

**Verstärkte Berücksichtigung des Kriteriums
Ressourceneffizienz bei der Bewertung der
Nachhaltigkeit im Bauwesen**

Inhalt

1	Begriffsbestimmungen im Kontext des Berichts	5
2	Auftrag	8
3	Einleitung	8
4	Wertschöpfungskette mineralischer Baustoffe	11
5	Baustoffunabhängige Aspekte.....	14
5.1	Verbesserung der Ressourceneffizienz von Baustoffen und Baukonstruktionen durch Abfallvermeidung.....	14
5.2	Möglichkeiten zur Förderung des Einsatzes von Recyclingbaustoffen und Recycling-Bauprodukten	18
5.2.1	Vergaberechtliche Regelungen	19
5.2.2	Akzeptanz / Qualitätssicherung	22
5.2.3	Verbesserung der Marktsituation für hochwertiges Recycling.....	24
5.2.4	Abbruch-, Aufbereitungs- und Verwertungstechnologien.....	26
5.2.5	Grenzen der Systematik der Abfallverzeichnisverordnung.....	32
5.3	Schnittstelle Produktrecht und Abfallrecht bei Baustoffen.....	34
6	Möglichkeiten und Grenzen der Ressourceneffizienz im Bauwesen anhand von Beispielen	38
6.1	Mineralische Baustoffe	38
6.1.1	Ressourcenschonender Beton (R-Beton)	39
6.1.2	Porenbeton	41
6.1.3	Ziegel	43
6.1.4	Gips.....	48
6.2	Holz	53
6.3	Verbundsysteme	57
6.3.1	Carbonbeton	58
6.3.2	Faserzementplatten (asbestfrei).....	66
6.3.3	Polystyrol in Wärmedämmverbundsystemen	71
	Quellen	75
	Anlage 1: Übersicht über die Berücksichtigung und Förderung des Einsatzes von Recyclingbaustoffen in den einzelnen Ländern	82

Abkürzungen

AbfRRL	Abfall-Rahmen-Richtlinie
AltholzV	Altholzverordnung
ATA	Ausschuss für Abfalltechnik
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
BAMB	Building as Material Banks
BauPVO	Bauproduktenverordnung
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BIM	„Building Information Modeling“ (Bauwerksdatenmodellierung)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BNB	Bewertungssystem Nachhaltigen Bauen
CE	Conformité Européenne (Europäische Konformität)
CED	Cumulative Energy Demand (kumulierter Energiebedarf)
CFK	kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
DAfStb	Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
DepV	Deponieverordnung
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DOC	„Dissolved Organic Carbon“ (gelöster organischer Kohlenstoff)
DüMV	Düngemittelverordnung
EBV	Ersatzbaustoffverordnung
eLCA	elektronische Life Cycle Analysis (Tool des BNB)
EPS	expandiertes Polystyrol
ETA	European Technical Assessment
EuGH	Gerichtshof der Europäischen Union
EU-POP-VO	Verordnung über persistente organische Schadstoffe
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoff
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung
GFK	glasfaserverstärkter Kunststoff
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotential)
HBCD	Hexabromcyclododecan (Flammschutzmittel)
hEN	harmonisierte europäische Norm
IVV	Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung
KartAL	Kartierung des anthropogenen Lagers
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KW-Index	Kohlenwasserstoff-Index
LfU	Landesamt für Umwelt
LAGA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
LAGRE	länderoffene Arbeitsgruppe Ressourceneffizienz
LAI	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz

M.%	Massenprozent
(P)	prioritäre Handlungsempfehlung
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
POP-Abfall-ÜberwV	Verordnung über die Getrenntsammlung und Überwachung von nicht gefährlichen Abfällen mit persistenten organischen Schadstoffen (POP-Abfall-Überwachungs-Verordnung)
PU-Schaum	Polyurethan-Schaum
PVA-Faser	Polyvinylalkoholfaser
QS	Qualitätssicherung
rCF	recycelte Carbonfasern
RC	Recycling
REA	Rauchgasentschwefelungsanlagen
RGB	Rot-Grün-Blau
TM	Trockenmasse
TOC	Total Organic Carbon“ (gesamter organischer Kohlenstoff)
TP1	Teilprojekt
UBA	Umweltbundesamt
UMK	Umweltministerkonferenz
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
WKI	Wilhelm-Klauditz-Institut
WPK	werkseigene Produktionskontrolle
XPS	extrudiertes Polystyrol

1 Begriffsbestimmungen im Kontext des Berichts

Bauelemente

Bauelemente kennzeichnen alle Einzelkomponenten eines Baukörpers, die dem Verschließen der Bauwerksöffnungen dienen, also etwa Fenster, Türen, Bodentreppen oder auch Dachluken.¹

Baumaterialien

Alle für die Errichtung eines Bauwerks eingesetzten Materialien, neben Baustoffen, z. B. auch Nägel, Schrauben, Silikon, etc.

Bauprodukte

Bauprodukte sind Baustoffe, für die Produktnormen greifen (Bauproduktenverordnung). Bei Recyclingbaustoffen trifft dies nur zu, sofern sie entsprechend zugelassen und güteüberwacht sind.

Baurestmassen

Baustoffe, die im Zuge von Baumaßnahmen als Abfälle auf Baustellen entstehen.

Baustoffe

Alle Baumaterialien, die mengenmäßig wesentliche Bestandteile der Bausubstanz ausmachen.

Bauteile (Bauwerksteile)

Das Bauteil ist im Bauwesen eine funktionelle Komponente eines Bauwerks. Nach der EN ISO 10209 wird ein Bauteil definiert als, Zitat: "*Bestandteil einer Ausrüstung, das nicht weiter zerlegt werden kann, ohne seine grundlegenden Eigenschaften zu verlieren*".²

Hochwertiges Recycling

Die bestmögliche, stoffliche Verwertung von Abfällen, bei der die wertgebenden Eigenschaften der (mineralischen) Abfälle möglichst umfassend genutzt werden können. Ziel ist es hierbei, die mindestens gleiche Stufe der Wertschöpfungskette zu erreichen.³ Die Definition impliziert die Abwägung anderer Schutzgüter, wie Energieinhalt oder Klimaeffekte.

Innovative Baustoffe

Neuartige Baustoffe, hier insbesondere jene, die zur Ressourceneffizienz im Bauwesen beitragen können. Dies kann durch die Einsparung von Baustoffen erreicht werden oder auch durch die Substitution von primären Rohstoffen. In Gebäuden verbaute neuartige Baustoffe haben üblicherweise noch nicht das

¹ Wolf, U. (2020): Grundwissen Bauelemente, Redaktion ausbaupraxis.de; <https://www.ausbaupraxis.de/bauelemente-grundwissen>

² DIN EN ISO 10209 – Technische Produktdokumentation; Vokabular; Begriffe für technische Zeichnungen, Produktdefinition und verwandte Dokumentation. Beuth, November 2012, S. 6.

³ Kern, M. et al. (2019): „Ermittlung von Kriterien für eine hochwertige Verwertung von Bioabfällen und Ermittlung von Anforderungen an den Anlagenbestand“, UBA-Texte 49/2019, S. 33

Ende des Lebenszyklus erreicht und dementsprechend liegen noch keine oder wenige Erfahrungen zu Recycling- und Verwertungsmöglichkeiten vor. Der Begriff „innovativ“ sollte aus Sicht der Abfallwirtschaft jedoch ebenfalls die nachweisliche Gewährleistung einer Wiederverwendung oder eines Recyclings im Sinne einer Kreislaufwirtschaft mit einschließen.

Mineralische Ersatzbaustoffe

Aus Recyclingmaterial, Nebenprodukten oder Abfällen gewonnenen Baustoffe im Sinne der geplanten Ersatzbaustoffverordnung (EBV). Der Begriff wird synonym zu Sekundärbaustoffen verwendet. Ersatzbaustoffe sind gütegesicherte sekundäre Baustoffe wie z.B. Recyclingbaustoffe, Ziegelmaterial, Bodenmaterial, Gleisschotter, Baggergut sowie mineralische Abfälle oder Nebenprodukte aus bestimmten thermischen Prozessen (Aschen, Schlacken). Die Verwendung dieser Ersatzbaustoffe in technischen Bauwerken soll zukünftig in der EBV geregelt werden.

Nutzungskaskade

Im Regelfall umfasst eine Nutzungskaskade eine einfache bis mehrfache stoffliche Nutzung eines Rohstoffs mit abnehmender Wertschöpfung sowie eine abschließende energetische Nutzung oder Ablagerung als Abfall.

Primärrohstoffe (Primärbaustoffe)

Werk-, Hilfs- oder Betriebsstoffe, welche nicht aus stofflichen Rückständen, sondern aus natürlichen Ressourcen oder Vorprodukten gewonnen werden und abgesehen vom Abbau unbearbeitet sind.

Recyclingbaustoffe

Mineralische Bau- und Abbruchabfälle, die zu Baustoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden.

Ressourcen

Natürlich vorkommende Rohstoffe, welche endlich oder erneuerbar sein können.

Ressourceneffizienz

Ressourceneffizienz wird gemäß VDI 4800 Blatt 1 definiert als „*das Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Ressourceneinsatz*“. Für den Nutzen kann im Baubereich z. B. der Beitrag eines Kubikmeters herkömmlichen Betons mit einer bestimmten Druckfestigkeit als Referenzgröße herangezogen werden. Ressourceneffiziente Baustoffe, die diesen aus natürlichen Ressourcen hergestellten Beton ersetzen, sollten gleichwertige bautechnische Eigenschaften haben und gleichzeitig über den gesamten Lebenszyklus zu einem geringeren Energie- und Rohstoffaufwand führen und damit auch einen quantifizierbaren Beitrag zum Klimaschutz leisten. Ressourceneffiziente Baustoffe müssen allerdings auch mit einfachen Methoden recycelbar sein und sollten im Anschluss möglichst wieder für ihren ursprünglichen Zweck eingesetzt werden.

Ressourcenschonung

Beim Input von Produktion/Konsum ansetzende umweltpolitische Konzeption, gerichtet auf Sparen, vollständige Einsatzvermeidung und Substitution bei ökologischer Knappheit sowie bei umweltschädlichen Einsatzstoffen und -energien⁴.

Second-Life-Aspekte

Möglichkeiten und Einschränkungen der Wiederverwertbarkeit nach Abschluss einer Nutzungsperiode (hier: von Baustoffen), d.h. die Berücksichtigung einer Nutzungskaskade infolge einer Recyclingkette.

Sekundärbaustoffe

Siehe Ersatzbaustoffe

⁴ Günther, E., Gabler Wirtschaftslexikon; <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/ressourcenschonung-45471> [zuletzt aufgerufen am 13.11.2020]

2 Auftrag

Die 90. Umweltministerkonferenz hat sich im Juni 2018 (TOP 44) mit dem Thema „Innovative und ressourceneffiziente Baustoffe“ befasst und nachfolgenden Arbeitsauftrag erteilt:

„Um offene Fragen bei der Betrachtung des Endes des Lebenszyklus und der Verwertung von Baustoffen zu bearbeiten, wird die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) in Abstimmung mit der länderoffenen Arbeitsgruppe Ressourceneffizienz (LAGRE) sowie der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI) gebeten, zum nächstmöglichen Zeitpunkt einen Bericht zur verstärkten Berücksichtigung des Kriteriums Ressourceneffizienz bei der Bewertung der Nachhaltigkeit im Bauwesen zu erarbeiten. Hierbei sollen sowohl herkömmliche als auch neuartige Bauweisen wie etwa „Carbonbeton“ betrachtet werden.“

Auf dieser Grundlage hat die 111. LAGA-Vollversammlung den Ausschuss für Abfalltechnik (ATA) gebeten, einen Ad-hoc-Ausschuss zum Thema „Innovative und ressourceneffiziente Baustoffe“ einzurichten (TOP 4.5). Dieser wurde im Wege des Umlaufverfahrens ATA 2019/02 eingesetzt. Der Ausschuss erarbeitete diesen Bericht unter der Obmannschaft des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und der Mitarbeit von dem Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz Brandenburg, dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft der Freien und Hansestadt Hamburg, der Zentralen Unterstützungsstelle Abfall, Gentechnik und Gerätesicherheit beim Staatlichen Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim unter dem Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz; dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, dem Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz, dem Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein und dem Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie Sachsen-Anhalt sowie einem Vertreter des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Des Weiteren haben das Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU) und das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) ihre Expertise eingebracht. Neben diesem ausführlichen Bericht werden die prioritären Handlungsempfehlungen in einem Kurzbericht zusammengefasst.

3 Einleitung

Das Bauwesen ist der materialintensivste Wirtschaftszweig in Deutschland. Allein an mineralischen Primärrohstoffen werden ca. 500 Mio. Tonnen pro Jahr verbaut, was 90 % der gesamten inländischen Entnahme entspricht. Für eine Steigerung der gesamtwirtschaftlichen Ressourceneffizienz ist daher der Baubereich der Schlüsselsektor. Dennoch spielt die Bewertung der Ressourceneffizienz bei Bauvorhaben noch eine relativ geringe Rolle.

Die LAGRE hat am 7. April 2020 ein Positionspapier zu Ressourceneffizienz im Baubereich verabschiedet. In diesem Papier identifiziert sie die folgenden Bereiche, die gestärkt und besser verzahnt werden müssen:

- ressourcenschonendes Bauen durch kreislaufgerechte Planung,
- ressourcenschonendes Bauen durch Digitalisierung,
- selektiver Rückbau, Wiederverwendung und hochwertiges Recycling,
- verstärkter Einsatz von Recyclingbaustoffen (insbes. R-Beton) und
- verstärkter Einsatz nachwachsender Rohstoffe als Substitut.

Diese Positionen unterstützt der Ad-hoc-Ausschuss „Innovative und ressourceneffiziente Baustoffe“.

Im Umlaufbeschluss 43 hat die Umweltministerkonferenz (UMK) das Positionspapier „Ressourceneffizienz im Baubereich“ zur Kenntnis genommen und der Bauministerkonferenz zugeleitet.

Am 15. Mai 2020 hat die UMK unter TOP 2 „Doppelte Rendite sichern - Umwelt- und Klimapolitik für nachhaltiges Wachstum und gute Arbeit“ Punkt 10 beschlossen, dass die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch essentiell für die Stärkung der Klimaresilienz ist. Diese Entkopplung kann nur gelingen, wenn die Ressourceneffizienz in allen Sektoren gesteigert wird.

Ressourceneffizientes Bauen beginnt bereits mit der Überprüfung, ob ein Neubau überhaupt notwendig ist bzw. ob eine Nachverdichtung im innerstädtischen Bereich stattfinden kann an Stelle von Neubauten auf der grünen Wiese. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Ressourcenschonung ist auch die Frage des tatsächlichen Flächenbedarfs, dies betrifft sowohl die Wohnfläche als auch die Bürofläche pro Person⁵. Neben der Substitution von Primärrohstoffen durch nachwachsende Rohstoffe kann auch das Bauen mit Recyclingbaustoffen zu einer Ressourcenschonung und damit zu mehr Ressourceneffizienz im Bauwesen führen.

In dem vorliegenden Bericht wird der Schwerpunkt auf die Materialeffizienz und vor allem auf die Prozesse am Nutzungsende, also insbesondere auf das Recycling von Baustoffen gelegt. Da Baustoffe aus mineralischen Rohstoffen den weitaus größten Anteil im Bausektor stellen, richtet sich auch der Fokus des Berichts hauptsächlich auf sie. Einen wichtigen Beitrag zur Förderung des Einsatzes von mineralischen Ersatzbaustoffen insgesamt wird auch die Ersatzbaustoffverordnung (EBV) liefern, die bundeseinheitliche und rechtsverbindliche Regelungen für diesen Bereich vorsieht.

⁵ Siehe u. a. International Resource Panel (2020): Resource Efficiency and Climate Change. Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Implications for Business Leaders in Housing and Mobility. S. 13 und Kenkmann, T. et al. (2019): Flächensparend Wohnen. Energieeinsparung durch Suffizienzpolitiken im Handlungsfeld „Wohnfläche“; UBA-Texte 104/2019, S. 69

Einen Überblick über die Wertschöpfungskette mineralischer Baustoffe gibt das folgende Kapitel. Übergreifende baustoffunabhängige Aspekte der Ressourceneffizienz werden in Kapitel 5 adressiert. Hier wird auf die Bereiche eingegangen, in denen der Einsatz von Recyclingbaustoffen gefördert werden sollte. In Kapitel 6 werden diese Aspekte am Beispiel von einigen relevanten Baustoffen vertieft. Der Bericht geht hier sowohl auf Hemmnisse als auch Best-Practice-Beispiele ein. Bei der Bewertung der Ressourceneffizienz von innovativen Bauprodukten muss der gesamte Lebenszyklus berücksichtigt werden. Dies muss vor Inverkehrbringen stattfinden, da sich ansonsten Probleme im späteren Recycling ergeben. Zusätzlich verändern sich im Baubereich auch die herkömmlichen Produkte in ihrer Zusammensetzung, sodass hier ebenfalls die Ressourceneffizienz immer wieder neu bewertet werden muss. Ein Beispiel hierfür ist die Beimischung von neuen Zusatzstoffen bei der Herstellung von Beton, wo Klinker z. B. durch Kalkstein, gebrannten Schiefer und Flugasche ersetzt wird⁶.

Ein weiterer Aspekt, der im Bericht eine Rolle spielt, ist die Schadstoffanreicherung im Wertstoffkreislauf, welche verhindert werden muss. Hierfür ist der gesamte Lebenszyklus zu betrachten und nicht nur die Gewinnung oder Herstellung des Baustoffs, sondern genauso die Umwelteinwirkungen, die bei der Entsorgung oder möglichen Wiederverwendung der Baustoffe entstehen können. Im Gegensatz zu den Kosten der Bereitstellung sind die Kosten der Entsorgung bisher nicht eingepreist. Hier kann durch gezielte Förderungs- und Lenkungsmaßnahmen insbesondere der öffentlichen Hand die Nutzung des Ressourcenschutz-Potenzials bei Baustoffen optimiert werden. Zu bevorzugen sind Baustoffe, die möglichst ohne großen Aufwand in Nutzungskaskaden wiederverwendet werden können. Für die Ressourcenschonung ist die Betrachtung von gegenwärtig anfallenden Stoffströmen aus Bauwerken genauso relevant wie der Einsatz von Bauprodukten, aus denen die zukünftigen Stoffströme entstehen.

Beim Recycling von Baustoffen sowie der Entwicklung von innovativen und ressourceneffizienten Baustoffen ist die Berücksichtigung von Arbeits- und Immissionsschutz von großer Bedeutung. Deshalb wurde der Bericht auch mit der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI) abgestimmt.

⁶ Holcim (Schweiz) AG (2019): Erfolgsrezept für die CO₂-Reduktion: Holcim entwickelt klinkerreduzierte Zemente der Zukunft; <https://www.holcim.ch/de/erfolgsrezept-fuer-die-co2-reduktion-holcim-entwickelt-klinkerreduzierte-zemente-der-zukunft>

4 Wertschöpfungskette mineralischer Baustoffe

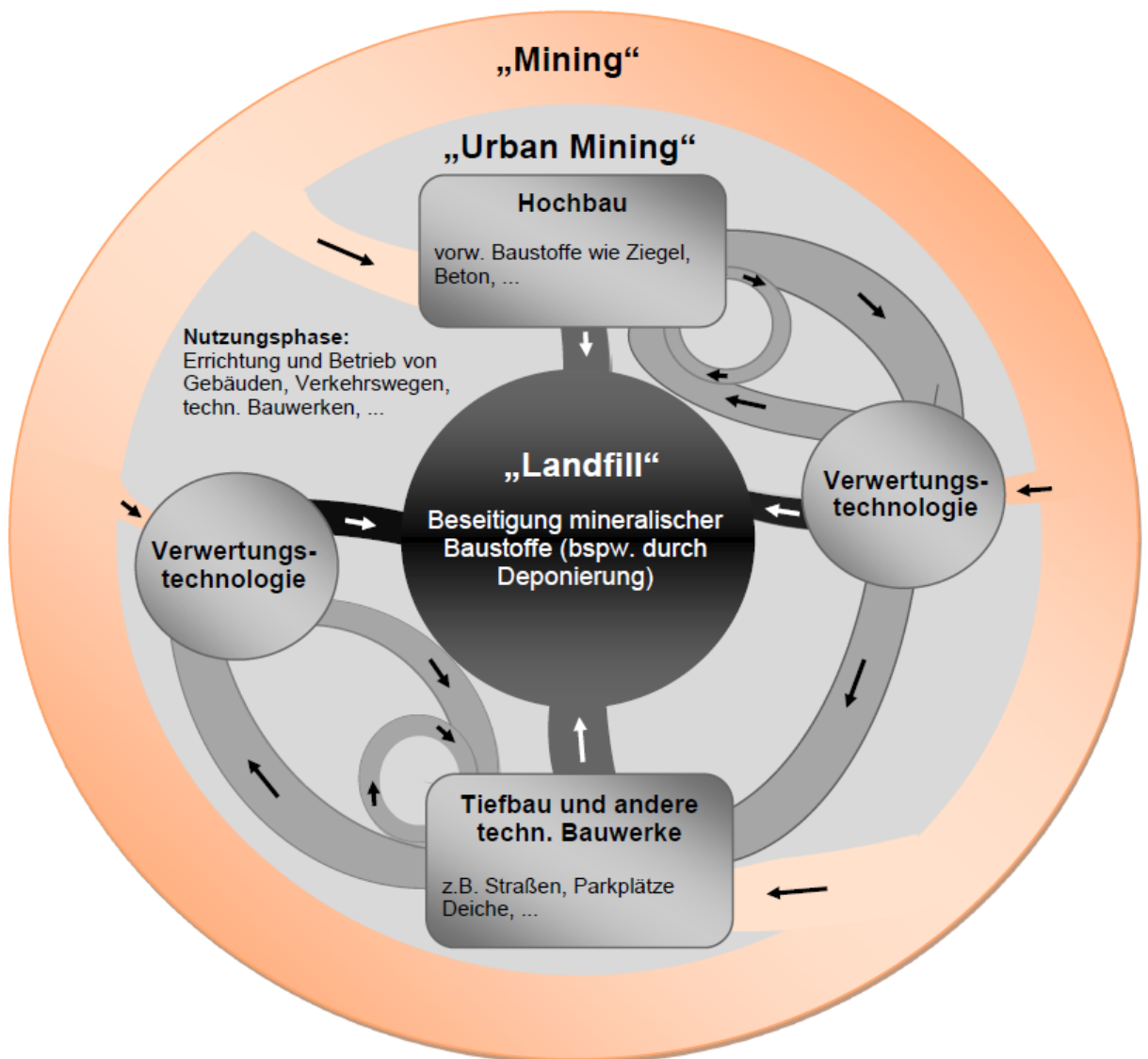


Abbildung 4.1: Vereinfachte schematische Darstellung der Wertschöpfungskette mineralischer Baustoffe.

Mineralische Baustoffe folgen in unserer Wirtschaft meist vielfältigen Wegen (vergleiche Abbildung 4.1). Vereinfacht ausgedrückt, befinden sich diese in einem von drei Stadien. Zunächst treten sie als natürliche Rohstoffe, die als Primärrohstoffe gewonnen werden / „Mining“ (äußerer Kreis), auf verschiedenen Wegen in die Wertschöpfungskette. Anschließend befinden sie sich in der Nutzungsphase, gebunden in der sogenannten Urbanen Mine (mittlerer Kreis). Diese besteht aus sämtlichen genutzten mineralischen Baustoffen in Hoch- und Tiefbauanwendungen, bzw. bereits hergestellten Bauprodukten. Durch die Wiederverwendung, das Recycling und die Verwertung mineralischer Baustoffe entstehen verschiedene Kreisläufe

innerhalb der urbanen Mine. Letztendlich verlassen die mineralischen Bau- und Abbruchabfälle die Wertschöpfungskette im Wege der Beseitigung (innerer Kreis), hauptsächlich im Rahmen der Deponierung / „Landfill“.

Aus dieser vereinfachten Betrachtung ergeben sich drei Hauptziele einer ressourcen-effizienten (Bau-)Wirtschaft:

1. Reduzierung des Einsatzes von Primärrohstoffen (Ressourcenschonung),
2. Verlängerung der Nutzungsphase mineralischer Baustoffe in der Wertschöpfungskette und Stärkung der Kreislaufführung (Ressourceneffizienz) und
3. Reduzierung der Beseitigung auf das benötigte Minimum (Deponie als Schadstoffsенke).

Dies lässt sich erreichen, indem der Bedarf an mineralischen Baustoffen zukünftig vordringlich aus Sekundär- statt Primärrohstoffen gedeckt wird. Dies geht Hand in Hand mit der Verlängerung der Nutzungsphase durch möglichst lange Verwendung mineralischer Baustoffe in hochwertigen Kreisläufen und Kaskaden. Darüber hinaus muss sich die Beseitigung auf tatsächlich unverwertbare Restfraktionen begrenzen.

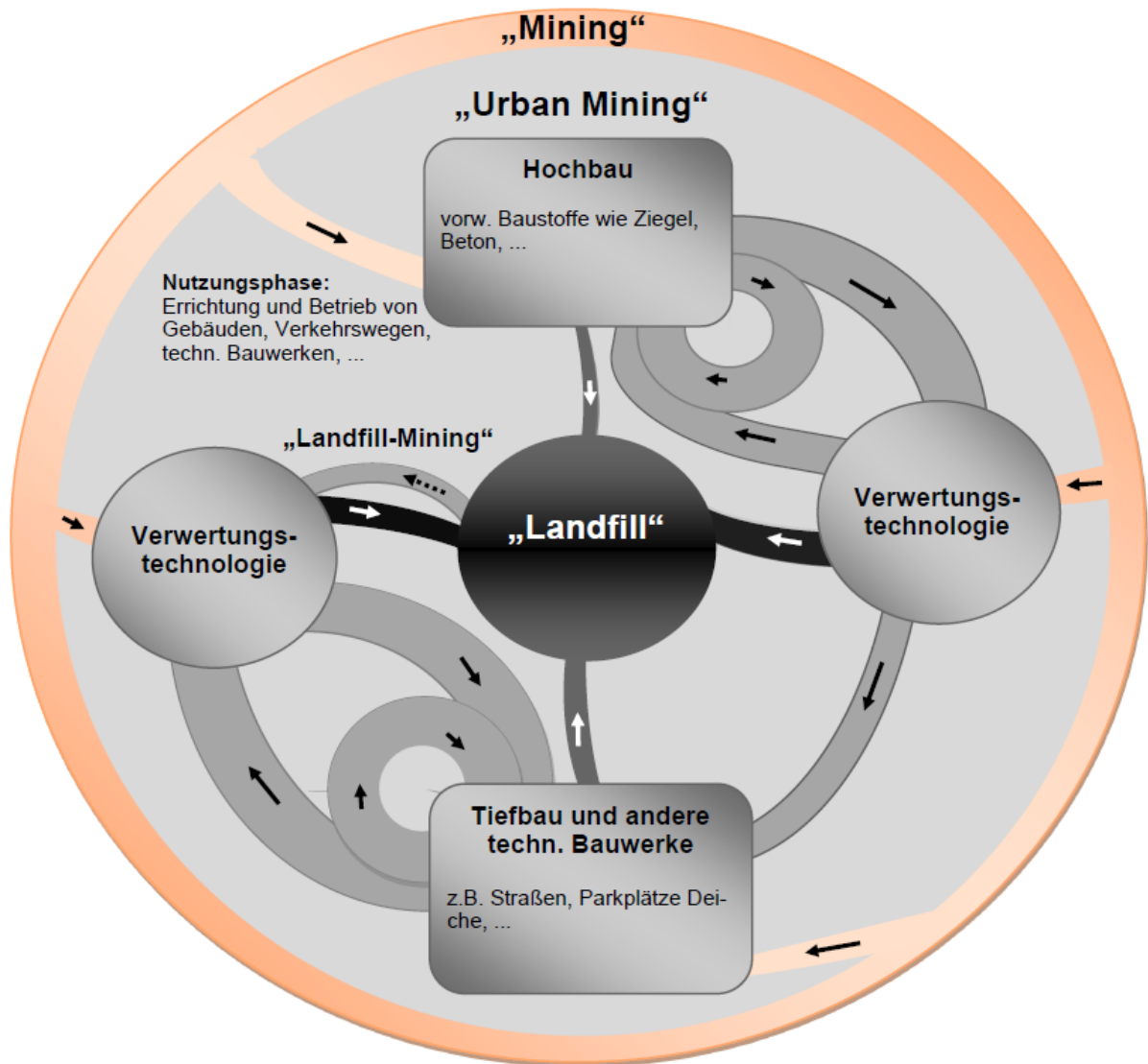


Abbildung 4.2: Vereinfachte schematische Darstellung einer zukünftigen auf Ressourceneffizienz ausgelegten Wertschöpfungskette mineralischer Baustoffe.

Eine entsprechende Verschiebung der Stoffströme würde sich wie folgt darstellen (Abbildung 4.2). Sowohl die Gewinnung von Primärrohstoffen, als auch die zu beseitigenden Mengen nehmen ab (Verkleinerung des äußeren und inneren Kreises, verglichen mit Abb. 4.1). Gewonnene Primärrohstoffe gehen nun hauptsächlich in hochwertige Anwendungen des Hoch- und Tiefbaus mit einer möglichst langen Nutzungsdauer. Dies geschieht im Rahmen der Abfallhierarchie durch Abfallvermeidung (bspw. Umnutzungen / Umbau von Gebäuden statt Abbruch) und Vorbereitung zur Wiederverwendung (bspw. durch Sortieren und Reinigen rückgebauter Bauelemente zur mehrmaligen Verwendung). Weiterhin werden Bau- und Abbruchabfälle recycelt und dadurch wieder für hochwertige Anwendungen aufbereitet und nur bei unzureichender Qualität stofflich in niederwertigen Anwendungen, wie bspw. Unterbauten oder Auffüllungen verwertet.

