenen Zeitpunkt ausreichende Mengen anfallen lohnt es sich für Recycler, diese Ausbauteile von den jeweiligen Baustellen selbst abzuholen und diese aus eigenen Mitteln d.h. mit entsprechendem Personaleinsatz auf ein geeignetes Transportfahrzeug zu laden. Auf diese Weise könnten sich die Recyclingunternehmen zukünftig hohe Mengen hochreiner Flachgläser sichern, die andernfalls womöglich in glasfremde Anwendungen abwandern. Von dieser Maßnahme sind entscheidende Verbesserungen der Recyclingsituation zu erwarten und sie wird im Folgenden bei den Modellen weiter betrachtet.

Es ist derzeit oft ökonomischer, anfallende Flachglasabfälle zum Beispiel mit Scherben anderer Flachgläser zu mischen und diese als Mischfraktion der Behälterglasindustrie als Rohstoff zur

Verfügung zu stellen (Heitmann 2019). Eine Mischung von Flachglasabfällen verschiedener Herkunft kann jedoch bei der späteren Zusammenführung, zum Beispiel in einer Flachglasaufbereitungsanlage, auch bedeuten, dass die Mischung dieser verschiedenen Qualitäten zu einem Verlust der Reinheit der Gesamtcharge führt. Das liegt z.B. daran, dass Flachgläser mit einem starken Grünstich, einen relativ hohen Eisen- bzw. Eisenoxidgehalt aufweisen. Scherben dieser Qualität bleiben bei der Auswahl der Rohstoffe für besonders hochreine Flachglasprodukte oft unberücksichtigt. In einem Gemisch können diese verunreinigten Flachglasscherben mit Scherben höherer Qualität im schlimmsten Fall zu einer starken Abwertung des gesamten Gemisches führen und somit zu einer vollständigen Abwanderung dieser Scherben zum Beispiel als Rohstoff in die Behälterglasindustrie. Dies liegt aber auch an der aktuell nicht vorhandenen Sortiertechnik in den Altglasaufbereitungsanlagen mit welcher eine Trennung dieser unterschiedlich zusammengesetzten Scherben möglich wäre.

Eine regulatorische **Einführung von Recyclingquoten** für Altflachglas seitens der Gesetzgebung ließe eine höhere Nachfrage nach Altflachgläsern erwarten. Bislang ist es herstellenden Unternehmen von Flachgläsern möglich, einen Scherbenanteil von 20–40 Gew.-% einzusetzen (Umweltbundesamt 2019a, S. 1). Technisch möglich wäre ein Rezyklatanteil von 60–75 Gew.-%, der jedoch in der Praxis aufgrund der nicht ausreichenden Verfügbarkeit von hochwertigem Granulat nicht erreicht wird (Umweltbundesamt 2019a, S. 1). Mit einer vorgeschriebenen Recyclingquote könnte eine geschlossene Kreislaufführung weiter gestärkt werden. Diese Maßnahme soll den verstärkten Einsatz von Recyclingmaterialien begünstigen und das Abwandern von kostbaren Ressourcen verhindern, die eigentlich für die Herstellung qualitativ hochwertiger Produkte aus Recyclingmaterial bestimmt sind. Für die tatsächliche und effektive Implementierung dieser Maßnahme ist das Vorhandensein eines geeigneten Sammelsystems für Flachglas sowie die Kontrolle der ordnungsgemäßen Umsetzung (z.B. Rezyklatnachweis durch eine Erklärung der herstellenden Unternehmen etc.) Voraussetzung. Es müsste zudem geprüft werden, in welchem Ausmaß die Einführung einer Recyclingquote auch im Vergleich zur aktuellen Entsorgungspraxis wirtschaftlich sinnvoll ist. Darüber hinaus stellt die Nutzung von Altflachglas im Behälterglasbereich ebenfalls ein stoffliches Recycling dar, weshalb die Einführung einer Recyclingquote die Altflachgläser nicht notwendigerweise zurück in den Flachglasbereich lenken würde. Somit wird diese Maßnahme bei der Erstellung der Modelle nicht weiter berücksichtigt.

Eine **Erhöhung der Preisdifferenz zwischen Primärrohstoffen und Flachglasrezyklat** würde die Verfügbarkeit und die geschlossene Kreislaufführung von Flachglas ebenfalls weiter begünstigen. Wenn nämlich Glashütten sehr viel höhere Preise für die Primärrohstoffe bezahlen müssten als heute, so würden diese sich vermutlich deutlich stärker für eine bessere Recyclingpraxis sowohl auf den Baustellen als auch in den Aufbereitungsbetrieben einsetzen. Unter Umständen würde es dann sogar Sinn machen zum Beispiel Glasbauteile selbst von den Baustellen abzuholen (ähnlich wie Rewindo). Auch Verhandlungen mit den aufbereitenden Unternehmen über die Anpassung der technischen Abläufe im Werk könnten eventuell zu mehr Flachglasscherben ausreichender Qualität für die Glashütten verhelfen. Zu guter Letzt würde auch die Bereitschaft zur Zahlung höherer Einkaufspreise für Flachglasscherben seitens der Glashütten steigen. Im Moment gehen viele Scherben von den aufbereitenden Unternehmen zur Behälterglasindustrie, weil diese entsprechend hohe Preise bezahlt. Insofern müsste die Flachglasindustrie bereit sein, zumindest höhere Preise zu bezahlen als die Behälterglasindustrie für ihre Flachglasscherben tut.

Bezüglich des Rohstoffs Sand, bei welchem die Glasindustrie sehr hohe Qualitätsanforderungen hinsichtlich Reinheit und Kornfeinheit hat, könnte in der näheren Zukunft ein

Interessenskonflikt mit der Bauindustrie entstehen (Elsner 2018). Diese benötigt für die Herstellung von Zement und Beton sehr große Mengen an Sand, sodass sich hier unter Umständen ein Preiskampf entwickeln könnte, welcher zu einer ökonomischen Aufwertung des Recyclingmaterials führen könnte. Aktuell stellt sich die Marktsituation für die Glasindustrie jedoch noch zufriedenstellend dar, da die Nachfrage an Altglas zwar hoch ist, etablierte Verwertungswege jedoch nach wie vor bedient werden können. Vor dem Hintergrund der immer weiter zunehmenden Rohstoff- bzw. Sandknappheit kann zukünftig die natürliche Preisentwicklung von Sand bereits ausreichend sein, um die Nachfrage nach Flachglasscherben zu erhöhen und den Wiedereinsatz von Flachglasscherben in neuen Flachglasprodukten zu fördern. Eine andere Maßnahme zur Erhöhung der Preisdifferenz wäre beispielsweise Transporte von Flachglasabfällen steuerlich zu begünstigen. Dadurch würde es wirtschaftlicher werden Flachglasabfälle auch von entlegeneren Baustellen in eher strukturschwachen Regionen zu den Flachglasrecyclern zu transportieren. Andererseits wären Steuerabgaben auf Transporte von Primärrohstoffen effektiv. Gerade im Flachglasbereich sind die Glashütten zunehmend auf Rohstoffe angewiesen, die aus mehreren hundert Kilometern Entfernung angeliefert werden müssen. Auch diese Maßnahme ist genauso wie die Besteuerung von alternativen Entsorgungswegen als sehr schwierig und nicht zielführend anzusehen (siehe hierzu auch Erläuterungen in Kap. 6.3.3.1).

2) Hemmfaktor: Unzureichende Aufklärung über fachgerechte Entsorgung von Flachglasabfällen

Ein weiterer Hemmfaktor für die Stärkung des Recyclings von Flachgläsern aus Fenstern ist die unzureichende Aufklärung über fachgerechte Entsorgungsmöglichkeiten von Flachgläsern. Derzeit werden diese Flachglasteile auf der Baustelle oftmals nicht in eigene Container überführt. Auf einigen Baustellen stehen Behälter zur separaten Sammlung von Glas auch aus Platzgründen gar nicht zur Verfügung. Vielfach sind in denselben Containern nach dem Rückbau Störstoffe wie Keramiken, Metalle, Organik und mineralische Abfälle enthalten oder diese haften noch an den Oberflächen der Flachgläser. Eine unsaubere bzw. unvollständige Trennung der Flachgläser von anhaftenden Störstoffen bedeutet fast immer einen Mehraufwand bei der Aufbereitung und dem Wiedereinsatz dieser Sekundärrohstoffe. So sind auch im Flachglasbereich schon geringste Verunreinigungen von nur 0,05% ein Ausscheidkriterium bei der Auswahl der Rohstoffe für die Herstellung von neuem Flachglas. Störstoffe müssen mittels teilweise aufwändiger Aufbereitungsverfahren von Flachglasabfällen separiert werden. Dabei ist fast immer auch eine händische Sortierung im Aufbereitungsprozess integriert. Dies bedeutet, dass bereitgestellte Sammel- und Transportbehälter absolut sauber sein müssen, damit keine störenden Materialien in das Recyclinggut gelangen.

Eine Hauptursache für diese Misstände ist der „Faktor Mensch“ und die unzureichende Aufklärung über die fachgerechte Entsorgung der verschiedenen Materialströme auf den Baustellen während des Rückbaus. Hier würden informative Maßnahmen wie **Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen** bereits der Gegensteuerung dienen. Diese müssten ihre Mitarbeitenden aber auch auf Kosten des Unternehmens zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Flachgläsern beim Rückbau schulen oder ausbilden lassen. Im Moment ist die Bedeutung der Reinheit der einzelnen Fraktionen beim Rückbau nicht allen Beteiligten bewusst. Die Vermittlung dieser Kenntnisse sollte bei den Schulungen ein wesentlicher Inhalt sein. Ein positives Beispiel ist in diesem Zusammenhang der Glasrecyclingtag, der in der Gesellschaft immer mehr Anklang findet. Diese Informationsveranstaltung trägt zu einem stärkeren Bewusstsein für das Recycling von Altglas bei den Bürgerinnen und Bürgern bei. Die „Initiative der Glasrecycler“ richtete diesen

Informationstag, der jedoch auf Behälterglas ausgelegt war, im September 2019 zum vierten Mal aus. Dort informierte sie die Verbraucher über die richtige Altglasentsorgung und die Bedeutung der Reinheit von Glasabfällen. Diese Veranstaltung stand unter der Schirmherrschaft von Svenja Schulze, Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Initiative der Glasrecycler 2019). Um die Trennung und Sammlung von Flachglasabfällen auf Baustellen zu verbessern könnte beispielsweise eine thematische Erweiterung dieser Infoveranstaltung sinnvoll sein. Eine derartige Programmweiterung wäre vor allem für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen sinnvoll. Auch eine eigene Veranstaltung zum Thema wäre eine lohnende Investition. Da insbesondere die Flachglashütten als auch die aufbereitenden Unternehmen von Altglas von dieser Maßnahme profitieren, sollten diese bei der Gestaltung dieser Veranstaltung federführend sein und die Kosten dieser Maßnahme tragen. Auch die Behälterglasindustrie profitiert von einer besseren Erfassung und Sammlung von Flachglasabfällen, weshalb auch diese für die Finanzierung dieser Veranstaltung in Frage kommen sollte. Sinnvoll wäre auch die Unterstützung durch Verbände, wie dem BVGlas oder auch des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Da gut ausgebildete Mitarbeitende der Grundstein für eine effiziente Recyclingpraxis darstellen, kommt dieser Maßnahme eine hohe Bedeutung zu und wird bei der Modellbetrachtung weiter berücksichtigt.

Strafzahlungen wären ein weiteres Mittel, um Rückbauunternehmen stärker zu einer gründlicheren Trennung von Glasbauteilen zu motivieren. Konkret sollten diese bei schlechter Trennung auf den Baustellen nicht nur geringere Erlöse bei den Rücknahmestellen erhalten, sondern bei stichprobenartigen Kontrollen sogar zu Strafzahlungen verpflichtet werden können. Die Umsetzung dieser Maßnahme ist jedoch sehr schwierig und wäre nur mit sehr hohem Aufwand zu realisieren.

3) Hemmfaktor: Fehlende Rückbaukonzepte

Auf vielen Baustellen herrscht beim Rückbau von Gebäuden ein Mangel an entsprechenden Containern aufgrund von nicht verfügbarem Platz. Hinzu kommt oftmals, dass die Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten nicht klar geregelt sind. So ist auf Baustellen nicht jeder beteiligten Person stets bewusst, wer genau für die Einhaltung von Vorschriften zuständig und letztlich für die korrekte Durchführung verantwortlich ist. Deshalb ist die Erfüllung von Vorgaben bezüglich der stofflichen Getrennthaltung von Glasabfällen in separaten Containern innerhalb zeitlicher Grenzen oftmals nicht ausreichend gegeben. Entsprechend leidet die Qualität der zu trennenden Abfälle. Wie eine korrekte bzw. saubere Separierung konkret aussieht ist auch nicht überall einheitlich und immer eindeutig. Außerdem gibt es zur getrennten Sammlung von Flachglas keine dedizierten Behälter. So werden diese Fraktionen teilweise mit anderen Abfällen gemeinsam erfasst. Wenn Rückbauunternehmen ohnehin nicht planen Flachglasabfälle zum Recycler zu transportieren, sondern diese anderen Firmen zur Verfügung zu stellen oder sogar zur Deponie zu bringen, ist die Einhaltung von Vorschriften seitens der Gesetzgebung für diese Rückbauer meist unwichtig. Um derartige Missstände zu verhindern, sollten **verpflichtende Rückbaukonzepte** eingeführt werden (Schmidmeyer 2019), die für jedes Bauvorhaben bereits in der Genehmigungsphase ausgearbeitet sein müssen. Diese sollten **Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern** enthalten. Da eine Trennung von Glas und Rahmen vor Ort auf den Baustellen ohne das Glas zu beschädigen vor allem wirtschaftlich unrealistisch ist, wäre die Einführung eines Sammelbehälters für Ausbauteile wie Fenster und Türen aus Flachglas aus recyclingtechnischer Sicht zu diskutieren. Diese können dann ebenfalls ohne nennenswerte Schäden zu den aufbereitenden Unternehmen transportiert und dort in ihre Einzelteile zerlegt werden. Dieses aufbereitende Unternehmen kann die Rahmen entweder

selbst recyceln oder diese an Rewindo-Partner abgeben, die am PVC interessiert sind. Hier könnte sich unter Umständen ein Wettbewerb zwischen Rewindo-Partnern und den aufbereitenden Unternehmen entwickeln, wer zuerst an diese Ausbauteile kommt. Vielleicht ließe sich dieser Interessenskonflikt aber ganz einfach bilateral zwischen den beteiligten Parteien klären, so dass jeder profitiert und auch das Flachglasrecycling sichergestellt ist. Der Transport von zusätzlichen Behältern verursacht zwar zunächst ökologische und ökonomische Nachteile, jedoch bringt diese Maßnahme auch Vorteile mit sich. So würden weniger Flachgläser aufgrund der Sammlung mit anderen Baustoffen in einem gemeinsamen Behälter auf der Deponie landen oder in sonstigen glasfremden Anwendungen. Darüber hinaus finden mehr Flachglasscherben den Weg zurück in die Flachglasherstellung als wertvolle Rohstoffe. Somit müssten herstellende Unternehmen von Flachglas weniger Primärrohstoffe einsetzen, die teuer sind und heutzutage zunehmend aus weiten Entfernungen zu den Glashütten transportiert werden müssen.

Diese Rückbaukonzepte könnten eventuell auch dazu dienen den Rückbauunternehmen, die keinen Platz für die Aufstellung einer ausreichenden Anzahl von Containern haben, zeitlich so zu koordinieren, damit die separaten Behälter nur für begrenzte Zeiträume an der Baustelle verbleiben und anschließend abtransportiert werden. Weiterhin sollten diese eine ausreichende Anzahl von Containern für die getrennte Sammlung der auf Baustellen anfallenden Abfälle einplanen und eine detaillierte Vorgehensweise beim Rückbau von den bewerbenden Unternehmen beschreiben. Grundlage zur Ermittlung der benötigten Containeranzahl und -größe sollte die gewissenhafte Vorerkundung eines Objektes im Zuge des Rückbaus sein.

Die dargestellten Maßnahmen lassen ebenfalls weitreichende Verbesserungen der aktuellen Situation erwarten, weshalb diese in der Modellbetrachtung aufgenommen werden.

4) Hemmfaktor: Sortierbarkeit der Flachglasscherben

Flachgläser aus dem post-consumer Bereich müssen neben ihrer Reinheit für den Wiedereinsatz in der Flachglasherstellung prozessbedingt auch als Scherben vorliegen. Die Mindestscherbengröße beträgt dabei mindestens ca. 3 mm. Nach aktuellem Stand der Technik lassen sich Glasscherben beim Einsatz von speziellen Aggregaten maximal bis zu etwa 3 mm Korngröße wirtschaftlich aufbereiten und sortieren. Als sortierfähig gelten Scherben in der Regel bei Korngrößen über 8 mm (Umweltbundesamt 2019a, S. 6). Die Scherben mit Korngrößen kleiner 3 mm kommen auch als Mischscherbenfraktion bei der Behälterglasherstellung mit geringeren Anforderungen an die Glasreinheit zum Einsatz. Um den Anteil dieser aktuell nicht in der Flachglasherstellung einsetzbaren und nicht sortierfähigen Feinfraktion möglichst gering zu halten, ist es daher empfehlenswert, **starken Glasbruch bereits bei der Erfassung der Glasbauteile und beim Transport zum aufbereitenden Unternehmen von Flachglas zu vermeiden** (Umweltbundesamt 2019a, S. 5). Die Entstehung von Scherben kleinen Durchmessers ist bei der Aufbereitung der Abfälle unvermeidlich weshalb diese Maßnahme bei der Modellbetrachtung keine Berücksichtigung findet.

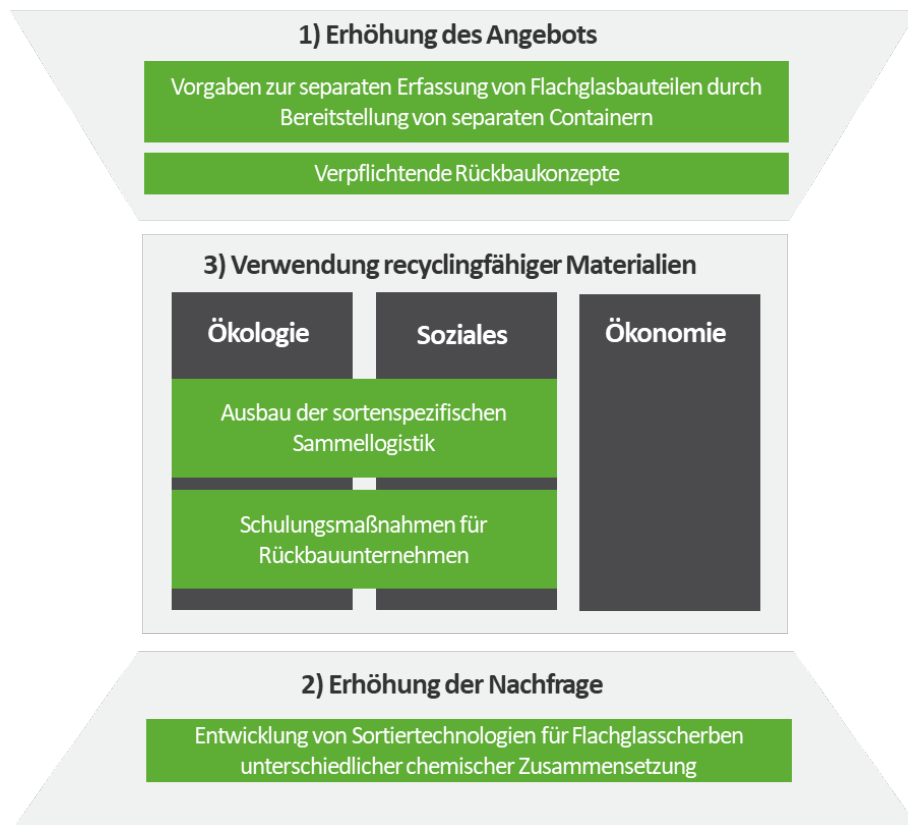
Eine weitere sinnvolle Maßnahme wäre die Entwicklung wirtschaftlicher Technologien für die Sortierung der Flachglasscherben hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung. Wichtige Voraussetzung für die Rückführung in die Flachglasproduktion ist die Getrennthaltung von unterschiedlichen Glasarten innerhalb des Aufbereitungsprozesses, da nur Flachglasscherben in den Floatwannen der Flachglasindustrie eingesetzt werden können. Altglas aus der Automobilindustrie ist häufig mit Eisenoxid gefärbt und kann in grünen Floatwannen oder alternativ in der Hohl- und Behälterglasindustrie eingesetzt werden. Die Färbung und weitere Zuschläge der Hohl- und Behälterglasindustrie machen den Einsatz von Hohlglasrezyklaten in

der Floatwanne unmöglich. Umgekehrt ist die Verwertung von Flachglasscherben in der Verpackungsindustrie jedoch problemlos möglich, dieses gilt auch für grün gefärbtes Autoglas (Umweltbundesamt 2019a, S. 4). Entscheidend ist die Reinheit des Flachglasrezyklats, so dass eine getrennte Erfassung von anderen Stoffströmen zwingend notwendig ist. Anlagen, die zwischen der chemischen Zusammensetzung von Scherben unterscheiden können, sind jedoch aktuell in der Praxis nicht vorhanden. Daher wäre die Entwicklung von wirtschaftlichen Sortieranlagen sinnvoll, welche z.B. mit Hilfe eines zusätzlich verbauten Sensors Flachglas detektieren und z.B. eisenreiche von eisenarmen Scherben unterscheiden können. So können die eisenarmen Flachglasscherben wieder in der Herstellung der hochreinen Flachgläser zum Einsatz kommen und nicht wie bislang bei weniger hochreinen Flachglasprodukten oder in der Behälterglasherstellung (Umweltbundesamt 2019a, S. 4). Durch die damit verfügbaren hochreinen sekundären Rohstoffe wären herstellende Unternehmen von Flachglas zukünftig in der Lage, Kosten für die Beschaffung von ökonomisch wertvollen, eisenarmen Primärsanden über Entfernungen von mehreren hundert Kilometern teilweise einzusparen. Somit lässt eine Umsetzung dieser Technologie einen sehr positiven Einfluss auf das Flachglasrecycling erwarten und sollte daher weiterverfolgt werden.

6.4.4 Produktspezifisches Recyclingmodell und Bewertung der Maßnahmen

Bei den in Abbildung 26 dargestellten Maßnahmen handelt es sich um nicht abschließend geprüfte Maßnahmen oder Regulierungsvorschläge. Vielmehr sind dies Ansätze, Ideen und Impulse, welche fachlich geprüft und ggf. politisch weiterverfolgt und priorisiert werden könnten. Dabei wurden jene Maßnahmen berücksichtigt, die in der obenstehenden Modellentwicklung und Erörterung priorisiert wurden. Deutlich wird bei der Betrachtung des Materialstroms „Flachglasscherben“, dass die bestehenden Verwertungskonzepte bereits gut etabliert, akzeptiert und umgesetzt sind. Vor allem was die Verwertung in offenen Kreisläufen angeht, können die hier diskutierten Maßnahmen lediglich dazu dienen, eine Verwertung im Sinne einer geschlossenen Kreislaufführung zu stärken. Dies ist, wie bereits deutlich beschrieben, unter den gegebenen Umständen jedoch vor allem aus ökonomischer Sicht kritisch zu prüfen.

Abbildung 26: Konzeptionelles Modell zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung von Flachglasscherben (Darstellung von ausgewählten Maßnahmen und Instrumenten, die zusätzlich zur etablierten Praxis in Betracht gezogen werden könnten)



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf Modellentwicklung und Diskussion)

Es wird heute aufgrund zahlreicher etablierter Verwertungswege viel Altflachglas in anderen Stoffkreisläufen eingesetzt und nur relativ wenig im Flachglaskreislauf eingebracht. Um die erneute Nutzung von Altflachglas im Flachglaskreislauf weiter zu erhöhen, was in diesem Bericht das vorrangige Ziel ist, sind die vorgeschlagenen Maßnahmen im Modell in Abbildung 26 sinnvoll und zielführend. Diese steigern sowohl die Nachfrage als auch das Angebot an Flachglas aus dem Rückbau. Es müssen technische Lösungen geschaffen werden, um die geforderte Sortenreinheit von Scherben beim glasaufbereitenden Unternehmen für die Herstellung neuer Produkte beim glasherstellenden Unternehmen zu erreichen. Diese ist heute aufgrund der nichtvorhandenen Detektionstechnik nicht gegeben, weshalb viele Scherben hoher Qualität nicht bei der Herstellung hochqualitativer Flachglasprodukte landen. Folglich müssten diese Unternehmen hohe Rohstoffpreise und Transportkosten tragen, um dieses Defizit durch Primärrohstoffe auszugleichen. Deshalb sollte hier mit Forschung angesetzt werden, damit zukünftig deutlich höhere Mengen an Flachglasscherben aus Altglas als Rohstoff bei der Herstellung von neuen Flachgläsern Einsatz finden. Zudem müssen infrastrukturelle Maßnahmen wie der Ausbau einer sortenspezifischen Sammellogistik, Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasabfällen sowie die Einführung von Rückbaukonzepten für eine höhere Verfügbarkeit von reinen Flachglasabfällen eingeführt bzw. ausgebaut werden. Dies ist vor allem bei kleineren Baustellen in Gebieten mit schwacher Infrastruktur noch ein Hindernis, weshalb dort verschiedene Abfälle nicht getrennt erfasst werden. Damit gehen Altflachgläser aufgrund

der dadurch resultierenden hohen Verunreinigung und des zu hohen Trennaufwands oft auf die Deponie. Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen sollen ein ausgeprägteres Bewusstsein für die Bedeutung der sortenreinen Trennung bei den Mitarbeitenden der ausführenden Betriebe auf den Baustellen erzeugen. Dort wird der Grundstein für einen erneuten Einsatz von Altflachglas in der Herstellung von neuen Flachglasprodukten gelegt. Je sauberer und effizienter diese Glasabfälle dort aufbereitet werden, umso geringer ist anschließend der Aufwand für die aufbereitenden und herstellenden Unternehmen von Glas.

Die identifizierten und erörterten Einzelmaßnahmen sind in dieser Zusammenstellung nur für das erörterte Produktbeispiel gültig. Zur abschließenden Abstraktion und Priorisierung von bestimmten Einzelmaßnahmen erfolgt eine Einordnung der jeweiligen Machbarkeit anhand des konkreten Produktbeispiels. Diese Einordnung dient als Orientierung für die Ableitung und Priorisierung von Lösungsansätzen im gesamtheitlichen Bereich der Bauprodukte.

6.4.4.1 Bewertung der Maßnahmen

6.4.4.1.1 Rechtliche Machbarkeit

Die rechtliche Machbarkeit **verpflichtender Rückbaukonzepte** und ähnlich von **Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen** wird für gegeben erachtet, soweit sich diese auf Vorgaben bezieht, die im Rahmen von Bautätigkeit der öffentlichen Hand oder bei der Finanzierung privater Bauvorhaben durch öffentliche Mittel gemacht werden. Problematisch wäre hingegen die Einführung einer entsprechenden Pflichtenstellung für Bauverantwortliche; hier würden Verhältnismäßigkeitserwägungen jeden Spielraum stark einengen; zudem ist fraglich, inwieweit eine solche Regelung angesichts der Kompetenz der Länder für das Bauordnungsrecht bundesrechtlich eingeführt werden könnte.

Vorgaben zur **separaten Erfassung** von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern bestehen bereits durch die geltende GewAbfV. Hier bedarf es keiner neuen gesetzgeberischen Initiative, sondern einer besseren Anwendung der bestehenden Vorgaben. Für unter rechtlichen Aspekten ähnlich unproblematisch halten die Gutachter **Schulungsmaßnahmen**, die etwa im Rahmen notwendiger Fortbildungen bei Entsorgungsfachbetrieben angeboten werden könnten.

Dem Ausbau der **sortenspezifischen Sammellogistik**, verstanden als Anregungen an Wirtschaftsakteurinnen- und -akteure, stehen ebenfalls keine rechtlichen Bedenken entgegen.

Die Förderung von Forschungstätigkeit einschließlich angewandter Forschung (hier im Bereich **Entwicklung von Sortiertechnologien für Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung**) in Ausübung und im Rahmen des Aufgabenbereichs der zuständigen öffentlichen Stellen wird als rechtlich machbar eingeschätzt.

