



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Zukunft Bauen

Forschung für die Praxis | Band 06

Materialströme im Hochbau

Potenziale für eine
Kreislaufwirtschaft



Nutzungshinweis/Haftungsausschluss

Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte der Sekundärquellen sind die Autoren und der Herausgeber nicht verantwortlich.



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Zukunft Bauen

Forschung für die Praxis | Band 06

Materialströme im Hochbau

Potenziale für eine Kreislaufwirtschaft

Prof. Clemens Deilmann, Jan Reichenbach,
Norbert Krauß, Karin Gruhler

Gefördert vom



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

FORSCHUNGSINITIATIVE
Zukunft BAU

Ein Projekt der Forschungsinitiative Zukunft Bau des
Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und
Reaktorsicherheit (BMUB), betreut vom Bundesinstitut für
Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt
für Bauwesen und Raumordnung (BBR) mit dem
Aktenzeichen SWD-10.08.17.7-12.29.



Liebe Leserinnen und Leser,

unsere Bauwerke nehmen im Vergleich zu anderen Wirtschaftsgütern extrem viele Ressourcen in Anspruch. Das Bauwesen nutzt gut die Hälfte der in Deutschland umgesetzten Rohstoffe wie Sand und Kies, Kalk, Ton, Holz, Glas, Metalle oder Kunststoffe. Die Bauwirtschaft praktiziert deshalb seit Jahren einen verantwortungsvollen und effizienten Umgang mit diesen Ressourcen. Dies bestätigen die hohen Verwertungsquoten in der Kreislaufwirtschaft.

Wenn Gebäude abgebrochen werden, können viele der Baustoffe im Tiefbau wieder eingesetzt werden, beispielsweise als Schotter für den Straßenbau. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Möglichkeiten, die Ressourceneffizienz im Hochbau selbst zu verbessern. Recyclingschotter könnte beispielsweise vermehrt für die Betonherstellung eingesetzt werden. Aber auch nachwachsende Rohstoffe und effizientere Materialien können helfen, Ressourcen zu schonen. Die vorliegende Broschüre gibt dazu zahlreiche Hinweise. Speziell für den Hochbau zeigen Sensitivitätsstudien für die wichtigsten Massenbaustoffe das zukünftige Recyclingpotenzial und die Stoffstromentwicklung.

Mein besonderer Dank gilt den Forschern und Experten, die eine praxisnahe und umfassende Studie vorgelegt haben.

Ich wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre.

Harald Herrmann

Direktor und Professor
des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn

Mitwirkende

Autoren:

Prof. Clemens Deilmann, Norbert Krauß, Karin Gruhler
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., Dresden

in Zusammenarbeit mit

Jan Reichenbach
INTECUS GmbH – Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management, Dresden



Leibniz-Institut
für ökologische
Raumentwicklung



Fachliche Betreuung:

Claus Asam, Referat II 6 Bauen und Umwelt,
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Berlin

Teilnehmer der Experten-Workshops in alphabetischer Reihenfolge:

Dr.-Ing. Tanja Brockmann (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung)
Dr.-Ing. Wolfgang Eden (Bundesverband Kalksandsteinindustrie)
Dipl.-Ing. Michael Greulich (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit)
Dipl.-Ing. Frank Hlawatsch (Amtliche Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen)
Dipl.-Ing., Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Harald Kurkowski (Bimolab)
Prof. Dr.-Ing. (em.) habil. Anette Müller (Bauhaus-Universität Weimar und IAB – Institut für Angewandte Bauforschung Weimar)
Dipl.-Wirt.-Chem. Felix Müller (Umweltbundesamt)
Dipl.-Ing. Holger Ortleb (Bundesverband der Gipsindustrie)
Dipl.-Ing. Berthold Schäfer (Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden)
Prof. Dr. rer. nat. Steffen Tobisch (Institut für Holztechnologie Dresden)
Dr.-Ing. Karin Weimann (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung)
Dipl.-Ing. (FH) Patrick Wortner (Institut für Fenstertechnik Rosenheim)
Dr. rer. nat. Jochen Zimmermann (Arbeitsgemeinschaft PVC-Bodenbelag Recycling)

Inhalt

1. Einführung	8
2. Materialbezogene Modellierung der Bautätigkeit.	14
2.1 Bautätigkeit in Deutschland 2010	14
2.2 Materialstrommodell	17
2.3 Materialströme nach Bauproduktgruppen 2010	20
3. Kreislaufwirtschaft Bau	24
3.1 Datenlage	24
3.2 Herausforderungen.	25
4. Kreislaufwirtschaft – Materialgruppen und Bauproduktgruppen	28
4.1 Materialgruppe Mineralisch.	28
4.2 Materialgruppe Glas	35
4.3 Materialgruppe Holz	37
4.4 Materialgruppe Dämmstoffe	40
4.5 Materialgruppe Kunststoffe	44
5. Sensitivitätsstudien	50
5.1 Setzungen zum Rezyklateinsatz für 16 Bauproduktgruppen	50
5.2 Setzungen zur Bautätigkeit 2030/2050	52
5.3 Variantenbeschreibung der Bautätigkeit 2030/2050	55
6. Ergebnisdarstellung	58
6.1 Entwicklung der Bautätigkeit in Deutschland	58
6.2 Entwicklung des Rezyklateinsatzes 2010, 2030, 2050	60
7. Literatur	68
8. Anhang	71
Begriffserläuterungen	71
Tabellarische Zusammenstellung der Annahmen zur Bautätigkeit.	73
Abbildungsverzeichnis	83
Tabellenverzeichnis.	84
Bildnachweise	85
Literaturhinweise des Herausgebers.	86
Impressum / Bezugsquelle.	87



1. Einführung

Wie kann Recycling von Bauschutt und Baustellenabfällen im Hochbau gesteigert werden? In welchem Umfang können Bauabfälle in Bauprodukte zurückgeführt werden? Wie lässt sich die Kreislaufwirtschaft im Hochbau verbessern? Erste Antworten zu geben und einen Blick in die Zukunft zu werfen war das Ziel der wissenschaftlichen „Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau“. Die Studie er hob den Status quo der Bautätigkeit 2010 und berechnete die Materialströme und deren Herkunft, Zusammensetzung und Verwertungswege für die Jahre 2030 und 2050. Es wurden innovative Verwertungstechnologien und theoretisch denkbare Rezyklatanteile in Bauprodukten angenommen sowie Testrechnungen durchgeführt, um so die Potenziale des Recyclings im Hochbau zu erkunden. Die Studie klammerte dabei bewusst den Tiefbau beziehungsweise die Verwertung von Bauabfällen aus dem Hochbau im Tiefbau sowie ökobilanzielle Betrachtungen aus. Die Modellrechnungen sind explorativ angelegt und basieren auf einem Masseansatz.

In der Diskussion zur Steigerung der Ressourcenproduktivität nimmt die stoffliche Verwertung von Bauabfällen einen hohen Stellenwert ein. Demnach wären möglichst weitgehende Materialkreisläufe herzustellen, bei denen die geltende Abfallhierarchie und das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) beachtet werden. Damit stellen sich weitere Fragen: Wie lässt sich höherwertige Verwertung definieren und wie stellt sich diese gegenwärtig dar? Welche Mengen an Rezyklaten aus im Baubereich anfallenden Abfallmaterialien werden aktuell in Bauprodukte eingebracht? Wäre die Erhöhung der Rezyklatanteile in neuen Bauprodukten technisch möglich und welche Anteile wären in der Zukunft denkbar?

Vorgehensweise

Bei der Spezifizierung der Bauabfälle wurden zunächst die technisch-theoretischen Potenziale der Aufbereitung und Verwendung eruiert und differenziert dargestellt. Beachtet wurden dabei die momentanen Verfahrenswege der Abfallaufbereitung und Rezyklatnutzungen sowie die technischen Zulassungsregelungen und die derzeit übliche Praxis der Bauproduktherstellung unter Einsatz von Sekundärrohstoffen. Einbezogen wurden außerdem materialstromrelevante Informationen sowie Erfahrungen und Erwartungen der Verwerter, Bauprodukthersteller beziehungsweise der Verbände und Arbeitskreise.

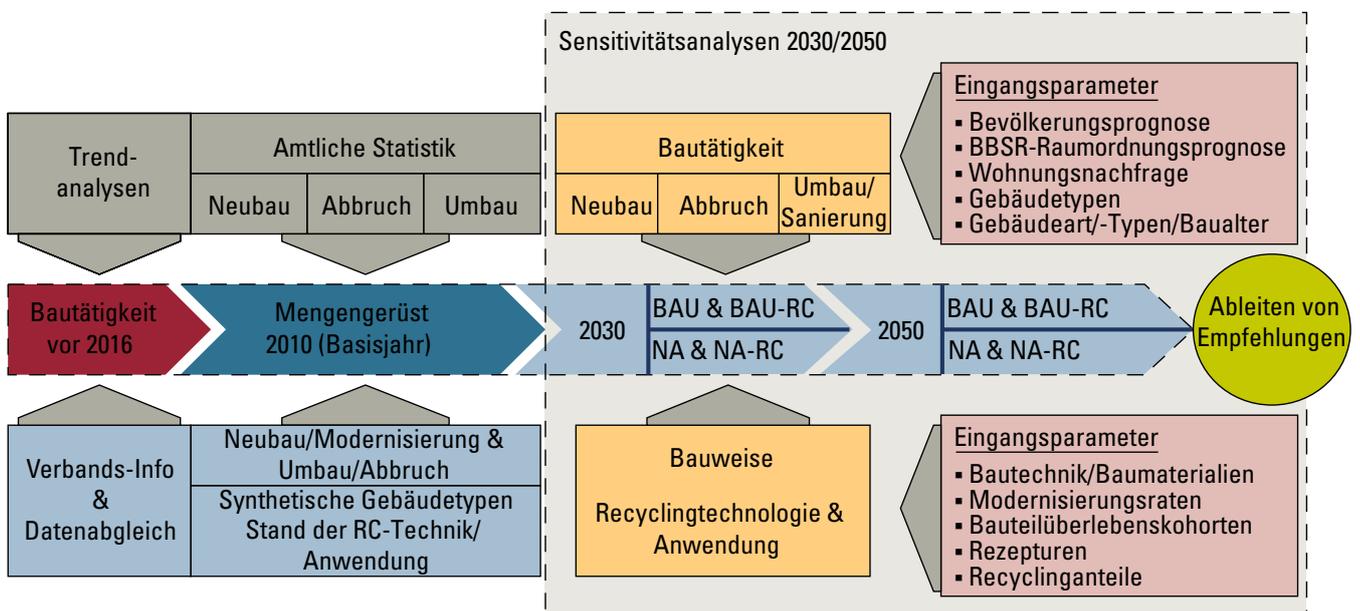
Bild oben:

Quelle: Monika Gruszewicz/Fotolia

In der Studie wurde die Bedeutung des Recyclings sichtbar, nachdem das Baugeschehen im Referenzjahr 2010 entlang der Input- und Output-Ströme von Baumaterialien differenziert abgebildet wurde. Neben den einschlägigen amtlichen Statistiken zur Bau- und Abfallwirtschaft im Jahr 2010 wurden vor allem auch die bei Verbänden abrufbaren Informationen und Zahlen als Datenquellen genutzt. Beim Aufzeigen des charakteristischen Baugeschehens 2010 ging es darum, den „Kern“ der Hochbautätigkeit nach unterschiedlichen Material- beziehungsweise Bauproduktgruppen in absoluten Größen abzubilden. Das heißt, im Berechnungsmodell nicht berücksichtigt sind zum Beispiel Bautätigkeiten für technische Infrastrukturen wie Bahnhöfe, Flughäfen, Hafenanlagen und technische Anlagen (Mobilfunkmasten, Windräder etc.) sowie Kleinstgebäude unter 50 m² Grundfläche. Die Basismenge der Baumaterialien wird durch Verknüpfung der Bautätigkeitsstatistik (top-down) mit einer Bauproduktdatenbank (bottom-up) berechnet. Eine Überprüfung der ermittelten Basismenge mit der Abfallstatistik oder der Baustatistik ist nur auf hochaggrierter Ebene möglich, da einerseits Herkunft und Verbleib des einzelnen baulichen Abfallmaterials nicht im Detail recherchierbar sind (Output) und andererseits die Baustatistik keinen detaillierten Einblick in die verwendeten Bauprodukte erlaubt (Input).

In Abstimmung mit dem BBSR als Auftraggeber und einem Fachgremium wurden auf der Basismenge aufbauend Sensitivitätsstudien/Testrechnungen für die Jahre 2030 und 2050 durchgeführt. Neben den Annahmen zur Bautätigkeit ging es um eine Einschätzung, welche Rezyklatraten zum Zeitpunkt 2030 beziehungsweise 2050 für die unterschiedlichen Produktgruppen baumaterialtechnisch denkbar wären. Es wurde davon ausgegangen, dass die im Einzelfall bereits experimentell erprobten oder demonstrationstechnisch erreichten Produktentwicklungen den Markt nicht durchgängig erreichen werden. Dennoch könnten sich aber Rahmenbedingungen und Praktiken weiter in Richtung Kreislaufwirtschaft entwickeln und branchenspezifisch erzeugbare sekundäre Rohstoffe besser integriert

Abbildung 1:
Forschungskonzept



Sensitivitätsstudien

BAU: Business As Usual

BAU + RC: Business As Usual + optimistische Recyclingquoten

NA: Nachhaltiges Bauen

NA + RC: Nachhaltiges Bauen + optimistische Recyclingquoten

werden. Welche Rahmenbedingungen sich dafür im Einzelnen wie verändert haben müssen, war nicht Gegenstand der Untersuchung. Die Fachverbände und Experten wurden bei fachlichen Erörterungen der Thematik gebeten, eine optimistische Sicht zur Bestimmung zukünftiger Recyclinganteile einzunehmen. Auch aus diesem Grund legten die Verbandsvertreter Wert darauf festzuhalten, dass die damit geführte Testrechnung keinerlei Prognosecharakter hat, die ausgewiesenen Mengen aber sehr wohl Hinweise auf Chancen und Grenzen der Kreislaufführung geben.

In der Auseinandersetzung mit den derzeit feststellbaren Verwertungsströmen und -grenzen einerseits und den Potenzialen für die Zukunft andererseits wurden mit dieser Studie erstmalig Mengenrelationen sichtbar. Sie selbst sind bereits sehr aufschlussreich und tragen zur Diskussion um Ressourcenschonung bei.

Anmerkungen zur Abfallhierarchie im Bereich Bauwesen

Die Abfallhierarchie steht für eine anzustrebende ideale Rangordnung an Handlungsoptionen. Sie nimmt ihren Ausgang bei der Forderung, die Entstehung von Abfällen bestmöglich zu vermeiden, und reicht dann über das Recycling weiter bis zur Deponierung unvermeidbarer Abfälle. Es gilt dabei, jeweils Stufe für Stufe die Materialien noch einem zweckmäßigen Einsatz zuzuführen und dabei jeweils mit dem geringstmöglichen Verlust für weitere Nutzungen vorzugehen. Auch energetische Aspekte können hier einbezogen werden, was insgesamt nachfolgende Deutung/Auslegung der Abfallhierarchie in Bezug auf den Hochbau erlaubt (Abbildung 2).

Abfallhierarchie für den Hochbau		Leitlinien
1	Weiternutzung, Gebäudelebensdauer verlängern oder definierte kurze Nutzungszeit im „design for deconstruction“ mit dem Ziel: Stufe 2 oder 3	Vorsorgende Instandhaltung, Modernisierung, Umbau, Rekonstruktion, Bauteilbörsen
2	Wiederverwendung von Bauelementen	
3	Weiterverwendung von RC-Material/Bauprodukten in gleicher Funktionalität a) rohstofflich b) werkstofflich	Schritte der Dekomposition, Zerlegen von Komponenten bis zum molekularen Recycling vor einem aufwand-/einsatzortspezifischem Nutzen abwägen Ziel: stoffliche Primärressourceneinsparung bei minimalem Energieeinsatz (hochwertige Verwendung)
4	Weiterverwendung von RC-Material/Bauprodukten in anderer Funktionalität im Hoch- oder Tiefbau	
5	Sonstige Verwendung, bau- und bergbauliche Verfüllung, Erdbau (oft in Konkurrenz zu anderen Mineralstoffen verminderter Qualität)	Stoffliche Restnutzung beziehungsweise thermische Restnutzung als letzte Handlungsoption (geringwertige Verwendung)
6	Thermische Verwertung a) energetisch orientiert b) schadstofflich begründet	
7	Deponierung, Austritt des Materials aus der Bau-Technosphäre	Sichere Lagerung (Kapselung), Boden- und Grundwasserschutz

Abbildung 2:
Abfallhierarchie Hochbau
nach Deilmann/Reichenbach

Die Abfallhierarchie setzt die Abfallvermeidung an höchste Stelle. Diese wird im Baubereich insbesondere durch die Weiternutzung/Umnutzung von Bauwerken beziehungsweise darin befindlicher Bauteile bewirkt. Dem folgt als zweite Hierarchiestufe die Wiederverwendung von Bauelementen. Hier sind logistische Herausforderungen zu bewältigen: Oft fallen die geborgenen Materialien zeitlich und räumlich versetzt zur Nachfrage an, das heißt, es bedarf gewisser Lagerungs- und Transportaufwendungen. Ebenso bringt die Wiederherstellung von bestimmten Beschaffenheitsmerkmalen zusätzliche Arbeitsaufwände mit sich. Recycling auf Grundlage der – wie auch immer gearteten – stofflichen Verwendung der Abbruchmaterialien stellt die dritte und vierte Hierarchiestufe dar. Der Verwertung sind nach europäischer und deutscher Rechtsauffassung alle Verfahren zugeordnet,

die ein Recycling beziehungsweise die Rückgewinnung von Stoffen zur Folge haben. Darunter fallen auch deren Verwendung als Brennstoff, als Mittel der Energieerzeugung sowie als Bodenersatz oder Deponiebaustoff. Allerdings sollte zukünftig die Wertigkeit von weiterverwendeten Baustoffen differenzierter betrachtet und von den möglichen Einsatzgebieten abhängig gemacht werden. Ein Beispiel: Nachweislich unbedenklicher mineralischer Abbruchschutt kann als Bodenaustausch unter einer Plattengründung eines Gebäudes einen Primärstoff ersetzen. Eine solche Verwertung ist höherwertiger als eine bau- oder bergbautechnische Verfüllung. Zwei Aspekte sind gegeneinander abzuwägen. Einerseits garantiert der Einsatzort nicht immer die Substitution hochwertiger Primärstoffe. Verfüllmaßnahmen, bei denen sich Bauabfallmaterial eignen würde, sind im Regelfall auch Anwendungsfälle für andere Mineralstoffe verminderter Qualität (zum Beispiel Abraum). Andererseits ist der Energie- oder Technologieaufwand für eine Wiederverwendung sehr unterschiedlich. Bei gängigen Abbruchverfahren stellt der anfallende Schutt im Regelfall immer ein Stoffgemisch dar, welches verunreinigt oder gar schadstoffbelastet sein kann. Um Unbedenklichkeit und Einsatzfähigkeit für anspruchsvollere Verwendungen zu gewährleisten, ist eine gewisse Aufbereitung des Bauabfalls unumgänglich. Inwieweit eine Differenzierung zwischen höher-, gleich- oder geringerwertig im Einzelnen als gerechtfertigt angesehen werden kann, lässt sich nur im individuellen Vergleich mittels vertiefender Analysen, wie bspw. einer Gesamtökobilanz unter Berücksichtigung des Einsatzortes (Substitutionsleistung), genauer abprüfen. Derartige Analysen haben einen umfangreichen, sich über den Gesamtlebenszyklus erstreckenden Informationsbedarf, der nicht Gegenstand dieser Studie war. Eine Analyseverfahren, die alle in Betracht kommenden Beurteilungsperspektiven hinreichend ausbalanciert, verknüpft und eine vollkommene Objektivität in der Bewertung gewährleistet, existiert bisher nicht.

Als fünfte und sechste Stufe der Abfallhierarchie definiert die Studie Recycling in Form einer geringerwertigen Verwendung. Dazu zählen die Nutzung als Bodenersatz beziehungsweise als Ersatzbaustoff (Verfüllung) sowie der Einsatz als Deponiebaustoff, aber auch die Verbrennung, deren Restprodukte (Aschen) sogar zum Teil auch wieder in den Bausektor zurückfließen. Die Deponierung bildet die letzte Option und damit unterste Hierarchiestufe.

Jeder oben beschriebene Schritt in der Abfallhierarchie ist auch als Schritt der Dekomposition eines Produktes begreifbar. Mit jeder Dekomposition steigt der Aufwand-/Energie-Input, der in dem Produkt vergegenständlicht wird. Je früher in der Schrittfolge eine stoffliche Verwertung gefunden werden kann, mit der Primärrohstoffe substituiert werden, umso besser. So ist beispielsweise ein Betongranulat in neuer Anwendung als kapillARBrechende Schicht höherwertiger einzuschätzen als ein elektromagnetisch zerstörtes Granulat, das zwar als Kies wieder für alle Produkthanforderungen, zum Beispiel für einen neuen Spannbeton, eingesetzt werden könnte. Gleiches gilt für Kunststoffgranulat vor chemischer Molekültrennung oder Glasschotter vor neuer Einschmelze. Unverständlich ist, dass alltagssprachlich die Hochwertigkeit von Sekundärmaterial häufig am neuen Einsatzort des Sekundärmaterials und der Hochwertigkeit des dort geforderten Produktes festgemacht wird.

Mit hochwertigen Produkten verbindet man in der Regel Produkte, die mehrere Veredelungsstufen durchlaufen mussten, teurer sind oder komplexeren Nutzen spenden. Mit höherer Nützlichkeit bewertete Produkte sind in der Regel aus vielen unterschiedlichen Materialien zusammengesetzte komplexe Gebilde. Aber: Das Betonfundament eines Gebäudes allein betrachtet ist nicht höherwertiger als das Betonfundament einer Brücke oder einer Gartenmauer. Leider stuft man ein Recycling als hochwertig ein, weil der Einsatzort Teil eines hochwertigen Gesamtbauwerkes ist. Das Gesamtbauwerk Deutschland benötigt aber die verschiedensten – auch einfachen – Produkte alle parallel. Zu einem Krankenhaus gehören die Straße zum Erreichen des Gebäudes und die Tiefgarageneinfahrt genauso dazu wie die Geschosdecken und Wände des Gebäudes. Es ist also davon Abstand zu nehmen, den Asphalt auf einer Straße als weniger hochwertiges Einsatzfeld im Vergleich zu einem Asphaltestrich zu bezeichnen. Genauso wenig sinnvoll ist diese polarisierende Betrachtung für ein in der Zufahrt oder Baugrubensicherung genutztes Betongranulat gegenüber dessen Einsatz bei Fundament- oder Wandkonstruktionen des dazugehörigen Krankenhauses.

Ein entscheidender Unterschied ist, welche materialtechnisch-konstruktiven Qualitätsanforderungen an ein Produkt gestellt werden. Höherwertig bedeutet in der Regel, dass der Einsatzort hohe Gütequalität vorschreibt. Diese sind bei rezyklierten Materialien manchmal schwieriger abzusichern als bei eigens für den Zweck hergestellten Ausgangsstoffen primärer Art. Indes wird Recyclingmaterial sogar teils strengeren Überprüfungen unterzogen, als dies bei vergleichbaren Primärstoffen der Fall ist. Bei einer Wiederverwendung können hohe Aufwendungen zur Sicherung hoher Güteanforderungen dann vermieden werden, wenn für das Material sinnvolle Anwendungsfälle identifiziert und geprüft werden. Neben dem eingesparten Primärmaterial sollte aber zusätzlich der substituierte Primärenergiegehalt (PEI) herangezogen werden. Eine große Differenz zwischen dem PEI des Sekundärmaterials und dem PEI des Standardbauproduktes sollte Anlass zur kritischen Prüfung geben.

Die Studie beschäftigte sich mit dem Einsatz von Sekundärrohstoffen im Hochbau. Im Fokus stand die sinnvolle Verwendung von Sekundärrohstoffen im Hochbau. Sonstige Verwertungen, wie zum Beispiel Verbrennung, Verfüllung, Deponiebau, sind nicht unmittelbarer Gegenstand dieser Studie. Allerdings werden Schüttgut für Außenanlagen, technische Erschließung, Sauberkeitsschicht und Hinterfüllungsraum in dieser Studie dem Hochbau zugeordnet, wenn sich der Einsatzort auf dem Netto-Bauland befindet. Somit werden Rezyklatanteile in diesem Schüttgut in der Gesamtbilanz des Hochbaus berücksichtigt.

Bild rechts:

Quelle: Tombaky/Fotolia





2. Materialbezogene Modellierung der Bautätigkeit

2.1 Bautätigkeit in Deutschland 2010

Grundlage für die Abschätzung der Recyclingpotenziale ist die Bautätigkeit. Diese ist nach Nutzungen und Gebäudearten differenziert zu betrachten. Die Statistik der Bautätigkeit weist die errichteten Mengen an Gebäudearten nach Anzahl und Nutzflächen aus (Top-down-Zugang zur Bautätigkeit). Eine Differenzierung nach eingesetzten Bauprodukten entlang von Gebäudearten ist über die Statistik nicht möglich. Hier muss (Bottom-up) über Gebäudetypologien und Materialkennwerte ein Modell des Gebäudebestandes die notwendigen Differenzierungen unterstützen. Die Kombination von Top-down-Daten und Bottom-up-Modell wird im Folgenden als „Materialstrommodell“ bezeichnet. Der Gebäudebestand gliedert sich in Wohngebäude und Nichtwohngebäude. Diese Teilbestände unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich ihres Grades an Heterogenität sowie hinsichtlich verfügbarer Daten, sodass verschiedene Analysestränge und methodische Vorgehensweisen verfolgt werden müssen. Deutlich wird dies insbesondere bei der empirischen Ausgangslage zum Bestand sowie zur Abbildung der Bestandsentwicklung bei Nichtwohngebäuden und Wohngebäuden, welche sich deutlich voneinander unterscheiden. Während der Bestand an Wohngebäuden statistisch erfasst ist (StaBu 2012a, Stabu 2012c), liegen für Nichtwohngebäude keinerlei Bestandsstatistiken vor. Für Wohngebäude existieren des Weiteren bereits geeignete Gebäudetypologien sowie zugehörige Untersuchungen zu typischen Konstruktionsweisen (siehe zum Beispiel Gruhler/Böhm 2011a). Bei Nichtwohngebäuden ist das Spektrum verschiedener Konstruktionsarten infolge der unterschiedlichen Nutzungsanforderungen deutlich größer. Neben der Vielfalt der Tragkonstruktionen variieren auch nichttragende Konstruktionen hinsichtlich der verwendeten Materialkombinationen. Hier mussten für das Modell Gebäuderepresentanten analysiert und für dieses Projekt eigens synthetische Typen gebildet werden. Zusätzlich wurden die Anlagen des technischen Ausbaus in den Gebäuden berücksichtigt und in die Berechnungen mit aufgenommen. Hierfür wird auf Arbeiten im Rahmen des UBA-Projektes KartAL (UBA 2014) zurückgegriffen. Dies umfasst derzeit vor allem spezifische Kennwerte für die Bereiche Sanitär, Heizung, Rohrleitungen und Wärmeübergabe.

Wohnbautätigkeit 2010 gemäß Statistischem Bundesamt

Im Jahr 2010 wurden in rund 84 000 Wohngebäuden ca. 140 000 Wohneinheiten fertiggestellt. Neben den Fertigstellungen neuer Wohngebäude beziehungsweise Wohnungen wurden 2010 rund 17 000 Baumaßnahmen an bestehenden Wohnungen abgeschlossen und weitere fast 4 000 sonstige Wohnungen.

Bild oben:

Quelle: ccfoto/Fotolia

In den amtlichen Statistiken werden viele Bautätigkeiten nicht erfasst, wie zum Beispiel Garagen, Kleinstgebäude unterhalb 50 m², garten- und landschaftsbauliche Tätigkeiten, private Einfahrten, Stellplätze und Wegebau, die insgesamt aufgrund der großen Anzahl eine bedeutsame Inanspruchnahme von mineralischen Bauprodukten begründen. Dies wurde im Modellansatz mit eigenen Schätzungen zum Teil berücksichtigt.

Nach den Daten des Statistischen Bundesamtes zum Abgang und Abbruch von Gebäuden beziehungsweise Teilen von Wohngebäuden wurden 6 313 Wohngebäude inklusive Wohnheimen 2010 abgebrochen. Aussagen zum Abgang von Wohneinheiten werden an dieser Stelle jedoch nicht gemacht, dafür ist die Nutzfläche ausgewiesen. Stellt man die Anzahl der abgegangenen Wohngebäude dem Bestand gegenüber, so haben 2010 rund 0,35 Promille der Wohngebäude den Bestand verlassen. Die ausgewiesenen Altersklassen ermöglichen im Materialstrommodell auch die Differenzierung der Abfallmengen entlang der typischen Gebäuderepräsentanten der Bauepoche. Hervorzuheben ist, dass die in der Statistik angeführten Abgänge ganzer Gebäude nur einen Teil der tatsächlichen Abgänge darstellen und damit im Rahmen der statistischen Auswertung eine Untererfassung von Abgängen vorliegt (vergleiche Schiller et al. 2010).

Auffallend ist der erhöhte Abbruchanteil von Wohngebäuden aus dem Zeitraum 1949 bis 1970 trotz eines verhältnismäßig geringen Alters zwischen 40 und 61 Jahren. Dies lässt sich u. a. mit der schlechten Bausubstanz der Wohngebäude aufgrund des eiligen Wiederaufbaus nach dem Zweiten Weltkrieg erklären. Folglich sind die Baumaterialien aus jener Zeit in Bauabfällen häufiger vertreten als aus anderen Baualtersklassen.

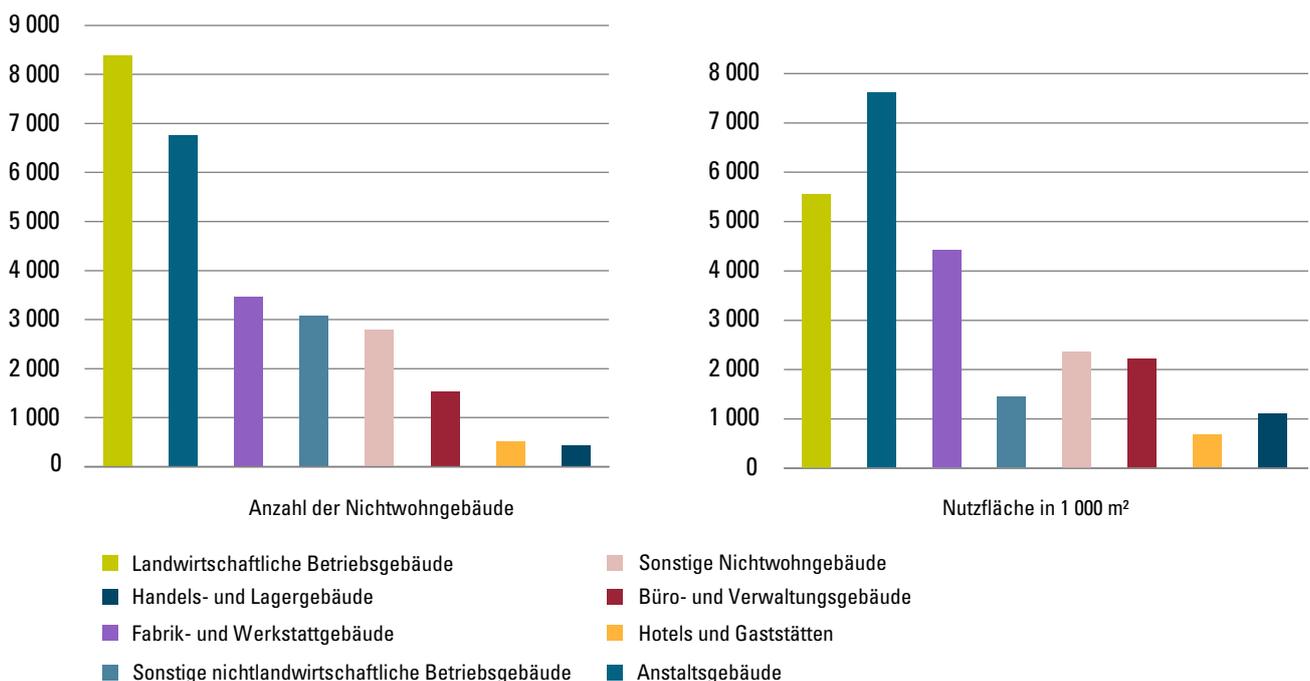
Nichtwohnbautätigkeit gemäß Statistischem Bundesamt

Wie zuvor für die Wohngebäude und den Wohnungsbau weist das Statistische Bundesamt die jährliche Bautätigkeit im Nichtwohnungsbau aus.

Die in der Statistik (StaBu 2011 und 2012b) angeführten Zahlen zur Bautätigkeit im Nichtwohnungsbau differenzieren auch nach Gebäudearten. 2010 wurden mit über 8 000 Gebäuden am häufigsten landwirtschaftliche Betriebsgebäude fertiggestellt. Als Nächstes folgten Handels- und Lagergebäude mit knapp 7 000 Gebäuden. Auf die Nutzfläche bezogen, wechselt dieses Bild. So liegen dann mit rund 7,5 Mio. m² Nutzfläche die Handels- und Lagergebäude vor den landwirtschaftlichen Betriebsgebäuden mit rund 5,5 Mio. m² (Abbildung 3).

Abbildung 3:

Fertiggestellte Nichtwohngebäude und errichtete Nutzfläche für das Jahr 2010, untergliedert nach Gebäudeart (Quelle: eigene Darstellung nach StaBu 2011)



Wie auch bei den Wohngebäuden weist die Statistik Gebäudeabgänge für die Nichtwohngebäude aus. So wurden 2010 insgesamt rund 9 000 Abgänge von Nichtwohngebäuden und etwa 6,5 Mio. m² Wohn- und Nutzfläche verzeichnet. Bezieht man sich auf die Baualterszeiträume, so entfielen etwa 46 % der Abgänge auf die Altersklasse 1949 bis 1970.

Die Abgangsstatistik war in einem Punkt zu korrigieren. Die nicht einer Gebäudeart zugewiesenen Zahlen (Differenz innerhalb der nichtlandwirtschaftlichen Betriebsgebäude: 3 085 Gebäude beziehungsweise 1,4 Mio. m² Nutzfläche beim Zugang und 612 Gebäude beziehungsweise 0,3 Mio. m² Nutz- und Wohnfläche beim Abbruch) mussten anteilig den Fabrik- und Werkstattgebäuden, den Handels- und Lagergebäuden sowie den Hotels und Gaststätten zugeschlagen werden, um mit dem Materialstrommodell verknüpft zu werden.