Darüber hinaus ermöglichen zukünftige Technologien eventuell neue Verwertungswege und ein besseres Recycling. Ein wünschenswertes Fernziel wäre die

Rückführung bereits beseitigter Bau- und Abbruchabfälle in den Wirtschaftskreislauf („Landfill-Mining“).

5 Baustoffunabhängige Aspekte

5.1 Verbesserung der Ressourceneffizienz von Baustoffen und Baukonstruktionen durch Abfallvermeidung

Abfallvermeidung beim Bodenaushub

Die Abfallvermeidung von Bodenaushub sollte bei der Ausweisung neuer Baugebiete und der Durchführung neuer größerer Bauvorhaben eine bedeutendere Rolle einnehmen. Auch stellt die Entsorgung von Aushubmassen zwischenzeitlich einen nicht zu vernachlässigenden Kosten- und Zeitfaktor dar.

Insofern sollte bei der Konzeption von Baugebieten soweit möglich der Vermeidung von zu entsorgendem Bodenaushub dadurch Rechnung getragen werden, dass der zu entsorgende Aushub zur Geländemodellierung, zur Rückverfüllung von Baugruben oder in Lärmschutzwänden innerhalb des Gebietes verwendet wird. Insbesondere kann durch die planerische Festsetzung des Straßen- und Gebäudeniveaus die Durchführung eines Ausgleichs der bei der Bebauung anfallenden Erdmassen ermöglicht werden.

In der Begründung zum neuen Landes-Kreislaufwirtschaftsgesetz (LKreiWiG) Baden-Württemberg wurde errechnet, dass dadurch allein für die Wirtschaft in Baden-Württemberg Kosten von 20 Mio. Euro pro Jahr eingespart werden können⁷.

Abfallvermeidung durch Nutzungsflexibilität

Die Masse der Baustoffe steckt in der Rohbaukonstruktion (ca. 80 M.%). Aus Gründen der Ressourceneffizienz ist es sinnvoll insbesondere Rohbauten so lange wie möglich zu nutzen. Gebäude, die bestimmungsgemäß genutzt werden, können bei entsprechendem Bestandsunterhalt mehrere hundert Jahre überdauern. Voraussetzung ist, dass bei Nutzungswechsel entsprechende Anforderungen an die Räumlichkeiten auch in Bezug auf aktuelle Anforderungen an die Energieeffizienz weiterhin erfüllt werden können. Um eine Weiternutzung von Baubestand zu erleichtern, können bereits in der Planungsphase des Neubaus entsprechende Weichen gestellt werden. Z. B. kann eine Nutzungsänderung erleichtert werden, indem die festen Strukturen des Bauwerks (Rohbau / Traggerüst des Gebäudes) so geplant werden, dass für eine Nutzungsänderung beispielsweise lediglich das Einziehen oder der Rückbau von

⁷ Landtag von Baden-Württemberg (2020): Gesetzentwurf der 16. Wahlperiode: Gesetz zur Neuordnung des Abfallrechts für Baden-Württemberg; https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/WP16/Drucksachen/9000/16_9191_D.pdf, Seite 40, § 3 Absatz 3: Erdmassenausgleich

nichttragenden Wänden möglich ist, Decken bereits mit Traglastreserven ausgestattet werden und Bauteile mit unterschiedlichen Nutzungsdauern demontagefähig geplant werden.

Diese Thematik wird auch im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)⁸ beschrieben. Dieses umfasst in der Hauptkriteriengruppe „ökonomische Qualität“ im Bereich der Wirtschaftlichkeit und Wertstabilität das Kriterium Anpassungsfähigkeit. Durch die Anpassungsfähigkeit von Gebäuden ergibt sich die Möglichkeit die Wertstabilität von Gebäuden zu sichern und somit die Nutzungsdauer zu verlängern.

Zukünftige Optimierung kann Bauen im Bestand erleichtern. Durch die Verwendung von rückbaubaren Konstruktionen ergibt sich zudem die Chance des direkten Recyclings bzw. der direkten Wiederverwendung. Können Bauwerksteile oder Bauelemente gezielt aus Gebäuden zurückgebaut werden und in ein neues Gebäude eingebracht werden, ergeben sich Vorteile für beide Bauherren. Rückbaubare Konstruktionen müssen daraufhin geplant werden. Neben den rückbaufähig dimensionierten Verbindungsdetails (beispielsweise Schrauben, Klemmen, Dübeln, etc.), sollte der Bauakte eine Rückbauanleitung beigelegt werden.

Digitale Unterstützung

Die digitale Unterstützung bei der Erhebung von Bauwerksdaten/ -informationen zeigt verschiedene Möglichkeiten und auch Chancen auf.

Seit einigen Jahren wird unter dem Begriff Building Information Modeling (Bauwerksdatenmodellierung - BIM) eine Technik propagiert, die auch langlebige Prozesse, wie sie in der Immobilienbewirtschaftung auftreten, positiv unterstützen können. BIM ist eine softwaregestützte Methode, bei der die relevanten Bauwerksdaten digital modelliert, kombiniert und erfasst werden. Derzeit gibt es im Bereich der Öffentlichen Hand einige Pilotgebäude, deren Planung und Bau mit BIM-Technologie durchgeführt wurden, bzw. werden. Derzeit fehlt jedoch der Entschluss für eine flächendeckende Einführung in Deutschland als hoheitliche Aufgabe (so wie z. B. in Norwegen). Vielmehr hat es den Anschein, dass es der Privatwirtschaft überlassen bleibt, die Technik auf betriebswirtschaftlicher Ebene einzuführen. Z. B. haben große Bauunternehmen seit Jahren ihr eigenes BIM für interne Prozesse etabliert und schreiben auch Subunternehmen vor, das zu nutzen. Damit auch hoheitliche Belange in BIM-Anwendungen verbreitet werden, ist darauf zu achten, dass auch Prozesse angelegt werden, die nicht im originären betriebswirtschaftlichen Interesse stehen. Z. B. in der Nachnutzungsphase der Gebäude müssen die technischen Voraussetzungen gegeben sein, die BIM - Informationen auszulesen. Aktuell werden nur „grobe“ Daten erfasst, welche den Rückbau

⁸ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB): Steckbrief Büro- und Verwaltungsgebäude: https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebäude/neu-bau/v_2015/BNB_BN2015_222.pdf [Stand April 2020]

unterstützen können. Voraussetzung dafür ist, dass die Software für das einzelne Gebäude auch nach Fertigstellung des Baus und auch beispielsweise bei einer Sanierung gepflegt wird.

Hierauf aufbauend kann gestützt auf die BIM-Informationen ein Materialpass erstellt werden. Dieser soll Transparenz bezüglich Hersteller bzw. auch Herkunft des verwendeten Baustoffs/ -produktes schaffen. Hierüber könnte auch dokumentiert werden, ob das verwendete Material frei von Schadstoffen ist und welche Nachnutzungs-/ Recyclingmöglichkeiten es gibt.

Im bereits o.g. BNB wird diese Thematik im Kriteriensteckbrief „Rückbau – Trennung – Verwertung“ qualitativ beschrieben und bewertet. Derzeit findet eine Überarbeitung des Kriteriums statt, mit der auch ein EDV-Planungstool mit einhergeht. Zukünftig wird zusammen mit der Gebäude-Ökobilanz auch eine Bewertung der Recyclingfähigkeit der Baustoffe stattfinden können. Das bundeseigene Planungstool eLCA wird dazu entsprechend umgebaut. In Zusammenarbeit mit dem UBA wird im Forschungsprojekt „KartAI IV⁹“ in einem Pilotprojekt das eLCA als Grundlage für Materialinventare / Gebäudepässe getestet.

Auch das Forschungsprojekt „BAMB – Building as Material Banks“¹⁰, beschäftigte sich von 2015 bis 2019 im Rahmen des Programms Horizont 2020, mit einem interdisziplinären Team mit dem Thema Urban Mining. Der Fokus im Projekt lag auf der Wiederverwendbarkeit und Umnutzbarkeit von Gebäuden.

Zukünftig wäre es wünschenswert, wenn parallel zu Vorerkundungen im Gebäudebestand bzgl. Schadstoffen auch die restliche Bausubstanz betrachtet und in die Dokumentation mit aufgenommen wird. Dadurch kann ein Eindruck vom Komplettzustand des Gebäudes erhalten werden, und es können auch gezielter etwaige Arbeiten am Gebäude geplant werden, da die zukünftigen Materialströme bekannt sind. Dies kann auch für die Planung von Nachfolgenutzungen hilfreich sein.

Es wäre auch denkbar, dass BIM / Materialpass so konkret gefasst werden, dass sie als Basis für ein beim Rückbau zu erstellendes Entsorgungskonzept dienen können. Hierzu können bereits Informationen über die konkrete stoffliche Zusammensetzung hinterlegt sowie auch bevorzugt konkrete Verwertungsmöglichkeiten definiert werden.

Langfristig wäre auch eine Verknüpfung mit Bauplänen und das Aufzeigen von etwaigen in Kaskaden nutzbaren Baustoffen denkbar.

⁹ Schiller, G. et al., Kartierung des anthropogenen Lagers IV im Auftrag des UBA (unveröffentlicht)

¹⁰ Building as Material Banks: <https://www.bamb2020.eu/> [Stand April 2020]

Handlungsempfehlungen:

- Bei der Nutzung von BIM sollten, beginnend bei öffentlichen Hoch- und Tiefbauvorhaben, verpflichtende Angaben zum Rückbau und Verwertungspotenzial gefordert werden.
- BIM sollte zukünftig das Urban Mining Potenzial von Bauwerken deutlich machen, in dem aus den Bauteilinformationen Materialinventare und Verwertungsstrategien generiert werden können. **(P)**
- BIM sollte zukünftig die Ermittlung des Nachnutzbarkeitspotenzials von Gebäuden unterstützen, indem neben den Werten der Tragfähigkeit auch Nutzungsdauern von Bauteilen bzw. Baustoffen und Informationen über die technischen Bearbeitungsmöglichkeiten von Bauteilen im Bestand gegeben werden.
- BIM sollte zukünftig Hinweise zum Rückbau von Gebäuden, Bauteilen oder Bauteilschichten enthalten. Zu nennen sind Informationen zum Lösen von Verbindungen und zu Rückbautechnik (Verfahren, Bauteilinformationen z. B. Anschlagpunkte, etc.).
- Funktionierende Schnittstellen zwischen den Arbeitsbereichen von Architekten, Fachplanern und Bauherren / Nutzenden für die Steuerung der Ressourceneffizienz müssen geschaffen werden. Der Bund sollte in den relevanten BIM-Fach- und Normungsgremien die Belange des zirkulären Bauens und des Urban Mining einbringen und wo nötig federführend tätig werden. **(P)**
- Die öffentliche Hand sollte ihrer Vorbildfunktion nachkommen und entsprechende Vorgaben für die Nutzung von BIM bei öffentlichen Bauvorhaben definieren. **(P)**
- Perspektivisch ist anzuregen, das GEG (Gebäudeenergiegesetz) zu einem GRG (Gebäuderessourcengesetz) umzubauen. Neben der Nutzungsenergie und der grauen Energie gilt es zukünftig die Nutzungsemissionen, grauen Emissionen und die Rohstoffverbräuche von Gebäuden zu regulieren.
- Perspektivisch könnte eine übergreifende regionale Planung des Gebäudebestands unter Berücksichtigung der urbanen Mine durch Baubehörden auf Landes- oder kommunaler Ebene erfolgen.
- Digitale Systeme der Bau- und Abfallwirtschaft sollten verknüpft werden, um eine Kooperation im Sinne der Ressourceneffizienz zu verbessern (Unternehmen und Öffentliche Verwaltung)
Beispiel aus Flandern (Belgien): Auf der Onlineplattform Tracimat.be werden Abbruchunternehmen, Gutachter, Recyclingunternehmen und Verwender von Recyclingbaustoffen vernetzt mit dem Ziel einer lückenlosen Nachverfolgung von Schadstoffbelastungen.
- In der 115. LAGA-Vollversammlung wurde unter TOP 8.3 um eine Ergänzung der Musterbauordnung um einen neuen § 61 Abs. 3a gebeten.

Dieser soll besagen, dass der Abbruch von baulichen Anlagen im Weg eines geordneten selektiven Rückbaus erfolgen soll und für Baumaßnahmen mit einem Anfall von Bau- und Abbruchabfällen von insgesamt mehr als 500 m³ ein Entsorgungskonzept zu erstellen ist. Die Anforderungen an das Entsorgungskonzept werden dann weiter spezifiziert. Diese Empfehlung sollte dringend umgesetzt werden. (P)

5.2 Möglichkeiten zur Förderung des Einsatzes von Recyclingbaustoffen und Recycling-Bauprodukten

Recyclingbaustoffe und Recycling-Bauprodukte sind als ressourcenschonend anzusehen, da ihre Verwendung insbesondere den Einsatz nicht erneuerbarer Primärrohstoffe entlastet.

Bei der Herstellung von Recyclingbaustoffen wird das aktuell bestehende technische Potenzial zur Aufbereitung nicht vollständig genutzt, da oftmals keine entsprechende Nachfrage vorhanden ist. Dafür sind folgende Gründe ausschlaggebend, auf die in den nachfolgenden Unterkapiteln detaillierter eingegangen wird:

1. Insbesondere bei öffentlichen Auftraggebern besteht die Befürchtung, bei einer Bevorzugung des Einsatzes von Recyclingbaustoffen möglicherweise gegen das Vergaberecht zu verstoßen bzw. der Aufwand der Erstellung der notwendigen Begründungen und Dokumentationen im Ausschreibungsverfahren wird gescheut.
2. Bei vielen Bauherren besteht die Sorge, dass Recyclingbaustoffe den bautechnischen oder umweltrechtlichen Anforderungen nicht genügen. Um das Vertrauen der Bauherren in Recyclingbaustoffe zu verbessern sind - wie im Produktmanagement allgemein üblich - Qualitätssicherungsmaßnahmen und deren Dokumentation erforderlich.
3. Es ist eine Verbesserung der Marktsituation von Recycling- gegenüber Primärbaustoffen notwendig.
4. Der Rückbau erfolgt teilweise immer noch nicht selektiv genug, um die Abfallfraktionen für Recycling und Aufbereitung in entsprechender Sortenreinheit bereitzustellen. Es bedarf noch weiterer Forschung sowie wirtschaftlicher Förderung, um eine breitere und wirtschaftliche Anwendung von Recycling- und Verwertungstechnologien sicherzustellen.
5. Die derzeit vorhandenen Abfallschlüssel der Abfallverzeichnisverordnung reichen teilweise für eine recyclinggerechte Trennung der Baustoffe nicht aus.

5.2.1 Vergaberechtliche Regelungen¹¹

Der europäische Gesetzgeber hat 2016 eine Vergaberechtsreform durchgeführt¹². Diese verfolgt unter anderem das Ziel, das Beschaffungswesen stärker als bisher zur Umsetzung strategischer Ziele zu nutzen. Dies betrifft insbesondere auch die Aspekte Umwelt und Nachhaltigkeit. Nach Umsetzung der EU-Vergaberichtlinien in deutsches Recht kommen die Zielsetzungen des europäischen Gesetzgebers in zahlreichen Einzelbestimmungen zum Ausdruck.

Das novellierte Vergaberecht berechtigt die öffentlichen Auftraggeber, in allen Phasen des Vergabeverfahrens, angefangen bei der Formulierung der Leistungsbeschreibung und der Vertragsbedingungen bis hin zur Angebotswertung, Umweltaspekte einfließen zu lassen und dabei auch den Produktionsprozess in den Blick zu nehmen.

Bei Ausschreibungen für Maßnahmen im Tiefbau dürfen die Behörden z. B. den Einsatz von Recyclingbaustoffen festlegen, da es sich a) um eine rechtliche technische Spezifikation handelt und b) einzelne Bieter aufgrund der Tatsache, dass Recyclingbaustoffe auf dem freien Markt in ausreichender Menge verfügbar sind, bei dessen vorgegebenem Einsatz weder bevorzugt noch diskriminiert werden.

Bei Ausschreibungen für Maßnahmen im Hochbau kann z. B. der Anteil an Recyclingmaterial für den Beton, der von den Bietern angeboten wird, als Bewertungskriterium herangezogen werden, sofern das Bewertungskriterium und die Bewertungsmethode den Bietern vor der Angebotserstellung mitgeteilt worden sind.

Somit müssen die etablierten Ausschreibungspraktiken nicht geändert werden, um Recyclingbaustoffe bei der öffentlichen Auftragsvergabe verstärkt zu berücksichtigen¹³.

¹¹ Siehe auch Dageförde, A. (2019): Auf dem Boden der Gesetze - Bei der Vergabe von Bauvorhaben können in öffentlichen Ausschreibungen Recycling-Baustoffe besonders berücksichtigt werden. *Re-Source* 2019/2, pp. 4-9.

¹² europäisches Richtlinienpaket zur Modernisierung des Vergaberechts, bestehend aus der Richtlinie über die öffentliche Auftragsvergabe 2014/24/EU5, der Richtlinie über die Vergabe von Aufträgen in den Bereichen Wasser-, Energie- und Verkehrsversorgung 2014/25/EU6 und der Richtlinie über die Vergabe von Konzessionen 2014/23/EU7.

¹³ Behörden können weiterhin die Standardformulare des Vergabe- und Vertragshandbuchs des Bundes (VHB) und des Handbuchs HVA B-StB verwenden (Dageförde, A., 2019).

Der gesamte Ausschreibungsprozess muss dokumentiert werden¹⁴, wobei die Berücksichtigung von Recyclingbaustoffen in der Dokumentation zu begründen ist. Einige Verwaltungen haben hierzu Regelungen oder fachliche Hilfestellungen veröffentlicht¹⁵.

In der Umsetzung der abfall- und vergaberechtlichen Rechtslage wird jedoch vielfach eine große Diskrepanz zwischen Anspruch und Wirklichkeit in der Berücksichtigung von Recyclingbaustoffen beklagt¹⁶. Oftmals wird der Einsatz von Recyclingbaustoffen in öffentlichen Ausschreibungen sogar ausdrücklich und ohne Begründung ausgeschlossen.

Im Gegensatz dazu hat Rheinland-Pfalz bereits im Oktober 2012 eine Vereinbarung („Bündnis Kreislaufwirtschaft auf dem Bau“) zwischen mehreren Staatsministerien, der Architektenkammer, dem Baugewerbeverband und weiteren relevanten Akteuren wie bspw. Betreibern von Recycling-Anlagen getroffen, in der sich diese zur Förderung der Kreislaufwirtschaft im Bausektor verpflichten, u. a. dadurch, dass bei Planung und Ausschreibungen der Einsatz von gütegesicherte Recyclingbaustoffen über eine produktneutrale Ausschreibung insbesondere von der öffentlichen Hand berücksichtigt wird. Bei "Verstößen" bspw. durch regionale Stellen des Landesbetriebes Mobilität Rheinland-Pfalz (LBM) kann dies dem Landesamt für Umwelt (LfU) als Clearingstelle von betroffenen Baufirmen, Recyclingbaustoffproduzenten oder anderen Betroffenen (bspw. Verbänden) gemeldet werden. Das LfU informiert die zuständigen Ministerien und "klärt" den Fall auf inklusive Rückmeldung an die Betroffenen. Die Ausschreibungspraxis konnte so deutlich zugunsten des Einsatzes von Recyclingbaustoffen verbessert werden.¹⁷ Zu den weiteren Aufgaben des „Bündnisses“ gehört die Öffentlichkeitsarbeit über regionale Fach- und Informationsgespräche sowie die eigene Homepage www.kreislaufwirtschaft-bau.rlp.de.

Die Gesetzgeber in Bund und Ländern haben spezielle abfallrechtliche Vorschriften geschaffen, mit denen der Einsatz von Recyclingbaustoffen in öffentlichen Bauvergabeverfahren gefördert werden soll¹⁸. Auch nach dem

¹⁴ § 20 VOB/A und § 20 EU VOB/A in Verbindung mit § 8 VgV regeln den Mindeststandard für die Dokumentation.

¹⁵ Siehe Anlage 1: Übersicht über die Berücksichtigung und Förderung des Einsatzes von Recyclingbaustoffen in den einzelnen Ländern

¹⁶ Heinemann & Partner (2018): Optimierung des Rechtsrahmens für den Einsatz mineralischer Ersatzbaustoffe bei öffentlichen Bauvergaben – Politik-Memorandum vom 26.06.2018. <https://recyclingbaustoffe.de/downloads-3/>

¹⁷ Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung (2012): Vereinbarung. Bündnis Kreislaufwirtschaft auf dem Bau https://kreislaufwirtschaft-bau.rlp.de/fileadmin/lfu/Stoffstrommanagement/Buendnis_Kreislaufwirtschaft.pdf [zuletzt aufgerufen 26.04.2021]

¹⁸ z.B. § 45 KrWG, §27 BbgAbfBodG, für eine Übersicht über Regelungen in den einzelnen Ländern siehe Anlage 1: Übersicht über die Berücksichtigung und Förderung des Einsatzes von Recyclingbaustoffen in den einzelnen Ländern

Vergaberecht als Instrument zur Förderung des Umweltschutzes und der Ressourcenschonung¹⁹ sollten mineralische Recyclingbaustoffe in Bauvergabeverfahren Berücksichtigung finden. Die Vorschriften des Bundes und der meisten Länder²⁰ begründen aber keine verbindlichen Rechtspflichten zu Lasten der öffentlichen Auftraggeber und keine Rechte bzw. Ansprüche zu Gunsten Dritter.

Die abfallrechtlichen Grundpflichten zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen finden mit Blick auf die Entscheidung öffentlicher Auftraggeber, ob sie bei der Vergabe öffentlicher Bauaufträge (auch) mineralische Recyclingbaustoffe zulassen, schon deshalb keine Anwendung, weil sich diese Grundpflichten nicht an die öffentlichen Auftraggeber, sondern u. a. an Anlagenbetreiber sowie an Erzeuger und Besitzer von Abfällen als Pflichtenadressaten richten.

Durch das am 29. Oktober 2020 novellierte Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) wird in § 45 die Verpflichtung der öffentlichen Hand jedoch noch einmal bekräftigt, bei Bauvorhaben und sonstigen Aufträgen, Erzeugnissen den Vorzug zu geben, die u. a. durch Vorbereitung zur Wiederverwendung oder durch Recycling von Abfällen, insbesondere unter Einsatz von Rezyklaten, oder aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt worden sind. Allerdings beinhaltet auch diese Verpflichtung die Einschränkung, dass damit keine Rechtsansprüche Dritter zu begründen sind.

Handlungsempfehlungen

- Öffentliche Auftraggeber sollten bei der Formulierung der Leistungsbeschreibung, der Vertragsbedingungen und bei der Angebotswertung in verstärktem Maße einen bevorzugten Einsatz von Recyclingbaustoffen fordern und z. B. die Transportentfernung als Zuschlagskriterium in Ausschreibungen fixieren. **(P)**
- Schaffung von Ansprüchen oder sonstigen Rechten der am Vergabeverfahren Beteiligten, die klageweise die Förderung des Einsatzes von Recyclingbaustoffen bei öffentlichen Bauvergaben durchsetzen können. Hierzu sind entsprechende Verpflichtungen in den gesetzlichen Regelungen von Bund und Ländern zu Vergabe aufzunehmen. **(P)**
- Im BNB sollte ein Qualitätskriterium ergänzt werden, das Baumaterialien die Ressourcen schonen, positiv bewerten kann. In Betracht käme ein neues Kriterium oder ein bestehendes, wie z. B. der Kriteriensteckbrief 1.1.7 „Nachhaltige Materialgewinnung“, in dem derzeit die nachhaltige Beschaffung von Holz adressiert ist.

¹⁹ Maßnahmen im Bereich der umweltfreundlichen öffentlichen Beschaffung (Green Public Procurement)

²⁰ Ausnahmen sind Berlin, und Thüringen, in Rheinland-Pfalz ist dies im § 2 LKrWG vorgesehen, zum Vollzug gibt es jedoch noch Diskussionen

5.2.2 Akzeptanz / Qualitätssicherung

Akzeptanz

Akzeptanz für ressourcenschonende Baustoffe findet sich aktuell vor allem im Straßenbau, hier werden seit vielen Jahren die unterschiedlichsten Recyclingbaustoffe für verschiedenste Einsatzzwecke verwendet. Über viele Jahre hinweg konnten hier Erfahrungen aufgebaut werden, die zeigen, dass sich ressourcenschonende Baustoffe in den entsprechenden Anwendungsfeldern bewährt haben.

Dennoch herrscht in anderen Einsatzgebieten, insbesondere für als anspruchsvoll geltende Anwendungen von ressourcenschonenden Baustoffen, ein Mangel an Akzeptanz. Dieser ergibt sich vordringlich aus der Befürchtung, dass mineralische Abfälle übermäßig mit Schadstoffen behaftet sind und dadurch entsprechende Anforderungen, vor allem im Umwelt-, Arbeits-, oder Gesundheitsschutz nicht erfüllen. Darüber hinaus herrscht eine teilweise ablehnende Haltung gegen aus „Abfällen hergestellte Produkte“.

Um Akzeptanz aufzubauen, muss sich ähnlich wie im Bereich des Straßenbaus auch in anderen Bereichen der Einsatz von ressourcenschonenden Baustoffen bewähren. Hierzu ist vor allem die Qualitätssicherung in den Fokus zu rücken.

Qualitätssicherung

Qualitätssicherung ist die tragende Säule zur Steigerung der Akzeptanz. Mittels verlässlich nachgewiesener Qualität können Vorbehalte gegen ressourcenschonende Baustoffe abgebaut und ihre Gleichrangigkeit mit Primärbaustoffen belegt werden.

Bei Recyclingbaustoffen konzentriert sich die Qualitätssicherung auf den Nachweis der bautechnischen Eignung und Einhaltung der Umwelanforderungen. Die klassische Form der Qualitätssicherung besteht aus drei Stufen. Zunächst muss die Eignung des Recyclingbaustoffs durch einen Eignungsnachweis festgestellt werden. Im zweiten Schritt werden die Qualitätsparameter fortlaufend im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle überwacht. Drittes Kernelement ist die unabhängige Prüfung des Materials. Schwankungen der Materialqualität, die stärker als bei Bauprodukten aus Primärrohstoffen durch den inhomogenen Anlageninput bedingt sind, können durch eine erhöhte Prüfhäufigkeit kompensiert werden.

Die umweltbezogenen Anforderungen sind abhängig von den Materialien und der beabsichtigten Nutzung. Insbesondere spielt es eine Rolle, ob die Recyclingbaustoffe entsprechend des § 5 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) aus dem Abfallregime entlassen werden können, oder als Abfall zum Einsatz kommen. Für die Bewertung der Schadlosigkeit der Verwertung als mineralischer Abfall kommen länderspezifisch verschiedene Regelwerke zum Tragen. Darin werden die umwelttechnische Anforderungen in Verbindung mit bestimmten Einbauweisen in technischen Bauwerken geregelt (z.B. angepasste

Versionen der LAGA M20²¹). Im Allgemeinen sind zum Erreichen des Endes der Abfalleigenschaft hohe, im § 5 KrWG grundlegend definierte Anforderungen zu erfüllen, gleichzeitig ergibt sich dadurch ein breiteres Anwendungsspektrum.

Auch Primärbaustoffe (z. B. Grauwacken, Basalte) können Schadstoffe wie Schwermetalle oder Asbestbestandteile in erhöhten Konzentrationen enthalten. Sie unterliegen aber anders als Sekundärbaustoffe in Bezug auf Schwermetalle keiner, in Bezug auf Asbestbestandteile geringeren Anforderungen an die Qualitätssicherung. Damit entsteht durch die im Rahmen der Qualitätssicherung entstehenden Kosten ein wirtschaftlicher Nachteil der Sekundärbaustoffe gegenüber Primärrohstoffen. Dies führt außerdem in der Praxis zu Fällen, die einen Einsatz der Primärrohstoffe in einem Bauwerk erlauben, ein Wiedereinsatz desselben Materials jedoch nicht mehr möglich ist, wenn es aus dem Bauwerk ausgebaut und als Abfall eingestuft wurde.

Handlungsempfehlungen

Reduktion von Vorbehalten durch:

- Öffentliche Hand; Rezyklathersteller; Bauträger: öffentliche Förderung der Forschung zur Überprüfung der Eignung von Recyclingbaustoffen in verschiedenen Anwendungen mit anschließender Dokumentation des Einsatzes über verschiedene Lebenszyklen **(P)**
- Wirtschaft: Teilen von Best-Practice-Anwendungen in der Aus- und Fortbildung entsprechender Berufsgruppen **(P)**
- Bund und Länder: gleiche Anforderungen an Primär- und Sekundärressourcen hinsichtlich des erlaubten Schadstoffgehalt in ihren umweltrechtlichen Regelungen stellen
- Bund und Länder: gezielte Imagekampagnen für zentrale Akteur*innen (Sensibilisierung, Steigerung des Bekanntheitsgrades); Herausgabe von offiziellen und verbindlichen Informationsmaterialien für Bauverantwortliche, herstellende Unternehmen etc.