Tabelle 34 fasst die Beurteilung der rechtlichen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 34: Beurteilung der rechtlichen Machbarkeit von Maßnahmen zur Förderung des Recyclings und zur Verwendung recycelbarer Flachgläser

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Rechtliche Machbarkeit
Verpflichtende Rückbaukonzepte	Gelb
Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern	Grün
Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen	Gelb
Ausbau der sortenspezifischen Sammellogistik	Grün
Entwicklung von Sortiertechnologien für Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung	Grün

6.4.4.1.2 Organisatorische Machbarkeit

Verpflichtende **Rückbaukonzepte** zur Rückgewinnung getrennter Flachglasabfälle beim Rückbau von Gebäuden wären organisatorisch möglich. Diese Konzepte könnten bereits während der Ausschreibung von Projekten seitens der Bauverantwortlichen eingefordert werden. Eine frühzeitige Planung und Klärung von Verantwortlichkeiten ist für einen reibungslosen Ablauf im Interesse aller beteiligten Personen und erleichtert die Organisation der Arbeiten bei einem späteren Rückbau. Da der Rückbau voraussichtlich erst mehrere Jahrzehnte nach dem Bau stattfindet, bleiben jedoch vergleichsweise viele Restunsicherheiten.

Die Erfüllung der **Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern** auf der Baustelle ist organisatorisch grundsätzlich machbar. Allerdings ist dies aufgrund von Platzmangel nicht immer einfach. Eine Vorbeugung von Platzmangel kann durch geschickte Koordination von Behälterstandzeiten zur expliziten Sammlung von Flachglas erfolgen, die in den **verpflichtenden Rückbaukonzepten** für Baustellen mit wenigen freien Flächen unbedingt festgehalten sein sollten. Eine Trennung von Glas und Fensterrahmen noch vor Ort würde die Platznot bei engen Baustellen zusätzlich verschärfen, da zu diesem Zweck technische Geräte notwendig sind. Der Abtransport von ganzen Bauteilen d.h. Glas inklusive Rahmen ist in diesen Fällen vorteilhaft. Generell ist die glasverlustfreie Trennung von Glas und Rahmen auf Baustellen eher unrealistisch, weshalb die Sammlung von Fenstern mit anschließender Aufbereitung in einer Glasaufbereitungsanlage sinnvoll wäre. Dieser Weg kann jedoch zu einem Interessenskonflikt mit Rewindo-Partnern führen. Diese sind ihrerseits lediglich an den Kunststoffrahmen interessiert und nicht am Glas. In diesen Fällen lassen sich eventuell bilaterale Vereinbarungen zwischen diesen beiden Parteien treffen, die im Endeffekt für beide Seiten von Vorteil sind. Für geringe Flachglasabfallaufkommen an kleinen Baustellen sollten kleinere Container das Mittel der Wahl sein, die platzsparend sind und leichter abtransportiert werden könnten. Die Abholung dieser Container bzw. deren Inhalt durch die Recycler zum Zweck des **Ausbaus der sortenspezifischen Sammellogistik** bedeutet praktisch keinen nennenswerten zusätzlichen organisatorischen Aufwand für die Rückbauunternehmen. Für diese wäre es organisatorisch

leicht machbar diese Container mit den ausgebauten Glasbauteilen zum Beispiel am Straßenrand direkt neben der Baustelle für die Abholung bereitzustellen. Der Abtransport kann durch die Glasrecycler erfolgen, die jedoch über die Existenz des Containers und dessen Aufenthaltsort idealerweise durch das Rückbauunternehmen in Kenntnis gesetzt werden müssen. Auf diese Weise ließen sich auf einer Sammelfahrt idealerweise mehrere Baustellen im näheren Umkreis des Recyclingunternehmens nacheinander anfahren und die dort bereitstehenden Glasbauteile einsammeln. Das wäre organisatorisch sehr viel weniger aufwendig, als wenn jede Baustelle ihre Abfälle separat abtransportieren müsste. Zudem lässt sich auf diese Weise viel Zeit sparen und die Recycler hätten nach fachgerechter Demontage der Flachglasbauteile höhere Mengen an qualitativ hochwertigen Rohstoffen für die Aufbereitung zur Verfügung. In Bezug auf die weitere Verwendung der PVC-Fensterprofile könnten die Recycler Vereinbarungen mit Beteiligten von Rewindo treffen, die in beidseitigem Interesse sind. Bei größeren Rückbauprojekten sind aufbereitende Unternehmen oftmals sogar bereit, selbst zu den Baustellen zu fahren um größere Glasfassaden (nicht jedoch bei Gesamtmengen < 1 Tonne) mit eigenem Personal fachgerecht auszubauen und zur Aufbereitungsanlage zu transportieren. Dies muss jedoch zwecks Planung rechtzeitig an die aufbereitenden Unternehmen kommuniziert werden. Vor allem im Zusammenspiel mit **verpflichtenden Rückbaukonzepten** kann diese Maßnahme zu Synergieeffekten für das Flachglasrecycling führen. Insofern ist die organisatorische Machbarkeit des Ausbaus der sortenspezifischen Sammellogistik für Flachglas gegeben.

Für eine unzureichende Trennung der Flachgläser von Bauschuttresten sind oftmals die Mitarbeitenden des Rückbauunternehmens maßgeblich verantwortlich. Diese haben oft zu wenig Fachwissen über die Folgen einer unzureichenden Getrennthaltung der Stoffe sowie über die aktuellsten Erkenntnisse zur besten Recyclingpraxis. Im Recyclingprozess spielt insbesondere der richtige Einsatz von aktuellen Techniken zum Zweck der fachgerechten Entsorgung von Baustellenabfällen eine wichtige Rolle. Da sich das Wissen zur aktuell effizientesten Entsorgungspraxis insbesondere durch technische Innovationen ständig verändert, ist es für Rückbauunternehmen und deren Baustellenpersonal notwendig bezüglich der besten und zeitgemäßen Vorgehensweise informiert zu sein. Informativ Lehrgänge wie **Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen** wären daher zur Gegensteuerung bei Wissenslücken sehr sinnvoll. Die Umsetzung dieser Maßnahme ist organisatorisch leicht umsetzbar und sollte besonders im finanziellen Interesse der Rückbauunternehmerinnen- und unternehmer sein. Diese erhalten nämlich bei der Anlieferung von schlecht getrennten Flachglasabfällen keine oder nur geringe Erlöse von den aufbereitenden Unternehmen. Glasrecyclingunternehmen und auch Glashütten sollten Interesse an der inhaltlichen Ausgestaltung und Organisation dieser Lehrgänge/Veranstaltungen haben, da diese am Ende der Recyclingkette stehen und immer mehr auf sortenreine Rohstoffe angewiesen sind.

In Deutschland wird die Forschung im Bereich des Recyclings von Materialien derzeit intensiv gefördert. Viele Firmen werden in den kommenden Jahren vom Gesetzgeber zudem angehalten sein, ihre Produkte noch effizienter zu recyceln. Es gibt zahlreiche Forschungseinrichtungen wie Universitäten und Institute (Fraunhofer, Max-Planck, etc.), die über notwendige Ressourcen, Fachwissen, Anlagen und Einrichtungen verfügen, Forschung gemeinsam mit der Industrie im Bereich von Glas und Aufbereitungsverfahren von glashaltigen Abfällen zu betreiben. Ein guter Ansatz ist die **Entwicklung von Sortiertechnologien für Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung**. Dies wäre zum Beispiel mit der Entwicklung eines Sensors für die Aufbereitungsanlage möglich, der zwischen Scherben mit relativ hohen sowie niedrigen Eisengehalten auf den Bändern unterscheiden kann, auf denen die

aufbereiteten Scherben bewegt werden. Da es Forschungsinstitute gibt, die auf diesen Gebieten arbeiten und bereits viel Erfahrung zum Thema Detektion und Sortierung von Glas aufweisen, ist die organisatorische Machbarkeit bezüglich der Erforschung von Lösungsansätzen gegeben. Grundsätzlich sollte es nach der Entwicklung eines derartigen Sensors ebenfalls organisatorisch bzw. räumlich einfach sein, vorhandene Anlagen damit aufzurüsten oder neue Sortieranlagen mit dieser Technologie auszustatten.

Tabelle 35 fasst die Beurteilung der organisatorischen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 35: Beurteilung der organisatorischen Machbarkeit von Maßnahmen zur Förderung des Recyclings und zur Verwendung recycelbarer Flachgläser

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Organisatorische Machbarkeit
Verpflichtende Rückbaukonzepte	Gelb
Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern	Grün
Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen	Gelb
Ausbau der sortenspezifischen Sammellogistik	Grün
Entwicklung von Sortiertechnologien für Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung	Grün

6.4.4.1.3 Technische Machbarkeit

Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern sind aus technischer Sicht machbar. Die technischen Anforderungen zur Umsetzung der Maßnahme zur separaten Erfassung Flachglasabfällen auf den Baustellen sind heute gegeben. Die Bereitstellung eines separaten Sammelbehälters stellt keine technische Hürde dar und auch die technischen Möglichkeiten zur sortenreinen Trennung von Glasbauteilen sind gegeben.

Da Sensoren für die Sortierung von Scherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung heute noch nicht Stand der Technik und nicht in den Aufbereitungsanlagen verbaut sind, müssten in diesem Bereich zunächst Investitionen in die Forschung erfolgen. So gesehen ist die technische Machbarkeit zur **Entwicklung von Sortiertechnologien für Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung** aktuell noch nicht vollständig gegeben. Die zu entwickelnde Technologie kann jedoch mit geeigneten Forschungsinstitutionen in Deutschland vorangetrieben werden.

Der **Ausbau der sortenspezifischen Sammellogistik** ist technisch machbar auch wenn im ersten Schritt zunächst keine besondere Technologie für das Sammeln der Altgläser benötigt

wird. In der Folge aber sind Effekte aufgrund der Umsetzung der Maßnahme zu erwarten, die den Einsatz von Technik betreffen. Durch eine sortenspezifischere Sammellogistik fällt ein insgesamt größeres Angebot an Scherben an, das als Rohstoff in der Glasherstellung dienen kann. Somit ist mit einer höheren Auslastung der technischen Anlagen bei den aufbereitenden Unternehmen von Altglas zu rechnen. Eventuell stiegen bei diesen die Ausgaben für neue Anlagen mit fortschrittlicher Technik bzw. höherem Materialdurchsatz. Somit stiege auch der Anteil an Scherben an, welcher die Anforderungen für die Flachglasherstellung erfüllt und den Recyclatanteil dort anhebt. Dies ließe eine noch stärkere Nachfrage nach einer effizienten Sortiertechnologie erwarten. Außerdem stünden folglich auch höhere Mengen an Rohstoffen aus Altflachglas für die Behälterglasindustrie zur Verfügung. Aufgrund der ausgebauten Sammellogistik wäre auch die Motivation für eine saubere Getrennthaltung auch an schwer zu erreichenden Baustellen höher.

Durch **verpflichtende Rückbaukonzepte** sowie **Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen** sind nach technischen Gesichtspunkten keine unmittelbaren Wechselwirkungen zu erwarten. In diesen Fällen handelt es sich um theoretische Ansätze, die keine Aufbereitungstechnologie zur Umsetzung bedürfen. Auch sind mögliche Folgeeffekte dieser Maßnahmen aus technischer Sicht kein Problem und daher auf jeden Fall als technisch machbar einzustufen.

Tabelle 36 fasst die Beurteilung der technischen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 36: Beurteilung der technischen Machbarkeit von Maßnahmen zur Förderung des Recyclings und zur Verwendung recycelbarer Flachgläser

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Technische Machbarkeit
Verpflichtende Rückbaukonzepte	Grün
Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern	Grün
Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen	Grün
Ausbau der sortenspezifischen Sammellogistik	Grün
Entwicklung von Sortiertechnologien für Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung	Gelb

6.4.4.1.4 Ökologische Machbarkeit

Im Bereich des Flachglasrecyclings können durch **verpflichtende Rückbaukonzepte, Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern, Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen, Ausbau der sortenspezifischen Sammellogistik** sowie durch **Entwicklung von Sortiertechnologien für**

Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung bestimmte ökologische Vorteile realisiert werden (z.B. Senkung des Energiebedarfs bei der Glasherstellung, Erhöhung des Durchsatzes sowie Einsparung von Primärrohstoffen, von Stickoxiden und von Deponieraum). Diese genannten Vorteile kämen insbesondere Glashütten zugute, obwohl diese den geringsten Aufwand dafür betreiben müssen. Diese geben lediglich Vorgaben an die Scherbenqualität vor und stehen am Ende der Recyclingkette. Die Rückbauunternehmen sowie die glasaufbereitenden Unternehmen müssen dagegen für die Aufbereitung der Glasabfälle und die Einhaltung der Anforderungen an die Flachglasscherben sorgen. Dennoch ist die ökologische Machbarkeit nicht vollends gegeben, weil für eine geschlossene Kreislaufführung (Einsatz von Sekundärrohstoffen aus Flachglasabfällen für die Herstellung von Flachgläsern) vermutlich zunächst häufiger Transporte anfallen, da die Anzahl an zu bewegendem Containern ansteigen wird. Dies wirkt sich wiederum negativ auf die Ökobilanz aus. Jedoch sind transportbedingte Emissionen kein abschließendes Ausschlusskriterium für produktspezifische Zielvorgaben, da damit zukünftig strukturelle Veränderungen im Markt (z.B. Ausbau der Recyclingkapazitäten und -standorte) ausgelöst werden können, die der Ökologie zuträglich sind. Außerdem sind transportbedingte Einsparungen für hochwertige Sande, die mittlerweile oft aus dem Ausland angeliefert werden müssen, sehr viel höher als für die Transporte von Altglas im Inland.

Tabelle 37 fasst die Beurteilung der sozio-ökologischen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 37: Beurteilung der ökologischen Machbarkeit von Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Verwendung recycelbarer Flachgläser

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Ökologische Machbarkeit
Verpflichtende Rückbaukonzepte	Gelb
Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern	Gelb
Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen	Gelb
Ausbau der sortenspezifischen Sammellogistik	Gelb
Entwicklung von Sortiertechnologien für Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung	Gelb

6.4.4.1.5 Sozio-ökonomische Machbarkeit

Durch **verpflichtende Rückbaukonzepte** entstehen nur relativ geringfügige Zusatzkosten für das potentielle Rückbauunternehmen durch die Erstellung dieser Dokumente bereits in der Ausschreibungsphase. Durch die dadurch vorgegebene Vorgehensweise können die Abläufe beim Rückbau effizienter erledigt und kostspielige Zusatz- bzw. Nacharbeiten vermieden werden. So wird auch die Möglichkeit ausgeschlossen, dass Arbeiten gar nicht stattfinden und das Endergebnis kontrollierbarer ist. Deshalb ist die sozio-ökonomische Machbarkeit dieser Maßnahme gegeben.

Die sozio-ökonomische Machbarkeit der Einhaltung von **Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern** ist teilweise gegeben. Einerseits entstehen den Bauverantwortlichen durch die Besorgung eines weiteren Behälters und die glasbruchfreie Sammlung dieser Ausbauteile zusätzliche Kosten. Es wäre notwendig, diese Teile mit besonderer Vorsicht auf den Baustellen zu behandeln. Um die sortenreine Trennung von Glas und Rahmen könnte sich anschließend jedoch das glasaufbereitende Unternehmen kümmern und Rückbauunternehmen bzw. Bauverantwortliche könnten sich damit Lohnkosten einsparen, insbesondere bei relativ kleinen Objekten. Damit entstünden auch weniger Diskussionen hinsichtlich der Qualität und damit der Erlöse für die beim Recycler angelieferten Abfälle seitens der Rückbauer. Wenn die Ausbauteile als Ganze den Transport zum Recycler im Großen und Ganzen schadlos überstehen kann der Recycler finanziell den größten Profit daraus schlagen. Der Aufwand zur sicheren Erfassung von Flachglasausbauteilen und Beladung der Glasbehälter wäre somit verhältnismäßig gering und die Chancen stünden gut, dass in der Folge daraus hochreine Scherben entstehen könnten. Somit wäre eine Trennung der Rahmen vom Glas erst beim Flachglasrecycler im Sinne des Recyclings sinnvoll und ökonomisch.

Andererseits ist davon auszugehen, dass diese Art der Entsorgung für die Bauverantwortlichen nicht immer die preiswerteste sein muss. Falls der Verkauf dieser sorgsam im Container gesammelten Bauteile nicht der profitabelste Entsorgungsweg ist, so kann es vorkommen, dass sich Bauverantwortliche zum Beispiel eher für das Ausglasen oder einer anderen Form der Entsorgung entscheiden. Das hätte zur Folge, dass unter Umständen diese Flachgläser nicht den Weg zurück zum stofflichen Recycling finden und im schlimmsten Fall, aus Recyclingsicht, sogar auf einer Deponie enden. Insofern müssen sich diese **Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern** auch für die Bauverantwortlichen lohnen, was bedeutet, dass Recycler zur Zahlung entsprechender Preise bereit sein müssen.

Schulungsmaßnahmen für Mitarbeitende von **Rückbauunternehmen**, die aufgrund des entsprechenden Fachwissens für eine Verbesserung der Flachglasrecyclingpraxis sorgen, sind aus sozio-ökonomischer Sicht umsetzbar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die verbesserte Getrennthaltung der Reststoffe auf den Baustellen deren Wert tendenziell erhöht und dadurch neben den aufbereitenden Unternehmen sowie Glashütten auch Rückbauunternehmen finanziell profitieren könnten. Zu klären wäre noch die Frage, wer für die Schulungskosten aufkommen soll, wobei die Abbruchdienstleister bereits durch die Freistellung der Mitarbeitenden für die Schulungen Einbußen erfahren. Denkbar wäre hier eine Beteiligung der verschiedenen Akteurinnen und Akteure an den Kosten für die Maßnahmen und Organisation der Veranstaltungen, da diese schließlich von einer verbesserten Trennung und Sammlung profitieren.

Ein **Ausbau der sortenspezifischen Sammellogistik** ist aus sozio-ökonomischer Sicht nur teilweise gegeben. Um das Angebot für reine Flachglasscherben zum Einsatz als Rohstoff in der Flachglasherstellung zu erhöhen ist der Ausbau des Sammelnetzes für Altglas unbedingt notwendig und sinnvoll. Transporte bzw. die Abholung von Flachglasabfällen durch die Recyclingunternehmen erledigen zu lassen hätte sozio-ökonomische Vorteile. Beim Anfahren mehrerer Baustellen auf nur einer Sammelfahrt können diese Unternehmen, aufgrund der Einnahme hoher Mengen wertvoller Rohstoffe, langfristig Gewinne erwirtschaften und die Ausgaben für Transporte hätten insgesamt positive ökonomische Folgen. Um die Recycler noch stärker für diese Vorgehensweise zu motivieren, wären langfristige Vereinbarungen mit den lokalen Bauträgern hilfreich damit die Versorgung der aufbereitenden Unternehmen mit

Flachglas über einen längeren Zeitraum sichergestellt ist. Jedoch sind Bauverantwortliche nicht zum Verkauf dieser Abfälle an die Recycler verpflichtet und können ihre angefallenen Abfälle an die höchstbietenden Unternehmen abgeben. Somit müsste die Praxis zeigen, ob sich diese Maßnahme für die Recyclingunternehmen tatsächlich als ökonomisch vorteilhaft darstellt.

Die **Entwicklung von Sortiertechnologien für Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung** hängt primär an der technischen Machbarkeit, wobei diese zunächst mit Investitionen ermöglicht werden muss. Dazu sind zunächst Forschungsprojekte mit zahlreichen Messkampagnen notwendig, die vielversprechende Technologien gegenüberstellen und neue innovative Ansätze versuchen. Schließlich müssen die richtigen technologischen Stellschrauben gefunden werden, um ein Gemisch aus Scherben unterschiedlicher Qualität in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung in gleiche Fraktionen zu trennen. Mit Blick auf die Recyclingpraxis in der Zukunft ist der potenzielle finanzielle Mehrwert durch eine Anreicherung von hochreinen Flachglasscherben essenziell und vordergründig. Durch die entsprechende Detektions- und Sortiertechnologie für Scherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung könnten in Zukunft deutlich mehr hochreine Flachglasscherben als Rohstoffe für die Herstellung von Flachglas genutzt werden. Deshalb lässt sich festhalten, dass die sozio-ökonomische Machbarkeit dieser Maßnahme grundsätzlich gegeben ist. Andererseits bleibt trotzdem fraglich, ob diese noch zu entwickelnde Technologie schließlich so wirtschaftlich sein wird, dass diese für das aufbereitenden Unternehmen tatsächlich eine lohnende Investition darstellt.

Tabelle 38 fasst die Beurteilung der ökonomischen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 38: Beurteilung der ökonomischen Machbarkeit von Maßnahmen zur Förderung des Recyclings und zur Verwendung recycelbarer Flachgläser

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Sozio - ökonomische Machbarkeit
Verpflichtende Rückbaukonzepte	Grün
Vorgaben zur separaten Erfassung von Flachglasbauteilen durch Bereitstellung von separaten Containern	Gelb
Schulungsmaßnahmen für Rückbauunternehmen	Gelb
Ausbau der sortenspezifischen Sammellogistik	Gelb
Entwicklung von Sortiertechnologien für Flachglasscherben unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung	Gelb

6.5 Porenbeton

6.5.1 Definition der Ziele

Übergeordnete Ziele der Modellentwicklung sind bereits unter Kap. 6.1 Punkt 1 definiert.

6.5.2 Identifikation produktspezifischer Hemm- und Förderfaktoren

Die zentrale Absicht bei der Stärkung des Recyclings und der Verwendung recycelbarer Materialien besteht darin, natürliche Ressourcen zu schonen und Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen zu schützen. Vor diesem Hintergrund lassen sich die folgenden Hemm- und Förderfaktoren in Bezug auf die Abfallbewirtschaftung von Porenbetonabbruch zusammenfassen (siehe detaillierte Erläuterungen in Kap. 5.3):

Tabelle 39: Auf Basis der derzeitigen Entsorgungspraxis identifizierte Hemm- und Förderfaktoren für die Stärkung des Recyclings von Porenbetonabbruch und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen, wiederum recycelbaren Porenbetonprodukten

Hemmfaktoren	Förderfaktoren
Kein etabliertes Sammelsystem für Porenbetonabbruch;	Hohe Kosten für Deponierung von Porenbetonabbruch;
Notwendige gleichbleibende Qualität (Reinheit) des Porenbetonabbruchs für Verwertung nicht gegeben;	Verknappung von primären Ressourcen;
Klare Regelung zu Schadstoffen in RC-Produkten fehlt	Konzepte für technisch umsetzbare Verwertungsverfahren vorhanden

Aus den erörterten Faktoren wird deutlich, dass für Porenbeton noch ein sehr großes Potential bezüglich einer Etablierung flächendeckender Verwertungsstrategien besteht. Ein entscheidender Grund für die sehr überschaubaren Recyclingstrukturen im Bereich Porenbeton ist sicherlich dessen Historie. Porenbeton ist erst seit den 1960er Jahren als praxistauglicher Baustoff verfügbar und steht seit dieser Zeit in direkter Konkurrenz zu den anderen mineralischen und nicht-mineralischen Baustoffen wie Ziegel, Beton oder Holz. Wie bereits in Kap. 5.3 dargestellt, können für das Produkt Porenbeton seit den 1950er Jahren stetig steigende Absatzzahlen benannt werden. Auf Grund der langen Lebensdauer von Mauersteinen bzw. den daraus errichteten Gebäuden fallen erst seit einigen Jahren relevante Mengen an Porenbetonabbruch an. Die Verfügbarkeit von Porenbetonabbruch ist also noch nicht sehr lange gegeben, weswegen derzeit nur sporadisch belastbare Zahlen zum (erwartbaren) Aufkommen verfügbar sind. Es ist aber damit zu rechnen, dass die anfallende Menge an Porenbetonabbruch in den kommenden Jahren kontinuierlich steigen wird, was die Implementierung geeigneter Verwertungsstrategien vor dem Hintergrund einer beginnenden Ressourcenverknappung notwendig macht. Somit lässt sich festhalten, dass das primäre Ziel des Recyclings, nämlich die Schließung des Materialkreislaufs, für Porenbeton aktuell nicht erreicht ist. Den aufgezeigten Faktoren, welche einer Stärkung des Recyclings hemmend gegenüberstehen, sollen Maßnahmen gegenübergestellt werden, um die genannten Ziele zu erreichen.

6.5.3 Produktspezifische Modellentwicklung

6.5.3.1 Identifikation von potenziellen Maßnahmen und Instrumenten

Die möglichen Maßnahmen und Instrumente beziehen sich auf die Stärkung des Recyclings von Porenbeton aus Bau- und Abbruchabfällen sowie die Wiedereinbringung von Porenbetonabbruch in neue Produktkreisläufe.

In Tabelle 40 sind denkbare Einzelmaßnahmen benannt und der jeweiligen Kategorie, dem Wirkmechanismus sowie dem erwarteten Zielbeitrag zugeordnet.

Tabelle 40: Maßnahmen zum Abbau von Hemmfaktoren für das Recycling von Porenbetonabbruch und der Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung von neuen und recycelbaren Porenbetonprodukten

Hemmfaktor	Einzelmaßnahme oder -instrument	Kategorie	Primärer Wirkmechanismus	Zielbeitrag
1) Kein etabliertes Sammelsystem für Porenbetonabbruch	Akzeptanzsteigernde Imagekampagne	informativ	Erhöhung der Nachfrage	Stärkung des Recyclings (Steigerung der Akzeptanz in Industrie und Bevölkerung zum Einsatz und Nutzung von RC-Material)
1) Kein etabliertes Sammelsystem für Porenbetonabbruch	Finanzielle Förderung	ökonomisch	Erhöhung des Angebots	Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien (Porenbetonabbruch als Sekundärrohstoff verfügbar machen)
1) Kein etabliertes Sammelsystem für Porenbetonabbruch	Erforschung und Entwicklung von industriell relevanten Verwertungsmöglichkeiten	planerisch	Erhöhung der Nachfrage	Stärkung des Recyclings und Schaffung neuer Anreize zur Verwendung von Porenbetonabbruch
2) Notwendige gleichbleibende Qualität (Reinheit) des Porenbetonabbruchs für Verwertung nicht gegeben	Erfassung und Identifikation von Porenbetonabbruch durch eigenen Abfallschlüssel	administrativ	Erhöhung des Angebots	Stärkung des Recyclings (gezielte Erfassung von Porenbetonabbruch möglich)
2) Notwendige gleichbleibende Qualität (Reinheit) des Porenbetonabbruchs für Verwertung nicht gegeben	Selektiver Rückbau von Porenbeton	planerisch	Erhöhung des Angebots	Stärkung des Recyclings (Zuführung entsprechender Stoffquantitäten)
2) Notwendige gleichbleibende Qualität (Reinheit) des Porenbetonabbruchs für Verwertung nicht gegeben	Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren	Planerisch	Erhöhung des Angebots	Stärkung des Recyclings (Bereitstellung hochwertiger Sekundärrohstoffe)

Hemmfaktor	Einzelmaßnahme oder -instrument	Kategorie	Primärer Wirkmechanismus	Zielbeitrag
2) Notwendige gleichbleibende Qualität (Reinheit) des Porenbetonabbruchs für Verwertung nicht gegeben	Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen	informativ	Verbesserung der Qualität/Erhöhung des Angebots	Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer und rezyklierter Materialien (Wissen über die Bedeutung der Reinheit der Abfälle)
3) Klare Regelung zu Schadstoffen in RC-Produkten fehlt	Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe	regulatorisch	Verbesserung der Qualität	Stärkung des Recyclings (Klare Regelungen zur Weiterverwendung, Schaffung von Qualitätsstandards)

6.5.3.2 Modellentwicklung und Diskussion

1) Hemmfaktor: Kein etabliertes Sammelsystem für Porenbetonabbruch

Dass zentrale, gesteuerte Sammelsysteme eine Stärkung des Recyclings bestimmter Produktgruppen bewirken können, ist durch zahlreiche Beispiele (z.B. Rewindo) belegt. In Analogie zu Porenbetonabbruch ist bei Altfensterprofilen auch die Herausforderung gegeben, dezentral anfallende Materialien flächendeckend zu sammeln und einer Verwertung zugänglich zu machen. Ein großer Unterschied im Fall Porenbetonabbruch ist jedoch, dass für diesen noch keine industriell umgesetzten Verwertungswege etabliert sind. Wie bereits erwähnt, gibt es auf diesem Gebiet zwar zahlreiche Forschungen mit durchaus zielführend erscheinenden Ansätzen bzw. Ergebnissen, jedoch erscheint noch keine Verwertung bereits praxistauglich umsetzbar (siehe Kap. 5.3.1). Gezielt gesteuerte **Erforschung und Entwicklung von industriell relevanten Verwertungsmöglichkeiten** könnten innerhalb eines überschaubaren Zeitraums von ca. 5 Jahren dazu führen, dass diese existierende Lücke in der Verwertung von Porenbetonabbruch geschlossen werden könnte (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2018). Dies wäre eine wichtige Voraussetzung, um produzierenden Unternehmen die Verwendung von Porenbetonabbruch im Sinne eines Sekundärrohstoffes zu ermöglichen bzw. die Unternehmen dahingehend zu ermuntern. Auf diese Art und Weise kann die Nachfrage nach Porenbetonabbruch gesteigert werden, was letztendlich eine entscheidende Triebfeder auf dem Weg hin zur Etablierung eines flächendeckenden Sammelsystems für Porenbetonabbruch ist. Um das Potenzial dieser Maßnahme weiter zu erhöhen, sollte eine zeitlich abgestimmte **akzeptanzsteigernde Imagekampagne** zielgruppenorientiert ausgerollt werden, um die Akzeptanz einer separaten Sammlung von Porenbetonabbruch zu wecken bzw. diese zu steigern. Die Finanzierung könnte dabei je nach Zielgruppenfokus von betroffenen Unternehmen oder anteilig auch von staatlicher Seite erfolgen. Dabei sollten die einzelnen Beteiligten gezielt und bedarfsgerecht angesprochen werden. Auf der einen Seite müssen Recyclingunternehmen und produzierende Unternehmen überzeugt werden, Porenbetonabbruch als Produkt im Sinne eines potenziellen Sekundärrohstoffes zu sehen, um so eine Nachfrage nach dem Material zu generieren. Auf der anderen Seite müssen Abrissunternehmen, private Bauverantwortliche und aufbereitende Unternehmen von Bauschutt dafür gewonnen werden, Porenbetonabbruch ebenfalls als Produkt im Sinne eines potenziellen Sekundärrohstoffes zu verstehen. Diese sind letztendlich diejenigen Beteiligten, welche entscheidenden Einfluss auf das Angebot des Materials am Markt haben. Nur das Verständnis und das Bewusstsein aller Beteiligten zum „Wert“ des Porenbetonabbruchs kann zu einer Etablierung eines Sammelsystems führen. Aus ökonomischer Sicht ist zudem eine **finanzielle Förderung** für die Etablierung eines Sammelsystems notwendig. Dabei ist insbesondere der hohe Transportaufwand des anfallenden Materials von dezentralen, zeitlich begrenzt existierenden Quellen (z.B. Abbruchmaßnahme) hin zu verwertenden bzw. aufbereitenden Unternehmen ein großer Kostenverursacher. Eine finanzielle Förderung im Sinne einer Unterstützung könnte anteilig zum Beispiel durch die nachfragenden Unternehmen erfolgen, welche das Material als Sekundärrohstoff einsetzen wollen. Auf der anderen Seite könnte eine staatlich gelenkte Förderung einen Anreiz setzen, wertvolle und zugleich knappe Deponieflächen zu schonen, indem durch die Sammlung von Porenbetonabbruch weniger Bauabbruch auf Deponien eingebracht werden muss. Dies setzt natürlich die erfolgreiche Umsetzung der Maßnahme **Erforschung und Entwicklung von industriell relevanten Verwertungsmöglichkeiten voraus**. Zudem sind entsprechende finanzielle Förderungen auf ihre beihilferechtliche Zulässigkeit zu untersuchen. Generell kann gesagt werden, dass die Etablierung einer Sammlung von Porenbetonabbruch mit Hilfe der genannten Maßnahmen möglich erscheint. Allerdings steht der Sammlung und

anschließenden Verwertung des Porenbetonabbruchs weiterhin der nachfolgende Hemmfaktor entgegen.