Bautätigkeit am Bestand

Zum Baugeschehen gehören Neubau, Umbau, Erweiterungsbauten und Sanierung sowie der Abbruch von Bestandsgebäuden. Die Daten des Statistischen Bundesamtes zu Neubau, Umbau und Erweiterungsbauten sind Grundlage für die Abbildung des Baugeschehens. Schwieriger ist eine Betrachtung von Sanierungen und Modernisierungen sowie von Abbruch und Abgang von Gebäuden beziehungsweise Wohneinheiten. Diese Bautätigkeiten werden in der Statistik unvollständig erfasst.

Beim Wohnungsbau wie auch beim Nichtwohnungsbau ist die Bautätigkeit am Bestand aufgrund von Modernisierungs- und Sanierungsmaßnahmen aus Materialstromsicht bedeutsam. Für die Berechnung und Darstellung von Materialströmen, die im Rahmen von baulichen Maßnahmen an bestehenden Gebäuden sowie auf Basis von Abgängen entstehen, sind Informationen und Flächenangaben zum Bestand eine unverzichtbare Grundlage. Zum Bestand der Nichtwohngebäude gibt es bisher im Gegensatz zum Wohnungsbau keine Bestandsstatistiken oder ausreichend verifizierte Daten. Erste Größenordnungen lieferten Untersuchungen von Kohler (Kohler et al. 1999) mit rund 2 700 Mio. m² Nutzfläche, die BBSR-Projekte zur Problematik „Beheizte Nichtwohngebäude“ (Dirlich et al. 2011; Deilmann et al. 2013) und Bestandsrechnungen mithilfe des Anlagevermögens, bei denen 2,4 Mio. Nichtwohngebäude mit 2 146 Mio. m² Nutzfläche im Jahr 2000 ermittelt wurden (Gruhler/Böhm 2011b). Neuere, zum Teil noch laufende Untersuchungen (Gruhler 2013) und die im Rahmen des Projektes KartA11 (UBA 2015) erarbeiteten Kennzahlen konnten für die vorliegende Studie ausgewertet werden. Trotz unterschiedlicher Herangehensweisen unterscheiden sich die Ergebnisse der Bestandsschätzungen kaum. In einer internen Abstimmung wurde eine gemittelte Größenordnung von mit 3,0 Mrd. m² Nutzfläche für den Nichtwohngebäudebestand bestimmt. Diese Fläche wird anteilig auf die unterschiedlichen Nichtwohngebäudearten verteilt. Als Verteilschlüssel werden die durchschnittlichen Relationen zwischen den Nichtwohngebäudearten anhand der Neubaugänge in m² Nutzfläche genutzt. Die Verteilung ergibt sich aus dem Betrachtungszeitraum 1997 bis 2010 (Tabelle 1). Diese Setzung zum Nichtwohngebäudebestand bildet die Grundlage für die weiteren Hochrechnungen der Materialströme in den Bereichen Umbau und wiederkehrende bauliche Maßnahmen.

Nichtwohngebäudearten	Nutzflächen in Mio. m ² im Nichtwohngebäudebestand	
	Neubauanteile in %	Setzung/Berechnungen
Nichtwohngebäudebestand insgesamt	100	3 000
Anstaltsgebäude	4	120
Büro und Verwaltung	13	390
Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	15	450
Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude	60	1 800
Darunter:		
› Fabrik und Werkstattgebäude	21	630
› Handels- und Lagergebäude	37	1 110
› Hotels und Gaststätten	2	60
Sonstige Nichtwohngebäude	8	240

Tabelle 1:

Mengenschätzung und -verteilung im Nichtwohngebäudebestand in m² Nutzfläche

Für den Wohngebäudebestand schreibt das Statistische Bundesamt die Daten jährlich fort, angepasst durch Zugänge ganzer Gebäude und Wohneinheiten, Umbauten und Erweiterungen sowie durch Abgänge ganzer Gebäude oder Wohneinheiten durch Abbruch beziehungsweise Zusammenlegung. Ende 2010 gab es rund 3,5 Mrd. m² Wohnfläche in Deutschland (StaBu 2012a). Hiervon befinden sich 1,5 Mrd. m² Wohnfläche in Einfamilienhäusern. Diese Bestandsmenge ist Grundlage für die Abschätzung von Bautätigkeiten bei Sanierung/Modernisierung, die statistisch nicht erfasst werden.

2.2 Materialstrommodell

Um die in der Bautätigkeitsstatistik für 2010 zu Wohn- und Nichtwohngebäuden ausgewiesenen Daten (Zugang und Abgang für Wohn- und Nichtwohngebäude, Bestand für Wohngebäude) in Materialflüsse und Materiallager umrechnen zu können, müssen für die in der Statistik aufgeführten Gebäudearten passende synthetische Gebäude bottom-up gebildet werden. Dazu wird die IÖR-Bauwerksdatenbank genutzt. Im Bereich Wohnen werden vier synthetische Ein-/Zwei- und sieben Mehrfamilienhäuser und im Bereich Nichtwohnen 14 synthetische Nichtwohngebäude gebildet. Zuwegung, Terrassen und Pkw-Stellplätze auf privatem Grund werden zur Hochbautätigkeit gerechnet.

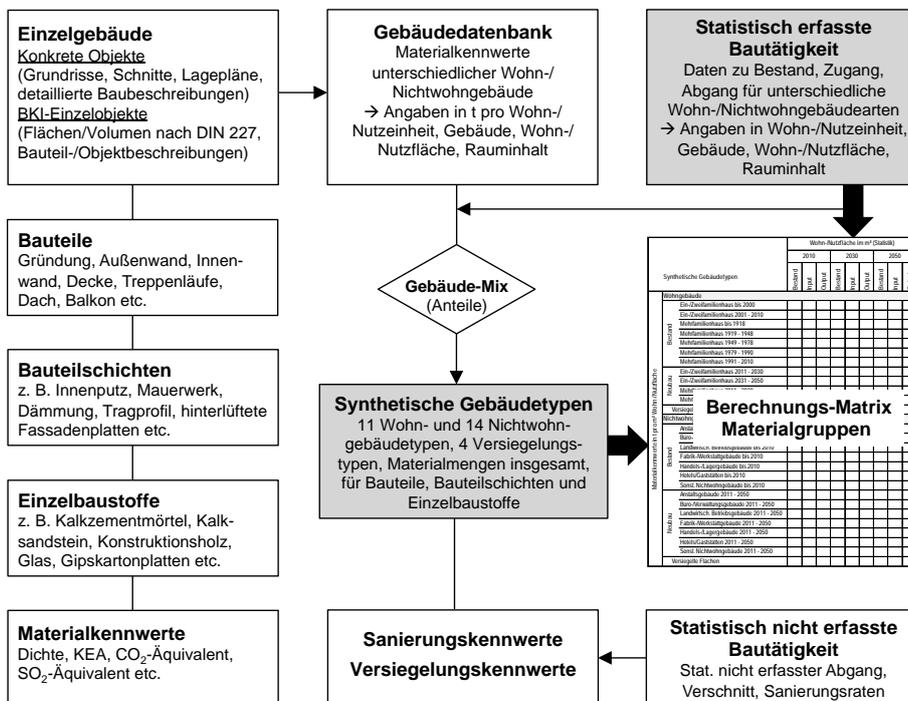


Abbildung 4: Materialstrom-Modellierung – schematische Darstellung (Quelle: eigene Darstellung)

Die Bildung der synthetischen Typen erfolgt bei den Wohngebäuden auf Grundlage konkreter, detailliert beschriebener Bauobjekte, die in der IÖR-Bauwerksdatenbank abgelegt sind. Pro synthetischem Typ wird jeweils eine Anzahl geeigneter konkreter Einzelgebäude aus der Datenbank ausgewählt und nach Häufigkeit ihres Auftretens zu einem Durchschnittsgebäude beziehungsweise synthetischem Typ zusammengeführt. Bei den Nichtwohngebäuden wird ähnlich verfahren. Hier bilden jedoch die Daten und Informationen der in der BKL-Datenbank (Datenbank des BKL Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammern, Stuttgart) erfassten Einzelobjekte die Grundlage.

Im Ergebnis stehen für die gebildeten synthetischen Gebäudetypen neben Flächen-, Volumen- und anderen Kennwerten vor allem Materialmengen pro Gebäude insgesamt und differenziert nach Bauteilen, Bauteilschichten, Baumaterialgruppen und Einzelbaustoffen zur Verfügung. Sie fließen in Form von Mengenangaben in Tonnen (t) pro m² Wohn-/Nutzfläche in die Berechnungs-Matrix Baumaterialgruppen ein und werden dort mit den statistischen

Angaben zu Bestand, Zugang und Abgang in m² Wohn-/Nutzfläche verknüpft. Das Resultat sind Materialmengen nach Baumaterialgruppen für den Input (Zugang), den Output (Abgang) und den Bestand 2010.

Bauproduktgruppen der synthetischen Gebäude

Für Wohn- wie Nichtwohngebäude erfolgt eine Zusammenstellung in die recyclingrelevanten Bauproduktgruppen Beton, Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton, sonstiges Mineralisches, Gipskarton, sonstige Gipsprodukte, Bau- und Konstruktionsholz, sonstiges Holz, Flachglas, mineralische Dämmstoffe, Kunststoff-Dämmstoffe, Kunststoff-Fenster und -Türen, Kunststoff-Dachbahnen und -Dichtungsbahnen, (Metalle) sowie sonstige Materialien.

Die synthetischen Gebäudetypen beinhalten den errechneten Materialmix, der sehr differenziert nach Einzelbaustoffen erfasst wurde (Tabelle 2: Materialzuordnungen zu Bauproduktgruppen). So können die unterschiedlichen Verwertungsoptionen beziehungsweise die bereits aufgebauten Recyclingverfahren differenziert dargestellt werden. Mit der Orientierung an Bauproduktgruppen können die Recyclingpotenziale nach Menge spezifischer dargestellt werden. Die hier getroffene Aufteilung ist genau genug, um für das Bageschehen insgesamt eine aufschlussreiche und hinreichend genaue Einschätzung der Verwertung von Sekundärrohstoffen im Hochbau vorzunehmen.

Recyclingpotenzial-relevante Bauproduktgruppen	Einzelbaustoffe im Rahmen der Materialberechnungen (BaustoffBerechnungsProgramm, Gruhler et al. 2002/2010/2013)
Beton	Beton C 8/10, Beton C 12/15 – C16/20, Beton C 20/25 – C25/30, Leichtbeton, Porenbeton, Holzbeton, Beton-Hohlblocksteine, Beton-Hüttensteine, Betondachsteine
Ziegel	Klinker, Vollziegel, Hochlochziegel, Leichthochlochziegel Ziegel – allgemein, Ziegel – Biber
Kalksandstein	Kalksandstein
Porenbeton	Porenbeton-Blocksteine
Sonstiges Mineralisches	Kalkmörtel, Kalkgipsmörtel, Kalkzementmörtel, Zementmörtel, Zementestrich, Gussasphaltestrich, Dünnbettmörtel, Wärmedämmputz, Bruchstein, Asbestzementplatten, Porenbeton-Bauplatten, Leichtbeton-Wandbauplatten, Faserzementplatten – eben, Faserzementplatten – gewellt, Schiefer, Asbestzementplatten, Sand, Kies, Splitt, Lehm, Schlacke, Granit, Basalt, Marmor, Sandstein, Muschelkalk, Keramik, Glasmaaik, Fliesen
Mineralische Dämmstoffe	Mineralwolle (Steinwolle, Glaswolle), Schaumglas, Hochofenschlacke, Blähton
Gipskarton	Gipskartonplatten, Gipsfaserzementplatten, Gipswandbauplatten
Sonstige Gipsprodukte	Gipsmörtel, Gipsputz, Anhydritestrich
Bau-/Konstruktionsholz	Schnittholz-Bretter, Schnittholz-Kanthölzer, Brettschichtholz
Sonstiges Holz	Sperrholz, Spanplatten, Hartfaserplatten, Weichfaserplatten, Holzwolle-Leichtbauplatten, Korkplatten, Holzschindeln
Flachglas	Glas, Drahtglas, Glasbausteine
Kunststoff-Dämmstoffe	Polystyrol-Hartschaum (expandiert-EPS, extrudiert-XPS), Polyurethan(PUR)-Hartschaum, Phenolharz(PF)-Hartschaum
Kunststoff-Fenster/-Türen	PVC-Fensterprofile und -Türenprofile
Kunststoff-Dachbahnen/-Dichtungsbahnen	Kunststoff-Dachbahn, PVC-Folie, PE-Folie
Metalle	Stahl, Kupfer, Zink, Aluminium, Blei, Gusseisen
Sonstige Materialien	Bitumendachbahn, Kleber, Harze, Zellulose, Stroh, Schilf, Pappe, Papier

Tabelle 2:

Materialzuordnungen zu Bauproduktgruppen

Synthetische Wohngebäude für die Anknüpfung an die Statistik

Die synthetischen Typen spiegeln dabei eine bestimmte Gebäudeart und eine Bauepoche sowie die darin vorherrschenden Bauweisen, Baukonstruktionen, Bauelemente und verwendeten Baumaterialien wider (Gruhler/Böhm 2011a). Diese sind untersetzt mit typspezifischen Baumaterialzusammensetzungen aus der Bauwerksdatenbank des IÖR. In ihr sind für eine Vielzahl von konkreten Ein- und Zwei- sowie Mehrfamilienhäusern (ca. 60 Wohngebäuderepräsentanten) unterschiedlichen Baualters Daten zur Belegung (Wohnungen pro Gebäude), zu Flächen und Volumen, zur Beschreibung der baulichen Physis (Material- und Energiedaten) sowie zur Beschreibung von Umweltwirkungen hinterlegt. Zur Bildung eines synthetischen, baualtersklassenbezogenen Gebäudetyps werden anhand der Gebäudeart und des Baualters geeignete Gebäuderepräsentanten ausgewählt und eingeschätzt, zu welchen Anteilen diese bei der Bildung des synthetischen Gebäudetyps für eine spezifische Zeitepoche zu berücksichtigen sind. Die Daten der berücksichtigten Gebäuderepräsentanten wurden im synthetischen Gebäudetyp entsprechend gewichtet gemittelt.

Die beschriebene Vorgehensweise gilt für die Bildung aller Gebäudetypen bis zum Jahr 2010 (Bestandstypen). Für die Abbildung des Neubaus von 2011 bis 2050 (Neubautypen) werden in ähnlicher Art und Weise Gebäudetypen neu gebildet.

Für eine detaillierte Beschreibung der Berechnung und Vorgehensweise zur Bildung der synthetischen Typen und deren Anlehnung an die Systematik der amtlichen Statistik wird auf die Publikation Gruhler/Böhm 2011a verwiesen.

Synthetische Nichtwohngebäude für die Anknüpfung an die Statistik

Vergleichbar dem Vorgehen bei den Wohngebäuden, wurden für den Bereich der Nichtwohngebäude ebenfalls synthetische Gebäudetypen gebildet. Grundlage bilden hierzu die Arbeiten von Gruhler/Böhm und Ortlepp (Gruhler/Böhm 2011b, Gruhler 2013, UBA 2014), die auf Daten der amtlichen Statistiken, Bauplänen, Baubeschreibungen und eigenen Auswertungen von BKI-Daten aufbauen.

Da bei den Nichtwohngebäuden nicht auf ca. 60 Gebäuderepräsentanten zurückgegriffen werden konnte, mussten neue Primäranalysen anhand von neun Repräsentanten (Gruhler 2013) durchgeführt werden. Aufgrund der Vielfalt der Gebäudearten, -formen und Bauweisen mussten synthetische Gebäudetypen für die Gruppen Anstaltsgebäude (AG), Büro- und Verwaltungsgebäude (BV), landwirtschaftliche Betriebsgebäude (LB), Fabrik- und Werkstattgebäude (FW), Handels- und Lagergebäude (HL), Hotels und Gaststätten (HG) sowie sonstige Nichtwohngebäude (SNW) einschließlich ihrer Flächen, Volumen und Materialdaten gebildet werden. Büro- und Verwaltungsgebäude wurden auf Basis von BKI-Daten aus Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie großen Mehrfamilienhäusern direkt stofflich bestimmt. Für Anstaltsgebäude sowie Hotels und Gaststätten wurden Materialmengen kombiniert. Bei den nichtwohngebäudeähnlichen Gebäudearten (landwirtschaftliche Betriebsgebäude (LB), Fabrik- und Werkstattgebäude (FW), Handels- und Lagergebäude (HL) sowie sonstige Nichtwohngebäude (SNW)) wurden BKI-datenbasierte materialbezogene Bestimmungen anhand von Bauunterlagen (Grundrisse, Schnitte, Baubeschreibungen) konkret berechnet. Synthetische Nichtwohngebäudetypen konnten für den Bestand (maßgeblich für Abbruch und Sanierung) leider nur über Bauten der jüngeren Vergangenheit (1975 bis 2010) gebildet werden. Im Anhang ist das Ergebnis zu den Materialkennwerten eines synthetischen Fabrik- und Werkstattgebäudes im Bestand dargestellt.

Materialstromrelevante Aspekte jenseits der statistischen Erfassung

Es gibt eine Anzahl von Bauaktivitäten, die die Statistik nicht erfasst. Sie sind aber für die Materialströme im Bauwesen sehr bedeutsam. Im Kapitel Sensitivitätsrechnungen findet sich eine tabellarische Zusammenfassung dieser Bauaktivitäten auch mit einem Ausblick auf 2050. Die Berechnungsansätze sind im Detail der Online-Publikation „Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau“ (<http://www.bbsr.bund.de>) zu entnehmen.

Abfall beim Neubau: Beim Neubau kommt es auf der Baustelle zu Abfällen vor allem durch Transportbetonüberschüsse, Bauplattenverschnitt, Bruch etc. Je nach Bauproduktgruppe beträgt der Bauabfall zwischen 3 und 15%.

Sanierung: Der Material-Output bei einer Sanierung (grundhaft, ca. alle 40 Jahre) beträgt etwa 3 bis 5% des Ausgangsmateriallagers eines Gebäudes, der Material-Input ca. 3,5 bis 5,5%.

Abgang ohne Komplettabbruch: Dieser Abgang kann Teilabbruch, Umnutzung und Zusammenlegung umfassen. Hier fallen gleichfalls Material-Outputs, aber auch Material-Inputs an.

Zugang ohne Neubau: Darunter fallen neue Einheiten durch Umnutzung, Umbau/Ausbau und Anbau (zum Beispiel das Erdgeschoss eines Wohnhauses wird zu einem Laden umgebaut oder das Dachgeschoss wird für Bürozwecke ausgebaut).

Nicht gemeldeter Abgang: Auswertungen zeigen, dass der Abgang von Wohnungen durch Abbruch ganzer Gebäude und von Gebäudeteilen oder durch Umnutzung/Zusammenlegung statistisch nicht vollständig erfasst ist.

Verfüllung der Baugrube (Hinterfüllungsraum): Der Hinterfüllungsraum wird in der Regel zu zwei Drittel mit Bodenaushub der Baugrube wieder verfüllt, ein Drittel erhält eine Kies-/Sandverfüllung (Drainagebereich sowie der Sauberkeits-/Spritzschutzstreifen).

Abbruch und Neubau versiegelter Flächen: Der Abbruch und Neubau von Gebäuden (Hochbau) geht mit Wege- und Gartenbaumaßnahmen auf den jeweiligen Grundstücken einher wie Zugangswege, Einfahrten, befestigte Flächen für Terrassen und Pkw-Stellplätze etc. Hierfür werden Baumaterialien benötigt bzw. fallen Abbruchmaterialien bei Rückbauarbeiten an.

Bodenbeläge: Die Material-Inputs (Neubau und Sanierung) und Material-Outputs (Abbruch) bei den Bodenbelägen werden auf der Grundlage von Verbandsdaten und der amtlichen Statistik ermittelt und auf die einzelnen Bodenbelags-Baumaterialgruppen (mineralisch, Holz, PVC und Textilböden) umgerechnet.

2.3 Materialströme nach Bauproduktgruppen 2010

Dieser Abschnitt präsentiert die Ergebnisse der Modellrechnung für den Hochbau in Deutschland. Die Ergebnisse des Materialstrommodells wurden mit den Zahlen der Produktionsstatistik und der Abfallwirtschaft verglichen, um die Plausibilität des Modells zu prüfen.

Im Rahmen des Projektes wurden hierzu in einem ersten Schritt die Daten der inländischen Produktionsstatistik der amtlichen Statistik (StaBu 2012d) gesichtet und ausgewertet. Im Rahmen dieser Sondierung konnte jedoch festgestellt werden, dass selbst bei hohem Aufwand nicht die erhofften Informationen und Erkenntnisse aus den neunstelligen Nummerierungen und Bezeichnungen generiert werden können. Problematisch ist hierbei weniger die Verfügbarkeit, sondern vielmehr die Struktur, Gliederung und Dimensionen der Daten (kg, t, m, m², m³ und Stück). Eindeutige Zuordnungen zu Bauproduktgruppen sind nicht möglich.

Die Daten und Statistiken der verschiedenen Branchen und Verbände erwiesen sich demgegenüber als sehr hilfreich, um die Bottom-up-Modellrechnungen auf Plausibilität zu prüfen. Die im Folgenden geführte Diskussion basiert auf Zahlen und Daten einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen. Sie reicht von detaillierten und auf Jahrgänge bezogenen Daten bis hin zu einzelnen Zahlen und Angaben in Broschüren oder Pressemitteilungen. Eine differenzierte Darstellung enthält die Online-Publikation „Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau“ des BBSR. Es ist generell festzuhalten, dass Produktionsstatistiken und Datenerfassung zur Abfallwirtschaft nicht ausreichend genau zwischen Hochbau und Tiefbau unterscheiden. Dies ist vor allem bei allen mineralischen Produkten der Fall. Die Produktionsstatistik selbst ist mit Unsicherheiten behaftet.

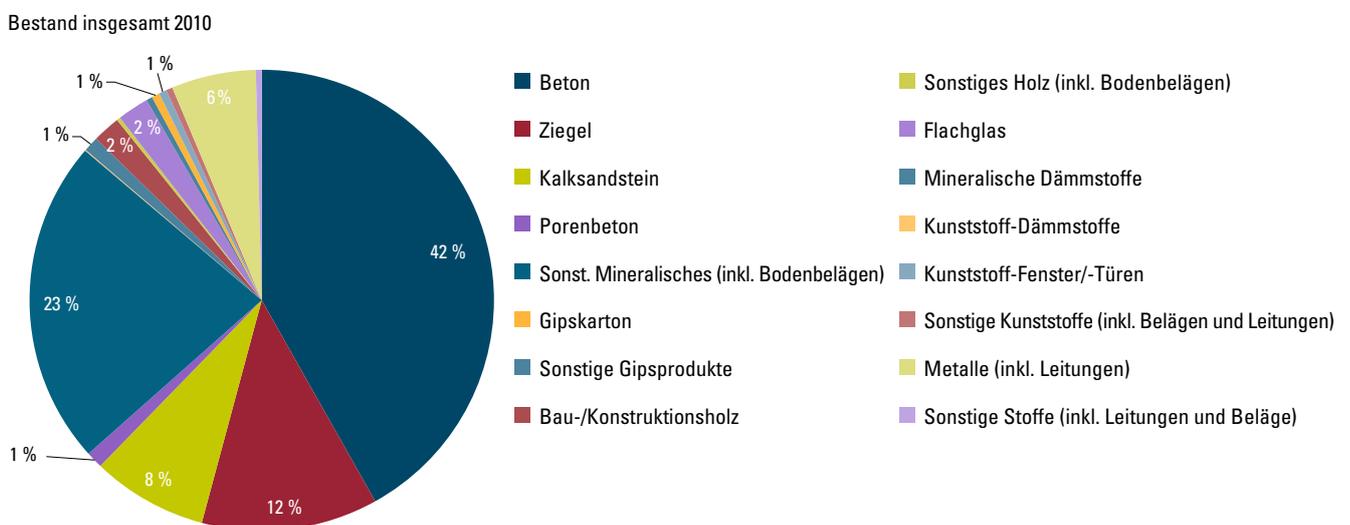
Das Materialstrommodell bildet den „Kern“ des Baugeschehens ab – vor allem die statistisch erfasste Bautätigkeit. Die Produktionsmengen für Bauprodukte sollten also in jedem Fall größer sein als das Modell. Diese Mindestplausibilität kann für alle Bauproduktgruppen bestätigt werden. Größere Abweichungen in erwarteter Richtung gibt es bei Beton, Gips, der Summe mineralischer Produkte und den Holzprodukten. Diese werden im Modell zu 50 % unterschätzt. Eine Erklärung hierfür ist, dass im Modell folgende Bauten nicht eingerechnet sind: Einzelgaragen, Kleinstgebäude, Tiefgaragen unter Gebäudeblocks, Infrastrukturgebäude, Grundbaumaßnahmen, Stütz- und Grenzmauern im Baugrundstück. Unsicherheiten gibt es zudem bei der Produktionsstatistik selbst. Nach Aussage der Verbandsvertreter ist es nicht sauber nachzuverfolgen, für welchen Zweck das Schüttgut beziehungsweise der Transportbeton geliefert wurde. Auch beim Gips bleibt der Input-Strom im Modell unvollständig, da Gips für Zementherstellung, Gipsanteile bei Kalkgipsputzen nicht herausgerechnet werden konnten. Für die Differenz bei Holzprodukten sind wiederum die Bausegmente wie Kleinstgebäude, Schuppen, Carports, Zäune und andere Elemente der Freiraumgestaltung erklärend. Hohe Übereinstimmungen zwischen Modell und Produktion von Bauprodukten sind bei Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton, Glas, Kunststoffen und Wärmedämmung gegeben.

Im Bereich des Bauabfalls ist generell festzustellen, dass das Modell den Output um etwa 5 bis 10 % größer einschätzt als die Mengen, die die Abfallstatistik ausweist. Möglicherweise wird nicht jeder Abgang erfasst und/oder es verbleibt mineralisches Material auf dem Baugrundstück. Einiges an Glas und Kunststoffen „verschwindet“ in der Kategorie Baustellenabfall. Leider gibt es keine brauchbaren Sortieranalysen für Baustellenabfälle, um dies zu erhärten. Bei Holzprodukten und Gipskartonplatten ist die erfasste Abfallmenge größer als im Modell. Auch hierfür gibt es Erklärungsansätze. Die Rückverfolgung aus dem Altholzaufkommen ist schwierig, da auch Vermengungen mit Altholz dabei sind, die einer Sperrmüllsammlung hätten angedient werden können. Zudem gilt auch hier, dass das Modell Kleinstgebäude, Schuppen, Freiraumelemente nicht erfasst. Bei Gipskartonplatten unterschätzt das Modell die Sanierungs- und Umbauzyklen im Bestand.

Sieht man von den Differenzen bei den mineralischen Produkten und beim Holz ab, so liefert das Materialstrommodell ein sehr plausibles Mengengerüst für die weitere Untersuchung zu den Recyclingpotenzialen im Hochbau.

Nach den Berechnungen des Materialstrommodells beträgt das Materiallager des Gebäudebestandes 2010 15 256 Mio. t. Es flossen 2010 rund 121 Mio. t an Bauprodukten in den Wohnungs- und Nichtwohnungsbau und rund 42 Mio. t stehen durch Abbruch/Umbau theoretisch als Ausgangsmenge für die Sekundärrohstoffherzeugung zur Verfügung.

Abbildung 5:
Materiallager des Bestandes 2010, unterteilt nach 16 Materialgruppen – BAU



BAU-RC Wohnen + Nichtwohnen + RC-Raten				
Gesamt Baumaterialien/Produkte	2010			
	Bestand Mio. t	Input Mio. t	Output Mio. t	RC in Mio. t
Beton	6 388,564	41,708	12,228	0,167
Ziegel	1 874,387	7,905	3,489	0,000
Kalksandstein	1 231,589	5,252	2,055	0,000
Porenbeton	178,758	1,500	0,300	0,000
Sonstiges Mineralisches (inklusive Bodenbelägen)	3 484,658	42,055	14,850	2,523
Gipskarton, Gipswandbauplatten	9,820	0,168	0,032	0,000
Sonstige Gipsprodukte	159,003	3,244	0,680	0,000
Bau-/Konstruktionsholz	295,754	2,710	1,130	0,000
Sonstiges Holz (inklusive Bodenbelägen)	39,450	1,017	0,908	0,041
Flachglas	334,236	2,518	1,171	0,378
Mineralische Dämmstoffe	118,598	1,139	0,462	0,300
Kunststoff-Dämmstoffe	29,649	0,285	0,116	0,031
Kunststoff-Fenster/-Türen	82,911	0,591	0,209	0,077
Sonstige Kunststoffe (inklusive Belägen, Leitungen)	68,333	1,012	0,354	0,010
Metalle (inklusive Leitungen)	898,428	9,206	3,059	4,603
Sonstige Materialien (inklusive Leitungen, Belägen)	62,133	0,757	0,650	0,000
Gesamt	15 256,272	121,066	41,693	8,129

Tabelle 3:

Materiallager und Materialströme des Baugeschehens 2010, unterteilt nach 16 Materialgruppen – Bautätigkeit gesamt.

Die Tabellen und Grafiken veranschaulichen vor allem die Hauptbestandteile des Baugeschehens und stellen die Materialströme nach Input und Output gegenüber. In Summe sind die Input-Ströme sowohl im Wohnungs- als auch im Nichtwohnungsbau dreimal so groß wie die Output-Ströme (Abbildung 6). Das Gebäudelager wächst und damit die zur Verfügung stehende Nutzfläche in Deutschland. Betone, Mauersteine, Schüttungen und Putze/Estriche/Mörtelschichten sind massenmäßig die bedeutendste Fraktion. Die Unterschiede zwischen Wohnungs- und Nichtwohnungsbau sind gering. Größere Unterschiede finden sich lediglich bei den Schüttungen und den Metallen.

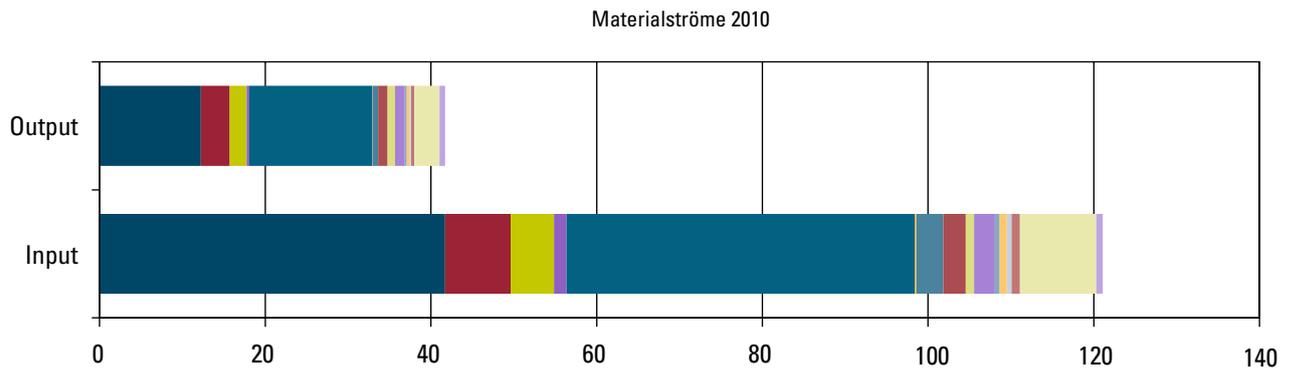


Abbildung 6:
Materialströme „Gesamt“ des Baugeschehens für 2010, unterteilt nach 16 Materialgruppen – BAU

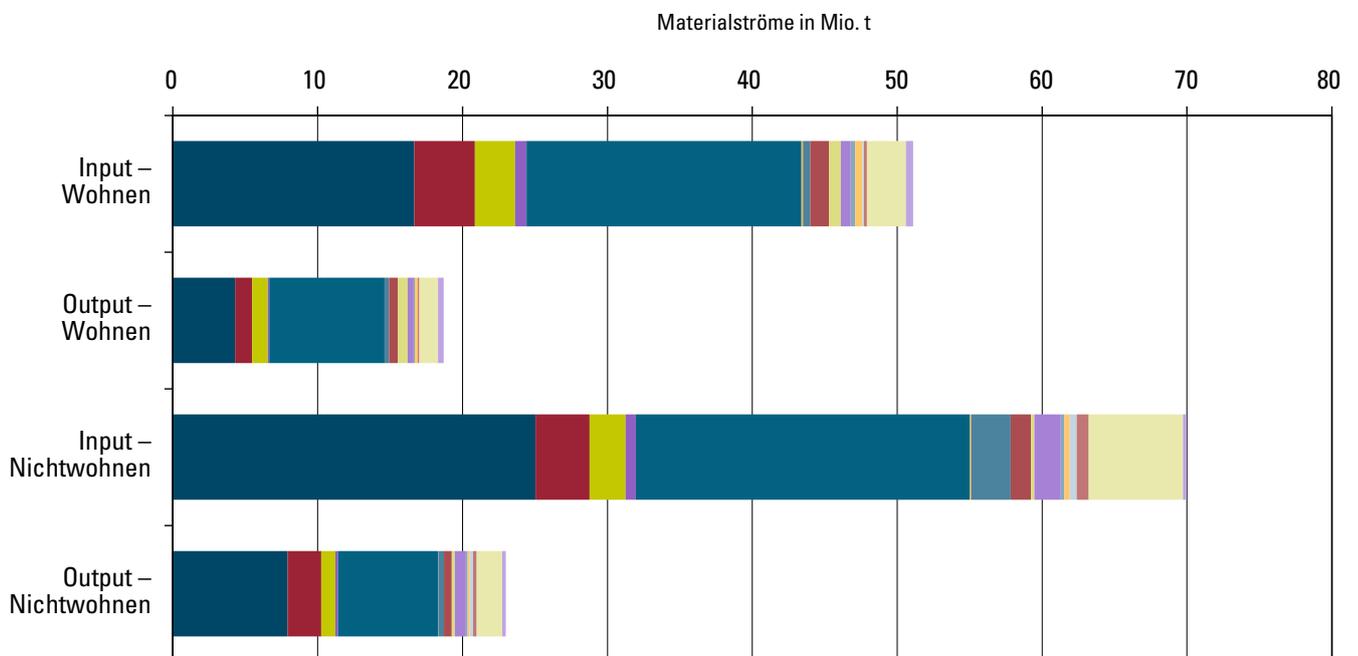


Abbildung 7:
Materialströme für Wohnen und Nichtwohnen des Baugeschehens für 2010, unterteilt nach 16 Materialgruppen – BAU – Bautätigkeit getrennt nach Wohnen und Nichtwohnen

- | | |
|---|--|
| ■ Beton | ■ Ziegel |
| ■ Kalksandstein | ■ Porenbeton |
| ■ Sonstige Mineralisches (inkl. Bodenbelägen) | ■ Gipskarton |
| ■ Sonstige Gipsprodukte | ■ Bau-/Konstruktionsholz |
| ■ Sonstiges Holz (inkl. Bodenbelägen) | ■ Flachglas |
| ■ Mineralische Dämmstoffe | ■ Kunststoff-Dämmstoffe |
| ■ Kunststoff-Fenster/-Türen | ■ Sonstige Kunststoffe (inkl. Belägen und Leitungen) |
| ■ Metalle (inkl. Leitungen) | ■ Sonstige Materialien (inkl. Leitungen und Belägen) |



3. Kreislaufwirtschaft Bau

3.1 Datenlage

Das Monitoring der Entwicklungen im Bereich der mineralischen Abfälle des Bauwesens erfolgt im Wesentlichen über die an das Statistische Bundesamt gemeldeten Werte sowie über die Erhebungen seitens der ARGE Kreislaufwirtschaftsträger Bau (KWTB). Weitere branchenspezifische Erhebungen können im Einzelfall die Informationslage zu anderen Materialsegmenten ergänzen oder verbessern. Zum Materialbereich Kunststoffe ist die von der Firma Consultic Marketing und Industrieberatung Alzenau im Zweijahresrhythmus erarbeitete Studie „Produktion, Verbrauch und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland“ hervorzuheben. Für die Materialgruppe Holz sind die langjährigen Bilanzierungsarbeiten am Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg, darunter auch das in Zusammenarbeit mit INTECUS im Auftrag des VDP erstellte Materialstrommodell Holz und dessen Fortschreibungen (Mantau/Bilitewski 2005, 2010), von großer Aussage. Von den unterschiedlichen Industrie- und Produktverbänden veröffentlichte Daten sind zusätzlich daher interessant, weil mit ihrer Analyse aktuelle Vorgehensweisen der Mengenzuordnung an Transparenz gewinnen.