Einsatz von Recyclingbaustoffen in höherwertigen Anwendungen:

- Öffentliche Hand und freie Wirtschaft: Durchführen von Pilotprojekten unter dem Schwerpunkt der Nutzung von Recyclingbaustoffen für hochwertige und innovative Einsatzzwecke
- Öffentliche Hand: Einsatz von Recyclingbaustoffen in großem Maßstab **(P)**
- Wirtschaft: eigenverantwortlich den Einsatz von Recyclingbaustoffen in ihren Rollen als Produzent und potentieller Nutzer stärken **(P)**

²¹ Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Links zu den Länderspezifischen Regelungen zur Umsetzung der LAGA M20; <https://www.laga-online.de/Links-51-Links-zu-M20.html> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

- Freie Wirtschaft: Einführung von möglichst einheitlichen Güte-/Qualitätssiegeln, welche dann auch auf staatlicher Ebene und länderübergreifend übernommen, bzw. anerkannt werden können
- Bund und Länder: Rechtliche Vorgaben zur Erreichung des Abfallendes (P)
- Auf der 115. LAGA-Vollversammlung wurde die Einsetzung einer länderoffenen Arbeitsgruppe zur Entwicklung eines Leitfadens „Berücksichtigung abfallrechtlicher Regelungen in der Bauproduktennormung“ beschlossen, die sich mit den oben genannten Themen auseinandersetzt. Die Empfehlungen dieser Arbeitsgruppe sollten sowohl auf nationaler wie auf EU-Ebene berücksichtigt werden.

5.2.3 Verbesserung der Marktsituation für hochwertiges Recycling

Eine signifikante Verbesserung der Marktsituation für ein hochwertiges Recycling ist nur zu erreichen, wenn auf allen Ebenen der Abfallentsorgung, beginnend am Anfallort über die Aufbereitung bis hin zur Verwertung, zielgenaue Maßnahmen konsequent und qualitätsgesichert umgesetzt werden.

Von zentraler Bedeutung sind eine Optimierung und eine strikte Einhaltung selektiver Rückbaukonzepte am Anfallort. Idealerweise ist eine konstruktive Grundhaltung vieler beteiligten Akteure wie z. B. Bauherren, Architekten, Ingenieurbüros, Entsorgern und Aufbereitern zur Erreichung eines hochwertigen Recyclings gegeben. Hierzu müssen die im Rahmen von Bau- und Abbruchmaßnahmen anfallenden unterschiedlichen Abfallstoffe getrennt gesammelt und den entsprechenden Recyclingstoffströmen zugeführt werden. Denn nur durch die Erfassung sortenreiner Stoffströme lassen sich bei der anschließenden Aufbereitung qualitativ hochwertige Recyclingbaustoffe für verschiedenste Anwendungsbereiche herstellen.

Ein weiterer Baustein ist die Aufklärung der beteiligten Akteure über die Möglichkeiten an ökologischen und wirtschaftlichen Chancen und das erhebliche Potenzial beim Einsatz von Recyclingbaustoffen. Durch die häufig fehlende Praxiserfahrung haben die handelnden Beteiligten wie z. B. Bauherren, Ingenieurbüros und Aufbereiter von Recyclingbaustoffen größere Informationsbedarfe.

Einen erheblichen Beitrag zur Verbesserung der Marktsituation kann die Schaffung entsprechender Vorgaben bei der öffentlichen Ausschreibung und Vergabe erreichen. Hier sind Regelungen zu formulieren, die das vorrangige Ausschreiben von Recyclingbaustoffen festlegen und Ausnahmen nur in begründeten Fällen vorsehen, wenn z. B. umwelt- und / oder bautechnische Gründe vorliegen. Abweichungen müssen immer schriftlich begründet werden (siehe hierzu auch Kapitel 5.2.1).

Zur Steigerung von Akzeptanz und Einsatz von Recyclingbaustoffen ist die konsequente Umsetzung eines einheitlichen und transparenten Gütesicherungssystems eine wichtige Voraussetzung. Nur durch eine garantierte und

lückenlose Qualitätssicherung lassen sich bestehende Vorbehalte potenzieller Abnehmer gegen Recyclingbaustoffe ausräumen (siehe hierzu auch Kapitel 5.2.2).

Die Beseitigung oder Verwertung in Deponien oder Verfüllungsmaßnahmen stellt für einige Baurestmassen aktuell die kostengünstigere Entsorgungsmöglichkeit dar. Am 3. Juli 2020 wurde die Deponieverordnung²² im § 7 um den Absatz 3 ergänzt (dieser Paragraph tritt erst am 1. Januar 2024 in Kraft), der besagt, dass Abfälle, die zur Vorbereitung zur Wiederverwendung oder zum Recycling getrennt gesammelt werden, nicht einer Deponie zur Ablagerung zugeführt werden dürfen. Die Vollziehbarkeit dieser Bestimmung sollte überprüft werden, ein Erfahrungsaustausch zwischen Vollzugsbehörden, Deponiebetreibern und Abfallentsorgern eingerichtet und gegebenenfalls eine Vollzugshilfe erarbeitet werden.

Aber vor allem das Verantwortungsbewusstsein der Beteiligten zur Wiederverwendung von Materialien und Produkten ist ein wichtiger Schritt hin zu mehr Ressourcen- und Klimaschutz und der Schonung knapper Deponiekapazitäten.

Handlungsempfehlungen

- Der Bund und die Länder sollten über gesetzliche Regelungen die Festbeschreibung selektiver Rückbaukonzepte mit den Elementen: Gebäude(schadstoff-)kataster als Planungsgrundlage, selektive Entnahme von Bauteilen, selektiver Abbruch/Rückbau zur getrennten Gewinnung von Abfällen, vorgeben (siehe auch 5.2.4).
- Die Länder sollten über gesetzliche Regelungen die bevorzugte Verwendung von Recyclingbaustoffen vorgeben (Beispiel LKreiWiG Baden-Württemberg).
- Es sollte auf Bundesebene geprüft werden, ob eine gesetzliche Verpflichtung geschaffen werden kann, die für die Herstellung und Verwendung von mineralischen Baustoffen Substitutionsquoten festlegt, damit natürliche Rohstoffe durch Recyclingbaustoffe ersetzt und zugleich Ressourcen und Deponieraum geschont werden. In den Vorgaben zur Produktverantwortung (§ 23 Abs. 2 Nr. 2 KrWG) findet sich lediglich eine Soll-Vorschrift, sekundäre Rohstoffe vorrangig einzusetzen. Diese reicht jedoch nicht aus, um bei Baumaßnahmen vorrangig Recyclingbaustoffe zu verwenden und damit für mineralische Bauabfälle eine hohe Verwertungsquote zu erreichen. **(P)**
- Bund und Länder sollten in ihren Vergaberichtlinien die Berücksichtigung der gesamtwirtschaftlichen Kosten bei Ausschreibungsverfahren über Wirtschaftlichkeitsvergleiche z. B. Kostenwirksamkeitsanalysen (Nachhaltigkeitssiegel etc.) verbindlich festschreiben (siehe auch 5.2.1). **(P)**

²² Bundesgesetzblatt Teil I, 2020, Nr. 32 vom 03.07.2020: Verordnung zur Änderung der Abfallverzeichnis-Verordnung und der Deponieverordnung

- Die zuständigen Behörden sollten im Rahmen von Genehmigung und Überwachung solcher Maßnahmen den Abfallerzeugern (möglichst einheitliche) Checklisten und Erfassungstools für die Inventarisierung der Baurestmassen, der separat zu erfassenden Fraktionen sowie ggf. von Schadstoffen zur Verfügung stellen. **(P)**
- Bund und Länder sollten über Wirtschaftsanreizprogramme ökonomische Gegenmaßnahmen (z. B. steuerliche Begünstigung Sekundärrohstoffe / gleiche Prüfungsanforderungen an die Umwelteigenschaften von Primärrohstoffen) ergreifen, um die Benachteiligung von Recyclingbaustoffen aufgrund der erhöhten Aufwände (Aufbereitungskosten, QS wie o.g. etc.) im Vergleich zu Primärbaustoffen zu kompensieren.
- Behörden und Wirtschaft sollten in enger Zusammenarbeit Regeln für ein allgemein anerkanntes Ende der Abfalleigenschaft für bestimmte güteüberwachte Recyclingbaustoffe erarbeiten. **(P)**
- Durch eine enge Zusammenarbeit von Behörden, Fachverbänden, Branchenvertretern etc. sollte die Aufklärung der „Akteure der Praxis“ z. B. durch gezielte Beratung, Informationsveranstaltungen, fachlichen Austausch und Informationsportale unterstützt werden.
- Insbesondere der beteiligten Wirtschaft obliegt bei der Berücksichtigung von Transportwegen für ein ökologisches und wirtschaftliches Handeln eine besondere Verantwortung.
- Bund und Länder könnten durch die Entwicklung wirtschaftlicher Steuerungsinstrumente, wie z. B. einer zweckgebundenen Pflichtabgabe auf den Bezug von Primärbaustoffen oder abfallspezifische Abgaben für Deponien bzw. Deponiebedarfsanalysen als Lenkungsinstrument die Marktsituation von Recyclingbaustoffen verbessern.

5.2.4 Abbruch-, Aufbereitungs- und Verwertungstechnologien

Abbruch / Rückbau

Bereits die Art und Weise, mit der Abbruch-, Rückbau- oder Sanierungsmaßnahmen ausgeführt werden, hat einen wesentlichen Einfluss auf die Menge und Qualität der anschließend gewonnenen Materialfraktionen.

Beim konventionellen Abbruch fällt die gesamte Gebäudemasse als gemischte Fraktion an. Diese muss vollständig einer Behandlungsanlage zugeführt und durch Sortierung in verwertbare Fraktionen zerlegt werden.

Grundsätzlich ist der selektive Rückbau wirtschaftlicher und effizienter. Abhängig von den örtlichen Randbedingungen, Art und Größe der Abbruch- oder Sanierungsmaßnahme werden in zeitlicher Abfolge Demontagearbeiten ausgeführt und Bauelemente entnommen (teilselektiver oder selektiver Rückbau). Sofern schadstoffhaltige Baustoffe oder Bauelemente erkannt wurden, ist dies gleichzeitig zwingende Voraussetzung für eine gezielte Schadstoffentfrachtung und Steigerung der Sortenreinheit.

Nach der Demontage von haustechnischen Anlagen (Aufzügen, Klima- und Lüftungsanlagen, Heizungen etc.), Leitungen und Rohren werden weitere Baumaterialien möglichst sortenrein erfasst. Dies können Bauteile aus Holz (Dach- und Deckenkonstruktion), Bauelemente aus Kunststoff, Metall, Glas, Holz (Fenster, Türen), Gips-Leichtbaukonstruktionen, Verbundbaustoffe, Isoliermaterialien (Polystyrol, Glaswolle, Steinwolle), Baumaterialien der Wandbekleidung, etc. sein. Die verbleibende Gebäudemasse besteht aus überwiegend mineralischer Substanz und kann ggf. ebenfalls getrennt nach Ziegel, Beton, Kalksandstein und Leichtbaustoffen (Porenbeton) erfasst werden (siehe auch 6.1.2). Im Rahmen der Baureifmachung können auf dem Baugrundstück Bodenaushub (belastet und unbelastet, Mutterboden), natürlich anstehende Gesteine (Sand, Kies, Fels), Pflastersteine, Schotter und Straßenaufbruch anfallen.

Die Abtrennung von Putzen, Verbundestrich sowie Abdicht- und Fugenmassen ist in der Regel nicht wirtschaftlich darstellbar und kommt nur zum Tragen, wenn hierdurch Schadstoffe (z. B. Asbest) ausgeschleust werden müssen.

Für neue Gebäude, die unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit erstellt werden, sollten bereits bei der Planung Aspekte des geordneten Rückbaus oder Potenziale für eine spätere Umnutzung berücksichtigt und dokumentiert werden.

Die Wiederverwendung von Bauelementen oder Bauteilen kann durch die Einrichtung von Bauteilbörsen gesteigert werden. Es existieren bereits regionale Projekte, in denen Bauelemente wie Türen, Fenster, Treppenelemente etc. zur Wiederverwendung vermittelt werden. Große Bauteile wie Stahlbetonteile oder ganze Plattenbauelemente wurden bereits in Einzelprojekten erfolgreich wiederverwendet²³. Insgesamt stellt die Wiederverwendung von Bauelementen und -teilen eine hohe organisatorische Herausforderung insbesondere hinsichtlich der Akzeptanz und Qualitätssicherung sowie der Transportdistanzen dar. Hilfreich sind hier auch Internetplattformen wie z. B. [materialrest24.de](https://www.materialrest24.de/)²⁴ und restado.de²⁵.

Die beim selektiven Rückbau gewonnenen sortenreinen Fraktionen können für höherwertige Recyclingverfahren genutzt werden²⁶. Subkreisläufe wie

- R-Beton
- Porenbeton und

²³ Siehe z. B. Mettke, A. et al. (2008): Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf. gefördert vom BMBF (AFKZ 0339972). Fachgruppe Bauliches Recycling. Lehrstuhl Altlasten. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

²⁴ <https://www.materialrest24.de/>

²⁵ <https://restado.de/>

²⁶ Weimann K. et al. (2013): Optimierung des Rückbaus / Abbruchs von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung; UBA Texte 05/2013

- Gips

werden in den jeweiligen Unterabschnitten des Kapitels 6 näher erläutert.

Handlungsempfehlungen

- Jeder Bauherr sollte prüfen, ob eine Weiternutzung von Gebäuden möglich ist oder bestehende Gebäude in die Neubauplanung integriert werden können.
- Bei der Nutzung digitaler Werkzeuge wie BIM im Hochbau (und Tiefbau) sollten diese auch für Rückbau und Recycling relevante Aspekte beinhalten (alle Bauherren). **(P)**
- Aus BIM sollte erkennbar sein, welche Materialien in den jeweiligen Bauwerken vorhanden sind mit konkreten Angaben dazu, wie diese in die Wiederverwertung oder das Recycling fließen bzw. gelenkt werden können (weitere Handlungsempfehlungen zu BIM siehe 5.1). **(P)**
- Perspektivisch ist anzuregen, eine übergreifende regionale Planung des Gebäudebestands bei Berücksichtigung der urbanen Mine durchzuführen.
- Digitale Systeme der Bau- und Abfallwirtschaft sollten verknüpft werden, um eine Kooperation im Sinne der Ressourceneffizienz zu verbessern (Unternehmen und Öffentliche Verwaltung)
 - Beispiel aus Flandern (Belgien): Auf der online-Plattform Tracimat.be werden Abbruchunternehmen, Gutachter, Recyclingunternehmen und Verwender von Recyclingbaustoffen vernetzt mit dem Ziel einer lückenlosen Nachverfolgung von Schadstoffbelastungen.
- In der 115. LAGA-Vollversammlung wurde unter TOP 8.3 eine Ergänzung der Musterbauordnung um einen neuen § 61 Abs. 3a vorgeschlagen. Dieser soll besagen, dass der Abbruch von baulichen Anlagen im Weg eines geordneten selektiven Rückbaus erfolgen soll und für Baumaßnahmen mit einem Anfall von Bau- und Abbruchabfällen von insgesamt mehr als 500 m³ ein Entsorgungskonzept zu erstellen ist. Die Anforderungen an das Entsorgungskonzept werden dann weiter spezifiziert. Diese Empfehlung sollte dringend umgesetzt werden. **(P)**
- Öffentliche Auftraggeber sollten beim selektiven Rückbau vorbildlich agieren²⁷.
- Behörden sollten Leitfäden zum selektiven Rückbau erstellen (bereits in einigen Ländern oder auf Ebene örtlicher Behörden erfolgt, Beispiel: Rheinland-Pfalz).²⁸

²⁷ Z B. Geplante Änderung der Bauordnung Berlins zur Verankerung des selektiven Rückbaus im Jahr 2021

²⁸ <https://ifu.rlp.de/de/bodenschutz-abfallwirtschaft/abfallwirtschaft-stoffstrommanagement/stoffstrommanagement/stoffstrommanagement-in-der-bauwirtschaft/leitfaden-bauabfaelle/uebersicht-des-leitfadens-bauabfaelle/>

- Behörden sollten Hilfsmittel wie Checklisten, Musteraufnahmebogen zur Erfassung / Inventarisierung von Baumaterialien, Musterabbruchkonzepte mit Maßnahmen- und Zeitplan bereitstellen (Beispiel: Bayern ²⁹).
- Z. B. durch Dialoge von öffentlichen Verwaltungen mit Abbruchverbänden sollte die Anwendung IT-gestützter Dokumentationshilfen für den Rückbau gefördert werden.
- Die Qualifizierung von Fachkräften sollte in den folgenden Bereichen gefördert und die Lehrpläne entsprechend angepasst werden: Schadstoffsanierung, Abbruch (Vertiefung Rückbau- und Entsorgungskonzepte in Schulungen).
- Der Vollzug der Gewerbeabfallverordnung durch die zuständigen Behörden sollte verbessert werden. **(P)**

Aufbereitung

Bei Bau- und Abbruchmaßnahmen macht die mineralische Fraktion den größten Mengenanteil aus. Abhängig vom Umfang der Maßnahme kann die Aufbereitung und Herstellung rezyklierter Gesteinskörnung auch mit einer mobilen Brech- und Siebanlage am Ort der Abfallentstehung (Baustelle) erfolgen. Das ist insbesondere dann sinnvoll, wenn die gewonnene Gesteinskörnung etwa bei der Folgenutzung des Geländes verwendet werden kann.

In der Regel wird das mineralische Material zu einer Bauschutttaufbereitungsanlage transportiert. Im Vergleich zur mobilen Anlage verfügen stationäre Anlagen i. d. R. über eine geeignetere räumliche, technische und personelle Ausstattung.

Standard ist eine trockenmechanische Aufbereitung mittels Brechanlage (ggf. zweistufig), Magnetabscheider und Siebanlage zur Herstellung differenzierter Kornspektren. Zur Störstoffabscheidung sind ein Leseband und Windsichteranlagen Stand der Technik.

Die getrennte Lagerung der unterschiedlichen mineralischen Fraktionen ist eine weitere wichtige Voraussetzung zur Qualitätssicherung. Gekennzeichnete Lagerboxen verhindern die nachträgliche Vermischung sortenrein erfasster und aufbereiteter Fraktionen und Zielkörnungen. Die Aufbereitung und Herstellung hochwertiger Recyclingbaustoffe erfordert darüber hinaus geschultes Personal zur Ausführung der Wareneingangskontrolle, der Produktion und der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK). Die Güteüberwachung der Recyclingbaustoffe wird i. d. R. durch Überwachungsvereinbarungen mit

²⁹ Landesamt für Umwelt (2019): Rückbau schadstoffbelasteter Bausubstanz. Arbeitshilfe Erkundung, Planung, Ausführung. LfU Bayern: https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/index.htm

anerkannten Prüfstellen gewährleistet. Stationäre Aufbereitungsanlagen unterliegen hohen Anforderungen bezüglich Emissions- und Lärmschutz, Entwässerung und Gewässerschutz.

Spezielle Aufbereitungsverfahren

Zur Sortierung bzw. Abtrennung von Porenbeton, Gips und organischen Bestandteilen können Nahinfrarotsensoren in Anlagen integriert werden³⁰. Positiv verliefen ebenfalls Versuche, mit Hilfe von RGB-Farbsensoren „grau“ von „roten“ Komponenten zu trennen (Ziegel und Beton). Es werden aktuell Forschungsvorhaben z. B. zu opto-pneumatischen Sortierverfahren für Grob- und Feinfraktionen durchgeführt. So werden neben Farb- und Helligkeitserkennung auch chemische Unterschiede etwa durch die Anwendung von hyperspektralen Nahinfrarot-Kameras erkannt. Durch eine Kombination verschiedener optischer Verfahren in Verbindung mit der pneumatischen Abscheidung können sortenreine Fraktionen für ein hochwertiges Recycling gewonnen werden. Eine großtechnische Anwendung steht noch aus³¹.

Durch eine Nassaufbereitung von Bauschutt mit geringem Feinkornanteil kann eine bessere Abtrennung von Feinanteilen und eine Senkung der Salzgehalte erreicht werden. Geeignete Verfahren sind Hydrobandscheider (Aquamatoren), Setzmaschinen und Waschtrommeln. Die Setzmaschine dient gleichzeitig zur Dichtentrennung und kann zur Abscheidung von Porenbeton und Gips dienen. Verfahren zur Abtrennung der Gesteinskörnung aus Beton waren ebenfalls bereits Gegenstand von Untersuchungsvorhaben³².

Für die Aufbereitung von Boden-Bauschuttgemischen eignet sich das Nassklassierungsverfahren. Unter Wasserzugabe können Boden-Bauschuttgemische und Gleisschotter in die Hauptfraktionen Ton, Schluff, Sand und Kies / Bauschutt aufgetrennt werden. Dabei werden die mineralischen Stoffe unter Zuhilfenahme von Wasser mechanisch in verschiedene Korngrößenklassen getrennt und anhaftende Bestandteile sowie Putze aussortiert. Die Ausgangsmaterialien werden dabei nicht nur gesiebt und sortiert, sondern auch in einem Waschprozess gereinigt, um den Feinanteil sowie Störstoffe wie Holz, Bims oder Kunststoffe zu entfernen. Mit dem Verfahren können ebenfalls Schadstoffe wie Schwermetalle ausgeschleust werden, da diese vorrangig an Feinschluff anhaften.

Die bei der Nassklassierung entstehenden Feinanteile (Fraktion 0 - 2 mm) sind bislang nicht verwertbar und werden in der Regel deponiert. Langfristig wäre es denkbar, diese Fraktion in der Ziegelindustrie einzusetzen. Durch den

³⁰ LLA Instruments GmbH: <https://www.lla.de/files/lla/pdf/Einsatzbereiche%20GER/Baustoffrecycling.pdf>

³¹ Fraunhofer Umsicht (2019): BauCycle: Recycling von feinkörnigem Bauschutt; <https://www.um-sicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemitteilungen/2019/BauCycle-Abschluss.html> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

³² Müller, A. (2016): Erschließung der Ressourceneffizienzpotenziale im Bereich der Kreislaufwirtschaft Bau; Endbericht Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.)

Brennprozesses bei der Ziegelherstellung könnten mögliche organische Schadstoffe zerstört werden. Erste Forschungsvorhaben laufen dazu.

Bis zu 90 % des gewaschenen Materials kann durch die Nassklassierung von Boden-Bauschuttgemischen in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden, was bei der bisher eingesetzten trockenen Aufbereitungstechnik (Sieb- und Brecheranlagen) nicht erreicht werden kann.

Diese Verfahren werden noch nicht für die große Masse der Bau- und Abbruchabfälle eingesetzt. Ein wirtschaftlicher Betrieb von Nassklassierungsanlagen ist grundsätzlich möglich, da bestimmte Boden-Bauschuttgemische ohne diese Art der Vorbehandlung im Normalfall deponiert werden. Die Kosten für die Deponierung sind im Regelfall höher als die Kosten für die Behandlung mit der Nassklassierungsanlage sowie die nachfolgende Verwertung. Eine Nassklassierungsanlage in Kirchheim bei Stuttgart setzt dieses Verfahren schon seit mehreren Jahren ein³³.

Handlungsempfehlungen Aufbereitungsverfahren

- Förderung von Forschungsvorhaben zur Entwicklung neuer Aufbereitungsverfahren für den großtechnischen Einsatz (Bund / Länder) **(P)**
- Spezifische Wirtschaftsförderung für Aufbereitungsverfahren / großmaßstäbliche Anwendung / Upscaling (Bund, Länder)
- Qualitätsverbesserung durch smarte Anlagenkonzepte mit Einsatz innovativer Technologien (Aufbereiter)
- Einführung bzw. Erhaltung und Nutzung von Vergünstigungen der Recyclingunternehmen in Bezug auf Verbrauchssteuern (Beispiel: Stromsteuererstattung) (Bund, Aufbereiter)

Handlungsempfehlungen Verwertung

Potenziale zur Förderung der Verwertung durch Verbesserung der Technologien ergeben sich aus den folgenden Handlungsfeldern, welche überwiegend von den Aufbereitungsunternehmen beeinflusst werden können:

- Standort der Aufbereitungsanlage: getrennte Lagerung verschiedener mineralischer Qualitäten, Boxensystem mit Lagerkonzept / Kennzeichnung
- Güteüberwachung für einen möglichst großen Teil der verschiedenen Recyclingbaustoffe
- Durchsetzen hoher Anforderungen an die Getrennthaltung gegenüber Erzeugern / Bauunternehmern

³³ Heinrich Feeß GmbH & Co. KG (2020): Entwicklung eines Verfahrens zur vollständigen Aufbereitung und hochwertigen Verwertung von Boden- und Bauschuttmaterial für ressourcenschonende Baustoffe: https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/DBU-32046_Abschlussbericht_Heinrich-Feess-GmbH-Co.-KG_31.03.2020.pdf [zuletzt aufgerufen am 26.04.21]

- Information über Qualitätsanforderungen und Durchsetzung über Anpassung der Annahmepreise (sortenreine, störstofffreie Anlieferungen bevorzugen) (**P**)
- Rückführung in hochwertige Anwendungen (z. B. R-Beton siehe Kapitel 6.1.1, Porenbeton siehe Kapitel 6.1.2), Subkreisläufe bilden
- Fördermittel für Forschungsvorhaben zur Entwicklung neuer Produktideen beantragen / in Anspruch nehmen
- Herstellung von Bauelementen aus Rezyklat (z. B. Betonsteine, Randsteine)
- Erhöhung der Anteile von RC-Gesteinskörnung in R-Beton (Normung)

5.2.5 Grenzen der Systematik der Abfallverzeichnisverordnung

Eine qualifizierte und stoffreine Aufbereitung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen zu Recyclingbaustoffen aus einem selektiven Rückbau kann eine frühzeitige Trennung notwendig machen, die über die Anforderungen der Trennung nach Abfallschlüsseln laut GewAbfV hinausgeht. Hier wird es notwendig sein, entsprechende Spezifikationen zu definieren, die getrennt zu erfassen und zu dokumentieren sind. Zur Erläuterung dienen die folgenden Beispiele:

Abfallschlüssel 17 01 01 Beton

- Spezifikation 1: **Normalbeton**: Ein hochwertiger Aufbereitungsweg ist das werkstoffliche Recycling zu Gesteinskörnung nach DIN EN 12620 in Verbindung mit DIN 422-101. Nach dieser Norm werden für die rezyklierte Gesteinskörnung 4 Typen hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung und umwelttechnischen Eigenschaften unterschieden. Typ 1 mit mindestens 90 % Betonanteil kann in normgerechtem R-Beton bis zu 45 % der natürlichen Gesteinskörnung ersetzen. Recyclingbaustoffe mit hohem Betonanteil können auch als hochwertiges ungebundenes Material für den Tiefbau vermarktet werden. Aufbereitungsbetriebe, die sich auf solche Geschäftsfelder spezialisiert haben, praktizieren die separate Erfassung von Normalbeton über spezifische Annahmebedingungen. (siehe auch 6.1.1)
- Spezifikation 2: **Leichtbeton** spielt in der derzeitigen Rückbaupraxis noch eine untergeordnete Rolle. Im aktuellen Neubau kommt Leichtbeton über die Energieeinsparvorschriften seit einigen Jahren wegen seiner dämmenden Eigenschaft vermehrt zur Anwendung. Die gemeinsame Aufbereitung mit Normalbeton in Recyclinganlagen führt dazu, dass sich Leichtbeton aufgrund der geringen Kornfestigkeit in der unerwünschten Feinfraktion (0-2 mm) anreichert. Sinnvoller wäre ein alternativer rohstofflicher Recyclingweg, bei dem Leichtbetone und andere ziegelhaltige Feinfraktionen zur sogenannten Aufbaukörnung (kugelförmig geblähtes Leichtgranulat zur erneuten Herstellung von u. a. Leichtbetonen) verarbeitet werden können. Da die Reserven der natürlichen Leichtzuschläge (Bims, Lava) in Deutschland in ca. 20 Jahren zu Ende gehen, ist insbesondere die

Leichtbetonindustrie stark daran interessiert diesen Stoffkreislauf zu schließen. (siehe auch 6.1.2)

- Spezifikation 3: **Beton mit Faserbewehrung** wird seit Jahrzehnten überwiegend als Stahlfaserbeton für Spezialanwendungen eingesetzt. Das Abtrennen und Rückgewinnen von Stahlfasern ist mit herkömmlichen Methoden nicht möglich. Auch bei anderen Fasertypen verhält sich die Trennbarkeit ähnlich. Deshalb bereiten Betone mit Faserbewehrungen prinzipiell bei Aufbereitungsbetrieben Probleme. Eine separate Erfassung war bisher aufgrund der geringen Abfallmengen und dem überschaubaren Einsatz von Faserprodukten nicht nötig. Zukünftig werden jedoch wesentlich höhere Mengen an mineralischen Abfällen mit unterschiedlichen Fasertypen erwartet. Seit vielen Jahren werden Kurzfasern aus Glas, Kunststoffen und Stahl in Mörtel und Betonen eingesetzt. Seit wenigen Jahren werden Stab- und Mattenbewehrung aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) in statischen Konstruktionen eingesetzt. Die jüngste Entwicklung im statischen Bereich ist der Ersatz von Stahlbewehrung durch Carbonfaserstab- und mattenbewehrung. Erste Zulassungen beim DIBt sind beantragt, ohne dass ein funktionierendes Konzept für die Kreislaufführung vorliegt. Neben dem Materialkreislauf ergeben sich beim Umgang mit Fasern zusätzliche Anforderungen in Bezug auf den Arbeitsschutz. Bei Carbonfasern besteht hierzu noch Forschungsbedarf. Eine Separierung von Betonen mit Fasern ist zur vorbeugenden Risikominimierung zu empfehlen. (siehe auch 6.3.1)

Abfallschlüssel 17 01 02 Ziegel (siehe auch 6.1.3)

- Spezifikation 1: **Mauerziegel** werden derzeit auch im selektiven Rückbau zusammen mit anderen mineralischen Abfällen, wie Mörtel- und Putzresten, Kalksandstein, Porenbeton, Beton, etc. zur Entsorgung bereitgestellt. Für Ziegel als sortenreine Abfallfraktion besteht hingegen ein viel höheres Recyclingpotenzial, wenn sie werkstofflich u. a. zu Vegetationssubstrat und als technische Gesteinskörnung für Sport- und Tennisplätze verarbeitet werden. Ziegelmaterial kann rohstofflich zur Abmagerung der Ziegelrohmassen bei der Neuproduktion von Mauerziegeln dienen und zukünftig nahezu den kompletten Primärrohstoff bei der sogenannten Aufbaukörnung (Blähton) ersetzen.
- Spezifikation 2: **Mauerziegel mit Dämmstofffüllung** stellen eine Weiterentwicklung des Hochlochziegels dar, der als typischer Wandbildner seit vielen Jahrzehnten eingesetzt wird. Durch die höheren Anforderungen an den Wärmeschutz kann diese Bauweise nach heutiger Gesetzeslage nur noch mit wärmetechnisch optimierten Eigenschaften eingesetzt werden. Dazu wurden die Scherben des Ziegels stark porosiert und die Hochlöcher mit Dämmstoff gefüllt. Derzeit kommen die Dämmstoffe Perlite, Mineralwolle, PU-Schaum und Resolschaum zur Anwendung. Diese Materialkombinationen führten bereits bei geringen Mengen aus Baustellenverschnitt zu erheblichen Schwierigkeiten in Recyclinganlagen. Die gefüllten Ziegel lassen sich zwar mittlerweile technisch trennen, jedoch

sind dazu spezielle mehrstufige Anlagen nötig, die derzeit nicht in der Praxis verfügbar sind.