2) Hemmfaktor: Notwendige gleichbleibende Qualität (Reinheit) des Porenbetonabbruchs für Verwertung nicht gegeben

Im Gegensatz zu Fenstern, Türen oder Dächern (Dachplatten oder Holzbalken) kann Mauerwerk und somit auch Porenbeton nur mit großem Aufwand selektiv rückgebaut werden, wodurch die Abfallqualität des Materials sehr starken Schwankungen unterliegt. Im Folgenden sollen entsprechende Maßnahmen diskutiert werden, die diesen Hemmfaktor adressieren.

Um eine Verbesserung der Abfallqualität und damit eine Verbesserung der Verwertungsmöglichkeiten zu erreichen, muss Porenbetonabbruch möglichst sortenrein auf Baustellen bzw. bei Abbruchtätigkeiten erfasst werden. Dabei kommt dem **selektiven Rückbau von Porenbeton** eine zentrale Rolle zu. Im Falle einer Abrissmaßnahme ist der Abfallbesitzer bzw. -erzeuger, meist also die oder der Bauverantwortliche bzw. auftraggebende Person, dafür verantwortlich im Sinne einer Abfallvermeidung anfallende Abfälle getrennt zu halten (§ 9 KrWG). Durch § 8 GewAbfV haben Abfallerzeuger und -besitzer Bau- und Abbruchabfälle getrennt zu sammeln und zu befördern und überdies besteht eine Verpflichtung darüber, sämtliche Abfälle vorrangig der Vorbereitung zur Wiederverwertung oder dem Recycling zuzuführen. Damit dies auch für Porenbetonabbruch in der Praxis erfolgreich umgesetzt werden kann, müsste bereits auf der Baustelle eine Selektion des Mauerwerks dahingehend erfolgen, dass Porenbetonabbruch getrennt von anderem Mauerwerk (z.B. Ziegel oder Beton) erfasst und gesammelt wird. Entscheidend für einen erfolgreichen und effektiven Rückbau ist die Vorerkundung des abzureißenden Bauwerks. Dabei sollte die Nutzungsgeschichte des Objektes betrachtet und falls nötig auch eine Gebäudeanalyse zu verwendeten Baumaterialien erfolgen. Auf diese Weise lassen sich Gebäudeteile, welche aus Porenbeton gefertigt sind, schnell lokalisieren und können getrennt abgetragen werden. Diese Maßnahme stellt eine zentrale Säule für die Verbesserung der Abfallqualität von Porenbetonabbruch dar. Es muss ergänzend gesagt werden, dass eine Verpflichtung zum selektiven Rückbau wenig sinnvoll erscheint. In vielen Bauobjekten wird Porenbeton nur für einzelne Bauteile (z.B. Türstürze) verwendet. Bei einer solch kleinteiligen Verbauung wäre ein selektiver Rückbau sicherlich nicht zielführend. Flankierend müssen Mitarbeitende von Rückbauunternehmen oder auch private Bauverantwortlichen zwingend hinsichtlich einer fachgerechten Trennung von Abfällen geschult werden. **Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen könnten** turnusmäßig (z.B. zweijährig) eingeführt werden. Im Falle privater Abbruchmaßnahmen könnte von der oder dem Bauverantwortlichen bzw. Auftragnehmenden ein entsprechender Nachweis über die Teilnahme einer entsprechenden Schulung verlangt werden. Seminare könnten über bereits etablierte Stellen (z.B. IHK oder TÜV) deutschlandweit angeboten werden. Die Finanzierung dieser Schulungen sollten von den Unternehmen selbst erfolgen, was durch die höheren zu erwartenden Preise für sauber getrennten Porenbetonabbruch darstellbar sein sollte. Für Neubauten könnte die verpflichtende Nutzung digitaler Informationssysteme (z.B. Building Information Modelling (BIM), siehe Anhang A für Definition) einen wichtigen Beitrag zum Monitoring von verwendeten Baustoffen leisten (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat 2019).

Bei einem Abriss von mittels BIM begleiteten Bauobjekten lägen sämtliche Informationen zu verwendeten Baustoffen inklusive einer Verortung im Bauobjekt vor. Ein selektiver Rückbau kann dann wesentlich einfacher und ohne zeitintensive Begehung der Bauobjekte erfolgen.

Derzeit ist BIM allerdings noch kein Standard im Bauwesen, vor allem im privaten Bereich ist eine flächendeckende Nutzung noch nicht absehbar.

Um die selektive Trennung von Mauerwerk zusätzlich zu verbessern und um das Recycling von Porenbetonabbruch zu stärken, wäre auch die **Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren** eine effektive Maßnahme. Der Einsatz solcher Technologie ist in Abhängigkeit der Größe einer Abbruchmaßnahme sowohl mobil als auch stationär möglich. Dabei spielen viele Faktoren wie Größe und Lage der Abrissmaßnahme (z.B. ländliches Gebiet oder Ballungsraum) oder gewünschte Produktqualität eine zentrale Rolle, so dass eine Entscheidung zwischen stationärer und mobiler (vor Ort) Aufbereitung bzw. Sortierung in jedem Fall eine Einzelfallentscheidung sein muss (Müller, 2018, S. 126). Herkömmlich wird Bauschutt mittels Brechern und Sieben in marktübliche Kornfraktionen klassiert. Mit Magneten oder Wirbelstromabscheidern werden magnetische und nicht-magnetische Metalle entfernt. Leichte Bestandteile wie Holz, Kabel oder Folien werden mittels Windsichtung oder Dichte-Trennverfahren aus dem mineralischen Stoffstrom entfernt. Eine für die Ausschleusung von Porenbetonabbruch zwingend notwendige Unterscheidung nach der chemischen Zusammensetzung des Materialstroms findet allerdings nicht statt. Soll dies erreicht werden, ist der Einsatz von Personal zur händischen Sortierung notwendig, was eine wirtschaftliche Aufbereitung kaum zulässt. In aktuellen Forschungsvorhaben konnte jedoch gezeigt werden, dass eine solche Sortierung mittels optischen Kamerasystemen durchaus möglich und vor allem auch ohne großen Aufwand in industriellem Maßstab in bestehende Aufbereitungsanlagen implementierbar wäre (Dittrich et al. 2018). Damit kann Porenbeton sortenrein von anderen mineralischen Stoffen, wie Ziegel, Kalksandstein, Beton oder Gipsbaustoffen zurückgewonnen werden. Basierend auf solchen Forschungsergebnissen könnte eine effiziente Trennung von Porenbetonabbruch in Zukunft flächendeckend realisiert werden, wenn entsprechende Aufbereitungsbetriebe ihre Anlagen technisch um- bzw. aufrüsten. Entscheidend ist hierbei, dass eine Stärkung des Recyclings bedingt durch eine Verbesserung der Abfallqualität nur dann erfolgen kann, wenn das resultierende Material - der Porenbetonabbruch - durch die Aufbereitung und Sortierung das Ende der Abfalleigenschaft erreicht. Im zu Grunde liegenden § 5 KrWG sind die zum Erreichen des Endes der Abfalleigenschaft zu durchlaufenden Verwertungsverfahren nicht näher benannt. Ob durch Aufbereitung und Sortierung ein Verwertungsverfahren im Sinne des § 3 Abs. 23 KrWG vorliegt, konnte nicht abschließend beurteilt werden (siehe Kap. 5.3.1.1). Grundsätzlich ist jedoch anzustreben, dass das Erreichen des Endes der Abfalleigenschaft möglichst früh in der Prozesskette erfolgt, um Akzeptanz und Bereitschaft für den Einsatz des Materials bei der Herstellung von neuen Produkten zu steigern. Das Erreichen des Endes der Abfalleigenschaft ist letztendlich eine entscheidende Triebfeder, um die Nachfrage nach einem Sekundärrohstoff zu erhöhen. Aus diesem Grund wäre es sinnvoll, die Sortierung von Bauschutt (hier Porenbeton) als Verwertungsverfahren im Sinne des KrWG anzuerkennen, was durch die Steigerung von Materialqualität (z.B. Reinheit) und damit Erschließung einhergehender Verwertungspfade ausreichend begründbar sein sollte.

Hilfreich bei der Verbesserung der Qualität von Porenbetonabbruch im Speziellen könnte die **Erfassung und Identifikation von Porenbetonabbruch durch einen eigenen Abfallschlüssel** sein. Momentan sind maßgeblich die deutlich höheren Entsorgungs- bzw. Deponierungskosten von porenbetonhaltigem Bauabbruch Grund dafür, dass Porenbetonabbruch auf manchen Baustellen separat erfasst bzw. rückgebaut wird. Allerdings gibt es für die Einstufung von Abfällen aus Porenbetonsteinen nach Meinung des bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz „keinen optimal passenden Abfallschlüssel“ (StMUV, 2016). Aus einem Schreiben an den Verband „Baustoff Recycling Bayern“ geht hervor, dass Porenbeton anhand drei verschiedener Abfallschlüssel erfasst werden

kann. Fällt Porenbeton als Monocharge an, kann der Abfallschlüssel 170101 (Beton) mit der Ergänzung „Porenbeton“ verwendet werden. Bei einer Vermischung mit anderen Bauabfällen ist je nach Art der Vermischung eine Deklaration nach Abfallschlüssel 170904 (Gemische aus Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik ...) oder 170904 (gemischte Bau- und Abbruchabfälle ...) möglich. Lediglich der Abfallschlüssel 170802 (Baustoffe aus Gipsbasis ...) wird ausgeklammert, da Gips im Falle des Porenbetons lediglich als Zuschlagstoff eingesetzt wird. Die Erfassung von Porenbeton (Monochargen) im Abfallschlüssel für Beton erscheint jedoch wenig zielführend, da Porenbeton per Definition ganz eindeutig von Beton abgegrenzt ist und somit nicht als Beton zu bezeichnen ist. (DIN EN 206-1:2000, S. 10-13 & DIN EN 771-4:2011+A1:2015, S. 6-18). So werden Baustoffe auf Gipsbasis in einer vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen veröffentlichten Dokumentationshilfe für Abfallerzeuger bzw. Abfallbesitzer in recyclingfähig und nicht recyclingfähig weiter unterteilt (LANUV, 2020). Aus Mangel an etablierten Recyclingmöglichkeiten für Porenbetonabbruch ist dieser aktuell den „nicht-recyclingfähigen“ Baustoffen aus Gipsbasis zugeordnet. Eine entsprechende Umwidmung hin zu einem recyclingfähigen Baustoff scheint aber kurz- bis mittelfristig denkbar. Die Erfassung von Porenbeton in einem eigenen Abfallschlüssel könnte somit eine klare Abgrenzung zum Beton und somit zu einer bewussteren Entsorgung von Porenbetonabbruch durch eine eindeutige Identifikation führen. Durch das gesteigerte Bewusstsein, dass Porenbetonabbruch getrennt zu sammeln ist, ist zu erwarten, dass auch die Qualität des sortierten Materials hinsichtlich Reinheit gesteigert wird. Dies würde zudem unterstützt, wenn durch entsprechende Forschung zeitnah industrietaugliche Verwertungspfade aufgezeigt werden können (siehe Hemmfaktor 1). Eine Erfassung in einem separaten Abfallschlüssel wäre zudem auch hilfreich in der Realisierung einer Produktverantwortung für Porenbetonabbruch, da somit klare Materialpfade generiert werden. Ein eigener Abfallschlüssel ist sicher nicht die Voraussetzung oder die Maßnahme mit dem höchsten Potential zur Überwindung des Hemmfaktors, dennoch trägt ein eigener Abfallschlüssel, auch nach Meinung der im Rahmen des Projektes befragten Experten und Expertinnen aus der Praxis dazu bei, dass Porenbetonabbruch bewusster als Materialstrom wahrgenommen wird. Durch die Erfassung des Porenbetonabbruchs in einem eigenen Abfallschlüssel kann die Reinheit des Materials gesteigert werden, wodurch eine Nutzung des Materials in Recyclingprozessen deutlich einfacher möglich wird.

Bezüglich einer Verwertung des Porenbetonabbruchs sollte bedacht werden, dass die benötigte Reinheit des Materials stark von der anvisierten Verwertungsrouten abhängig ist. Eine geschlossene Kreislaufführung von Porenbetonabbruch, also die Herstellung neuer Porenbetonsteine, verlangt sicherlich eine höhere Reinheit, als die Verwertung des Porenbetonabbruchs in anderen Produkten (z.B. Leichtbeton oder Ölbinder). Insofern muss die höchste Reinheit des Porenbetonabbruchs nicht zwangsläufig zur wirtschaftlich sinnvollsten Verwertung führen, wenngleich die Schließung des Kreislaufs auch für Porenbeton zu präferieren ist. Dennoch erfolgt auch eine Betrachtung der am jeweiligen Standort auf die Verwertung des Porenbetonabbruchs einflussnehmenden Faktoren (z.B. weiterverarbeitende Industrie, Logistik, techn. Möglichkeiten zur Aufbereitung/Sortierung), um eine effiziente Nutzung des Abbruchmaterials zu gewährleisten. Eine absolute Reinheit kann aus technologischer Sicht im Falle von Bauschutt mit einem Sortierverfahren nicht erreicht werden, da die einzelnen Partikel nur selten aus einem Stoff bestehen. Viel häufiger werden sich Partikel finden, welche mit Anhaftungen wie Putzen, Farben und anderen Anstrichen behaftet sind. In jedem Fall dürfen von Porenbetonabbruch keine Schadstoffe außerhalb der gesetzlich festgelegten Grenzwerte eluiert werden oder andere Gefährdungen für Mensch und Umwelt ausgehen.

3) Hemmfaktor: Klare Regelung zu Schadstoffen in RC-Produkten fehlt

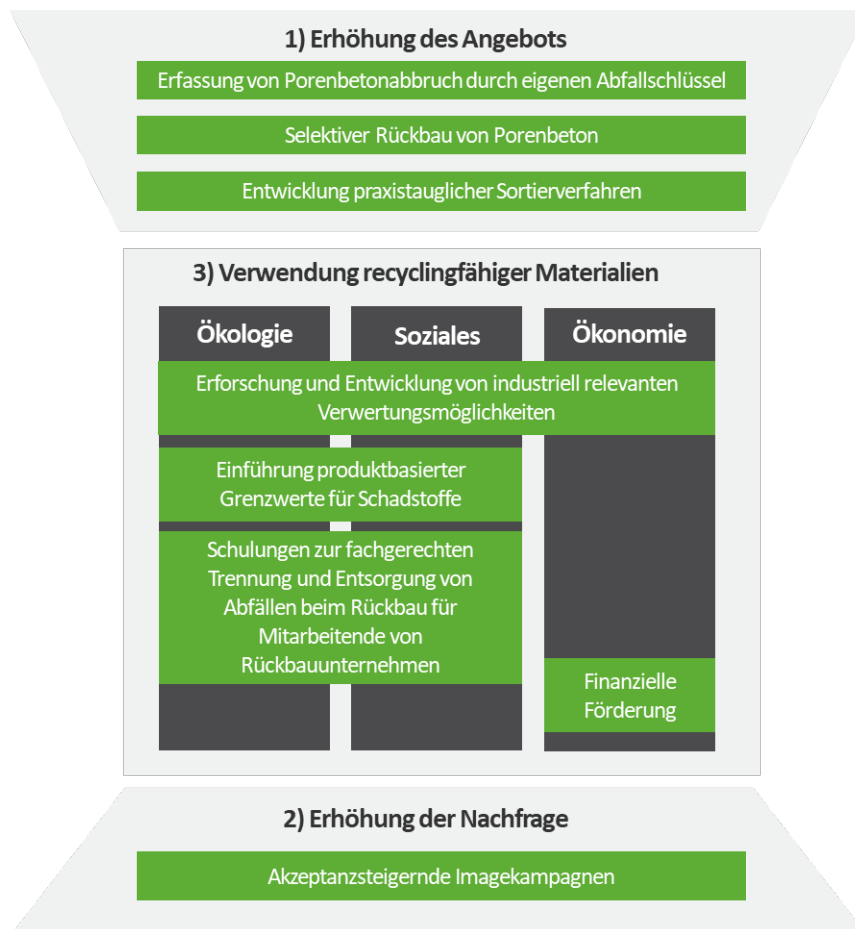
Die angestrebte Verwertung von Porenbetonabbruch als Sekundärrohstoff bei der Herstellung neuer Produkte steht hinsichtlich der Konzentration von Schadstoffen stets vor einem Problem, welches letztendlich auf den gesamten Bauabbruch übertragbar ist. Bauabbruchmaterial stellt grundsätzlich ein extrem inhomogenes Gemisch dar, welches nach jetzigem Stand der (Sortier-) Technik nicht in die Rohstoffe aufgetrennt werden kann, welche für den Bau des abgerissenen Objekts verwendet wurden. Somit findet zwangsläufig eine Durchmischung verschiedener baurelevanter Materialien statt. Problematisch dabei ist, dass die meist rohstoffbasierten Grenzwerte für Schadstoffe damit unfreiwillig überschritten werden können und eine schadlose Verwertung eines Materials unmöglich werden kann. So können beispielsweise gipshaltige Baustoffe eine hohe Sulfatkonzentration, teerhaltige und selten bituminöse Anstriche PAKs in das Gemenge „Bauabbruchmaterial“ mit einbringen (Umweltbundesamt 2013, S. 17–18) . Grundsätzlich sind Abfälle, also auch Baustellenabfällen bzw. Bauschutt gemäß § 9 Abs. 1 KrWG getrennt zu halten, bzw. eine bewusste Vermischung nur dann erlaubt, wenn die unter § 9 Abs. 2 Satz 2 Nr. 2 KrWG genannten Punkte erfüllt werden. Da Porenbeton gemäß AVV im Abfallschlüssel 170101 zusammen mit Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik erfasst wird, findet hier eine Vermischung verschiedener Bauprodukte statt. Problematisch kann dies werden, wenn der Materialstrom einer Verwertung zugeführt werden soll, dies aber möglicherweise auf Grund bestimmter Schadstoffgehalte (z.B. Sulfat aus Porenbeton) nicht möglich ist. Um eine Stärkung des Recyclings von Porenbetonabbruch zu erreichen, wäre es – unter Beachtung von Vorgaben des EU-Primärrechts – denkbar, Initiativen zur Erarbeitung von Grenzwerten zu Schadstoffgehalten nicht am verwendeten Rohstoff, sondern mit Bezug zum herzustellenden Produkt definiert werden zu starten. In diesem Zuge wäre die aktuell gültige Norm DIN EN 771-4:2011+A12015, in welcher Merkmale und Leistungsanforderungen an Porenbetonsteine festgelegt sind, um einen klärenden Text zur Verwendung von Porenbeton-Abbruchmaterial bei der Herstellung neuer Porenbetonsteine durch eine autorisierte Stelle (z.B. DIN) zu ergänzen. Aktuell ist dort lediglich ein Verweis auf eventuell geltende nationale Vorschriften enthalten. In Deutschland wären dazu also die AVV, die GefStoffV das Chemikaliengesetz (ChemG) bzw. die Chemikalien-Verbotsverordnung (ChemVerbotsV) zu nennen. Zwar ist eine **Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe** administrativ aufwändiger umzusetzen und zu überwachen als eine rohstoffbasierte Festlegung, jedoch können dadurch Rohstoffe viel zielgerichteter eingesetzt werden. Prinzipiell wäre die Festlegung von Grenzwerten zu Schadstoffen auch in Produktnormen gut zu regeln. Damit könnte die Regelung bundesweit vereinheitlicht werden, da in Bezug auf die Norm keine länderspezifischen Abweichungen möglich wären. Ein weiterer potenzieller Vorteil einer Festlegung der Schadstoffgehalte in einer Norm wäre, dass mit dem Erfüllen der Norm das Erreichen des Endes der Abfalleigenschaft einhergehen könnte, sofern auch die anderen Voraussetzungen des § 5 KrWG erfüllt sind bzw. vorliegen. Wie im Austausch mit Experten und Expertinnen jedoch diskutiert wurde (projektbezogenes Fachgespräch am UBA 08/2019), ist gerade das Erreichen des Endes der Abfalleigenschaft für die herstellenden Unternehmen zum frühestmöglichen Zeitpunkt wichtig (siehe Kap. 5.3.1.1). Gerade dieser Aspekt stellt ein großes Hemmnis zur Nutzung bzw. Verarbeitung des Materials von Seiten der Recyclingunternehmen dar. Aus unternehmerischer Sicht wäre es für das Einbringen von Porenbetonabbruch zur Aufbereitung und damit zur Steigerung der Akzeptanz einer Porenbetonabbruchaufbereitung wünschenswert, wenn das angelieferte Material bereits kein Abfall mehr wäre. Generell stellt sich auf Grund der Verwertung in offenen Kreisläufen die Frage, inwieweit der als sehr hoch anzunehmende administrative Aufwand für eine Überwachung von Grenzwerten bewältigt werden soll. Zielführender könnte letztendlich die Festlegung von am Produktlebenszyklus orientierten

Grenzwerten für Schadstoffe in Produkten, welche unter Verwendung von Porenbetonabbruch hergestellt wurden, sein. Auf diese Weise wäre zu jedem Zeitpunkt klar geregelt, welche Grenzwerte gültig sind. Zu berücksichtigen ist auch, dass sich die Grenzwerte von Rohstoffen nicht am bloßen Gehalt orientieren sollten, da eine Schädigung prinzipiell nur dann erfolgen kann, wenn ein Schadstoff aus einem Produkt entweder eluiert oder emittiert wird. Ob von Porenbetonabbruch eine Gefährdung ausgeht kann ad hoc nicht nachvollzogen werden, da beim Rückbau bzw. Abriss eine Vermischung von Porenbeton mit anderen, möglicherweise schadstoffbelasteten Baustoffen (z.B. PAK-haltige Bitumenanstriche oder asbestfaserhaltige Kleber/Putze) nicht ausgeschlossen werden kann. Eine fundierte Aussage kann nur eine Analytik des jeweiligen Materials geben. Reiner Porenbetonabbruch stellt im Rahmen einer Verwendung zur Herstellung neuer Produkte keine Gefährdung für Mensch und Umwelt dar, da lediglich die Komponenten in den Produktionsprozess eingeschleust werden, welche bei der Herstellung von Porenbeton sowieso durch die Primärrohstoffe eingetragen werden. Auf Basis der genannten Aspekte scheint die Einführung einer produktbasierten Festlegung von Grenzwerten hinsichtlich des erlaubten Schadstoffgehaltes am zielführendsten, wenn der Fokus auf einer Stärkung des Recyclings von Porenbetonabbruch liegen soll.

6.5.4 Produktspezifisches Recyclingmodell und Bewertung der Maßnahmen

Bei den in Abbildung 27 dargestellten Maßnahmen handelt es sich nicht um abschließend geprüfte Maßnahmen oder Regulierungsvorschläge. Vielmehr sind dies Ansätze, Ideen und Impulse, welche fachlich geprüft und ggf. politisch weiterverfolgt und priorisiert werden könnten. Dabei wurden jene Maßnahmen berücksichtigt, die in der obenstehenden Modellentwicklung und Erörterung priorisiert wurden.

Abbildung 27: Konzeptionelles Modell zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung von Porenbetonabbruch (Darstellung von ausgewählten Maßnahmen und Instrumenten, die zusätzlich zur etablierten Praxis in Betracht gezogen werden könnten)



Quelle: Eigene Darstellung (basierend auf Modellentwicklung und Diskussion)

Die beschriebenen Maßnahmen können als zentrale Ansätze zum Abbau der genannten Hemmfaktoren dazu beitragen, eine Stärkung des Recyclings und die Verwendung recycelbarer Materialien bei gleichzeitiger Schonung natürlicher Ressourcen und dem Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen zu realisieren. Für Porenbetonabbruch bestehen aufgrund der noch sehr jungen Nutzungsgeschichte des Baustoffes spezielle Rahmenbedingungen. Die genannten Hemmfaktoren bedingen sich teilweise gegenseitig und müssen von daher zielgerichtet abgebaut werden, um die gesetzten Ziele zu erreichen. So muss zwingend eine technische Lösung gefunden und etabliert werden, damit eine sortenreine Trennung des Porenbetons von anderen Baustoffen, insbesondere dem Mauerwerk erfolgen kann. Dieser Schritt der Aufbereitung, welcher durch flankierende Maßnahmen wie BIM zusätzlich gefördert werden kann, ermöglicht durch die dadurch gewonnene Rohstoffqualität eine Nutzung des Materials bei der Herstellung neuer Produkte. So kann letztlich die grundsätzliche Nachfrage nach dem Sekundärrohstoff Porenbetonabbruch erhöht werden. Eine klare Regelung des Materialstroms in Form eines eigenen Abfallschlüssels kann Maßnahmen zur Erhöhung der Rohstoffqualität weiter unterstützen. Ein weiterer essenzieller Punkt ist die Umsetzung eines Konzeptes zur flächendeckenden Sammlung des Porenbetonabbruchs. Die Umsetzung hat die größten Erfolgsaussichten, wenn diese auf die drei Schwerpunkte Erforschung und Entwicklung industriell relevanter Verwertungsmöglichkeiten,

akzeptanzsteigernde Imagekampagne und finanzielle Förderung ausgerichtet wird. Durch die Förderung zielgerichteter Forschung sollen die bereits erzielten Ergebnisse der Grundlagenforschung zu industrietauglichen Konzepten weiterentwickelt werden. Durch bedarfsgerechte Imagekampagnen soll betroffenen Beteiligten der Wert des Sekundärrohstoffs Porenbetonabbruch bewusst gemacht werden, um dadurch sowohl Angebot als auch Nachfrage für dieses Material zu erhöhen bzw. zu garantieren. Durch eine zusätzliche finanzielle Förderung kann insbesondere der kostenaufwändige Transport von dezentralen, zeitlich begrenzt existierenden Rohstoffquellen für die einzelnen Beteiligten abgefangen werden. Als übergreifenden Aspekt gilt es eine einheitliche Regelung für die Bewertung und Festlegung von Schadstoffen im Rohstoff oder Produkt zu treffen, welche praxistauglich ist und nach Möglichkeit dafür sorgt, dass Porenbetonabbruch möglichst frühzeitig ein Ende der Abfalleigenschaft erreicht.