Destatis veröffentlicht im Rahmen der statistischen Fachserie 19, Reihe 1 Zahlen zum Aufkommen der verschiedenen Abfallarten des Baubereichs sowie die jeweiligen Durchsatzmengen in entsprechenden Aufbereitungsanlagen. Der sich daran anschließende Verwertungsweg wird von Destatis bereits seit dem Jahr 2004 nicht mehr zur Abbildung gebracht. Rückschlüsse hierzu sind lediglich über Angaben zu den abgegebenen Aufbereitungserzeugnissen und der Dokumentation von Mengen im bergbaulichen Einsatz und auf Deponien möglich.

Während den Angaben in Fachserie 19 die Aufschlüsselung nach Europäischem Abfallverzeichnis (EAV) zugrunde liegt, nutzt der Branchenverband „Kreislaufwirtschaft Bau“ für seine Darstellungen in Form von „Monitoringberichten zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle“ eine in der Bau- und Entsorgungspraxis allgemein gebräuchliche Unterteilung von Abfallmaterialien. Beim EAV umfasst die Schlüsselnummer 17 der Bau- und Abbruchabfälle 38 Materialfraktionen, die ggf. weiter in Fraktionen mit gefährlichen Anteilen und parallel stoffgleiche Fraktionen ohne das Prädikat eines gefährlichen Abfalls aufgliedert sind. In den Monitoringberichten wird lediglich nach fünf Hauptfraktionen unterschieden: Bauschutt, Straßenaufbruch, Boden und Steine, Bauabfälle auf Gipsbasis, Baustellenabfälle.

Bild oben:

Quelle: meryll/Fotolia

Die Möglichkeit, Angaben der jeweiligen Quellen wechselseitig zu ergänzen und somit nachzuvollziehen, wird nicht nur durch unterschiedliche Aggregationsebenen erschwert. Auch bei der Bezeichnung von Erzeugnisgruppen und Verwertungsfeldern treten Unterschiede zutage. Als generell wenig aufschlussreich erweist sich die verfügbare Statistik zum Aspekt der tatsächlichen Aufbereitungs- und Absatzintensität (Auflagerung) der Bauabfallstoffe. Offen bleiben auch Fragen, inwieweit aus Abfallbehandlungen sektorübergreifend Recyclingbewegungen resultieren oder in welchen Größenordnungen es zu Ausschleusungen und möglicherweise auch zu einer gegenseitigen Verdrängung von Mengen im Zuge des Recyclings und von Vermarktungsanstrengungen kommt. So nehmen u. a. auch Rezyklate aus Verpackungskunststoffen und -glas in signifikantem Umfang den Weg in Bauanwendungen.

Diese Defizite an Vergleichbarkeit beziehungsweise durchgängiger Transparenz erweisen sich als durchaus nachteilig für das Erkennen und Verstehen der augenblicklichen Realitäten und unausgeschöpften Potenziale bei der Bauabfallverwertung sowie der richtigen Ansätze zur Einflussnahme darauf. Die grundsätzlich wünschenswerte Verbesserung von Materialkreisläufen gilt es aus diesem Grund mit einer transparenteren und differenzierteren Dokumentation von Materialströmen im Bauabfallbereich zu unterstützen.

3.2 Herausforderungen

Die Art des zeitgemäßen Bauens, die Materialvielfalt, aber auch die dem Baubereich gestellten Anforderungen wie Energiesparen, Brand- und Lärmschutz drücken sich letztlich in der Vielfalt der eingesetzten Baustoffe und der Art ihres Verbauens aus. Klebtechnologien und Verbundbaustoffe sind hier hervorzuheben. Materialien, die für sich genommen gut recycelbar sein könnten, werden zu einer großen Herausforderung beziehungsweise zu Kostentreibern des Recyclings oder müssen aufgrund von Problemstoffen oder der nicht mehr gegebenen Trennbarkeit anders entsorgt werden.

Mineralisch: Im Bereich der mineralischen Baumaterialien sind hier beispielhaft Anwendungen wie Textil- und (Stahl-)Faserbeton, gipshaltige Produkte (Gipsputze, Gipsestrich) oder auch Dämmziegel beziehungsweise Dämmelemente mit Aufschäumungen zu nennen.

Glas: Bauanwendungen aus Glas sind mit reinen Glasscheiben der früheren Art kaum noch vergleichbar. In den vielfältigsten Varianten wird mit Bedampfungen, Spezialfolien und anderen Beschichtungen gearbeitet. Fotovoltaikmodule stehen besonders sinnbildlich für Kompositbaustoffe.

Dämmstoffe: Teils gelangen diese schon als Kompositprodukte auf den Markt, vielfach kommt es aber auch im Zuge des Bau- und Sanierungsgeschehens zur Herstellung von quasi untrennbaren Verbindungen. Die Grenzen der Materialtrennung werden hier sogar beim Rückbau schnell erreicht, selbst im positiven Fall sind die getrennten Materialkomponenten durch Anhaftungen (Putz/Kleber am Kunststoff, Kunststoff/Kleber am Mauerwerk) verunreinigt. Für zusätzliche Problematiken haben Zusätze (brandhemmende Additive) und Herstellungs- beziehungsweise Verarbeitungsverfahren (Mineralwolle) gesorgt.

Zusätze/Additive: Diese sollen den Produkten besondere Eigenschaften verleihen, sind aber im Sinne des Schutzes der Umweltmedien (menschlicher Organismus, Grundwasser, Boden) oftmals problematisch.

Selbst im Falle naturbasierter Dämmstoffe sind hier brandhemmende Zusätze (zum Beispiel Borate) zu nennen.

Kunststoffe: Hier sind bspw. Weichmacher, Stabilisatoren (zum Beispiel cadmiumbasiert) und Flammschutzmittel hervorzuheben. Vielfach schränken diese Zusätze (zum Beispiel in expandiertem Polystyrol; aktuell gelten inzwischen auch HBCD-haltige Dämmplatten als gefährlicher Abfall) die Verwertung ein und verteuern somit die Entsorgung insgesamt.

Holz: Bei Holzprodukten können dies Holzschutzmittel, Beschichtungen oder ebenfalls brandhemmende Zusätze sein.

Nicht nur die abfalltechnische Aufbereitung kann schwierig sein, es können auch hohe Qualitätsanforderungen der Bauprodukte den Einsatz von Sekundärmaterial unmöglich machen. Dies ist zum Beispiel bei mineralischen Bauprodukten wie hochfesten Betonen, gefügedichten Leichtbetonen, kunststoffmodifizierten, faser- und textildbewehrten Betonen oder auch sogenannten selbstverdichtenden Betonen der Fall (Schießl 2003). Dies bedeutet eine weitere Begrenzung des Erzeugungspotenzials für RC-Beton neben der ohnehin geltenden Begrenzung nach Exposition des Betons im Bauwerk (derzeit geregelt durch die unterschiedliche Zulässigkeit von Rezyklat nach Expositionsklassen).

Neben diesen technischen Herausforderungen ist eine ganze Reihe weiterer Aspekte zu erwähnen. Zur Akzeptanz und wirtschaftlichen Tragfähigkeit beziehungsweise zu möglichen ökonomischen Anreizinstrumenten sind in der Vergangenheit zahlreiche Studien verfasst worden (zum Beispiel UBA 2012).

Bild rechts:

Quelle: hydebrink/Fotolia





4. Kreislaufwirtschaft – Materialgruppen und Bauproduktgruppen

4.1 Materialgruppe Mineralisch

Betonbruch und Mauerwerksbruch bilden die hauptsächlichen Materialgruppen des Bauschutts. Anders als beim Betonbruch kann Mauerwerksbruch eine sehr facettenreiche Fraktion mit einer außerordentlich großen Bandbreite an möglichen Bestandteilen sein. Das Spektrum erstreckt sich von sortenreinem Ziegel- oder Natursteinbruch bis hin zur absoluten Vermischung von allen erdenklichen mineralisch-basierten Baumaterialien einschließlich Putzen, Gips und Keramikware. Der an Bauschuttzubereitungsanlagen behandelte Mauerwerksbruch hat im Mittel 50 Masse-% Ziegel als Hauptbestandteil.

Die derzeitige Grundlage für die Klassifizierung von Recyclingbaustoffen aus Ziegelrestmassen, Beton oder Mauerwerksbruch wird durch die DIN 4226 gebildet. Die darin festgelegten Typen rezyklierter Gesteinskörnungen unterscheiden sich hauptsächlich durch ihre Gehalte an Mineralstoffen unterschiedlicher Härte und Kerndichte, die als Kriterium für die verschiedenen Verwertungsmöglichkeiten gelten. Entscheidend dabei sind vor allem die Anteile der beiden Materialgruppen Beton und Ziegel. Hohe Betonanteile und grundsätzlich geringe Anteile an geringfesten und nicht mineralischen Materialien sind dabei eine wesentliche Voraussetzung für anspruchsvollere Anwendungen. Reinen Ziegelsplitten, die aber vorwiegend nur als Produktionsabfälle anfallen, wird die Eignung als Zuschlag für Leichtbetone zugesprochen.

Mauer- und Dachziegel sind grundsätzlich ein ökologisch wenig bedenkliches Baumaterial. Vor dem Hintergrund der Verschärfung des Rechtsbestandes zum Boden- und Wasserschutz wurde eine Diskussion um im Ziegel eingebundene Vanadiumkonzentrationen und mögliche Übergänge in den Grundwasserkörper geführt, die auch auf zukünftigen Recyclingüberlegungen lastet.¹ Neben dem sortenreinen Anfall sind Ziegel am häufigsten in Mauerwerksbruch enthalten, wo sie gemischt beziehungsweise unsortiert zusammen mit Naturstein, Mörtel- und Putzanteilen vorliegen (Müller 2003). Mit einfachen Aufbereitungsanlagen lässt sich eine Abtrennung, insbesondere von Mörtel- und Putzresten, recht gut herbeiführen, um sauberen Ziegelsplitt zu erhalten. Allerdings ist eine Trennung in Hart- und Weichbrandziegel kaum möglich. Untersuchungen, durchgeführt an der Ruhr-Universität Bochum (Kollar 2004), unterstreichen die sehr unterschiedlichen Anfallzustände von Ziegelmaterial aus Gebäudeabbrüchen. Porenbeton und Kalksandstein gehören in

Bild oben:

Quelle: Ingo Bartussek/Fotolia

¹ Siehe u. a. Fachgespräch „Geringfügigkeitsschwellenwert Vanadium“ vom Dezember 2008 im Umweltbundesamt in Berlin.

zunehmendem Umfang zu den Bestandteilen von sogenanntem Mauerwerksbruch. Die stets vorhandene Heterogenität dieser Rezyklate aus Mauerwerksbruch und die nicht völlig auszuschließenden Anteile an betonschädigenden Inhaltsstoffen erschwert einen Einsatz im Hochbau, sodass in breiterem Umfang derzeit die Verwendung als Schütt- oder Unterbaumaterial im Straßen-, Wege- oder Landschaftsbau beziehungsweise als Grundstoff für Lärmschutzwälle stattfindet. Nicht zu unterschätzen sind die Mengen an mineralischen RC-Produkten, die potenziell im Tiefbau des Hochbaus eingesetzt werden könnten (Außenanlagen, Leitungs- und Wegebau, Bodenaustausch auf der Grundstücksfläche der Hochbaumaßnahme).

Eine eigene Problemkategorie ist der Sulfatgehalt im mineralischen Bauschutt durch Gipsanteile. Können diese Anteile nicht ausreichend aussortiert werden, sind RC-Bemengungen im Beton nicht möglich. Neben den Gipskartonplatten und den Gipswandbauplatten haben sich seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts Kalkgipsputze und Gipsestriche aufgrund von Verarbeitungsvorteilen am Markt durchgesetzt. In den Bau- und Abbruchabfällen muss in Zukunft generell mit einem erhöhten Anteil an gipshaltigen Fraktionen gerechnet werden. Leider gibt es derzeit kein wirtschaftliches Verfahren zur Abtrennung von Putzen auf der Baustelle. Estriche wiederum bilden selten abfallwirtschaftlich greifbare Fraktionen, die unter dem Aspekt einer weiteren Nutzung mengenmäßig gesondert behandelt und nachverfolgt werden könnten. Gipsplattenabfälle fallen, außer bei der Sanierung und beim Rückbau von Gebäuden und Gebäudeteilen, auch schon als Verschnitt bei der Herstellung und beim Einbau an. Inzwischen haben sich zumindest für diese Fraktion Getrennterfassungs- und Rückführungssysteme etabliert. Mehrere Aspekte steigern die Recyclinganstrengungen: Bei der Bauschuttverwertung wurde der zulässige Sulfatgehalt herabgesetzt. Damit steigt der Zwang, Gipsabfälle zukünftig sehr stark aus den Materialfraktionen des Bauschutts herauszuhalten und separat zu entsorgen. Außerdem lässt die umweltpolitisch verfolgte Reduzierung der Stromgewinnung aus Stein- und Braunkohle perspektivisch eine deutliche Verringerung des Aufkommens an REA-Gips erwarten. Dies, gepaart mit der positiven Prognose für den weiteren Einsatz von Gipsbaustoffen, wird die Nachfrageintensität nach sekundären Ausgangsstoffen für die Erzeugung von Gipsprodukten deutlich erhöhen. Positiv ist auch der Umstand, dass der festigkeitsbildende Prozess bei der Gipsplattenherstellung, die Rehydratation, reversibel ist. Bereits erhärteter Gips kann durch eine entsprechende thermische Behandlung seine ursprüngliche Reaktionsfähigkeit mit Wasser wiedererlangen. Ausreichend reiner Gips kann dadurch vollwertig und ohne wesentlichen Verlust an bautechnischer Leistungsfähigkeit recycelt und mehrfach verwendet werden.

Eine zweite Problemkategorie ist die Feinfraktion. Bei der für die Erzeugung gütegesicherter Recyclingbaustoffe notwendigen Bauschuttzubereitung fällt durch mechanische Beanspruchung ein erheblicher Anteil des Anlagen-Inputs als feinkörnige Fraktion an (feine Gesteinskörnungen < 2 mm). Dieser sogenannte Brechsand besitzt nicht nur äußerst schwierige Bedingungen für die weitere Aufbereitung, sondern meist liegen darin die für anspruchsvolle Verwendungen nachteiligen Stoffkomponenten auch in erhöhter Konzentration vor (geringfeste Bestandteile, Gipsanteile, Zementstein) (UBA 2013). In grober Schätzung resultiert daraus allein für gut die Hälfte der Anfallmenge an Bauschutt die Notwendigkeit einer anderen Nutzung als die Wiederverwendung im ursprünglichen Sinne.

Ein weiteres Problem ist der oben genannte Einsatz von Verbundbaustoffen auch im mineralischen Bereich, wie bspw. Textil- oder (Stahl-)Faserbeton oder verschiedene Mauerwerkssteine mit Dämmstoffeinschlüssen. In der Aufbereitung Letzterer entsteht hier das Problem, dass zum Erhalt reiner Mineralstofffraktionen sogar ein gezieltes Brechen auf kleinere Korngrößen stattfinden muss, wodurch sich jedoch der Feinstoffanteil weiter erhöht und die Ausbeute pro Inputmenge abnimmt. Teilweise lässt sich die endgültige Trennung auch nur über Nassbehandlung (Schwimm-Sink-Trennung) herbeiführen, das heißt, es entsteht ein zusätzlicher Aufbereitungsaufwand oder die nicht klassisch wieder zurückführbaren Mineralstoffmengen nehmen weiter zu.

Materialgruppe Mineralisch**Bauproduktgruppe Beton**

Beton C 8/10, Beton C 12/15 – C16/20, Beton C 20/25 – C25/30, Leichtbeton, Porenbeton, Holzbeton, Beton-Hohlblocksteine, Beton-Hüttensteine, Betondachsteine

Bemerkungen:

Zuflüsse aus anderen Branchen: Verwendungsanteil industrieller Nebenprodukte (zum Beispiel Flugasche, Hüttsand) insbesondere in Vorstufen relevant, aus anderen Bauproduktgruppen Anteile in RC-Gesteinskörnung durch Mauersteinbruch (u. a. Ziegel, Kalksandstein)

Abflüsse in andere Branchen: dominanter Massestrom von Betongranulat in den Tief-/Straßenbau, Deponiebaumaterial

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Einsatz von Betonbruch als rezyklierte Gesteinskörnung im Betonbau

RC-Anteilsverhältnisse	wesentliche Optimierungshürden	verfolgte Optimierungsansätze
<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Durch DAfStb-Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 begrenzt auf Betonanwendungen bis zur Festigkeit C30/37; abhängig von Exposition des Betons und Art des verwendeten Liefertyps Obergrenze von 45 Vol.-% Gesteinskörnungsanteil für Betonbruch >2 mm (findet bisher faktisch kaum Anwendung, gemessen am Gesamteinsatzvolumen an Gesteinskörnung für den Betonbau liegt der derzeit realisierte Anteil bei unter 0,5%; in begleiteten Einzelvorhaben beläuft sich der Anteil rezyklierter Gesteinskörnung in der Regel auf 25 bis 30 %). <p>EU-weit beträgt laut aktueller Aussage zu einem europäischen Bauforschungsprojekt die Wiedereinbringung von aufbereitetem Betonbruch in Betonanwendungen ca. 6 %.</p> <p>Demonstration/Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › In verschiedenen Demonstrationsversuchen (u. a. EMPA/TFB-Untersuchungen Recyclingbeton aus Beton- und Mischabbruchgranulat) wurde bereits gezeigt, dass qualitativ vollwertige Betone mit 90 % und mehr Rezyklatanteil an der Gesteinskörnung herstellbar sind. <p>Zusatzvermerk</p> <p>Im Tiefbaueinsatz als Schüttmaterial (Trag-, Frostschutzschichten) kann geeigneter Betonbruch natürliches Gesteinsmaterial vollständig substituieren.</p>	<p>Reinheit des Betonbruchs ist selten von sich aus gegeben, üblicherweise treten Anhaftungen, Verschmutzungen und die Vermischung mit Fremdmaterialien auf (besonders problematisch Gips, Erdanhaftungen); mit den Möglichkeiten der weithin gängigen Aufbereitung ist die notwendige Reinheit nur schwer beziehungsweise nicht wirtschaftlich herbeiführbar;</p> <ul style="list-style-type: none"> › qualitativ hochwertiger Betonbruch wird anderweitig ausreichend nachgefragt; › Rahmenbedingungen zur wirtschaftlichen Realisierung dieses speziellen Recyclingweges sind noch ungünstig; auch die Notwendigkeit dafür ist gering, solange anderweitig Betonbruch als Ersatzbaustoff nachgefragt wird; › Unsicherheiten sowie fehlende Kenntnis und Erfahrung, was die tatsächliche Umsetzung und dabei mögliche Vorteile, aber auch Schwierigkeiten betrifft; das Fehlen/Bekanntsein standardisierter Anwendungsfälle, demgegenüber werden Risiken, Negativerscheinungen und mögliche Zusatzaufwendungen noch relativ stark kommuniziert. 	<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Mithilfe spezieller Förderungen und Demonstrationsbauten wird derzeit versucht, wirtschaftliche Barrieren abzubauen und Vorzeigeobjekte für das Bauen mit RC-Beton zu erschaffen (siehe zum Beispiel www.rc-beton.de). Erwartet wird daraus eine größere Sensibilisierung für die Machbarkeit derartiger Bauweisen und ein Abbau an Unsicherheit und Unkenntnis im Zusammenhang mit Recyclingbeton. <p>Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Man ist weiterhin darum bemüht, geeignete Wege und Verfahren zur Gewährleistung der notwendigen Reinheit und stofflichen Eignung der Rezyklate zu finden beziehungsweise zu entwickeln. Hierbei wird auch wieder verstärkt mit besonderen Aufschlussverfahren experimentiert, darunter mit elektrischen Impulsen und Schallwellen (siehe Elektrodynamische Fragmentierung am Fraunhofer-Institut für Bauphysik). Auch an Verwendungen für die Aufbereitungsprodukte, insbes. die Feinkornfraktion, und für Mischfraktionen wird weiter geforscht, Demonstrationsversuche an der Bauhaus-Universität Weimar haben die Eignung von heterogenem Mauerwerksbruch als Rohstoff für die Herstellung leichter Gesteinskörnungen und deren bauseitige Weiterverwertung gezeigt.

Bemerkungen:

Zuflüsse aus anderen Branchen: in vernachlässigbarer Größenordnung Gießereialsand, porosierende Stoffe (EPS, Papierschlämme) und dämmende Zusätze (EPS, Zellulosefasern)

Abflüsse in andere Branchen: als Splitte und Mehle im Tiefbau, Landschafts- und Sportstättenbau, in Garten- und Dachsubstraten; anteilig in RC-Gesteinskörnungen

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Einsatz von Ziegelbruch zur Erzeugung von Mauerwerkssteinen beziehungsweise in Beton

RC-Anteilsverhältnisse	wesentliche Optimierungshürden	verfolgte Optimierungsansätze
<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Je nach Voraussetzungen und Verfahren am Produktionsstandort findet reiner Ziegelbruch als Magerungsmittel in der Produktion von Klinker, Hohlloch- und Vormauerziegeln in unterschiedlichen Anteilsverhältnissen Verwendung. Dies ist jedoch kein Produktionsstandard. › Mauersteine aus Ziegelrezyklat werden derzeit großtechnisch beziehungsweise in marktrelevanten Mengen nicht erzeugt; in der Vergangenheit waren Speicherziegel mit 70 % Ziegelsplittanteil sowie unter Verwendung von Ziegelrezyklat hergestellte RC-Mauersteine und Schornstein-Mantelsteine bereits als Produktinnovation am Markt verfügbar (u. a. in Österreich). › Ziegel sind zulässiger Bestandteil von RC-Gesteinskörnungen, darunter auch von Gesteinskörnungen für Beton gemäß DIN EN 12620:2008-07, deren weiterer Einsatz sich an der DAFStb-Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 ausrichtet; im Maximalfall könnte sich der Anteil Hartbrandziegel in der RC-Gesteinskörnung dabei auf 30 % belaufen (bisher findet dies keine praktische Realisierung und Gesteinskörnungen mit Ziegelanteilen gelangen im Betonbau nicht zur Verwendung). <p>Demonstration/Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Verschiedene Demonstrationsversuche (u. a. EMPA/TFB-Untersuchungen Recyclingbeton aus Beton- und Mischabbruchgranulat) haben gezeigt, dass Betone mit den benötigten Eigenschaften unter Einsatz von RC-Gesteinskörnungen mit Ziegelanteilen bis zur zulässigen Größenordnung (s.o.) erzeugbar sind; generell gilt aber momentan die Orientierung, den Masseanteil bei maximal 5 % zu belassen. <p>Zusatzvermerk</p> <ul style="list-style-type: none"> › Im Tiefbaueinsatz als Schüttmaterial (Tragschichten) regeln die DIN EN 13242 beziehungsweise TL Gestein-StB u. TL SoBStB den zulässigen Anteil an Ziegelmaterial (derzeit max. 5 M.-%); in Laboruntersuchungen und Tests konnte nachgewiesen werden, dass ohne Einbußen bei den Zieleigenschaften die derzeit geregelten Anteile noch erhöht werden könnten (bis zu 40 M.-% scheinen möglich). 	<ul style="list-style-type: none"> › Die Reinheit des Ziegelbruchs stellt das Hauptproblem dar: Ziegel sind in der Regel in Mauerverbänden verarbeitet, womit üblicherweise Anhaftungen und Vermischungen mit Fremdmaterialien vorliegen; die Trennung der Verbände beziehungsweise Abtrennung der Anhaftungen ist aufgrund der Materialspröde beziehungsweise -weichheit des Ziegels problematisch und bedeutet hohe Materialverluste. › Rahmenbedingungen zur wirtschaftlichen Realisierung von Massenrecyclinglösungen, basierend auf gereinigtem Ziegelmaterial oder speziell eingestellten Materialmischungen, sind noch ungünstig. 	<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Mithilfe spezieller Förderungen und Demonstrationsbauten wird derzeit versucht, erneut Aufmerksamkeit auf die Machbarkeit des Einsatzes ziegelhaltiger RC-Gesteinskörnungen im Betonbau (siehe zum Beispiel www.rc-beton.de) zu lenken und eine Akzeptanz aufzubauen. <p>Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Forschung und Demonstrationsversuche u. a. an der Bauhaus-Universität Weimar haben die Eignung von heterogenem Mauerwerksbruch als Rohstoff für die Herstellung leichter Gesteinskörnungen und deren bauseitige Weiterverwertung gezeigt. › Über Forschung, die speziell auf den Einsatz von Ziegelrezyklat orientiert ist, ist derzeit nichts bekannt; es wird aber weiterhin an Produktinnovationen unter Mitverwendung von Ziegel gearbeitet (u. a. Dach- und Landschaftsbauanwendungen).

Bemerkungen:

Zuflüsse aus anderen Branchen: nein

Abflüsse in andere Branchen: anteilig in RC-Gesteinskörnungen und Verwendung im Tiefbau; ansonsten vernachlässigbare Abflüsse (zum Beispiel landwirtschaftlicher Bereich)

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Einsatz von Kalksandsteinbruch zur Erzeugung von Mauerwerkssteinen beziehungsweise in Beton

RC-Anteilsverhältnisse	wesentliche Optimierungshürden	verfolgte Optimierungsansätze
<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Je nach Voraussetzungen und Verfahren am Produktionsstandort findet reiner Kalksandsteinbruch aufgemahlen wieder Einsatz in der Produktion. Hierbei handelt es sich aber in der Regel um betriebsinterne Kreisläufe, das heißt, die Rückführung von Produktionsbruch und Fehlchargen. ➤ Mauersteine aus Kalksandsteinrezyklat werden derzeit großtechnisch nicht erzeugt. ➤ Kalksandstein ist ein zulässiger Bestandteil von RC-Gesteinskörnungen, darunter auch den Gesteinskörnungen für Beton gemäß DIN EN 12620:2008-07, deren weiterer Einsatz sich an der DAfStb-Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 ausrichtet; als Bestandteil des mineralischen Nichtbetonanteils in der Gesteinskörnung gelten die maximalen Einsatzgrenzen wie für Ziegel, wobei die Orientierung derzeit auf maximalen 5 % Masseanteil liegt. <p>Demonstration/Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Verschiedene Demonstrationsversuche (u. a. AiF-Forschung: Verwendung von Kalksandstein-Recyclingmaterialien als Zuschlag für die Herstellung von Betonbauteilen) haben die Möglichkeit aufgezeigt, bis 10 Vol.-% rezykliertes Kalksandsteingranulat (rein, aus Verschnittmengen gewonnen) zur Erzeugung von Hochbaubeton (Expositionsklassen XF 1, Außenbauteile) einsetzen zu können, für Innenbeton mit moderater Festigkeit (max. C25/30) könnte der Anteil auf 20 Vol.-% gesteigert werden. <p>Zusatzvermerk</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Im Tiefbaueinsatz als Schüttmaterial (Tragschichten) regeln die DIN EN 13242 beziehungsweise TL Gestein-StB u. TL SoBStB den zulässigen Kalksandsteinanteil (derzeit max. 5 M.-%), in Laboruntersuchungen und Tests konnte nachgewiesen werden, dass ohne Einbußen bei den Zieleigenschaften die derzeit geregelten Anteile noch erhöht werden könnten (bis zu 40 M.-% scheinen möglich). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Die Reinheit des Kalksandsteinbruchs stellt das Hauptproblem dar: Kalksandsteine sind in der Regel in Mauerverbänden verarbeitet, womit üblicherweise Anhaftungen und Vermischungen mit Fremdmaterialien vorliegen (besonders problematisch Gipsreste, Kleber, Holz); mit den Möglichkeiten der weithin gängigen Aufbereitung ist die notwendige Reinheit kaum beziehungsweise nicht wirtschaftlich herbeiführbar, die Trennung der Verbände beziehungsweise Abtrennung der Anhaftungen ist auch aufgrund der Materialeigenschaften des Kalksandsteins problematisch und bedeutet hohe Materialverluste. ➤ Rahmenbedingungen zur wirtschaftlichen Realisierung von Massenrecyclinglösungen, basierend auf gereinigtem Kalksandstein oder speziell eingestellten Materialmischungen, sind noch ungünstig. 	<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Derzeit sind außerhalb eines Forschungsrahmens keine masserelevanten Ansätze bekannt. <p>Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Forschungsvorhaben mit Demonstrationskomponenten existieren für die Verwendung von Kalksandsteinrezyklaten zur Herstellung spezieller Recycling-Steine und zur Schaffung von Recyclinglösungen für Mauerwerksabbruch mit Kalksandsteinanteilen (Projektserie SIM: Stoffkreislauf im Mauerwerksbau – siehe www.kalksandstein.de/bv_ksi/stoffkreislauf-im-mauerwerksbau-sim.php?page_id=80072), Demonstrationsversuche u. a. an der Bauhaus-Universität Weimar haben die Eignung von heterogenem Mauerwerksbruch als Rohstoff für die Herstellung leichter Gesteinskörnungen und deren bauseitige Weiterverwertung gezeigt. ➤ Es wird außerdem weiter an Produktinnovationen unter Mitverwendung von Kalksandstein gearbeitet (u. a. Vegetationssubstrate).

Bemerkungen:

Zuflüsse aus anderen Branchen: nein

Abflüsse in andere Branchen: anteilig in RC-Gesteinskörnungen und Verwendung im Tiefbau; ansonsten vernachlässigbare Abflüsse (zum Beispiel Herstellung Flüssigkeitsbinder, Klimaschutzbaustoff f. Deponien)

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Einsatz von Porenbetonbruch zur Erzeugung von Mauerwerkssteinen beziehungsweise in Beton

RC-Anteilsverhältnisse	wesentliche Optimierungshürden	verfolgte Optimierungsansätze
<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Je nach Voraussetzungen und Verfahren am Produktionsstandort findet reiner Porenbetonbruch aufgemahlen wieder Einsatz in der Produktion. Hierbei handelt es sich aber in der Regel um betriebsinterne Kreisläufe, das heißt, die Rückführung von Produktionsbruch und Fehlchargen. › Mauersteine aus Porenbetonrezyklat werden derzeit großtechnisch nicht erzeugt. › Porenbeton ist ein zulässiger Bestandteil von RC-Gesteinskörnungen, darunter auch von Gesteinskörnungen für Beton gemäß DIN EN 12620:2008-07, deren weiterer Einsatz sich an der DAfStb-Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 ausrichtet; als Bestandteil des mineralischen Nichtbetonteils in der Gesteinskörnung gelten 3% Masseanteil als maximale Grenze, wobei derzeit Gesteinskörnungen möglichst porenbetonfrei zum Einsatz gebracht werden. <p>Demonstration/Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Demonstrationen zur Erzeugung von Mauerwerkssteinen auf Basis von rezykliertem Porenbeton sind sowohl von der Bauhaus-Universität Weimar wie auch vom Institut für Werkstofftechnik/Amtliche Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen bekannt. Die Recyclingsteine bestehen vollständig aus den erzeugten Leichtzuschlägen und üblichen Zusätzen an Bindemitteln. <p>Zusatzvermerk</p> <ul style="list-style-type: none"> › Im Tiefbaueinsatz als Schüttmaterial (Tragschichten) regeln die DIN EN 13242 beziehungsweise TL Gestein-StB und TL SoBStB den zulässigen Porenbetonanteil, in Laboruntersuchungen und Tests konnte nachgewiesen werden, dass ohne Einbußen bei den Ziel-eigenschaften die derzeit geregelten Anteile noch erhöht werden könnten. 	<ul style="list-style-type: none"> › Die Reinheit des Porenbetonbruchs stellt das Hauptproblem dar: Porenbetone sind in der Regel in Mauerverbänden verarbeitet, womit üblicherweise Anhaftungen und Vermischungen mit Fremdmaterialien vorliegen; mit den Möglichkeiten der weithin gängigen Aufbereitung ist die notwendige Reinheit kaum beziehungsweise nicht wirtschaftlich herbeiführbar, die Trennung der Verbände beziehungsweise Abtrennung der Anhaftungen ist aufgrund der Materialbeschaffenheit (Festigkeit) des Porenbetons problematisch und bedeutet hohe Materialverluste. › Rahmenbedingungen zur wirtschaftlichen Realisierung von Massenrecyclinglösungen, basierend auf gereinigtem Porenbeton oder speziell eingestellten Materialmischungen, sind noch ungünstig. 	<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Derzeit sind außerhalb eines Forschungsrahmens keine masserelevanten Ansätze bekannt. <p>Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Vom IAB erforscht und demonstriert wurde die Trennbarkeit von Leichtbeton und Gipsputz mit dem Ergebnis einer ca. 90%igen Rückgewinnbarkeit der Leichtbetonbestandteile und deren Nutzbarkeit zur Erzeugung von vielfältig einsetzbaren Aufbaukörnungen. › Die Schaffung von Recyclinglösungen für Mauerwerksabbruch u.a. mit Porenbetonanteilen ist auch Bestandteil der Projektserie SIM: Stoffkreislauf im Mauerwerksbau – siehe www.kalksandstein.de/bv_ksi/stoffkreislauf-im-mauerwerksbau-sim.php?page_id=80072; Demonstrationsversuche u.a. der Bauhaus-Universität Weimar haben die Eignung von heterogenem Mauerwerksbruch als Rohstoff für die Herstellung leichter Gesteinskörnungen und deren bauseitige Weiterverwertung gezeigt. › Produktinnovationen, wie zum Beispiel die Entwicklung von Pflanzensubstraten und der Einsatz als Methan abbauender Klimaschutzbaustoff/Deponiebaustoff, werden intensiv verfolgt.