- Spezifikation 3: **Dachziegel** werden bereits über ein bundesweites Verwertungsnetzwerk der Dachdecker*innen und des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie separat vom übrigen Bauabfall gehalten. Zum einen können abgedeckte Dachziegel als Zweitverwendung bei Neudeckungen, Umdeckungen oder Reparaturen im Bestandsbau wiederverwendet werden. Zum anderen werden beschädigte Dachziegel von Herstellern von Vegetationssubstrat stark nachgefragt, insbesondere für die Dachbegrünung.

Handlungsempfehlungen

- Bund und Länder sollten folgende Instrumente für ein hochwertiges Recycling in der Bundes- bzw. Landesgesetzgebung verpflichtend etablieren:
 - Material- und Schadstoffkataster zur Rückbauplanung,
 - selektiver und qualifizierter Rückbau mit Schadstofftrennung. **(P)**
- Der Bund sollte die Entwicklung und den Einsatz hochwertiger und effektiver Aufbereitungstechnologien für Baustoffe sowie eine qualitätsgesicherte Herstellung von Recyclingbaustoffen finanziell fördern.
- Die Länder sollten Informationen zur Recyclingfähigkeit und zur Wiederverwendbarkeit von Baustoffen und von Bauweisen in stärkerem Maße in die Aus- und Weiterbildung der ausführenden Berufsgruppen wie bspw. Architekt*innen oder Ingenieur*innen / Planer*innen integrieren. **(P)**
- Bund und Länder sollten gemeinsam mit dem betroffenen Gewerbe zu ausgewählten Abfallschlüsseln Spezifikationen für eine Getrennthaltung festlegen, um die Herstellung hochwertiger Recyclingbaustoffe sicherzustellen.
- Die Bauverwaltungen von Bund und Ländern sollten Instrumente entwickeln, um die Vorteile innovativer Bauweisen (z. B. Wärmedämmung, leichte Reparaturen) gegen den Nachteil eines ungenügend durchführbaren Recyclings und der damit verbundenen schlechten Ressourceneffizienz zu bilanzieren. Das BNB könnte hierfür als Grundlage dienen.
- Das DIBt als die für Deutschland zentrale Einrichtung für die Zulassung von Bauprodukten und für die fachliche Koordination und Mitwirkung bei der Normung von Bauprodukten und Bauarten sollte darauf hinwirken, dass zunehmend die Recyclingfähigkeit in stärkerem Maße als bisher in Normung und Zulassung von Bauprodukten eingeht (zu den rechtlichen Möglichkeiten siehe 5.3). **(P)**

5.3 Schnittstelle Produktrecht und Abfallrecht bei Baustoffen

Der Einsatz von Recyclingbaustoffen in hochwertigen Verwertungsmaßnahmen wird auch durch Regelungen und Maßnahmen auf Seiten des

Produktrechtes gesteuert. Im Wesentlichen sieht der Ad-hoc-Ausschuss in diesem Zusammenhang zwei relevante Bereiche, die zur Förderung der Abfallvermeidung bzw. hochwertigen Verwertung und damit zur Ressourcenschonung beitragen können.

Bei der Entwicklung von innovativen Baustoffen aber auch bei der Optimierung von bereits etablierten sollte verstärkt darauf geachtet werden, dass eine spätere Wiederverwendung bzw. eine einfache Recyclingfähigkeit der entstehenden Abfälle gewährleistet ist (Second-Life-Aspekte). Im UBA-Text 93/2015³⁴ heißt es hierzu: *„Nicht für alle aktuellen Bauprodukte ist sichergestellt, dass diese in Zukunft bei Abbruch und Rückbau von Gebäuden die Recyclingfähigkeit der Hochbauschuttmassen nicht negativ beeinflussen / verhindern. Dies gilt vor allem für die Baustoffe, die aus einem Materialverbund von mineralischen und organischen Komponenten bestehen. Im Rahmen der Produktverantwortung sind Hersteller in die Pflicht zu nehmen, entsprechende Verwertungswege aufzubauen bzw. Verwertungsquoten einzuhalten. Im Zweifel sind auch entsprechende Konsequenzen für das Produktdesign zu prüfen.“*

Dieselbe Tendenz kann bei neuartigen Baustoffen beobachtet werden, deren Rezepturen bzw. Zusammensetzungen ein hochwertiges Recycling verhindern. Sie sind – wenn überhaupt – nur mit erhöhten Kosten zurückgewinnbar. Hier sind Instrumente zu entwickeln, die dazu führen, dass bereits bei der Produktion / Herstellung bzw. Planung von Bauwerken Bauprodukte so konzipiert oder erzeugt werden, dass sie kreislauffähig sind. Dabei ist es notwendig die Vorteile dieser Bauweisen (z. B. Wärmedämmung, leichte Reparaturen) gegen den Nachteil eines ungenügend durchführbaren Recyclings und der damit verbundenen schlechten Ressourceneffizienz zu bilanzieren.

Die Vorgaben der Gewerbeabfallverordnung zielen darauf ab, dass Bau- und Abbruch-Abfälle getrennt voneinander zu halten sind, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist. Nur wenn bereits bei der Baustoffentwicklung diese Bedingungen mit in den Fokus genommen werden, können innovative Baustoffe am Ende ihrer Lebensdauer durch Wiederverwendung oder die Substitution von Primärrohstoffen zur Ressourcenschonung beitragen.

Notwendige rechtliche Vorgaben zur besseren Berücksichtigung abfallwirtschaftlicher Belange bei der Baustoffentwicklung können auf europäischer Ebene z. B. im Rahmen der BauproduktenVO geschaffen werden. Im Positionspapier der LAGRE zur Ressourceneffizienz im Baubereich heißt es beispielweise: *„Darüber hinaus sollte darauf hingewirkt werden, dass Anforderungen an die Recyclingfähigkeit von Bauprodukten auch zunehmend auf europäischer Ebene in der Bauproduktenverordnung (BauPVO) Berücksichtigung finden, da zusätzliche nationale Regelungen (und Kennzeichnungen) zu*

³⁴ Dechantsreiter, U. et al. (2015): Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertungen von Baustoffen, UBA Texte 93/2015, S. 173.

Bauprodukten mit CE-Kennzeichnung nach BauPVO laut dem EuGH-Urteil vom 16. Oktober 2014 (Rechtssache C-100/13) nicht zulässig sind.“

Die zweite Schnittstelle zwischen Produkt- und Abfallrecht stellt die Verwendungen von Abfällen zur Herstellung von Bauprodukten dar. Derzeit gibt es hierfür keine bundesweit gültigen Regelungen im Bereich des Abfallrechts. Auf Seiten des Baurechtes können für Bauprodukte mit harmonisierter europäischer Norm (hEN) aufgrund des oben genannten EuGH-Urteils keine weiteren nationalen Anforderungen an die Zulassung bzw. die Verwendung dieser Produkte in Deutschland gestellt werden. Dies ist insoweit problematisch, als dass abfallrechtliche Anforderungen zurzeit in den Normen nicht berücksichtigt werden, so dass nicht auszuschließen ist, dass Abfälle zu hEN-zertifizierten Bauprodukten verarbeitet werden, ohne dass z. B. das Erreichen des Abfallendes nach AbfRRL oder das Schadstoffanreicherungsverbot im Wertstoffkreislauf geprüft wurden. Unklarheiten über das Ende der Abfallgemeinschaft können ebenfalls zu Hemmnissen bei der Verwertung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle führen. Daher besteht die Notwendigkeit, künftig abfallrechtliche Anforderungen in verstärktem Maße in europäische Normierungsverfahren für Bauprodukte einzubringen.

Abfallwirtschaftliche Belange in Bauwerken und Bauprodukten sind im Wesentlichen über die Grundanforderung 3 (Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz) und die Grundanforderung 7 (Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen) der europäischen BauPVO mit den folgenden Anstrichen zu berücksichtigen.

Nach Grundanforderung 3 muss das Bauwerk derart entworfen und ausgeführt sein, dass es sich über seine gesamte Lebensdauer hinweg weder bei Errichtung noch bei Nutzung oder Abbruch insbesondere durch folgende Einflüsse übermäßig stark auf die Umweltqualität oder das Klima auswirkt:

- Freisetzung gefährlicher Stoffe in Grundwasser, Meeresgewässer, Oberflächengewässer oder Boden (Anstrich d) oder
- Freisetzung gefährlicher Stoffe in das Trinkwasser oder von Stoffen, die sich auf andere Weise negativ auf das Trinkwasser auswirken (Anstrich e).

Nach Grundanforderung 7 muss das Bauwerk derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere Folgendes gewährleistet ist:

- Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abbruch wiederverwendet oder recycelt werden können (Anstrich a),
- für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbau- stoffe verwendet werden (Anstrich c).

Die Berücksichtigung von Umweltbelangen in Regelungen für Bauprodukte liegt im Zuständigkeitsbereich der Bauverwaltungen. Sie hat die Umwelanforderungen, die über die Grundanforderungen an Bauwerke Nr. 3 und Nr. 7 des

Bauproduktenrecht verankert sind, in die Normung einzubringen. Auf der anderen Seite liegt die Bewertung, wie Abfälle aus umweltfachlicher Sicht beschaffen sein müssen, damit eine ordnungsgemäße Verwertung bei der Verwendung in Bauprodukten gewährleistet ist, im Zuständigkeitsbereich der Umweltverwaltungen.

Handlungsempfehlungen

- Um abfallrechtliche Belange stärker als bisher in die Bauproduktenverordnung zu integrieren, sollte das Zusammenwirken der einzelnen Akteure aus Bau- und Umweltverwaltung klar geregelt werden. **(P)**
Hierfür müssen zunächst die Anforderungen an die Berücksichtigung abfallrechtlicher Belange bei der Normerstellung von Bauprodukten auf Basis der Grundanforderungen 3 (Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz) und 7 (Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen) gemäß Anhang I der EU-Bauproduktenverordnung zusammengestellt und präzisiert werden. Dafür ist es wichtig, die betroffenen Bauprodukte aufzulisten und die Normierungsverfahren zu benennen, bei denen prioritär eine Beteiligung erforderlich ist. Auf der 115. LAGA-Vollversammlung wurde die Einsetzung einer länderoffenen Arbeitsgruppe zur Entwicklung eines Leitfadens „Berücksichtigung abfallrechtlicher Regelungen in der Bauproduktennormung“ beschlossen, die sich mit den oben genannten Themen auseinandersetzen wird. Die Empfehlungen dieser Arbeitsgruppe sollten sowohl auf nationaler wie auf EU-Ebene berücksichtigt werden. **(P)**
- Bei der Errichtung künftiger Bauwerke sollten bereits bei der Planung die zu verwendenden Baumaterialien, Bauelemente und Bauteile wie auch die konstruktiven Elemente hinsichtlich ihrer Eignung für ein späteres Recycling bewertet werden. **(P)**
Hierbei könnte zukünftig das BNB des Bundesinstituts für Bau-, Stadt-, und Raumforschung ein wichtiges Steuerungselement darstellen. Der Bund hat sich seit 2010 verpflichtet, zusätzlich zu den geltenden Bauvorschriften für seine Gebäude das BNB anzuwenden. U. a. werden dort wegweisende umwelt- und ressourcenrelevante Aspekte von Baumaterialien und Baukonstruktionen auf Gebäudeebene bewertet (z. B. werden im Rahmen von Lebenszyklusanalysen die globalen Umweltwirkungen berechnet und mit speziellen Qualitätskriterien für den Schutz der lokalen Umwelt und für Recyclingfähigkeit bewertet).
- Die Länder sollten die Musterbauordnung im zweiten Abschnitt um die Themen der Grundanforderung 7 der Bauproduktenverordnung ergänzen.

- Das DIBt sollte verstärkt Nachhaltigkeitsaspekte bei Zulassungen von nicht genormten Bauprodukten und Bauarten berücksichtigen. Die rechtliche Voraussetzung dafür kann folgendermaßen gewährleistet werden³⁵:
 - Die Bundesländer beschließen einstimmig, dass die Musterverwaltungsvorschrift Technische Bauordnung um die Kriterien aus der Grundanforderung 7 der Bauproduktenverordnung (Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit von Bauprodukten) ergänzt wird.
 - Alternativ könnte dies auch im Rahmen einer Initiative mehrerer Bundesländer an das DIBt herangetragen werden.
 - Der Bund erlässt eine diesbezügliche einheitliche gesetzliche Regelung durch Anpassung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) oder ein analoges Gebäuderessourcengesetz (siehe auch Handlungsempfehlungen in 5.1).

6 Möglichkeiten und Grenzen der Ressourceneffizienz im Bauwesen anhand von Beispielen

Jährlich fallen in Deutschland ca. 220 Mio. Tonnen Bau- und Abbruchabfälle an. Je nach Verwendungsziel lässt sich Ressourceneffizienz bei Bau- und Abbruchabfällen umsetzen.

Im Abschnitt 3 der GewAbfV sind die „Bau- und Abbruchabfälle“ geregelt. Die Grundanforderungen in § 8 Abs. 1 GewAbfV verpflichten die Erzeuger und Besitzer dazu, bestimmte Fraktionen wie z. B. Beton, Ziegel und Baustoffe auf Gipsbasis getrennt zu sammeln, zu befördern und nach § 8 Abs. 1 KrWG vorrangig einer Vorbereitung zur Wiederverwendung oder einem Recycling zuzuführen.

Es gilt vor allem: Je sortenreiner die einzelnen Abfallfraktionen sind, desto höher ist die Möglichkeit und die erreichbare Qualität des Recyclings, da so die Substitution des Primärrohstoffes möglich ist. Dies resultiert zum einen aus den einzuhaltenden Materialwerten zum Umweltmedienschutz und zum anderen müssen auch die bautechnischen Eigenschaften erfüllt werden. Die Auswahl der in den folgenden Abschnitten beschriebenen Baustoffe ist beispielhaft und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die allgemeinen Ansprüche, die wir im Kapitel 5 formuliert haben, gelten auch für alle Baustoffe, auf die wir hier nicht detailliert eingehen, wie z. B. Dämmstoffe.

6.1 Mineralische Baustoffe

Zukünftig muss das Ziel in den Vordergrund gestellt werden, mineralische Bau- und Abbruchabfälle in realen Kreisläufen zu führen. Materialien aus dem

³⁵ Informationen aus einem Gespräch mit Frau Strathmann vom DIBt bei der 7. Sitzung des ATA-ad-hoc-Ausschusses am 25.22.20

Hochbau sollten vorzugsweise in den Hochbau (z. B. Baustoffproduktion), Materialien aus dem Straßen- und Wegebau sollten vorzugsweise in der Straßen- und Wegebau (z. B. Frostschuttschicht, Schottertragschicht bzw. kombinierte Frostschutz- und Tragschicht) und Materialien aus dem Erdbau in den Erdbau (z. B. Dämme, Wälle und Hinterfüllungen) zurückfließen. Lediglich Materialien, welche die qualitativen Anforderungen nicht einhalten, sollten den Kreislauf verlassen und in Verfüllungen oder Deponien (als Schadstoffsene) entsorgt werden.³⁶

6.1.1 Ressourcenschonender Beton (R-Beton)

Bei Beton handelt es sich um ein Gemisch aus Gesteinskörnung, Zement, Wasser und Zusatzstoffen. R-Beton unterliegt den gleichen Qualitätsnormen hinsichtlich der betontechnischen Anforderungen wie konventionell hergestellte Betone. Darüber hinaus muss die enthaltene rezyklierte Gesteinskörnung nachweisbar geringe Schadstoffkonzentrationen (Umweltprüfung) aufweisen.

Bei der Herstellung von R-Beton wird ein Teil der aus Primärrohstoffen bestehenden Gesteinskörnungen durch rezyklierte Gesteinskörnungen ersetzt. In welchen Anteilen und in welchen Betonklassen dies erfolgen darf, wird in einer Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb-Richtlinie) geregelt: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 (2010). Hier ist u. a. derzeit festgelegt, dass die rezyklierten Gesteinskörnungen bis zu einer Druckfestigkeitsklasse von C 30/37 verwendet werden dürfen.

Für rezyklierte Gesteinskörnungen mit einer Kornrohichte $\geq 1500 \text{ kg/m}^3$ gilt die DIN EN 12620 (2008-07) in Verbindung mit DIN 4226-101 und DIN 4226-102. In der DIN 4226-101 werden die Typen und die Prüfung und Bewertung geregelter gefährlicher Substanzen in rezyklierten Gesteinskörnungen festgelegt. Ergänzend legt die DIN 4226-102 die Anforderungen an das System der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) hinsichtlich dieser Substanzen fest. Die Herstellung einer zertifizierten rezyklierten Gesteinskörnung nach DIN EN 12620 setzt eine laufende Qualitätssicherung durch eine Eigenüberwachung (WPK) voraus. Dadurch wird die Einhaltung der bauphysikalischen und chemischen Parameter sichergestellt. Es gibt zwei verschiedene rezyklierte Gesteinskörnungstypen für normgerechten R-Beton und zwei weitere Typen für Beton außerhalb der Norm. Typ 1 besteht überwiegend aus Betonbruch oder Gesteinskörnung ($\geq 90 \%$); nur max. 10 % dürfen aus Mauerwerksbruch (Ziegeln, Kalksandstein) bestehen. Für Typ 2 ist ein Anteil an gebrochenem Mauerwerk bis 30 % zugelassen, der Anteil von Beton und Gesteinskörnung

³⁶ Basierend auf einer Präsentation von Florian Knappe, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU) bei der 6. Sitzung des ATA-ad-hoc-Ausschusses am 17.09.20

beträgt $\geq 70\%$. Je nach Expositionsklasse des R-Betons darf Typ 1 bis max. 45 Vol.-% und Typ 2 bis max. 35 Vol.-% verwendet werden³⁷. Rezyklierte Gesteinskörnungen müssen nach DIN EN 12620 bezeichnet und gekennzeichnet werden. Eine Leistungserklärung sowie CE-Kennzeichnung gemäß BauPVO mit Verweis auf DIN 4226-101 sind erforderlich.

Bei der Herstellung und Verwendung von R-Beton spielen regionale Aspekte eine große Rolle. Aus Sicht der Ressourceneffizienz macht die Verwendung von R-Beton nur Sinn, wenn Abbruchmaßnahme, Recyclinganlage, Betonwerk und Baumaßnahme regional zu finden sind. Zu große Transportentfernungen können dazu führen, dass R-Beton in einigen Regionen nicht verfügbar ist. Durch eine gute Vernetzung der Beteiligten kann dieses Problem allerdings vermindert werden, indem die vorhandenen Mengen an Abbruchmaterial und Rezyklat zielgerichtet verwertet werden. Sowohl für Ressourceneffizienz als auch Wirtschaftlichkeit ist weiterhin entscheidend, in welcher Entfernung vom Einsatzort Kies und Sand verfügbar sind.

Im Forschungsvorhaben „Ressourcenschonender Beton – Werkstoff der nächsten Generation“ wurde die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet. Es werden praxismgerechte Anwendungsregeln entwickelt, welche die verschiedenen Aspekte des interdisziplinären Themas berücksichtigen³⁸. Hauptziel des Forschungsvorhabens ist die Erhöhung des zulässigen Anteils von RC-Gesteinskörnungen vom Typ 1 und 2 im R-Beton und die Erweiterung der Anwendungsmöglichkeit auf andere Betonklassen.

Derzeit werden die Richtlinien der DAfStB überarbeitet. Die Zulassung von Brechsand sowie eine Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten für rezyklierte Gesteinskörnungen ist geplant.

Handlungsempfehlungen

- Vorbildfunktion von Bund und Ländern muss vermehrt wahrgenommen werden, wenn der Einsatz von R-Beton die Ressourcenschonung stützen soll / etabliert werden soll. **(P)**
- Bevorzugte Ausschreibung in bundes-/ landeseigenen Bauvorhaben (um regelmäßige Absatzwege für R-Beton zu schaffen)
- Konkrete Aufklärung über die Herstellung und Einsatzbereiche von R-Beton (z. B. durch Vorstellung von Praxisbeispielen auf Fachveranstaltungen, Erstellung von Leitfäden)
- Länder sollten in Kontakt mit Betonwerken treten, um Voraussetzungen für eine stetige Verfügbarkeit von R-Beton zu ermitteln (z. B. ob die Qualitäten der rezyklierten Gesteinskörnungen im Bundesland ausreichend sind)

³⁷ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (2021): www.dafstb.de [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

³⁸ Fraunhofer IRB (2018): Bauforschungsprojekte; <https://www.irb.fraunhofer.de/bauforschung/baufolit/projekt/Verbundprojekt-R-Beton-Ressourcen-schonender-Beton-Werkstoff-der-n%C3%A4chsten-Generation/20150284/> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

- Entwicklung regionaler Verwertungsstrategien: Dies ist vor allem im städtischen Bereich und in Ballungsräumen sinnvoll.
- Verringerung der Transportentfernung durch räumliche Nähe von Abbruchmaßnahmen, RC-Gesteinskörnungslieferant, Zement- bzw. Betonwerk und Einsatzort (Baustelle): Hier könnten in den Ländern Treffen zwischen den Stakeholdern durchgeführt werden, um Lieferketten zu initiieren.
- Forschungstechnische Begleitung verwendeter R-Betone (z. B. in bestimmten Bauweisen) zum Abbau von Vorbehalten bzgl. der Langlebigkeit (Zahlen + Fakten für Zweifler)
- Geeignete Bauweisen (z. B. im Wohnungsbau) gezielt beschreiben und bewerben (Architekten und Bauunternehmer)
- Vollzug GewAbfV: getrennte Erfassung von Beton und Mauerziegeln umsetzen um die notwendigen Qualitäten im Recyclingmaterial zu erhalten **(P)**
- Image von R-Beton verbessern: Rezyklierte Gesteinskörnungen erreichen das Ende der Abfalleigenschaft.³⁹

6.1.2 Porenbeton

Allgemein

Porenbeton ist ein seit vielen Jahrzehnten eingesetzter und bewährter Baustoff. Aus Porenbeton werden z. B. Mauersteine in unterschiedlichsten Formaten und Fertigbauteile für Wand-, Dach- sowie Deckenplatten gefertigt. Porenbeton wird im Baubereich insbesondere für Innen- und Außenwände sowie Decken genutzt. Porenbeton eignet sich aufgrund seiner bautechnischen Eigenschaften nicht für die Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnungen für Straßenbau und Beton (im Gegensatz zu Beton, nicht porosiertem Ziegelmaterial und Kalksandstein⁴⁰).

Entsorgungswege, Aufbereitungstechnik und Recyclingverfahren

Bei der Produktion von Porenbeton im Werk fällt immer Bruch an, der entweder zu Porenbetongranulat wie z. B. Katzenstreu oder Ölbinder veredelt oder in gebrochener Form in die laufende Produktion von Porenbeton zurückgeführt wird. Dieser produktionsfrische Splitt ist bis zu Konzentrationen von 20 M.% fester Bestandteil vieler Porenbetonrezepturen. Diese Rückführung von frischem Produktionsbruch wird seit Jahrzehnten praktiziert.

³⁹ Beispiel: Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg siehe Kapitel 5.2.1

⁴⁰ Die Uni Kassel führt hierzu gerade Forschungsvorhaben durch, siehe Universität Kassel: Recycling von Kalksandsteinen in Beton: <https://www.uni-kassel.de/fb14bau/institute/iki/werkstoffe-des-bauwesens-und-bauchemie/forschung/aah0/recycling-von-kalksandsteinen-in-beton.html> [zuletzt aufgerufen am 07.01.2021]

Auch der auf Baustellen anfallende Verschnitt wird zum Teil, sofern technisch und wirtschaftlich möglich, in den Produktionsprozess zurückgeführt. Allerdings ist dies im Vergleich zu den anfallenden Altporenbetonmengen bei Abbruch- und Sanierungsarbeiten ein sehr geringer Anteil.

Hemmnis für das analoge Recycling von Altporenbeton ist bislang die mangelnde Sortenreinheit. Altporenbeton aus dem Gebäuderückbau wird deshalb hauptsächlich deponiert. Die Rückführung großer Mengen an Altporenbeton in den Produktionsprozess wäre ein wichtiger Schritt hin zu einer echten Kreislaufwirtschaft.

Qualität und Akzeptanz, Hemmnisse

Im Jahr 2018 fand unter Beteiligung eines Entsorgungsunternehmens und eines Porenbetonherstellers in Norddeutschland ein Pilotprojekt zur sortenreinen Aussortierung von Altporenbeton zum ausschließlich direkten Einsatz zur Herstellung von Neuporenbeton statt. Das Projekt lieferte die Erkenntnis, dass die Qualität der aussortierten und dem Produktionsprozess zugeführten Altporenbetonsteine als sehr gut zu bezeichnen ist.

Allerdings war der personell hohe Aufwand für die Sortierung der Steine und die dabei erreichte relativ geringe Ausbeute wirtschaftlich nicht zu vertreten. Folglich wurde dieser Weg nicht weiterverfolgt.

Die Probephase hat aber auch neue Impulse geschaffen und zur Zusammenarbeit zwischen dem Entsorgungsunternehmen und einer Technologie- und Forschungsgesellschaft bei einem gemeinsamen Forschungsvorhaben geführt, das auch durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird.

Das Projekt „REPOST“⁴¹ zielt darauf ab, Grundlagen für eine hochwertige und wirtschaftliche Kreislaufwirtschaft von Porenbeton zu schaffen. Aus Altporenbeton sollen neue und konkurrenzfähige Produkte für den Mauerwerksbau entstehen. Neben dem direkten stofflichen Recycling werden auch alternative Verwertungswege, z. B. die Herstellung von Klinkerersatzstoffen mit Ressourcenschonung untersucht, wodurch CO₂-emissionsintensive Rohstoffe wie Zement bzw. Kalk teilweise durch einen Recyclingbaustoff ersetzt werden könnten, der bei seiner Herstellung niedrigere CO₂-Emissionen und Energieaufwendungen verursacht.

Das beteiligte Entsorgungsunternehmen stellt dazu im Labor- bzw. Technikummaßstab Porenbeton aus Abbruchmaßnahmen zur Verfügung.

Langfristig sollen aber auch Techniken entwickelt werden, die das Aussortieren und Aufbereiten von Porenbeton aus Abbruch- und

⁴¹ Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP): REPOST - Recyclingcluster Porenbeton: https://www.iip.kit.edu/1064_4672.php [zuletzt aufgerufen am 05.05.21]

Sanierungsmaßnahmen im größeren Maßstab ermöglichen, damit auch nennenswerte Mengen zur Verwertung vorhanden sind.

Grundvoraussetzung hierfür ist die strikte Einhaltung selektiver Rückbaukonzepte. Im Rahmen von Abbruch- und Sanierungsarbeiten muss der Altporenbeton möglichst sortenrein und getrennt auf den Baustellen gesammelt werden, denn nur dann ist der erste Schritt zu dessen Rückführung in großen Mengen für die Verwertung getan. Zusätzlich sind auch technische Neuerungen für eine automatisierte Sortiertechnik notwendig, um eine wirtschaftliche Aufbereitung zu gewährleisten.

Ein weiteres Hemmnis stellt die uneinheitliche Deklaration gem. AVV dar (z. B. „170101 Beton“ mit dem Zusatz Porenbeton, „170107 Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 170106 fallen“) oder fälschlicherweise „170802 Baustoffe auf Gipsbasis“, was bei gemischter Erfassung sowohl das Recycling von Gips wie das von Porenbeton erschwert (siehe auch Abschnitt 5.2.5).

Noch immer stellen Entsorger und Containerdienste Behälter für die Erfassung von sogenannten „Leichtbaustoffen“ bereit, in denen Porenbeton mit Gips, Bims und ggf. sogar Keramik gemeinsam erfasst werden.