Die identifizierten und erörterten Einzelmaßnahmen sind in dieser Zusammenstellung nur für das erörterte Produktbeispiel gültig. Zur abschließenden Abstraktion und Priorisierung von bestimmten Einzelmaßnahmen erfolgt eine Einordnung der jeweiligen Machbarkeit anhand des konkreten Produktbeispiels. Diese Einordnung dient als Orientierung für die Ableitung und Priorisierung von Lösungsansätzen im gesamtheitlichen Bereich der Bauprodukte.

6.5.4.1 Bewertung der Maßnahmen

6.5.4.1.1 Rechtliche Machbarkeit

Die **Erfassung von Porenbetonabbruch durch einen eigenen Abfallschlüssel** ist durch Änderung (Untergliederung) der AVV bundesrechtlich machbar und europarechtlich unter Art. 7 der EG-AbfRRL unter den dort genannten Voraussetzungen zulässig. Die rechtliche Machbarkeit dieser Maßnahme ist somit gegeben.

Der Förderung von Forschungstätigkeit einschließlich angewandter Forschung (hier im Bereich **Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren** sowie **Erforschung und Entwicklung industriell relevanter Verwertungsmöglichkeiten**) in Ausübung und im Rahmen des Aufgabenbereichs der zuständigen öffentlichen Stellen stehen keine rechtlichen Bedenken entgegen.

Die rechtliche Machbarkeit von **Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen** wird als gegeben eingeschätzt soweit sich diese auf Vorgaben bezieht, die im Rahmen von Bautätigkeit der öffentlichen Hand oder bei der Finanzierung privater Bauvorhaben durch öffentliche Mittel gemacht werden. Problematisch wäre hingegen die Einführung einer entsprechenden Pflichtenstellung für Bauverantwortliche; hier würden Verhältnismäßigkeitserwägungen jeden Spielraum stark einengen; zudem ist fraglich, inwieweit eine solche Regelung angesichts der Kompetenz der Länder für das Bauordnungsrecht bundesrechtlich eingeführt werden könnte. Diese Einschätzung gilt auch für den Bereich **selektiver Rückbau von Porenbeton**.

Die **Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe** könnte unter Beachtung der Vorgaben des europäischen Primärrechts gesetzlich oder untergesetzlich festgelegt werden; es stellt sich allerdings angesichts der weitgehend auf EU-Ebene harmonisierten Vorgaben die Frage, inwieweit über die Mitarbeit bei der Rechtssetzung auf europäischer Ebene hinaus in einem Bereich national abweichende Maßnahmen getroffen werden könnten. Eine abweichende oder weitergehende nationale Regelung in diesem Bereich müsste formell und inhaltlich den strengen Anforderungen der Art. 193 bzw. Art. 114 Abs. 4 und Abs. 5 AEUV genügen.

Inwieweit öffentliche Stellen **akzeptanzsteigernde Imagekampagnen** unterstützen können (zusätzlich zu Imagekampagnen von Herstellerinnen und Herstellern und Verbänden, die selbstverständlich rechtlich möglich sind), ist differenziert zu betrachten. Sachlich zutreffende Information über umweltfreundliche Technologien und Produkte und deren Vorteile im Kontext werden als rechtlich machbar eingeschätzt.

Die **finanzielle Förderung** bzw. Förderung der Etablierung eines Sammelsystems ist im Rahmen der entsprechenden Wirtschaftsförderungsmaßnahmen unter strikter Beachtung allgemeiner rechtlicher Grenzen wie dem Gleichbehandlungsgrundsatz rechtlich machbar.

Tabelle 41 fasst die Beurteilung der rechtlichen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 41: Beurteilung der rechtlichen Machbarkeit von Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings von Porenbeton

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Rechtliche Machbarkeit
Erfassung von Porenbetonabbruch durch einen eigenen Abfallschlüssel	Grün
Selektiver Rückbau von Porenbeton	Grün
Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren	Grün
Erforschung und Entwicklung von industriell relevanten Verwertungsmöglichkeiten	Grün
Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe	Gelb
Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen	Gelb
Akzeptanzsteigernde Imagekampagne	Grün
Finanzielle Förderung	Gelb

6.5.4.1.2 Organisatorische Machbarkeit

Die **Erfassung von Porenbetonabbruch durch einen eigenen Abfallschlüssel** erscheint machbar. Für andere Bauprodukte (z.B. gipshaltige Bauabfälle (AVV Nr. 17 08 02)) ist dies bereits etabliert bzw. von einzelnen Landesregierungen bereits weiter präzisiert. (siehe Kap. 5.3.1) Es gibt kein Anzeichen weswegen die organisatorische Machbarkeit für Porenbeton anders zu bewerten wäre, als für andere Baustoffe. Von daher erscheint die organisatorische Machbarkeit zur Umsetzung der übergeordneten Maßnahme klar gegeben.

Die Machbarkeit einer Umsetzung eines **selektiven Rückbaus von Porenbeton** aus organisatorischer Sicht erscheint teilweise möglich, auch wenn dafür ein gewisser Aufwand notwendig ist (siehe Kap. 6.5.3.2). Der selektive Rückbau kann organisatorisch durch

flankierende Maßnahmen wie Begehungen der Abbruchbaustelle, Erkundung bzw. Erfassung und Lokalisierung verbauter Baustoffe erheblich effizienter gestaltet werden. Dies ist mit erhöhtem Personal- und Zeitaufwand darstellbar. Eine Umsetzung wird auf Grund von Zeitdruck und den damit verbundenen erhöhten Kosten aber nicht immer vollumfänglich möglich sein.

Die organisatorische Machbarkeit zur **Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren** ist voll gegeben, da entsprechende Verfahren bereits technisch entwickelt bzw. industriell relevant verfügbar sind. Aus organisatorischer Sicht kann eine automatisierte Sortierung auf bestehenden Sortieranlagen nachgerüstet bzw. einfach ergänzt werden.

Die organisatorische Machbarkeit **Erforschung und Entwicklung industriell relevanter Verwertungsmöglichkeiten** für Porenbetonbruch und perspektivisch auch Porenbetonabbruch ist klar gegeben. Deutschland besitzt ein enormes Know-how im Bereich der Bauforschung. Allein in Deutschland stehen 284 Studiengänge mit Bezug zum Bauingenieurwesen zu Verfügung (HRK, 2019). Darunter fallen auch Themen wie Verwertung, Nachhaltigkeit und Recycling. Auf Grund der gegebenen Strukturen können gezielt Beteiligte wie Universitäten, Forschungseinrichtungen, Ingenieurbüros oder Unternehmen selbst je nach Ausrichtung der Forschungsfrage (z.B. grundlagenorientiert oder anwendungsbezogen) die gesetzten Schwerpunkte fokussiert bearbeiten.

Die organisatorische Machbarkeit zur Einführung **produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe** ist für das Material Porenbeton gegeben. Für die primären Ausgangsstoffe zur Verwendung für die Herstellung von Porenbeton, welche in der Norm DIN EN 771-4:2011 + A12015 genannt sind, existieren eigene Normen, welche Informationen über einzuhaltende Grenzwerte für Schadstoffe enthalten (z.B. Chrom VI in Zement, siehe DIN 197-1). An rezyklierten Porenbeton, welcher einer Verwertung zugeführt werden soll, kann in gleicher Weise je nach Zielprodukt eine entsprechende Anforderung in Normen oder Verordnungen getroffen werden. Der organisatorische Aufwand eine Regelung für die einzelnen möglichen Produkte Grenzwerte festzulegen und in entsprechenden Anträgen bzw. Regelwerken zu dokumentieren ist allerdings beachtlich. Ein weiterer Aspekt der organisatorischen Machbarkeit der Maßnahme ist vor allem im Bereich der Kontrolle der Einhaltung geltender bzw. neu-einzuführenden Regelungen (z.B. Verordnungen, Gesetze, Vorschriften, Normen) zu sehen. An eine bzw. einige zentrale Überwachungszentren ist auf Grund des dezentralen Materialaufkommens nicht zu denken, weshalb die Kontrolle von Grenzwerten im Schadstoffbereich bzw. die Qualitätsanforderungen im Allgemeinen beim herstellenden Unternehmen des Rezyklatmaterials (z.B. Recyclinghöfe) erfolgen sollte. Dies ist sicherlich mit einem erhöhten Aufwand an Technik und vor allem Personal verbunden, weswegen die Machbarkeit unter diesem Aspekt nur bedingt gegeben erscheint.

Eine **Schulung zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen** kann durch das bereits vorhandene Netz an Fortbildungszentren (z.B. TÜV, IHK, etc.) abgedeckt werden, sodass die Machbarkeit dieser Maßnahme aus organisatorischer Sicht gegeben ist.

Die organisatorische Machbarkeit einer **akzeptanzsteigernden Imagekampagne** ist in jedem Fall gegeben. Die Erstellung einer wirksamen Imagekampagne kann bereits mit geringem Aufwand gelingen. Beispielhaft kann hier die Imagekampagne „Holz ist genial“ der Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Holzwirtschaft genannt werden. Innerhalb von zwei Monaten konnten 12.000 aktive Nutzerinnen und Nutzer per Blog zum Thema informiert werden (proHolz, 2019). Zudem wurden in der Kampagne neben einem Internetauftritt mehrere

Plakat- und Inserataktionen gestartet. Eine Übertragung der Vorgehensweise kann auch für mineralische Baustoffe wie Porenbeton erfolgen.

Organisatorisch erscheint eine **finanzielle Förderung** von ökonomischen Anreizsystemen zur Stärkung bestimmter Recyclingaktivitäten sehr wohl machbar, da solche bereits für andere Branchen existieren bzw. umgesetzt werden. Beispielhaft kann hier die Thematik Kunststoffabfälle herangezogen werden (Umweltbundesamt 2019e). Dort wurden durch mehrere Forschungsvorhaben zur Einführung einer umfassenden Wertstoffsammlung die wissenschaftlichen Grundlagen bereitgestellt. Zudem ist auch die Subventionierung einzelner Beteiligter (z.B. Betriebe) durchaus gängige Praxis, wie im Subventionsbericht des Bundesministeriums für Finanzen dargelegt ist. Insbesondere ist hier auch die „strukturelle Förderung“ im Bereich der gewerblichen Wirtschaft genannt (Bundesministerium für Finanzen 2019, S. 44). Somit ist die Machbarkeit der Maßnahme aus organisatorischer Sicht klar gegeben.

Tabelle 42 fasst die Beurteilung der organisatorischen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 42: Beurteilung der organisatorischen Machbarkeit von Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings von Porenbeton

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Organisatorische Machbarkeit
Erfassung von Porenbetonabbruch durch einen eigenen Abfallschlüssel	Grün
Selektiver Rückbau von Porenbeton	Gelb
Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren	Grün
Erforschung und Entwicklung von industriell relevanten Verwertungsmöglichkeiten	Grün
Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe	Gelb
Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen	Grün
Akzeptanzsteigernde Imagekampagne	Grün
Finanzielle Förderung	Grün

6.5.4.1.3 Technische Machbarkeit

Aus technischer Sicht muss die Bewertung zur Machbarkeit der Maßnahme **Selektiver Rückbau von Porenbeton** mit der Frage erfolgen, ob Porenbeton als Material selektiv verortet bzw. erfasst werden kann. Eine Erkundung und Dokumentation des Einbauortes von Bauprodukten aus Porenbeton im verbauten Zustand muss durch dem Rückbau vorausgehende Erkundungsmaßnahmen erfolgen, da das Bauprodukt nach Verwendung (z.B. Einbau) meist

verputzt wird und somit nicht augenscheinlich lokalisierbar ist. Entsprechende Maßnahmen sind jedoch Stand der Technik und können flächendeckend durch geschulte Experten und Expertinnen realisiert werden. Nach einer Erkundung und somit Lokalisierung von Porenbeton in einem Objekt, kann der selektive Rückbau durch herkömmliches Gerät (z.B. Bagger) erfolgen. Aus technischer Sicht kann ein selektiver Rückbau somit erfolgen. Eine Durchführbarkeit der Maßnahme erscheint eher aus ökonomischen und evtl. organisatorischen Aspekten gefährdet.

Die Umsetzung der Maßnahme **Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren** hängt davon ab, wie schnell die bereits im Labor vorhandene Technologie in industriell relevante Größenordnungen überführt werden kann. Aus technischer Sicht sind alle Bedingungen zur Aufskalierung der Technologie (z.B. Übertragbarkeit der Laboranlagen auf Großanlagen) erfüllt. In jedem Fall ist anzumerken, dass es technologische Grenzen hinsichtlich einer Machbarkeit, beispielsweise für die Sortierung von Baustoffen hinsichtlich chemischer Zusammensetzung der einzelnen Partikel, in Abhängigkeit der Partikelgröße gibt. Allerdings dürfte die ökonomische Machbarkeit immer wesentlich früher anzuzweifeln sein, als dass die Grenzen der technischen Machbarkeit erreicht würden. Die technische Machbarkeit der Maßnahme kann somit als erfüllt betrachtet werden.

Im Zusammenhang mit der Maßnahme **Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe** ist aus technischer Sicht lediglich die analytische Überwachung der festgelegten Grenzwerte von Belang. Sämtliche Analysemethoden zur Beurteilung von Rezyklaten (z.B. Ionenchromatographie für die Analyse von Eluaten oder Röntgenfluoreszenzanalyse für chemische Analyse) sind bereits industrierelevant verfügbar und können als „State of the Art“-Methoden betrachtet werden. Aus technologischer Sicht erscheint die Machbarkeit der Maßnahme daher als unkritisch.

Die Maßnahme **Erfassung von Porenbetonabbruch durch einen eigenen Abfallschlüssel** ist zunächst nicht eindeutig nach den angeführten Kriterien zur technischen Machbarkeit (siehe Kap. 6.2) zu bewerten. Wenn jedoch der Grundansatz der Maßnahme im Sinne eines Beitrages zur Erhöhung der Reinheit von Porenbetonabbruch in Betracht gezogen wird und die höhere Reinheit dazu führt, dass eine Verwendung des Porenbetonabbruchmaterials aus technischer Sicht machbar ist, so kann die Machbarkeit der genannten Maßnahme als gegeben betrachtet werden.

Für die **Erforschung und Entwicklung industriell relevanter Verwertungsmöglichkeiten** kann ebenfalls keine direkte Bewertung der technischen Machbarkeit erfolgen. Da jedoch nach der Entwicklung relevanter Verwertungsmöglichkeiten, davon auszugehen ist, dass diese auch technisch umsetzbar sind, ist die technische Machbarkeit dieser Maßnahme gegeben.

Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen können ebenso nicht hinsichtlich deren unmittelbarer technischer Machbarkeit bewertet werden. Bezieht man indirekte technische Aspekte, wie die Frage ob im Einzelfall die technische Infrastruktur (z.B. Schulungsräume, IT-Ausstattung) zur Umsetzung der Maßnahme vorhanden ist, mit ein, so kann gesagt werden, dass im Regelfall eine technische Machbarkeit der genannten Maßnahme vollumfänglich gegeben ist.

Akzeptanzsteigernde Imagekampagnen haben in direkter Konsequenz keine technische Ausrichtung. Bezieht man aber für die Umsetzung wichtige Aspekte, wie die Organisation oder Planung der Imagekampagnen mit ein, so weisen diese mitunter technische Aspekte auf. Beispielhaft kann hier technische Infrastruktur (z.B. IT-Ausstattung) genannt werden, welche in der Regel als gegeben erachtet werden kann. Darüber hinaus ist das Ausrollen einer

Imagekampagne aus rein technischer Sicht vollumfänglich machbar. Aus diesem Grund wird auch die gesamte Maßnahme als technisch machbar bewertet.

Die **Finanzielle Förderung** hat zunächst keine unmittelbar technische Ausrichtung bzw. Komponente. Da die Maßnahme in diesem Kontext auf die Etablierung eines Sammelsystems abzielt, kann gesagt werden, dass die Einführung und Etablierung der notwendigen Logistik für die Sammlung von Porenbetonabbruch technisch in jedem Fall umsetzbar ist. Aus diesem Grund wird auch die genannte Maßnahme aus technischer Sicht als machbar bewertet.

Tabelle 43 fasst die Beurteilung der technischen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 43: Zusammenfassung der Beurteilung der technischen Machbarkeit von ausgewählten Einzelmaßnahmen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbaren Porenbetonabbruchs

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Technische Machbarkeit
Erfassung von Porenbetonabbruch durch einen eigenen Abfallschlüssel	Grün
Selektiver Rückbau von Porenbeton	Grün
Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren	Grün
Erforschung und Entwicklung von industriell relevanten Verwertungsmöglichkeiten	Grün
Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe	Grün
Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen	Grün
Akzeptanzsteigernde Imagekampagne	Grün
Finanzielle Förderung	Grün

6.5.4.1.4 Ökologische Machbarkeit

Die Maßnahme **Erfassung von Porenbetonabbruch durch einen eigenen Abfallschlüssel** weist keine unmittelbare negative Umweltrelevanz auf. Aus diesem Sichtwinkel ist die Machbarkeit der Maßnahmen also in jedem Fall gegeben. Die Umsetzung der Maßnahme dient im Wesentlichen dazu, das Bewusstsein betroffener Beteiligter für die separate Sammlung von Porenbetonabbruch und dem Wert des Materials hinsichtlich einer Verwertung zu stärken. Bei erfolgreicher Umsetzung der Maßnahme ist dieser Folgeaspekt in jedem Fall positiv hinsichtlich der ökologischen Aspekte zu betrachten, da die Maßnahme unterstützend dazu beitragen kann, die Reinheit des Porenbetonabbruchs zu erhöhen und damit in der Folge sowohl den Sortieraufwand als auch die zu deponierende Menge an verbleibenden Störstoffen zu verringern.

Diese Aspekte miteinbeziehend, kann die ökologische Machbarkeit der Maßnahme als gegeben erachtet werden.

Der **selektive Rückbau von Porenbeton** hat in unmittelbarer Folge keinen erkennbaren negativen Einfluss auf die ökologische Machbarkeit der Maßnahme. Daher kann diese grundsätzlich positiv bewertet werden. Der selektive Rückbau als solcher schafft die Voraussetzungen für eine Verwertung des Porenbetonabbruchs. Es kann davon ausgegangen werden, dass die indirekten ökologischen Effekte (z.B. Transportemissionen) im Vergleich zu den ökologischen Effekten der daraus entstehenden Möglichkeiten (z.B. Einsparung von Primärrohstoffen durch werkstoffliches Recycling) eher gering ausfallen. Eine Bewertung im Sinne der Umsetzbarkeit der Maßnahme nach ökologischen Kriterien scheint unter diesem Gesichtspunkt plausibel, weswegen die Maßnahme als machbar eingestuft ist.

Der Beitrag der Maßnahmen **Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren** und **Erforschung und Entwicklung industriell relevanter Verwertungsmöglichkeiten** besteht darin, die ökologische Machbarkeit einer bestimmten Recyclingaktivität zu gewährleisten. Ein besonderer Fokus sollte in diesem Zusammenhang der Lösung von Zielkonflikten zwischen Recycling und Schadstoffausschleusung gelten. Die genannten Maßnahmen weisen zudem keine unmittelbare Umweltrelevanz auf, weshalb die ökologische Machbarkeit uneingeschränkt gegeben ist.

Die Maßnahme **Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe** erscheint unter ökologischen Aspekten notwendig und machbar. Voraussetzung ist jedoch, dass die Festlegung von Grenzwerten zeitlich im Produktlebenszyklus verortet sein sollte und das jeweilige Expositionsszenario berücksichtigen sollte. Da gesetzlich vorgeschriebene Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an neue Erzeugnisse davon unberührt bleiben, ist die Einordnung der ökologischen Machbarkeit dieser Maßnahme grundsätzlich unkritisch und daher vollständig gegeben.

Die Maßnahme **Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen** hat als direkte Folge keine erkennbare negative Auswirkung auf die ökologische Machbarkeit, sodass grundsätzlich eine positive Bewertung erfolgen kann. Die Schulungen können, ähnlich wie der selektive Rückbau als vorbereitende Maßnahme für die Etablierung eines Materialkreislaufes mit hoher Reinheit des getrennt erfassten Porenbetonabbruchs gesehen werden. In diesem Sinne schafft die spezifische Maßnahme die Voraussetzungen für eine Verwertung des Porenbetonabbruchs. Es kann davon ausgegangen werden, dass die negativen ökologischen Effekte (z.B. Reisen zu Schulungseinrichtungen, Unterhalt von Schulungsräumen) im Vergleich zu den positiven ökologischen Folgeeffekten der daraus entstehenden Möglichkeiten (z.B. Einsparung von Primärrohstoffen durch werkstoffliches Recycling auf Grund erhöhter Materialreinheit) eher gering ausfallen. Eine Bewertung im Sinne der Umsetzbarkeit der Maßnahme nach ökologischen Kriterien scheint unter diesem Gesichtspunkt plausibel, weswegen die Maßnahme als machbar eingestuft wird.

Akzeptanzsteigernde Imagekampagnen können weitreichende und durchaus kontroverse ökologische Implikationen nach sich ziehen. Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass unterschiedliche aktiv beteiligte oder betroffene Akteurinnen und Akteure die Ausrichtung und den Informationsgehalt von Imagekampagnen maßgeblich beeinflussen. Beispielsweise besteht die hypothetische Gefahr, dass wirtschaftliche Interessen bestimmter Beteiligter (z.B. Recyclingunternehmen) über potenzielle negative ökologische Auswirkungen (z.B. unkontrollierte Verschleppung von Schadstoffen) gestellt werden. Im Gegensatz dazu können

Imagekampagnen jedoch auch dazu beitragen, einen gesellschaftlichen Konsens über die Wichtigkeit des Recyclings und der damit verbundenen Chancen und Risiken zu etablieren. Die durch Imagekampagnen indizierten Verhaltensänderungen relevanter Beteiligter (z.B. Bauverantwortliche, Konsumenten, etc.) können hinsichtlich deren ökologischer Vorteilhaftigkeit also ambivalent sein. Daher ist die ökologische Machbarkeit dieser Maßnahme nur teilweise gegeben.

Die gezielte **finanzielle Förderung** durch Bund, Bundesländer oder auch privatwirtschaftliche Unternehmen, um die aufwändige Logistik für ein Sammelsystem ökonomisch attraktiver zu gestalten, dient in diesem Kontext primär dem Zweck, Rohstoffe in einem Materialkreislauf zu bringen, welcher bisher nicht praxistauglich etabliert ist. Damit wird ein inhärenter Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet, was sich positiv in der Einordnung der ökologischen Machbarkeit dieser Maßnahme niederschlägt. Aus Zahlen einer Studie von Ankele und Steinfeldt (1996, S. 48), welche in persönlichen Gesprächen mit Schober (2020) auch für die aktuelle Lage bestätigt wurden, geht hervor, dass alleine die Rohstoffe für 60% des CO₂, welches bei der Herstellung von Porenbeton freigesetzt wird, verantwortlich sind. Ein Ressourcenkreislauf, welcher durch die angesprochene Maßnahme etabliert werden kann, ist also in jedem Fall aus ökologischer Sicht zu befürworten. Aus diesem Hintergrund ist die ökologische Machbarkeit dieser Maßnahme gegeben.

Tabelle 44 fasst die Beurteilung der ökologischen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 44: Beurteilung der ökologischen Machbarkeit von Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings von Porenbeton

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Ökologische Machbarkeit
Erfassung von Porenbetonabbruch durch einen eigenen Abfallschlüssel	Grün
Selektiver Rückbau von Porenbeton	Grün
Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren	Grün
Erforschung und Entwicklung von industriell relevanten Verwertungsmöglichkeiten	Grün
Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe	Grün
Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen	Grün
Akzeptanzsteigernde Imagekampagne	Gelb
Finanzielle Förderung	Grün

6.5.4.1.5 Sozio-ökonomische Machbarkeit

Die Erfassung von Porenbetonabbruch durch einen eigenen Abfallschlüssel ist aus sozio-ökonomischer Sicht nicht negativ zu bewerten, weswegen eine grundsätzliche Machbarkeit gegeben scheint. Bezieht man allerdings indirekte Folgen mit ein ergibt sich ein etwas differenzierteres Bild. Die Einführung eines eigenen Abfallschlüssels ist sicher mit einem großen administrativen bzw. organisatorischem Aufwand verbunden, was negativ auf die sozio-ökonomische Machbarkeit einwirkt. Auf der anderen Seite ist durch die Einführung des eigenen Abfallschlüssels zum einen ein steigendes Bewusstsein bezüglich einer getrennten Erfassung bei relevanten Beteiligten zu erwarten. Zudem kann die Maßnahme dazu beitragen, dass auch die Reinheit des getrennt erfassten Porenbetonabbruchs erhöht wird und sich dadurch Verwertungsmöglichkeiten und -chancen ergeben, was sich wiederum positiv auf die sozio-ökonomische Machbarkeit der Maßnahme auswirkt. Da die negativen und positiven Folgeaspekte nicht stichfest gewichtet werden können, ist die Machbarkeit dieser Maßnahme aus sozio-ökonomischer Sicht teilweise gegeben und wurde in der Bewertung entsprechend berücksichtigt.

Die Maßnahme **selektiver Rückbau von Porenbeton** zur Rückgewinnung des Porenbetons erfordert in den meisten Fällen eine Gebäudeanalyse und ist mit einem zeitlichen Mehraufwand verbunden, sodass die Rückbaukosten steigen. Allerdings kann der so gewonnene sortenreine Porenbetonabbruch in der Folge aufbereitet und verwertet werden, sofern entsprechende Verwertungspfade industrietauglich etabliert sind bzw. wurden. Bei einer solchen Etablierung würde durch die Maßnahme **selektiver Rückbau von Porenbeton** ein sozio-ökonomischer Vorteil entstehen. Die Erstellung eines Rückbaukonzeptes bereits während der Ausschreibungsphase schafft für die planenden Unternehmen einen Mehraufwand, der sich auch finanziell widerspiegelt. Sobald sich dazu bestimmte Konzepte etabliert haben sinken aber die dafür notwendigen Kapazitäten und somit auch die Kosten. Da die Umsetzung in den meisten Fällen Jahrzehnte später stattfinden wird, ist eine detaillierte Planung allerdings schwierig und müsste fortlaufend angepasst werden. Vor dem Hintergrund des knapper werdenden Primärrohstoffs für die Betonproduktion und einem zu erwartenden Preisanstieg dürfte die Attraktivität des selektiven Rückbaus aus wirtschaftlicher Sicht steigen. Somit wird die sozio-ökonomische Machbarkeit, zumindest in Zukunft, gegeben sein.

Die Umsetzung der Maßnahme **Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren** aus sozio-ökonomischem Gesichtspunkt erscheint gegeben. Zum einen steigert die angedachte Sortierung die Qualität des zurückgewonnenen Porenbetons in Hinblick auf dessen Reinheit, wodurch mehr, bisher noch nicht realisierte Verwertungspfade erschlossen werden können. Zum anderen wird das Volumen an zu deponierendem Material signifikant verringert, wodurch einerseits weniger Kosten für die Entsorgung auf immer knapper werdendem Deponievolumen entstehen und andererseits das angesprochene Deponievolumen weniger stark beansprucht wird und somit eine nachhaltige Lösung darstellt. Die genannten Aspekte haben das Potential die Kosten welche kurzfristig durch die Implementierung einer neuen Sortiereinheit entstehen mittelfristig zu amortisieren. Somit ist die Machbarkeit dieser Maßnahme aus sozio-ökonomischer Sicht gegeben.

Die ökonomische Machbarkeit der **Erforschung und Entwicklung industriell relevanter Verwertungsmöglichkeiten** hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Zentral ist hierbei die Aussicht auf Amortisation, also auf einen wirtschaftlichen Nutzen für die beteiligten Unternehmen, oder ein gesellschaftlicher Mehrwert, sodass die Aufwendung öffentlicher Gelder gerechtfertigt werden kann. Eine entsprechende Beurteilung kann generell facettenreich und schwierig sein. Im Fall von Porenbeton wird davon ausgegangen, dass Forschungs- und

Förderprogramme innerhalb eines überschaubaren Zeitraums von ca. 5 Jahren dazu beitragen können, die existierende Lücke in der Verwertung von Porenbetonabbruch zu schließen (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2018). Daneben muss natürlich auch erwartet werden, dass Unternehmen durch Eigenmittel Forschungsfragen gezielt vorantreiben. Auch hier spielt der knapper werdende Primärrohstoff zur Betonproduktion eine wichtige Rolle. Wie viel insgesamt an Investitionen notwendig sind, um ein Verfahren zur Marktreife zu bringen, kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden. Grundsätzlich ist die ökonomische Machbarkeit aber gegeben.