Materialgruppe Mineralisch**Bauproduktgruppe Gipskarton**

Gipskartonplatten, Gipsfaserzementplatten. Im Modell möglicherweise Unterschätzung der Output-Mengen, da jährliche Sanierungsrate zum Beispiel für den Wohngebäudebestand mit 2,5 % angesetzt wird und bisher keine Vollerfassung bei Nichtwohngebäuden möglich ist.

Bemerkungen:

Zuflüsse aus anderen Branchen: nein, aber Verwendungsanteil von REA-Gips als industriellem Nebenprodukt ist signifikant

Abflüsse in andere Branchen: Deponiebau, Haldenabdeckung (inzwischen eingeschränkt beziehungsweise eingestellt)

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Einsatz von Gipskartonbruch zur Herstellung neuer Gipsplatten

RC-Anteilsverhältnisse	wesentliche Optimierungshürden	verfolgte Optimierungsansätze
<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Je nach Voraussetzungen und Verfahren am Produktionsstandort findet reiner Gipskartonbruch aufgemahlen wieder Einsatz in der Produktion. Hierbei handelt es sich aber in der Regel um betriebsinterne Kreisläufe, das heißt die Rückführung von Produktionsbruch und Fehlchargen. › Die großtechnische Erzeugung von Gipskarton aus gesammelten Gipskartonabfällen befindet sich in Deutschland derzeit erst im Aufbau beziehungsweise pilottechnischem Stadium, dauererprobte Anwendungen existieren aber bereits in anderen Ländern (zum Beispiel Dänemark, Kanada, UK), von wo versucht wird, das Know-how auf Deutschland zu übertragen. <p>Demonstration/Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Bei den im Ausland bereits praktizierten und in Deutschland im demonstrationsweisen Aufbau begriffenen Ansätzen wird von bis zu 30 % rezykliertem Anteil am Gips-Input (94 % des Plattenmaterials) ausgegangen; durchschnittlich soll sich der Anteil bei 20 bis 25 M.-% bewegen. › Forschung beziehungsweise Tests haben auch die Machbarkeit mit bis zu 50 M.-% Anteil an rezykliertem Gips gezeigt. <p>Zusatzvermerk</p> <ul style="list-style-type: none"> › Die Ausschleusung von Gips aus dem Bauabfall bildet ein steigendes Erfordernis, um die Verwertbarkeit der anderen Baumaterialströme zu sichern. Insofern werden separate Recyclinglösungen für diese Produktgruppe auch zwangsläufig benötigt und entwickelt werden. 	<ul style="list-style-type: none"> › Die erzielbare Reinheit rückgebauter Gipsabfälle ist als ein wesentliches Problem zu sehen: Baugipse, zum Beispiel in Putzen, Mörtel oder Gipsestrichen, lassen sich nach derzeitiger Einschätzung kaum separat zurückbauen, ihr prognostizierter Anteil am Gipsaustrag dürfte jedoch perspektivisch in der Größenordnung von 50 % des Gipsaustrags liegen; mit den Möglichkeiten der weithin gängigen Aufbereitung ist die notwendige Reinheit kaum beziehungsweise nicht wirtschaftlich herbeiführbar, die Trennung der Verbünde beziehungsweise Abtrennung der Anhaftungen ist aufgrund der Materialbeschaffenheit (Festigkeit) des Gipses problematisch und bedeutet hohe Materialverluste. › Aufgrund der hygroskopischen Eigenschaften von Gips sind unkontrollierbare Stör-/Schadstoffeinträge durch Wasser am Abbruchort nicht auszuschließen. › Rahmenbedingungen zur wirtschaftlichen Realisierung von Massenrecyclinglösungen sind noch ungünstig (u.a. Deponiepreise, Abfallexporte in Anrainerstaaten); hinzu kommen logistische Problematiken, da Gipsabfälle nicht konzentriert in hoher Masse anfallen und zur Aufbereitung zusammengeführt werden müssen. › Die wiedereinsetzende Gipsindustrie sieht im fehlenden Abfallende-Status für aufbereiteten Gips eine Umsetzungshürde, eine endgültige Rechtssicherheit in der Frage fehlt bisher. 	<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Bestrebungen, in Deutschland eine flächendeckende Getrennterfassung von Post-Consumer-Gipskartonabfällen und Recyclingkreisläufe nach dem Vorbild anderer Länder (zum Beispiel Gypsum Recycling) zu etablieren, wachsen. <p>Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Im Vordergrund stehen die Möglichkeiten der Abtrennung von Gipsbestandteilen aus anderen Bauabfallmaterialien beziehungsweise die Reinigung solcher Materialien vom Gips; BAM und Bauhaus-Universität Weimar haben dazu zum Beispiel die Ansätze untersucht und Machbarkeiten demonstriert. Gleiches erfolgte vom IAB speziell für die Trennbarkeit von Leichtbeton und Gipsputz mit dem Ergebnis einer weitgehenden Rückgewinnbarkeit von Gips- und Leichtbetonbestandteilen und deren Anschlussnutzung. › Zur Trennung im Aufbereitungsprozess hat die Forschung die besten Ergebnisse über sensorgestützte Sortierung sowie durch Anwendung thermischer Verfahren gezeigt. Im thermischen Verfahren gelingt die vollständige Entfernung aus dem Bauschutt mit anschließender Rückgewinnbarkeit als REA-Gips aus dem Rauchgas; außerdem wird eine leichte Gesteinskörnung erzeugt, die zur Herstellung konstruktiven Leichtbetons genutzt werden kann. Die einfachere zu realisierende Dichtesortierung bringt geringere Austragsraten und wiederum ein kaum verwertbares Leichtgut hervor.

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Aufbereitung als Zuschlag zur Zementherstellung (Vermahlung mit Zementklinker)

Praxis: Bezogen auf den Gesamtrohstoffeinsatz bei der Zementproduktion, ist ein Anteilsverhältnis von 5 bis 8 M.-% darstellbar, das aus rezykliertem Gips gedeckt werden könnte.

4.2 Materialgruppe Glas

Für das im Bausektor eingesetzte und dort getrennt erfassbare Flachglas gibt es in Deutschland heute (wie im Behälterglasbereich) ein flächendeckendes Sammel-, Aufbereitungs- und Verwertungsnetz, obwohl die sekundäre Verwendung schwierig ist. Nach Angaben der Fachserie 19 betrug die Menge an Glas, welches in Deutschland als Teil der Bauabfälle nach Europäischem Abfallverzeichnis (Schlüsselnummern 17 02 02) getrennt erfasst und behandelt wurde, im Jahr 2010 etwa 201 000 Tonnen. Von dieser Glasmenge wurde demzufolge ein Anteil von 13 500 Tonnen auf Deponien entsorgt. Wegen der hohen Qualitätsanforderungen, zum Beispiel beim Sicherheitsglas oder bei Autoscheiben, stößt der Wiedereinsatz in den Floatwannen derzeit noch an technische Grenzen. Schon kleinste Verunreinigungen (< 0,05 %) können Brechzahl oder Farbkonsistenz des Endproduktes beeinflussen. Überaus wichtig ist daher der Reinheitsgrad des Altglases. Bereits Sammel- und Transportbehälter müssen absolut sauber sein, damit keine störenden Materialien in das Recyclinggut gelangen. Dazu zählen Keramik, Steine, Porzellan, Bauschutt, Metalle, Fensterkitt, Kunststoffe, feuerfestes Glas oder Glaskeramik – vielfach also Materialien, die vom eigentlichen Glas nicht grundverschieden sind und daher nur mit besonderen Vorkehrungen oder Sortieraufwendungen aus dem Materialstrom herausgehalten werden können. Schon produktbedingte Fremdstoffe (zum Beispiel auf Scheiben aufgebrauchte oder darin integrierte Heizdrähte und Folien) bedürfen eines hohen Abtrennaufwandes. Aufbereitung mit Röntgenfluoreszenz ermöglicht als eine Variante das Erkennen von kritischen Bestandteilen wie Glaskeramik und Bleiglas. Grundsätzlich gilt daher für Material zur sekundären Nutzung zunächst die Unterscheidung anhand folgender zwei Sortenkriterien:

- klare Floatscherben, die ohne Aufbereitung dem Schmelzprozess wieder zugeführt werden können
- Flachglasscherben, die einem Aufbereitungsprozess unterzogen werden müssen

Für aufbereitete Flachglasscherben gibt es mehrere Verwendungsmöglichkeiten. Diese reichen vom Wiedereinsatz in der Floatglasproduktion über die Herstellung von Gussglas, Behälterglas, Dämmwolle, Schmirgelpapier bis hin zur Produktion von Glasbausteinen. Sie sind also für den Hochbaubereich durchaus von Bedeutung. Bei der Floatglasherstellung sind es allerdings derzeit noch die hochreinen Produktionsscherben, die vor allem als Sekundärmaterial für den Prozess genutzt werden. Anteilsmäßig können sie zwischen 20 und 40 % am Material-Input des Endproduktes ausmachen. Fremdscherben müssen aufwendig aufbereitet werden. Die Wiederverwendungsraten von Sekundärscherben aus Abbruch betragen je nach Hersteller 8 bis 15 %; Behälterglasscherben sind bei diesen nur eine Ausweichlösung, wenn unzureichend Flachglasabfall akquiriert werden kann.

Die Erzeugung von Schaum- und Blähglas ist weniger anspruchsvoll und wird bereits großtechnisch unter Einbringung hoher Anteile von recyceltem Glas (> 66 %) realisiert. Bei Schaumglas ist dies vielfach Flachglasrezyklat, das aus Auto- und Fensterscheiben gewonnen wird. Wie für Blähglas finden aber auch Behälterglasscherben Anwendung. Schaumglas ist ein durch Zugabe von Kohlenstoff werksmäßig aufgeschäumter, geschlossenzelliger Werkstoff aus Glas; Blähglas wird auf ähnliche Weise erzeugt. Schaumglas findet breite Verwendung für Dämmstoffanwendungen, Blähglas hat durch gezieltere Formgebungsmöglichkeiten noch ein etwas breiteres Verwendungsspektrum. Es wird wie einige Schaumglasprodukte auch häufig für Ausgleichs- und Dämmschüttungen verwendet. Glasschaumschotter, -platten und -schüttungen basieren sogar auf bis zu 100 % Altglas. Indem Schaumglas wieder eingeschmolzen wird, ist auch ein vollständiger Materialkreislauf prinzipiell möglich. Ebenfalls zu 100 % aus recycelten Glaschargen hergestellt wird Revitro, ein Baumaterial vor allem für den Garten- und Landschaftsbau, für Weg- und Parkplatzgestaltungen sowie zur Schaffung von Objektakzenten.

Bemerkungen:

Exportüberschuss 2010 rund 18 %, Gesamtproduktionsmenge nach Verbandsangabe: 2,2 Mio. Tonnen.

Zuflüsse aus anderen Branchen: signifikant (Verpackungsbereich)

Abflüsse in andere Branchen: gering (Verpackungsbereich)

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Einsatz von Flachglasbruch zur Flachglaserzeugung

RC-Anteilsverhältnisse	wesentliche Optimierungshürden	verfolgte Optimierungsansätze
<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Je nach Voraussetzungen und Verfahren am Produktionsstandort findet reiner Flachglasbruch wieder Direkteinsatz in der Produktion. Hierbei handelt es sich um betriebsinterne Kreisläufe, das heißt, die vollumfängliche Rückführung von Produktionsbruch und Fehlchargen, der Anteil sogenannter Eigenscherven überwiegt (auch mangels ausreichender Verfügbarkeit geeigneter Abfallscherben) derzeit im zurückgeführten Scherbenanteil. ➤ Der Input an recyceltem Glas im Neuglas liegt zusammen mit den Eigenscherven inzwischen bei bis zu 40 %, nur auf Abfallscherben bezogen sind es in der Regel zwischen 10 und 25 M.-%. Hierbei kann ggf. auch auf andere Scherbenarten (Behälterglas) zurückgegriffen werden. <p>Demonstration/Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Prinzipiell ist eine Machbarkeit der Flachglaserzeugung mit Altscherben auch oberhalb des bisherigen RC-Anteils nachgewiesen, mit ca. 50 % wird derzeit eine qualitativ-technische Einsatzgrenze benannt. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Die Reinheit der wiedereingebrachten Scherben hat oberste Priorität, da der Herstellungsprozess äußerst sensibel gegenüber Verunreinigungen beziehungsweise Störstoffen ist; entsprechend saubere Scherben zu bekommen beziehungsweise zu erzeugen ist schwierig und teilweise höchst aufwendig. ➤ Rahmenbedingungen zur wirtschaftlichen Realisierung von Massenrecyclinglösungen sind noch ungünstig. Hinzu kommen logistische Problematiken, da Flachglasabfälle nur in Ausnahmefällen konzentriert in hoher Masse anfallen und somit für eine wirtschaftliche Aufbereitung zusammengeführt werden müssen. 	<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Der Ausbau der getrennten Flachglaserfassung und -logistik wird weiterverfolgt. ➤ Ausstattung der Sortier- und Aufbereitungsbetriebe mit hochwertiger Detektions- und Trenntechnik, um noch bessere Aufbereitungsergebnisse zu erzielen und die Verfügbarkeit geeigneter Scherbensortimente am Markt zu erhöhen (zzt. eher Versorgungsengpässe). <p>Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Die Weiterentwicklung der Detektions- und Trenntechnik beziehungsweise Verfahren wird intensiv betrieben.

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Einsatz von Flachglasbruch zur Erzeugung anderer Bauprodukte**Praxis**

Für die Flachglasproduktion nicht verwendbare Scherben finden bei der Erzeugung von Glaswolle oder von Bläh- oder Schaumglasprodukten Anwendung, dabei wird ein Scherbenanteil von 70 M.-% und höher erreicht; Bläh- oder Schaumglasprodukte werden teilweise auch vollständig aus Altscherben hergestellt.

4.3 Materialgruppe Holz

Von der Baubranche eingesetztes Holz wird überwiegend in der Kategorie Bau- und Abbruchabfälle entsorgt. Bei der Verwertung ist neben der stofflichen Nutzung vor allem die energetische Verwertung zu beachten. Die energetische Verwertung erfolgt über verschiedene Verfahren mit dem Ziel der Energiegewinnung, sie ist außerdem die geeignetste Maßnahme, um umweltgefährdende Stoffe in kontaminiertem Holz weitgehend zu zerstören. Der stoffliche Wiedereinsatz von Altholz in Holzzeugnissen betrifft mittlerweile nur noch die Verwendung in der Spanplattenindustrie (BAV 2012). Geringe Altholzmengen, zu denen Bauholzsortimente aber eher nicht zählen, werden über die Kompostierung stofflich verwertet. Die Altholzverordnung (AltholzV) aus dem Jahr 2002 sieht bisher keinen Vorrang der stofflichen vor der energetischen Verwertung vor, sowohl stoffliche als auch energetische Nutzung sind hiernach hochwertige Verwertungswege. Jüngst von einem europäischen Forschungskonsortium gegenüber der Europäischen Kommission (Vis et al. 2016) oder auch vom ifeu-Institut Heidelberg (IFEU 2013) vorgelegte Studien unterstreichen aber gerade, dass sich die Umweltauswirkungen einer Holznutzung am besten durch eine möglichst lange Kaskade an stofflichen Verwendungen vor der endgültigen energetischen Nutzung reduzieren lassen. Im Hinblick darauf haben europäische Länder begonnen, Gesetzesinitiativen zu ergreifen (u. a. Erlass einer RecyclingholzV in Österreich), auch in Deutschland setzen der Wegfall des Heizwertkriteriums im KrWG und die Diskussion über Veränderungen der AltholzV diesbezüglich mittlerweile neue Signale.

Herkunft	Sortimente	Zuordnung	Abfallschlüssel
Altholz aus dem Baubereich	naturbelassenes Vollholz	A I	17 02 01
	Holzwerkstoffe, Schalhölzer, behandeltes Vollholz (ohne schädliche Verunreinigungen)	A II	
Baustellensortimente aus Abbruch und Rückbau	Dielen, Fehlböden, Bretterschaltungen aus dem Innenausbau (ohne schädliche Verunreinigungen)	A II	17 02 04*
	Türblätter und Zargen von Innentüren (ohne schädliche Verunreinigungen)		
	Profilblätter für die Raumausstattung, Deckenpaneele, Zierbalken usw. (ohne schädliche Verunreinigungen)		
	Bauspanplatten		
	Konstruktionshölzer für tragende Teile	A IV	
	Holzfachwerk und Dachsparren		
	Fenster, Fensterstöcke, Außentüren		
	imprägnierte Bauhölzer aus Außenbereich, Hölzer mit schädlichen Verunreinigungen		

* Gefährlicher Abfall aufgrund von schädlichen Verunreinigungen

Nichtsdestotrotz findet formal die Wiederverwendung von Konstruktionsholz im Baubetrieb aus Gründen möglicher Schadstoffproblematiken und mangels ausreichender Gewährleistungsfähigkeit der baustatischen Eignung bisher keine verbreitete Anwendung. Lediglich bei Kleinbauten im privaten Bereich ist eine solche Wiederverwendung üblich. Die AltholzV sieht für Holzsortimente aus dem Bausektor klare Zuordnungen zu Altholzkategorien vor. Allerdings besteht auch durch die Zuordnung zu Holzsortimenten keine hinreichende Sicherheit dafür, dass Belastungssituationen richtig eingeschätzt werden. Eigene Untersuchungen konnten indes zeigen, dass bei fast 75 Vol.-% der Bau- und Abbruchhölzer – insbesondere konstruktiven Sortimenten des Innenbereiches – keine Holzschutzmittelbelastung nachgewiesen werden (INTECUS 2000). Oft betreffen Belastungssituationen zudem nur Oberflächenbereiche, mithin einen Bruchteil des gesamten Holzkörpers. Es könnte demzufolge mehr Abfallholz aus Bauaktivitäten für die Holzwerkstoffindustrie angeboten werden, als dies aufgrund der Pauschaleinstufung gemäß Regelvermutung nach AltholzV passiert. Dies erfordert aber eine Schadstoffanalytik beziehungsweise Aufbereitungsintensität, die in Nutzungskonkurrenz mit der energetischen Verwertung derzeit

Tabelle 4:

Übersicht der Zuordnung von Altholz aus dem Baubereich zu Altholzkategorien nach AltholzV (die nicht genannte Zuordnung A III betrifft selten Bauhölzer, sondern Möbel und Sortimente, die über den Sperrmüll erfasst werden)

Bemerkungen:

Zuflüsse aus anderen Branchen: bedeutsam (Verpackungsbereich)

Abflüsse in andere Branchen: bedeutsam (Energiewirtschaft)

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Einsatz von Altholz aus dem Bau in der Holzwerkstoffindustrie

RC-Anteilsverhältnisse	wesentliche Optimierungshürden	verfolgte Optimierungsansätze
<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Stoffliches Recycling von Altholz findet derzeit einzig in der Spanplattenindustrie statt; am Holztrockenanteil einer Spanplatte (46 M.-%) hat Altholz derzeit einen Anteil im Bereich von 27 bis 29 M.-%, am Gesamtprodukt damit von 12 bis 13 M.-%; Altholz aus dem Baubereich ist nicht oder nur in geringem Umfang darin eingeschlossen; andere europäische Länder erzeugen Spanplatten mit Altholzanteilen deutlich über 50 M.-% am Holzanteil, hierbei werden jedoch auch Schadstoffüberschreitungen beobachtet. <p>Demonstration/Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Prinzipiell ist eine technische Machbarkeit von Spanplattenerzeugnissen auf der Basis von 90 % Altholz am Gesamtholzanteil gegeben. › Untersuchungen an der Technischen Universität München haben aktuell für wenigstens 30 % des Holzes aus dem Baubereich eine bedenkenlose Verwendung zur Erzeugung von Holzwerkstoffen nachgewiesen und bestätigen damit Größenordnungen früherer Untersuchungen aus Rückbauprojekten von INTECUS. 	<ul style="list-style-type: none"> › Das unbestimmte und ohne analytische Untersuchungen nicht zweifelsfrei feststellbare Belastungspotenzial von Altholz mit Schadstoffen aus Holzschutzmaßnahmen oder nachträglicher Behandlung ist dem Recycling abträglich. › Nachwirkzeiten von hochgefährlichen, ehemals verbreitet eingesetzten Holzschutzmitteln (zum Beispiel DDT, Lindan) aufgrund der langen Holzverweildauern im Gebäude. › Verordnungsrechtliche Bestimmungen (Behandlung nach Regelvermutung, Gleichwertigkeit stofflicher und energetischer Verwertung nach AltholzV) › Die energetische Nutzung bevorzugende Förderung (EEG-Bonus) › Der hohe Auslastungsdruck thermischer Anlagen aufgrund bestehender Überkapazitäten › Konsumentenskepsis gegenüber Altholz und zur Wiederverwendung vorgesehenen beziehungsweise recycelten Erzeugnissen beziehungsweise Inhaltsstoffen 	<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Zunehmende technische Aufwertung der Holzsortierung mit Komponenten zur besseren Trennung sowie Anwendung von Reinigungspraktiken (Abfrästechnik zur Oberflächenbereinigung) › Entwicklung und Realisierung von Konzepten der Kaskadennutzung › Beginnende Rückführung der eine thermische Nutzung begünstigenden Förderung › Zunehmende Erschließung zusätzlicher Altholzströme über Recyclinghöfe und Separierung im Bereich der Erfassungsangebote für Sperrmüll <p>Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Im Vordergrund steht die Verbesserung der <ol style="list-style-type: none"> a) Detektions- und praktikablen Einsatzmöglichkeiten für eine Schadstoff(schnell)analytik b) der verfahrens- sowie sortiertechnischen Abtrennung schadstoffhaltiger Bestandteile vom Altholz c) des Aufschlusses von Holz- und Holzverbundbauteilen zur Rückgewinnung recyclingfähiger Materialströme (bis hin zur elektrodynamischen Fragmentierung (zum Beispiel aktuelle Ansätze Fraunhofer WKI) › Auch an Produktinnovationen, die ggf. belastete Altholzchargen aufnehmen können (zum Beispiel WPC), wird intensiv gearbeitet.

Materialgruppe Holz		Bauproduktgruppe Bau-/Konstruktionsholz Schnittholz-Bretter, Schnittholz-Kanthölzer, Brettschichtholz	
Bemerkungen: Zuflüsse aus anderen Branchen: keine Abflüsse in andere Branchen: bedeutsam (Energiewirtschaft)			
Betrachtete Rezyklatkreisläufe: gemeinsame Betrachtung mit dem Rezyklatkreislauf der Bauproduktgruppe sonstiges Holz → siehe dort			
RC-Anteilsverhältnisse	wesentliche Optimierungshürden	verfolgte Optimierungsansätze	
Vollholzsortimente schließen die Frage des RC-Anteils aus; es besteht lediglich die Option der Wiederverwendung, wobei dafür im Bereich des überwachten Bauens für Konstruktionsholz wegen Gewährleistungseinschränkungen kaum Anwendungen bestehen	Grundsätzlich wie bei Bauproduktgruppe Sonstiges Holz → siehe dort	Grundsätzlich wie bei Bauproduktgruppe Sonstiges Holz → siehe dort	

unwirtschaftlich ist. Es sind fast ausschließlich Holzabfälle der Kategorien A I sowie in geringem Umfang A II, die den Weg ins Recycling finden. Als gezielt einbezogener Herkunftsort lässt sich der Baubereich dabei momentan nahezu ausschließen.

Für die stoffliche Nutzung aus Altholz gewonnene Späne werden vorrangig in der Mittelschicht von Spanplatten verwendet. Als durchschnittliche Einsatzquote von Recyclingspänen in der deutschen Spanplattenindustrie werden rd. 20 M.-% angegeben, im Einzelfall beläuft sich deren Anteil auch auf über 40 M.-% (BAV 2012). Deutlich höhere Verwendungsraten sind aus anderen europäischen Ländern (u. a. Italien und UK) bekannt (Vis et al. 2016). Einsatzgebiete können auch mineralisch gebundene Holzbaustoffe wie Gips- und Zementspanplatten sein. Altholz hat im Recycling den besonderen Vorteil eines hohen Trockenheitsgrades (Energieeinsparung bei der Plattenproduktion); neben den angesprochenen potenziellen Schadstoffproblematiken verbinden sich mit zahlreichen Bausortimenten aber auch prozesstechnologische Nachteile, dazu zählen Bindemittelanteile und Holzfasertängen der zunehmend eingesetzten Holzbauplatten. Für Holzbauplattenabfälle existieren aus den genannten Gründen bisher auch international kaum Recyclingoptionen.

Aus dem gegenwärtigen Bauproduktbereich zeichnet sich neben der Spanplattenproduktion heute als weiteres potenzielles Einsatzfeld für Altholz die Herstellung von Wood Polymer Compounds (WPC)² ab. Bislang sind hier Produkte mit einem PVC-Rezyklatanteil von bis zu 30 % im europäischen Markt bekannt, mit Gebrauchtholzanteilen ist dies ebenfalls vorstellbar. Konkurrierend stehen Sägenebenprodukte, andere holzige und holzartige Biomasseabfälle, aber auch faserhaltige Abfallschlämme im Entwicklungsprozess mit im Fokus. Wichtig ist auch, dass WPC-Abfälle wieder in einer Form zur Erfassung gebracht werden, die für das Recycling förderlich ist. Eine konkrete abfallrechtliche Zuordnung von WPC ist bisher jedoch noch nicht erfolgt.

² Information nach Wanske, M. auf dem Kooperationsforum „Erhöhung der Ressourceneffizienz in der faserverarbeitenden Industrie – Recyclierbarkeit und Wiederverwendung“ in Heidenau am 6. März 2014.

4.4 Materialgruppe Dämmstoffe

Aufgrund verschärfter Anforderungen an Schallschutz und Energieeinsparung ist der Dämmstoffmarkt ein Wachstumsmarkt. Zwischen 1990 und 2015 haben sich die Absatzmengen mehr als verdoppelt. Die zu erwartenden Rückbaumengen werden ebenfalls in den kommenden Jahrzehnten steigen. Die Abbildung 8 zeigt die Marktaufteilung der verschiedenen Produkte im Jahr 2010. Im Folgenden werden die Produkte als erdölbasierte, mineralstoffbasierte und naturstoffbasierte Produkte kurz charakterisiert.

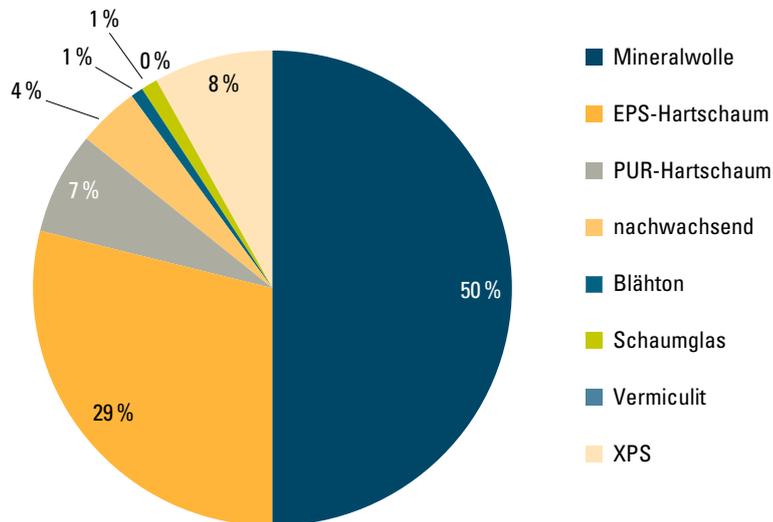


Abbildung 8:

Marktverteilung der Dämmstoffmaterialien im Jahr 2011. (Quelle: eigene Darstellung auf Basis:

http://www.fiw-muenchen.de/media/pdf/metastudie_waermedaemmstoffe.pdf, Gesamtverband Dämmstoffindustrie (in Liquidation seit 2015), Industrieverband Hartschaum e. V.; WECOBIS-Datenbank)



Erdölbasierend

Erdölbasierende Dämmmaterialien zeichnen sich gegenüber anderen Dämmmaterialien besonders durch ihre Beständigkeit gegen Feuchtigkeit aus: Sie verrotten auch unter Langzeiteinwirkung von Wasser nicht. Die ursprünglich relativ schlechten Schallschutzeigenschaften konnten durch höhere Veredelung so weit verbessert werden, dass heute Spezialformen auch für Trittschalldämmung eingesetzt werden.

Expandierte EPS-Hartschaumplatten und extrudierte PS-Dämmplatten enthalten zwischen 1 bis 3% Masse das Flammenschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD) als homogene Dispersion, seit 2015 schrittweise abgelöst durch Poly-FR. Es ist davon auszugehen, dass die im Einsatzbereich Dämmplatten noch vorübergehend akzeptierte Ausnahmeregel für HBCD nicht über 2017 hinaus verlängert wird und die damit erzeugten Dämmmaterialien dann als HBCD-belastet einen Entsorgungssachverhalt darstellen, bei dem ein Recycling nur schwerlich umsetzbar ist.

Stoffliches Recycling im Dämmstoffbereich konzentriert sich bislang noch sehr auf den Bereich der Produktionsabfälle und der geordneten Rückführung von Baustellenverschnitt. Bei Polystyrol aus dem Rückbau/Umbau handelt es sich meist um stärker verschmutzte oder gar gemischte Gebrauchsabfälle. Nur bei größerem Bedarf beziehungsweise aus wirtschaftlichen Erwägungen kommen bislang vereinzelt auch schon Materialien aus den Bereichen Baureste, Rückbau oder Sanierung zur Anwendung. An zukünftigen Technologieoptionen zur Erzeugung sortenreiner Fraktionen an Sekundärmaterial werden im Bereich der Wärmedämmverbundsysteme u. a. Verfahren zur Lösung der Materialverbände von großem Interesse sein. Dazu gehören auch Abtrennverfahren am Anfallort.

Ein Verfahren, das anfallendes (auch verschmutztes oder mit Flammenschutzadditiven kontaminiertes) EPS recycelbar macht, ist das CreaSolv-Verfahren.³ Dabei wird das EPS in einer Flüssigkeit aufgelöst und durch Fällung in guter Qualität zurückgewonnen. Das CreaSolv-Verfahren ist grundsätzlich ein werkstoffliches Recycling. Bei Polyurethan ist

3 www.creacycle.de

nur eine Bindungsspaltung und ein Abbau des Polymers in kleinere Monomere oder Oligomere bspw. mittels Säurolyse möglich. Hier handelt es sich dann um einen Vorgang rohstofflichen Recyclings. Bei der werkstofflichen Verwertung werden aus Polyurethan-Hartschaumabfällen Klebepressplatten hergestellt.

Mineralstoffbasierend

Mineralfaserdämmstoffe sind weich und formbar oder als fest gepresste Platten erhältlich. Zu den Mineralfaser-Dämmstoffen zählen Stein-, Glas- und Schlackewolle. Letztere ist mengenmäßig unbedeutend. Steinwolle wird aus verschiedenen Gesteinsarten (u. a. Diabas, Basalt, Dolomit) hergestellt. Glaswolle besteht aus Altglas, Sand, Soda und Kalk mit bis zu 7 Masse-% organische Stoffe, wie Bindemittel und Öl sowie wasserabweisende Zusatzstoffe. Sowohl bei Glas- wie auch bei Steinwolle erfolgt die Herstellung unter Einsatz von rezykliertem Material. Mineralfasergranulat kann auch zur Porosierung von Ziegel eingesetzt, als Zuschlagstoff in der Asphaltherstellung oder unter Zugabe von Wasser und Zement zu Würfeln gepresst wieder der Schmelze zugeführt werden. Der Recyclingvorgang entspricht ab der Zugabe zur Schmelze wieder voll dem Herstellungsprozess aus Primärrohstoffen. Geschätzt wird, dass der so in der Produktion eingesetzte Anteil gebrauchter Materialien bei 3 bis 5 % liegt (Huber 2013).

Dämmstoffschüttungen sind weitere Dämmproduktgruppen, die ebenfalls vorwiegend auf mineralischer Basis hergestellt werden. Neben mineralischen Leichtgranulaten, die aus Natursteinmaterial (zum Beispiel Bims, Ton, Rhyolit- oder Quarzporphyr) bestehen, gibt es auch Produktentwicklungen, bei denen Feinabsieb, darunter Bauschuttmaterial, als Ausgangsstoff dienen kann. Silikonölimprägnierungen, Paraffine und insbesondere Bitumen oder auch verschiedene Arten an Klebstoffen, die vor allem für bestimmte Bindigkeiten sorgen, finden sich als Zusatzstoffe.

Ebenso zu den mineralischen Dämmmaterialien gehören Schüttungen auf Basis von 100 % Recyclingglas (zum Beispiel Blähglasgranulat). Glas funktioniert als Dämmstoff ebenfalls in Form von Schaumglasschotter, der zunehmend als lastabtragende Dämmung und Trag-schicht unter der Bodenplatte von Gebäuden verwendet wird. Eine ähnliche Anwendung sind Glasschaumplatten. Verwendet werden die Glasschaumplatten u. a. als Bodenplatten-, Flachdach- oder seitliche Kellerdämmung. Im Fall der glasbasierenden Dämmstoff-produkte liefert in der Regel Altglas jeweils bis zu 100 % den Ausgangsstoff.