Handlungsempfehlungen

- Der Bund sollte kurzfristig die getrennte Sammlung von Porenbeton vorschreiben, z. B. durch eine bundeseinheitliche Deklaration von Porenbeton gem. AVV, durch eine textliche Ergänzung oder die Aufnahme eines zusätzlichen geeigneten AVV-Schlüssels. **(P)**
- Die Vollziehbarkeit des § 7 Abs. 3 der Deponieverordnung sollte überprüft, ein Erfahrungsaustausch zwischen Vollzugsbehörden, Deponiebetreibern und Abfallentsorgern eingerichtet und gegebenenfalls eine Vollzugshilfe erarbeitet werden (siehe auch 5.2.3).
- Die zuständigen Behörden sowie die beteiligten Wirtschaftsakteure sollten ein besonderes Augenmerk auf die strikte Einhaltung selektiver Rückbaukonzepte / Getrenntsammlung haben. **(P)**
- Die Entsorgungsunternehmen sollten regionale Kooperationen mit den Porenbetonherstellern eingehen. **(P)**

6.1.3 Ziegel

Allgemein

Der Ziegelbau stellt neben dem Holzbau eine der ältesten Bauweisen dar. Klassische Ziegel werden durch Brennen aus Ton, Lehm oder tonhaltigen Materialien hergestellt. Innovationen in der Ziegelherstellung zielen vorwiegend auf Gewichtsreduktion und Verbesserung der Wärmedämmung. Hochporösen Leichtziegeln werden z. B. vor dem Brennen Porosierungsmittel wie Sägemehl

oder Polystyrolkügelchen zugesetzt, die beim Brennen verglühen und das Gewicht des Ziegels verringern sowie die Wärmedämmeigenschaften verbessern.

In Bezug auf die Nachhaltigkeit des Einsatzes von Ziegeln sind als Vorteile zu benennen, dass

- Ziegel aus natürlichen Rohstoffen bestehen, die fast überall verfügbar sind,
- Tonziegel witterungsresistent sind und eine lange Lebensdauer haben und
- Wärme- und Schalldämmung gut sind und bei sehr großen Wanddicken sogar eine Zusatzdämmung verzichtbar ist.

Mit innovativen Ziegeln, bei denen Dämmmaterial in die Hohlräume der Ziegel integriert wird, können die Dämmwerte weiter erhöht werden, aber deren Recyclingaufwand steigt.

Nachteile beim Einsatz von Ziegeln ergeben sich dadurch, dass der Herstellungsprozess aufgrund des Brennens bei hohen Temperaturen sehr energieintensiv ist und dass die sortenreine Gewinnung und Aufbereitung von Mauerziegeln durch anhaftende Mörtel- und Putzreste erschwert wird.

Für eine Gesamtbewertung der Nachhaltigkeit beim Einsatz von Ziegelmaterial ist es daher sinnvoll, mittels ökobilanzieller Betrachtungen den Ressourcenverbrauch bei der Herstellung, die Wärmedämmwirkung und Haltbarkeit beim Einsatz und die Wiederverwendbarkeit nach der Nutzung zu berücksichtigen.

Entsorgungswege

In Deutschland fallen im Jahr durchschnittlich circa 10 Mio. Tonnen Bau- und Abbruchabfälle als Ziegel und circa 220.000 Tonnen Brennbruch aus der keramischen Produktion an⁴².

Werden Altziegel sortenrein und mit guter Qualität beim Rückbau erfasst, ist eine Wiederverwendung für Wände, Renovierung historischer Gebäude bzw. Dacheindeckungen möglich.

Die Aufbereitung zu Recyclingbaustoffen erfolgt aktuell für den überwiegenden Teil der Abbruchziegel als Bauschutt in geeigneten Anlagen.

Brennbruch wird zu 28 % als Ziegelsand auf Sportplätzen und zu 3 % im Vegetationsbau sowie als Pflanzsubstrat verwertet. 31 % werden unmittelbar der Produktion wieder zugeführt. Abhängig vom Tonvorkommen ist die Substitution von bis zu 30 % des Rohstoffs durch Ziegelbruch möglich.

Seit 2017 verpflichtet § 8 Abs.1 der GewAbfV die Erzeuger und Besitzer der Abfallfraktion 17 01 02 diese jeweils getrennt zu sammeln, zu befördern und

⁴² Rosen, D. (2017): Ziegelabbruch – Möglichkeiten und Grenzen der stofflichen Verwertung. Vortrag auf dem bsve-Mineraliktag, Würzburg.

nach Maßgabe des § 8 Abs. 1 KrWG vorrangig der Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zuzuführen.

Qualität und Akzeptanz

Hartgebrannte Ziegel (Klinker) sind aufgrund ihrer Festigkeit und des geringen Porenvolumens gut für die Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnungen geeignet.

In den meisten Ländern entsprechen zurzeit die stofflichen Anforderungen für den Einsatz von Ziegelmaterial in den jeweiligen Einbauweisen denen der aus Bauschutt aufbereiteten Recyclingbaustoffen. Spezielle Anforderungen an RC-Ziegelmaterial für den Erd-, Straßen- und Wegebau sowie sonstigen Verkehrsflächenbau liegen für Bayern vor⁴³.

Ziegel aus Stallungen oder Kaminmauerwerk sind aufgrund hoher Belastungen durch Salze und PAK (Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe) nicht zur Wiederverwendung geeignet.

Werden Ziegel aus Abriss- oder Umbaumaßnahmen *als Bauprodukt* wiederverwendet, besteht gemäß der Bauproduktenverordnung (BauPVO) keine Verpflichtung, eine Leistungserklärung zu erstellen oder eine Kennzeichnung mit dem CE-Zeichen durchzuführen. Mörtelbestandteile sind jedoch weitgehend vom zu verwendenden Ziegelmaterial vor einer Zerkleinerung abzutrennen. Grundsätzlich dürfen bei der Verwendung gebrauchter Bauprodukte keine schädlichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu erwarten sein.

Gebrauchte Ziegel dürfen nach den Bauordnungen der einzelnen Länder nur wiederverwendet werden, wenn diese die gesetzlichen Anforderungen einhalten und gebrauchstauglich sind. Dabei sind die Materialkennwerte – wie bei neu hergestellten Bauprodukten – mit den genormten Prüfverfahren zu bestimmen, wobei die verbleibende technische Lebensdauer der historischen Bauprodukte zu berücksichtigen ist. Ist die Herkunft der Ziegel bekannt, kann eine Vorabbewertung per Augenschein vorgenommen werden. Liegen die Ziegel unverputzt vor, so lassen sie sich teilweise über ihre produktspezifische Signierung bis zum Ziegelproduzenten rückverfolgen.

Für den Einsatz in Kultursubstraten oder als Bodenhilfsstoffe i. S. d. DüngemittelVO sind ausschließlich sortenrein erfasste, aufbereitete Tonziegel aus Ziegelsand, -splitt, oder -bruch ohne losen oder anhaftenden Mörtel oder Beton zugelassen. Eine Verwendung von beschichtetem Material ist nur bei inerten Engoben bzw. Glasuren, die der Produktnorm DIN EN 1304 entsprechen, erlaubt. Ein Einsatz von Ziegelmaterial ist jedoch nicht auf Flächen erlaubt, die der Nahrungsmittelerzeugung dienen.

⁴³ Leitfaden „Anforderungen an die Verwertung von Bauschutt in technischen Bauwerken“ 15. Juni 2005. Anlage RC Ziegel / RC Ziegel F1. <http://www.baustoffrecycling-bayern.de/node/49> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

Aufbereitungstechnik und Recyclingverfahren

Bei der Verwertung von Ziegeln als Baumaterial sind deren bautechnische Eigenschaften zu berücksichtigen. Das gilt insbesondere für ein erhöhtes Porenvolumen sowie für die geringere Dichte, Druckfestigkeit und Frostbeständigkeit. Die Wiederverwendung gesäuberter Einzelziegel stellt dagegen eher eine Nischenverwertung dar.

In der Dachziegelproduktion werden derzeit 1 – 3 % Brennbruch und in der Hintermauerziegelproduktion 10 – 15 % Brennbruch eingesetzt. Eine Substitution bei der Mauerziegelproduktion ist ohne Qualitätsverlust standortabhängig bei circa 20 M.% in der Rohstoffmischung möglich. Die Aufbereitung von Ziegelbruch erfolgt mit mobilen Prall- und Backenbrecher, von denen bundesweit circa 2.000 Anlagen im Einsatz sind.

Mauerziegel, die zur besseren Dämmwirkung mit Mineralwolle gefüllt sind, stellen einen Verbundbaustoff dar, für den im Falle einer Wiederverwertung davon auszugehen ist, dass die verschiedenen Komponenten nachträglich schwer zu trennen sind. Eine Wiederverwertung wäre damit unter den heutigen technischen Möglichkeiten nur eingeschränkt möglich. Zumindest ist die heutzutage verwendete Mineralwolle als gesundheitlich unbedenklich, biolöslich und damit nicht mehr gefährlich eingestuft.

Ziegel, die mit Mineralwolle gefüllt sind, die vor dem Jahr 2000 hergestellt wurden, sind aufgrund der Lungengängigkeit dieser Mineralfasern als gefährlicher Abfall zu deklarieren und durch Deponierung aus dem Wirtschaftskreislauf zu entfernen. Potenziale für eine höherwertige Verwertung von Ziegelabfällen liegen⁴⁴:

- im Einsatz in Recyclinggemischen; hier können Ziegelanteile von bis zu 30 M.% enthalten sein, ohne dass es zu entscheidenden Verschlechterungen der technischen Eigenschaften für die Verwendung in Trag- und Frostschutzschichten im Straßenbau kommt;
- in der Herstellung von R-Beton unter Verwendung rezyklierter Gesteinskörnungen mit Ziegelanteil;
- in der Anwendung im Vegetationsbau und als Baum-, Pflanz- und Dachsubstrat, für die Ziegelbruch aufgrund der hohen Porosität und Kornfestigkeit besonders gut geeignet ist;
- bei der Herstellung der obersten Spielbeläge im Sport- und Tennisplatzbau aus Ziegelsand sowie

⁴⁴ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2017): Einsatz von mineralischen Recycling-Baustoffen im Hoch- und Tiefbau: www.rc-baustoffe.bayern.de [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

- in der Herstellung von Leichtgranulaten insbesondere aus ziegelreichen mineralischen Abfällen.

Besonders für rezyklierte Zuschläge aus Ziegelbruch könnte sich künftig ein großes Verwertungspotenzial in der Herstellung von R-Beton erschließen⁴⁵.

Für einen wirtschaftlichen Einsatz in der Großanwendung sind Technologien zum Trennen von gemischten mineralischen Bauabfällen, wie z. B. die sensor-gestützten Verfahren der Farberkennung und Nahinfrarottechnik, weiter zu entwickeln.

Ist eine Trennung technisch und wirtschaftlich nicht möglich – z. B. aufgrund der Feinanteile – sollten Technologien wie die Herstellung von granulierten Leichtzuschlägen weiterentwickelt und bis zur Marktreife gebracht werden.

Ein weiterer zu fördernder Einsatzbereich stellt die Verwendung von Ziegeln dar, die anstelle von Quarzsand und Schamotte zu 100 % aus RC-Ziegelsand-Anteilen bestehen⁴⁶.

Bei den technologischen Neuentwicklungen ist immer zu bedenken, dass neben der technischen Machbarkeit auch das Vorhandensein eines Absatzmarktes für diese Form von Recyclingbaustoffen notwendig und ggf. zu schaffen ist.

Hemmnisse

Hemmnisse ergeben sich beim Bauherrn vor allem aus

- der bisher noch regional unterschiedlichen Bereitschaft zur Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen mit Ziegelmaterial im Betonbau,
- dem geringen Bedarf an unzerstört ausgebauten und gereinigten Ziegelsteinen und
- der eingeschränkten baulichen Verwertung von recyceltem Ziegelmaterial.

Hemmnisse ergeben sich bei Industrie und Gewerbe u. a. aus

- einer zu geringen industriellen Förderung von Abfallvermeidungsstrategien (So kommen gute Ideen und im Labor- und Technikumsmaßstab fertig entwickelte Verfahren nicht in die Praxis, da in der Bauabfall- und Baurohstoffindustrie mit sehr geringen Wertschöpfungen kalkuliert werden muss und die üblichen Instrumente der Wirtschaftsförderung das vorhandene Risiko nicht abdecken.) und
- dem Mehraufwand für die zerstörungsfreie Gewinnung von Ziegeln beim Rückbau und der Bereitstellung zur Wiederverwendung.

⁴⁵ Rosen, D. (2017): Ziegelabbruch – Möglichkeiten und Grenzen der stofflichen Verwertung. Vortrag auf dem bsve-Mineraliktag, Würzburg

⁴⁶ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2017): Einsatz von mineralischen Recycling-Baustoffen im Hoch- und Tiefbau. www.rc-baustoffe.bayern.de [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

Handlungsempfehlungen

- Definition von Mindestmengen an Beimischungen von Ziegelmaterial bei geeigneten technischen Betonbauweisen als Standardeinsatz im Zuge von Baumaßnahmen der öffentlichen Hand (Baubehörden von Bund und Ländern);
Abweichungen von diesem Standard sind bei Ausschreibungen zu begründen (Baubehörden der Öffentlichen Hand) **(P)**
- Anpassung der Ausschreibungsvorschriften (Wirtschaftsbehörden von Bund und Ländern) **(P)**
- Förderung von Börsen zur Vermittlung von Dach- und Wandziegeln für die Wiederverwendung (Beispiele: Bauteilbörse Bremen; Dänemark: ETA für gebrauchte Mauerziegel)
- Anpassung und Aufstockung von Bauwirtschaftsförderprogrammen mit den Schwerpunkten: Materialkreisläufe schließen, ressourceneffizientes Produzieren, technologische Weiterentwicklungen und Praxiseinsatz (BMW, BMI, BMVI) **(P)**

6.1.4 Gips

Allgemein

Das Mengenaufkommen an Gipsabfällen (Abfallart gem. AVV 17 08 02) aus der Bauwirtschaft (Neubau, Sanierung, Abbruch) beträgt derzeit ca. 641.000 t/a bundesweit⁴⁷. Dabei handelt sich zum großen Teil um Gipsbauplatten, aber auch um Stuckgips, gipshaltige Putze und Bauelemente auf Gipsbasis.

Bedingt durch die zunehmende Verwendung von Gipsprodukten beim Innenausbau und einer vermehrten Getrenntsammlung ist mit einem steigenden Aufkommen an Gipsabfällen zu rechnen. Neben Gipsbauplatten enthalten auch Putze und Estriche Gips. Modulare Bauelemente aus Gips können im Sinne einer nachhaltigen Bauwirtschaft verwendet werden, da z. B. die Nutzungsdauer von Gebäuden durch veränderliche Raumaufteilung erhöht werden kann bzw. Bauteile separat zurückgebaut werden können.

Der Rohstoff Gips ist beliebig oft recyclingfähig und sollte vorrangig dem Wertstoffkreislauf erhalten bleiben. Der Bedarf an Gips als Rohstoff wird seitens der gipsverarbeitenden Industrie mit ca. 6 Mio. Tonnen pro Jahr beziffert. Darüber hinaus besteht ein großer Bedarf in der Baustoffproduktion (z. B. Zement, Putze, Spachtelmassen).

Der zur Herstellung von Gipsplatten verwendete Gips stammt heute im Wesentlichen aus den folgenden Quellen:

⁴⁷ Kreislaufwirtschaft Bau: Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018

- bergbaulich gewonnener Naturgips bzw. Gipsstein (< 50 %),
- REA-Gips, der bei der Rauchgasentschwefelung in Kohlekraftwerken entsteht (> 50 %) und
- Recycling-Gips (< 5 %).

Recycling-Gips wird aktuell nur im untergeordneten Maße eingesetzt. Als Folge der Energiewende sind die Mengen an REA-Gips aus Kraftwerken rückläufig. Dagegen wird der Bedarf an Recyclinggips zunehmen. Jedoch sind selbst beim Erreichen guter Recyclingquoten die zu erwartenden Recyclinggips-Mengen nicht ausreichend, um den Wegfall von REA-Gips zu kompensieren.⁴⁸

In den folgenden Kapiteln wird der Fokus auf das Recycling von Gipsbauplatten gelegt. Daneben enthält aber auch Bauschutt, vor allem in der Leicht- und Feinfraktion, Gipsbestandteile. Im Institut für Angewandte Bauforschung Weimar (IAB) gibt es eine Pilotanlage, die aus Leichtbetonabfällen und Mauerwerkbruch Leichtgranulate herstellt. Dabei kann über eine Rauchgasentschwefelungsanlage auch Gips aus ziegelreichen Abfällen mit hohen Gipsanteilen recycelt werden. Somit könnten zukünftig neben den 641.000 t registrierten Gipsabfällen, die überwiegend aus den Bauplatten stammen, auch die Putze und Estriche, die diffus im Bauschutt angereichert werden, zurückgewonnen werden. Potenziell stünde hier eine Menge von ähnlicher Größenordnung zur Verfügung.⁴⁹

Entsorgungswege

Die Abfallhierarchie und die Grundpflichten des KrWG (§§ 6 - 7) stellen Recyclingmaßnahmen über Maßnahmen zur Verfüllung oder Beseitigung. Eine Verwertung von Gipsabfällen als Deponieersatzbaustoff ist gemäß § 14 Abs. 2 DepV nicht zulässig. Die Gewerbeabfallverordnung sieht vor, dass Gipsabfälle bereits an der Anfallstelle (Baustelle) getrennt erfasst und einer möglichst hochwertigen Entsorgung zugeführt werden.

Gipsabfälle sind aufgrund ihrer bautechnischen Eigenschaften und des Sulfatgehalts für das herkömmliche Bauschuttrecycling nicht geeignet. Der Sulfatgehalt im Eluat hält in der Regel die Zuordnungswerte der Deponieklassen I bis II ein.

Auf Deponien führt die Ablagerung von Gipsabfällen regelmäßig zu Problemen, da Gips eine gewisse Wasserlöslichkeit (unter Normalbedingungen 2,1

⁴⁸ Bundesverband der Gipsindustrie diverse Dokumente www.gips.de [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

⁴⁹ Bundesverband Leichtbeton e. V. (2020) Aufbau einer Pilotanlage zur Herstellung von Leichtgranulaten aus mineralischen Rest- und Abfallstoffen des Gebäuderückbaus und der Gesteinsgewinnung, Antrag für das Technologietransfer-Programm Leichtbau des BMWi

g/l) aufweist. Das führt bei Wassereintritt zu Auswaschungen und unerwünschten Ablagerungen in der Sickerwassererfassung. Bestehen bei einer Ablagerung von Gips Kontaktflächen zu Beton, wie etwa Sickerwasserschächten, kann es durch Ettringitbildung zu Korrosion und Schädigung der Bauteile kommen. Zusätzlich kann die Ablagerung von Gips gemeinsam mit biologisch abbaubaren Abfällen zur Bildung des geruchsintensiven und toxischen Schwefelwasserstoffs führen⁵⁰. Darüber hinaus sind die bodenmechanischen Eigenschaften von Gips für die Stabilität des Deponiekörpers ungünstig (Ursache für Rutschungen, Setzungen, etc.). Von den derzeit jährlich etwa anfallenden 641.000 Tonnen Gipsabfällen (Baustoffe auf Gipsbasis AVV 17 08 02) werden dennoch etwa 323.000 t (50,4 %) auf Deponien entsorgt. Schätzungen zufolge sind ca. 50 % der anfallenden Gipsabfälle für ein hochwertiges Recycling geeignet.⁵¹

Die Herstellung von Abdeckmaterial für Uranschlammteiche in Tschechien stellt einen preisgünstigen Entsorgungsweg dar, der in einigen Ländern bereits als Scheinverwertung in der Diskussion ist und verboten werden sollte. Ein Hemmnis hierfür ist die Einstufung als „grüner-Liste-Abfall“ bei der Notifizierung. Die wenigen stationären Aufbereitungsanlagen für Gipsabfälle sind aktuell nicht ausgelastet. Einzelne Anlagen wurden außer Betrieb genommen bzw. weitere bereits genehmigte Anlagen werden nicht in Betrieb genommen. Gründe hierfür liegen in der Marktsituation und der mangelnden Rechtssicherheit bezüglich der Definition einer Asbestfreiheit.^{52, 53}

Qualität und Akzeptanz

Recyclingfähige Gipsbauplatten bestehen in der Regel aus ca. 94 % Gips, einer Kartonummantelung (etwa 3,5 %) und geringen Anteilen weiterer Zusätze wie z. B. Klebstoffen⁵⁴.

Bereits 2013 hat der Bundesverband der Gipsindustrie e.V. Qualitätsanforderungen für Recyclinggips festgelegt, der in Aufbereitungsanlagen aus Gipsabfällen hergestellt wird. Im Rahmen des darin festgelegten Qualitätsmanagements werden regelmäßig und engmaschig Qualitätsparameter des Recyclinggipses untersucht. Zusätzlich werden Standards der Recyclinganlage in Bezug auf Eingangs- und Produktionskontrolle definiert und deren Überwachung vorgeschrieben.

⁵⁰ Schlöglhofer, H. (2008): Recycling von Gipskartonplatten aus gemischten Bauabfällen Recyclingkonzept für die Gipskartonplattenindustrie, IAE Leoben

⁵¹ Kreislaufwirtschaft Bau: Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018

⁵² https://www.gesamtverband-schadstoff.de/media/verb__ndestellungnahme_2.pdf [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

⁵³ https://www.gesamtverband-schadstoff.de/media/30082019_verbaendestellungnahme_krwg_3_8_.pdf [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

⁵⁴ Buchert, M. et al. (2017): Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten; UBA Texte 33/2017

Bei der Entnahme von Gipsplatten aus Renovierung, Rückbau oder Abbruch älterer Gebäude (Asbestverbot seit 31.10.93) muss mit anhaftenden asbesthaltigen Baustoffen (Putzen, Spachtelmassen, Klebstoffen) gerechnet werden. Mit asbesthaltigen Anhaftungen verunreinigte Gipsplatten müssen separiert und aus dem Stoffkreislauf ausgeschleust werden, damit keine Asbestfasern in den Kreislauf eingetragen werden können. Dies muss durch eine Vorerkundung am Bauwerk sichergestellt werden. Weder REA-Gips noch natürlicher Gips aus dem Steinbruch enthalten Asbest.

Aufbereitungstechnik und Recyclingverfahren

Für die Aufbereitung von Gipsplatten stehen trockenmechanische Aufbereitungsanlagen an derzeit vier Standorten in Deutschland zur Verfügung. Im europäischen Ausland werden neben stationären Aufbereitungsanlagen auch mobile Anlagen an Sammelplätzen genutzt. Für die Herstellung eines hochwertigen Recyclinggipses bestehen strikte Anforderungen an das Eingangsmaterial, insbesondere hinsichtlich des Gehalts an Fremdstoffen und Fehlwürfen (maximal ca. 3 %). Die Gipsabfälle durchlaufen nach Anlieferung in einer Gipsrecyclinganlage die folgenden Verfahrensschritte:

- Annahmekontrolle
- Aussortieren von Fremdbestandteilen
- Zerkleinerung, Abtrennung von Pappe / Papier / Tapetenresten / Metallen
- Heraustrennen des Gipskerns
- Klassierung
- Qualitätskontrolle

Rücklieferung in Produktionsprozesse

Das von Gipsbauplatten abgetrennte Papier bzw. Karton erreicht bei einer einfachen Trennung bzw. Sichtung ohne Nachbehandlung in der Regel nicht die erforderliche Qualität für das Papierrecycling. Der Recyclinggips verlässt als trockenes feinkörniges Gut den Aufbereitungsprozess und ist hinsichtlich des Gipsanteils von ca. 85 % mit Naturgips vergleichbar. Der Aufbereitungsprozess wird durch ein Qualitätsmanagement und eine werkseigene Produktionskontrolle (WPK) begleitet. Das aufbereitete Recyclingmaterial kann bei Einhaltung der Qualitätsparameter den Produktstatus erlangen. Laut Gipsplattenhersteller könnten bis zu 30 % Recyclinggips direkt dem Herstellungsprozess als Rohstoff zugeführt werden. In Bezug auf das Recyclingverfahren besteht kein konkreter Forschungsbedarf.

Hemmnisse

Die GewAbfV fordert eine getrennte Erfassung von Gipsabfällen (AVV 17 08 02). Recyclingfähige sortenreine Gipsbauplatten werden hier nicht ausdrücklich von Fraktionen, die aufgrund von Anhaftungen (z. B. Fliesen, Putze) nicht recyclingfähig sind, unterschieden. Zudem kommt es aufgrund mangelnder Materialkenntnis auch zu Fehlwürfen oder Vermischung mit Porenbeton

oder anderen Leichtbaustoffen. Bei einer derartigen gemeinsamen Erfassung ist die gemischte Materialqualität für das Gipsrecycling ungeeignet. Abhängig von den regionalen Gegebenheiten sind die folgenden logistischen Herausforderungen zu überwinden:

- große Frachtdistanz zur Aufbereitungsanlage,
- richtige Wahl geeigneter Behältersysteme (Größe, Kennzeichnung),
- Vertriebsstruktur / Kooperation von Logistik- und Entsorgungsdienstleistern und
- Bereitstellung von überdachten Lagerflächen.

Auch in gemischten Bau- und Abbruchabfällen sind Gipsplatten enthalten. Diese Abfälle können erst nach Aufbereitung und Sortierung in einer Vorbehandlungsanlage den differenzierten Recyclingwegen zugeführt werden. Eine Vermischung mit Leichtbaustoffen (z. B. Porenbeton) ist bei der Gips(platten)fraktion zu vermeiden. Der Vollzug der Getrennterfassungspflicht im Sinne der GewAbfV spielt eine entscheidende Rolle, um eine hochwertige Verwertung von Gipsabfällen zu ermöglichen.

In vielen Ländern sieht die jeweilige Landesbauordnung für Rückbau und Abbruch von Gebäuden keine gesonderte Genehmigungspflicht vor. Somit entfallen Eingriffsmöglichkeiten der Behörde bezüglich der Anforderungen an die Entsorgung der Bauabfälle und deren Überwachung.

In vielen Regionen führen niedrige Deponiepreise und der allgemeine Kostendruck im Baugewerbe dazu, dass eine Deponierung als Entsorgungsweg für Gipsabfälle bevorzugt wird.

In einigen europäischen Nachbarstaaten (z. B. Belgien, Frankreich) wurde diesem Problem mit Deponiesteuern oder Deponieverboten begegnet. In Tschechien hingegen wurden Verwertungswege wie die Abdeckung von Uranschlammteichen durch sehr geringe Annahmepreise zur einer attraktiven Entsorgungsmöglichkeit für Gipsabfälle.

Handlungsempfehlungen

Förderungsmöglichkeiten für das Gipsrecycling ergeben sich in den folgenden Handlungsfeldern:

- **EU / Bund:** Verstärkung der europäischen Zusammenarbeit, gemeinsame Strategie, Einführung eines eigenen Abfallschlüssels für sortenreine Gipsbauplatten

- **Bund:** Initiative i. S. eines bundeseinheitlichen Produktstatus für den qualitätsgeprüften Output aus Gipsrecyclinganlagen (z. B. durch Anerkennung einheitlicher Qualitätskriterien⁵⁵)
- **Bund, Länder, Vollzugsbehörden:** Verbesserte Information und Kontrolle zu Asbest in Bauabfällen (Vorkommen, Vorerkundung und Ausschleusung, Nachweisverfahren und Kontrolle, Akzeptanz einer definierten Asbestfreiheit, z. B. Leitlinie Asbesterkundung⁵⁶) **(P)**
- **Länder:** Textliche Ergänzung und Erläuterung als Hilfestellung in Bezug auf AVV 17 08 02 (recyclingfähige Gipsabfälle / Gipsplatten bzw. nicht recyclingfähig) in GewAbfV, wie bereits in der Dokumentationshilfe i. S. GewAbfV in Berlin umgesetzt
- **Länder:** Fixierung von Mindestanforderungen (Schadstoffinventarisierung, Rückbaukonzept, Entsorgungskonzept) für größere Abbruch- und Umbaumaßnahmen in den Landesbauordnungen
- **Länder:** Prüfung von Deponieverboten/-einschränkungen, Durchsetzung der Abfallhierarchie
- **Länder:** besserer Vollzug der GewAbfV, um einen qualitativ hochwertigen Sekundärrohstoff zu erhalten
- **Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger:** Getrenntsammlung verbessern, Einrichtung von überdachten Sammelstellen z. B. auf Recyclinghöfen (Beispiel: Berlin⁵⁷), keine Annahme auf Deponien; Erhöhung von Satzungspreisen für Gipsabfälle
- **Private Entsorgungswirtschaft:** Regionale Kooperationen der Recyclinganlagen mit Entsorgungsdienstleistern / Logistikern, Sammelplätze für trockene Lagerung, Einbindung öffentlicher Abfallsammelstellen **(P)**

6.2 Holz

Allgemein

Holz ermöglicht es auf verschiedene Arten und Weisen einen wichtigen Beitrag zur Ressourceneffizienz zu leisten. Zum einen können durch eine nachhaltige Verwendung des nachwachsenden Rohstoffs Holz endliche Rohstoffreserven geschont und somit ein wertvoller Beitrag zur Materialeffizienz

⁵⁵ Bundesverband der Gipsindustrie e.V. (2020): Recyclinggips (RC-Gips). Erstprüfung für Recyclinganlagen. Qualitätsmanagement, Qualitätsempfehlungen und Analyseverfahren, und Anlage zu den Qualitätsempfehlungen an RC-Gips: Umgang mit Gipsplattenabfällen aus dem Rückbau zum Ausschluss von Querkontaminationen mit Asbestfasern: <http://www.gips.de/aktuelles/detail/qualitaetsempfehlungen-fuer-recyclinggips/> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

⁵⁶ Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Umweltbundesamt (2020): Leitlinie für die Asbesterkundung zur Vorbereitung von Arbeiten in und an älteren Gebäuden. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitlinie-fuer-die-asbesterkundung-zur-vorbereitung>

⁵⁷ Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin (2019): Gipsrecycling statt Deponierung. Eine Zero-Waste-Initiative: https://www.berlin.de/senvvk/umwelt/abfall/recycling_von_gips/download/Flyer_Gipsrecycling_statt_Deponierung_Stand_19-06-2019.pdf

geleistet werden. Zudem kann Holz gut in aufeinanderfolgenden Nutzungskaskaden verwendet werden, wenn bei der Verwendung im Baubereich bestmöglich auf lösbare Verbindungstechniken geachtet wird. Auch können fossile Energieträger durch die energetische Nutzung von Holz geschont werden, also kann auch ein Beitrag zur Energieeffizienz geleistet werden. Dieser Aspekt wird im Bericht nicht näher betrachtet.