Die **Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe** ist aus ökonomischer Sicht sehr facettenreich. Zum einen ist die Verständigung zwischen den involvierten Akteurinnen und Akteuren sowie die Findung von Kompromissen in der Regel (vgl. Mantelverordnung) zeitlich intensiv- und somit auch kostspielig für die Beteiligten. Zum anderen entsteht insbesondere in der Kontrolle der Einhaltung sowie im Vollzug im Falle einer Nicht-Einhaltung von Grenzwerten ein hoher finanzieller Kostenpunkt. Hierbei stehen allerdings administrative und organisatorische Komponenten im Vordergrund. Eine abschließende Bewertung zur Machbarkeit der Maßnahme ist aus ökonomischer Sicht nicht möglich, da die einzelnen Beiträge aktuell nicht abgeschätzt werden können. Basierend auf diesem Hintergrund wurde die Machbarkeit dieser Maßnahme als teilweise gegeben bewertet.

Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen wurden als mögliche Maßnahme für ein verbessertes Recycling von Porenbetonabbruch definiert und sind aus ökonomischer Sicht grundsätzlich umsetzbar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die verbesserte Trennung den Wert der gesammelten Abfallprodukte tendenziell erhöht. Zu klären ist die Frage, wer für die Schulungskosten aufkommen soll, wobei die Abbruchdienstleister bereits durch die Freistellung des Personals für die Schulungen Einbußen erfahren. Denkbar wäre hier auch eine Beteiligung der verschiedenen Akteurinnen und Akteure, die von einer verbesserten Sammlung bzw. höheren Reinheit der Produkte profitieren.

Akzeptanzsteigernde Imagekampagnen können unterstützend ausgerollt werden und hängen primär von den finanziellen Möglichkeiten der beteiligten Akteurinnen und Akteure ab. Dabei ist der letztlich erzielte Mehrwert teilweise nur schwer zu beziffern und von unterschiedlichen Faktoren wie Thema, gesellschaftliche Relevanz, Zielgruppe und Umfang etc. abhängig. Vor dem Hintergrund des zunehmenden Verständnisses für Klimaschutz und Ressourcenschonung kann die sozio-ökonomische Machbarkeit hier als gegeben angesehen werden, wobei auch hier mögliche Zielkonflikte vorab gelöst werden müssen.

Die Beurteilung der sozio-ökonomischen Machbarkeit einer **finanziellen Förderung** muss im Kontext zur aktuellen Marktsituation erfolgen. Wie bereits beschrieben, stellt die finanzielle Förderung der Logistik die zentrale Hürde bei der Etablierung eines Sammelsystems dar. Die Sammlung von Porenbetonabbruch bringt letztlich wieder wertvolle Rohstoffe in den Marktkreislauf zurück. Aufgrund voraussichtlich steigender Mengen an Porenbetonabbruch und knapper werdenden Primärrohstoffen (z.B. Sand) sind Bestrebungen zur Sammlung von Porenbetonabbruch zu fördern, um auch in Zukunft ein vertretbares Preisniveau für Produkte aus Porenbeton zu ermöglichen. Dies gilt insbesondere dann, wenn man die anfallenden Kosten aus der alternativ notwendigen Deponierung in die Kalkulation einbezieht. Notwendige finanzielle Anreize für die zur Sammlung notwendigen Logistik sind mit Blick auf zu erwartende Verteuerungen des Primärrohstoffes als langfristige Investition anzusehen. Die anteilige Umlegung der nötigen Kosten zur Etablierung eines Sammelsystems auf die nachfragenden Unternehmen (z.B. Bauunternehmen) erscheint als sinnvolle und praktikable Möglichkeit. Unter

dieser zweigleisigen Betrachtung aus Anreizsystem und anteiliger Kostenbeteiligung erscheint die Machbarkeit der Maßnahme durchaus gegeben, auch wenn notwendige administrative Anstrengungen nicht außer Acht gelassen werden dürfen.

Tabelle 45 fasst die Beurteilung der sozio-ökonomischen Machbarkeit der ausgewählten Einzelmaßnahmen zusammen. Hierbei erfolgt die abschließende Beurteilung anhand eines Ampelschemas (siehe hierzu auch Kap. 6.2).

Tabelle 45: Beurteilung der sozio-ökonomischer Machbarkeit von Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings von Porenbeton

Einzelmaßnahme gem. Modellentwicklung	Sozio-ökonomische Machbarkeit
Erfassung von Porenbetonabbruch durch einen eigenen Abfallschlüssel	Gelb
Selektiver Rückbau von Porenbeton	Grün
Entwicklung praxistauglicher Sortierverfahren	Grün
Erforschung und Entwicklung von industriell relevanten Verwertungsmöglichkeiten	Gelb
Einführung produktbasierter Grenzwerte für Schadstoffe	Gelb
Schulungen zur fachgerechten Trennung und Entsorgung von Abfällen beim Rückbau für Mitarbeitende von Rückbauunternehmen	Gelb
Akzeptanzsteigernde Imagekampagne	Gelb
Finanzielle Förderung	Grün

7 Kategorisierung, Priorisierung und Umsetzung von Lösungsvorschlägen

7.1 Ziel und Vorgehen

Basierend auf den produktspezifischen Maßnahmen, welche in Kap. 6 vorgeschlagen wurden, werden im Folgenden Lösungsvorschläge für die Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien erarbeitet. Diese sollen, soweit möglich, einen allgemeingültigen Charakter für den Baubereich haben und auf Bauprodukte anwendbar sein, die hinsichtlich ihrer Eigenschaften bzw. bestimmter Charakteristika ähnlich den beispielhaft ausgewählten Bauprodukten aus den Kap. 5 und 6 sind.

Um die Lösungsvorschläge herzuleiten, erfolgt zunächst eine Abstraktion der produktspezifischen Maßnahmen basierend auf den zugrundeliegenden Hemm- und Förderfaktoren. Hierbei kann zwischen statischen Faktoren bzw. konstanten Produkt- oder Systemeigenschaften und variablen Faktoren unterschieden werden. Da die variablen Eigenschaften als Ankerpunkte für die jeweilige Ableitung von produktspezifischen Maßnahmen dienen (z. B. eine ökonomisch nicht tragfähige Sammlung von kleinen Abfallmengen), werden statische Faktoren für die Abstraktion von Lösungsvorschlägen herangezogen. Als statisch werden dabei Faktoren angesehen, die auf kurz- oder mittelfristige Sicht nicht durch das Eingreifen von Marktakteurinnen- und akteuren verändert werden können. Als Beispiel sei hier der Schadstoffgehalt von Bauprodukten genannt, der aufgrund der langen Lebenszyklen der Produkte erst in mehreren Jahrzehnten durch heute eingeführte Maßnahmen verändert werden könnte. Ähnliches gilt für die anderen, hier als statisch benannten, Faktoren. Demnach können Bauprodukte hinsichtlich folgender Faktoren beschrieben werden:

- ▶ Gehalt an Schad- oder Störstoffen (Definitionen siehe Begriffsglossar im Appendix A);
- ▶ Separierbar-/Trennbar-/Sortierbarkeit;
- ▶ Lebensdauer bzw. Dauer der Verwendung²⁰;
- ▶ Alternative/konkurrierende Entsorgungsmöglichkeiten;
- ▶ Verfügbarkeit ausreichender Abfallmengen.

Ein weiteres Kriterium bei der Entwicklung der Lösungsvorschläge ist die Ausgewogenheit von Vorschlägen, die der Erhöhung des Angebots (Wirkmechanismus 1, „Push“), der Erhöhung der Nachfrage (Wirkmechanismus 2, „Pull“) sowie der Verwendung recyclingfähiger Materialien (Wirkmechanismus 3) dienen. Dies soll sicherstellen, dass eine ausgewogene Marktsituation herbeigeführt werden kann und ein erhöhtes Angebot auch einer entsprechenden Nachfrage (und umgekehrt) gegenübersteht. Zudem müssen bestimmte Qualitätsanforderungen eingehalten werden und Art und Weise des Recyclings müssen unter Berücksichtigung von Ökologie, Ökonomie und Sozialem stattfinden. Dies spiegelt auch die Vorgehensweise der Maßnahmenentwicklung für die beispielhaft betrachteten Bauprodukte wider.

²⁰ Die Lebensdauer bzw. Dauer der Verwendung wird als lang betrachtet, wenn ein Bauprodukt gegenüber anderen Bauprodukten länger genutzt wird und zwei oder mehr Lebenszyklen der anderen Produkte in Verwendung bleibt (z.B. Mauerwerk gegenüber Fenstern, Fliesen oder Putz); siehe auch Kap. 3 zu weiteren Ausführungen.

Die Lösungsvorschläge werden im folgenden Kap. zusammen mit ihrem Gültigkeitsrahmen und den an der Umsetzung beteiligten Akteurinnen und Akteure beschrieben. Im Anschluss findet eine Priorisierung der Lösungsvorschläge statt, die sich an der erörterten Machbarkeit (siehe hierzu beispielhaft die Einordnung der Machbarkeit in den Kap. 6.3.4.1, 6.4.4.1 und 6.5.4.1) und dem jeweiligen Beitrag zur Zielerreichung orientiert.

7.2 Lösungsvorschläge zur Stärkung des Recyclings und zur stärkeren Verwendung von Rezyklaten im Bausektor

Zusammenfassend lassen sich durch die oben beschriebene Methodik die im Folgenden aufgeführten Lösungsvorschläge ableiten. Die Faktoren und Eigenschaften eines Bauprodukts, die für den jeweiligen Lösungsvorschlag gegeben sein müssen, werden dabei explizit angesprochen. Weiterhin beinhalten die Beschreibungen die wesentlichen Akteurinnen und Akteure, die an der Umsetzung der Lösungsvorschläge beteiligt wären, auch wenn im Einzelfall weitere Beteiligte relevant sein können.

Finanzielle Anreize als Wirkmechanismus-übergreifender Lösungsvorschlag

Finanzielle Anreize, beispielsweise in Form von gezielten Förderprogrammen, eignen sich besonders für **Bauprodukte, die separierbar, trennbar oder sortierbar** sind und für die **ausreichende Abfallmengen verfügbar** sind, aber die Wirtschaftlichkeit bisher nicht oder nur eingeschränkt gegeben ist. Durch finanzielle Anreize können wirtschaftliche Barrieren, die einer getrennten Sammlung oder einem Recycling des Abfallstroms entgegenstehen, überwunden und Anreize zum verstärkten Einsatz des Rezyklats aufgrund eines geringeren Preises geschaffen werden. Dies gilt beispielsweise auch für den selektiven Rückbau oder neuartige oder weiterentwickelte Verfahren zum Recycling von Bauprodukten, die z.B. bei ihrem Markteintritt durch Förderprogramme unterstützt werden können (vgl. Anhang C, (Umweltbundesamt 2016b, 2019c, S. 30–31)). Weiterhin ist dieser Lösungsvorschlag mit Einschränkungen auch für **Bauprodukte mit alternativen bzw. konkurrierenden Entsorgungsmöglichkeiten** denkbar, sofern den gewünschten Recyclingpfaden bisher wirtschaftliche Interessen entgegenstehen. Beispielhaft sei hier die Entsorgung von Porenbeton und gipshaltigen Abfällen genannt, die derzeit aus wirtschaftlichen Gründen oft in Tschechien oder Polen stattfindet, um dort als Verfüllmaterial im Bergbau verwendet zu werden. Eine zu bevorzugende Verwendung als Sekundärrohstoff könnte durch finanzielle Anreize gestärkt werden.

Die Umsetzung einer solchen Lösung ist in erster Linie durch gesetzgeberische Entscheidungstragende und behördliche Vertreter und Vertreterinnen voranzutreiben, da sowohl der rechtliche Rahmen als auch die Finanzierungsgrundlage auf staatlicher und/oder Länderebene geregelt werden müssen. Dabei sind auch immer die rechtlichen Randbedingungen (Europarecht, Förderrichtlinien, Beihilfe- und Vergaberecht, etc.) zu berücksichtigen, sofern der Staat selbst als Finanzierer von Maßnahmen in Erscheinung treten soll. In diesem Zusammenhang besteht im Einzelfall Forschungsbedarf hinsichtlich der konkreten Umsetzung von finanziellen Anreizen bzw. Zuwendungen in Bezug auf die spezifischen geplanten Anwendungen (Soll der Rückbau oder die Sammlung unterstützt werden, sollen Schulungsmaßnahmen unterstützt oder neue Techniken marktfähig gemacht werden, soll die Verwendung von Rezyklaten mit einer Prämie gefördert werden und wie sollen etwaige Maßnahmen konkret ausgestaltet werden?). Eine Rücksprache mit Verbänden, Recycling-, Verwertungs- oder Abrissunternehmen erscheint für die konkrete Erarbeitung von Rahmen, Umfang und Vergabekriterien aber durchaus sinnvoll.

Im Gegensatz zu den folgenden Lösungsvorschlägen, die konkret einem Wirkmechanismus im Sinne des in Kap. 6 entwickelten Modells zugeordnet werden können, kann dieser ökonomische Lösungsvorschlag sowohl das Angebot als auch die Nachfrage nach recycelten Produkten erhöhen oder den Umgang mit und die Verwendung von recycelten Produkten im Hinblick auf Ökologie, Ökonomie und Soziales befördern.

Lösungsvorschläge, die vorrangig einer Erhöhung des Angebots dienen (Wirkmechanismus 1, „Push“)

Einführung bzw. Verbesserung von Rückbaukonzepten

Eine Einführung von selektiven Rückbaukonzepten, die eine getrennte Erfassung und Sammlung verschiedenster Baustoffe ermöglicht, eignet sich besonders für **Baustoffe, die separierbar, trennbar oder sortierbar** sind und für die **ausreichende Abfallmengen vorhanden** sind. Weiterhin muss im Falle von einigen bestehenden Rückbaukonzepten die Qualität des Rückbaus in Zusammenhang mit einer verbesserten Sortierung gesteigert werden, um beispielsweise **Störstoffe** soweit möglich zu entfernen. Bereits in anderen Studien wurden in diesem Zusammenhang Vorgaben zur separaten Erfassung bestimmter Produkte (Getrennthaltungspflicht) als Instrument zur Stärkung des Recyclings genannt (vgl. Anhang C bzw. (Umweltbundesamt 2016a, S. 215, 2016b)). Auch Wahlström et al. (2020, S. 32ff, 45) heben die Bedeutung von selektivem Rückbau für die Verbesserung des Recyclings u.a. durch die bessere Sortierung und Qualität der Abfälle hervor. Dabei kann ein Monitoring des selektiven Rückbaus z.B. zur Minimierung von Verunreinigungen zur weiteren Verbesserung beitragen (vgl. Anhang C, (Umweltbundesamt 2019c, S. 30–31)). Beispielhaft kann hier das im Projekt näher untersuchte Flachglas aus Fenstern angeführt werden. An der Umsetzung einer solchen Lösung sind sowohl politische Entscheidungstragende als auch Rückbauunternehmen beteiligt. Aber auch Beteiligte, die die rezyklierbaren Bauprodukte sammeln, verwerten und verwenden, spielen eine wesentliche Rolle, da sie Abnehmer der entstehenden Materialien sind und für die Nachfrage sorgen. Eine verbindliche Forderung nach selektiven Rückbaukonzepten, in Abhängigkeit der Gebäude, wäre hier durch den Gesetzgeber ein möglicher Ansatzpunkt (siehe auch Kap. 6.4.4.1.1 für eine beispielhafte Bewertung der rechtlichen Machbarkeit), muss aber in Zusammenhang mit anderen Maßnahmen unter Berücksichtigung finanzieller und technischer Aspekte geschehen.

Einheitliche Identifikation von rezyklierbaren und rezyklierten Produkten

Eine einheitliche Identifikation von rezyklierbaren und rezyklierten Produkten kommt auf Basis der hier erarbeiteten Informationen dem Recycling aller Bauprodukte zugute, ist aber besonders für Bauprodukte, die **Stör- oder Schadstoffe** enthalten, sinnvoll. Sofern für die Bauprodukte ein **mengenmäßig relevanter Abfallstrom verfügbar** ist bzw. theoretisch verfügbar wäre, ist eine einheitliche Identifikation der (zukünftigen) Abfallströme (soweit nicht bereits gegeben) eine wesentliche Voraussetzung zur Ermöglichung eines Recyclings. Beispielhaft sei hier Porenbeton genannt, für den derzeit kein einheitlicher Abfallschlüssel existiert. Eine Vorgabe hierfür ist vorrangig durch den Gesetzgeber umzusetzen, wobei eine Rücksprache mit weiteren Marktbeteiligten wie Abbruch-, Verwertungs- und Recyclingunternehmen sinnvoll erscheint.

Einheitliche Kennzeichnungen, wie etwa Materialpässe, Produktdatenblätter oder Produktsiegel, sind zudem für die Stärkung des Recyclings von Bauprodukten mit einer **langen Lebens- bzw. Verwendungsdauer** förderlich, da somit auch nach Ende der Lebensdauer Klarheit über enthaltene Störstoffe oder wesentliche verwendete Materialien und somit mögliche Verwertungswege besteht. Die Einführung von einheitlichen Materialpässen wurde bereits in Umweltbundesamt (2017a, S. 13) (siehe auch Anhang C) als förderlich beschrieben. Ähnlich

schlägt dies auch der neue EU-Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft vor, unter dem digitale Gebäude-Logbücher zur Förderung der Kreislaufwirtschaft bei Gebäuden entwickelt werden sollen (European Commission 2020, S. 14).

Weiterhin kommt eine einheitliche Kennzeichnung auch der Verwendung von recycelten Produkten zugute, die **Schad- oder Störstoffe** enthalten, wie am Beispiel PVC-Fensterprofilen deutlich wird. Informationen bezüglich ökologischer Vorteile sowie möglicher Risiken des Recyclingprodukts können so zugänglich gemacht werden und Vorbehalte und Unsicherheiten aufgelöst werden. An der Umsetzung können je nach Szenario verschiedene Handelnde beteiligt sein. Verbindliche Vorgaben existieren für besonders besorgniserregende Stoffe durch Art. 33 der EG-REACH-Verordnung sowie ab 2021 durch die Umsetzung von Art. 9 Abs. 1 lit. i) der EG-AbfRRL („SCIP-Datenbank“). In diesen Fällen muss der gesetzliche Rahmen sowie die ggf. notwendige Plattform zunächst durch den Gesetzgeber bzw. involvierte Behörden geschaffen werden. Auch freiwillige Initiativen seitens der Industrie können die einheitliche Kennzeichnung einiger Bauprodukte vorantreiben, sollten aber auf eine flächendeckende Nutzung des Systems hinarbeiten, um verwirrende und konkurrierende Kennzeichnungen zu vermeiden.

Lösungsvorschläge, die vorrangig einer Erhöhung der Nachfrage dienen (Wirkmechanismus 2, „Pull“)

Weiterentwicklung von Umweltproduktdeklarationen

Um gezielt die Nachfrage nach rezyklierten Produkten zu erhöhen, sind in Anlehnung an die oben genannte einheitliche Kennzeichnung auch spezifische und weiterentwickelte Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte mit **Schadstoffgehalten** oder Bauprodukte mit **konkurrierenden Entsorgungsmöglichkeiten** sinnvoll. Somit kann klar über die Vorteile des Rezyklats oder einen zu bevorzugenden Entsorgungsweg informiert werden. Notwendige Beteiligte für eine solche Lösung würden in Abhängigkeit der Verbindlichkeit eines solchen Systems den Gesetzgeber aber auch Verbände der Industrie umfassen. Eine methodische Weiterentwicklung sollte vor allem durch wissenschaftliche Institutionen, ggf. in Kooperation mit Industriebeteiligten stattfinden. Speziell wird auch von Wahlström et al. (2020, S. 36) die Notwendigkeit der Entwicklung von ökobilanziellen Wirkungsindikatoren für die bessere Abschätzung des Verbrauchs natürlicher Rohstoffe (z.B. Mineralien) im Rahmen der Weiterentwicklung von Nachhaltigkeitsstandards oder Umweltproduktdeklarationen betont. Ähnlich wird dies in KNBau (2018) vorgeschlagen (siehe auch Anhang C). Auch Umwelt-Label oder bundesweite Zertifizierungssysteme sind bereits in anderen Vorhaben als Instrumente erarbeitet worden (siehe Anhang C; (Umweltbundesamt 2016b, S. 11, 2016a, S. 215, 2019c, S. 30–31)). Der EU-Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft sieht vor, das Tool „Level(s)“ zur Steigerung der Nachhaltigkeit im Gebäudebereich durch eine Einbindung in die öffentliche Vergabe zu verwenden. Somit wird zukünftig auf dieser Ebene bestehenden Bewertungssystemen aus Umweltproduktdeklarationen bzw. Lebenszyklusanalysen verstärkt Beachtung geschenkt, was auch ein Momentum zu deren Weiterentwicklung bietet (European Commission 2020, S. 14). Darüber hinaus sollen allgemein die Indikatoren für die Ressourcennutzung, einschließlich Konsum- und Materialfußabdruck zur Berücksichtigung des Materialverbrauchs und der Umweltauswirkungen weiterentwickelt werden (European Commission 2020, S. 23).

Imagekampagnen für Kunden und Kundinnen

Ein weiterer informatorischer Lösungsvorschlag zur stärkeren Verwendung recycelter Bauprodukte und Materialien betrifft Imagekampagnen für Kunden und Kundinnen. Diese

können sowohl auf Endkonsumenten und Entscheidungstragende bei der Auswahl der Materialien abzielen als auch auf Vertreterinnen und Vertreter der Industrie, wenn alternative Entsorgungsmöglichkeiten gestärkt werden sollen. Der Geltungsbereich dieses Lösungsvorschlags umfasst vorwiegend Bauprodukte mit einem **Gehalt an Schad- oder Störstoffen**, da für diese Vorbehalte hinsichtlich der Qualität oder möglicher Risiken hinsichtlich der Rezyklate bestehen. Dennoch ist eine solche Maßnahme auch für Rezyklate ohne Schadstoffe förderlich. Weiterhin betreffen Imagekampagnen jene Bauprodukte, für die eine **alternative Entsorgungsmöglichkeit** vorhanden ist, die überhaupt beworben werden kann. Gezielte Imagekampagnen für zentrale Akteurinnen und Akteure wurden bereits in verschiedenen anderen Publikationen (siehe Anhang C) als Instrument zur Erhöhung der Nachfrage genannt und können z.B. Maßnahmen zur Steigerung des Bekanntheitsgrades oder zur Sensibilisierung von Konsumenten umfassen. Kap. 3.2 beschreibt bereits das aktive Bewerben von RC-Produkten zu deren Vermarktung bei z.B. Entscheidungstragenden wie Architekturschaffenden, planenden Personen bzw. Institutionen oder Bauverantwortlichen.

Imagekampagnen können von verschiedenen Beteiligten geführt werden. Beteiligte von behördlicher Seite können dies in Form von Positionspapieren gleichermaßen vorantreiben wie Industrieverbände oder auch zivilgesellschaftliche Organisationen bzw. Kooperationen der Beteiligten, die die Stärkung der Kreislaufwirtschaft vorantreiben wollen und beispielsweise auch in Kombination mit (Qualitäts-)Kennzeichen und Daten aus Umweltproduktdeklarationen die Vorteilhaftigkeit des Recyclings bzw. der rezyklierten Produkte herausstellen.

Die bereits in einer früheren Studie herausgestellte Empfehlung zur Herausgabe von offiziellen und verbindlichen Informationsmaterialien (z.B. bzgl. rechtlicher Regelungen für den Einsatz von Sekundärrohstoffen/RC-Materialien) für Bauverantwortliche, herstellende Unternehmen, etc. sei hier als Weiterentwicklung der Nachfrage-orientierten Lösungsvorschläge genannt (vgl. Anhang C, (Umweltbundesamt 2019c, S. 30–31)).

Lösungsvorschläge bezüglich der Verwendung recyclingfähiger Materialien unter Berücksichtigung von Ökologie, Ökonomie und Sozialem (Wirkmechanismus 3)

Erforschung und Entwicklung neuartiger Verwertungs- und Recyclingverfahren sowie Sortiertechniken

Die Erforschung und Entwicklung neuer Verwertungs- und Recyclingverfahren ist ein wesentliches Instrument, um die Recyclingfähigkeit von Materialien zu verbessern oder überhaupt erst zu ermöglichen. Dies betrifft Bauprodukte, für die **Abfallströme existieren** und die **Schad- oder Störstoffe beinhalten**, wenn für diese bessere Recyclingverfahren zur Ausschleusung oder Reduktion der Schad- oder Störstoffe entwickelt werden können. Ebenso trifft der Lösungsvorschlag auf Bauprodukte zu, die **trenn-, sortier- oder separierbar** sind. Auch technische Weiterentwicklungen bei der Vorbereitung zum Recycling z.B. in der automatischen Sortierung, können dort ansetzen, wo die Sortierung derzeit nur teils oder noch nicht gegeben ist. Der Lösungsvorschlag trägt weiterhin dazu bei, Verwertungsansätze, welche bisher für den Labormaßstab erfolgreich entwickelt, aber aus unterschiedlichsten Gründen (z.B. technisch, rechtlich, ökonomisch) für eine Anwendung im industriell relevanten Umfeld noch nicht umgesetzt werden konnten, weiterzuentwickeln. Auch weitere Studien haben die Forschung zum Baustoffrecycling oder zu Sortierverfahren u.a. zur effektiven Ausschleusung von Schadstoffen und zur Entwicklung von kreislauffähigen Baumaterialien und Bauprodukten bereits betont (Umweltbundesamt 2017a; RIVM 2016, S. 46; KNBau 2018).

Dieser Lösungsvorschlag betrifft vorrangig Beteiligte aus Wissenschaft und Forschung sowie Netzwerke und Initiativen zwischen Forschung und Industrie, die an der Weiter- oder Neuentwicklung bestimmter Verfahren arbeiten.

Lückenlose Dokumentation und Kontrolle von Schadstoffgehalten

Eine lückenlose Dokumentation und auch Kontrolle einer solchen Dokumentation von Schadstoffgehalten betrifft Bauprodukte, die **Schadstoffe** enthalten und die über eine vergleichsweise lange **Verwendungs- bzw. Lebensdauer** verfügen²¹. Der administrative Lösungsvorschlag stellt am Ende des Lebenszyklus sicher, dass ausreichend Informationen über die vorhandenen Schadstoffe verfügbar und diese Informationen zuverlässig dokumentiert sind. In einen solchen Prozess wären alle Beteiligten, vom Gesetzgeber und den Behörden zur Kontrolle und Überwachung der richtigen Dokumentation, über Labore oder Prüfinstitute, bis hin zu Bauunternehmen und Produzenten von Rezyklaten eingebunden. Wie in Kap. 3.2 erläutert, wäre eine solche Überwachung am effektivsten bei aufbereitenden Unternehmen von Baustoff anzusiedeln. Der Lösungsvorschlag ist jedoch aufgrund der vielfältigen Beteiligung bei der Umsetzung mit einem erheblichen administrativen Aufwand verbunden.

Ein ähnlicher Vorschlag geht bereits aus einem Vorschlag vom Umweltbundesamt (2019c, S. 30–31) hervor, wo eine Nachweispflicht zur Umwelt- und Humanverträglichkeit von Sekundärrohstoffen und RC-Materialien als förderlich erachtet wird (siehe auch Anhang C).

Qualitätsanforderungen, -vorgaben und Grenzwerte für Rezyklate

Die Festlegung von Qualitätsanforderungen, -vorgaben oder Grenzwerten für recyceltes Material betrifft vorrangig Bauprodukte mit **Schad- oder Störstoffgehalten**. Auch Wahlström et al. (2020, S. 36) heben die Standardisierung bei der Bewertung der Eigenschaften von Sekundärrohstoffen im Rahmen der Qualitätssicherung als förderlich für eine stärkere Verwendung von Rezyklaten im Bausektor hervor. In diesem Kontext sind auch die in Anhang C aufgeführten Studien bzw. Berichte zu erwähnen, die Qualitätsanforderungen an Rezyklate in Bezug auf Umwelt- und Gesundheitswirkungen und Regelungen zu ökologischen Standards bzgl. der Qualität von Baumaterialien im Rahmen von städtebaulichen Verträgen als regulatorisches Instrument vorschlagen, um Anreize zur Verwendung von Recyclingmaterial zu schaffen. Der Lösungsvorschlag ist sowohl eng verknüpft mit der Dokumentation und Kontrolle von Schadstoffgehalten, was für eine Erfüllung bestimmter Qualitätsanforderungen notwendig wäre, als auch mit dem Vorschlag zur einheitlichen Kennzeichnung. Einer solchen Kennzeichnung würden bestimmte Vorgaben hinsichtlich Qualität oder Grenzwerten unterliegen und die Erfüllung der Vorgaben über ein einheitliches Kennzeichnungssystem könnte klar kommuniziert werden. Bei der Erarbeitung solcher Anforderungen müssen Beteiligte aus Behörden, Verbänden, Prüfinstituten und Industrie eng zusammenarbeiten, um praktikable und wirkungsvolle Vorgaben zu definieren. Wie in Kap. 3.2 erläutert, müsste in Bezug auf den Einsatz von Sekundärrohstoffen in hochwertige Bauprodukte zunächst der Besitzer (i.d.R. Abfallerzeuger) von Sekundärrohstoffen in die Pflicht genommen werden, um die in Umlauf zu bringenden Stoffe hinreichend genau zu analysieren und somit das Einhalten von Qualitätsanforderungen für das Rezyklat zu dokumentieren.