Naturstoffbasierend

Im Bereich der naturstoffbasierenden Dämmstoffe sind insbesondere Produkte aus den Materialien Schafwolle, Flachs, Hanf, Kork und holzhaltigen Fasern und aus Altpapier hergestellte Dämmprodukte hervorzuheben. Zusätzlich zur guten Dämmqualität der besagten Materialien sprechen günstige bauökologische Eigenschaften und vor allem die Ressourcenschonung durch Verwendung nachwachsender Rohstoffe für den Einsatz dieser Materialien. Die Sorptionsfähigkeit von naturstoffbasierenden Dämmstoffen kann einen Vorteil darstellen, bei hoher Baufeuchtigkeit wegen der langfristig darin festgehaltenen Feuchte allerdings auch zum Nachteil werden. Zur Realisierung eines ökologisch fortschrittlichen Recyclings gehört die Minderung des Einsatzes umweltbedenklicher Brandhemmer in den Produkten, darunter die Umstellung auf boratfreie Zusätze.

Die auf Basis von Altpapierfasern hergestellten Produkte an holzfaserhaltigen Dämmstoffen sind schon aufgrund ihrer Einsatzmengen hervorzuheben. Hierbei handelt es sich bereits um einen vollständigen Recyclingprozess, allerdings nicht unter Verwendung von Abfallmaterialien aus dem Baubereich, sondern von meist unverkauften Zeitungsrückläufern als einem täglichen Verbrauchsgut. Altpapier stellt mit bis zu 90 % Masseanteil den Ausgangsstoff für den Zellulosedämmstoff dar, Borax (10 bis 20 %) oder Ammoniumpolyphosphat (ca. 8 %) werden als Brandhemmer dazugegeben.

Für die naturstoffbasierenden Dämmstoffe wurden Recyclingaktivitäten bisher kaum in Größenordnungen praktiziert; dies liegt auch am erst relativ jungen Trend zum verstärkten Einsatz dieser Produkte und den damit bisher kaum angefallenen Abfallmengen.

Bemerkungen:

Zuflüsse aus anderen Branchen: vernachlässigbar (Verpackungsbereich)

Abflüsse in andere Branchen: bedeutsam, vor allem Energiewirtschaft

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Rückführung von Dämmstoffabfällen in die Dämmstoffproduktion

RC-Anteilsverhältnisse	wesentliche Optimierungshürden	verfolgte Optimierungsansätze
<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Je nach Voraussetzungen und Verfahren am Produktionsstandort finden Verschnitt- und Produktionsreste aus der Dämmstoffherzeugung Rückführung in den Produktionsprozess. Hierbei handelt es sich um betriebsinterne Kreisläufe mit vollumfänglicher Rückführung des anfallenden Materials; der rückgeführte Anteil kann bei PS-Produkten bis zu 20 M.-%, bezogen auf den jeweiligen Gesamt-Input PS am Endprodukt ausmachen. › Eine Rezyklatgewinnung aus Dämmstoffabfällen wird bisher nicht großtechnisch praktiziert, hierzu fehlt es an ausreichend sauberen Ausgangschargen und -mengen. <p>Demonstration/Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Verfahren zur rohstofflichen Aufbereitung und Rückführung in sekundäre Ausgangsstoffe wurden mit dem CreaSolv-Verfahren und der Glykolyse bereits großtechnisch erfolgreich demonstriert, sind aber noch nicht wirtschaftlich anwendbar. › Demonstriert wurde auch die Machbarkeit, Dämmstoffe mittels Frästechniken aus Verbänden herauszulösen oder von Beschichtungen (Kleber, Anstriche, Putze) zu reinigen. 	<ul style="list-style-type: none"> › Geeignete, das heißt saubere, sortenreine Abfallchargen entstehen bei der derzeitigen Abbruchpraxis selten und sind logistisch schwierig handhabbar (großes Volumen, geringes Gewicht). › Nachwirkzeiten von risikobehafteten/klimaschädigenden Aufschäummitteln sind aufgrund der langen Verweildauern im Gebäude unbestimmt und behindern Recyclinglösungen. › Mögliche Kontakt- oder Übergangskontaminationen umweltschädlicher beziehungsweise risikobehafteter Substanzen im Materialverbund (zum Beispiel Anstrichstoffe, Kleber) › Rahmenbedingungen zur wirtschaftlichen Realisierung von Massenrecyclinglösungen sind ungünstig, hoher Heizwert/Energiegehalt der Abfälle machen diese für thermische Nutzung prädestiniert. 	<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Bemühungen beschränken sich zunächst im Wesentlichen auf die Verbesserung der sortenreinen Erfassung von Dämmstoffabfällen (einschließlich Ausbau- und Aufbereitungsverfahren) und ihrer Rückführung zu den Produzenten. <p>Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Derzeit sind keine speziellen Forschungsaktivitäten zum Recycling bekannt, jedoch wird weiter an Produktinnovationen, bei denen auch rezyklierte Dämmstoffanteile eine Rolle spielen, gearbeitet.

Bemerkungen:

Zuflüsse aus anderen Branchen: bedeutsam (Behälterglas)

Abflüsse in andere Branchen: vernachlässigbar

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Rückführung von Dämmstoffabfällen in die Dämmstoffproduktion

RC-Anteilsverhältnisse	wesentliche Optimierungshürden	verfolgte Optimierungsansätze
<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Je nach Voraussetzungen und Verfahren am Produktionsstandort finden Verschnitt- und Produktionsreste aus der Dämmstoffherzeugung aufgemahlen Rückführung in den Produktionsprozess. Hierbei handelt es sich um betriebsinterne Kreisläufe mit vollumfänglicher Rückführung des anfallenden Materials. › Der Input an echtem Rezyklat ist material- und produktabhängig unterschiedlich, kann aber, ausreichende Verfügbarkeit entsprechender Ausgangschargen vorausgesetzt, bei 70 M.-% und darüber liegen; ein besonders wichtiges Sekundärmaterial ist dabei Altglas (Flach- u. Behälterglas), das für Glaswolle wie auch für Dämmschüttungen (Bläh-, Schaumglas) teilweise zu 100% als Ausgangsstoff dient. <p>Demonstration/Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Demonstriert wurde die Machbarkeit, verunreinigte beziehungsweise schadstoffbelastete Mineral- und Glaswolleprodukte durch Mikrowellenbehandlung zu verschlacken und aus dem Schlackeprodukt ein für Bauzwecke wieder nutzbares Granulat zu erzeugen. 	<ul style="list-style-type: none"> › Geeignete, das heißt, saubere, sortenreine Abfallchargen entstehen bei der derzeitigen Abbruchpraxis selten und sind logistisch schwierig handhabbar (großes Volumen, geringes Gewicht). › Nachwirkzeiten von hochgefährlichen, ehemals verbreitet eingesetzten Mineralwollfasern sind aufgrund der langen Verweildauern im Gebäude unbestimmt und behindern Recyclinglösungen. › Mögliche Kontakt- oder Übergangskontaminationen umweltschädlicher beziehungsweise risikobehafteter Substanzen im Materialverbund (zum Beispiel Anstrichstoffe, Biozide aus dem Oberputz) › Rahmenbedingungen zur wirtschaftlichen Realisierung von Massenrecyclinglösungen sind noch ungünstig. 	<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Bemühungen beschränken sich zunächst im Wesentlichen auf die Verbesserung der sortenreinen Erfassung von Dämmstoffabfällen und ihrer Rückführung zu den Produzenten. <p>Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Derzeit sind keine speziellen Forschungsaktivitäten zum Recycling mineralischer Dämmstoffe bekannt.

4.5 Materialgruppe Kunststoffe

Die Palette an in Baubereich-Produkte eingehenden Kunststoffen umfasst vor allem die hier durch Handelskürzel angegebenen Werkstoffarten PVC, HDPE, EPS, PUR, PP, PS, PMMA, PA, ABS, ASA, SAN und ist somit breit gefächert. Die Verarbeitungsanteile der wesentlichsten Kunststoffarten in Bauprodukten und deren Verteilung auf Bauproduktabfälle zeigt Tabelle 5.

Tabelle 5:

Verteilung der im Jahr 2007 für den Bausektor verarbeiteten und von diesem in Form von Abfällen freigesetzten Kunststoffmengen in Mio. t (Quelle: Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH)

Abfallfraktion	PE-HD	PE-LD	PVC	PET	alle Kunststoffe
zu Bauprodukten für den Inlandsmarkt verarbeitet	0,392	0,155	1,356	0,005	2,22
über Bauabfälle im Inland erfasst	0,019*	0,016*	0,180*	k. A.	0,3

* Aus Produkt-Input in den Baubereich ermittelte Größenordnung, statistisch nicht belegt

Der darin für das Jahr 2007 ausgewiesene Einsatz von Kunststoffwerkstoffen in Bauprodukten für den Inlandsmarkt ist jüngerer Angaben zufolge relativ unverändert geblieben. Bei den Einsatzbereichen der Kunststoffwerkstoffe dominieren in Deutschland drei Hauptbauproduktgruppen: Dies sind der Bereich Profile (34 % Anteil an der Gesamteinsatzmenge im Jahr 2007), Dämmungen (27 %) und Rohre (24 %). Sonstige Anwendungsbereiche umfassen neben Kabelummantelungen und unzähligen Kleinteilen (Dübel, Putzschienen u. Ä.) vor allem Dach- und Dichtungsbahnen sowie Fußbodenbeläge. PVC-Fensterprofile haben mit über 50 % den größten Marktanteil an Fensterprofilen. PVC ist der mengenrelevanteste Kunststoffwerkstoff im Baubereich. Rund 70 % aller PVC-Anwendungen sind für den Bausektor bestimmt.

Die für den Kunststoffbereich in den letzten Jahren stets mit nahezu 100 % ausgewiesene Verwertungsquote lässt zunächst besondere Recyclingfolge vermuten. Allerdings beträgt der Anteil der energetischen Nutzung in Verbrennungsanlagen bei dieser Quote allein über 60 % (66 % im Jahr 2011). Lediglich für das verbleibende Drittel lässt sich eine Art der stofflichen Nutzung konstatieren (Consultic 2011, Weigand 2013). Letztere Option lässt sich vor allem für sortenrein rückgewonnene Kunststoffabfälle verwirklichen. Stabilisatoren, die in der Vergangenheit oft blei- sowie cadmiumhaltig waren und außerdem möglicherweise bestehende Chlorgehalte, schränken die Verwertungswege ein. In Wahrnehmung der Produzentenverantwortung entstanden für PVC-Kunststoffprodukte des Baugewerbes zunächst die Dachinitiative „Vinyl 2010“, die jetzt als „VinylPlus“ ihre Fortführung erfährt. Ihr sind die deutschen Initiativen zum größten Teil angeschlossen.⁴

Kunststoffproduktabfälle, für die über diese Initiativen keine Getrennterfassung erfolgt oder die dabei nicht erfasst werden, gelangen in der Regel als Bestandteile der Fraktionen Baustellenabfälle und als Fremdstoffe im Bauschutt zur Entsorgung. Beschränkt wird die Verwertung dann insbesondere über thermische Prozesse, bei denen die Materialien als Brennstoff beziehungsweise zur Energieerzeugung genutzt werden. Dazu werden im Bauschutt verbliebene Kunststoffe im Zuge der Bauschuttzubereitung als Verunreinigungen des mineralischen Materials von diesem abgetrennt (Negativsortierung) oder bei der Zubereitung beziehungsweise Sortierung von Baustellenabfällen oft zusammen mit weiteren brennbaren Materialien (u. a. Holz, Papier) zu einer heizwertreichen Fraktion zusammengeführt. PVC-Kunststoff, der wegen des Chlorgehaltes als Bestandteil solcher Ersatzbrennstofffraktionen eher unerwünscht ist, wird dabei nach Möglichkeit nochmals weitgehend aus diesem Strom eliminiert und einer Beseitigung zugeführt. Insofern stellt sich die Situation der Entsorgung von Post-Consumer-Kunststoffabfällen aus dem Baubereich insgesamt so dar, dass von der Gesamterfassungsmenge etwa 70 % energetisch genutzt, 25 % werkstofflich weiterverwertet und 5 % auf Deponien beseitigt werden.

⁴ Europäischer Verband der Dachbahnenhersteller, Europäische Gruppe für PVC-Bodenbeläge, Verband EPCOAT (Unterverband des EuPC für beschichtete Textilien), Unterverband ECVN des Europäischen Rates der Vinylhersteller, Europäischer Verband der Hersteller von Kunststoffrohren und -formstücken, Verband der europäischen Kunststoffverarbeiter, Europäischer Verband der Hersteller von PVC-Fensterprofilen und verwandten Bauprodukten.

Recyclinginitiative	erfasste PVC-Post-Consumer-Abfälle	Recycelte Tonnage 2010	Recycelte Tonnage 2011
EPCoat (einschließlich Ergebnis unter Recovynyl)	beschichtete Gewebe	6 278 *	3 563 *
EPFLOOR	Bodenbelagsprodukte	2 294 *	2 788 *
ERPA (einschließlich Ergebnis unter Recovynyl)	Fenster und andere Profilabfälle	108 678	104 719
ESWA – ROOFCOLLECT & Recovynyl	flexible PVC-Produkte	33 218 darin	33 694 darin
ESWA – ROOFCOLLECT	Dachbahnen und wasserabweisende Membranen	1 586 *	1 633 *
	flexible PVC-Anwendungen	31 632	32 061
Recovynyl			
TEPPFA (einschließlich Ergebnis unter Recovynyl)	Rohre und Anschlüsse	25 172	23 977
ERPA via Recovynyl (mit CIFRA)	Hartfolien	5 891	5 201
Recovynyl (einschließlich Vinylloop Ferrara)	Kabel	79 311	83 142
Total		260 842	257 084

* Jeweils unter Einschluss von Mengen der Länder Norwegen und Schweiz

Einblicke, wie mit den jeweiligen Rezyklaten verfahren wurde, sind nur sehr vereinzelt erhältlich. In breiterem Umfang veröffentlichte Angaben existieren über das Recycling von Bodenbelagsstoffen und PVC-Profilen des Fenster- und Türenbaus. Grundsätzlich bedarf es jedoch immer einer Detailbetrachtung, teilweise auch einzelproduktbezogen, da es u. a. technisch und je nach Einsatzfeld Herstellungsnormen und Zulassungsregelungen zu beachten gibt, die unter Umständen auch bestimmte theoretische Recyclingmöglichkeiten ausschließen.

Neue PVC-Fensterprofile mit Rezyklatanteil werden üblicherweise im Co-Extrusionsverfahren produziert. Das saubere, sortenreine PVC-Rezyklat wird hierbei für den Profilkern verwendet, während die äußere, sichtbare Deckschicht des Fensterprofils aus Neu-PVC besteht. Hersteller nennen unterschiedlich hohe Rezyklatanteile von 40 bis zu 75% in ihren Produkten, höhere Anteile wären sogar möglich. Wie bei den Rezyklaten für Bodenbelagsprodukte bilden aber geminderte Farbeigenschaften gegenüber Neuware ein begrenzendes Kriterium. Der Einsatzanteil hängt aber auch von der Herstellungstechnologie ab, dabei wird im Bereich der Fensterprofile bspw. zwischen Kern-, Schicht- und Mischtechnologie unterschieden.

Die chemisch-physikalischen Eigenschaften des Grundstoffes lassen im Kunststoffbereich theoretisch sogar einen vollständigen Austausch primärstoffbasierten Polymers durch Polymer aus Sekundärmaterial, also einen 100%igen Ersatz durch Rezyklat, möglich erscheinen. Demgemäß ist inzwischen nicht nur eine gewaltige Breite an Rezyklatanwendungen in diesem Bereich zu finden, sondern es besteht auch eine hohe Durchlässigkeit zwischen den unterschiedlichen Sparten der Kunststoffverwendung. So wird Rezyklat aus ehemals baulich verwendeten Kunststoffprodukten in nichtbaulichen Neuprodukten verarbeitet, während bspw. aus Kunststoffverpackungen gewonnene Regranulate in großem Umfang in Erzeugnisse für den Baubereich fließen. Im Zuge der Recherchen für diese Studie wurden allein knapp 40 deutsche Erzeuger ermittelt, die für weit über 100 baulich eingesetzte Produkte Rezyklat nutzen.

Beim bereits großtechnisch realisierten VinylLoop®-Verfahren werden in einem vollständig rezyklierbaren Lösungsmittel PVC-Verbunde aufgelöst und nach Entfernung der Fremdstoffe wieder ausgefällt und getrocknet. Wasser und Lösungsmittel werden dem Kreislaufsystem wieder zugeführt. Zur Anwendung kommt das Verfahren vorzugsweise für Platten (PVC/Polyester) und Kabelabfälle (PVC/Kupfer). Bei diesem Löseverfahren können aus 1 kg PVC-Abfall ca. 0,71 kg Rezyklatstoff gewonnen werden (Weigand 2013). Das gewonnene PVC-Compound ist wieder uneingeschränkt in der Produktion einsetzbar.

Tabelle 6:

Verwertungsergebnisse der europäischen Recyclinginitiativen der PVC-Kunststoffindustrie in den Jahren 2010 und 2011 gemäß eigenen Darstellungen von „Vinyl 2010“ beziehungsweise „VinylPlus“

Bemerkungen:

Zuflüsse aus anderen Branchen: bedeutsam (Verpackungsbereich)

Abflüsse in andere Branchen: bedeutsam, vor allem Energiewirtschaft

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Einsatz von Kunststoffrezyklaten zur Produktion von kunststoffbasierten Bauprodukten (hier Erzeugung von Bahnenware, Rohren und sonstigen Artikeln)

RC-Anteilsverhältnisse	wesentliche Optimierungshürden	verfolgte Optimierungsansätze
<p>Praxis – allgemein –</p> <ul style="list-style-type: none"> › Je nach Voraussetzungen und Verfahren am Produktionsstandort werden Verschnitt- und Produktionsreste aus der Erzeugung von Kunststoffprodukten in den Produktionsprozess zurückgeführt. Hierbei handelt es sich um betriebsinterne Kreisläufe mit vollumfänglichem Wiedereinsatz des anfallenden Materials. › Der Input an echtem Rezyklat ist material- und produktabhängig unterschiedlich, machbar sind Produkte aus 100 % Rezyklat, „Blauer Engel“-zertifizierte Produkte haben im Minimum 80 % Rezyklatanteil. <p>Praxis – Bahnenware –</p> <ul style="list-style-type: none"> › Hersteller nennen unterschiedlich hohe Rezyklatanteile in ihren Produkten; Folien werden tlw. vollständig aus rezykliertem Material hergestellt (hier aber oft hoher Anteil Verpackungskunststoffe). › PVC-Bodenbelag wird mit bis zu 10 M.-% PVC-Regranulat aus PVC-Bahnenware erzeugt, wegen geminderter Farbeigenschaften nur untere Schichten). <p>Praxis – andere –</p> <ul style="list-style-type: none"> › Bei Rohren, Kanälen (PE) sind unterschiedliche Rezyklatanteile bekannt, bis zu 100 %. › WPC-Produkte mit Rezyklatanteil bis zu 30 M.-% sind am Markt. › Rohstoffliche Recyclingverfahren (VinyLoop) ermöglichen Neupolymerqualität auch aus baulichen Kunststoffabfällen (= 100 % Recyclingprodukt ohne nachweisbares Rezyklat). › Für zahlreiche kunststoffbasierte Bauerzeugnisse bestehen Produktlösungen mit Rezyklaten (tlw. zu 100 %), wobei aus qualitativen u. Verfügbarkeitsgründen vielfach Rezyklate aus Verpackungskunststoffen zum Einsatz kommen (Bsp. Schächte, Rigolen). <p>Demonstration/Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Die technische Realisierbarkeit der Produktion mit Einsatzanteilen an Rezyklat bis zu 100 % gilt oft als gegeben. › Produktentwicklung und -innovationen im Kunststoffsektor erfolgen häufig auch unter Einbeziehung von Lösungen mit Rezyklaten (siehe zum Beispiel WPC). 	<ul style="list-style-type: none"> › Geeignete, das heißt saubere, sortenreine Abfallchargen entstehen bei der derzeitigen Abbruchpraxis selten, hinzu kommen logistische Problematiken, da Abfälle dieser Art nur in Ausnahmefällen konzentriert in hoher Masse anfallen und somit für eine wirtschaftliche Aufbereitung zusammengeführt werden müssen. › Nachwirkzeiten von eingesetzten risikobehafteten Additiven sind aufgrund der langen Verweildauern im Gebäude unbestimmt. › Allgemeine Konsumentenskepsis gegenüber recycelten Erzeugnissen beziehungsweise Inhaltsstoffen, tlw. befördert durch stark polarisierende Kommunikation. › Rahmenbedingungen zur wirtschaftlichen Realisierung von Massenrecyclinglösungen sind noch ungünstig (insbesondere niedrige Primärrohstoff- u. Verbrennungspreise). › Kunststoffrecycler mit wirtschaftlichen Benachteiligungen (Streichung EEG-Bonus) sowie Schwierigkeiten kontinuierlicher Versorgung qualitativ geeigneter Mengen an Kunststoffabfällen 	<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Bemühungen beschränken sich zunächst auf die weitere Verbesserung der sortenreinen Erfassung von Abfällen der benötigten Art und Güte (einschließlich Ausbau- und Aufbereitungsverfahren) und ihrer Rückführung zu den Produzenten. <p>Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Stark verfolgt wird Verbesserung der Sortier-, Trenn- und Aufbereitungstechniken und -verfahren (Komposite und Kunststoffarten) sowie Erhöhung ihrer Wirtschaftlichkeit. › Intensiv untersucht wird Verzicht auf beziehungsweise Ersatz von Additiven durch risikoarme, umweltunbedenkliche Alternativen. › An Produktinnovationen und Steigerung der Produktionseffizienz mit Kunststoffrezyklaten wird ständig gearbeitet.

Bemerkungen:

Zuflüsse aus anderen Branchen: nein

Abflüsse in andere Branchen: bedeutsam, vor allem Energiewirtschaft

Betrachtete Rezyklatkreisläufe: Einsatz von Kunststoffrezyklaten zur Produktion von kunststoffbasierten Bauprodukten (hier Erzeugung von PVC-Fenstern/-Türen)

RC-Anteilsverhältnisse	wesentliche Optimierungshürden	verfolgte Optimierungsansätze
<p>Praxis – allgemein –</p> <ul style="list-style-type: none"> › Je nach Voraussetzungen und Verfahren am Produktionsstandort werden Verschnitt- und Produktionsreste aus der Erzeugung von Kunststoffprodukten in den Produktionsprozess zurückgeführt. Hierbei handelt es sich um betriebsinterne Kreisläufe mit vollumfänglichem Wiedereinsatz des anfallenden Materials. › Der Input an echtem Rezyklat ist material- und produktabhängig unterschiedlich. Machbar sind Produkte aus 100% Rezyklat, aber Ausschluss von PVC-Rezyklat für „Blauer Engel“-zertifizierte Produkte. <p>Praxis – Fenster –</p> <ul style="list-style-type: none"> › Hersteller nennen mit 40 bis 75 M.-% am Kunststoffanteil unterschiedlich hohe Anteile von PVC-Regranulat in ihren Produkten, der Einsatzanteil hängt auch von der Herstellungstechnologie ab; geminderte Farbeigenschaften gegenüber Neuware bilden ein begrenzendes Kriterium (daher Einsatz nur in Kern-, nicht Oberflächenkomponenten), deutsche Praxis ist mit internationalen Ansätzen vergleichbar. › Für Rohre wegen möglicher Cadmium-/Bleigehalte im PVC-Rezyklat aus früher eingesetzten Stabilisatoren, Verwendung nur im Kern beziehungsweise im Trinkwasserbereich ausgeschlossen <p>Demonstration/Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Höhere Einsatzanteile als o.g. wurden demonstriert und wären damit technisch realisierbar. 	<ul style="list-style-type: none"> › Geeignete, das heißt saubere, sortenreine Abfallchargen, entstehen bei der derzeitigen Abbruchpraxis selten, hinzu kommen logistische Problematiken, da Abfälle dieser Art nur in Ausnahmefällen konzentriert in hoher Masse anfallen und somit für eine wirtschaftliche Aufbereitung zusammengeführt werden müssen. › Nachwirkzeiten von ehemals verbreitet eingesetzten, risikobehafteten Stabilisatoren und anderen Additiven sind aufgrund der langen Verweildauern im Gebäude unbestimmt. › Allgemeine Konsumentenskepsis gegenüber recycelten Erzeugnissen beziehungsweise Inhaltsstoffen, tw. befördert durch stark polarisierende Kommunikation › Rahmenbedingungen zur wirtschaftlichen Realisierung von Massenrecyclinglösungen sind noch ungünstig (insbesondere niedrige Primärrohstoff- u. Verbrennungspreise). › Kunststoffrecycler mit wirtschaftlichen Benachteiligungen (zzt. Streichung EEG-Bonus) sowie Schwierigkeiten kontinuierlicher Rezyklatversorgung 	<p>Praxis</p> <ul style="list-style-type: none"> › Bemühungen beschränken sich zunächst auf die weitere Verbesserung der sortenreinen Erfassung von Abfällen der benötigten Art und Güte (einschließlich Ausbau- und Aufbereitungsverfahren) und ihrer Rückführung zu den Produzenten. <p>Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> › Derzeit sind keine speziellen Forschungsaktivitäten zum Fensterrecycling bekannt. › Stark verfolgt wird Verbesserung der Sortier-, Trenn- und Aufbereitungstechniken und -verfahren (Komposite und Kunststoffarten) sowie Erhöhung ihrer Wirtschaftlichkeit. › Intensiv untersucht wird Verzicht auf beziehungsweise Ersatz von Additiven durch risikoarme, umweltunbedenkliche Alternativen. › An Produktinnovationen und Steigerung der Produktionseffizienz mit Kunststoffrezyklaten wird ständig gearbeitet.

Der Normenausschuss Kunststoffe (FNK) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist das offizielle nationale Gremium für die Normung im Bereich der Kunststoffe. Ziel des Normungs- und Zulassungsverfahrens bildet neben der Sicherung von Produktzuverlässigkeit und -qualität auch die Vorsorge gegenüber Umweltgefährdungen. Aufwendige Zulassungsverfahren bilden eine grundsätzliche Barriere für die zügige Bereitstellung von Produkten und Anwendungsinnovationen für den Rezyklateinsatz. Die Praxis beklagt in diesem Zusammenhang stellenweise auch noch eine verfahrenstechnisch eigentlich nicht begründete, aber im Vollzug oft trotzdem verschärfter ausfallende Prüfpraxis bei Recyclingprodukten.⁵

Im Vordergrund des Kunststoffrecyclings bleiben jene Prozesse, in denen reine oder sauber zusammengestellte Kunststofffraktionen mechanisch regranuliert und in anderen Produkten verarbeitet werden. Darüber hinaus standen auch seitens der Forschung und Entwicklungsarbeit für die Kunststoffverwertung thermische Nutzungsverfahren bisher stets im Mittelpunkt (Weigand 2013). Zukunftsträchtig könnten Hydrolyseverfahren sein, bei denen wieder eine Zerlegung in Kunststoffmonomere erfolgt, die sich zur Herstellung von Neuware einsetzen lassen.

Aus Rückbau- und Dachsanierungsmaßnahmen resultieren jährlich nach Angaben der verarbeitenden Industrie bundesweit mehr als 100 000 Tonnen bituminöse und teerhaltige Dachbahnen. Der Großteil davon wird thermisch verarbeitet, allerdings existieren bereits auch einige Ansätze der stofflichen Nutzung und Rückführung in bauliche Anwendungen.

Bild rechts:
Quelle: aryfahmed/Fotolia

⁵ Unter anderem thematisiert während der Problemdiskussion Bauabfallrecycling des Landesverbandes Recyclingwirtschaft Sachsen vom Juni 2013 sowie in jährlichen sächsischen Kunststoffrecycling-Seminaren am Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden.





5. Sensitivitätsstudien

5.1 Setzungen zum Rezyklateinsatz für 16 Bauproduktgruppen

Im vorangegangenen Kapitel wurden die Bauproduktgruppen mit ihren Abfallmengen und Behandlungswegen vorgestellt. Die zusammengetragenen Informationen zu Sammlung, Aufbereitung und RC-Verwendung wurden mit Experten der Verbände diskutiert. Ziel der Studie ist es, die Unterbringung von RC-Materialien in neuen Bauprodukten zu untersuchen und in einem Ausblick auf die Jahre 2030 und 2050 eine Potenzialabschätzung vorzunehmen.

Als sekundäre Rohstoffe verfügbare und eingesetzte Materialien wie REA-Gips, Hütten sand, Schlacke oder Flugasche werden hierbei nicht als Recycling gewertet, da sie im engeren Sinne dieser Studie keine Rezyklate sind. Sie entstehen nicht aus gezielter Rückgewinnung und Aufbereitung von ehemals genutzten Produkten oder baulichen Abfällen, sondern sind zuvorderst Nebenprodukte industrieller Prozesse (Rauchgasreinigung und Hochtemperaturverfahren). Hier werden also keineswegs gezielt und absichtlich Sekundärrohstoffe für das Bauwesen hergestellt.

Die Rückführung von Produktionsresten, Verschnitt- und Bruchmengen ist der Effizienz der Verfahrenstechnik zuzurechnen, wird also ebenfalls nicht dem Recycling zugeordnet. Dies entspricht auch der weithin anerkannten Ermittlungsmethodik für Recyclinganteile in Produkten (Produktkennzeichnung nach EN ISO 14021), bei der Mengen, die dem Fertigungsprozess des Produktes selbst entstammen und eine Zurückführung in die Produktion erfahren, keine Berücksichtigung finden.

Neben dem RC-Material, das aus dem Hochbau stammt und dann für neue Bauprodukte des Hochbaus eingesetzt wird, wird bei der Ermittlung der RC-Rate auch RC-Material aus anderen Branchen (zum Beispiel Behälterglas in der Glasdämmwolle) mit betrachtet, da es im Sinne der Ressourcenschonung sinnvoll ist, dass der Baubereich Rezyklate aus anderen Branchen aufnimmt, um somit Primärrohstoffentnahmen zu reduzieren.

Die Chancen, dass RC-Material in neuen Bauprodukten „eingebaut“ wird, wurden mit Fachexperten diskutiert. Im Rahmen der im Bearbeitungsverlauf der Studie durchgeführten Workshops wurden Kennzahlen zur Diskussion gestellt, die als theoretische Wiedereinbringungspotenziale von sekundären Baumaterialien in Anwendungen des Baubereiches über Sekundärquellenrecherchen gefunden wurden. Die in den Diskussionsprozess eingebrachten Größenordnungen der stofflichen Wiedereinbringung (RC-Anteilsraten) wurden

Bild oben:

Quelle: hydebrink/Fotolia

zunächst bewusst an den denkbaren Obergrenzen angelehnt, wobei diese jedoch nicht willkürlich festgesetzt, sondern neben einer Wiedergabe tatsächlich realisierter Praxiswerte in sogenannten Einzelfällen auch von dokumentierten Bauteilforschungen, Demonstrationsanwendungen oder Pilotversuchen und Testvorhaben abgeleitet wurden. Für die Experten war es nicht leicht – den Einzelfall kennend –, auf Anwendungschancen in der Praxis zu schließen und dies für die 16, zum Teil doch noch sehr umfangreichen Bauproduktgruppen in einer starken Verallgemeinerung. Mit der Maßgabe, dass die Setzungen und Einschätzungen nur der Erstellung von Sensitivitätsstudien dienen, die nicht für unmittelbare Rückbezüge auf die Praxis nutzbar oder darauf angelegt sind, konnte ein Konsens für die Setzung denkbarer RC-Einbringungsverhältnisse gefunden werden. Es ist dabei auch nicht möglich, die Spezifik eines jeden Einzelfalles (Produkts) im Rahmen der Studie darzustellen und zu erörtern. Abgesehen von den Spezifika eines jeden Anwendungsfalles liefern die Werte vor allem Anhaltspunkte, welche Zielvisionen unter weitgehend idealen Rahmenbedingungen in den verschiedenen Materialsegmenten überhaupt vorstellbar sind beziehungsweise derzeit als theoretische Potenzialgrenze wahrgenommen werden. Die Vorschläge für die RC-Setzungen wurden im Nachgang zu einem ersten Fachgespräch in überarbeiteter Form an Branchenvertreter versandt, mit der Bitte, diese zu kommentieren und durch ggf. eigene Setzungen zu korrigieren. In einem abschließenden Workshop Ende Februar 2014 wurden die Zwischenergebnisse diskutiert und in folgende Setzungen für die Sensitivitätsstudien überführt. Diese RC-Quoten wurden dann mit dem Materialstrommodell und den Varianten der Bautätigkeit gekoppelt.

Bauprodukt	Recyclinganteile im Produktsegment für die Hochbauverwendung (in%)		
	2010	2030	2050
Beton	0,4	6,0	12,0
Ziegel	0,0	10,0	15,0
Kalksandstein	0,0	5,0	5,0
Porenbetonstein	0,0	2,0	5,0
Sonstiges Mineralisches/Schüttungen	6,0	21,0	21,0
Gipskarton/Gipswandbauplatten	0,0	30,0	50,0
Sonstige Gipsprodukte	0,0	0,0	5,0
Konstruktionsholz	0,0	0,0	0,0
Holz-Bauplatten	4,0	10,0	20,0
Flachglas	15,0	25,0	35,0
Mineral. Wärmedämmungen, davon ca. 40 % Steinwolle mit RC 0, 15, 20	27,0	42,0	56,0
Erdölbasierte Wärmedämmungen	10,0	19,0	19,0
Kunststofftüren/-fenster	13,0	25,0	50,0
Sonstige Kunststoffe/PVC-Bahnenware/Teppiche	1,0	5,0	10,0
Metalle (nur ergänzend, nicht Untersuchungsgegenstand)	50,0	60,0	70,0
Sonstige	0,0	2,0	5,0

Tabelle 7:
RC-Quotensetzung

Um die zukünftigen Potenziale an realisierbaren Einsatzmengen von RC-Materialien im Baubereich zu quantifizieren, wird das Materialstrommodell der Bautätigkeit genutzt. Startposition ist die Bautätigkeit 2010 (siehe Kapitel 2). Für die zukünftige Entwicklung der Bautätigkeit in den Jahren 2030 und 2050 waren Annahmen zu treffen. Die Nachfrage nach Bautätigkeit hängt neben konjunkturellen Schwankungen vor allem von der Entwicklung

der Haushalte und der Bevölkerungsstruktur ab. Eine erste zentrale Frage war also: Wie wird sich die Nachfrage aufgrund der sich abzeichnenden Demografieentwicklungen in Deutschland in den kommenden Jahrzehnten verändern? Welchen Einfluss hat die Nachfrageveränderung auf die Bautätigkeit und welche Größenordnung kann der Einsatz von RC-basierten Baustoffen beziehungsweise RC-Material baulichen Ursprungs annehmen? In den im Folgenden dargestellten Sensitivitätsstudien geht es nicht um Vorhersagen, sondern um das Ausloten von Größenordnungen und der Bedeutung des Recyclings im Zusammenhang mit den sich abzeichnenden Veränderungen.