Entsorgungswege

Die Altholzverordnung regelt die Entsorgung des Abfallstroms Holz. Der Abfallstrom wird in vier Kategorien eingeteilt:

- Altholzkategorie A I: umschreibt naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde
- Altholzkategorie A II: verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel
- Altholzkategorie A III: Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel
- Altholzkategorie A IV: mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Rebpfähle, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz

Zudem wird noch in PCB-Altholz unterschieden, welches im Sinne der PCB / PCT-Abfallverordnung zu behandeln und nach deren Vorschriften zu entsorgen ist, insbesondere Dämm- und Schallschutzplatten, die mit Mitteln behandelt wurden, die polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten.

Durch diese strikte Einteilung nach Altholzkategorien kann das Recycling optimal vorbereitet werden. Aktuell ist in § 4 AltholzV sowohl die stoffliche als auch die energetische Verwertung als hochwertig angesehen. Im aktuellen Diskussionsentwurf zur Novellierung der AltholzV wurde die stoffliche Verwertung von A I Holz vorgeschrieben. Dies ist klar aufgrund einer anzustrebenden Kaskadennutzung zu befürworten. Je länger Holz in einer Kaskadennutzung zur Verfügung steht, desto ressourceneffizienter wird der Werkstoff (was Auswirkungen auf den Aspekt der Nachhaltigkeit hat).

Probleme können sich bei Verbundbauweisen mit Holz ergeben, hier sei beispielhaft die Kombination Holz - Beton genannt. Bei dieser Konstruktionsart besteht das Risiko, dass beim Rückbau die Trennung beider Stoffe nicht möglich ist und es als Folge zu Verunreinigungen beider Stoffströme kommt. Der Aufwand für eine qualitativ hochwertige Aufbereitung erhöht sich dadurch oder wird sogar unmöglich.

Qualität / Akzeptanz

Im Bereich des Ein- und Zweifamilienhausbaus ist die Verwendung des Baustoffs bereits etabliert und erfreut sich zunehmender Beliebtheit. In Mehrfamilienhäusern oder auch bei Nichtwohngebäuden lassen sich Bauweisen mit Holz bisher selten finden. Potenziale sind allerdings vorhanden, vor allem im Bereich der Mischbauweise, gerade hier fehlt es aktuell noch an „Knowhow“. Hier stehen noch technische Weiterentwicklungen aus. Zudem sind Strukturnachteile der von kleinen und mittleren Unternehmen geprägten Holzbaubranche zu überwinden, etwa beim großvolumigen Bauen oder auch bei der Vergabe von Bauaufträgen durch die Öffentliche Hand⁵⁸.

Aufbereitungstechnik und Recyclingverfahren

Bei der Wiederverwendung von Bauteilen und Bauelementen aus Holz (z. B. Dachstuhl, Türen, Rahmen) kommt es lediglich zu einer kurzen Aufbereitung des Materials wobei die Eigenschaften des eigentlichen Bauteils nicht verändert werden. Werden solche Materialien wiederverwendet, sind Fragen der Gewährleistung zu berücksichtigen. Aktuell handelt es sich hierbei um Nischenanwendungen.

Gelangt Holz als Altholz in die eigentliche stoffliche oder energetische Verwertung, findet im ersten Aufbereitungsschritt eine Zerkleinerung statt. Aus dem Altholz werden Hackschnitzel, Späne oder Fasern hergestellt. Der durchzuführende Grad der Aufbereitung hängt mit dem späteren Verwendungszweck zusammen. Wichtig ist allerdings, dass bereits beim Anfall und bei der Annahmekontrolle von Aufbereitungsanlagen genau auf Qualitäten geachtet wird und eine korrekte Zuordnung zu den Altholzkategorien erfolgt. Im Zuge des Aufbereitungsprozesses werden bestimmte Fremdstoffe ausgesondert (Glas, Nichteisen-/ Eisen-Metalle, mineralische Stoffe, Papier und Kunststoffe).

Die stoffliche Verwertung in Deutschland findet aktuell (A I und A II, ungefährliches Holz) in der Holzwerkstoffindustrie zur Herstellung von Span- und Faserplatten statt⁵⁹. Im Fraunhofer WKI (Wilhelm-Klauditz-Institut) wird erforscht, wie *„unzureichend genutzte Rohstoffquellen erschlossen werden können – so z. B. Hölzer der Kategorie A III und A IV, die nach der Altholzverordnung als belastet gelten. Diese Holzabfälle enthalten zusätzlich Kunststoffe wie PVC, Holzschutzmittel sowie schwermetallhaltige Farben. Selbst in diesem kontaminierten Lignocellulosematerial befindet sich eine nicht unbedeutende Menge verwertbaren Holzes, das es durch geeignete Trenn-*

⁵⁸ Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2018): Klima schützen. Werte schaffen; Charta für Holz 2.0: https://www.charta-fuer-holz.de/fileadmin/charta-fuer-holz/dateien/service/media-thek/Web_Broschuere_Charta-fuer-Holz_3._Aufl_2018.pdf [zuletzt aufgerufen am 23.04.2021]

⁵⁹ Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI: Holzwerkstoff- und Naturfaser-Technologien. Forschungsprojekt: <https://www.wki.fraunhofer.de/de/fachbereiche/hnt/profil/forschungsprojekte/altholz-recycling.html> [zuletzt aufgerufen am 19.08.2020]

und Sortierverfahren zu gewinnen gilt“. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Schnellerkennungsverfahrens (beruhend auf eindeutigen Sortierkriterien), mit dem entschieden werden kann, ob ein Altholz noch stofflich oder nur energetisch verwertet werden kann.

Altholz, welches am Ende (stoffliche Kaskadennutzung steht bestenfalls voran) seines Lebenszyklus ankommt, ist oftmals chemisch vorbehandelt und darf somit nicht in Kleinf Feuerungsanlagen, sondern nur in genehmigten Verbrennungsanlagen energetisch verwertet werden⁶⁰.

Hemmnisse

Die bevorzugte Verwendung von lösbaren Verbindungen für Bauelemente aus Holz bildet die bestmögliche Ausgangslage für stoffliches Recycling. Auch müssen die Vorzüge verschiedener Holz-/ Baumarten für gewisse Verwendungsmöglichkeiten beachtet werden, damit die Konkurrenz zwischen Möbel- und Gebäudebau nicht zu hoch wird⁶¹.

Zukünftig muss auch daran gearbeitet werden, dass es bei der Vergabe (siehe Abschnitt 5.2.1) nicht zu einer Benachteiligung von ressourceneffizienten Baustoffen kommt. Das bedeutet, die geplanten Baumaßnahmen müssen wesentlich offener ausgeschrieben und nicht z. B. auf Betonbauwerke beschränkt werden. Die geforderten technischen Anforderungen sollten vergabeentscheidend sein. Hierdurch können optimal und effizient in den jeweiligen Regionen Bewerbungen erarbeitet werden.

Handlungsempfehlungen

- Wie bereits erwähnt ist im aktuellen Entwurf der Novellierung der AltholzV für A I und A II eine stoffliche Verwertung vorgeschrieben, dies wird als wichtiger Aspekt gesehen, an dem weiter festgehalten werden muss.
- Es besteht Forschungsbedarf bzgl. der Verwendung von verschiedenen Holzarten im Holzbau (Stichwort: Übergang von Nadelholz zu Laubholz: Welche Laubhölzer können neben Buche noch verwendet werden? Ergeben sich hieraus andere Verwertungswege?) **(P)**
- Die Thematik „Lösbare Verbindungstechniken“ ist eine essentielle Voraussetzung für eine Kaskadennutzung von Konstruktionsholz. Die aktuell eingesetzten ingenieurtechnischen Verbindungstechniken sind, auch bei Schrauben, in der Praxis nicht sicher lösbar. Für zuverlässig demontierbare Verbindungen bedarf es dringend weiterer Forschung. **(P)**

⁶⁰ Handbuch zum Qualitätsmanagement von Holzhackschnitzeln [April 2017]

⁶¹ Verweis auf unveröffentlichter UBA Bericht S. 121 Kap. 5.1.3 (Bezug kann erst nach Veröffentlichung konkret eingearbeitet werden)

- Holz-Verbundkonstruktionen sind bzgl. des Aufbereitungs- und Verwertungsaufwand zu optimieren. Hier ist für die Holzbauforschung ein neuer Schwerpunkt zu setzen.

In der Charta für Holz 2.0⁶² des Bundeslandwirtschaftsministeriums: werden folgende Ziele formuliert:

- Steigerung des nachhaltigen Holzbaueinsatzes⁶³ in den verschiedenen Gebäudekategorien
- Steigerung des nachhaltigen Holzeinsatzes in der Gebäudesanierung
- Abbau der Diskriminierung von Holz in maßgeblichen Vorschriften und Richtlinien
- Stärkere Berücksichtigung der Klimaschutzeffekte in Strategien, Programmen, Leitfäden und Richtlinien für das Bauwesen

6.3 Verbundsysteme

Bei Verbundsystemen ist zu unterscheiden zwischen Materialverbänden, die aus mehreren Materialschichten zusammengefügt werden und Verbundbaustoffen, die aus unterschiedlichen Bestandteilen zu einem Komposit gefertigt werden.

Die Trennbarkeit von Materialverbänden hängt von der Fügetechnik zwischen den zu trennenden Materialschichten ab. Prinzipiell können sowohl mechanische (Schrauben, Stecken, etc.) als auch chemische Fügetechniken (z.B. Kleben) sowohl gute als auch schlechte Trenneigenschaften aufweisen. Entscheidend ist, dass der jeweilige Fügeverbund für eine sortenreine Trennung geplant sein muss und eine entsprechende Trenntechnik verfügbar ist.

Ähnlich verhält es sich bei Verbundbaustoffen. Auch hier gelingt ein sicherer Aufschluss nur bei geeigneter verfügbarer Aufbereitungstechnik. Diese sollte bei einer nachhaltigen innovativen Baustoffentwicklung zukünftig Teil des Bauprodukts sein. Fehlt solch eine Technik bzw. ein entsprechendes Konzept, sollte insbesondere bei schwierig zu verwertenden Materialien wie z. B. Faserverbänden und Mischungen aus anorganischen und organischen Bestandteilen grundsätzlich die Verwendung vermieden werden. Beispiele dafür sind zementgebundene Holzfaserplatten, kurzfaserhaltige CFK, Mörtel und Betone. Ausnahmen können sortenreine Komposite sein, bei denen Matrix und Fasern aus demselben Material bestehen.

⁶² <https://www.charta-fuer-holz.de/>, S. 20

⁶³ Wolf, T. et al. (2020): Potenziale von Bauen mit Holz, UBA Texte 192/2020

6.3.1 Carbonbeton

Allgemein

Zur Verstärkung des Tragverhaltens bzw. zur Aufnahme von Zug- und Biegezugkräften wird Beton bewehrt. Stahl ist das älteste und am meisten verwendete Bewehrungsmaterial für Beton. Auf Stahlfasern wird in diesem Bericht nicht eingegangen.

Bei Carbonbeton werden anstelle des Stahls Carbonfasern für die Bewehrung verwendet, die zuvor mit Harzen getränkt und zu Stäben oder Matten konfektioni-
oniert wurden. Carbonstäbe werden in einem Pultrusionsprozess, Carbonmatten in einem textilen Prozess hergestellt. Aus diesem Grund gehört Matten-bewehrter Carbonbeton auch zur Gruppe der Textilbetone.

Im Gegensatz zu Textilbeton werden beim sogenannten (Kurz-)Faserbeton Kurzfasern dem Beton schon während des Mischvorgangs zugesetzt (z. B. alkaliresistente Glasfasern oder Stahlfasern). Ob derzeit auch schon eine Bewehrung von Beton mit Carbon-Kurzfasern im Baubereich Anwendung findet, ist dem Ausschuss nicht bekannt. Es wird allerdings auch auf diesem Gebiet geforscht.^{64,65,66,67}

Vorteile, die Carbonbeton zugeschrieben werden, sind, dass im Gegensatz zur Stahlbewehrung die Carbonbewehrung nicht für Feuchtigkeit und Korrosion anfällig ist und die Carbonbewehrung bis zu viermal höhere Zugkräfte aufnehmen kann, als herkömmliche Stahlbewehrung. Somit können Betonbauteile prinzipiell dünner gebaut werden. Dadurch ist für die Herstellung vor allem weniger Beton nötig. In der Praxis kann dieser Vorteil nur zum Teil umgesetzt werden, da Betonüberdeckungen auch für die Erfüllung des Brandschutzes nötig sind und insbesondere im Hochbau die Masse des Betons für die Schallschutzanforderungen nötig werden. Weiterhin sind für die Ausnutzung der hohen Zugkräfte der Carbonbewehrung hochfeste Betone mit hohen Zement- und Zusatzmittelanteilen nötig, die die Ökobilanz negativ beeinflussen.

Insgesamt ist der Energieaufwand (Cumulative Energy Demand) für die Herstellung von Carbonfasern 27mal höherer als für die Herstellung von Stahl. Bei einem direkten Vergleich der Umweltauswirkungen für die Herstellung eines

⁶⁴ Hambach, M. et al. (2016): Portland cement paste with aligned carbon fibers exhibiting exceptionally high flexural strength, *Cement and Concrete Research*, S. 89, 80-86.

⁶⁵ Jehle, P.; Kortmann, J. (2018): Projekt-Schlussbericht – Zwanzig20 Carbon Concrete Composite – C3 – Teilprojekt V1.5: Abbruch, Rückbau und Recycling von C3-Bauteilen; TP1: Wissenschaftliche Grundlagen für Abbruch, Rückbau und Recycling von Carbonbeton (Seite 49).

⁶⁶ Kimm, M. (2019): Recycling von Carbonbeton – Wie kann eine hochwertige Wiederverwendung gelingen? *TUDALIT Leichter bauen – Zukunft formen*, 21, S. 35.

⁶⁷ Lauff, P. (2019): Carbonkurzfaserbeton – neue Möglichkeiten durch beanspruchungsorientierte Faserausrichtung, *TUDALIT Leichter bauen – Zukunft formen*, 21, S. 43.

definierten Betonbauteils mit einer Bewehrung aus Stahl bzw. Carbon, können sich aber aufgrund der reduzierten Masse an Rohstoffen beim Carbonbeton-Bauteil insgesamt Einsparungen bei CO₂ (Global Warming Potential) und Energie (CED) ergeben⁶⁸. Bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus des exemplarischen Betonbauteils (Rohstoffgewinnung & Herstellung sowie Abbruch & Verwertung) schneidet jedoch das Stahlbeton-Bauteil insgesamt besser als das Carbonbeton-Bauteil ab und wurde deshalb aus dem Blickwinkel dieses Berichts als ressourceneffizienter bewertet.⁶⁹ Hier sind weitere Forschungsvorhaben notwendig, um Carbon-Beton in seinen unterschiedlichen Anwendungen zu bewerten.

Carbonbeton ist ein relativ neuer Baustoff und derzeit Gegenstand umfangreicher Forschungsaktivitäten.⁷⁰ Laut dem Carbon Concrete Composite e. V. (C³) gibt es aktuell drei allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen zum Thema „Carbon- und Textilbetonbauweise“, die eine Carbonbewehrung aufweisen (Stand: Januar 2020)⁷¹.

- Fassadenplatten,
- Verfahren zur Verstärkung von bestehenden Stahlbetonbauwerken und
- Verfahren zur Rissbreitenreduzierung in Betonkonstruktionen.

Hieraus ist ersichtlich, dass es sich bei den aktuellen Zulassungen größtenteils eher um Reparaturmaßnahmen bzw. Verstärkungen von bestehenden Betonbauteilen handelt.

Nach Recherchen von C³ sind mit Stand Januar 2020 fünfundzwanzig Carbon-Produkte im Bereich Carbonbeton von drei unterschiedlichen Firmen auf dem Markt erhältlich.⁷² Es handelt sich überwiegend um Gelege, in jeweils vier Fällen sind es Betonfertigteile (Fassade) bzw. Stabbewehrungen.

Entsorgungswege

Da Carbonbeton derzeit nur in begrenztem Umfang in Spezialbereichen wie dem Brückenbau zum Einsatz kommt, gibt es keine belastbaren Daten zu Abfallströmen und Abfallmengen. Vermutlich wird momentan anfallender Carbonbeton-Abfall auf Deponien entsorgt, da noch keine Recyclingverfahren in der Praxis etabliert sind.

⁶⁸ Ludwig, H.-M. (2019): Projekt-Schlussbericht – Zwanzig20 - Carbon Concrete Composite C3 – I.15 Neuartige Aufbereitungsverfahren für das Carbonbetonrecycling (Seite 13 ff.).

⁶⁹ Ludwig, H.-M. (2019): Seite 16 ff.

⁷⁰ C3 carbon concrete composite: <https://www.bauen-neu-denken.de/c3-vorhaben/> [zuletzt aufgerufen am 30.03.2020]

⁷¹ C3 carbon concrete composite: https://www.bauen-neu-denken.de/wp-content/uploads/2019/07/I-AP-9.2_Markttrendanalyse_Download_abz_20200305.pdf [zuletzt aufgerufen am 08.02.2021]

⁷² C3 carbon concrete composite: https://www.bauen-neu-denken.de/wp-content/uploads/2020/06/I-AP-9.2_Markttrendanalyse_Download_Prod_20200305.pdf [zuletzt aufgerufen am 08.02.2021]

Qualität und Akzeptanz

Da es sich um einen neuen Baustoff handelt, liegen keine Erkenntnisse über die Qualitätssicherung und Akzeptanz vor.

Aufbereitungstechnik und Recyclingverfahren

Verschiedene C³-Forschungsprojekte beschäftigen sich mit der Prüfung der Recyclingfähigkeit von Carbonbeton.

Im Forschungsvorhaben „I.15: Neuartige Aufbereitungsverfahren für das Carbonbetonrecycling“⁶⁸ wurden mechanischen Zerkleinerungsversuche mit Prall- und Backenbrechern im kleinen Maßstab durchgeführt sowie Auswirkungen auf die Trennbarkeit von Matrix und Faser durch thermische oder Mikrowellenvorbehandlungen getestet. Wichtige Parameter für die Beurteilung der angewandten Techniken waren dabei der Aufschlussgrad, die Aufbereitungsqualität der Betonrezyklate und der Fasergehalt in den Fraktionen 0/1 mm und > 1 mm. Als alternatives Verfahren wurde die elektrohydraulische Zerkleinerung angewandt.

Folgende Ergebnisse konnten u. a. aus den Zerkleinerungsversuchen abgeleitet werden:

- Nicht vorbehandelter Carbonbeton wird mit dem Backenbrecher besser aufgeschlossen,
- mit dem Prallbrecher lagen in mehreren Fraktionen Agglomerate aus Betonmatrix und Carbonbewehrung vor,
- eine Vorbehandlung verbessert den Aufschluss,
- die thermische Vorbehandlung hat den höchsten Aufschlussgrad zur Folge, verschlechtert aber die Aufbereitungsqualität der Betonrezyklate und
- nicht nur in den gröberen Fraktionen, sondern auch in der Fraktion < 2 mm finden sich zerkleinerte Carbonfasern.

Aus dem letzten Punkt schließen die Autoren: *„Daraus folgend rücken Forschungen für die Verwertung der Fraktion < 2 mm in den Fokus, da diese schwierig sortenrein zu sortieren und hinsichtlich lungengängiger Carbonfaserpartikel besonders zu beachten sind.“*

Auf Grundlage eines Bewertungsmodells zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit von Carbonbeton kommen die Autoren zum Schluss, dass derzeit noch das im Vergleich angesetzte Stahlbetonbauteil als recyclingfähiger als das gleiche Betonbauteil mit Carbonbewehrung anzusehen ist. *„Die möglichen Materialeinsparungen bei der Carbonbetonausführung sind jedoch sehr interessant und sofern die Herstellung verbessert werden kann und die Abfälle dabei reduziert werden können, besteht hier ein hohes Potential für den neuen Baustoff.“* Zudem fehlt für eine genauere Betrachtung im Bewertungsmodell ein umfassendes Konzept zur Aufbereitung und dem Recycling von Carbonbeton.

Hiermit hat sich das Forschungsvorhaben „V1.5: Abbruch, Rückbau und Recycling von C³-Bauteilen (TP1)“⁶⁵ beschäftigt. Es wurden drei Recyclingvarianten zunächst theoretisch betrachtet und die Umweltauswirkungen abgeschätzt:

1. Brechen des Carbonbetons und stoffliche Verwertung des Verbundmaterial im Straßenbau,
2. Brechen des Carbonbetons, Trennen der Materialien, Pyrolyse der Carbonfaser und stoffliche Verwertung der Gesteinskörnung im Straßenbau sowie
3. Direkte Wiederverwendung eines Deckenbauteils in Sachsen (mit Zwischenlagerung).

Danach stellt die Wiederverwendung von ganzen Bauteilen das Optimum dar. Hierfür bedarf es allerdings noch technischer Problemlösungen, auf den Gebieten lösbarer Anschlüsse und Verbindungen für die zerstörungsfreie Demontage sowie Anpassung von Montage- und Fügeverfahren für Carbonbeton-Bauteile.

Die Verwendung von gebrochenem nicht getrenntem Verbundmaterial als Schotter z. B. für Bahntrassen, Sickerschichten oder verdichtete Schotterbette wird vom Ausschuss kritisch gesehen. Auch die Wiederverwendung dieses Materials in neuem Carbonbeton wurde im Forschungsvorhaben angedeutet, aber nicht hinsichtlich der Recyclingfähigkeit des daraus hergestellten Carbonbetons geprüft. Eine Verschleppung von Carbonfasern in den Stoffkreislauf ist in jedem Falle zu vermeiden.

Zur Überprüfung, ob Carbonbeton mit konventionellen Abbruch- und Recyclingverfahren verwertet werden kann, wurden erste Großversuche unternommen. Hierfür wurden Decken- und Wandelemente aus Carbonbeton hergestellt und daraus großteilige Probekörper konstruiert. Erste Ergebnisse zeigen, dass die konventionellen Verfahren für den Abbruch von carbonbewehrten Betonbauteilen geeignet sind. Die großtechnische Zerkleinerung wurde in dem Versuch in zwei Aufbereitungsschritten durchgeführt:

1. Selektiver Abbruch / Vorzerkleinerung mit Betonpulverisierer und Sortiergreifer
2. Zerkleinerung / Separierung in situ mit einem mobilen Backenbrechen inkl. Magnetabscheider

Der Versuch zeigte zwar, dass sich mit einer konventionellen mobilen Brecheranlage die Carbonbewehrung von der Betonmatrix mit einem Aufschlussgrad von > 99 % trennen lässt (es lagen nur vereinzelte Kompositmaterialien vor), jedoch finden sich, ausgenommen von der Metallischen, die restlichen Fraktionen (Betonbruch Körnung 0/56, Carbonfaserbruchstücke und Kunststoff aus Abstandshaltern) noch in einem gemeinsamen heterogenen Haufwerk wieder.

Für ein hochwertiges Recycling ist es notwendig die einzelnen Fraktionen nach dem Brechen zu trennen. Dies geht auch aus dem Forschungsvorhaben V1.5 hervor, wonach ein effizienteres und hochwertigeres Recycling die Umweltauswirkungen von Carbonbeton reduziert. Eine Separation kann ebenfalls das Recycling der Carbonfasern ermöglichen, was auch deshalb sinnvoll erscheint, da die Herstellung der Primärfasern sehr ressourcenintensiv und mit hohen Kosten (ca. 20 €/kg) verbunden ist.

Daher wurde im Rahmen des oben beschriebenen Feldversuchs das Separationsverfahren „Querstromsichtung“ mit einem mobilen Windsichter getestet. Dies führte allerdings nicht zur gewünschten Abscheidung der Carbonfaserfraktion.

Auch die mehrstufige Behandlung des heterogenen Materials aus dem Feldversuch (Körnung 0/56) in einer stationären Recyclinganlage (Ausstattung: Prallbrecher, Siebanlage, Sortierkabine, leistungsfähiger Windsichter) führte nicht zum gewünschten Ergebnis. Vielmehr konnte beobachtet werden, dass eine weitere Zerkleinerung des Materials nachteilig für die Separation und stoffliche Verwertung der Carbonfasern ist.

Deshalb wurden weitere großmaßstäbliche Separationstechniken untersucht, die derzeit allerdings im Bauwesen keine oder nur geringe Anwendung finden (Wirbelstromsichtung, Schwimm-Sink-Sortierung, Nahfeldinfrarot-Sortierung und Kamerabasierte Sortierung)⁷³. Als erfolgversprechend (Ausbringquote von 97,7 %) zeigte sich dabei die kamerabasierte Methode, bei der mittels festgelegter geometrischer Kriterien mit gezielten Luftstromimpulsen die Carbonfaserfragmente aus dem Materialstrom aussortiert wurden. Der Versuch erfolgte im Technikumsmaßstab (Maximalleistung ca. 10 t/h).

Aufbereitungstechnologien für konventionellen Stahlbeton sind somit nicht ohne Anpassungen für Carbonbeton geeignet. Es müssen zunächst noch nachgeschaltete Separationsverfahren für eine hochwertige stoffliche Verwertung der einzelnen Fraktionen geschaffen werden. Zugleich bestehen noch weitere Herausforderungen bei der Separation des Feinanteils der Carbonfasern, der in den bisherigen Versuchen nicht ausgebracht werden konnte.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „V-I.13 Branchenübergreifender Einsatz von recycelten Carbonfasern aus C³-Bauteilen“⁷⁴ wurde die Durchführung von Separationsarbeiten zur sortenreinen Trennung der Carbonfasern von der C³-Matrix, wie bereits oben beschrieben, untersucht sowie die Aufbereitung der im Recyclingprozess anfallenden Carbonfasern und die Anwendung der recycelten Carbonfasern erforscht. Hierfür wurden aus dem separierten Abbruchmaterial Carbonfaser-Fragmente der Längen 40 bis 150 mm aussortiert, gereinigt und im ersten Schritt die Beschichtung von der Oberfläche mittels

⁷³ Kopf, F.; Kortmann, J. (2019): Aufbereitung von Carbonbetonabbruchmaterial, Beitrag zum 30. BBB-Assistententreffen 2019 in Karlsruhe, S. 132-145.

⁷⁴ Jehle, P.; Kortmann, J. (2020)

Pyrolyse entfernt. Ziel des Vorhabens war u. a. die Herstellung eines Hybridgarns aus den recycelten Carbonfasern (ca. 50 % Massenanteil) und Polyamidfasern um hieraus zukünftig eine neuartige Hybridgarnkonstruktion für den Wiedereinsatz im Bauwesen zu entwickeln. Die Autoren weisen darauf hin, dass hierfür nach wie vor ein hoher Forschungsbedarf vorhanden ist. Die Entwicklung und Fertigung eines C³-Demonstrators aus rCF-Textilstrukturen steht noch aus.

Ein Bericht von Kimm et al.⁷⁵ zeigt, dass die bei der Aufbereitung von Carbonbeton freigelegte Bewehrung nicht für den direkten Wiedereinsatz in Textilbeton geeignet ist, da es bei der Zerkleinerung zu Beschädigungen an der Bewehrung und damit zu Verringerungen bei der Zugfestigkeit kommt. Im Übrigen ist eine Trennung der Betonmatrix von der Carbonbewehrung nur möglich, wenn diese z. B. mit Epoxidharz imprägniert ist.

Da eine Wiederverwendung der Carbonbewehrung nicht möglich scheint, wird ebenfalls untersucht, inwieweit recycelte Carbonfasern (rCF) aus Bewehrungen wieder im Bausektor eingesetzt werden können. So wurden wie oben bereits erwähnt Hybridvliese und –garne aus rCF und Polyamidfasern mit dem Ziel hergestellt, diese wieder in Textilbetonen einzusetzen. Kimm et al. sehen aber das größte Potential (aufgrund wirtschaftlicher und technologischer Aspekte) beim Einsatz von rCF in Kurzfaserbeton. Letzteres wird vom Ausschuss kritisch gesehen, da u. U. beim Recycling des Kurzfaserbetons eine Separierung von Kurzfasern und mineralischer Matrix nicht mehr möglich ist. Zudem stellt sich die Frage, ob die Hybridfasern aus Carbon und Polyamid gemeinsam recycelt werden können. Bei Sandwich-Strukturen aus CFK und GFK ist eine Entsorgung heute schon problematisch, da die beiden Faserverbundmaterialien nicht für dasselbe Verwertungsverfahren geeignet sind.