²¹ Eine lange Lebensdauer betrifft beispielsweise strukturgebende Komponenten wie das Mauerwerk. Zur Abgrenzung werden Baustoffe mit kurzer Verwendungsdauer als solche angesehen, die z.B. während des Lebenszyklus des Mauerwerks mehrfach ausgetauscht werden.

Spezifische Schulungsmaßnahmen

Verbesserte oder verstärkte Weiterbildungen für die am Recycling von Bauprodukten beteiligten Akteurinnen und Akteure können besonders dann helfen, wenn Unsicherheiten über mögliche **alternative Entsorgungsmöglichkeiten** bestehen oder diese nicht bekannt sind. Untergeordnet kann dieser Vorschlag auch dann das Recycling von Baustoffen bzw. die Verwendung recycelter Baustoffe stärken, wenn die Schulungsmaßnahmen hinsichtlich der Möglichkeiten im Umgang mit **Schad- und Störstoffen** informieren oder im Falle von sehr **langen Lebenszyklen** Informationen über typischerweise verwendete Materialien bzw. enthaltene Stör- oder Schadstoffe für am Recycling beteiligte Akteurinnen und Akteure am Ende der Verwendungsdauer bereitgestellt werden. Weiterhin gilt dieser Lösungsvorschlag nur für Bauprodukte, die eine **Trenn-, Sortier- oder Separierbarkeit** aufweisen, die jedoch nicht ausreichend bekannt ist oder angewandt wird, um über die hier vorhandenen Möglichkeiten des Recyclings zu informieren und die Möglichkeiten eines Recyclings auszunutzen. In diesem Zusammenhang könnte auch die in (KNBau 2018, siehe Anhang C) genannte systematische und material-/produktspezifische Bereitstellung von Informationen zu verfügbaren Abbruch- und Verwertungstechnologien erfolgen. Derartige Schulungen können beispielsweise von Verbänden vorangetrieben werden oder durch Institutionen wie Handelskammern oder den TÜV angeboten werden.

Einige der oben genannten Lösungsvorschläge werden in abstrahierter Form und gültig für alle Abfälle auch über den Bausektor hinaus im EU-Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft genannt. Dabei sind neben den oben teils direkt benannten Zusammenhängen insbesondere die in der Tabelle 46 aufgelisteten Maßnahmen in Zusammenhang mit den hier erarbeiteten Lösungsvorschlägen erwähnenswert.

Tabelle 46: Lösungsvorschläge und entsprechende Maßnahmen laut EU-Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft

Im Rahmen dieses Vorhabens durch den produktspezifischen Ansatz entwickelte Lösungsvorschläge	Geplante Maßnahmen der Kommission zur Stärkung des Vertrauens in die Verwendung von Sekundärrohstoffen laut Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft
<p>Erforschung und Entwicklung neuartiger Verwertungs- und Recyclingverfahren sowie Sortiertechniken</p> <p>Einführung bzw. Verbesserung von Rückbaukonzepten</p>	<p>„die Entwicklung von Lösungen für hochwertige Sortierung und die Entfernung von Schadstoffen aus Abfällen – auch solcher, die aus einer unabsichtlichen Verunreinigung herrühren – fördern;</p> <p>Methoden zur Minimierung des Vorhandenseins von gesundheits- oder umweltschädlichen Stoffen in recycelten Materialien und daraus hergestellten Erzeugnissen entwickeln“</p>
<p>Lückenlose Dokumentation und Kontrolle von Schadstoffgehalten</p> <p>Einheitliche Identifikation von rezyklierbaren und rezyklierten Produkten</p>	<p>„mit der Industrie zusammenarbeiten, um – in Synergie mit Maßnahmen des Rahmens für eine nachhaltige Produktpolitik und mit der ECHA-Datenbank für Erzeugnisse, die besonders besorgniserregende Stoffe enthalten – schrittweise harmonisierte Systeme zur Verfolgung und Verwaltung von Informationen über Stoffe, die als sehr besorgniserregend ermittelt wurden, über andere relevante Stoffe, insbesondere diejenigen mit chronischen Auswirkungen und Stoffe, die bei den Verwertungsverfahren entlang der Lieferkette technische Probleme bereiten, sowie zur Ermittlung solcher Stoffe in Abfällen zu entwickeln“</p>

7.3 Priorisierung von Lösungsvorschlägen

Die oben aufgeführten Lösungsvorschläge sind das Ergebnis einer Abstraktion von produktspezifischen Erörterungen mit dem Ziel, die für die einzelnen Bauprodukte ermittelten Maßnahmen auch allgemeingültig für verschiedene Bauprodukte zu formulieren. Als Synthese der produktspezifischen Machbarkeiten der zugrundeliegenden Maßnahmen sowie der im Verlauf des Projekts ermittelten Wirksamkeit dieser Maßnahmen wurde eine Priorisierung der Lösungsvorschläge vorgenommen, die in Abbildung 28 zusammenfassend grafisch dargestellt ist. Die Abbildung zeigt die Lösungsvorschläge der drei Wirkmechanismen in Bezug auf ihre relative Machbarkeit (vgl. Kap. 6.3.4.1, 6.4.4.1 und 6.5.4.1) und den Beitrag zur Zielerreichung (vgl. Kap. 6.3.3, 6.4.3 und 6.5.3). Beispielsweise sind die Erforschung und Entwicklung neuartiger Verwertungs- und Recyclingverfahren sowie Sortiertechniken in der Regel durch eine gute Machbarkeit gekennzeichnet und daher am oberen Ende der Achse verortet. Der Beitrag zur Stärkung des Recyclings und zur stärkeren Verwendung von Rezyklaten im Bausektor, den neue Verfahren und Techniken leisten können, hängt allerdings stark vom neuen Verfahren ab, sodass der Lösungsvorschlag einen mittleren bis hohen Beitrag zur Zielerreichung leisten kann. Die vorgeschlagenen finanziellen Anreize sind aufgrund der verschiedenen möglichen Ausprägungen dieses Lösungsvorschlags nicht enthalten, da keine allgemeingültige Einordnung hinsichtlich Machbarkeit oder Zielbeitrag getroffen werden kann.

Abbildung 28: Priorisierung von Lösungsvorschlägen (ohne Einordnung der finanziellen Anreize)



Quelle: Eigene Darstellung

7.4 Umsetzung von Lösungsvorschlägen

Die anhand der Methodik (siehe Kap. 6.1) identifizierten und anschließend bewerteten Maßnahmen haben einen überwiegend operativen Charakter. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass viele der Maßnahmen primär durch die operativen Akteurinnen und Akteure (z.B. Recyclingunternehmen) im Baubereich umgesetzt werden können. In bestimmten Anwendungsfällen konnte zudem bereits eine erfolgreiche Umsetzung nachgewiesen werden (z.B. freiwillige Selbstverpflichtung im Bereich der PVC-Fensterprofile, großtechnische Realisierung eines neuen Recyclingverfahrens für die Co-Extrusion von PVC-Fensterprofil mit erhöhtem Regranulatanteil).

Bei einer Vielzahl der identifizierten und priorisierten Maßnahmen im Baubereich tritt der Gesetzgeber nur in einer begleitenden bzw. befähigenden Rolle auf. Er kann auf Basis des Abfallrechts dort, wo eine Umsetzung der Maßnahmenvorschläge durch die betroffenen Beteiligten nicht erfolgt oder nicht ausreichend erscheint, gesetzgeberisch tätig werden. Eine mögliche rechtliche Ausgestaltung der erarbeiteten Lösungsvorschläge stellt in diesem Zusammenhang die abfallrechtliche Produktverantwortung dar, welche auch eine Reihe an möglichen Maßnahmen umfasst, um bereits bei der Entwicklung und Herstellung von Produkten eine Kreislaufführung zu stärken (siehe Kap. 2.1.6). Maßnahmen der Produktverantwortung können – zumindest grundsätzlich – an eine Reihe verschiedener Beteiligter gerichtet sein (wer „Erzeugnisse entwickelt, herstellt, verarbeitet, behandelt, verkauft oder einführt“, siehe Art. 8 Abs. 1 EG-AbfRRL) und umfassen eine ganze Reihe möglicher Instrumente, wie z.B. die folgenden, in § 23 Abs. 2 KrWG genannten:

- ▶ Vorgaben für die Entwicklung mehrfach verwendbarer, langlebiger und umweltverträglicher Produkte;
- ▶ den Einsatz von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung neuer Erzeugnisse;
- ▶ die Kennzeichnung schadstoffhaltiger Erzeugnisse, die Hinweise auf Rückgabe-, Wiederverwendungs- und Verwertungsmöglichkeiten bzw. -pflichten; sowie
- ▶ die Rücknahme und umweltgerechte Entsorgung nach Gebrauch.

In folgender Tabelle werden die in Kap. 7 abgeleiteten Lösungsansätze den in § 23 KrWG genannten Aspekten der Produktverantwortung zugeordnet (sofern möglich). Eine Reihe der vorgeschlagenen Lösungsvorschläge können durch Elemente der Produktverantwortung aufgegriffen werden, wenngleich andere Ansätze und Lösungsvorschläge keinen expliziten Zusammenhang mit den Aspekten der Produktverantwortung aufweisen (z.B. Erforschung und Entwicklung neuartiger Verwertungs- und Recyclingverfahren sowie Sortiertechniken).

Tabelle 47: Zuordnung der priorisierten Einzelmaßnahmen zu Aspekten der Produktverantwortung nach § 23 KrWG

Aspekte der Produktverantwortung nach § 23 KrWG	Priorisierte Lösungsvorschläge
Anforderung an die Beschaffenheit von Erzeugnissen, § 23 Abs. 2 Nummer 1 KrWG	Qualitätsanforderungen, -vorgaben und Grenzwerte für rezyklierbares Material und Rezyklate;

Aspekte der Produktverantwortung nach § 23 KrWG	Priorisierte Lösungsvorschläge
die Kennzeichnung schadstoffhaltiger Erzeugnisse, § 23 Abs. 2 Nummer 3 KrWG	Lückenlose Kontrolle und Dokumentation von Schadstoffgehalten Einheitliche Identifikation von rezyklierbaren und rezyklierten Produkten; Weiterentwicklung von Umweltproduktdeklarationen

Jede Maßnahme, die durch den Gesetzgeber in Betracht gezogen wird, muss dann auch den weiteren rechtlichen Anforderungen an die Produktverantwortung (nach § 23 Abs. 3 KrWG) wie im Folgenden dargestellt, genügen:

► **Verhältnismäßigkeit nach § 7 Abs. 4 KrWG:**

Zu beachten ist bei jeder Maßnahme grundsätzlich der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit, d.h. jede entsprechende Maßnahme muss

- geeignet sein, den beabsichtigten Zweck zu erfüllen;
- erforderlich sein, d.h. es darf kein milderes Mittel geben, das gleich geeignet ist, den beabsichtigten Zweck zu erfüllen;
- angemessen (verhältnismäßig im engeren Sinn) sein. Hierzu müssen auch der Nutzen bzw. die Vorteile und die Herausforderungen bzw. Nachteile der Einführung einer Maßnahme abgewogen werden.

§ 23 Abs. 3 KrWG verweist dabei insbesondere auf § 7 Abs. 4 KrWG. Entscheidend für die Verhältnismäßigkeit der Anforderungen nach § 7 Abs. 4 KrWG ist danach zunächst das, was technisch möglich ist. Daneben muss die Verwertung der Abfälle auch wirtschaftlich zumutbar sein.

► **Andere Regelungen zur Produktverantwortung, Pflichten der herstellenden Unternehmen sowie Produkt- und Produzentenhaftung:**

Neben der Verhältnismäßigkeit sind auch andere Rechtsvorschriften zur Produktverantwortung zu berücksichtigen. Diese werden nicht durch die Regelungen des KrWG verdrängt. Vielmehr bleiben diese weiterhin - gegebenenfalls neben den Regelungen zur Produktverantwortung aus § 23 KrWG - anwendbar. Andere Rechtsvorschriften aus dem öffentlichen Recht zur Produktverantwortung sind z.B. solche des Chemikalien- und des Gefahrstoffrechts. Die Produktverantwortung ist so umzusetzen, dass es nicht zu Konflikten mit den anderen Rechtsvorschriften der Produktverantwortung kommt. Neben dem öffentlichen Recht enthält auch das Zivilrecht Regelungen zur Produktverantwortung z.B. das Produkthaftungsgesetz und die Bestimmungen hinsichtlich des Gewährleistungsrechts beim Kauf.

► **Andere Rechtsvorschriften zum Schutz von Mensch und Umwelt:**

Auch die Wechselwirkungen mit anderen Rechtsvorschriften zum Umweltschutz sind zu berücksichtigen. Maßnahmen, die aus abfallwirtschaftlicher Sicht zielführend erscheinen, können sich ggf. auf andere Umweltziele negativ auswirken. Demnach bedarf es einer

Überprüfung und Bewertung aller Umweltbeeinträchtigungen, die von einem Produkt ausgehen können. Das gleiche gilt auch für den Verbraucherschutz.

► **Festlegungen des Gemeinschaftsrechts über den freien Warenverkehr:**

Bei jeder Maßnahme der Produktverantwortung müssen die europarechtlichen Grundsätze des freien Warenverkehrs und des Binnenmarkts berücksichtigt werden und spezielle Festlegungen des Gemeinschaftsrechts beachtet werden.

7.4.1 Verursachergerechte Zuordnung von Entsorgungskosten im Baubereich

In Verbindung mit den angeführten im KrWG gesetzten Rahmenbedingungen für Systeme der erweiterten Produktverantwortung gilt es zu prüfen, ob das Konzept einer verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten für den Bausektor möglich ist.

Mit Hilfe der Produktverantwortung können Entsorgungskosten verursachergerecht zugeordnet werden und damit kann dem Verursacherprinzip Rechnung getragen werden.

Entsorgungskosten fallen im Baubereich bei der Errichtung, während des Um-/Rückbaus und bei Sanierungen an. Derzeit erfolgt die Finanzierung der Entsorgung der in Bauwerken verwendeten Bauprodukte durch den oder die Bauverantwortliche des Rückbauvorhabens (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat und Bundesministerium der Verteidigung 2015, S. 65). Im Rahmen des Vorhabens sollte untersucht werden, inwieweit eine verursachergerechte Zuordnung von Entsorgungskosten möglich ist. Dabei kommen grundsätzlich unterschiedliche Maßnahmen für eine entsprechende Zuordnung in Betracht. So können Rücknahme- und Verwertungsanforderungen an die Produktverantwortlichen gestellt werden. Ebenso können Finanzierungspflichten für die Rücknahme durch Dritte etabliert werden.

Basis der Überlegungen, ob und wenn ja, wie man die Entsorgungskosten verursachergerecht zuordnen kann, ist jedoch die Frage, ob bei Bauprodukten eine Ermittlung des Verursachers/Produktverantwortlichen und damit eine Übertragung der Verantwortlichkeit auf diesen überhaupt möglich ist. Für den Bausektor gelten zudem bestimmte Rahmenbedingungen und Herausforderungen hinsichtlich der Zuordnung der Entsorgungskosten, die im Folgenden dargestellt werden. Es werden daher nachfolgend wesentliche Merkmale des Bausektors im Vergleich zu anderen Sektoren dargelegt, die eine Übertragung von Mechanismen aus anderen Systemen der erweiterten Produktverantwortung auf den Bausektor erschweren.

7.4.2 Merkmale des Baubereichs im Kontext der verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten

Es gibt es eine Vielzahl von Beteiligten, die im Laufe des Lebenszyklus von Bauprodukten Einfluss auf die Entsorgung und deren Kosten haben. Zu den Beteiligten gehören v.a. herstellende Unternehmen, Händler und Händlerinnen, Bauherrinnen und Bauherren sowohl des Bau- als auch des Renovierungs- oder Rückbauprojekts, Architekturschaffende / planende Personen bzw. Institutionen und Bau- sowie Rückbauunternehmen (siehe Kap. 3.1, Abbildung 5). Als (Weiter-)Verarbeiter der Bauprodukte kommen sie als mögliche direkte oder indirekte Verursacher von Entsorgungskosten von Bauprodukten in Frage. Die Zuteilung der Verantwortung für anfallende Entsorgungskosten ist aus verschiedenen Gründen schwierig. Im Folgenden werden diesbezügliche Merkmale und Herausforderungen skizziert.

► **Komplexität der Nutzung von Bauprodukten:**

Etablierte Systeme der Produktverantwortung konzentrieren sich vorwiegend auf die herstellenden und vertreibenden Unternehmen als Verantwortliche für Entsorgungskosten. Z.B. bei Verpackungen ist diese Herangehensweise sinnvoll, da das herstellende Unternehmen die Art der Nutzung und Entsorgung gut überblicken kann. Obwohl Produktdesign und Material eine wichtige Rolle spielen, lassen sich im Bausektor die herstellenden Unternehmen jedoch nicht ohne Weiteres als alleinige Verantwortliche für die Entsorgungskosten einordnen. Der Grund für die Problematik der Zuordnung von Verantwortlichkeiten für Entsorgungskosten im Bausektor liegt u.a. in der Komplexität und Individualität sowohl von Bauvorhaben im Ganzen als auch der spezifischen Verwendung von Bauprodukten. Während der Nutzung werden Bauprodukte in sehr unterschiedlicher Weise verarbeitet, fast immer werden sie mit variierenden anderen Produkten verbunden. Es gilt zu berücksichtigen, in welcher Art das Produkt hergestellt bzw. in Verkehr gebracht wird und in welcher Art oder Zusammensetzung das Produkt das Ende seines Lebenszyklus erreicht. Entscheidend ist weiterhin, wie viele verschiedene Beteiligte während des Lebenszyklus eines Produktes involviert sind. Wird ein Produkt, wie es bei vielen Bauprodukten der Fall ist, weiterverarbeitet, fest verbaut oder kommt in Kontakt mit anderen Produkten, ist es problematisch die direkte Verantwortlichkeit (herstellende Unternehmen, Bauverantwortliche, Rückbauunternehmen) sowie die direkten Kosten der Entsorgung allgemeingültig zu bestimmen.

► **Zeitspanne zwischen Inverkehrbringen und Entledigung des Produktes:**

Die Zeitspanne zwischen der Herstellung bzw. des Inverkehrbringens des Produktes und dem Zeitpunkt der Entledigung spielt bei einer verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten eine große Rolle. Die Verantwortlichkeit muss über diese Zeitspanne hinweg klar zuzuordnen und die Kosten realistisch kalkulierbar sein. Bei sehr kurzen Zeiträumen und verhältnismäßig wenigen beteiligten Akteurinnen und Akteuren (Beispiele: Verpackungen, Einwegkunststoffe) fällt eine Zuordnung der Kosten insofern leichter; handelt es sich um einen langen Zeitraum, der zwischen der Herstellung bzw. dem Inverkehrbringen des Produktes einerseits und dessen Entsorgung andererseits liegt und bei der eine Reihe von Beteiligten relevante Beiträge für den Zustand des Erzeugnisses im Zeitpunkt der Entledigung liefern, wird die Zuordnung der Entsorgungskosten erschwert. Zukünftige Kosten der Sammlung, des Recyclings oder der Entsorgungsverfahren können häufig nicht präzise in der Gegenwart vorhergesehen werden. Liegt die Lebensdauer, wie bei den beispielhaft betrachteten Bauteilen zwischen 40 (PVC-Fensterprofile) und bis zu 100 (Porenbeton) Jahren, wird nicht nur die Zuteilung der Verantwortlichkeiten über die lange Zeitspanne erschwert, sondern auch die genaue Abschätzung der Entsorgungskosten. Durch die lange Lebensdauer von Bauprodukten besteht außerdem das Risiko, dass das herstellende Unternehmen nicht mehr am Markt ist und daher keine Entsorgungskosten übernehmen kann. Darin liegt auch ein Unterschied zu anderen Rechtsbereichen, wie dem der Verpackungen oder Elektrogeräte in denen beispielsweise herstellende Unternehmen, die aktuell am Markt teilnehmen auch die Entsorgung von Produkten gewährleisten, die nicht von ihnen stammen und die als Abfall anfallen, während sie am Markt tätig sind. Die Kostenbelastung für die aktuellen Marktteilnehmer ist hier Ausdruck eines Generationenvertrages zugunsten der Allgemeinheit und der Umwelt. Diese Ausgangssituation ist jedoch nicht mit den überwiegenden Fällen im Baubereich vergleichbar, da aufgrund der erheblich längeren Lebensdauer der meisten Bauprodukte sich diese beispielsweise hinsichtlich Konstruktion und eingesetzter Stoffe oftmals erheblich

von den aktuell am Markt befindlichen Bauprodukten und damit auch ihrer Entsorgungsanforderungen (Verwertungsverfahren, Schadstoffausschleusung) unterscheiden. Bei der Umsetzung bestehender Konzepte der erweiterten Produktverantwortung spiegeln sich die Entsorgungskosten in der Regel im Verkaufspreis wider. Analog dazu könnte man für den Bausektor in Betracht ziehen, die Entsorgungskosten zumindest teilweise in den Verkaufspreis zu integrieren und sicherzustellen, dass das herstellende Unternehmen belangt werden kann, bevor er ggf. nicht mehr am Markt ist. Inwieweit das herstellende Unternehmen tatsächlich als Verursacher bezeichnet werden kann, bleibt aus oben beschriebenen Gründen jedoch diskussionswürdig. Eine weitere Herausforderung würde die Abschätzung der Entsorgungskosten zum Zeitpunkt des Rückbau-/Renovierungsvorhabens darstellen. Das Problem der großen Zeitspanne zwischen Produktion und Entsorgung wäre also nicht gänzlich beseitigt. Im Einzelfall können die Entsorgungskosten bei gut separierbaren Bauteilen mit kürzeren Lebensdauern (z.B. Teppichböden, Rollläden) zuverlässig beziffert werden. Diese Produkte sind im Baubereich aber eine absolute Ausnahme, da die meisten Produkte mit kurzen Lebensdauern sehr schlecht bzw. nicht separierbar sind (z.B. Bodenschutz und Beschichtungen, Tapeten, Außen- und Innenanstriche) (Ritter 2011). Für bereits separierte Bauteile ist eine Produktverantwortung im Sinne einer Verantwortung für die Entsorgungskosten des separierten Produkts grundsätzlich denkbar. Dabei muss das herstellende Unternehmen nicht unbedingt die Kosten für den Ausbau tragen. Die Initiative herstellender Unternehmen Rewindo (vgl. 5.2.1) z.B. stellt beispielsweise sicher, dass die betreffenden Fensterprofile nach dem Ausbau abholbereit sind oder angeliefert werden, ohne finanziell dafür aufzukommen. Dabei werden Annahmeveraussetzungen an den Zustand der ausgebauten Bauteile gestellt, z.B. müssen Fensterrahmen und -flügel komplett entglast und die Behälter frei von Restabfall sein.²²

Trotz der beschriebenen Herausforderungen ist nicht auszuschließen, dass ein funktionierendes Konzept zur verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten für den Baubereich entwickelt werden könnte. Allerdings kann ein solches Konzept aus den genannten Gründen nicht analog zu den bereits etablierten Systemen aufgebaut werden und müsste sich den beschriebenen grundlegenden Schwierigkeiten unter technischen, sozialen und ökonomischen Gesichtspunkten stellen. Auf Grund der Komplexität in der Nutzung und der Lebensdauer von Bauprodukten konnte nicht abschließend geklärt werden, auf welche Beteiligten die Verantwortung für die Entsorgungskosten verteilt werden kann.

²² Rewindo Annahmebedingungen: <https://rewindo.de/download/758/>

8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Eine funktionierende Kreislaufwirtschaft im Baubereich setzt aufeinander abgestimmte Maßnahmen und Lösungsansätze während des gesamten Lebenszyklus von Bauprodukten sowie den daraus entstehenden Bauwerken voraus. Innerhalb des oftmals sehr langen Lebenszyklus von Bauprodukten kann zwischen zwei wesentlichen Handlungsfeldern unterschieden werden:

- ▶ Wiedergewinnung von Sekundärrohstoffen aus dem Bauwerksbestand;
- ▶ Planung von ressourcenschonenden und recyclinggerechten Neubauten.

Die in diesem Bericht entwickelten produktspezifischen Modelle sowie die allgemeingültigeren Lösungsvorschläge sind vornehmlich dem ersten Handlungsfeld zuzuordnen. Wichtige Maßnahmen und Lösungsansätze im Rahmen des zweiten Handlungsfeldes (z.B. recyclinggerechtes Produktdesign, nachhaltige Planung und Errichtung von Bauwerken; siehe hierzu auch Kap. 3.2) sind unbedingt mit den diskutierten Maßnahmen in Einklang zu bringen bzw. miteinander abzustimmen, um keine unerwünschten Wechselwirkungen zu verursachen.

Die im Rahmen dieses Berichts erarbeiteten Modelle zur Stärkung des Recyclings sowie zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien zielen primär auf zwei bestimmte Phasen im Lebenszyklus ab. Dies ist zum einen die Entnahme oder Demontage von Bauprodukten während der Nutzungsdauer eines Bauwerks oder beim Abbruch bzw. Rückbau desselben. Zum anderen fokussieren sich die produktspezifischen Maßnahmen und daraus abgeleiteten Lösungsvorschläge auf die Wiedereinbringung von Materialien oder Abfällen in einen neuen Produktkreislauf und die dafür notwendigen Sammel- und Recyclingprozesse. Die vertikale sowie horizontale Integration der in den Modellen betrachteten Lebenszyklusphase stellt einen wichtigen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft dar. Es handelt sich hierbei nämlich um einen Phasen- bzw. Systemübergang – von Lebensende zu Lebensanfang bzw. von Bauwerk zu Bauprodukt –, der grundsätzlich durch Schwierigkeiten beim Material- und Informationsfluss charakterisiert ist.

Die beispielhaften Erörterungen für die drei Produkte bzw. Materialien PVC-Fensterprofile, Flachglas aus Fenstern und Porenbeton sowie die darauf aufbauenden Diskussionen im Rahmen der Modellentwicklung können als Nachweis angeführt werden, dass geeignete Maßnahmen und konkrete Lösungsvorschläge im Baubereich vorwiegend produkt- oder gar anwendungsfallspezifisch sind. Diese Erkenntnis zeigt sich zum einen in den unterschiedlichen Hemm- und Förderfaktoren für eine Stärkung des Recyclings und den Einsatz von Sekundärrohstoffen in neuen Bauprodukten. Zum anderen sind diese Faktoren ein Abbild der derzeitigen Entsorgungssituation, welche je nach Produkt- oder Materialstrom unterschiedlich aussieht. Produktübergreifend konnten anhand der ausgewählten Produkte und Materialien typische Problem- und Handlungsfelder im Rahmen einer Stärkung des Recyclings im Baubereich erfasst und diskutiert werden. Dies sind u.a.:

- ▶ Unklarheiten bzgl. des Erreichens des Endes der Abfalleigenschaft;
- ▶ Fehlende Sammel- und Recyclingstrukturen;
- ▶ Eintrag von Schadstoffen in neue Produktkreisläufe;
- ▶ Akzeptanzprobleme hinsichtlich des Einsatzes von Sekundärrohstoffen;

- ▶ Unzureichende Sortenreinheit von Abfällen;
- ▶ Konkurrenz zu anderen Entsorgungswegen;
- ▶ Preisstrukturen von Sekundärrohstoffen im Vergleich zu Primärrohstoffen;
- ▶ Anforderungen an die chemische Zusammensetzung der Sekundärrohstoffe.

Die genannten Problem- bzw. Handlungsfelder treffen neben den erörterten Produkt- und Materialbeispielen auch auf eine Vielzahl weiterer Bauprodukte zu, sodass eine Übertragbarkeit von Maßnahmen, die zur Lösung der genannten Aspekte beitragen können, möglich ist. Daher wurden anhand von typischen Produkteigenschaften neun Lösungsvorschläge mit allgemeingültigem Charakter für Bauprodukte erarbeitet. Die Lösungsvorschläge betreffen dabei sowohl die Stärkung des Recyclings (Angebotsseite) als auch die Steigerung der Verwendung von Rezyklaten im Bausektor (Nachfrageseite) oder adressieren die Verwendung unter Berücksichtigung von ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten. Anschließend fand eine Priorisierung der Lösungsvorschläge im Hinblick auf ihre Machbarkeit und ihren Beitrag zur Zielerreichung statt.