5.2 Setzungen zur Bautätigkeit 2030/2050

Für die Wohnbauaktivitäten ist die Anzahl der Haushalte in Deutschland maßgeblich. Diese nimmt bis 2025 noch zu, danach nimmt sie deutlich ab. Für den Nichtwohnbau ist die Bevölkerungsanzahl in Deutschland maßgeblich. Diese nimmt bereits 2030 um 5 % gegenüber heute ab, um schließlich 2050 14 % unter heutigem Niveau zu sein (70 Mio. Einwohner). (Die Annahmen zu Bevölkerung und Haushalten beruhen auf der 10. beziehungsweise 12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (StaBu 2009). Zur genaueren Einschätzung wurde in einem ersten Schritt die Bautätigkeit in den Jahren 2030 und 2050 für das Wohnen und den Nichtwohnungsbau, untergliedert nach Gebäudearten, eingeschätzt. Für die Wohnungsbautätigkeit lagen bereits aus anderen Projekten Zukunftsbilder vor (Gruhler/Böhm 2011a, Schiller et al. 2010).

Wohnbau und Bestandsentwicklung – Annahmen

Die Bautätigkeit – Zugang/Abgang – verändert die Bestandsmenge an Wohnfläche und, gekoppelt an den Bevölkerungsrückgang, wird die Wohnfläche (bewohnt und leer stehend) pro Person bis 2050 in Deutschland um ca. 11 % gegenüber heute steigen.

Grundlage für die Abschätzung der künftigen Bautätigkeit in den Jahren 2030 und 2050 sind die in der Statistik ausgewiesenen Bestandsdaten von 2010 (Wohnungen, Wohngebäude, Wohnflächen) sowie die Abschätzungen zu künftigen Wohnungszugängen und Wohnungsabgängen in den Untersuchungen von Gruhler/Böhm 2011a sowie Banse/Effenberger 2006. Um die darin dargelegten Wohnungsdaten zu Bestand, Zugang, Abgang und Leerstand in Materialflüsse/Materiallager umrechnen zu können, wurden baualtersklassenbezogene, synthetische Wohngebäudetypen für den Bestand und den Neubau gebildet. Diese spiegeln die für eine bestimmte Gebäudeart (zum Beispiel Mehrfamilienhaus) und ein bestimmtes Baualter (zum Beispiel 1991 bis 2010) vorherrschenden Bauweisen, Baukonstruktionen, Bauelemente und Baumaterialien wider. Zur Abbildung des Bestandes wurden fünf synthetische Mehrfamilienhäuser und ein Ein-/Zweifamilienhaus gebildet, zur Abbildung der künftigen Entwicklung (Neubautätigkeit) zwei synthetische Mehrfamilien- und zwei Ein-/Zweifamilienhäuser. Basierend auf den künftigen Wohnungsdaten (Zugang, Abgang) werden über statistisch abgegliche durchschnittliche Wohnflächen pro Gebäudetyp Hochrechnungen für 2030 und 2050 vorgenommen. Dabei wird davon ausgegangen, dass der künftige Wohnungszugang von ca. 4,2 Mio. Wohnungen im Zeitraum 2011 bis 2030 um ein Drittel auf ca. 2,8 Mio. Wohnungen von 2031 bis 2050 sinkt. Demgegenüber wird angenommen, dass sich der Wohnungsabgang von ca. 2,6 Mio. Wohnungen im Zeitraum 2011 bis 2030 um 80 % auf ca. 4,7 Mio. Wohnungen von 2031 bis 2050 erhöht.

Nichtwohnbau und Bestandsentwicklung – Annahmen

Zum Nichtwohngebäudebestand fehlen statistische Datengrundlagen. Damit ist das Nachvollziehen vorangegangener Entwicklungen, aber auch die Vorhersage der künftigen Dynamik schwierig. Um dennoch künftige Entwicklungen im Nichtwohngebäudebestand beschreiben und abschätzen zu können, wird auf die Hypothese zurückgegriffen, dass die Dynamik im Nichtwohngebäudebestand von der demografischen Entwicklung beeinflusst wird (Schiller et al. 2010). Fast alle Wirtschaftsaktivitäten im produzierenden oder dienstleistenden Bereich einschließlich Bildung, Erholung und Gesundheit stehen in engem Zusammenhang mit den Konsumenten/Einwohnern. Zur Ausübung der Aktivitäten der Einwohner werden in aller Regel Flächen in Gebäuden gebraucht. Nur solche Bereiche des

primären, sekundären und tertiären Sektors sind von der Demografie entkoppelt, die eine deutlich übernationale Bedeutung haben. Dies betrifft die Bereiche, in denen Deutschland Exportüberschüsse erzielt.

Auf Basis dieser Hypothese werden durchschnittliche Quotienten aus Bauzugang (Errichtung neuer Gebäude) und der Bevölkerungszahl sowie Bauabgang (Abgang ganzer Gebäude) und der Bevölkerungszahl gebildet. Diese Quotienten informieren über die Bauaktivität je Einwohner in m² Nutz- beziehungsweise Wohnfläche. Da die Bevölkerungsanzahl aufgrund des Zensus 2011 nach unten korrigiert werden musste (sog. Zensus-Knick), werden die „Entwicklungs“-Quotienten für Zugang und Abgang nur über den Zeitraum von 1993 bis 2010 gebildet. Für die Bildung von Durchschnittswerten der Bautätigkeit erscheinen die Jahre ab 2003 als sinnvoll, da sich die Bauaktivität nach der Wiedervereinigung deutlich entspannt hat (Abbildung Abgänge siehe Anhang).

Für den vergangenen Acht-Jahreszeitraum von 2003 bis 2010 ergeben sich die folgenden Quotienten für Zugang und Abgang (Tabelle 8: Quotienten „Zugang“ und „Abgang“ in m² Nutzfläche pro 1 000 Einwohner):

m ² Nutz- und Wohnfläche pro 1 000 Einwohner	Errichtung neuer Gebäude		Abgang ganzer Gebäude	
	Mittelwert 1993 bis 2010	Mittelwert 2003 bis 2010	Mittelwert 1993 bis 2010	Mittelwert 2003 bis 2010
Nichtwohngebäude zusammen	389	328	116	97
Anstaltsgebäude	15	16	6	6
Büro- und Verwaltungsgebäude	55	36	11	11
Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	52	54	20	15
Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude	236	196	69	56
darunter:				
Fabrik- und Werkstattgebäude	74	60	36	27
Handels- und Lagergebäude	126	106	25	22
Hotels und Gaststätten	8	6	3	3
Sonstige Nichtwohngebäude	30	26	9	10

Tabelle 8:
Quotienten „Zugang“ und „Abgang“ in m²
Nutzfläche pro 1 000 Einwohner

	Neubau-Input 1 000 m ² Nutzfläche			Abbruch-Output 1 000 m ² Nutzfläche		
	2010	2030	2050	2010	2030	2050
Anstaltsgebäude	1 117	963	432	433	736	1 188
Büro- und Verwaltungsgebäude	2 227	2 251	1 010	820	1 263	2 041
Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	5 549	3 366	1 510	946	1 696	2 740
Fabrik- und Werkstattgebäude	4 933	4 206	1 887	1 725	3 360	5 428
Handels- und Lagergebäude	8 478	7 451	3 343	1 669	2 730	4 409
Hotels und Gaststätten	756	443	199	235	359	579
Sonstige Nichtwohngebäude	2 416	1 626	730	657	1 104	1 783
Gesamt	25 476	20 306	9 111	6 485	11 248	18 168

Tabelle 9:

Nutzfläche Nichtwohnen in 1 000 m² für
Neubau und Abbruch in den Jahren 2010, 2030
und 2050, Bestandszuwachs bis 2050 auf
+30%/EW begrenzt

Die Quotienten dienen als Zugang zur Einschätzung möglicher Bautätigkeiten für die Jahre 2030 und 2050. Multipliziert man diese durchschnittliche Bautätigkeit mit prognostizierten Bevölkerungszahlen für 2030 und 2050, so lassen sich Bestandsveränderungen in den Nutzflächen der einzelnen Nichtwohngebäudearten ermitteln. Grundlage der prognostizierten Bevölkerungszahlen sind die Ergebnisse der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung „Bevölkerung Deutschland bis 2060“ des Statistischen Bundesamtes (StaBu 2009). Maßgebend ist die Variante 1-W1 („mittlere“ Bevölkerung, Untergrenze → Geburtenhäufigkeit annähernde Konstanz bei 1,4, Basisannahme zur Lebenserwartung, Wanderungssaldo von 100 000 ab 2014). Die Variante 1-W2 geht von einem höheren Wanderungssaldo aus. Die Bearbeiter haben dennoch die Variante 1-W1 als Basis zugrunde gelegt. Die Bautätigkeit wird selbstverständlich bei stärkerer Zuwanderung und bei Bevölkerungswachstum höher ausfallen. Die Grundtendenz, dass Deutschland ab 2025/2030 einen Sterbeüberschuss von 500 000 EW aufweisen wird, kann aber auch durch einen temporären Anstieg von Zuwanderung nur bedingt ausgeglichen werden. Varianten mit hoher Zuwanderung verschieben das in dieser Studie vorgestellte Gesamtergebnis möglicherweise vom Jahr 2050 auf das Jahr 2060.

Nimmt man diese einwohnerbasiert kalkulierten Bautätigkeitsquotienten, die dem Mittelwert der vergangenen acht Jahre (1993 bis 2010) entsprechen, und schreibt sie bis 2050 fort, so würde sich der Bestand um rund 25 % auf ca. 3,7 Mrd. m² Nutzfläche vergrößern, obwohl gleichzeitig die Bevölkerung um 14 % abnimmt und dadurch die jedem Einwohner in Deutschland zur Verfügung stehende Nutzfläche im Nichtwohngebäudebereich um fast 40 % steigen würde (betrifft alle Nichtwohnbauflächen von Verwaltung, Gastronomie, Hotels bis hin zu Betrieben, Industrie, Handel, Bildung und Sport). Eine Entwicklung, bei der jeder Einwohner 40 % mehr Nichtwohnbauflächen in Anspruch nimmt als heute, wurde von den Fachexperten als unrealistisch eingeschätzt. Eine ähnliche Proportion von Zubau und Abbruch wie in den vergangenen Jahren kann es bis 2050 nicht geben. Daher wird in der Grundannahme zur Bautätigkeit eine Zuwachsdeckelung (geringere Neubauquote, höhere Abbruchquote je Einwohner) festgelegt. Im Jahr 2050 soll die dann vorhandene Nutzfläche einschließlich Leerstand je Einwohner nicht über +30 % über dem heutigen Niveau liegen (derzeit ca. 20 m² beheizte NWG-Nutzfläche pro EW und weitere 17 m² unbeheizte NWG-Nutzfläche [Deilmann et al. 2013]). Im Modell wird davon ausgegangen, dass jenseits der 30 % Zuwachsdeckelung – die auch schon einen Anteil Leerstandszuwachs enthält – Abbruch stattfindet und der Bauschutt als Potenzial für den Wirtschaftskreislauf gelten kann. Diese Annahme ist sicher von großer Unsicherheit. Denn ebenso ist denkbar, dass Gebäudebrachen nicht abgebrochen und dem Materialkreislauf zugeführt werden; ebenso ist ungewiss, wie viel Abbruchmaterial auf Grundstücksbrachen möglicherweise verbleibt und so einem Recycling entzogen ist. Auch ein deutlich reduzierter Abbruch und ein deutliches Anwachsen des Leerstandes würden die Nachfrage nach Sekundärmaterial im Neubau decken.

Weitere Annahmen zur Bautätigkeit 2010 mit Überlegungen zur Bautätigkeit in den Jahren 2030/2050 im Wohn- und Nichtwohnbereich befinden sich in tabellarischer Form im Anhang.

5.3 Variantenbeschreibung der Bautätigkeit 2030/2050

Mit dem Auftraggeber wurden vier Sensitivitätsstudien abgestimmt. In den Sensitivitätsstudien wurden die Zeitschnitte 2030 und 2050 betrachtet. Für alle Sensitivitätsstudien wird die gleiche, oben beschriebene Bautätigkeit als Ausgangsbasis verwendet. Für die Bautätigkeit von 2010 bis 2030 und von 2030 bis 2050 wurden für die Neubautätigkeit neue synthetische Gebäudetypen gebildet, die von höheren Dämmstandards ausgehen. Der Passivhausanteil im Neubau steigt bis 2030 auf 50 % und bis 2050 auf 100 %. Die Anzahl an Wohnungen und die Nichtwohnbauflächen bleiben in allen Teilrechnungen gleich.

- Sensitivitätsstudie „BAU“ (Business As Usual): Hier wird davon ausgegangen, dass die heutigen Rezyklatquoten bis 2050 unverändert bleiben. Es ändert sich das Bauvolumen entsprechend den Bautätigkeitsannahmen 2030/2050.
- Sensitivitätsstudie „NA“ (Nachhaltigkeit): Hierin wird davon ausgegangen, dass die heutigen Rezyklatquoten bis 2050 unverändert bleiben, sich aber folgende Annahmen zur Bautätigkeit ändern: Der Holzbauanteil im Wohnungsbau steigt von derzeit 15 % im EFH-Bau auf 30 %, im MFH-Bau von 2 % auf 15 %. Es wird angenommen, dass Betonbauteile durch neue Rezepturen und Bewehrungstechnologie mit 10 % Materialeinsparung realisiert werden (kann auch durch optimierte Spannweiten und materialbewusstes Entwerfen erreicht werden). Dreifachverglasung wird auch bei vielen Nichtwohnungsbauten zum Regelfall. Der Dämmstoffeinsatz/Dämmstoffstärke wird gegenüber heutiger Bauweise um 30 % zulegen. Es werden zudem nur halb so viele Einfamilienhäuser gebaut wie in der BAU-Studie, dafür aber entsprechend mehr Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern (siehe Tabelle 10).
- Sensitivitätsstudie „Bau-RC“ geht davon aus, dass die von den Experten als optimistisch eingeschätzten Rezyklatquoten bis 2050 für „BAU“ realisiert werden.
- Sensitivitätsstudie „NA-RC“ geht davon aus, dass die von den Experten als optimistisch eingeschätzten Rezyklatquoten bis 2050 für „NA“ realisiert werden.

In allen Betrachtungen werden vollkommen neue Bauprodukte, Produktinnovationen wie RC-Steine (zum Beispiel kalksandsteinähnlicher Mauerwerksstein auf RC-Basis), Ziegelbetonsteine oder WPC-/Steinprodukte oder Leichtzuschlagsstoffe aus RC-Feinfraktion im Beton oder Putz nicht berücksichtigt, da die Marktanteile nicht zu beziffern waren.

	2010	BAU		NA	
		2030	2050	2030	2050
„Holzhäuseranteil“ EFH/MFH	15%/2%	15%/2%	15%/2%	30%/15%	30%/15%
Beton (Materialeinsparung durch Planung/Technik)	100%	100%	100%	90%	90%
Einsatz von Dämmstoffen	100%	100%	100%	130%	130%
Wohnungsneubau:					
E/ZFH in WE		1 065 000	685 000	532 500	342 500
MFH in WE		660 000	280 000	1 192 500	622 500
Gesamt WE		1 725 000	965 000	1 725 000	965 000

Tabelle 10:
Annahmen und Setzungen bei den beiden
Sensitivitätsanalysen (Quelle: BAU & NA)

In den Sensitivitätsstudien BAU und NA bleibt die Neubaumenge in Form der Anzahl neu zu errichtender Wohnungen zwar konstant, jedoch ändern sich die Relationen zwischen den Wohngebäudearten (Ein-/Zwei-/Mehrfamilienhäuser). So wird die in Form von Ein-/Zweifamilienhäusern neu zu errichtende Menge an Wohnungen um die Hälfte reduziert. Die Differenzmenge wird demgegenüber den Mehrfamilienhäusern „zuschlagen“, was in der Konsequenz eine Verringerung der Neubauwohnflächen in m² von rund 4 % bis 2030 und rund 8 % bis 2050 nach sich zieht, da Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern durchschnittlich größer sind als in Mehrfamilienhäusern (135 bis 145 m² pro WE in E/ZFH und 75 bis 85 m² pro WE in MFH; Fortschreibung der Wohnflächenentwicklung auf Basis der Bautätigkeitsstatistik). Als Folge reduzieren sich damit auch die Materialflüsse durch den Neubau.

Betrachtet man die Pro-Kopf-Wohnfläche, so steigt diese bis 2030 in „NA & NA-RC“ auf 46 m² und bis 2050 auf ca. 50 m². In den Sensitivitätsstudien „BAU & BAU-RC“ würde die pro Kopf in Anspruch genommene Wohnfläche bis 2030 etwas mehr noch auf 47 m² und bis 2050 auf rund 51 m² ansteigen.

Bild rechts:
Quelle: Monika Gruszewicz/Fotolia





6. Ergebnisdarstellung

6.1 Entwicklung der Bautätigkeit in Deutschland

Die Bautätigkeit in Deutschland war in den 1990er-Jahren sehr stark von Zuwanderung aus dem Ausland und der Binnenwanderung von Ost- nach Westdeutschland geprägt. Zugleich fand mit der Aufbauförderung in Ostdeutschland eine durch steuerliche Anreize getriebene Bauoffensive statt. Binnenwanderung und Neubautätigkeit führten Ende der 1990er-Jahre zu über eine Million leer stehenden Wohnungen. Die Politik begann mit dem Stadtumbau Ost gegenzusteuern und förderte u. a. den Abbruch von Wohnungen. Die Baukonjunktur kühlte insgesamt ab. Die Finanz- und Weltwirtschaftskrise ab 2007 sorgte für Verunsicherung und Zurückhaltung bei Investitionen. Die infolge von der Europäischen Zentralbank initiierte Niedrigzinspolitik hat vor allem in Deutschland zu einer deutlichen Ankurbelung der Bautätigkeit beigetragen. Nach einigen Jahren der Steigerung verlief das Jahr 2015 auf gleichem Niveau wie 2014.

Abbildung 9:

Abbruch von Gebäuden nach Nutzungsart, 1995–2050 (Quelle: eigene Berechnungen)

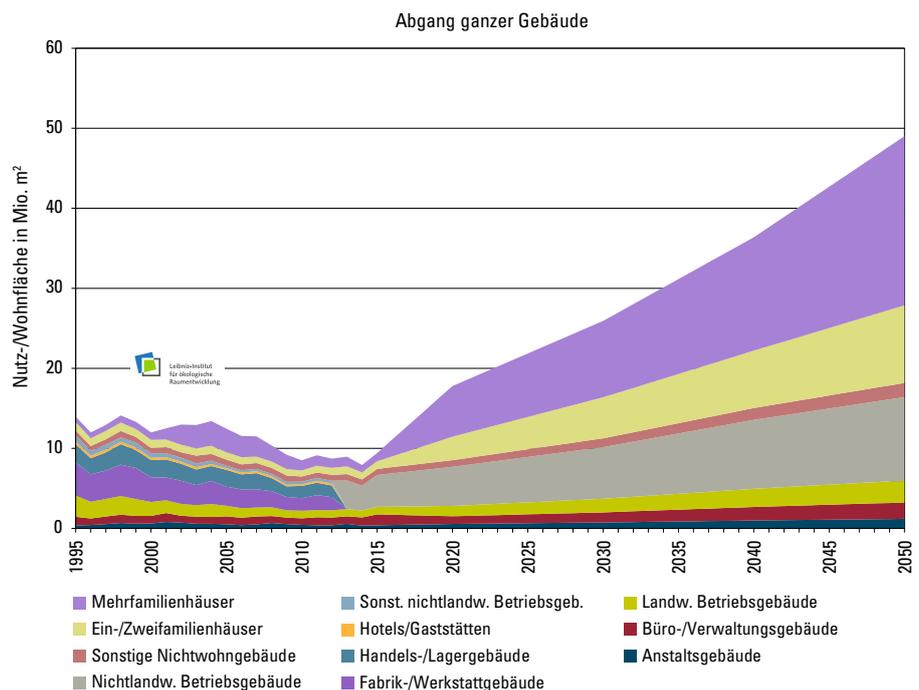


Bild oben:

Quelle: Dittrich/ Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), 2002

Für 2016 wird aber wieder mit einem leichten Anstieg gerechnet. Die Bautätigkeit konzentriert sich dabei auf die attraktiven Großstädte. Der dort entstehende Eindruck eines breiten Aufschwungs – und einer Flucht ins „Betongold“ – darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass in vielen Regionen Deutschlands die Haushaltszahlen stagnieren oder sogar abnehmen. Daher ist nicht zu erwarten, dass die Fertigstellungen von Gebäuden eine Größenordnung wie Mitte der 1990er-Jahre erreichen werden. Die beiden folgenden Grafiken veranschaulichen die Vorausschätzung der Bautätigkeit, die sich auf Basis der beschriebenen Annahmen für die Variante BAU als Basis aller weiteren Varianten ergeben. Langfristig muss für Deutschland mit einer Abnahme der Bautätigkeit gerechnet werden. Ein Sterbeüberschuss von fast einer Million Deutschen pro Jahr ab 2030 könnte nur von einer über Jahrzehnte anhaltenden Netto-Zuwanderung von 500 000 Personen pro Jahr aufgehalten werden. Angesichts der aktuellen Debatte um Migranten und Asylsuchende ist dies nicht realistisch. Daher muss langfristig von einer Zuwanderung von ca. 200 000 Einwohnern ausgegangen werden. Es wird aber vermutlich in den kommenden drei bis vier Jahren aufgrund der hohen Flüchtlingszahlen etwas mehr als in der Grafik dargestellt gebaut werden. Insgesamt könnte die Unsicherheit dahingehend beschrieben werden, dass die hier dargestellten Zahlen nicht 2050, sondern erst 2060 erreicht werden.

Die Vorausschätzungen zum Abbruch sind weitaus ungewisser. Als grobe Orientierung diene die Annahme, dass Leerstände im Wohnungsbau nicht über 8 bis 10 % im Durchschnitt betragen sollten. Daraus errechnet sich eine notwendige Abgangsrate als Konsequenz aus der schon bescheiden angenommenen Zugangs/Neubautätigkeit. Bei Nichtwohngebäuden ist die Anzahl leer stehender Flächen weder aus der Vergangenheit noch derzeit als aktueller Leerstand bekannt. Es kann kaum vorhergesehen werden, in welchem Umfang Nichtwohnbauimmobilien als Gebäudebrache stehen bleiben. Die in dieser Studie getroffenen Annahmen beschreiben daher nur das Potenzial an Bauabbruch.

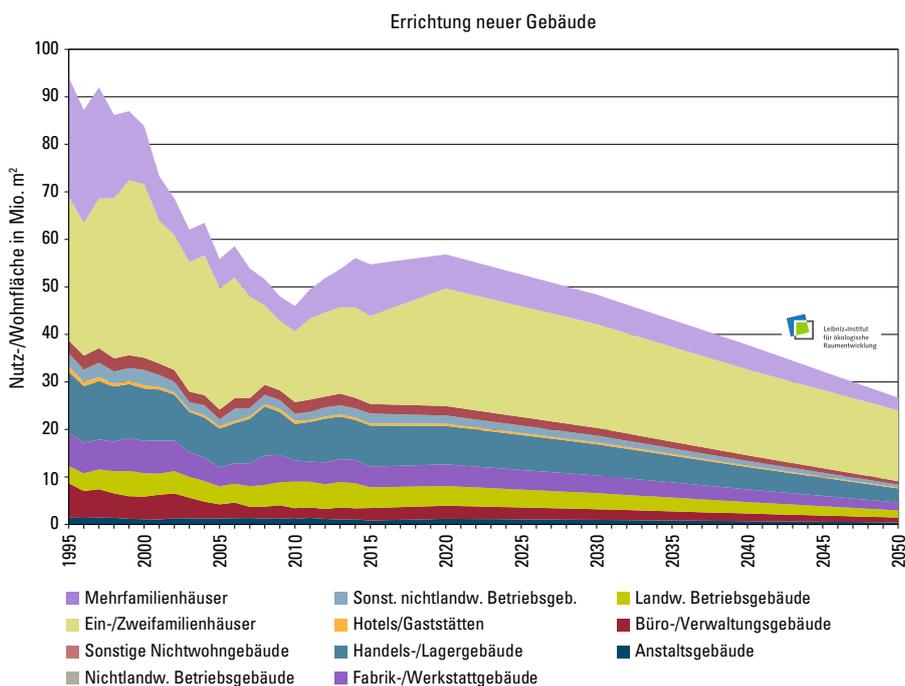
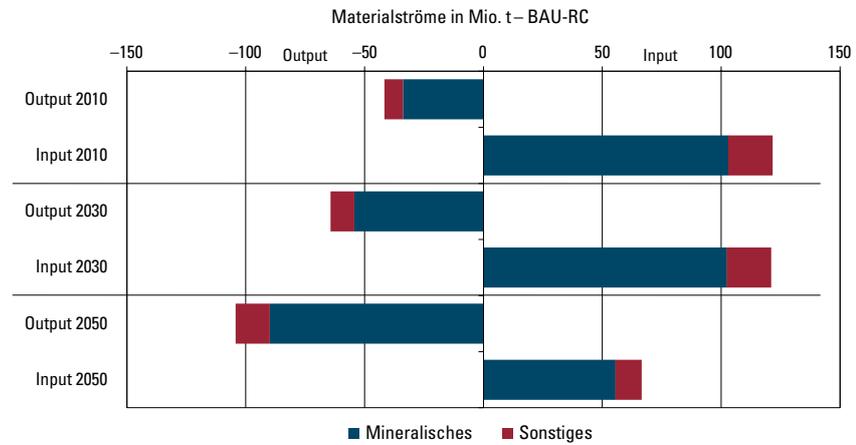


Abbildung 10:
Neubau von Gebäuden nach Nutzungsart,
1995–2050 (Quelle: eigene Berechnungen)

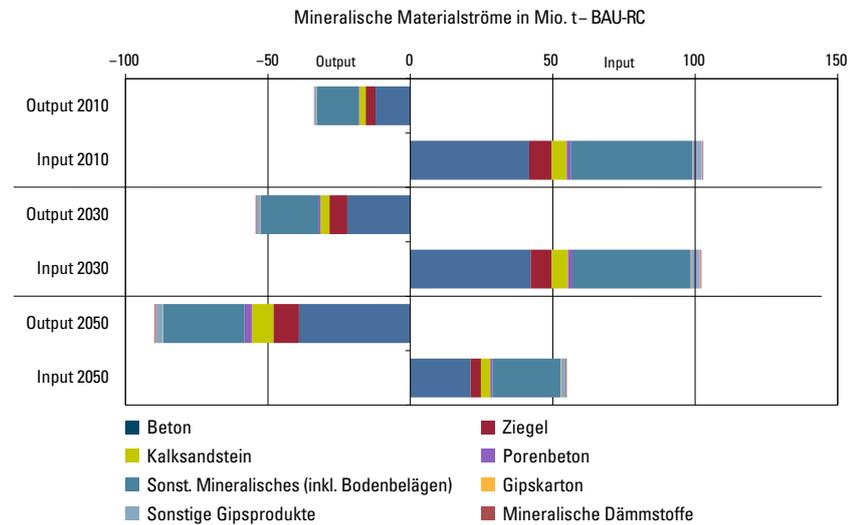
6.2 Entwicklung des Rezyklateinsatzes 2010, 2030, 2050

Abbildung 11:
BAU – Materialströme für Wohnen und Nichtwohnen gesamt in verschiedenen Ausdifferenzierungen.
(Quelle: eigene Darstellung)

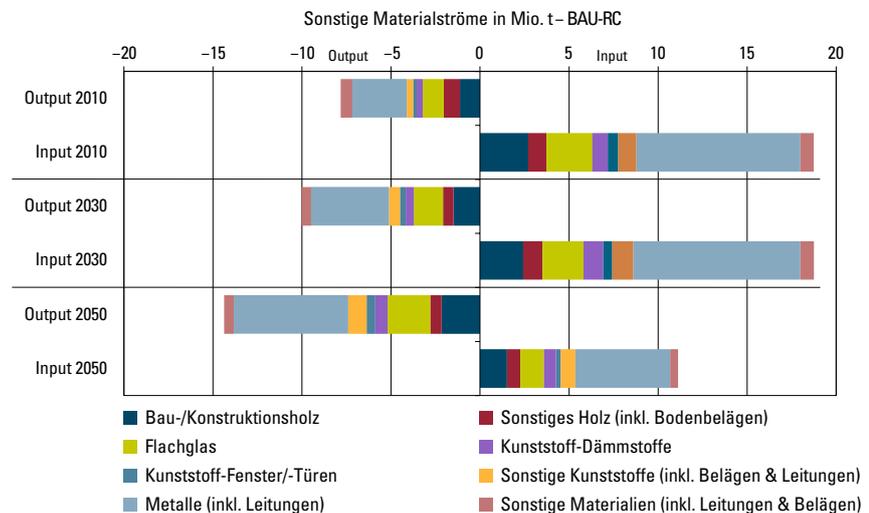
Gesamt-Materialströme, unterteilt in mineralische und sonstige Materialien



Mineralische Gesamt-Materialströme, unterteilt in acht mineralische Materialgruppen



Sonstige Gesamt-Materialströme, unterteilt in acht sonstige, nichtmineralische Materialgruppen

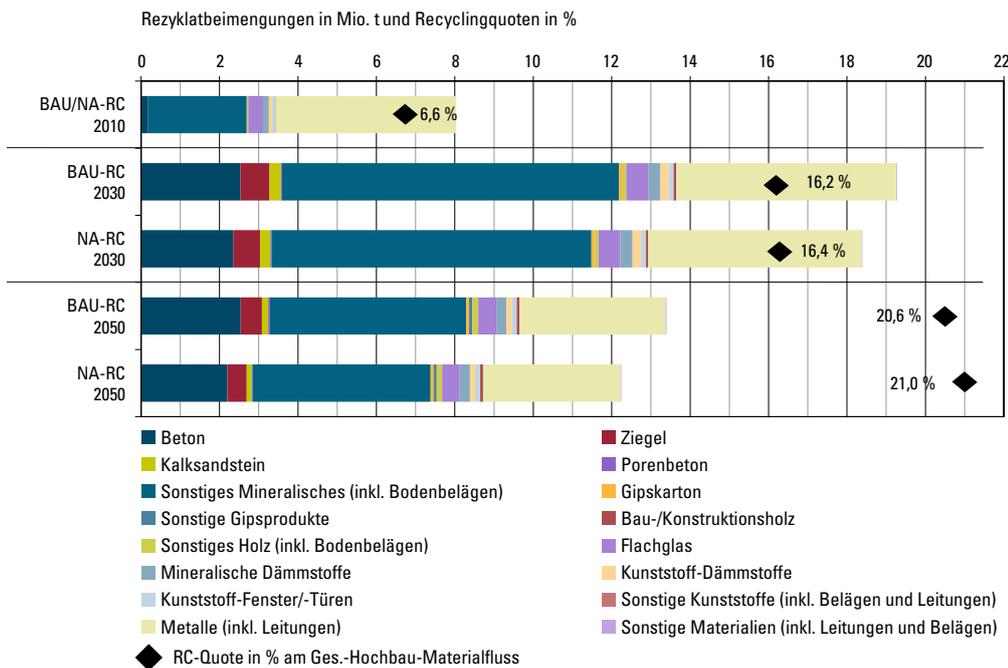


Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse bilden den „Kern“ des Baugeschehens ab, der den statistisch erfassten hochbaulichen Bauaktivitäten zugeordnet werden kann. Statistisch nicht relevante Kleinstgebäude, infrastrukturelle Elemente, wie zum Beispiel Handymasten oder Gebäude für den ruhenden Verkehr sowie Baugrundverbesserungen und Stützmauern, sind nicht im Modell abgebildet. Der mineralische Massestrom (Ausnahme Mauersteine) ist im Abgleich zwischen bottom-up und top-down nur zu 50 % in diesem Modell erfasst. Mit dieser Ausnahme und Unschärfen beim Holzmaterialstrom decken sich Modellberechnungen und Verbandszahlen weitgehend.

Die generelle Beobachtung zu den Materialströmen bis 2050 ist, dass sich die Bautätigkeit bis 2030 (Neubau, Umbau, Modernisierung) nicht dramatisch verändern wird. Dies schließt einen Peak der Bautätigkeit aufgrund temporärer positiver Wanderungssalden zum Ende der zweiten Dekade 2020 nicht aus. Dieser Zeitschnitt ist in der Studie nicht dargestellt. Die Bautätigkeit im „Rückbau“ (Abbruch, Output aus Umbau und Modernisierung) wird allerdings im Jahr 2030 deutlich gegenüber 2010 zunehmen.

Spätestens in der vierten Dekade ist mit einem dramatischen Trendbruch zu rechnen. Die Neubau-Bautätigkeit wird am Ende der Dekade 2050 (oder verzögert im Jahr 2060) eine um 45 % geringere Masse gegenüber 2010 haben. Der „Rückbau“ könnte um 250 % gegenüber 2010 zunehmen, wenn die Zunahme leer stehender Gebäudebrachen moderat bleiben soll. Die bewegten Baumassen werden bei entsprechender Umverteilung zwischen Input und Output insgesamt bis 2030 um 14 % und 2050 um ca. 5 % größer sein als 2010 (pro EW werden dies sogar 20 % mehr „Bauaktivität“ in Masseinheiten sein – allerdings durch den Rückbau dominiert).