Bezüglich der für Textilbeton verwendeten Betonrezeptur merken Kimm et al. an, dass bei Verwendung einer Feinbetonmatrix für den Textilbeton, der Betonbruch nur bedingt für das Betonrecycling geeignet ist, da bis zu 45 % der Gesteinskörnung unterhalb von 4 mm liegen. Aus diesem Grund wird empfohlen vermehrt auf Beton mit größerer Gesteinskörnung für die Herstellung von Textilbeton zu setzen.

Hemmnisse

Da es sich bei Carbonbeton um einen Baustoff handelt, der momentan noch nicht bei den Entsorgungsanlagen ankommt, können aktuelle Hemmnisse nicht beschrieben werden. Das Aufbereitungsverfahren für Carbonbeton befindet sich derzeit noch im Versuchsstadium. Aus abfallwirtschaftlicher Sicht wären daher die folgenden Hemmnisse denkbar.

Keine Akzeptanz bei Recyclingunternehmen aufgrund von:

⁷⁵ Kimm, M. et al. (2020): Recycling von Textilbeton, Beitrag zur Berliner Konferenz – Mineralische Nebenprodukte und Abfälle, Band 7, S. 356-373.

- Problemen mit faserhaltigen Stäuben in Filtereinheiten von Bauschuttrecyclinganlagen,
- Verschleppungen von Fasern in andere Recyclingbaustoffe,
- Verteuerung des Recyclings durch zusätzliche Aufbereitungs- bzw. Separationstechniken,
- fehlendem Markt für separierte Carbonfaserfragmente,
- schlechter Vermarktung des aufbereiteten Betonbruchs aus Carbonbeton aufgrund des hohen Feinanteils (< 4 mm),
- notwendigen Anpassungen der Genehmigungen der Recyclinganlagen,
- zu wenigen Aufbereitungsanlagen, die das Knowhow und die Technik besitzen (Transportwege),
- fehlenden Recyclingmöglichkeiten für die Feinfraktion / Stäube mit Carbonfaseranteilen,
- schlechten Aufrüstungsmöglichkeiten bei mobilen Brecheranlagen,
- Problemen bei der Aufbereitung hybrider Bewehrungen (z. B. aus Glas- und Carbonfasern) und
- fehlenden einheitlichen Regelungen beim Arbeitsschutz bzw. evtl. notwendigen strengeren Schutzmaßnahmen als für herkömmliche Betonrecyclinganlagen.

Das Thema Arbeitsschutz steht nicht im Fokus dieses Berichtes. Es sei aber an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass das Thema Gesundheitsgefahren bei der Bearbeitung von carbonfaserhaltigen Materialien derzeit ebenfalls intensiv beforscht wird.^{76,77,78} Auch bei den oben genannten Forschungsarbeiten wurden Emissionsmessungen und Staubanalysen durchgeführt.

So wurden beispielweise bei Laborversuchen (Schleifen, Bohren und Sägen von Carbonbeton-Probekörpern) im Rahmen des V1.5-Vorhabens Emissionsmessungen durchgeführt und die entstandenen Carbonfaserfragmente charakterisiert. Demnach wurden keine „WHO-Fasern“ gefunden. Allerdings wurden in den Kategorien alveolengängiger und einatembarer Staub sowie bei den Fasern Arbeitsplatzgrenzwerte überschritten.

Im V-I.15 Vorhaben heißt es außerdem: *„Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Faserpartikel auch in den gesundheitsschädlichen, lungengängigen Fraktionen < 3 µm in den Stäuben vorliegen. Daher sollte bei*

⁷⁶ Zimmermann et al. (2018): V1.3: Entwicklung und Anwendung von analytischen Methoden zur chemischen Charakterisierung von Partikeln und zur biochemischen Untersuchung von Zellkulturen.

⁷⁷ Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA): Voraussetzungen und Mechanismen einer Freisetzung alveolengängiger faserförmiger Carbonfaser-Bruchstücke (CarboBreak); laufendes Projekt: F 2476: <https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Forschung/Forschungsprojekte/f2476.html> [zuletzt aufgerufen am 31.03.2020]

⁷⁸ Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe: CFC – CarbonFibreCycle. Carbonfasern im Kreislauf – Freisetzungverhalten und Toxizität bei thermischer und mechanischer Behandlung: <https://www.ivw.uni-kl.de/de/projekte/cfc-carbonfibrecycle> [zuletzt aufgerufen am 29.04.2021]

der Eignungsbeurteilung eines Aufbereitungsverfahrens das Kriterium einer geringen Staubentwicklung immer berücksichtigt werden.“

Handlungsempfehlungen

- Keine Verwendung von Carbonkurzfaserbeton, um Verschleppungen in den Stoffkreislauf zu vermeiden und eine hochwertige Verwertung des Betons zu ermöglichen (Adressaten: DIBt als Genehmigungsstelle für die Zulassung derartiger Baustoffe; Länder als Verordnungsgeber für die Landesbauordnungen). **(P)**
- Vor dem großflächigen Einsatz von Carbonbeton sollte die hochwertige Verwertung praxistauglich sein (Adressaten: Hersteller von Carbonbeton; DIBt als Genehmigungsstelle für die Zulassung derartiger Baustoffe). **(P)**
- Es besteht Forschungsbedarf zur Lokalisierung von Carbonbewehrung in ungestörtem Beton. Da Carbon im Gegensatz zu Stahl nicht magnetisch ist, ist eine Ortung mit den üblichen magnetbasierten Bewehrungssuchgeräten nicht möglich. Dies wäre z. B. bei Umbauten oder Sanierungen notwendig, wenn Bohrungen anstehen (Adressat: Hersteller von Carbonbeton).
- Baustoffrecycling-Verbände und Hersteller von Carbonbeton sollten sich austauschen, um evtl. Hemmnisse frühzeitig auszuräumen (Adressaten: Hersteller von Carbonbeton; Baustoffrecycling-Verbände). **(P)**
- Carbonbeton sollte zumindest auf nationaler Ebene gekennzeichnet werden (möglichst auch sichtbar vor dem Abbruch), um eine möglichst sortenreine Erfassung zu ermöglichen und um auch noch nach Jahrzehnten identifizieren zu können, welche Fasern, Schichten und Imprägnierungen verwendet wurden (Adressat: Verordnungsgeber auf Bundes- bzw. EU-Ebene).
- Es sollte ein eigener Abfallschlüssel für Carbonbeton in die Abfallverzeichnisverordnung aufgenommen werden, um Stoffströme besser lenken zu können (Adressaten: Verordnungsgeber auf EU- und Bundesebene). **(P)**
- Es besteht Forschungsbedarf zur Prüfung der Möglichkeit des gemeinsamen Recyclings von Stahl- und Carbonbeton in einer Anlage (Adressat: Hersteller von Carbonbeton).
- Bei der 93. UMK (TOP 40) bat die Umweltministerkonferenz die Konferenz der Arbeits- und Sozialminister, eine Überprüfung der Gefährlichkeit von Carbon- und Glasfasern sowie der von freigesetzten Carbon- und Glasfasern ausgehenden Gesundheitsrisiken zeitnah zu veranlassen. Die Ergebnisse aus den Forschungsvorhaben zur Gesundheitsgefahr von Carbonfaserstäuben aus Carbonbeton sollten in diesem Zusammenhang kommuniziert werden (Adressat: Bund und Länder). **(P)**

6.3.2 Faserzementplatten (asbestfrei)

Allgemein

Der Baustoff Faserzement ist nicht brennbar, witterungs- und frostbeständig, wasserundurchlässig, fäulnissicher, stoßfest und UV-beständig.

Im Folgenden wird die Zusammensetzung, Herstellung und Entsorgung von Faserzement beschrieben, der ohne Asbest hergestellt wird. Erkennbar sind diese Produkte an den Kennzeichnungen NT (Neue Technologie), AF (Asbest-frei) oder C (Clean). Bereits in den 80iger Jahren wurde in der Bundesrepublik Deutschland ein freiwilliges Abkommen mit der Faserzementindustrie getroffen, wonach Asbest in Hochbauprodukten vollständig ersetzt werden sollte. 1993 wurde dann die Herstellung und Verwendung von Asbest in Deutschland komplett verboten, sodass spätestens ab dem Herstellungsjahr 1994 zweifelsfrei von einer Asbestfreiheit der Faserzementplatten aus Deutschland ausgegangen werden konnte. Seit dem 01.01.2005 gilt ein europaweites Verbot für asbesthaltige Produkte.

In heutigen, genormten Produktionsprozessen werden daher als Ersatz für Asbest in naturgehärtetem Faserzement organische Synthesefasern (Polyvinylalkoholfaser, PVA) und natürliche Zellstofffasern (Zellulose) eingesetzt. PVA (mittlerer Durchmesser: 12 µm, Länge: 4 - 8 mm) eignet sich aufgrund von hoher Zugfestigkeit, Alkali-resistenz und Affinität zu Zement besonders für die Armierung. Zellulose wird als Prozessfaser verwendet, um ein Ausschwemmen von Zementpartikeln während des Ausscheidens von überflüssigem Produktionswasser zu verhindern. Die Fasern sind im Zement meistens einzeln und zufällig verteilt. Für Spezialanwendungen sind aber auch Faserbündel und -bänder sowie Netze und Gewebe, aber auch feste Kunststoffbänder (z. B. bei Wellplatten) möglich. Bei dampfgehärtetem Faserzement kann Zellulose auch in größerer Menge als Verstärkungsfaser Anwendung finden. Die folgenden Komponenten werden in Faserzement eingesetzt⁷⁹:

	naturgehärteter Faserzement	dampfgehärteter Faserzement
Portlandzement	80 %	53 %
Quarzsand	–	35 %
PVA	2 %	–
Zellulose	3 %	8 %
Kalksteinmehl	10 %	–
Zusatzstoffe	5 %	–

⁷⁹ VDI-Richtlinie Emissionsminderung (2016): Herstellung und Verarbeitung von faserhaltigen Materialien – Faserzementprodukte, Nr. 3469, Blatt 2.

	naturgehärteter Faserzement	dampfgehärteter Faserzement
Stabilisatoren	–	4 %

Naturgehärteter Faserzement wird hauptsächlich in Dach- und Fassadenprodukten eingesetzt, Dampfgehärteter dagegen kommt eher als Platten für den (Innen-)Ausbau und ebenfalls für Fassaden zum Einsatz.

Seit den 80er Jahren werden verstärkt kolorierte Fassadenplatten am Markt angeboten, die zum Erhalt des Erscheinungsbilds mit einer Kunststoffbeschichtung auf der Vorderseite und zur Kompensation hygrischer Effekte (z. B. Vorwölbungen) auf der Rückseite mit einer wachsartigen Beschichtung versehen waren.

Faserzementabfälle fallen während der Produktion, bei der Konfektionierung (nicht immer am Ort der Produktion), beim Einbau und bei Abbruch-, Umbau- oder Reparaturmaßnahmen an. Da asbestfreier Faserzement erst ab den 90iger Jahren flächendeckend eingesetzt wurde, werden bei einer geschätzten Lebensdauer von ungefähr 30 Jahren erst jetzt größere Mengen an Faserzementabfällen nach der Nutzung anfallen.

Produktionsabfälle werden meistens dem Abfallschlüssel 10 13 11 „Abfälle aus der Herstellung anderer Verbundstoffe auf Zementbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 13 09 und 10 13 10 fallen“ zugeordnet.

Für sortenreine Faserzementabfälle aus dem Bereich Abbruch-, Umbau- oder Reparaturmaßnahmen gibt es hingegen in der Abfallverzeichnisverordnung keinen eigenen Abfallschlüssel im Kapitel 17 „Bau- und Abbruchabfälle“, so dass je nach Regelungen in den Ländern unterschiedliche Einstufungen in Frage kommen, die den Abfall jedoch nicht in Gänze beschreiben:

17 01 01 „Beton“: Dieser Abfallschlüssel wird oftmals gewählt, da Beton ähnliche Komponenten hat (Zement). Optimal ist dieser Abfallschlüssel jedoch nicht, da Faserzement in der Regel einen höheren Zementgehalt und einen erhöhten Organikgehalt hat. Außerdem ist er nur bedingt für das Betonrecycling geeignet (s. a. Unterpunkt: Aufbereitungstechnik und Recyclingverfahren).

17 01 07 „Gemische aus Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 01 06 fallen“: Dieser Abfallschlüssel wird für gemischte mineralische Bauabfälle verwendet, worunter auch Faserzementabfälle fallen können.

17 09 04 „gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01, 17 09 02 und 17 09 03 fallen“: Abfälle, die diesem Abfallschlüssel zugeordnet werden, bedürfen im Regelfall einer Aufbereitung, da neben mineralischen Abfällen auch Holz, Papier, Kunststoff etc. enthalten sind (Baustellenmischabfälle).

Für Monofractionen an Faserzementplatten (nach der Nutzung) käme theoretisch auch der Abfallschlüssel 10 13 11 „Abfälle aus der Herstellung anderer Verbundstoffe auf Zementbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 13 09 und 10 13 10 fallen“ in Betracht. Er beschreibt die Zusammensetzung von Faserzementplatten am besten, passt aber nicht zur Herkunft der Abfälle und wird vermutlich deshalb in vielen Entsorgungsanlagen nicht genehmigt sein. Alternativ könnten die herkunftsbezogenen Abfallschlüssel aus der Gruppe 17 der AVV verwendet werden mit einem spezifizierten Zusatz, dass es sich um Monofractionen von Faserzementplatten handelt.

Entsorgungswege

Eine hochwertige Verwertung von Faserzementabfällen ist die Rückführung dieser in die Produktion. Erhärteter Faserzement kann gemahlen als Ersatz für Kalksteinmehl bei der Herstellung von Faserzementplatten zugegeben werden.

Ebenfalls möglich ist die Verwertung im Zementwerk. Dort können vorgebrochene Zementplatten aus der Produktion in Mischungen mit gewonnenem Kalkstein (nur ca. 0,45 %) ⁸⁰ eingesetzt werden.

Die beiden vorgenannten Entsorgungswege sind insbesondere für Abfälle aus der Herstellung und Konfektionierung gut geeignet, da hier die Herkunft zweifelsfrei ist und die Qualitäten bekannt sind. Bei ausreichendem Nachweis wären diese Verwertungswege auch für Verschnittreste aus dem Einbau denkbar. Nach Möglichkeit sollte auch für Faserzementprodukte nach der Nutzung eine solche hochwertige Verwertung angestrebt werden, dies scheint aber aufgrund der meist unbekannteren Herkunft eher unwahrscheinlich.

Eine Verwertung von Faserzementabfällen aus Abbruch-, Umbau- oder Reparaturmaßnahmen als Recyclingbaustoff, soweit Beschichtungen oder Verunreinigungen dies nicht verhindern, ist grundsätzlich möglich. Entsprechende Entsorgungswege müssen aber noch von der Industrie und der Entsorgungswirtschaft geschaffen werden. ⁸¹

Eine Entsorgung von Faserzementabfällen auf Deponien der Klasse I und II ist grundsätzlich möglich. Aufgrund der organischen Fasern sowie in Teilen auch Bändern und Oberflächenbeschichtungen, ist der nach Deponieverordnung zu untersuchende Organikgehalt erhöht und macht in einigen Fällen eine Zustimmung der zuständigen Behörde für die Ablagerung nötig. Relevante Parameter zur Einstufung nach Deponieverordnung sind ⁸¹:

- Glühverlust: bis zu 12 M.% TM
- TOC: 2 - 5 M.% TM

⁸⁰ Oebbeke A. (2010): Faserzementrückstände als Rohstoffsubstitut in der Zementindustrie; Baulinks (1997-2021): <https://m.baulinks.de/webplugin/2010/1415.php4> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

⁸¹ Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2017): Steckbrief Nr. 25.7 - Asbestfreie Faserzementprodukte.

- DOC: 7 - 30 mg/l
- lipophile Stoffe: 0,03 – 0,07 M.% (OS)
- KW-Index: 300 - 500 mg/kg TM
- Chrom: 0,003 – 0,012 mg/l
- Phenolindex: 0,01 – 0,02 mg/l
- Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen: 720 – 2000 mg/kg TM
- Brennwert i. d. R. deutlich unter 6000 kJ/kg TS

Qualität und Akzeptanz

Nach Möglichkeit sollten Faserzementabfälle getrennt gesammelt und entsorgt werden. Eine Entsorgung in der mineralischen Mischfraktion ist nur dann denkbar, wenn das technische Recycling hierdurch nicht behindert wird. Mitunter ist es möglich, dass die Annahme von solchen Mischfraktionen an der Entsorgungsanlage auch abgelehnt wird, da die enthaltenen Faserzementabfälle für asbesthaltig gehalten werden.

Da auch immer noch asbesthaltige Faserzementplatten bei Abbruch-, Umbau- oder Reparaturmaßnahmen anfallen können, ist schon alleine aus Arbeitsschutzgründen, aber auch um eine möglichst hochwertige Verwertung zu gewährleisten, eine Vorerkundung vor Beginn der Maßnahme erforderlich. Durch Dokumentation und Nachweis der eingesetzten Produkte zum Zeitpunkt des Baus oder durch Kennzeichnung sowie durch ausreichende (eventuell kostenintensive) Analytik und einen qualifizierten Rückbau kann die Asbestfreiheit der Faserzementabfälle bestätigt werden.

Aufbereitungstechnik und Recyclingverfahren

In einem Beitrag der Fachzeitschrift für Baustoffrecycling, Abbruch, Entsorgung und Altlastensanierung wird ein möglicher Verwertungsweg für Faserzementabfälle im Straßenbau aufgezeigt⁸². Es wurde darin untersucht inwieweit eine Faserzementzugabe zu einem zertifizierten RC-Tragschichtmaterial (Tragschicht ohne Bindemittel) die bautechnischen Eigenschaften verändert. Es wurde dafür RC-Material aus Betonbruch 0/32 mm verwendet und gezielt eine Faserzementfraktion 0/8 mm zugegeben. Es konnte gezeigt werden, dass eine Zumischung von bis zu 5 % Faserzement im Tragschichtmaterial nicht zu negativen Auswirkungen auf die physikalischen Eigenschaften führt.

Inwieweit dieser Verwertungsweg tatsächlich stattfindet, ist dem Ausschuss nicht bekannt.

⁸² Müller, A. et al. (2010): Verwertungsweg für Faserzementabfälle, Fachzeitschrift für Baustoffrecycling, Abbruch, Entsorgung und Altlastensanierung, 5, S. 22-25.

Hemmnisse

Das Recycling von Faserzementplatten, die bei Abbruch-, Umbau- oder Reparaturmaßnahmen anfallen, könnte aus den folgenden Gründen gehemmt sein:

- kein etabliertes Verwertungsverfahren,
- keine zweifelsfreie Einstufung als asbestfrei möglich,
- Verwechslung mit asbesthaltigen Faserzementplatten,
- Farb- oder Kunststoffbeschichtungen bzw. Verunreinigungen,
- zu geringer Anfall an Monochargen der asbestfreien Faserzementabfälle,
- hohe Staubbelastung (Zement, Fasern, evtl. Quarzsand), auf die gängige Bauschuttrecyclinganlagen nicht ausgelegt sind (adäquate Absaugung oder Bewässerung),
- Zugang zu Verwertung bei Herstellern und Zementwerken durch zu geringe Chargen oder heterogene Qualitäten erschwert,
- Organikgehalt der Zementfaserprodukte,
- höhere Kosten für Recycling, da nur geringe Mengen an Monofractionen angenommen und zu dosiert werden müssen oder
- große Transportentfernungen zu Bauschuttrecyclinganlagen, die Faserzementabfälle in Monofractionen annehmen.

Handlungsempfehlungen

- Entwicklung von geeigneten hochwertigen Verwertungsverfahren für Faserzementabfälle, die nicht in der Produktion oder im Zementwerk eingesetzt werden können (bspw. als Betonzuschlag / Bestandteil von R-Beton) (Adressat: Hersteller von Faserzementplatten) (**P**)
- Aufnahme des Abfallschlüssel 10 13 11 in die Genehmigung von Entsorgungsanlagen, die für die Entsorgung von Faserzementplatten geeignet sind (Adressaten: Betreiber von Entsorgungsanlagen; Genehmigungsbehörden) (**P**)
- Separate Erfassung von Faserzementabfällen (Adressat: Abfallerzeuger; Entsorgungsunternehmen) (**P**)
- Appell an Abbruchunternehmen, Entsorger und Behörden, den Abfallschlüssel 10 13 11 „Abfälle aus der Herstellung anderer Verbundstoffe auf Zementbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 13 09 und 10 13 10 fallen“ zu nutzen, um eine klare Zuordnung vornehmen zu können bzw. Aufnahme eines eigenen Abfallschlüssels für Faserzementabfälle in die Abfallverzeichnisverordnung, um Stoffströme besser lenken zu können (Adressat: Länder bzw. Ordnungsgeber auf EU- und Bundesebene) (**P**)
- Vorerkundungspflicht in den Landesbauordnungen einführen (Adressat: Länder als Ordnungsgeber für die Landesbauordnungen)
- Förderung des Recyclings von Monofractionen (Adressat: Bund und Länder)

6.3.3 Polystyrol in Wärmedämmverbundsystemen

Polystyrol ist ein weißes, amorphes bis teilkristallines Polymer und einer der am häufigsten hergestellten Kunststoffe weltweit. Je nach Herstellungsart findet Polystyrol Anwendung in verschiedensten Bereichen, insbesondere in der Verpackungsindustrie.

Unbehandeltes Polystyrol ist brennbar, nicht UV-beständig, stoßempfindlich, witterungs- und frostbeständig (wenn es nicht dem Tageslicht ausgesetzt wird).

Die zwei hauptsächlichen Herstellungsformen sind das geläufig als *Styropor*® bekannte expandierte Polystyrol (EPS) und das unter anderem als *Styrodur*® bekannte extrudierte Polystyrol (XPS).

Als Baustoff ist Polystyrol aufgrund seiner geringen Wärmeleitfähigkeit insbesondere als Dämmmaterial geeignet. Dabei ist es sowohl als EPS als auch XPS in Gebrauch. Aufgrund leicht unterschiedlicher Eigenschaften findet EPS meist Anwendung in sogenannten Wärmedämmverbundsystem (WDVS), wohingegen XPS aufgrund seiner höheren mechanischen Stabilität oftmals als Perimeterdämmung Anwendung findet.

Insbesondere aufgrund des schlechten Verhaltens im Brandfall müssen EPS und XPS, um als flächige Gebäudedämmung zum Einsatz zu kommen, während der Herstellung mit Brandschutzmitteln versetzt werden.

In diesem Zusammenhang problematisch war der Einsatz des Flammschutzmittels Hexabromcyclododecan (HBCD), welches bis 2014/15 verwendet wurde und im Rahmen der EU-POP-VO ((EG) Nr. 2019/1021) seit September 2016 rechtswirksam als persistenter organischer Schadstoff eingestuft wurde. Ein weiterer Aspekt ist die Verwendung von FCKW-Gasen als Treibmittel, insbesondere für XPS bis zum Jahr 1994.

Da es sich bei Polystyrol im Bauwesen um Dämmmaterial handelt, ist die Einstufung von Monochargen unter den Abfallschlüssel in der Abfallgruppe 17 06 (Dämmmaterial und asbesthaltige Baustoffe) der AVV zunächst einschlägig. Die Einstufung entsprechend der Spiegeleinträge 17 06 04 und 17 06 03*, bzw. 17 09 04 oder 17 09 03* (Abfallgemische) ist von Art und Menge des zugesetzten Flammschutzmittels oder anderer Anhaftungen / Zusätze abhängig. Insbesondere der Zusatz von HBCD führt aufgrund der Vorgaben der POP-Abfall-ÜberwV ab einem Massenanteil von 0,1 % zwar nicht zu einer Einstufung als gefährlicher Abfall, aber es ergeben sich gesonderte Getrennthaltungs- und Nachweispflichten. Zu einer Einstufung nach dem Abfallschlüssel 17 06 03* kommt es ab Konzentrationen von 30.000 mg/kg HBCD. Da mit HBCD versetztes Polystyrol in Form von EPS in der Regel

0,7 % (7.000 mg/kg) und in Form von XPS 1,5 % (15.000 mg/kg) HBCD enthalten⁸³, sind diese nach dem selektiven Ausbau unter dem Abfallschlüssel 17 06 04 zu führen, unterliegen aber den Sonderregelungen der POP-Abfall-ÜberwV.

Entsorgungswege

I) Wiederverwendung / Vorbereitung zur Wiederverwendung

Je nach vorheriger Anwendung (HBCD-frei) können EPS und XPS Elemente bei sauberem Ausbau direkt wiederverwendet oder zur Wiederverwendung vorbereitet werden. Aufgrund der typischen Verbundtechnik ist dies bei in WDVS genutztem EPS zurzeit in der Praxis nicht möglich.

II) Recycling und stoffliche Verwertung

Entsprechend ungefährliche und nicht unter die POP-Abfall-ÜberwV fallende Polystyrolabfälle können recycelt werden, um wieder Polystyrol-basierte Elemente herzustellen. Darüber hinaus ist eine stoffliche Verwertung, bspw. in mit Polystyrol gefüllten „Dämm-Ziegeln“ möglich. (siehe auch 6.1.3)

III) Thermische Verwertung und Beseitigung

Sollte es sich bei den Polystyrol-Elementen um mit HBCD hergestelltes Polystyrol handeln, so ist aufgrund der Erfordernisse der Verordnung (EU) 2019/1021 (EU-POP-Verordnung) der Polystyrol-Abfall ab einem Gehalt von 1.000 mg/kg so zu verwerten oder zu beseitigen, dass darin enthaltene persistente organische Schadstoffe zerstört oder unumkehrbar umgewandelt werden. Dies wird für Polystyrol-Abfälle zurzeit im industriellen Maßstab nur durch Verbrennung in dafür zugelassenen Verbrennungsanlagen erreicht. Hierbei haben die Länder entsprechend eigene Regelungen erlassen, in welcher Form HBCD-haltiges Polystyrol weiterhin in Müllverbrennungsanlagen verbrannt werden kann. Das unten erwähnte *CreaSolv*®-Verfahren befindet sich in der Erprobung.

Schlussendlich können schwer belastete Fraktionen an Polystyrol auch in Sondermüllverbrennungsanlagen thermisch beseitigt werden.

Qualität und Akzeptanz

Grundlegend wichtig ist die Unterscheidung nach HBCD-haltig und HBCD-freien Dämmstoffen. Dazu wurde zur Bestimmung, ob es sich bei dem rückbaubaren Material um HBCD-haltiges Material handelt, durch das Fraunhofer Institut IVV aus Freising ein Schnelltest auf Basis der Röntgenfluoreszenzanalytik entwickelt.⁸⁴

⁸³ Umweltbundesamt (2016) Service: Wie werden HBCD- haltige Dämmstoffe abfallrechtlich eingestuft?: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-werden-hbcd-haltige-daemmstoffe-abfallrechtlich>

⁸⁴ Schlummer M. et al. (2015): Rapid identification of PS foam wastes containing HBCDD or ist alternative PolyFR by X-ray fluorescence spectroscopy (XRF): https://www.ivv.fraunhofer.de/content/dam/ivv/de/documents/Forschungsfelder/Verfahrensentwicklung/Rapid_identification_of_PS_foam_wastes_containing_HBCDD1.pdf

Eine Gewinnung von Monochargen im Rahmen des selektiven Rückbaus ermöglicht die bestmögliche Verwertung. Hierzu müssten HBCD-freie Charge eindeutig identifiziert werden. Als HBCD-frei nachgewiesene Polystyrol-Produkte lassen sich in das Recycling oder die stoffliche Verwertung überführen.

Bei HBCD-haltigen Polystyrol-Abfällen sorgt die POP-Abfall-Überw für entsprechende Nachweis- und Registerpflichten. Hierbei haben sich die Entsorgungswege im Rahmen der thermischen Verwertung entsprechend der Regelungen in den Ländern mittlerweile etabliert.

Aufbereitungstechnik und Recyclingverfahren

Für das Recycling von Polystyrolabfällen steht für HBCD-freie Abfälle eine werkstoffliche Verwertung zur Verfügung. Für HBCD-haltige Polystyrolabfälle wird in Kürze ein Löseverfahren zum rohstofflichen Recycling in Betrieb genommen.

Beim **werkstofflichen Recycling** werden saubere Baustellenabfälle und Produktionsrückstände in einem mechanischen Zerkleinerungsprozess aufbereitet und in den gleichen Plattenanlagen zusammen mit neuem Polystyrolgranulat zu neuen Polystyrolplatten konfektioniert. Die technische Qualität von Neuprodukten wird je nach RC-Anteil nicht ganz erreicht.⁸⁵

Für das **rohstoffliche Recycling** wurde durch zwei deutsche Unternehmen in Zusammenarbeit mit dem IVV Freising das als *CreaSolV*® bezeichnete Verfahren entwickelt. Damit ist es möglich, Polystyrol unterschiedlichster Herstellungsarten und auch HBCD-haltiges Polystyrol unter Abtrennung von Schadstoffen und Rückgewinnung des im HBCD enthaltenen Broms zu recyceln und in den Stoffkreislauf zurückzuführen. Zusätzlich können durch „Lösen an der Anfallstelle“ Transportkosten minimiert werden.⁸⁶ Der Bau einer Pilotanlage mit einem Durchsatz von 3.000 t/a wurde im Januar 2020 gestartet, die Inbetriebnahme ist für den 1. April 2021 vorgesehen.^{87,88}

Hemmnisse

Oftmals handelt es sich bei zurzeit anfallenden Polystyrol-Resten um Einbaumengen von vor 2014, wodurch sowohl für EPS als auch XPS die HBCD-Problematik eine Rolle spielt. Vor 1994 verwendetes XPS birgt darüber hinaus die Gefahr der Freisetzung von FCKW-Gasen.