Aus den identifizierten Problem- bzw. Handlungsfeldern können abschließend zwei Aspekte hervorgehoben werden, die die Grenzen des Recyclings maßgeblich bestimmen:

- ▶ Die Finanzierung von bestimmten Recyclingtätigkeiten, für die es derzeit keine marktlichen finanziellen Anreize (z.B. separate Behandlung von geringfügigen Abfallmengen) gibt;
- ▶ Der Zielkonflikt zwischen einer progressiven Umsetzung der Kreislaufwirtschaft und einer effektiven Schadstoffausschleusung.

Anhand des erörterten Beispiels des PVC-Altfensterrecyclings konnte gezeigt werden, dass ein Recycling sowie die Wiedereinbringung von Abfällen in einen Produktkreislauf nur dann stattfindet, wenn ein finanzieller Anreiz im Markt etabliert ist (vgl. Wahlström et al. (2020, S. 3)). Dieser Umstand ist u.a. darin begründet, dass sich finanzielle Vorteile vieler Maßnahmen erst mit einem signifikanten Zeitversatz niederschlagen und die eigentlichen Initiatoren davon oftmals nicht profitieren können (Wahlström et al. 2020, S. 3).

Bei der verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten im Rahmen von Maßnahmen der Produktverantwortung ist eine entscheidende Frage die nach der inhaltlichen Gerechtigkeit in einem Umfeld, das Produkte mit verschiedener Lebensdauer und einer Vielzahl möglicher Beteiligter umfasst. Bei der Identifikation und Beurteilung von weiteren Merkmalen des Baubereichs – neben der Komplexität der Nutzung von Bauprodukten und der Zeitspanne zwischen Inverkehrbringen und Entledigung des Produktes – wird weiterer Forschungsbedarf gesehen. Einzelne Elemente der abfallrechtlichen Produktverantwortung, wie Rücknahmeanforderungen, die recyclinggerechte Konstruktion, die Kennzeichnung schadstoffhaltiger Erzeugnisse oder der Einsatz von Rezyklaten, können jedoch wichtige Beiträge zur Stärkung des Recyclings und zum Einsatz von Sekundärrohstoffen liefern.

Eine der drängendsten Fragen der Kreislaufwirtschaft ist aktuell die nach der Präsenz von sog. „legacy substances“ (siehe auch Kap. 5.1.1.5), also Stoffen, die in Erzeugnissen rechtmäßig in Verkehr gebracht wurden, zum Zeitpunkt des Endes des Lebenszyklus allerdings nicht mehr verwendet werden dürfen (etwa angesichts besserer Erkenntnisse über Stoffeigenschaften oder Möglichkeiten der Substitution). Hier ist im Frühjahr 2020 – im Bereich eines Bauprodukts, dessen spezifisches Umfeld in diesem Bericht untersucht wurde, nämlich bei PVC mit Blick auf

die mögliche Präsenz des früher rechtskonform als Stabilisator eingesetzten Bleis – offenkundig der Versuch gescheitert, auf europäischer Ebene einen Konsens zur Ausbalancierung der Interessen an Ressourceneffizienz einerseits und Schadstoffausschleusung andererseits herzustellen. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass Anforderungen an die Schadstofffreiheit von Produkten auch weiterhin eine überragende Rolle bei der Realisierung der Kreislaufwirtschaft spielen.

In diesem Zusammenhang wird nochmals deutlich, dass die Stärkung des Recyclings und der Einsatz von Sekundärrohstoffen in neuen Bauprodukten kein Selbstzweck sind. Sie dienen auch nicht ausschließlich der Erfüllung von Quoten oder sonstigen Anforderungen. Die Grundvoraussetzung für jegliche Intensivierung von Recyclingaktivitäten im Baubereich muss die Gewährleistung des Schutzes von Mensch und Umwelt sein. Im Einzelfall kann daher eine Abweichung von den grundsätzlichen Zielen der Abfallwirtschaft sinnvoll sein, was wiederum nur mithilfe von fallspezifischen Untersuchungen gestützt werden kann (v.a. ökobilanzielle Untersuchungen). Eine grundsätzliche Offenheit für alternative Kreisläufe außerhalb von Produktgrenzen ist daher in bestimmten Fällen empfehlenswert. Industrielle Symbiosen sind daher eine Möglichkeit zur Stärkung des Recyclings, indem Abfälle und Nebenprodukte der Bauindustrie als Rohstoffe für andere Industriebereiche dienen (Wahlström et al. 2020).

Neben den systematisch hergeleiteten und methodisch abgesicherten produktspezifischen Maßnahmen sowie allgemeinen Lösungsvorschlägen wurden im Rahmen des Vorhabens bei Fachgesprächen und Begleitkreissitzungen weitere Ansatzpunkte diskutiert, die zur Stärkung des Recyclings im Baubereich beitragen können:

- ▶ Stärkung der Interaktion und Zusammenarbeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette zwischen den direkt beteiligten Akteurinnen und Akteuren, der Politik und relevanten Institutionen oder Initiativen;
- ▶ Berücksichtigung von anwendungsfallspezifischen Expositionsszenarien bei der Festsetzung von Grenzwerten für Schadstoffgehalte;
- ▶ Stimulation eines gesellschaftlichen Konsenses über die Wichtigkeit des Recyclings und somit eine gesteigerte öffentliche Nachfrage und Akzeptanz.

Diese Ansatzpunkte markieren weiteren Forschungsbedarf bzw. könnten weitergehend erörtert werden.

Literaturverzeichnis

Agethen, Ulrich; Frahm, Karl-Joachim; Renz, Konrad; Thees, Erik Peter (2015): Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte. Bund Technischer Experten e.V.

Alandjiyska, Maia (2003): Verfahren zur Abtrennung von toxischen Schwermetallionen aus Abwässern. Veröffentlichungsnr: DE10314416B4.

Ankele, Kathrin; Steinfeldt, Michael (1996): Ökobilanz für typische YTONG-Produktanwendungen. Hg. v. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. Berlin (Schriftenreihe des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung IÖW, 105/96).

Balck, Henning; Lützkendorf, Thomas (2015): Lebenszyklusorientierte Produktinformationen. Hg. v. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart (Forschungsinitiative Zukunft Bau F).

Bardt, Hubertus (2006): Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung von Sekundärrohstoffen. IW-Trends - Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung. Institut der deutschen Wirtschaft (IW. Köln.

Baunetz Wissen (o. J.): Einscheibensicherheitsglas (ESG). Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/glas/fachwissen/funktionsglaeser/einscheibensicherheitsglas-esg-159097>, zuletzt geprüft am 03.02.2020.

BBS (2018): Kreislaufwirtschaft Bau. Mineralische Bauabfälle Monitoring 2016. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2016. Hg. v. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V.

BBSR (2017): Materialströme im Hochbau. Potenziale für eine Kreislaufwirtschaft. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bonn (Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis, Band 06).

Berg, Alexander (2014): Schadstoffe in Innenräumen und an Gebäuden. Erfassen, bewerten, beseitigen. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Köln: Rudolf Müller.

Bergmans, J.; Nielsen, P.; Snellings, R.; Broos, K. (2016): Recycling of autoclaved aerated concrete in floor screeds: Sulfate leaching reduction by ettringite formation (Construction and Building Materials, Vol. 111).

Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (2006): DGUV Regel 101-004 Kontaminierte Bereiche. Sachgebiet „Sanierung und Bauwerksunterhalt“, Fachbereich „Bauwesen“ der DGUV.

Betram, Heinz-Ulrich (2018): Ein Blick zurück nach vorn, Tagungsbeitrag in Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 5.

BiPRO (2015): Study to assess possibility of granting a derogation given to specific types of plastic and rubber waste in the EU waste list. European Commission.

Bischoff, Gert; Eden, Wolfgang; Gräfenstein, Robert; Heidger, Clemens; Kurkowski, Harald; Middendorf, Bernhard (2014): Vegetationssubstrate aus rezyklierten Gesteinskörnungen aus Mauerwerk. Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V. Hannover (Forschungsbericht Nr. 116).

Borgmann, Andreas; Friege, Henning; Zeschmar-Lahl, Barbara (2019): Gefährliche Stoffe in der "Circular Economy": II. Cadmium in PVC-Fensterprofilen. In: *Müll und Abfall* (01).

Bruns, Norbert (2019): 1. Fachgespräch im Rahmen des Vorhabens. Berlin, 09.05.2019. mündlich.

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2019): Bundesregierung treibt Digitalisierung des Bauens voran. Pressemitteilung des BMI. Online verfügbar unter <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/DE/2019/06/kompetenzzentrum-digitales-bauen.html>, zuletzt geprüft am 31.10.2019.

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat; Bundesministerium der Verteidigung (2015): Baufachliche Richtlinien Recycling. Arbeitshilfen zum Umgang mit Bau- und Abbruchabfällen sowie zum Einsatz von Recycling-Baustoffen auf Liegenschaften des Bundes. Berlin.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2018): Richtlinie zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Thema „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Bauen und Mineralische Stoffkreisläufe (ReMin)“ im Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltige Entwicklung – FONA³. Bekanntmachung im Bundesanzeiger. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-2199.html>, zuletzt geprüft am 31.10.2019.

Bundesministerium für Finanzen (2019): 27. Subventionsbericht des Bundes. Fassung vom 06.11.2019. Hg. v. Bundesministerium für Finanzen (BMF). Berlin.

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Österreich (2019): Energie- und Ressourceneinsparung durch Urban Mining-Ansätze. Online verfügbar unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/berichte/schriftenreihe_2019-14_urban-mining.pdf.

Bundesverband Porenbetonindustrie (2018): Porenbeton Handbuch. Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. Berlin.

Bunzel, Jörg-Michael; Wilczek, Marco (2016): Industrielles Recycling von gipshaltigen Abfällen – Betriebserfahrungen und Produktqualität der Aufbereitungsanlage in Großpösna/Störmthal. Tagungsbeitrag in Mineralische Nebenprodukte und Abfälle. Thome-Kozmiensky Verlag GmbH. Online verfügbar unter https://www.vivis.de/wp-content/uploads/MNA3/2016_MNA_487-498_Bunzel.pdf.

BV Glas (o. J.): Flachglas. Online verfügbar unter <https://www.bvglas.de/ueber-glas/die-branchen/flachglas/>, zuletzt geprüft am 03.02.2020.

BV Glas (2014): Leitlinie Qualitätsanforderungen an Glasscherben zum Einsatz in der Behälterglasindustrie, Standardblatt T 120. Hg. v. Bundesverband der Glasindustrie e.V., BDE Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e.V. und bvse-Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.

BV Glas (2019): Altglasaufbereitungsanlagen und Glashütten in Deutschland. Online verfügbar unter

https://www.glasaktuell.de/media/Glasaktuell_Downloads/Standortkarte/BehGlasHerst_Glasaufbereitung.pdf, zuletzt geprüft am 03.02.2020.

Conversio (2018a): Analyse der PVC-Produktion, Verarbeitungs-, Abfall- und Verwertungsströme in Deutschland 2017. Online verfügbar unter https://newsroom.kunststoffverpackungen.de/wp-content/uploads/2018/10/PVC_Analyse_D_2017_Kurzfassung.pdf, zuletzt aktualisiert am 04.04.2019.

Conversio (2018b): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017. Online verfügbar unter <https://www.bkv-gmbh.de/infothek/studien.html>.

Conversio (2019): Abfallmengenszenario für PVC-Fenster & verwandte Produkte 2018.

Destatis (2018): Bauen und Wohnen. Baugenehmigungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach überwiegend verwendetem Baustoff, Lange Reihen ab 1980. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Bautaetigkeit/baugenehmigungen-baustoff-pdf-5311107.html>, zuletzt geprüft am 29.05.2019.

Destatis (2019): Umwelt. Abfallentsorgung 2017. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallentsorgung-2190100177004.pdf;jsessionid=4BE8719F9216B3811A625F48610C58F7.internet732?_blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 31.03.2020.

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) (2020): Technische Baubestimmungen. Online verfügbar unter <https://www.dibt.de/de/wir-bieten/technische-baubestimmungen/>.

Dittrich, Sebastian (2019): Private Kommunikation mit lokalen Bauschutt aufbereitern, 2019.

Dittrich, Sebastian; Thome, Volker; Nühlen, Jochen; Gruna, Robin; Dörmann, Joseph (2018): BauCycle – Verwertungsstrategie für feinkörnigen Bauschutt (Bauphysik, Vol. 40, Issue 5).

Eden, Wolfgang; Kurkowski, Harald; Lau, Jens-Jürgen; Middendorf, Bernhard (2015): Bioaktivierung von Porenbeton- und Kalksandstein-Recyclinggranulaten mit Methan oxidierenden Bakterien zur Reduktion von Methan ausgasungen aus Hausmülldeponien – ein Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz – Methanox II. Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V. Hannover (Forschungsbericht Nr. 117).

Elsner, H. (2018): Sand – Auch in Deutschland bald knapp? BGR, DERA, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover.

EPPA (2018): UPVC Window Profiles containing Recyclate. Factsheet on the use of recyclates in UPVC window profile systems. Online verfügbar unter https://www.gkfp.de/fileadmin/gkfp/inhalte_2018/Ver%C3%B6ffentlichungen/EPPA_Factsheet_recyclates_in_UPVC_window_profile_systems.pdf, zuletzt geprüft am 24.05.2019.

EU (2012): Verordnung 1179/2012 der Kommission vom 10. Dezember 2012, Artikel 3.

European Chemical Agency (ECHA) (ohne Jahr): Liste der für eine Zulassung in Frage kommenden besonders besorgniserregenden Stoffe. Online verfügbar unter <https://echa.europa.eu/de/candidate-list-table>.

European Commission (2000): GRÜNBUCH zur Umweltproblematik von PVC.

European Commission (2019): Removal of Legacy Substances from polyvinylchloride (PVC) via a continuous and sustainable extrusion process. Online verfügbar unter <https://cordis.europa.eu/project/rcn/223266/factsheet/en>, zuletzt geprüft am 30.07.2019.

European Commission (2020): Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf, zuletzt geprüft am 07.04.2020.

Fensterversand (o. J.): Brandschutzglas – für Feuerwiderstand und Sicherheit. Neuffer Fenster + Türen GmbH. Online verfügbar unter <https://www.fensterversand.com/info/verglasung/brandschutzverglasung.php>, zuletzt geprüft am 03.02.2020.

Figeac, Alexis (2019): REHAU AG + CO (& POLYSECURE GMBH). A Circular Economy Business Model Case. Online verfügbar unter http://www.r2piproject.eu/wp-content/uploads/2019/06/Rehau-Case-Study_1.pdf.

Flachglas Markenkreis (2009): Sonnenschutzgläser - Für bestes Klima und viel Transparenz. 08/2009. Flachglas Markenkreis.

Fraunhofer Allianz BAU (2012): Bauen für die Zukunft - Zukunft für den Bau. Valley.

Friege, Henning; Zeschmar-Lahl, Barbara; Borgmann, Andreas (2018): Managing Cd Containing Waste—Caught by the Past, the Circular Economy Needs New Answers. In: *Recycling* 3 (2), S. 18. DOI: 10.3390/recycling3020018.

Glashütte Lamberts (2018): Produktion. Online verfügbar unter <https://www.lamberts.de/produktion/bilder-impressionen/>, zuletzt geprüft am 03.02.2020.

Glass for Europe (GfE) (2013): The smart use of glass in sustainable buildings. Online verfügbar unter <http://www.glassforeurope.eu/wp-content/uploads/2018/04/The-smart-use-of-glass-in-sustainable-buildings.pdf>, zuletzt geprüft am 19.02.2020.

Haeming, Hartmut (2018): Deponiesituation in Deutschland: Engpässe, Restlaufzeiten und Planungen zum Neubau, Tagungsbeitrag in Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 5. Thome-Kozmiensky Verlag GmbH.

Hamidovic, Jasna (1997): Industrielle Konzepte zum Altglasrecycling. Eine technisch-wirtschaftliche Analyse unter besonderer Berücksichtigung der Situation in Baden-Württemberg. Frankfurt am Main: Peter Lang GmbH Europa, Verlag der Wissenschaften.

Heitmann, Benedikt (2019): Glasrecycling heute und morgen – Stand der Technik und wirtschaftliche Betrachtung. Präsentation im Rahmen eines Fachgespräches vom 09.05.2019 am Umweltbundesamt Berlin, 2019.

Hlawatsch, F.; Aycil, H.; Kropp, H. (2016): Hochwertige Verwertungswege für Porenbetonbruch in Mörteln und Leichtsteinen für Mauerwerk. TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky. Neuruppin (Mineralische Nebenprodukte und Abfälle, Band 3).

Hlawatsch, F.; Kropp, H. (2008): Leichtmörtelsteine aus feinen Porenbetongranulaten. Baustoffrecycling BR (Heft 4).

ifeu (2016): Urban Mining. Stofffluss- und Akteursmodell als Grundlage für ein aktives Ressourcenmanagement im Bauwesen von Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <https://www.ifeu.de/projekt/urban-mining-stofffluss-und-akteursmodell-fuer-baden-wuerttemberg/>, zuletzt geprüft am 30.07.2019.

Initiative der Glasrecycler (2019): Glasrecyclingtag 2019: Altglas trennen leicht gemacht! Online verfügbar unter https://www.was-passt-ins-altglas.de/media/was-passt-ins-altglas/Presse/190910_Glasrecyclingtag_2019.pdf, zuletzt geprüft am 16.11.2019.

KNBau (2018): Schonung natürlicher Ressourcen durch Materialkreisläufe in der -Bauwirtschaft. Kommission Nachhaltiges Bauen am Umweltbundesamt (KNBau). Dessau-Roßlau.

Kreft, Oliver (2016): Closed-loop recycling of autoclaved aerated concrete / Geschlossener Recyclingkreislauf für Porenbeton. In: *Mauerwerk* 20 (3), S. 183–190.

Kreft, Oliver (2019a): Gespräch im Rahmen eines Fachgespräches vom 09.05.2019 am Umweltbundesamt Berlin, 2019.

Kreft, Oliver (2019b): Gespräch im Rahmen eines Fachgespräches vom 21.08.2019 am Umweltbundesamt Berlin, 2019.

Kreft, Oliver (2020): Telefonat zum aktuellen Stand bzgl. der Einstufung von Porenbeton durch die Umweltbehörde Hamburg, 2020. telefonisch an Sebastian Dittrich.

Kriesel, Laura (2015): Das Ende der Abfalleigenschaft nach Art. 6 Abfallrahmenrichtlinie i. V. m. § 5 Kreislaufwirtschaftsgesetz als wirkungsvoller Beitrag zur Ressourcenschonung. Haben sich die Voraussetzungen dieser Normen in der Praxis bewährt? Hessische Hochschule für Polizei und Verwaltung -Fachbereich Verwaltung. Online verfügbar unter https://www.hfpv.de/sites/default/files/public-type-files/Das_Ende_der_Abfalleigenschaft_Kriesel.pdf, zuletzt geprüft am 16.11.2019.

Lahl, Uwe; Zeschmar-Lahl, Barbara (1997): PVC-Recycling - Anspruch und Wirklichkeit.

Luther, Wolfgang (Hg.) (2009): Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen. Band 7 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech. Berlin, New York: Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung.

Martens, Hans (2011): Recyclingtechnik. Fachbuch für Lehre und Praxis. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10422276>.

Materialarchiv (2016): Guss- und Walzglas. Online verfügbar unter <http://www.materialarchiv.ch/detail/290#/detail/290/gussglas-in-bearbeitung>, zuletzt geprüft am 03.02.2020.

Meetz, Michael; Mettke, Angelika; Lisenmeier, Birgit; Schmidt, Stephanie; Verheyen, Frank (2015): Brandenburger Leitfaden für den Rückbau von Gebäuden - Steigerung der Ressourceneffizienz des Recyclings von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen.

Mercea, Peter Viktor; Losher, Christoph; Petrasch, Marcus; Toşa, Valer (2018): Migration of stabilizers and plasticizer from recycled polyvinylchloride. In: *J Vinyl Addit Technol* 24, E112-E124. DOI: 10.1002/vnl.21609.

Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 23: Vollzugshilfe zur Entsorgung asbesthaltiger Abfälle. Überarbeitung: Stand Juni 2015.

Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 34: Vollzugshinweise zur Gewerbeabfallverordnung. Anforderungen an Erzeuger und Besitzer von gewerblichen Siedlungsabfällen, sowie bestimmten Bau- und Abbruchabfällen, an Betreiber von Vorbehandlungs- und Aufbereitungsanlagen. (11. Februar 2019).

Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen - Technische Regeln - Allgemeiner Teil.

Müller, Anette (2018): Baustoffrecycling. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Nölle, Günther (2009): Technik der Glasherstellung. 3. überarbeitete Auflage. Stuttgart: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.

PE Europe (2004): Ökobilanzierung von PVC und wichtigen Konkurrenzwerkstoffen. Online verfügbar unter http://www.oekoeffizienz.at/d/82223-pvc-extended_summary_lca-DE_final.pdf, zuletzt geprüft am 04.04.2019.

Pfnür, Andreas; Winiewska, Bernadette; Oschatz, Bert; Mailach, Bettina (2016): Dezentrale vs. zentrale Wärmeversorgung im deutschen Wärmemarkt. Vergleichende Studie aus energetischer und ökonomischer Sicht. Darmstadt.

QKE e.V. (2016): Qualitätsverband Kunststoffherzeugnisse initiiert Normungsvorhaben "Controlled Loop PVC Recycling von Kunststofffenstern". In: *Bauelemente Bau* 11, S. 18.

QKE e.V.; EPPA (2016): Umweltproduktdeklaration. Kunststofffenster aus PVC-U mit den Maßen 1,23 x 1,48 m und einer 2-Scheiben-Isolierverglasung.

Recio, Jose Maria Baldasano; Narvarez, Rene Parra; Guerrero, Pedro Jimenez (2005): Estimate of energy consumption and CO2 emission associated with the production, use and final disposal of PVC, aluminium and wooden windows. Barcelona.

REMADYL (2020): Project. Objectives. Online verfügbar unter <http://www.remadyl.eu/project/objectives/>, zuletzt geprüft am 17.06.2020.

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

Rewindo (o.J.a): Recycling-Service. Online verfügbar unter <https://www.rewindo.de/rewindo-recycling-service/index.html>, zuletzt geprüft am 23.05.2019.

Rewindo (o.J.b): Übersicht regionale Annahmestellen. Online verfügbar unter <https://rewindo.de/recycler-und-annahmestellen/>, zuletzt geprüft am 11.02.2020.

Rewindo (2018): Best Practice fuer die Umwelt. Werkstoffliches recycling von PVC-Bauprodukten. Online verfügbar unter <https://www.rewindo.de/rewindo-downloads/index.html>, zuletzt geprüft am 23.05.2019.

Ritter, Frank (2011): Lebensdauer von Bauteilen und Bauelementen - Modellierung und praxisnahe Prognose. Dissertation. Technische Universität, Darmstadt. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:tuda-tuprints-26492>, zuletzt geprüft am 19.06.2020.

RIVM (2016): Plastics that contain hazardous substances: recycle or incinerate?

Rose, Ansgar; Sack, Norbert; Nothacker, Klemens; Gassman, Andrea (2019): Recycling von Flachglas im Bauwesen. Analyse des Ist-Zustandes und Ableitung von Handlungsempfehlungen. ift Rosenheim. Rosenheim.

Rübner, Katrin (2013): Stoffkreislauf im Mauerwerksbau - Nachhaltigkeitsanalyse für das Mauerwerksrecycling. Online verfügbar unter <https://www.tib.eu/de/suchen/id/tema%3ATEMA20140709901/Stoffkreislauf-im-Mauerwerksbau-Nachhaltigkeitsanalyse/>.

Sack, Norbert (2017): Recycling von Flachglas im Bauwesen – Analyse des Ist-Zustandes und Ableitung von Handlungsempfehlungen. bvse Jahrestagung 12. - 14. September 2017. ift Rosenheim. Online verfügbar unter https://eventseite.bvse.de/images/Jahrestagung2017/Vortraege/bvse_Sack_Glas_Potsdam.pdf, zuletzt geprüft am 29.10.2019.

Schiller, Michael; Everard, Mark (2013): Metals in PVC stabilization considered under the aspect of sustainability - one vision. In: *J Vinyl Addit Technol* 19 (2), S. 73–85. DOI: 10.1002/vnl.20328.

Schmidmeyer, Stefan (2019): Gespräch im Rahmen eines Fachgespräches vom 21.08.2019 am Umweltbundesamt Berlin, 2019.

Schober, G. (2020): Porenbeton-Expertenworkshop. Holzkirchen, 2020. persönliches Gespräch.

Spies, Frank; Przybilla, Arne (2019): ECO.PROFILE – Nachhaltige Extrusion. Abschlussbericht im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms. Hg. v. aluplast GmbH. Online verfügbar unter <https://www.umweltinnovationsprogramm.de/projekte/ecoprofile-nachhaltige-extrusion>, zuletzt geprüft am 18.06.2020.

Staatlichen Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg (2001): Richtlinie für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden (Asbest-Richtlinie). Fassung Januar 1996 (Vom 04. Februar 1997 (GABl. S. 226)). Online verfügbar unter http://gewerbeaufsicht.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/16493/6_2.pdf.

Stichnothe, Heinz; Azapagic, Adisa (2013): Life cycle assessment of recycling PVC window frames. In: *Resources, Conservation and Recycling* 71, S. 40–47. DOI: 10.1016/j.resconrec.2012.12.005.

Streck, Stefanie (2011): Wohngebäudeerneuerung. Nachhaltige Optimierung im Wohnungsbestand. Berlin, Heidelberg: Springer.

The Natural Step (2018): Legacy additives in rigid PVC and progress towards sustainability. A closer look at recycling and the circular economy in Europe.

Umweltbundesamt (2012a): Ermittlung des Beitrages der Abfallwirtschaft zur Steigerung der Ressourcenproduktivität sowie des Anteils des Recyclings an der Wertschöpfung unter Darstellung der Verwertungs- und Beseitigungspfade des ressourcenrelevanten Abfallaufkommens. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2012b): Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2013): Optimierung des Rückbaus/Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2015a): Ermittlung von potentiell POP-haltigen Abfällen und Recyclingstoffen. Ableitung von Grenzwerten. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_34_2015_ermittlung_von_potenziell_pop_haltigen_abfaellen.pdf.

Umweltbundesamt (2015b): Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2015c): Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2015d): Umwelt- und gesundheitsverträgliche Bauprodukte. Ratgeber für Architekten, Bauherren und Planer. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2016a): Entwicklung von Instrumenten und Massnahmen zur Steigerung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2016b): Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2016c): Stoffstrommanagement im Bauwesen. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining/stoffstrommanagement-im-bauwesen#textpart-1>, zuletzt geprüft am 04.04.2019.

Umweltbundesamt (2017a): Urban Mining. Ressourcenschonung im Anthropozän. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2017b): Urban Mining. Ressourcenschonung im Anthropozän.

Umweltbundesamt (2018): Rechtliche Regelungen für Bauprodukte. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaftskonsum/produkte/bauprodukte/rechtliche-regelungen-fuer-bauprodukte#textpart-2>, zuletzt geprüft am 26.02.2019.

Umweltbundesamt (2019a): Flachglas. Factsheet. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/factsheet_fla chglas_fi_barrierefrei.pdf, zuletzt geprüft am 16.11.2019.

Umweltbundesamt (2019b): Glas und Altglas. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehelter-abfallarten/glas-altglas#textpart-1>, zuletzt geprüft am 29.05.2019.

Umweltbundesamt (2019c): Hemmnisse und Potenziale zur Ressourceneffizienzsteigerung durch Optimierung regionaler und lokaler Stoffkreisläufe und Stoffströme - RegioRess. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2019d): Positionspapier zur Primärbaustoffsteuer.

Umweltbundesamt (2019e): Recycling: Verbesserungsbedarf bei Kunststoffabfällen. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/recycling-verbesserungsbedarf-bei>, zuletzt geprüft am 25.10.2019.

Umweltbundesamt (2020): Grundlagen und Empfehlungen zur Beschreibung der Rückbau-, Nachnutzungs- und Entsorgungsphase von Bauprodukten in Umweltproduktdeklarationen. Ein Leitfaden für Bauproduktindustrie und Normungsgremien zur Ausgestaltung der Module C und D in EPD und PCR.

VDI (2014): Potenziale eines hochwertigen Recyclings im Baubereich. VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 8.

VDI (2016): Thesen und Handlungsfelder. Gebäude 2025. Online verfügbar unter https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/ueber_uns/fachgesellschaften/GBG/d ateien/Bauen-und-Gebaeudetechnik-Thesen-und-Handlungsfelder-Gebaeude-2025.pdf.

Vetter, Michael (2019): PVC-Fensterrecycling. Lückenschluss und Impulsgeber in der Wertschöpfungskette. Präsentation im Rahmen des Fachgesprächs vom 09.05.2019.