Abbildung 12:
Rezyklateinsatz und Recyclingrate im Vergleich (Quelle: eigene Darstellung)

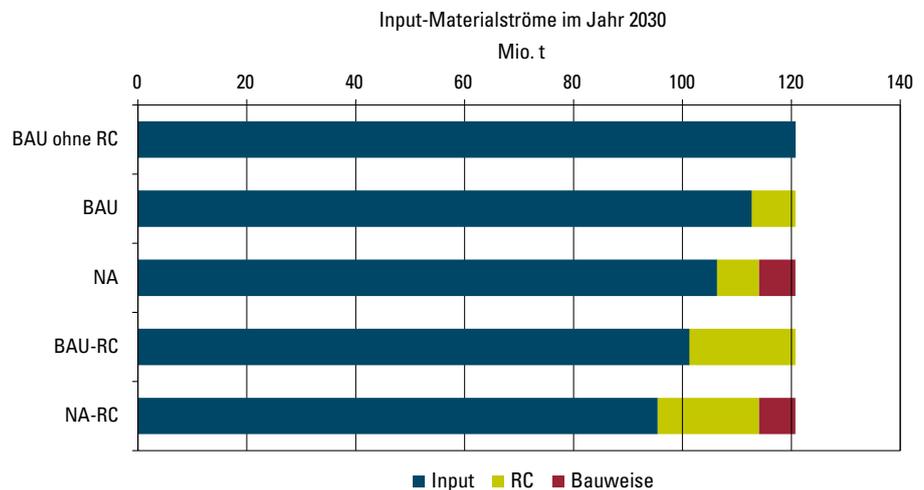


Das Einbringen von Rezyklaten baulichen Ursprungs in Bauprodukte für Neubau und Sanierung kann nur auf diesen zugrunde liegenden Bauaktivitäten aufbauen. Die errechnete Rezyklatnutzung für 2010 im Hochbau ist nach derzeitigem Stand mit rund 8 Mio. Tonnen angesichts der errechneten Gesamtinputmenge an Primärmaterial bottom-up von rund 120 Mio. Tonnen gering (top-down aus der Statistik werden dem Hochbau noch weitere 130 Mio. Tonnen mineralische Bauprodukte zugerechnet). Bei sich verbessernden Rahmenbedingungen für die Kreislaufwirtschaft könnte der Einsatz von Rezyklat mengenmäßig Mitte der dritten Dekade einen Peak zwischen 18 und 20 Mio. Tonnen aufweisen, um dann bis 2050 auf ca. 12 bis 14 Mio. Tonnen abzuschmelzen, obwohl die Rezyklatanteile im neuen Bauprodukt (gemittelt über alle Bauproduktgruppen) von ca. 16 % im Jahr 2030 auf 21 % im Jahr 2050 steigen könnten.

Es fällt im Vergleich des möglichen Rezyklatanteils der Bauproduktgruppen auf, dass neben den Metallen besonders die sonstigen mineralischen Baumaterialien einen hohen Massebeitrag zur Gesamtrate leisten. In differenzierten Tabellen (siehe zum Beispiel zum Wohnen, Anhang A1, S. 73, Input-Spalten 6 und 7) wird deutlich, dass das Potenzial vor allem im Schüttgut zu finden ist. Das sind die Sauberkeitsschichten unter den Gründungsplatten, der Hinterfüllungsraum an den Gebäudekellerwänden und die Zuwegungen, Pkw-Stellplätze und Terrassen auf privatem Grund und Boden sowie der Leitungsbau für den Gebäudeanschluss. Wenn das Schüttgut für kapillarbrechende Schichten, Feinplanungssande und Leitungsrillen konsequent aus Sekundärrohstoffen hergestellt würde, so wäre dies der effektivste und am leichtesten zu bewältigende Schritt zur Erhöhung der Recyclingrate im Hochbau, wenn man auf die Masseanteile in Tonnen orientiert.

Input-Materialströme 2030 und mögliche Einsparpotenziale

Abbildung 13:
Einsparpotenziale durch Rezyklat und Bauweise (erhöhter Holzbauanteil, Dämmstoffeinsatz, halbiertes EFH-Bau zugunsten von MFH, -10% Material-Input für Tragkonstruktionen) – Szenarien im Vergleich (Quelle: eigene Darstellung)



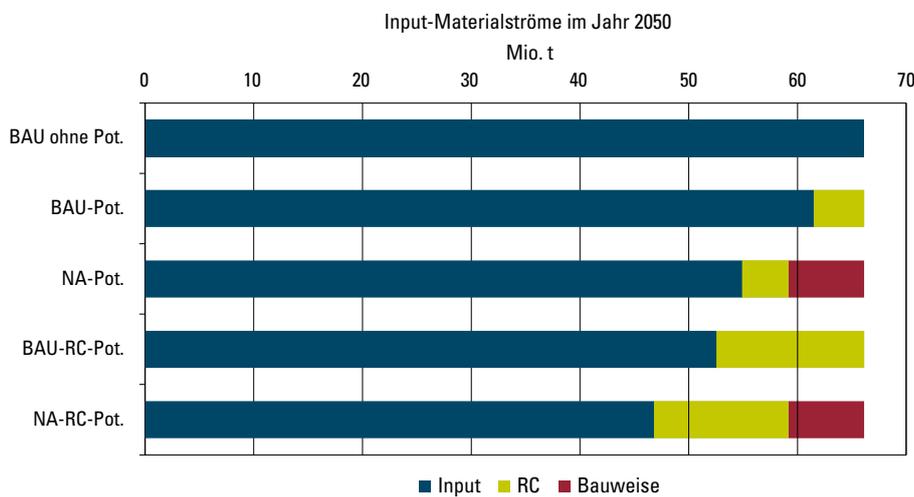
Sensitivitätsstudien 2030	Input	Einsparpotenziale	
	Input	RC	Bauweise
	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t
Bau ohne Pot.	120,449	0,000	0,000
%	100	0	0
BAU-Potenzial	112,366	8,082	0,000
%	93	7	0
NA-Potenzial	105,967	7,792	6,689
%	88	6	6
BAU-RC-Potenzial	100,866	19,563	0,000
%	84	16	0
NA-RC-Potenzial	95,108	18,651	6,689
%	79	15	6

Betrachtet man die Primärrohstoffeinsparung im Hochbau durch Sekundärrohstoffe (Abbildung 13), so trägt 2030 der Einsatz von RC-Material zu einer Primärstoffeinsparung von 7 % bei, wenn man die Rezyklatanteile im Bauprodukt nicht erhöhen würde. Eine nachhaltige Bauweise (NA), wie sie oben skizziert ist, schont die Ressourcennentnahme um 5 % zuzüglich zu den dann 6 % Einsparungen aus der derzeit üblichen Recyclingpraxis. Werden die von den Experten geschätzten RC-Quoten für 2030 erreicht, so steigt das Einsparpotenzial auf 16 % (BAU-RC) beziehungsweise 21 % (NA-RC). Im Jahr 2050 steigt der Beitrag bei einem optimistischen Rezyklateinsatz auf 21 % (BAU-RC) und wenn zugleich eine nachhaltige Bauweise eingeschlagen wird, auf 28 % (NA-RC). Der Substitutionseffekt durch Rezyklateinsatz wird hier vereinfachend als 1 : 1 zwischen Sekundärrohstoff und Primärrohstoff angenommen.

Über die Jahrzehnte werden die Input-Materialströme für Sanierung/Modernisierung zunehmen. Da bei Sanierungen nur vergleichsweise geringe Materialmengen bewegt werden, bleibt der Neubau – auch wenn er absolut zurückgeht – dominant.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsstudie in Tabellenform sind differenziert im Anhang (Tabelle A1 bis A6) dokumentiert.

Input-Materialströme 2050 und mögliche Einsparpotenziale



Sensitivitätsstudien 2050	Input		Einsparpotenziale	
	Input	RC	Bauweise	
	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t	
Bau ohne Pot.	65,978	0,000	0,000	
%	100	0	0	
BAU-Potenzial	61,341	4,637	0,000	
%	93	7	0	
NA-Potenzial	54,701	4,331	6,947	
%	83	7	11	
BAU-RC-Potenzial	52,380	13,599	0,000	
%	79	21	0	
NA-RC-Potenzial	46,616	12,416	6,947	
%	71	19	11	

Kernaussagen

Im Folgenden werden die wesentlichen Beobachtungen, die sich aus den Sensitivitätsstudien ableiten lassen, in Kurzform präsentiert. Es handelt sich nicht um Prognosen oder denkbare Szenarien, sondern es geht darum, Zusammenhänge und Größenordnungen in Beziehung zu setzen. Dabei liegen optimistische Annahmen zu veränderten Rahmenbedingungen für die Kreislaufwirtschaft zugrunde.

- › Die Baumaterialströme werden vor allem durch die sich ändernde Nachfrage als Folge des demografischen Wandels bestimmt (langfristig –45 % Input = –68 Mio. t, beim Output +150 % im Jahr 2050 oder spätestens 2060 gegenüber 2010).
- › Die Primärstoffeinsparung bei effizienter Bauweise, einer Erhöhung der Holzbauweise und weniger Einfamilienhäusern (NA) kann ca. 6 % 2030 bis 11 % 2050 betragen – in beiden Jahresscheiben rund 6,5 Mio. t.
- › Der Rezyklateinsatz bei Bauprodukten kann von derzeit ca. 7 % über 16 % (2030) auf 21 % im Jahr 2050 anwachsen (in Masseinheiten zwischen 19 und 13 Mio. t). Die Rezyklatanteile schwanken je nach Bauproduktgruppe zwischen 0 und 70 %.
- › Die Rezyklatanteile in Masseinheiten im Hochbau werden von zwei Bauprodukten dominiert: den Metallen und den Schüttungen. Beide liegen weit vor allen anderen Anwendungen (auch gegenüber Beton und Mauersteinen).
- › Das größte RC-Potenzial für den Hochbau nach den Metallen liegt bei den mineralischen Schüttungen – ein Potenzial, das sich leicht erschließen ließe.
- › In der Bedeutung des RC-Potenzials in Mio. Tonnen folgen nach den Mineralischen und Metallen dann Glas, mineralische Dämmstoffe und – aus verschiedenen Einsatzorten zusammenaddiert – die Kunststoffe. Die Chancen für stoffliches Recycling bei Holzwerkstoffen werden als sehr gering eingeschätzt.
- › Beim Material-Input hat das Holz nach den Mineralischen und Metallen den bedeutendsten Masseanteil, gefolgt von Glas und Kunststoffen.
- › Der Baustellenverschnitt – je nach Bauprodukt zwischen 3 und 15 % (untere Grenze) – bietet sehr gute Chancen für hochwertiges Recycling, wenn Sammellogistik und Transportkosten es ermöglichen. Größenordnung: 5 Mio. Tonnen sortenreiner Baustellenabfall.
- › Würde man beim Planen und Bauen auf konstruktive Effizienz setzen (10 % Materialeinsparung beim Beton), so übertrifft (2030) beziehungsweise entspricht (2050) die Einsparung an Primärstoffen dem Einsparpotenzial durch Einsatz von RC-Gesteinskörnung beim Beton – bei einem angenommenen Rezyklatanteil von 6 % (2030) und 12 % (2050) in Beton.
- › Der Output-Strom wird immer mehr RC-Ausgangsstoffe liefern, als bei den angenommenen Recyclingquoten im Hochbau eingebaut werden können. Zwangsläufige Verluste durch Nichterfassbarkeit, Schadstoffproblematiken, Aufbereitung oder Konkurrenzen mit anderen Branchen sind dabei nicht berücksichtigt.
- › Für mineralische Bauproduktgruppen sind regionalisierte Materialbilanzen zu rechnen, um die Unterschiede zwischen Wachstumskernen und Schrumpfungsbereichen in Deutschland zu berücksichtigen. Dies erfordert einen Forschungsansatz, der Transportdistanzen berücksichtigt.
- › Bei einem maximalen mineralischen Gesamt-Output aus dem Hochbau 2050 von 89 Mio. Tonnen (abzüglich 8 Mio. Tonnen kreisläufig in den Hochbau zurückgeführter Sekundärrohstoffe) würden ca. 81 Mio. Tonnen an den Tiefbau weitergereicht werden.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ressourcenschonung ist ein umweltpolitisches Ziel. Das Recycling im Hochbau kann einen bedeutenden Beitrag leisten und Primärstoffe in signifikantem Umfang substituieren beziehungsweise einsparen helfen. Die folgenden Aussagen basieren auf den Hochrechnungen des dieser Studie zugrunde gelegten Materialstrommodells für den Hochbau in Deutschland. Es ist darauf hinzuweisen, dass statistisch nicht erfasste Kleinstgebäude, technische Infrastrukturelemente und große Infrastrukturgebäude nicht in dem erstellten Modell enthalten sind.

Der für diese Studie herangezogene Masseansatz führt zusammenfassend zu folgenden Beobachtungen: Studien zur Hochbautätigkeit mit einem Zeithorizont bis 2030 erfassen noch nicht den danach zu erwartenden Trendwechsel in der Bautätigkeit. Noch für rund 15 bis 20 Jahre wird sich in Westdeutschland aufgrund des Haushaltsverkleinerungsfaktors die abnehmende Einwohnerzahl noch nicht flächenhaft bemerkbar machen, sondern nur in einigen wenigen Regionen. Im Gegenteil, in den kommenden zehn Jahren wird es zu Wohnungsempässen in prosperierenden Regionen kommen, wenn dort nicht zügig mehr gebaut wird. Der fast flächendeckende Nachfragerückgang in Ostdeutschland mit Ausnahme einiger weniger Großstädte wird allerdings anhalten bis 2050. In Westdeutschland ist etwa 2030 der Zeitpunkt erreicht, an dem rechnerisch jede neu gebaute Wohnung eine leer stehende an einem anderen Ort zur Folge haben wird. Damit beginnt auch in Westdeutschland eine Leerstandsentwicklung, die von Jahr zu Jahr zu höheren Leerstandsquoten in den meisten Städten und Regionen führen wird. Die Zukunft des Nichtwohnungsbaus ist ebenfalls von der demografischen Entwicklung abhängig – mit Ausnahme von Branchen mit übernationaler Bedeutung durch Export. Ungewiss ist, ob nicht mehr benötigte Nutzflächen zurückgebaut werden und somit in den Materialkreislauf zurückfinden oder auf den Flächen als Gebäudebrachen verbleiben. Eine von der Politik geförderte „Bereinigung“, wie im Wohnungsbau durch Zuschüsse zum Rückbau, könnte städtebaulich erforderlich werden. Von Expertenseite wird also allgemein mit einem ab 2030 zurückgehenden Baugeschehen gerechnet. Erwartet wird allerdings auch, dass sich die Bauaktivitäten stärker auf den innerstädtischen Bereich und auf Modernisierungs- beziehungsweise Sanierungsvorhaben konzentrieren werden. Einem gegenüber heute ggf. geringeren Gesamtbedarf an Baumaterialien könnte ab 2020 bei zunehmender Abbruchtätigkeit eine erhöhte Freisetzung von Bauabfällen gegenüberstehen. Das Gesamtvolumen an „bewegter“ Baumasse (Input und Output) wird bis 2030 auf rund 180 Mio. Tonnen im Hochbau anwachsen und 2050 auf das gleiche Niveau wie 2010 mit 160 Mio. Tonnen zurückfallen. Dies allerdings mit umgekehrten Vorzeichen: 2010 ist der Input-Strom dreimal so groß wie der Output-Strom, 2030 beträgt er 2 : 1 und 2050 beträgt der Output-Strom das 1,5-Fache des Input-Stroms.

Die Einsparungen an Primärmaterial durch Einsatz von im Hochbaubereich quasi kreisläufig geführten Materialanteilen (RC-Mengen) können in den kommenden Jahrzehnten eine deutliche Steigerung von 7 % auf – nach Expertenmeinung optimistische – 21 % erfahren. Die höchste absolute Menge aber wird vermutlich in den kommenden 15 Jahren mit einer RC-Quote von 16 % und ca. 19 Mio. Tonnen kreisläufig eingesetztem Sekundärmaterial erreicht. Bis 2050 wird sich die absolute Menge auf ca. 13 Mio. Tonnen aufgrund geringer Bautätigkeit reduzieren. Diese Verringerung ist nicht zum Nachteil einer Ressourcenschonung, da sie parallel mit einer reduzierten Neubautätigkeit 2050 gesehen werden muss. Der Material-Input insgesamt wird gegenüber 2010 um ca. 45 % abnehmen und somit rund 55 Mio. Tonnen Primärmaterial weniger nachfragen. Der Rückgang der Bautätigkeit bei gleichzeitiger Erhöhung der RC-Quote im Hochbau auf 21 % könnte somit die Nachfrage an Primärmaterialien von derzeit 121 Mio. Tonnen auf 52 Mio. Tonnen im Jahr 2050 senken.

Die errechnete Rezyklatnutzung für 2010 im Hochbau ist nach derzeitigem Stand mit rund 8 Mio. Tonnen angesichts der errechneten Gesamtinputmenge an Primärmaterial von rund 120 Mio. Tonnen gering. Mit Blick auf die Differenz zwischen Top-down- und Bottom-up-Daten ist dies noch kritischer zu bewerten. Im Modell wird bottom-up für 2010 ein Material-Input von 120 Mio. Tonnen errechnet, top-down ordnet die Statistik dem Hochbau ca. 250 Mio. Tonnen zu. Die Differenz begründet sich zu fast 97 % aus mineralischen Bauprodukten. Erklärungsansätze für die Differenz sind einerseits Unschärfen in der Trennung

beziehungsweise Zuordnung zwischen Hoch- und Tiefbau bei der statistischen Erfassung, andererseits Lücken im Modell. Das Modell sollte den „Kern“ des Baugeschehens abbilden, der sich mit der Baustatistik verknüpfen lässt. Objekte, die nicht im Modell abgebildet werden, sind Infrastrukturgebäude (Kraftwerke, Bahnhöfe, Flughäfen etc.), Infrastrukturelemente (zum Beispiel Handymasten, Biogasanlagen), ruhender Verkehr (Einzelgaragen, Parkhäuser) sowie Sicherungen von Geländesprüngen und andere Grundbaumaßnahmen, die dem Hochbau zugerechnet werden können. Viele dieser Objektarten jenseits der statistisch erfassten Gebäude bergen gerade im mineralischen Bereich gute Einsatzmöglichkeiten für Rezyklate.

Aus technischer Sicht ist klar, dass zum Erreichen des oben skizzierten Recyclingniveaus vor allem eine bestimmte Qualität, Unbedenklichkeit und Separierbarkeit der verschiedenen Abbruchmaterialien gewährleistet sein muss (Recyclingfähigkeit) beziehungsweise dass es Verfahren braucht, mit denen die Materialien in einer für den Wiedereinsatz geeigneten Form aufbereitet und schließlich auch in marktfähige Produkte überführt werden können. Zu all dem muss der gesamte Vorgang der stofflichen Wiedernutzung wirtschaftlich durchführbar sein, das heißt, entstehende Kosten müssen sich im Rahmen bestehender, gleichwertiger Alternativen (vor allem durch den Primärstoffsektor) bewegen oder mittels entsprechender Marktnachfrage oder bestehender Kompensationsmechanismen gedeckt werden (Wirtschaftlichkeit).

Tatsache bleibt, dass verfügbares Ausgangsmaterial und ein von speziellen Normen abgesicherter Anwendungsrahmen bislang nicht genügen, um Bauherren, Projektentwickler und Bauprodukthersteller zu einer stärkeren Berücksichtigung zum Beispiel mineralischer Rezyklate beim Beton- und Mauerwerksbau zu veranlassen. Obwohl Normenwerk und Zulassungsregeln hier eine größere Bandbreite an Materialien ermöglichen, kommt in Deutschland beim Einsatz von aufbereitetem Bauschutt als Gesteinskörnungszuschlag für den Betonbau derzeit nahezu ausschließlich Betonbruch höchster Reinheit, der beispielsweise nur beim Abbruch von reinen Betonbauten wie Brücken, Betonfahrbahnen, Fertigteilegebäuden oder Fundamenten zu gewinnen ist, zur Verwendung – dies zudem in relativ geringen Anteilen und Absolutmengen. Allein dadurch bleibt das konkrete Realisierungspotenzial für die Option des Einsatzes rezyklierter Gesteinskörnungen in Bauanwendungen im Moment noch in erheblichem Umfang unausgeschöpft. Dies geschieht im Weiteren auch durch die weit hinter den Grenzen der Machbarkeit zurückbleibende Berücksichtigung von mineralischen Baustoffzyklaten in der privaten Freiflächengestaltung. Dennoch: Der Straßenbau zeigt sich als deutlicher Schwerpunkt der bisherigen Verwendung von Bauschutt in Form eines Recyclings. Auch die hierzu geführten Diskussionen und intensiv geführten Kontroversen, zum Beispiel um eine bundeseinheitliche Ersatzbaustoffregelung, lassen aber erkennen, dass die Verwendung von Baustoffzyklaten in den Einsatzbereichen mit anspruchsvollen Materialanforderungen noch immer keine allgemeine Praxis darstellt. Der Umfang, in dem Körnungen aus Bauschuttmaterial hier bereits zum Einsatz gelangen, ist nicht unerheblich, wesentlichen Akteursgruppen zufolge aber auch noch deutlich ausbaufähig.

Für einige andere Produktbereiche steht die Erschließung von Recyclingkreisläufen noch aus (beispielsweise Gips und Dämmstoffe) oder diese sind trotz praktikabler Lösungen noch nicht in Gang gesetzt worden (Bsp. RC-Steine, RC-Mörtel). Jenseits der mineralischen Bauprodukte gibt es Produktbereiche, bei denen es trotz ausreichender Freisetzung auf der Output-Seite dennoch einen Mangel an geeigneten sekundären Ausgangsrohstoffen zur Wiedereinbringung im Baubereich gibt (Bsp. Glas, Kunststoffe, Holz). Hier spielen neben Qualitäts- und Gefahrstoffproblematiken auch sich gegenseitig substituierende RC-Ströme (Verpackungskunststoff vs. Kunststoff aus Bauprodukten), Materialien (Beton vs. Holz oder Kunststoff vs. Beton) und Verwertungswege (Bsp. thermische vs. stoffliche Nutzung bei Holz) eine Rolle. Insgesamt zeigt sich damit, dass das Erreichen einer verbesserten Kreislaufwirtschaft im Bauwesen in äußerst komplexen Zusammenhängen steht und dass eine sektorale Betrachtung allein hierbei kaum Sinn macht und der Ressourcenschonung wenig dienlich ist. Neben alledem stellen die Anhebung der Recyclingfreundlichkeit von Baukonstruktionen insgesamt und verbesserte Abfallerfassungslösungen wie auch die Erhöhung der Akzeptanz für Recyclingprodukte Herausforderungen und Erfordernisse der generellen Art dar.

Ein vollständiges Bild der Bauaktivitäten und der Masseströme kann nur unter Einbeziehung der Aktivitäten im Straßen- und Tiefbau (einschließlich Garten- und Landschaftsbau) gezeichnet werden. So könnten Masseströme und Optimierungspotenziale zwischen den Bauaktivitäten besser eingeschätzt werden. Mit einer Gesamtbilanz würden auch die Unschärfen in der statistischen Erfassung beziehungsweise Zuordnung zu Tief- beziehungsweise Hochbau irrelevant, da der Vergleich mit den Top-down-Gesamtmenen geführt werden könnte.

Die Mengenverhältnisse zwischen Hoch- und Tiefbau verweisen auch auf Einsparpotenziale im Tiefbau, dem derzeit eine Neuinanspruchnahme von rund 260 Mio. Tonnen Primärrohstoffen zugeordnet wird (ohne Einrechnung von Rezyklaten und industriellen Nebenprodukten). In ähnlicher Differenzierung wie für den Hochbau wäre das Baugeschehen im Straßen- und Tiefbau zu analysieren. Etwas bescheidenere Ausbaustandards oder Gradientenverbesserungen sowie eine höhere Ausschöpfung der zulässigen Rezyklatanteile könnten signifikante Beiträge zur Primärrohstoffeinsparung leisten. Dies gilt es in weiteren Forschungsarbeiten zu untersuchen.

Wenn der „Tiefbau“ am Hochbau für das Schüttgut für kapillarbrechende Schichten und Feinplanungssande, Hinterfüllungsraum, Flächen und Garagen für den ruhenden Verkehr, Hausanschlussleitungsgräben, konsequent Sekundärrohstoffe einsetzen würde, so wäre dies aus Sicht des Masseansatzes der einfachste Weg zur Erhöhung der Recyclingquote im Hochbau.

Eine wichtige Erweiterung dieser Studie, die sich auf Masse in Tonnen orientiert, wäre eine nahezu analoge Untersuchung zu Primärenergieinhalten von Primär- und Sekundärrohstoffen.

7. Literatur

ARGE KWTB 2007 Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau, 2007; Monitoring-Bericht Bauabfälle – Erhebung 2004. Berlin.

Banse/Effenberger 2006 Banse, J.; Effenberger, K.-H., 2006; Deutschland 2050 – Auswirkungen des demographischen Wandels auf den Wohnungsbestand. IÖR-Texte 152, Dresden, 56 S.

BAV 2012 BAV, 2012; Leitfaden der Altholzverwertung. 7. Auflage, Berlin.

BKI-Datenbank BKI-Datenbank, 2015; Kostenplaner 17 und Baukostendatenbank 2014/2015, Software. BKI Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, Stuttgart.

Consultic 2011 Wissens- und Innovationsnetzwerk Polymertechnik: Studie „Produktion, Verbrauch und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2011“. Kurzfassung: http://wip-kunststoffe.de/wip/fileadmin/user_upload/news_downloads/Kunststoff_Endbericht_2011_31_08_2012_Kurzversion.pdf (15.05.2014).

Deilmann et al. 2013 Deilmann, C.; Behnisch, M.; Dirlich, S.; Gruhler, K.; Hagemann, U.; Petereit, R.; Kunz, C.; Petereit, K., 2013; Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen. Berlin, BMVBS, S. 120 (BMVBS-Online-Publikation; 27/2013).

Dirlich et al. 2011 Dirlich, S.; Gruhler, K.; Deilmann, C.; Petereit, R.; Kunz, C.; Petereit, K., 2011; Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland. Berlin, BMVBS, S. 144 (BMVBS-Online-Publikation; 16/2011).

Effenberger 2014 Effenberger, K.-H., 2014; Wie hoch sind Wohnungsbestand und Wohnungsleerstand in Deutschland? In: Wohnungswirtschaft heute (64).

EMPA/TFB 2007 EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf, Abteilung Beton/Bauchemie) & TFB (Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton, Wildeggen), 2007; Recyclingbeton aus Beton- und Mischabbruchgranulat.

Gruhler 2013 Material-/Planungskennwerte: ausgewertete BKI-Daten aus dem IÖR-Projekt P393 „Nichtwohnbaustrukturen“ (basierend auf BKI-Objektdatenbank, u. a. <http://bki.de/kostenplaner.html>).

Gruhler et al. 2002 Gruhler, K.; Deilmann, C.; Böhm, R.; Schiller, G., 2002; Stofflich-energetische Gebäudesteckbriefe – Gebäudevergleiche und Hochrechnungen für Bebauungsstrukturen. IÖR-Schriften 38. Dresden.

Gruhler/Böhm 2011a Gruhler, K.; Böhm, R., 2011; Auswirkungen des demografischen Wandels auf das Stofflager und die Stoffflüsse des Wohngebäudebestandes. Deutschland 2050. Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, Reihe Wissenschaft, S. 106.

Gruhler/Böhm 2011b Gruhler, K.; Böhm, R., 2011; Ressourcenbezogene Kennwerte von Nichtwohngebäuden – Analyse und Aufarbeitung von Daten der Statistik „Bauen und Wohnen“. Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, 2011, S. 113 (Reihe Wissenschaft; 30).

Huber 2013 Huber, M., 2013; Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Anhang B zur Masterarbeit BOKU, Wien.

IFEU 2013 Ifeu (Hrsg.), 2013; Gesamtökologische Bewertung der Kaskadennutzung von Holz. Umweltauswirkungen stofflicher und energetischer Holznutzungssysteme im Vergleich. Heidelberg.

Industrieverb. Hartschaum Industrieverband Hartschaum e. V. (IVH), Heidelberg; Dachverband der Hersteller von Dämmstoffprodukten aus EPS-Hartschaum/Styropor; http://www.ivh.de/Kernaufgaben_I79.whtml(26.12.2016)

INTECUS 2000 INTECUS, 2000; „Getrennthaltung von Altbauhölzern beim kontrollierten Rückbau von Gebäuden“ im Rahmen des Förderschwerpunktes Altholz bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück (Laufzeit 1997–99), Dresden.

Kohler et al. 1999 Kohler, N.; Hassler, U.; Paschen, H. (Hrsg.), 1999; Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen. Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages. Berlin/Heidelberg/New York.

Kollar 2004 Kollar, J., 2004; Eignung von ziegelreichen Recycling-Baustoffen für Trag-schichten ohne Bindemittel. Veröffentlicht in Heft 884–2004 beim Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH.

KrWG Kreislaufwirtschaftsgesetz: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl112s0212.pdf (26.12.2016).

Mantau/Bilitewski 2005 Mantau, U.; Bilitewski, B., 2005; Stoffstrom-Modell Holz 2003, Stoffstrom-Modell Holz, Bestimmung des Aufkommens, der Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten. Forschungsbericht für den Verband Deutscher Papierfabriken e. V., Celle.

Mantau/Bilitewski 2010 Mantau, U.; Bilitewski, B., 2007; Stoffstrom-Modell Holz 2007, Rohstoffströme und CO₂-Speicherung in der Holzverwendung. Forschungsbericht für das Kuratorium für Forschung und Technik des Verbandes der Deutschen Papierfabriken e. V. (VDP), Celle, 2010.

Müller 2003 Müller, A., 2003; Recycling von Mauerwerkbruch – Stand und neue Verwertungswege (Teil 1–3). In: Ziegelindustrie International 6/2003.

Schießl 2003 Schießl, P., 2003; Entwicklungstendenzen im Stahlbetonbau. Schrift beim Institut für Stahlbetonbewehrung e. V.

Schiller et al. 2010 Schiller, G.; Deilmann, C.; Gruhler, K.; Röhm, P.; Reichenbach, J.; Baumann, J.; Günther, M., 2010; Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung; Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, S. 191 (Texte/UBA; 56/10).

Schiller et al. 2013 Schiller, G. et al., 2013; Untersuchungsergebnisse aus dem IÖR-Projekt 337 „Stoffflussanalysen der Bauwerksbestandsentwicklung in Deutschland und Effizienzstrategien 2060“.

StaBu 2009 Bevölkerung Deutschland bis 2060. Ergebnisse der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2009.

StaBu 2011 Statistisches Bundesamt, 2011; Bautätigkeit – Fachserie 5 Reihe 1 – 2010.

StaBu 2012a Statistisches Bundesamt, 2012; Mikrozensus – Zusatzerhebung 2010: Bestand und Struktur der Wohneinheiten – Wohnsituation der Haushalte; Fachserie 5, Heft 1.

StaBu 2012b Statistisches Bundesamt, 2012; Bautätigkeit – Fachserie 5 Reihe 1; Baugenehmigungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden unter anderem nach Bauherren – Lange Reihen bis 2011.

StaBu 2012c Statistisches Bundesamt, 2012; Bestand an Wohnungen – Fachserie 5, Heft 3 – 2012. Wiesbaden.

StaBu 2012d Statistisches Bundesamt, 2012; Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden – Fachserie 4 Reihe 3.1 – 2012. Wiesbaden.

UBA 2012 Umweltbundesamt (Hrsg.), 2012; Steigerung von Akzeptanz und Einsatz mineralischer Sekundärrohstoffe unter Berücksichtigung schutzgutbezogener und anwendungsbezogener Anforderungen, des potenziellen, volkswirtschaftlichen Nutzens sowie branchenbezogener, ökonomischer Anreizinstrumente. Abschlussbericht zum UFO-Plan FKZ 206 31 304/01, Reihe Texte 28/2012.

UBA 2013 Umweltbundesamt (Hrsg.), 2013; Optimierung des Rückbaus/Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inklusive Wiederverwertung. UBA-FB 001676, Texte 05/2013, Berlin.

UBA 2015 Schiller, G.; Ortlepp, R.; Krauß, N.; Steger, S.; Schütz, H.; Fernández, J. A.; Reichenbach, J.; Wagner, J.; Baumann, J., 2015; Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, S. LIV, 261 (Texte/UBA; 83/15); <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-in-deutschland> (26.12.2016).

VinylPlus Initiative zur neuen 10-jährigen, freiwilligen Selbstverpflichtung zu nachhaltiger Entwicklung der europäischen PVC-Industrie; [https://www.vinnolit.com/vinnolit.nsf/id/vinylplus_de/\\$file/VinylPlus_Flyer_Introducing-VinylPlus_V2_de.pdf](https://www.vinnolit.com/vinnolit.nsf/id/vinylplus_de/$file/VinylPlus_Flyer_Introducing-VinylPlus_V2_de.pdf) (26.12.2016).

Vis et al. 2016 Vis, M.; Mantau, U.; Allen, B. (Eds.), 2016; Study on the optimised cascading use of wood. No 394/PP/ENT/RCH/14/7689. Final report. Brussels. 337 pages.

WECOBIS-Datenbank <http://www.wecobis.de> (26.12.2016).

Weigand 2013 Weigand, M., 2013; Verteidigung einer bisher unveröffentlichten Dissertationsschrift an der TU Dresden: Vergleich der PVC-Herstellung zwischen dem Rohstoff Erdöl und den Rohstoffen Carbid – Recycling-PVC hinsichtlich Luftschadstoffen und Ökonomie. 2013; https://beluga.sub.uni-hamburg.de/vufind/Record/778419118?institution=BELUGA_ALL (26.12.2016).

Weil 2004 Weil, M., 2004; Ressourcenschonung und Umweltentlastung bei der Betonherstellung durch Nutzung von Bau- und Abbruchabfällen. Dissertation. Technische Universität Darmstadt. Institut für Wasserversorgung und Grundwasserschutz, Abwassertechnik, Abfalltechnik, Industrielle Stoffkreisläufe, Umwelt- und Raumplanung – WAR-Schriftenreihe 160, Darmstadt 2004. ISBN: 3 932518 56 X.

Weimar/Jochem 2013 Weimar, H.; Jochem, D. (Hrsg.), 2013; Holzverwendung im Bauwesen – Eine Marktstudie im Rahmen der „Charta für Holz“. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 356 p, Thünen Rep 9.

WKI/VHI 2009 WKI, VHI, 2009; Informationsdienst Holz – spezial: Span- und Faserplatten, OSB.

ZENSUS 2011 Zensusdatenbank des Zensus 2011, Statistische Ämter des Bundes und der Länder; <https://ergebnisse.zensus2011.de/> (26.12.2016).

8. Anhang

Begriffserläuterungen

Begriffe im Zusammenhang mit der Bautätigkeit

Die Bautätigkeit umfasst alle Zugänge in Form von Neubau, Ausbau und Umbau von Bestandsgebäuden sowie alle Abgänge in Form von Abbruch, Zusammenlegung und Umnutzung sowie Bautätigkeiten der Instandsetzung und Modernisierung und des Tiefbaus. Der Detaillierungsgrad unterscheidet sich jedoch zwischen Wohnbau und Nichtwohnbau. Vor allem im Bereich des Nichtwohnbaus werden keine Angaben zu Maßnahmen an bestehenden Gebäuden gemacht. Die folgenden Definitionen orientieren sich weitgehend an der Statistik.

Hochbauten

Hochbauten sind Gebäude, deren Hauptteile über dem Erdboden liegen (zum Beispiel Wohn- oder Geschäftshäuser, Industriegebäude). Zu den Hochbauten zählen auch Bauwerke, die zwar unter dem Erdboden liegen, jedoch dem Menschen zugänglich und zur Unterbringung von Menschen, Tieren oder Gütern bestimmt sind (zum Beispiel Zivilschutzanlagen, Tiefgaragen) (StaBu 2012a).