Aufgrund der geringen Dichte sind Transportkosten für Polystyrol-Elemente verglichen mit anderen Materialien sehr hoch. Dadurch fallen Faktoren wie die

⁸⁵ Industrieverband Hartschaum (2020): EPS-Leitfaden für Weiterverwertung & Recycling: https://www.ivh.de/wp-content/uploads/200916_Leitfaden-EPS-digital.pdf

⁸⁶ CreaCycle GmbH (2016): Recycling von expandierten Polystyrol (EPS): <https://www.creacycle.de/de/projekte/recycling-von-expandiertem-polystyrol-eps.html> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

⁸⁷ PolyStyreneLoop: <https://polystyreneloop.eu/> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

⁸⁸ re!source gemeinnützige Stiftung e. V.(2020): Polystrol Recycling mit „PSLoop“ auf neuer Stufe: <https://www.re-source.com/polystrol-recycling-mit-psloop-auf-neuer-stufe/>

Nähe zur Aufbereitungsanlage in einer wirtschaftlichen Betrachtung besonders ins Gewicht.

Der Aufwand und die Kosten für die Ermittlung, ob es sich um unbelastetes Polystyrol handelt, können dazu führen sich für den einfachen Weg der thermischen Verwertung zu entscheiden.

Weitere Hemmnisse:

- Unwissenheit über mögliche alternative Entsorgungswege
- Recyclingunternehmen und stoffliche Verwerter sind lokal nicht vorhanden
- Transportaufwand wird gescheut
- Gewinnung der Monocharge zu aufwändig

Handlungsempfehlungen

- Hersteller: HBCD-freie Neuware muss durch ein Markierungssystem (bspw. farbliche Markierung) einfach und bereits auf der Baustelle als solches erkennbar sein. Der derzeit übliche freiwillige Aufdruck ist nicht ausreichend. **(P)**
- Dies gilt im Übrigen auch für **Mineralwolle**. Hier geht es um die Unterscheidung zwischen Produkten, die vor dem Jahr 2000 in Verkehr gebracht wurden und Produkten, die danach in den Verkehr gebracht wurden. Farblich ist hier kein eindeutiger Unterschied zu erkennen. Die vor dem Jahr 2000 in den Verkehr gebrachten Mineralwollen werden als krebserregend eingestuft. Aufgrund der fehlenden Kennzeichnung werden beim Abbruch auch nicht krebserregende Mineralwollen als gefährlicher Abfall behandelt. **(P)**

Quellen

Asam, C. et al. (2018): Schonung natürlicher Ressourcen durch Materialkreisläufe in der Bauwirtschaft; Kommission Nachhaltiges Bauen am Umweltbundesamt (Hrsg.)

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2017): Einsatz von mineralischen Recycling-Baustoffen im Hoch- und Tiefbau. www.rc-baustoffe.bayern.de [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

bauprofessor.de (2018): Baurestmassen; <https://www.bauprofessor.de/baurestmassen/> [zuletzt aufgerufen am 31.08.2020]

Buchert, M. et al. (2017): Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten; UBA Texte 33/2017

Building as Material Banks: <https://www.bamb2020.eu/> [Stand April 2020]

Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Links zu den Länderspezifischen Regelungen zur Umsetzung der LAGA M20; <https://www.laga-online.de/Links-51-Links-zu-M20.html> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA): Voraussetzungen und Mechanismen einer Freisetzung alveolengängiger faserförmiger Carbonfaser-Bruchstücke (CarboBreak); laufendes Projekt: F 2476: <https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Forschung/Forschungsprojekte/f2476.html> [zuletzt aufgerufen am 31.03.2020]

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Umweltbundesamt (2020): Leitlinie für die Asbesterkundung zur Vorbereitung von Arbeiten in und an älteren Gebäuden. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitlinie-fuer-die-asbesterkundung-zur-vorbereitung>

Bundesgesetzblatt Teil I, 2020, Nr. 32 vom 03.07.2020: Verordnung zur Änderung der Abfallverzeichnis-Verordnung und der Deponieverordnung

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2018): Klima schützen. Werte schaffen; Charta für Holz 2.0: https://www.charta-fuer-holz.de/fileadmin/charta-fuer-holz/dateien/service/mediathek/Web_Broschuere_Charta-fuer-Holz_3._Aufl_2018.pdf [zuletzt aufgerufen am 23.04.2021]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB): Steckbrief Büro- und Verwaltungsgebäude: https://www.bnb-nachhaltiges-bauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebäude/neubau/v_2015/BNB_BN2015_222.pdf [Stand April 2020]

Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V.: <https://www.ziegel.de/produkte> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

Bundesverband der Gipsindustrie e.V. (2020): Recyclinggips (RC-Gips). Erstprüfung für Recyclinganlagen. Qualitätsmanagement, Qualitätsempfehlungen und Analyseverfahren, und Anlage zu den Qualitätsempfehlungen an RC-Gips: Umgang mit Gipsplattenabfällen aus dem Rückbau zum Ausschluss von Querkontaminationen mit Asbestfasern: <http://www.gips.de/aktuelles/detail/qualitaetsempfehlungen-fuer-recyclinggips/> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

C3 carbon concrete composite: <https://www.bauen-neu-denken.de/c3-vorhaben/> [zuletzt aufgerufen am 30.03.2020]

C3 carbon concrete composite: https://www.bauen-neu-denken.de/wp-content/uploads/2019/07/I-AP-9.2_Markttrendanalyse_Download_abz_20200305.pdf [zuletzt aufgerufen am 08.02.2021]

C3 carbon concrete composite: https://www.bauen-neu-denken.de/wp-content/uploads/2020/06/I-AP-9.2_Markttrendanalyse_Download_Prod_20200305.pdf [zuletzt aufgerufen am 08.02.2021]

CreaCycle GmbH (2016): Recycling von expandiertem Polystyrol (EPS): <https://www.creacycle.de/de/projekte/recycling-von-expandiertem-polystyrol-eps.html> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

Dageförde, A. (2019): Auf dem Boden der Gesetze; ReSource 2019/2, S. 4-9.

Dageförde, A.: Steigerung der Ressourceneffizienz des Recyclings von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen; Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft; <https://mluk.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/Bauabfall-Leitfaden-Ausschreibungen.pdf> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

Dechantsreiter, U. et al. (2015): Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertungen von Baustoffen, UBA Texte 93/2015

Deilmann et al. (2017): Materialströme im Hochbau, Potenziale für eine Kreislaufwirtschaft; in Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis. Band 06. Selbstverlag; Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.)

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (2021): www.dafstb.de [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

DIN EN ISO 10209:2012-11: Technische Produktdokumentation – Vokabular - Begriffe für technische Zeichnungen, Produktdefinition und verwandte Dokumentation; Beuth Verlag

EU-Recycling (2017): Recycling von Ziegelbruch. <https://eu-recycling.com/Archive/16929> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

Europäisches Richtlinienpaket zur Modernisierung des Vergaberechts, bestehend aus der Richtlinie über die öffentliche Auftragsvergabe 2014/24/EU5, der Richtlinie über die Vergabe von Aufträgen in den Bereichen Wasser-, Energie- und Verkehrsversorgung 2014/25/EU6 und der Richtlinie über die Vergabe von Konzessionen 2014/23/EU7

Fraunhofer IRB (2018): Bauforschungsprojekte; <https://www.irb.fraunhofer.de/bauforschung/baufolit/projekt/Verbundprojekt-R-Beton-Ressourcenschonender-Beton-Werkstoff-der-n%C3%A4chsten-Generation/20150284/> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

Fraunhofer Umsicht (2019): BauCycle: Recycling von feinkörnigem Bauschutt; <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemitteilung/2019/BauCycle-Abschluss.html> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI: Holzwerkstoff- und Naturfaser-Technologien. Forschungsprojekt: <https://www.wki.fraunhofer.de/de/fachbereiche/hnt/profil/forschungsprojekte/alholz-recycling.html> [zuletzt aufgerufen am 19.08.2020]

Gruhler, K. et al. (2010): Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung; UBA Texte 56/2010

Günther, E., Gabler Wirtschaftslexikon; <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/ressourcenschonung-45471> [zuletzt aufgerufen am 13.11.2020]

Hambach, M. et al. (2016): Portland cement paste with aligned carbon fibers exhibiting exceptionally high flexural strength, Cement and Concrete Research

Heinemann & Partner (2018): Optimierung des Rechtsrahmens für den Einsatz mineralischer Ersatzbaustoffe bei öffentlichen Bauvergaben – Politik-Memorandum vom 26.06.2018. <https://recyclingbaustoffe.de/downloads-3/> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

Heinrich Feeß GmbH & Co. KG (2020): Entwicklung eines Verfahrens zur vollständigen Aufbereitung und hochwertigen Verwertung von Boden- und Bauschuttmaterial für ressourcenschonende Baustoffe: https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/DBU-32046_Abschlussbericht_Heinrich-Feess-GmbH-Co.-KG_31.03.2020.pdf [zuletzt aufgerufen am 26.04.21]

Hlawatsch, F.; Küstermann, R.; Jörg Kropp (2019): Ansätze zum Recycling von Porenbetonstein, Präsentation bei dem 3. Norddeutschen Fachsymposium Recycling-Baustoffe; IHK Kiel

Holcim (Schweiz) AG (2019): Erfolgsrezept für die CO₂-Reduktion: Holcim entwickelt klinkerreduzierte Zemente der Zukunft; <https://www.holcim.ch/de/erfolgsrezept-fuer-die-co2-reduktion-holcim-entwickelt-klinkerreduzierte-zemente-der-zukunft> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

- https://www.gesamtverband-schadstoff.de/media/30082019_verbaendestellungnahme_krwg_3_8_.pdf [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]
- https://www.gesamtverband-schadstoff.de/media/verb__ndestellungnahme_2.pdf [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]
- Industrieverband Hartschaum (2020): EPS-Leitfaden für Weiterverwertung & Recycling: https://www.ivh.de/wp-content/uploads/200916_Leitfaden-EPS-digital.pdf
- International Resource Panel (2020): Resource Efficiency and Climate Change. Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Implications for Business Leaders in Housing and Mobility.
- Jäckel, H.-G.; Hamann, D.; Nazaret, A. (2019): CF-bewehrte Betone – ein künftiges Entsorgungsproblem?? Ausgewählte Ergebnisse zur Recyclingfähigkeit; Präsentation bei der 4. Fachkonferenz Stärkung des Einsatzes von mineralischen Recyclingbaustoffen; Potsdam
- Jehle, P.; Kortmann, J. (2018): Projekt-Schlussbericht – Zwanzig20 Carbon Concrete Composite – C3 – Teilprojekt V1.5: Abbruch, Rückbau und Recycling von C3-Bauteilen; TP1: Wissenschaftliche Grundlagen für Abbruch, Rückbau und Recycling von Carbonbeton
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP): REPOST - Recyclingcluster Porenbeton: https://www.iip.kit.edu/1064_4672.php [zuletzt aufgerufen am 05.05.21]
- Kenkmann, T. et al. (2019): Flächensparend Wohnen. Energieeinsparung durch Suffizienzpolitiken im Handlungsfeld „Wohnfläche“; UBA-Texte 104/2019
- Kern, M. et al. (2019): „Ermittlung von Kriterien für eine hochwertige Verwertung von Bioabfällen und Ermittlung von Anforderungen an den Anlagenbestand“, UBA-Texte 49/2019
- Kimm, M. et al. (2020): Recycling von Textilbeton, Beitrag zur Berliner Konferenz – Mineralische Nebenprodukte und Abfälle, Band 7
- Kimm, M. (2019): Recycling von Carbonbeton – Wie kann eine hochwertige Wiederverwendung gelingen? TUDALIT Leichter bauen – Zukunft formen
- König, H. (2017): Projekt: Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.)
<https://www.lbb-bayern.de/fileadmin/quicklinks/Quick-Link-Nr-98300000-LfU-Inhalt-Lebenszyklusanalyse.pdf>
- Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung (2014): Leitfaden ressourceneffiziente Beschaffung: http://www.nachhaltige-beschaffung.info/SharedDocs/DokumenteNB/LF_Ressourceneffizienz_02_2014.html?nn=3705420 [zuletzt aufgerufen am 26.04.2021]

- Kopf, F.; Kortmann, J. (2019): Aufbereitung von Carbonbetonabbruchmaterial, Beitrag zum 30. BBB-Assistententreffen 2019 in Karlsruhe
- Kortmann, J., Minar, S. (2019): Aktuelle Erkenntnisse zum Thema »Recyclingfähigkeit und Gesundheitsschutz bei der Carbonbetonbauweise«; Präsentation beim Bundesumweltministerium
- Kreft, O. (2019): Porenbeton, Ressourceneffizienz im Lebenszyklus; Präsentation bei dem 3. Norddeutschen Fachsymposium Recycling-Baustoffe; IHK Kiel
- Landesamt für Umwelt Bayern (2019): Rückbau schadstoffbelasteter Bausubstanz. Arbeitshilfe Erkundung, Planung, Ausführung. LfU Bayern: https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/index.htm
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2017): Steckbrief Nr. 25.7 - Asbestfreie Faserzementprodukte
- Landtag von Baden-Württemberg (2020): Gesetzentwurf der 16. Wahlperiode: Gesetz zur Neuordnung des Abfallrechts für Baden-Württemberg; https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/WP16/Drucksachen/9000/16_9191_D.pdf
- Lauff, P. (2019): Carbonkurzfaserbeton – neue Möglichkeiten durch beanspruchungsorientierte Faserausrichtung, TUDALIT Leichter bauen – Zukunft formen, 21
- Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe: CFC – CarbonFibreCycle. Carbonfasern im Kreislauf – Frei-setzungsverhalten und Toxizität bei thermischer und mechanischer Behandlung: <https://www.ivw.uni-kl.de/de/projekte/cfc-carbon-fibre-cycle> [zuletzt aufgerufen am 29.04.2021]
- Leitfaden „Anforderungen an die Verwertung von Bauschutt in technischen Bauwerken“ 15. Juni 2005. Anlage RC Ziegel / RC Ziegel F1. <http://www.baustoffrecycling-bayern.de/node/49> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]
- LLA Instruments GmbH: <https://www.lla.de/files/lla/pdf/Einsatzbereiche%20GER/Baustoffrecycling.pdf> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]
- Ludwig, H.-M. (2019): Projekt-Schlussbericht – Zwanzig20 - Carbon Concrete Composite C3 – I.15 Neuartige Aufbereitungsverfahren für das Carbonbetonrecycling
- Mettke, A. et al. (2008): Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf. gefördert vom BMBF (AFKZ 0339972). Fachgruppe Bauliches Recycling. Lehrstuhl Altlasten. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.
- Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (2017): Brandenburger Leitfaden Ausschreibungen - Steigerung der Ressourceneffizienz des Recyclings von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen. Potsdam

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (2015): Brandenburger Leitfaden für den Rückbau von Gebäuden.

https://mluk.brandenburg.de/media_fast/4055/Leitfaden_selektiver_Rueckbau.pdf [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung (2012): Vereinbarung. Bündnis Kreislaufwirtschaft auf dem Bau <https://kreislaufwirtschaft->

[bau.rlp.de/fileadmin/lfu/Stoffstrommanagement/Buendnis_Kreislaufwirtschaft.pdf](https://kreislaufwirtschaft-bau.rlp.de/fileadmin/lfu/Stoffstrommanagement/Buendnis_Kreislaufwirtschaft.pdf) [zuletzt aufgerufen am 26.04.2021]

Müller, A. et al. (2010): Verwertungsweg für Faserzementabfälle, Fachzeitschrift für Baustoffrecycling, Abbruch, Entsorgung und Altlastensanierung

Oebbeke A. (2010): Faserzementrückstände als Rohstoffsubstitut in der Zementindustrie; Baulinks (1997-2021):

<https://m.baulinks.de/webplugin/2010/1415.php4> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

PolyStyreneLoop: <https://polystyreneloop.eu/> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

re!source gemeinnützige Stiftung e. V.(2020): Polystrol Recycling mit „PSLoop“ auf neuer Stufe: <https://www.re-source.com/polystrol-recycling-mit-psloop-auf-neuer-stufe/>

Rosen, D. (2017): Ziegelabbruch – Möglichkeiten und Grenzen der stofflichen Verwertung. Vortrag auf dem bsve-Mineraliktag, Würzburg

Schiller, G. et al., (unveröffentlicht) Kartierung des anthropogenen Lagers IV

Schlöglhofer, H. (2008): Recycling von Gipskartonplatten aus gemischten Bauabfällen Recyclingkonzept für die Gipskartonplattenindustrie, IAE Leoben

Schlummer M. et al. (2015): Rapid identification of PS foam wastes containing HBCDD or its alternative PolyFR by X-ray fluorescence spectroscopy (XRF): https://www.ivv.fraunhofer.de/content/dam/ivv/de/documents/Forschungsfelder/Verfahrensentwicklung/Rapid_identification_of_PS_foam_wastes_containing_HBCDD1.pdf

Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin (2019): Gipsrecycling statt Deponierung. Eine Zero-Waste-Initiative:

https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/abfall/recycling_von_gips/download/Flyer_Gipsrecycling_statt_Deponierung_Stand_19-06-2019.pdf [zuletzt aufgerufen am 26.04.2021]

Sinn, C. et al. (2019): Flammenschutzmittel für ein effektives Recycling von expandiertem Polystyrol (EPS); in Müll und Abfall

Strauch, J. (2019):C³-Vorhaben; <https://www.bauen-neu-denken.de/c3-vorhaben/> [zuletzt aufgerufen am 06.07.2020]

Umweltbundesamt (2016) Service: Wie werden HBCD- haltige Dämmstoffe abfallrechtlich eingestuft?: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-werden-hbcd-haltige-daemmstoffe-abfallrechtlich>

Universität Kassel: Recycling von Kalksandsteinen in Beton: <https://www.uni-kassel.de/fb14bau/institute/iki/werkstoffe-des-bauwesens-und-bauchemie/forschung/aah0/recycling-von-kalksandsteinen-in-beton.html> [zuletzt aufgerufen am 07.01.2021]

VDI-Richtlinie Emissionsminderung (2016): Herstellung und Verarbeitung von faserhaltigen Materialien – Faserzementprodukte, Nr. 3469, Blatt 2

Weimann K. et al. (2013): Optimierung des Rückbaus / Abbruchs von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung; UBA Texte 05/2013

Wolf, T. et al. (2020): Potenziale von Bauen mit Holz, UBA Texte 192/2020

Wolf, U. (2020): Grundwissen Bauelemente, Redaktion ausbaupraxis.de; <https://www.ausbaupraxis.de/bauelemente-grundwissen> [zuletzt aufgerufen am 31.08.2020]

Zimmermann et al. (2018): V1.3: Entwicklung und Anwendung von analytischen Methoden zur chemischen Charakterisierung von Partikeln und zur biochemischen Untersuchung von Zellkulturen

Anlage 1: Übersicht über die Berücksichtigung und Förderung des Einsatzes von Recyclingbaustoffen in den einzelnen Ländern

Bundesland	Schwerpunkte	Regelung
Baden-Württemberg	<ul style="list-style-type: none"> • Rückbau Konzepte, Förderung RC-Baustoffe, Fokus R-Beton • Vorrangige Verwendung von Recyclingbaustoffen bei Bauten der öffentlichen Hand 	<p>§§ 2, 3 Landes-Kreislaufwirtschaftsgesetz (LKreiWiG) http://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/ls3/page/bsbawueprod.psm?pid=Dokumentanzeige&showdoccase=1&js_peid=Trefferliste&fromdoctodoc=yes&doc.id=jlr-KrWGBWrah-men&doc.part=X&doc.price=0.0&doc.hl=0#focuspoint</p> <p>„Abfallvermeidung in der Baubranche“ https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/abfall-und-kreislaufwirtschaft%20/abfallvermeidung-in-bw/-/asset_publisher/6CjHRz-LxTRMt/content/%20abfall%20vermeidung_bericht_bau?inheritRedirect=false</p> <p>„Leitfaden zum Einsatz von R-Beton“ https://um.baden-wuerttemberg.de/de/service/publikationen/publikation/did/leitfaden-zum-einsatz-von-r-beton/</p>
Bayern	<ul style="list-style-type: none"> • Allgemeine Regelung zur Vorbildpflicht der öffentlichen Hand (bezüglich der 5-stufigen Abfallhierarchie) • Leitfaden zum Einsatz von Recycling-Baustoffen als Beitrag zur Schonung der natürlichen Ressourcen, in dem die Anwendung und Güteüberwachung von Recycling-Baustoffen konkretisiert wird • Arbeitshilfe zum Gebäuderückbau, um den kontrollierten und selektiven Rückbau zu fördern und ein hochwertiges Recycling von Baustoffen zu ermöglichen 	<p>Art. 2 Abs. 1, 2 BayAbfG</p> <p>Leitfaden zur „Anforderung an die Verwertung von Recycling-Baustoffen in technischen Bauwerken“ stmuv.bayern.de/Leitfaden RC-Baustoffe</p> <p>Arbeitshilfe „Rückbau schadstoffbelasteter Bausubstanz: Erkundung, Planung, Ausführung“ ifu.bayern.de/Arbeitshilfe Rückbau</p>

Bundesland	Schwerpunkte	Regelung
Berlin	<ul style="list-style-type: none"> • „Umweltverträgliche Beschaffung“ von zertifiziertem Baumaterial (Blauer Engel) • Abfallstrategien: Recycling von Gips • Einsatz R-Beton bei öffentlichen Bauten • Einsatz RC-Ziegel bei öffentlichen Bauten • Umsetzung: Kontrollprüfungen 	<p>Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt (VwVBU)</p> <p>Umweltschutzanforderungen bei der Beschaffung (Leistungsblätter)</p> <p>(https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/abfall/rc-beton/index.shtml)</p> <p>(https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/abfall/recycling_von_gips/index.shtml)</p>
Brandenburg	<ul style="list-style-type: none"> • Vergabe, Einsatz und Anforderungen an RC-Baustoffe • Beachtung technischer und umweltrelevanter Anforderungen im Straßenbau (BTR RC- StB) 	<p>„Brandenburger Leitfaden“ Ausschreibungen: (https://mluk.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/Bauabfall-Leitfaden-Ausschreibungen.pdf)</p> <p>Qualitätssicherung für RC-Baustoffe: (https://mluk.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/Bauabfall-Leitfaden-Ausschreibungen.pdf)</p> <p>Rückbau von Gebäuden: (https://mluk.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/Leitfaden selektiver Rueckbau.pdf)</p> <p>Wirtschaftlichkeit RC-Baustoffe: (https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Leitfaden_Wirtschaftlichkeit.pdf)</p> <p>„BTR RC StB“: (https://www.ls.brandenburg.de/media_fast/4055/BTR%20RC-StB%2014%20notifiziert%202014-12-16.pdf)</p>

Bundesland	Schwerpunkte	Regelung
Bremen		<p>Verwaltungsvorschrift für die Beschaffung der Freien Hansestadt Bremen (VVBesch) (https://www.transparenz.bremen.de/sixcms/detail.php?gsid=bremen2014_tp.c.131191.de&asl=bremen203_tpgesetz.c.55340.de&template=20_gp_ifg_meta_detail_d)</p> <p>Transparenzportal „Technische Standards und für die Planung und Durchführung von Bauvorhaben im Hochbau bremischer öffentlicher Bauherren und Zuwendungs-emp-fänger“ (https://www.transparenz.bremen.de/vorschrift_detail/bremen2014_tp.c.131191.de) (https://www.transparenz.bremen.de/sixcms/detail.php?gsid=bremen2014_tp.c.148415.de&template=00_tp_html_to_pdf_d)</p>

Bundesland	Schwerpunkte	Regelung
Hamburg	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentliche Hand Hamburg verpflichtet sich zu: <ol style="list-style-type: none"> 1. Klimafreundlichem und nachhaltigem Bauen 2. Einsatz von Erzeugnissen, die aus sekundären Rohstoffen / Abfall bestehen, die sich durch Langlebigkeit / Wiederverwendbarkeit auszeichnen, die schadstoffarm sind, die eine gute Verwertung ermöglichen. 3. Entwicklung und Anwendung um Abfälle umweltverträglich zu verwerten 4. Getrennter Sammlung verwertbarer Abfälle 	<p>Hamburgisches Gesetz zum Schutz des Klimas (Hamburgisches Klimaschutzgesetz - HmbKliSchG) http://www.landesrecht-hamburg.de/jportal/portal/page/bshaprod.psml?showdoccase=1&doc.id=jlr-KlimaSchGHA2020rahmen</p> <p>Erste Fortschreibung des Hamburger Klimaplan https://www.hamburg.de/content-blob/13287332/bc25a62e559c42bfae795775ef1ab4e/data/d-erste-fortschreibung-hamburger-klimaplan.pdf</p> <p>Hamburgisches Abfallwirtschaftsgesetz (HmbAbfG) http://www.landesrecht-hamburg.de/jportal/portal/page/bshaprod.psml?showdoccase=1&doc.id=jlr-AbfWGHA2005rahmen&st=lr</p> <p>ReStra, Hamburger Regelwerke für Planung und Entwurf von Stadtstraßen https://www.hamburg.de/bvm/restra/</p> <p>Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Straßenbauarbeiten in Hamburg, (ZTV/St-Hmb.09) https://www.hamburg.de/bvm/start-ztv-st-hmb/</p>
Niedersachsen	<ul style="list-style-type: none"> • Abfallgesetz verpflichtet das Land, die Gemeinden, die Landkreise und die sonstigen juristischen Personen des öffentlichen Rechts unter der Aufsicht des Landes bei der Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen und sonstigen Lieferungen und Leistungen darauf hinzuwirken, dass u. a. Erzeugnisse, die aus Abfällen hergestellt worden sind, verwendet werden, und entsprechende Angebote zu bevorzugen. 	<p>Niedersächsisches Abfallgesetz (NAbfG) http://www.nds-voris.de/jportal/?quelle=jlink&query=AbFG+ND&psml=bsvorisprod.psml&max=true</p>

Bundesland	Schwerpunkte	Regelung
Nordrhein-Westfalen	<ul style="list-style-type: none"> • Bei öffentlichen Baumaßnahmen sind aus mineralischen Abfällen hergestellte Baustoffe zu bevorzugen (Verweis auf §2 LAbfG) • Verbände-Leitfaden unter Mitwirkung von Verkehrs- und Umweltministerium und Landesbetrieb Straßenbau für öffentliche Verwaltungen, Recyclingbaustoff-Produzenten und Bauherren zur Herstellung, Beschaffung und Verwendung von Recyclingbaustoffen 	<p>Erlass Umweltministerium NRW zu Ausschreibungen (2005)</p> <p>Leitfaden „Produktion und Verwendung von güteüberwachten Recycling-Baustoffen im Straßen und Erdbau in Nordrhein- Westfalen“ https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/queteueberwachte_recyclingbaustoffe_strassenbau.pdf</p>
Rheinland Pfalz	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung der RC-Baustoffe durch das „Bündnis Kreislaufwirtschaft auf dem Bau“ • „Alex-Informationsblätter“ als Praxishilfen • Leitfaden Bauabfälle 	<p>www.kreislaufwirtschaft-bau.rlp.de</p> <p>www.kreislaufwirtschaft-bau.rlp.de/de/service/downloads/alex-informationsblaetter/</p> <p>www.kreislaufwirtschaft-bau.rlp.de/de/service/downloads/leitfaden-bauabfaelle/</p>
Sachsen	<ul style="list-style-type: none"> • Anwendungsbereich: Abfälle von Hoch- und Tiefbau, Anforderungen an die Aufbereitung und Lagerung, Einbaukonfigurationen für Baustoffrecyclingmaterial • Ausführungen zur Umsetzung von KrWG und BodSchG 	<p>„Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecycling im Freistaat Sachsen“ (Recyclingerlass) https://www.wertstoffe.sachsen.de/download/Vorlaeufige_Hinweise_mit_Anhang.pdf</p> <p>Sächsisches Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz (Sächs-KrW-BodSchG) https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/18058-Saechsisches-Kreislaufwirtschafts-und-Bodenschutzgesetz</p>

Bundesland	Schwerpunkte	Regelung
Sachsen-Anhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Module im Rahmen des Leitfadens: <ol style="list-style-type: none"> 1. Basisdokument 2. Regelung für die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen (RsVminA) 3. Einsatz von mineralischen Abfällen als qualitätsgesicherte Recycling-Baustoffe in technischen Bauwerken 4. Gewinnung von Recycling-Baustoffen aus dem Rückbau von Gebäuden und anderen technischen Bauwerken 5. Wiederverwendung, Verwertung und Beseitigung von Ausbauphosphat (WVB Asphalt) 	<p>„Leitfaden zur Wiederverwendung und Verwertung von mineralischen Abfällen in Sachsen-Anhalt“ (https://mule.sachsen-anhalt.de/umwelt/abfall/abfallarten/)</p>
Thüringen	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzung: Betretungsrecht Entsorgungsträger zur Kontrolle • Deponierung erfolgt in Eigenkontrolle • In Planung: Leistungsblätter über den Einsatz von RC-Baustoffen 	<p>Thüringer Ausführungsgesetz zum Kreislaufwirtschaftsgesetz (ThürAGKrWG) https://www.landesrecht.thueringen.de/perma?a=KrWGAG_TH</p>