VFF; Bundesverband Flachglas (2017): Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern. Online verfügbar unter https://www.window.de/fileadmin/redaktion_window/vff/docs_und_pdf/VFF-BF_Studie_Mehr_Energie_sparen_mit_neuen_Fenstern_2017-09.pdf.

VinylPlus (2015): PVC-Recycling-Technologien. Online verfügbar unter https://vinylplus.eu/uploads/2015-12-08_Recycling-Technologies-German.pdf.

VinylPlus (2019a): Das VinylPlus Product Label. Online verfügbar unter https://productlabel.vinylplus.eu/wp-content/uploads/2019/05/PLB_DE_DIGITAL4.pdf, zuletzt geprüft am 31.07.2019.

VinylPlus (2019b): REMADYL, EU Circular Economy's development contributor. Online verfügbar unter <https://vinylplus.eu/mediaroom/81/55/VinylPlus-Joins-REMADYL-an-EU-project-to-contribute-to-the-development-of-the-EU-Circular-Economy-Package>, zuletzt geprüft am 30.07.2019.

Wahlström, M.; Bergmans, J.; Teittinen, T.; Bachér, J.; Smeets, A.; Paduart, A. (2020): Construction and Demolition Waste: challenges and opportunities in a circular economy. Hg. v. European Topic Centre Waste and Materials in a Green Economy. European Environment Agency.

Walberg, Dietmar; Brosius, Oliver; Schulze, Thorsten; Cramer, Antje (Hg.) (2015): Massiv- und Holzbau bei Wohngebäuden. Vergleich von massiven Bauweisen mit Holzfertigbauten aus kostenseitiger, bautechnischer und nachhaltiger Sicht. Arbeitsgemeinschaft für Zeitgemäßes Bauen. Kiel: Arbeitsgemeinschaft für Zeitgemäßes Bauen (Bauforschungsbericht, 68).

Xella (2015): Ytong zu schade für die Deponie. Hg. v. Pressemitteilung der Xella Deutschland GmbH. Online verfügbar unter https://www.xella.com/de/pressemitteilungen_1158.php?PRESSRELEASEID=479&PRESSCONTENTID=560, zuletzt geprüft am 29.05.2019.

A Begriffsglossar

Tabelle 48: Definitionen zu allgemein gültigen Begriffen sowie Begriffe im Kontext dieses Vorhabens

Begriff	Definition
A:	
Abfall	Stoffe oder Gegenstände deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss (§ 3 KrWG Abs. 1)
Abfallhierarchie	Grundsatz der Abfallbewirtschaftung, verteilt auf fünf Maßnahmen (absteigende Priorität): „Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung und Beseitigung“ (Siehe § 6 KrWG und Kap. 2.1.2)
Aufbereitung	Aufbereitung erfolgt bei mineralischen Bau- und Abbruchabfällen in Aufbereitungsanlagen. Dies sind stationäre oder mobile Anlagen, in welchen aus mineralischen Bau- und Abbruchabfällen definierte Gesteinskörnungen hergestellt werden, insbesondere durch Sortierung, Zerkleinerung und Klassierung. (vgl. § 2 Abs. 5 GewAbfV)
B:	
Besitzer von Abfällen	Jede natürliche oder juristische Person, die die tatsächliche Sachherrschaft über Abfälle hat (§ 3 Abs. 9 KrWG).
Bereitstellung (von Bauprodukten)	Nach der Legaldefinition des Art. 2, Ziffer 16 bedeutet Bereitstellen auf dem Markt jede entgeltliche oder unentgeltliche Abgabe eines Bauprodukts zum Vertrieb oder zur Verwendung auf dem Markt der Europäischen Union im Rahmen einer Geschäftstätigkeit (Art. 2 Ziff.16 EU-Bauproduktenverordnung)
Bauwerksinformationsmodelle (BIM)	BIM ermöglicht die digitale Vernetzung und Zusammenführung aller an einer Baumaßnahme beteiligter Gewerke. In einem solchen digitalen Modell sind beispielsweise die verwendeten Baumaterialien inkl. Ort der Verbauung, Wasserrohre oder Stromleitungen hinterlegt und jederzeit abrufbar.
E:	
Einzelmaßnahme	Produktspezifisch abgeleitete Maßnahme als Teil eines ganzheitlichen Recyclingmodells. Als Maßnahmen werden also produktspezifische Handlungsoptionen zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien bezeichnet (siehe Maßnahmen für PVC, Flachglas und Porenbeton).
Ende der Abfalleigenschaft	Die Abfalleigenschaft eines Stoffes oder Gegenstandes endet, wenn dieser ein Verwertungsverfahren durchlaufen hat und so beschaffen ist, dass erstens, er üblicherweise für bestimmte Zwecke verwendet wird, zweitens, ein Markt für ihn oder eine Nachfrage nach ihm besteht,

Begriff	Definition
	<p>drittens, er alle für seine jeweilige Zweckbestimmung geltenden technischen Anforderungen sowie alle Rechtsvorschriften und anwendbaren Normen für Erzeugnisse erfüllt sowie viertens, seine Verwendung insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt führt. (§ 6 Abs. 1 KrWG)</p>
(Abfall-)Entsorgung	<p>Abfallentsorgung im Sinne dieses Gesetzes sind Verwertungs- und Beseitigungsverfahren, einschließlich der Vorbereitung vor der Verwertung oder Beseitigung. (§ 3 Abs. 22 KrWG)</p>
Erzeuger von Abfällen	<p>Jede natürliche oder juristische Person, durch deren Tätigkeit Abfälle anfallen (Ersterzeuger) oder die Vorbehandlungen, Mischungen oder sonstige Behandlungen vornimmt, die eine Veränderung der Beschaffenheit oder der Zusammensetzung dieser Abfälle bewirken (Zweiterzeuger) (§ 3 Abs. 8 KrWG) Erzeuger von Abfällen sind meist auch Erstbesitzer von Abfällen</p>
H:	
Hochwertiges Recycling	<p><i>Eine allgemein akzeptierte Definition der Begrifflichkeit für den gesamten Baubereich wird nicht empfohlen.</i> (siehe Kap. 1 sowie Anhang B)</p>
I:	
Inverkehrbringen (von Bauprodukten)	<p>Die erstmalige Bereitstellung eines Bauprodukts auf dem Markt der Union (EU) (Art. 2 EU-Bauproduktenverordnung Ziff. 17)</p>
K:	
Kreislaufwirtschaft	<p>Kreislaufwirtschaft im Sinne des KrWG ist die Vermeidung und Verwertung von Abfällen § 3 Abs. 19 KrWG. Dadurch sollen Ressourcen und Materialien so oft wie möglich wieder in neuen Produkten verwendet werden, um immer wieder Wertschöpfung zu generieren.</p>
L:	
Legacy Substances (engl. für Altlast-Zusatzstoffe)	<p>Stoffe, die zum Zeitpunkt der Herstellung (manchmal vor Jahrzehnten) erlaubt waren, die aber seither freiwillig aus dem Verkehr gezogen und/oder durch neuere Chemikaliengesetze (v.a. REACH) eingeschränkt wurden.</p>
Lösungsvorschlag	<p>Zur Unterscheidung von produktspezifischen Einzelmaßnahmen werden Handlungsoptionen für verschiedene Bauprodukte als Lösungsvorschläge diskutiert und hinsichtlich ihrer Priorisierung und den beteiligten Akteurinnen und Akteuren beschrieben. Es handelt sich somit um eine abstrahierte Maßnahmen(gruppe).</p>
M:	

Begriff	Definition
Materialpass	Ein Materialpass dient dazu, alle verbauten Stoffe elektronisch zu dokumentieren, sodass sie in Building Information Modelling (BIM)-Systeme integriert und verwaltet werden können. Dabei wird festgehalten, ob diese frei von Schadstoffen sind und welcher Art von Verwertung diese nach der Nutzungszeit zugeführt werden können.
P:	
Produktverantwortung	Die Produktverantwortung zur Erfüllung der Ziele der Kreislaufwirtschaft trägt derjenige, der Erzeugnisse entwickelt, herstellt, be- oder verarbeitet oder vertreibt. Die Produktverantwortung umfasst dabei mehrere Punkte welche im § 23 KrWG klar geregelt sind.
R:	
Recycling	Recycling im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden; es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, nicht aber die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind. (§ 3 Abs. 25 KrWG)
Recycling-Baustoff (RC-Baustoff)	Durch Aufbereitung von Abfällen gewonnener mineralischer Baustoff. Die Abfälle fallen an bei a) Baumaßnahmen wie Rückbau, Abriss, Umbau, Ausbau, Neubau und Erhaltung von technischen Bauwerken. Die Abfälle waren zuvor als natürliche oder künstliche mineralische Baustoffe in gebundener oder ungebundener Form im Hoch- und Tiefbau eingesetzt. b) bei der Herstellung mineralischer Bauprodukte. (§2 Referentenentwurf der Ersatzbaustoffverordnung Abs. 28)
Rohstoffliche Verwertung	Verwertung von Kunststoffabfällen wobei Polymerketten aufgespalten (z.B. durch Wärmeeinwirkung) werden. Die entstehenden Rezyklate sind Monomere oder petrochemische Grundstoffe (z.B. Öle und Gase).
Rückbau	Schrittweises Abtragen eines Objektes/Gebäudes vom Dach zum Fundament mit dem Ziel verwertbare Baustoffe separat zurückzugewinnen. Zusätzlich geht der Rückbau im Vergleich zum Abriss/Abbruch mit weniger Staub- und Lärmentwicklung einher.
S:	
Schadstoff	Ein Schadstoff ist eine Substanz in einem Bauprodukt, welcher schon beim Einbau enthalten ist. Dieser kann potenziell negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt haben. Beispielhaft wäre die Cadmium-Konzentration in PVC zu nennen.
Sekundärrohstoff	Durch Aufarbeitung von Abfällen gewonnener Rohstoff (Recycling) im Unterschied zum ursprünglichen (primären) Rohstoff.

Begriff	Definition
Störstoff	Ein Störstoff wird während des Baus, der Nutzung oder des Rückbaus bzw. der Abbruchmaßnahme durch (meist unabsichtliche) Vermengung einzelner Baustoffe/-produkte eingetragen. Störstoffe sind somit nicht durch das herstellende Unternehmen verursacht.
V:	
Verwertung	Verwertung ist jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis die Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie entweder andere Materialien ersetzen, die sonst zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder indem die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen. Anlage 2 enthält eine nicht abschließende Liste von Verwertungsverfahren. (§ 3 Abs. 23 KrWG)
Vorbereitung zur Wiederverwendung	Vorbereitung zur Wiederverwendung im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile von Erzeugnissen, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wieder für denselben Zweck verwendet werden können, für den sie ursprünglich bestimmt waren. (§ ...3 KrWG Abs. 24)
W:	
Werkstoffliche Verwertung	Verwertung von Kunststoffabfällen durch mechanische Aufbereitung (Zerkleinerung, Reinigung, etc.). Die chemische Struktur bleibt dabei unverändert.
Wiederverwendung	Wiederverwendung im Sinne des Gesetzes ist jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren. (§3 KrWG Abs. 21)
Z:	
Zuordnungswert	Zulässige Schadstoffkonzentrationen im Eluat (Eluatkonzentrationen) bzw. zulässige Schadstoffgehalte im Feststoff (Feststoffgehalte), die für den Einbau eines Abfalls festgelegt werden, damit dieser unter den für die jeweilige Einbauklasse vorgegebenen Anforderungen eingebaut/verwendet werden kann. (LAGA M20)

B Übersicht von Definitionen und Beschreibungen des hochwertigen Recyclings im Baubereich

Tabelle 49: Definitionen des hochwertigen Recyclings im Baubereich

Potenzielle Definition	Quelle
„Ein hochwertiges Recycling achtet nicht mehr nur auf Margen und Mengen, sondern stellt die Qualität in den Vordergrund (vergleichbar mit Ausgangsmaterial).“	VDI (2014), S. 4
„Ein möglichst hochwertiges Recycling am Ende der Nutzungsphase kann die Ökobilanz über den Lebenszyklus maßgeblich verbessern.“	VDI (2014), S. 8
„Hochwertiges Recycling ergibt schadstoffarme Produkte [...] Wenn Abfälle in neuen Bauprodukten zum Einsatz kommen, dürfen diese Abfälle nicht wesentlich höhere Schadstoffgehalte aufweisen als die ersetzten Primärrohstoffe.“	Umweltbundesamt (2015d), S. 33
„[...] hochwertigen Recycling, welches eine stoffliche Nutzung der Abfälle und die Herbeiführung möglichst enger Produktkreisläufe vorsieht“	Umweltbundesamt (2012b), S. 16
„Ein Erschließen urbaner Lager mit dem Ziel eines hochwertigen funktionalen Recyclings mit geringstmöglichen Qualitätsminderungen erfordert ein Denken im Systemzusammenhang.“	Umweltbundesamt (2017a), S. 46
„[...] eine hochwertige Kreislaufführung unter Weiternutzung der stofflichen-technischen Eigenschaften für die mineralischen Fraktionen nicht umfassend praktiziert [...]“	Umweltbundesamt (2016c)
„Der Einsatz von Recycling-Gesteinskörnungen mit definierten technischen Eigenschaften in Anwendungen, die keine besonderen Anforderungen an das Material stellen, entspricht einem Downcycling, das in informatorischen, logistischen und rechtlichen Hindernissen begründet ist.“	Umweltbundesamt (2016c)
„Werkstoffliche Verwertung durch hochwertiges Recycling von sortenrein vorliegenden Kunststoffen“	Umweltbundesamt (2012a), S. 88

C Übersicht produktbezogener Maßnahmen und Instrumente

Tabelle 50: Übersichtssammlung von möglichen produktbezogenen Maßnahmen und Instrumenten zur Stärkung des Recyclings und zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien

Maßnahme/Instrument	Quelle(n)
Regulatorisch:	
Produktspezifische Zielvorgaben für das Recycling (insbesondere sog. selbstlernende Quoten um zu gewährleisten, dass sie dauerhaft ihre Lenkungsfunktion beibehalten; kontinuierliche Anpassung an den Stand der Technik und den bereits erreichten Verwertungsquoten)	(Umweltbundesamt 2016a, S. 215)(Umweltbundesamt 2016b, S. 9), (KNBau 2018)
Gezielte Stärkung der Nachfrage von RC-Produkten durch öffentliche Beschaffung durch Formulierung von politischen (lokalen/kommunalen) Zielen bei öffentlichen Bauten und Regelungen zu ökologischen Standards bzgl. Nutzung und Qualität von Baumaterialien im Rahmen von städtebaulichen Verträgen	(Umweltbundesamt 2016b), (Umweltbundesamt 2016a, S. 215), (Umweltbundesamt 2019, S. 30–31), (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Österreich 2019)
Vorgaben zur separaten Erfassung bestimmter Produkte (Getrennthaltungs- und Vorbehandlungspflichten)	(Umweltbundesamt 2016b), (Umweltbundesamt 2016a, S. 215)
Ansätze zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit von Bauprodukten, u.a. Definition von Mindestanforderungen an die Recyclingfähigkeit auf Grundlage der Ökodesign-Richtlinie	(Umweltbundesamt 2016a, S. 215)
Vorgaben zum Rezyklateinsatz in Produkten (Mindestrezyklatquote für Bauprodukte; verpflichtender Einsatz von Sekundärrohstoffen, sofern technisch, ökologisch, und aus Gesundheitsgründen sinnvoll)	(Umweltbundesamt 2016b), (Umweltbundesamt 2016a, S. 215), (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Österreich 2019)
Nachweispflicht zur Umwelt- und Humanverträglichkeit von Sekundärrohstoffen und RC-Materialien	(Umweltbundesamt 2019c, S. 30–31)
Vereinheitlichung der Regelungsanforderungen (Normen, Richtlinien, technische Zulassungen) an Primär- und Sekundärprodukte, ohne dabei bestehende Qualitätsstandards an Primärrohstoffe abzusenken	(Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Österreich 2019), (KNBau 2018)
Verbot alternativer, nicht gewünschter Entsorgungswege	(Figeac 2019, S. 39)
Ökonomisch:	
Förderung neuartiger Verfahren oder Verfahrenskombinationen, die den momentanen Stand der Technik weiterführen sowie Unterstützung beim Markteintritt	(Umweltbundesamt 2016b)
Finanzielle Unterstützung des aufwändigen und personalintensiven selektiven Rückbaus	(Umweltbundesamt 2019c, S. 30–31)
Steuer/Abgabe auf alternative, nicht gewünschte Entsorgungswege	(Umweltbundesamt 2016a, S. 215), (Figeac 2019, S. 39)
Reduzierter MwSt-Satz für bestimmte qualitätsgesicherte Bauprodukte mit Rezyklatanteilen	(Umweltbundesamt 2016a, S. 215)

Maßnahme/Instrument	Quelle(n)
Erhöhung der Einkaufspreise von Primärrohstoffen	(ifeu 2016)
Administrativ:	
Bereitstellung von Musterausschreibungstexten als Unterstützung der Bauschaffenden und zur Absicherung der Umsetzung des ressourcenschonenden Bauens	(KNBau 2018)
Entwicklung von einheitlichen und handhabbaren Kriterien und Methoden für die Bewertung der Ressourcenschonung	(KNBau 2018)
Steigerung der spezifischen Rezyklatnachfrage im Rahmen des nachhaltigen Bauens	(Umweltbundesamt 2016b)
Monitoring des selektiven Rückbaus (z.B. um Verunreinigungen zu minimieren)	(Umweltbundesamt 2019, S. 30–31)
Bündnisse und Netzwerke zwischen den zentralen Akteurinnen und Akteuren des Baubereichs (Bauverantwortliche, planende Personen bzw. Institutionen, usw.), abfallwirtschaftlichen Akteure und Akteurinnen und sozioökonomischen Betrieben	(Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Österreich 2019)
Informativ:	
Gezielte Imagekampagnen für zentrale Akteurinnen und Akteure (z.B. Maßnahmen zur Steigerung des Bekanntheitsgrades, Sensibilisierung von Konsumenten)	(Umweltbundesamt 2016b), (Umweltbundesamt 2016a, S. 215), (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Österreich 2019)
Herausgabe von offiziellen und verbindlichen Informationsmaterialien (z.B. bzgl. rechtlicher Regelungen für den Einsatz von Sekundärrohstoffen/RC-Materialien) für Bauverantwortliche, herstellende Unternehmen, etc.	(Umweltbundesamt 2019, S. 30–31)
Einführung von einheitlichen Materialpässen	(Umweltbundesamt 2017b)
Systematische und material-/ produktspezifische Erstellung und Bereitstellung von Informationen zu verfügbaren Abbruch- und Verwertungstechnologien	(KNBau 2018)
Planerisch/Organisatorisch:	
Qualitätsanforderungen an Rezyklate in Bezug auf Umwelt- und Gesundheitswirkungen (Weiterentwicklung von Umwelt-Labeln zum Einsatz von Rezyklaten); Bundesweite Zertifizierung von Gebäuden unter Einbeziehung des Einsatzes von RC-Materialien (ähnlich DGNB System)	(Umweltbundesamt 2016b, S. 11), (Umweltbundesamt 2016a, S. 215), (Umweltbundesamt 2019, S. 30–31)
Forschung zum Baustoffrecycling (u.a. zur effektiven Ausschleusung von Schadstoffen; Sortierverfahren) und Entwicklung von kreislauffähigen Baumaterialien und Bauprodukten	(Umweltbundesamt 2017b), (RIVM 2016, S. 46), (KNBau 2018)
Sortenspezifische Sammellogistik	(Martens 2011, S. 171)

D Überblick über einschlägige Regelwerke zum Recycling

Tabelle 51: Überblick über Regelwerke zum Recycling von PVC-Fensterprofilen

Gesetzliche Regelung	Inhalt
AVV 17 02 03 „Kunststoff“	Abfallschlüsselnummer der AVV zur Entsorgung von Kunststoff in Bau- und Abbruchabfällen (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)
AVV 17 02 04* „Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind“	Abfallschlüsselnummer der AVV zur Entsorgung von Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten – wird herangezogen, wenn die Grenzwerte für Bleiverbindungen in Kunststoffen den Grenzwert von 0,3% übersteigen
§ 14 KrWG „Förderung des Recyclings und der sonstigen stofflichen Verwertung“	(1) Regelt Getrenntsammlung von Papier-, Metall-, Kunststoff- und Glasabfällen ab spätestens 01.01.2015 (2) ab 01.01.2020 soll die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling von Siedlungsabfällen insg. mind. 65% betragen. (3) ab 01.01.2020 soll die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling von nicht gefährlichen Bau- und Abbrucharbeiten mindestens 70% betragen.
DIN EN 12608 „Profile aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid zur Herstellung von Fenstern und Türen“	Norm legt die Klassifizierungen, Anforderungen und Prüfverfahren für Profile aus weichmacherfreiem PVC U zur Herstellung von Fenstern und Türen fest
DIN EN 13245 „Kunststoffe“	Profile aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) für die Anwendung im Bauwesen
Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH)	Die Verordnung enthält Beschränkungen/Verbote des Inverkehrbringens oder der Verwendung von Stoffen. Betrifft z.B. PVC-Fensterprofile, die durch Cadmium verunreinigt sind.
Verordnung (EG) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates über persistente organische Schadstoffe	Regelt u.a. die Behandlung von Abfällen und die Höchstwerte der Konzentration von Stoffen, die den Abfallwirtschaftsbestimmungen unterliegen
DIN EN ISO 14025 und EN 15804 „Umweltkennzeichnungen und –deklarationen“	Umweltproduktdeklaration zur Nachhaltigkeit von Bauwerken – Grundlagen für die Produktkategorie Bauprodukte
§ 5 KrWG	Abfälle, die ein Verwertungsverfahren oder Recyclingverfahren durchlaufen haben und spezifische Kriterien erfüllen, sind nicht mehr als Abfälle anzusehen

Gesetzliche Regelung	Inhalt
Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (Abfallrahmenrichtlinie), Anhang III „Gefahrenrelevante Eigenschaften der Abfälle“	Regelt gefahrrelevante Eigenschaften der Abfälle. Stichwörter sind: explosiv, brandfördernd, leicht entzündbar, entzündbar, reizend, gesundheitsschädlich, giftig, krebserzeugend, ätzend, infektiös, fortpflanzungsgefährdend (reproduktionstoxisch), mutagen, sensibilisierend, ökotoxisch

Tabelle 52: Überblick über Regelwerke zum Recycling von Altglas

Gesetzliche Regelung	Inhalt
AVV 17 02 02 „Glas“	Abfallschlüsselnummer der AVV zur Entsorgung von Glas in Bau- und Abbruchabfällen (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)
§ 14 KrWG „Förderung des Recyclings und der sonstigen stofflichen Verwertung“	(1) Regelt Getrenntsammlung von Papier-, Metall-, Kunststoff- und Glasabfällen ab spätestens 01.01.2015 (2) ab 01.01.2020 soll die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling von Siedlungsabfällen insg. mind. 65% betragen. (3) ab 01.01.2020 soll die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling von nicht gefährlichen Bau- und Abbrucharbeiten mindestens 70% betragen.
Verordnung Nr. 1179/2012 der EU-Kommission „mit Kriterien zur Festlegung, wann bestimmte Arten von Bruchglas gemäß der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates nicht mehr als Abfall anzusehen sind“	Diese Verordnung enthält Kriterien, anhand deren festgelegt wird, wann für die Herstellung von Glasmaterialien und -gegenständen im Einschmelzverfahren bestimmtes Bruchglas nicht mehr als Abfall anzusehen ist.
Verordnung Nr. 1179/2012 der EU-Kommission Anhang I Abschnitt 1 „Qualität des bei dem Verwertungsverfahren gewonnenen Bruchglases“	Regelt Qualitätskriterien des bei dem Verwertungsverfahren gewonnenen Bruchglases (weniger als 50ppm Eisenmetalle, maximal. 60ppm Nichteisenmetalle, max. 2000 ppm organische Stoffe, etc.)
Verordnung Nr. 1179/2012 der EU-Kommission, Anhang I, Abschnitt 2 „Dem Verwertungsverfahren zugeführter Abfall“	Regelt Kriterien des Abfalls, der dem Verwertungsverfahren zugeführt wird (nur Abfall aus Sammlung von verwertbarem Hohlglas, Flachglas oder bleifreiem Geschirr - keine Siedlungsabfälle, keine Abfälle aus Gesundheitswesen oder gefährliche Abfälle).
§ 5 KrWG	Abfälle, die ein Verwertungsverfahren oder Recyclingverfahren durchlaufen haben und spezifische Kriterien erfüllen, sind nicht mehr als Abfälle anzusehen

Gesetzliche Regelung	Inhalt
Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (Abfallrahmenrichtlinie), Anhang III „Gefahrenrelevante Eigenschaften der Abfälle“	Regelt gefahrrelevante Eigenschaften der Abfälle. Stichwörter sind: explosiv, brandfördernd, leicht entzündbar, entzündbar, reizend, gesundheitsschädlich, giftig, krebserzeugend, ätzend, infektiös, fortpflanzungsgefährdend (reproduktionstoxisch), mutagen, sensibilisierend, ökotoxisch
Verordnung (EG) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates über persistente organische Schadstoffe,	Regelt die Behandlung von Abfällen und die Höchstwerte der Konzentration von Stoffen, die den Abfallwirtschaftsbestimmungen unterliegen
Standardblatt T 120 des BV Glas, bvse und BDE „Leitlinie: Qualitätsanforderungen an Glasscherben zum Einsatz in der Behälterglasindustrie“	Beschreibt die Qualitätsanforderungen an Altglasscherben zum Einsatz in der Behälterglasindustrie. Beispiele Input zur Aufbereitung Output aus Aufbereitung Logistik und Wareneingang maximal zulässige Verunreinigungen Korngrößenverteilung der Scherben maximale Fehlfarbbanteile
DIN EN 17074 „Glas im Bauwesen – Umweltproduktdeklaration“	Produktkategorieregeln für Flachglasprodukte Insbesondere Anhang C, Modul D „Vorteile des Recyclens von Glas in neue Flachglaserzeugnisse (geschlossener Recyclingkreislauf)“
DIN EN 15804 + A1:2013 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen“	Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte

Tabelle 53: Überblick über Regelwerke zum Recycling von Porenbeton

Gesetzliche Regelung	Inhalt
AVV 17 01 01 „Beton“	Abfallschlüsselnummer der AVV zur Entsorgung von Porenbeton als Monocharge in Bau und Abbruchabfällen (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)
AVV 17 01 07 „Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 01 06 fallen“	Abfallschlüsselnummer der AVV zur Entsorgung von Porenbetonabfall, der mit Bauabfällen wie Ziegel, Fliesen oder Keramik vermischt und „nicht gefährlich“ ist
AVV 17 09 04 „gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01, 17 09 02 und 17 09 03 fallen“	Abfallschlüsselnummer der AVV zur Entsorgung von Porenbetonabfall, der mit Bauabfällen wie Glas, Kunststoff, Holz oder Metall vermischt ist
DIN EN ISO 14025 und EN 15804 „Umweltkennzeichnungen und –deklarationen“	Umweltproduktdeklaration zur Nachhaltigkeit von Bauwerken – Grundlagen für die Produktkategorie Bauprodukte
§ 14 KrWG „Förderung des Recyclings und der sonstigen stofflichen Verwertung“	(1) Regelt Getrenntsammlung von Papier-, Metall-, Kunststoff- und Glasabfällen ab spätestens 01.01.2015

Gesetzliche Regelung	Inhalt
	<p>(2) ab 01.01.2020 soll die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling von Siedlungsabfällen insg. mind. 65% betragen.</p> <p>(3) ab 01.01.2020 soll die Vorbereitung zur Wiederverwertung und das Recycling von nicht gefährlichen Bau- und Abbrucharbeiten mindestens 70% betragen.</p>
5 KrWG	Abfälle, die ein Verwertungsverfahren oder Recyclingverfahren durchlaufen haben und spezifische Kriterien erfüllen, sind nicht mehr als Abfälle anzusehen
Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (Abfallrahmenrichtlinie), Anhang III „Gefahrenrelevante Eigenschaften der Abfälle“	Regelt gefahrrelevante Eigenschaften der Abfälle. Stichwörter sind: explosiv, brandfördernd, leicht entzündbar, entzündbar, reizend, gesundheitsschädlich, giftig, krebserzeugend, ätzend, infektiös, fortpflanzungsgefährdend (reproduktionstoxisch), mutagen, sensibilisierend, ökotoxisch
Verordnung (EG) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates über persistente organische Schadstoffe, Anhang V „Abfallbewirtschaftung“	Regelt die Behandlung von Abfällen und die Höchstwerte der Konzentration von Stoffen, die den Abfallwirtschaftsbestimmungen unterliegen
Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates „zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten“	Verordnung zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten - Enthält u. a. Bestimmungen zum Inverkehrbringen von (rezyklierten) Porenbetonprodukten