Wohnungsbau

Wohngebäude sind Gebäude, die mindestens zur Hälfte (gemessen an der Gesamtnutzfläche) Wohnzwecken dienen. Ferien-, Sommer- und Wochenendhäuser mit einer Mindestgröße von 50 m² Wohnfläche zählen ebenfalls dazu (StaBu 2012a).

Gebäude beziehungsweise Wohnungsabgänge (Gruhler/Böhm 2011a)

Der Begriff der Abgänge (statistische Erfassung) kann als eine Reduzierung von Gebäuden beziehungsweise Wohnungen verstanden werden. Innerhalb des Begriffs Abgänge muss jedoch unterschieden werden zwischen:

- › Abbruch, also eine physische Entnahme ganzer Gebäude (Komplettabbruch) oder Entnahme von Gebäudeteilen (Teilabbruch)
- › Zusammenlegung von Wohnungen (zum Beispiel aus zwei kleinen Wohnungen entsteht eine große) oder
- › Umnutzung von Wohnungen (zum Beispiel für Büro und Gewerbe)

Die Zahl der Wohnungsabgänge ist in der Regel höher als die Zahl der tatsächlich abgebrochenen Wohnungen.

Zugänge (Gruhler/Böhm 2011a)

Der Begriff Zugänge bedeutet eine Erhöhung des Bestands an Gebäuden und/oder Wohnungen. Der Begriff des Zugangs kann weiterhin die beiden folgenden Aspekte umfassen:

- › Neubau von Wohnungen (in Wohn- und Nichtwohngebäuden) durch Errichtung ganzer Gebäude
- › Ausbau und Umbau von Wohnungen und Gebäuden (zum Beispiel Dachausbau oder Teilung von großen Wohnungen)

Aufgrund dieser Trennung ergibt sich in der Regel eine höhere Anzahl an (Wohnungsbeziehungsweise Gebäude-)Zugängen als an Neubauten.

Nichtwohnungsbau

Nichtwohngebäude sind Gebäude, die überwiegend für Nichtwohnzwecke (gemessen an der Gesamtnutzfläche) bestimmt sind. Als Nutzfläche (ohne Wohnfläche) gilt entsprechend DIN 277 derjenige Teil der Netto-Grundfläche (ohne Wohnfläche), der der Zweckbestimmung und Nutzung des Bauwerkes dient. Zur Nutzfläche gehören nicht die Konstruktions-, Funktions- und Verkehrsflächen (StaBu 2012a).

Tiefbau

Teilgebiet des Bauwesens, das die Planung und Errichtung sowie Instandhaltung und Erneuerungsmaßnahmen von Bauten umfasst, die an oder unter der Erdoberfläche liegen (zum Beispiel Straßenbau, Brückenbau, Tunnel, Kanalisation).

Wiederkehrende bauliche Maßnahmen

Zu den wiederkehrenden baulichen Maßnahmen zählen Instandhaltung, Sanierung, Renovierung und Modernisierung. Neben dem Abbruch und Neubau haben diese Maßnahmen ebenfalls Einfluss auf den Ein- und Austrag von Baumaterialien und damit auf die Bauabfälle und deren Wiederverwertung. Aufgrund der unterschiedlichen Art der Eingriffe und deren Umfang tragen die genannten Maßnahmen unterschiedlich stark zum Materialstrom bei. Für die Materialstromanalyse innerhalb dieses Projektes werden die wiederkehrenden Maßnahmen vereinfacht abgebildet. Da die Abgrenzungen zwischen Instandhaltung, Renovierung, Modernisierung, Sanierung aus Materialstromsicht unscharf sind, wird von einem kontinuierlichen Materialstrom für den Substanz- und Funktionserhalt ausgegangen (Modellansatz in Anlehnung an die Einschätzung der Modernisierungsaktivitäten im Gebäudebereich von Gruhler/Böhm 2011a).

Tabellarische Zusammenstellung der Annahmen zur Bautätigkeit

Tätigkeit	Beschreibung/Annahmen
(Komplett-) Abbruch	<p>Abgang durch Abbruch ganzer Gebäude</p> <p>Wohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> › Abbruch-Gebäudetypen sind 5 MFH-Bestandstypen unterschiedlichen Baualters (bis 1918, 1919–1948, 1949–1978, 1979–1990, 1991–2010) und 1 E/ZFH-Bestandstyp (bis 2010) (Gruhler/Böhm 2011a) – Materialkennwerte (t/m² NF), differenziert nach zehn Baumaterialgruppen › Abbruch-Zahlen (Mengengerüst): 2010 – Abgang ganzer Gebäude aus Bautätigkeitsstatistik; 2030, 2050 – Annahmen aus Gruhler/Böhm 2011a › Deutschlandweite Hochrechnungen: Multiplikation der flächenbezogenen Materialkennwerte mit den ausgewiesenen/generierten Flächen <p>Nichtwohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> › Bildung synthetischer Abbruch-Gebäudetypen für die in der Statistik ausgewiesenen NWG-Arten (AG, BV, LB, FW, HL, HG, SNW) – Materialkennwerte (t/m² NF), differenziert nach zehn Baumaterialgruppen › Abbruch-Zahlen (Mengengerüst): 2010 – Abgang ganzer Gebäude aus Bautätigkeitsstatistik; 2030, 2050 – Berechnungen mithilfe des Quotienten „Abgang ganzer Gebäude in m² Nutzfläche pro Einwohner“ und prognostizierter Bevölkerungszahlen (12. koordinierte Bevölkerungsprognose, Variante 1-W1, StaBu 2009) › Deutschlandweite Hochrechnungen: Multiplikation der flächenbezogenen Materialkennwerte mit den ausgewiesenen/generierten Flächen
Neubau	<p>Zugang durch Errichtung neuer Gebäude</p> <p>Wohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> › Neubau-Gebäudetypen sind 2 MFH und 2 E/ZFH, Baualter jeweils 2010–2030 und 2031–2050) (Gruhler/Böhm 2011a) → Materialkennwerte (t/m² NF), differenziert nach zehn Baumaterialgruppen › Neubau-Zahlen (Mengengerüst): 2010 – Errichtung neuer Gebäude aus Bautätigkeitsstatistik; 2030, 2050 – Annahmen aus Gruhler/Böhm 2011a › Deutschlandweite Hochrechnungen: Multiplikation der flächenbezogenen Materialkennwerte mit den ausgewiesenen/generierten Flächen <p>Nichtwohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> › Bildung synthetischer Neubau-Gebäudetypen für die in der Statistik ausgewiesenen NWG-Arten (AG, BV, LB, FW, HL, HG, SNW) → Materialkennwerte (t/m² NF), differenziert nach zehn Baumaterialgruppen › Neubau-Zahlen (Mengengerüst): 2010 – Errichtung neuer Gebäude aus Bautätigkeitsstatistik; 2030, 2050 – Berechnungen mithilfe des Quotienten „Errichtung neuer Gebäude in m² Nutzfläche pro Einwohner“ und prognostizierter Bevölkerungszahlen (12. koordinierte Bevölkerungsprognose, Variante 1-W1, StaBu 2009) › Deutschlandweite Hochrechnungen: Multiplikation der flächenbezogenen Materialkennwerte mit den ausgewiesenen/generierten Flächen
Abfall beim Neubau	<p>Zuschnittreste, Verschnitt, mangelhaftes Material, Bruch etc.</p> <p>Wohn- und Nichtwohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> › Durchschnittlich 3% des Neubaus, bei einigen Baumaterialkategorien höher: 8% Dämmstoffe, Dachbahnen; 15% Gipskarton, Holz <p>Gleicher Rechenansatz für WG und NWG jeweils in den Jahren 2030 und 2050.</p>

Tätigkeit	Beschreibung/Annahmen
Bestand	<p>Menge der vorhandenen Gebäude</p> <p>Wohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 2010: Bestandsdaten aus der Bautätigkeitsstatistik; 2030, 2050: Annahmen aus Gruhler/Böhm 2011a <p>Nichtwohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Keine deutschlandweiten Mengenangaben vorhanden ➤ Relevante Quellen: Deilmann et al. 2013; Gruhler/Böhm 2011; KartAI-Projekt (UBA 2014) ➤ Setzung: 2010 – 3 Mrd. m² ➤ 2030, 2050 – Hochrechnungen mithilfe von kalkuliertem Abbruch und Neubau, ausgehend von Setzung für 2010
Sanierung (SAN)	<p>SAN-Rate – Anteil zu sanierender Bestandsgebäude und Materialfluss-Anteile</p> <p>Wohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ SAN-Rate: 2,5 % in den Jahren 2010, 2030, 2050 (nicht mit energetischer Modernisierung +/-1,4% zu verwechseln) ➤ Material-Output und Material-Input, bezogen auf das Ausgangs-Materiallager: 5 % und 5,5% (Ausbau wird vorrangig berücksichtigt, Rohbau eher konstant) <p>Nichtwohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ SAN-Rate: wohngebäudeähnliche NWG-Arten 2 %, übrige NWG-Arten 0,5 %, jeweils in den Jahren 2010, 2030, 2050 ➤ Material-Output und Material-Input, bezogen auf das Ausgangs-Materiallager: 5 % und 5,5% bei wohngebäudeähnlichen NWG-Arten, 2,5 % und 3 % bei den übrigen NWG-Arten (Ausbau wird vorrangig berücksichtigt, Rohbau eher konstant)
(Komplett-) Abbruch	<p>Abgang durch Teilabbruch und Umnutzung/Zusammenlegung</p> <p>Wohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 4 % im Jahr 2010 (Bautätigkeitsstatistik) ➤ Davon 1/3 Teilabbruch, 2/3 Umnutzung/Zusammenlegung ➤ Teilabbruch „erzeugt“ nur Output: 1/3 des Ausgangs-Materiallagers ➤ Umnutzung/Zusammenlegung: Output und Input 5,0% und 5,5% des Ausgangs-Materiallagers <p>Nichtwohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 6 % im Jahr 2010 (Bautätigkeitsstatistik) ➤ Davon 1/3 Teilabbruch, 2/3 Umnutzung/Zusammenlegung ➤ Teilabbruch „erzeugt“ nur Output: 1/3 des Ausgangs-Materiallagers ➤ Umnutzung/Zusammenlegung: Output und Input 3,5% und 4% des Ausgangs-Materiallagers <p>Gleicher Rechenansatz für WG und NWG jeweils in den Jahren 2030 und 2050.</p>

Tätigkeit	Beschreibung/Annahmen
Zugang ohne Neubau	<p>Zugang durch Umnutzung/Umbau/Ausbau</p> <p>Wohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 8 % im Jahr 2010 (Bautätigkeitsstatistik) ➤ Davon 95 % Umnutzung/Umbau/Ausbau, Rest (5 %) nur leichte Reparatur- und Malerarbeiten (nicht berücksichtigt) ➤ Umnutzung/Umbau/Ausbau: Output und Input 5,5 % und 6 % des Ausgangs-Materiallagers <p>Nichtwohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 14 % im Jahr 2010 (Bautätigkeitsstatistik) ➤ Davon 95 % Umnutzung/Umbau/Ausbau, Rest (5 %) nur leichte Reparatur- und Malerarbeiten (nicht berücksichtigt) ➤ Umnutzung/Umbau/Ausbau: Output und Input 4,5 % und 5 % des Ausgangs-Materiallagers <p>Gleicher Rechenansatz für WG und NWG jeweils in den Jahren 2030 und 2050.</p>
Nicht erfasster Abgang	<p>Nicht statistisch erfasster Abgang (Abbruch ganzer Gebäude, Umnutzung/Zusammenlegung)</p> <p>Ein statistisch nicht erfasster Abgang wird nur für 2010 kalkuliert.</p> <p>Wohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Statistisch nicht erfasster Abgang auf Grundlage von Effenberger 2014 geschätzt ➤ Dabei nicht erfasster Abgang: 15 % Abbruch ganzer Gebäude, 85 % Zusammenlegung/Umnutzung ➤ Umnutzung/Zusammenlegung: Output und Input 5,5 % und 6 % des Ausgangs-Materiallagers <p>Nichtwohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Für landwirtschaftliche Betriebsgebäude, Fabrik- und Werkstattgebäude, Handels- und Lagergebäude statistisch nicht erfasster Abgang → Annahmen: ➤ LB: 50 % Abbruch ganzer Gebäude, 50 % Umnutzung/Zusammenlegung ➤ FW: 30 % Abbruch ganzer Gebäude, 70 % Umnutzung/Zusammenlegung ➤ HL: 20 % Abbruch ganzer Gebäude, 80 % Umnutzung/Zusammenlegung ➤ Umnutzung/Zusammenlegung: Output und Input 3,5 % und 4 % des Ausgangs-Materiallagers
Neubau Verfüllung Baugrube	<p>Verfüllung der Baugrube beim Neubau (Kies-/Sand-Schüttung)</p> <p>Wohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Berechnung Baugrubenverfüllung für unterschiedliche MFH und E/ZFH (in Anlehnung an Gruhler/Böhm 2011a) → durchschnittliche Baugrubenverfüllungen für MFH und E/ZFH ➤ Baugruben zu 1/3 mit Kies-/Sand-Schüttung verfüllt <p>Nichtwohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Berechnung durchschnittlicher Baugrubenvolumen pro Neubavolumen auf Basis von BKI-Daten und Daten des Statistischen Bundesamtes (KartAI-Projekt (UBA 2014)) ➤ Baugruben zu 1/3 mit Kies-/Sand-Schüttung verfüllt <p>Gleicher Rechenansatz für WG und NWG jeweils in den Jahren 2030 und 2050.</p>

Tätigkeit	Beschreibung/Annahmen
Abbruch und Neubau versiegelter Flächen	<p>Befestigte Wege- und Gartenbereiche der Grundstücke (Zugangs-/Zufahrtswege, -Straßen, Sitz-/Parkgelegenheiten etc.)</p> <p>Wohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Bildung und Berechnung von Flächenversiegelungstypen → Materialkennwerte in t/m² Grundstücksfläche (differenziert nach Beton, Bitumen, Sand/Kies/Schotter, Naturstein) (Schiller et al. 2013) ➤ Grundstücksflächen in m² für 2010: Zuweisung der Flächenversiegelungstypen mithilfe von Bebauungsstrukturtypen und ihren Ausprägungen (Schiller et al. 2013) ➤ Deutschlandweite Hochrechnungen: Multiplikation der flächenbezogenen Materialkennwerte mit den ausgewiesenen Grundstücksflächen ➤ Übertragung der Rechnungen auf 2030 und 2050 <p>Nichtwohngebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Grundlage: berechnete Versiegelungs-Materialmengen bei den Wohngebäuden ➤ Quotientenbildung: t Material pro m² NF für Abbruch und Neubau ➤ Mittels Quotienten und Nutzflächen der NWG (Abbruch, Neubau) Hochrechnung für NWG
<p>Alle Materialmengen werden zunächst insgesamt und für zehn verschiedene Baumaterialgruppen ermittelt. Die notwendige Aufsplittung der zehn verschiedenen Baumaterialgruppen in 16 recyclingrelevante Baumaterialkategorien erfolgt auf Grundlage definierter Ausdifferenzierungsanteile für die Jahre 2010, 2030 und 2050.</p>	
<p>Abkürzungen: MFH – Mehrfamilienhäuser, E/ZFH – Ein- und Zweifamilienhäuser WG – Wohngebäude, NWG – Nichtwohngebäude, AG – Anstaltsgebäude BV – Büro- und Verwaltungsgebäude, LB – landwirtschaftliche Betriebsgebäude FW – Fabrik- und Werkstattgebäude, HL – Handels- und Lagergebäude HG – Hotels und Gaststätten, SNW – sonstige Nichtwohngebäude</p>	

Tabelle A1: Unterteilung der Input-Materialflüsse im Bereich Wohnen für 2010 in wichtige Bereiche – BAU-Szenario

Wohnen Hochrechnungen für das Bezugs- jahr 2010	LAGER Material- lager im Bestand der Wohn- gebäude	INPUT							Material- strom des INPUT (1+2+3+ 4+5+6+7)
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
		Errichtung ganzer Wohnge- bäude	Bau und Umbaumaß- nahmen; Neuzugang Wohnungen	Umbaumaßnah- men, Reparatur und Wiederher- stellung aufgrund von Teilabbruch	Sanie- rung	Mehr- aufwand durch Verschnitt (1+2+3+4)	Materi- alien in Zuwegem/ Stellplät- zen usw.	Bau- gruben- verfüll- ung	
Bauprodukte/ Materialien	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t
Beton	3 763,04	15,56	0,12	0,00	0,00	0,47	0,41	0,00	16,56
Ziegel	1 063,56	3,99	0,03	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	4,17
Kalksandstein	900,29	2,65	0,02	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	2,77
Porenbeton	112,54	0,76	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,79
Sonstiges Minera- lisches (inklusive Bodenbelägen)	1 779,69	7,27	0,06	0,00	5,95	0,40	2,60	2,77	19,05
Gipskarton	4,24	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,08
Sonstige Gipspro- dukte	67,80	0,29	0,00	0,00	0,18	0,01	0,00	0,00	0,49
Bau-/Konstruktio- nsholz	159,42	0,72	0,01	0,00	0,43	0,17	0,00	0,00	1,33
Sonstiges Holz (inklusive Boden- belägen)	24,31	0,12	0,00	0,00	0,67	0,02	0,00	0,00	0,81
Flachglas	116,67	0,39	0,00	0,00	0,32	0,02	0,00	0,00	0,74
Mineralische Dämmstoffe	71,01	0,39	0,00	0,00	0,20	0,05	0,00	0,00	0,64
Kunststoff-Dämm- stoffe	17,75	0,10	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,16
Kunststoff- Fenster/-Türen	8,58	0,05	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,07
Sonstige Kunst- stoffe (inklusive Belägen & Leitungen)	12,67	0,07	0,00	0,00	0,17	0,01	0,00	0,00	0,25
Metalle (inklusive Leitungen)	366,51	1,66	0,01	0,00	1,00	0,08	0,00	0,00	2,75
Sonstige Materialien (inklusive Leitun- gen & Belägen)	6,41	0,04	0,00	0,00	0,41	0,01	0,06	0,00	0,51
Gesamt	8 474,48	34,10	0,26	0,01	9,41	1,55	3,07	2,77	51,17

**Tabelle A2: Unterteilung der Output-Materialflüsse im Bereich Wohnen für 2010
in wichtige Bereiche – BAU-Szenario**

Wohnen Hochrechnungen für das Bezugsjahr 2010	OUTPUT						Gesamter Material- Output (8+9+10+ 11+12+13)
	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	
	Abbruch ganzer Gebäude	Material-Output aufgrund von Umbau, Ausbau und Wiederherstellung im Bestand	Zusätzlicher Input aufgrund einer Unter- schätzung des Abgangs	Sanierung	Mehr- aufwand durch Verschnitt und Abfall	Materialien in Zuwegen/ Stellplätzen usw.	
Bauprodukte/Materialien	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t	in Mio. t
Beton	2,00	0,00	2,01	0,00	0,43	0,03	4,47
Ziegel	0,56	0,00	0,56	0,00	0,14	0,00	1,27
Kalksandstein	0,48	0,00	0,48	0,00	0,09	0,00	1,06
Porenbeton	0,06	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	0,15
Sonstiges Mineralisches (inklusive Bodenbelägen)	0,98	0,00	0,97	5,06	0,37	0,18	7,56
Gipskarton	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02
Sonstige Gipsprodukte	0,04	0,00	0,04	0,15	0,01	0,00	0,24
Bau-/Konstruktionsholz	0,07	0,00	0,07	0,36	0,16	0,00	0,66
Sonstiges Holz (inklusive Bodenbelägen)	0,01	0,00	0,01	0,61	0,02	0,00	0,65
Flachglas	0,06	0,00	0,06	0,27	0,02	0,00	0,41
Mineralische Dämmstoffe	0,04	0,00	0,04	0,18	0,05	0,00	0,30
Kunststoff-Dämmstoffe	0,01	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,07
Kunststoffe-Fenster/-Türen	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03
Sonstige Kunststoffe (inklu- sive Belägen & Leitungen)	0,01	0,00	0,01	0,15	0,01	0,00	0,17
Metalle (inklusive Leitun- gen)	0,19	0,00	0,19	0,83	0,07	0,00	1,29
Sonstige Materialien (inklu- sive Leitungen & Belägen)	0,00	0,00	0,00	0,37	0,01	0,00	0,40
Gesamt	4,52	0,01	4,51	8,06	1,43	0,21	18,74

**Tabelle A3: Datenblatt – Sensitivitätsstudien:
BAU – Wohnen & Nichtwohnen**

BAU Wohnen & Nichtwohnen + RC-Raten												
Gesamt Baumaterialien/ Produkte	2010				2030				2050			
	Bestand	Input	Output	RC	Bestand	Input	Output	RC	Bestand	Input	Output	RC
	Mio. t	Mio. t	Mio. t	in Mio. t	Mio. t	Mio. t	Mio. t	in Mio. t	Mio. t	Mio. t	Mio. t	in Mio. t
Beton	6 388,6	41,7	12,2	0,2	6 919,0	42,2	22,2	0,2	6 787,7	21,2	39,1	0,1
Ziegel	1 874,4	7,9	3,5	0,0	1 893,8	7,4	6,2	0,0	1 634,5	3,6	9,0	0,0
Kalksandstein	1 231,6	5,3	2,1	0,0	1 482,8	5,8	3,1	0,0	1 603,5	3,3	7,6	0,0
Porenbeton	178,8	1,5	0,3	0,0	279,5	1,5	0,8	0,0	355,4	0,8	2,5	0,0
Sonstiges Mineralisches (inklusive Bodenbelägen)	3 484,7	42,1	14,9	2,5	3 663,0	40,9	20,2	2,5	3 483,6	23,8	28,5	1,4
Gipskarton	9,8	0,2	0,0	0,0	13,7	0,2	0,1	0,0	15,2	0,2	0,1	0,0
Sonstige Gipsprodukte	159,0	3,2	0,7	0,0	270,7	2,9	1,3	0,0	365,0	1,6	2,5	0,0
Bau-/Konstruktionsholz	295,8	2,7	1,1	0,0	317,9	2,4	1,5	0,0	311,4	1,5	2,2	0,0
Sonstiges Holz (inklusive Bodenbelägen)	39,5	1,0	0,9	0,0	42,8	1,1	0,6	0,0	42,0	0,7	0,6	0,0
Flachglas	334,2	2,5	1,2	0,4	358,2	2,3	1,6	0,3	351,4	1,3	2,4	0,2
Mineral. Dämmstoffe	65,2	0,5	0,2	0,1	72,2	0,7	0,4	0,2	70,2	0,5	0,5	0,1
Kunststoff-Dämmstoffe	83,0	0,9	0,3	0,1	100,3	1,1	0,5	0,1	105,3	0,7	0,7	0,1
Kunststoff-Fenster/-Türen	82,9	0,6	0,2	0,1	90,9	0,5	0,3	0,1	91,6	0,3	0,5	0,0
Sonstige Kunststoffe (inklusive Belägen & Leitungen)	68,3	1,0	0,4	0,0	85,6	1,2	0,6	0,0	96,6	0,8	1,0	0,0
Metalle (inklusive Leitungen)	898,4	9,2	3,1	4,6	996,7	9,4	4,4	4,7	997,1	5,3	6,4	2,7
Sonstige Materialien (inklusive Leitungen & Belägen)	62,1	0,8	0,6	0,0	58,0	0,8	0,5	0,0	48,2	0,4	0,6	0,0
Gesamt	15 256,3	121,1	41,7	8,0	16 645,2	120,4	64,3	8,1	16 358,7	66,0	104,2	4,6

**Tabelle A4: Datenblatt – Sensitivitätsstudien:
BAU-RC – Wohnen & Nichtwohnen**

BAU-RC												
Wohnen & Nichtwohnen + RC-Raten												
Gesamt Baumaterialien/Produkte	2010				2030				2050			
	Bestand	Input	Output	RC	Be- stand	Input	Out- put	RC	Be- stand	Input	Output	RC
	Mio. t	Mio. t	Mio. t	in Mio. t	Mio. t	Mio. t	Mio. t	in Mio. t	Mio. t	Mio. t	Mio. t	in Mio. t
Beton	6 388,6	41,7	12,2	0,2	6 919,0	42,2	22,2	2,5	6 787,7	21,2	39,1	2,5
Ziegel	1 874,4	7,9	3,5	0,0	1 893,8	7,4	6,2	0,7	1 634,5	3,6	9,0	0,5
Kalksandstein	1 231,6	5,3	2,1	0,0	1 482,8	5,8	3,1	0,3	1 603,5	3,3	7,6	0,2
Porenbeton	178,8	1,5	0,3	0,0	279,5	1,5	0,8	0,0	355,4	0,8	2,5	0,0
Sonstiges Mineralisches (inklusive Bodenbelägen)	3 484,7	42,1	14,9	2,5	3 663,0	40,9	20,2	8,6	3 483,6	23,8	28,5	5,0
Gipskarton	9,8	0,2	0,0	0,0	13,7	0,2	0,1	0,1	15,2	0,2	0,1	0,1
Sonstige Gipsprodukte	159,0	3,2	0,7	0,0	270,7	2,9	1,3	0,0	365,0	1,6	2,5	0,1
Bau-/Konstruktionsholz	295,8	2,7	1,1	0,0	317,9	2,4	1,5	0,0	311,4	1,5	2,2	0,0
Sonstiges Holz (inklusive Bodenbelägen)	39,5	1,0	0,9	0,0	42,8	1,1	0,6	0,1	42,0	0,7	0,6	0,1
Flachglas	334,2	2,5	1,2	0,4	358,2	2,3	1,6	0,6	351,4	1,3	2,4	0,5
Mineralische Dämmstoffe	65,2	0,5	0,2	0,1	72,2	0,7	0,4	0,3	70,2	0,5	0,5	0,3
Kunststoff-Dämmstoffe	83,0	0,9	0,3	0,1	100,3	1,1	0,5	0,2	105,3	0,7	0,7	0,1
Kunststoff-Fenster/-Türen	82,9	0,6	0,2	0,1	90,9	0,5	0,3	0,1	91,6	0,3	0,5	0,1
Sonstige Kunststoffe (inklusive Belägen & Leitungen)	68,3	1,0	0,4	0,0	85,6	1,2	0,6	0,1	96,6	0,8	1,0	0,1
Metalle (inklusive Leitungen)	898,4	9,2	3,1	4,6	996,7	9,4	4,4	5,6	997,1	5,3	6,4	3,7
Sonstige Materialien (inklusive Leitungen & Belägen)	62,1	0,8	0,6	0,0	58,0	0,8	0,5	0,0	48,2	0,4	0,6	0,0
Gesamt	15 256,3	121,1	41,7	8,0	16 645,2	120,4	64,3	19,6	16 358,7	66,0	104,2	13,6

**Tabelle A5: Datenblatt – Sensitivitätsstudien:
NA – Wohnen & Nichtwohnen**

NA												
Wohnen & Nichtwohnen + RC-Raten												
Gesamt Baumaterialien/Produkte	2010				2030				2050			
	Bestand Mio. t	Input Mio. t	Output Mio. t	RC in Mio. t	Bestand Mio. t	Input Mio. t	Output Mio. t	RC in Mio. t	Bestand Mio. t	Input Mio. t	Output Mio. t	RC in Mio. t
Beton	6 388,6	41,7	12,2	0,2	6 901,7	39,1	22,2	0,2	6 723,9	18,3	39,1	0,1
Ziegel	1 874,4	7,9	3,5	0,0	1 881,9	6,9	6,2	0,0	1 612,6	3,3	9,0	0,0
Kalksandstein	1 231,6	5,3	2,1	0,0	1 472,1	5,3	3,1	0,0	1 568,3	2,6	7,6	0,0
Porenbeton	178,8	1,5	0,3	0,0	276,9	1,4	0,8	0,0	342,1	0,5	2,5	0,0
Sonstiges Mineralisches (inklusive Bodenbelägen)	3 484,7	42,1	14,9	2,5	3 659,0	38,8	19,9	2,3	3 457,8	21,6	28,2	1,3
Gipskarton	9,8	0,2	0,0	0,0	14,9	0,3	0,1	0,0	16,7	0,2	0,1	0,0
Sonstige Gipsprodukte	159,0	3,2	0,7	0,0	270,4	2,9	1,3	0,0	363,7	1,6	2,5	0,0
Bau-/Konstruktionsholz	295,8	2,7	1,1	0,0	324,2	2,5	1,5	0,0	319,0	1,6	2,2	0,0
Sonstiges Holz (inklusive Bodenbelägen)	39,5	1,0	0,9	0,0	43,5	1,0	0,5	0,0	42,7	0,7	0,6	0,0
Flachglas	334,2	2,5	1,2	0,4	358,2	2,2	1,6	0,3	350,6	1,3	2,4	0,2
Mineralische Dämm- stoffe	65,2	0,5	0,2	0,1	74,1	0,8	0,4	0,2	72,3	0,5	0,5	0,1
Kunststoff-Dämmstoffe	83,0	0,9	0,3	0,1	103,1	1,1	0,5	0,1	108,4	0,7	0,7	0,1
Kunststoff-Fenster/-Türen	82,9	0,6	0,2	0,1	90,8	0,5	0,3	0,1	91,4	0,3	0,5	0,0
Sonstige Kunststoffe (inklusive Belägen & Leitungen)	68,3	1,0	0,4	0,0	85,5	1,1	0,6	0,0	96,3	0,7	1,0	0,0
Metalle (inklusive Leitungen)	898,4	9,2	3,1	4,6	994,4	9,1	4,4	4,5	987,4	5,0	6,4	2,5
Sonstige Materialien (inklusive Leitungen & Belägen)	62,1	0,8	0,6	0,0	58,0	0,7	0,5	0,0	48,0	0,4	0,5	0,0
Gesamt	15 256,3	121,1	41,7	8,0	16 608,8	113,8	63,8	7,8	16 201,0	59,0	103,8	4,3

**Tabelle A6: Datenblatt – Sensitivitätsstudien:
NA-RC – Wohnen & Nichtwohnen**

NA-RC												
Wohnen & Nichtwohnen + RC-Raten												
Gesamt Baumaterialien/Produkte	2010				2030				2050			
	Bestand Mio. t	Input Mio. t	Output Mio. t	RC in Mio. t	Bestand Mio. t	Input Mio. t	Output Mio. t	RC in Mio. t	Bestand Mio. t	Input Mio. t	Output Mio. t	RC in Mio. t
Beton	6 388,6	41,7	12,2	0,2	6 901,7	39,1	22,2	2,3	6 723,9	18,3	39,1	2,2
Ziegel	1 874,4	7,9	3,5	0,0	1 881,9	6,9	6,2	0,7	1 612,6	3,3	9,0	0,5
Kalksandstein	1 231,6	5,3	2,1	0,0	1 472,1	5,3	3,1	0,3	1 568,3	2,6	7,6	0,1
Porenbeton	178,8	1,5	0,3	0,0	276,9	1,4	0,8	0,0	342,1	0,5	2,5	0,0
Sonstiges Mineralisches (inklusive Bodenbelägen)	3 484,7	42,1	14,9	2,5	3 659,0	38,8	19,9	8,2	3 457,8	21,6	28,2	4,5
Gipskarton	9,8	0,2	0,0	0,0	14,9	0,3	0,1	0,1	16,7	0,2	0,1	0,1
Sonstige Gipsprodukte	159,0	3,2	0,7	0,0	270,4	2,9	1,3	0,0	363,7	1,6	2,5	0,1
Bau-/Konstruktionsholz	295,8	2,7	1,1	0,0	324,2	2,5	1,5	0,0	319,0	1,6	2,2	0,0
Sonstiges Holz (inklusive Bodenbelägen)	39,5	1,0	0,9	0,0	43,5	1,0	0,5	0,1	42,7	0,7	0,6	0,1
Flachglas	334,2	2,5	1,2	0,4	358,2	2,2	1,6	0,6	350,6	1,3	2,4	0,5
Mineralische Dämmstoffe	65,2	0,5	0,2	0,1	74,1	0,8	0,4	0,3	72,3	0,5	0,5	0,3
Kunststoff-Dämmstoffe	83,0	0,9	0,3	0,1	103,1	1,1	0,5	0,2	108,4	0,7	0,7	0,1
Kunststoff-Fenster/ -Türen	82,9	0,6	0,2	0,1	90,8	0,5	0,3	0,1	91,4	0,3	0,5	0,1
Sonstige Kunststoffe (inklusive Belägen & Leitungen)	68,3	1,0	0,4	0,0	85,5	1,1	0,6	0,1	96,3	0,7	1,0	0,1
Metalle (inklusive Leitungen)	898,4	9,2	3,1	4,6	994,4	9,1	4,4	5,4	987,4	5,0	6,4	3,5
Sonstige Materialien (inklusive Leitungen & Belägen)	62,1	0,8	0,6	0,0	58,0	0,7	0,5	0,0	48,0	0,4	0,5	0,0
Gesamt	15 256,3	121,1	41,7	8,0	16 608,8	113,8	63,8	18,7	16 201,0	59,0	103,8	12,4

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Forschungskonzept	9
Abbildung 2:	Abfallhierarchie Hochbau nach Deilmann/Reichenbach	10
Abbildung 3:	Fertiggestellte Nichtwohngebäude und errichtete Nutzfläche für das Jahr 2010, untergliedert nach Gebäudeart (Quelle: eigene Darstellung nach StaBu 2011)	15
Abbildung 4:	Materialstrom-Modellierung – schematische Darstellung (Quelle: eigene Darstellung)	17
Abbildung 5:	Materiallager des Bestandes 2010, unterteilt nach 16 Materialgruppen – BAU	21
Abbildung 6:	Materialströme – „Gesamt“ – des Baugeschehens für 2010, unterteilt nach 16 Materialgruppen – BAU	23
Abbildung 7:	Materialströme für Wohnen und Nichtwohnen des Baugeschehens für 2010, unterteilt nach 16 Materialgruppen – BAU – Bautätigkeit getrennt nach Wohnen und Nichtwohnen	23
Abbildung 8:	Marktverteilung der Dämmstoffmaterialien im Jahr 2011 (Quelle: eigene Darstellung auf Basis: http://www.fiw-muenchen.de/media/pdf/metastudie_waermedaemmstoffe.pdf , Gesamtverband Dämmstoffindustrie (in Liquidation seit 2015), Industrieverband Hartschaum e. V.; WECOBIS-Datenbank)	40
Abbildung 9:	Abbruch von Gebäuden nach Nutzungsart, 1995–2050 (Quelle: eigene Berechnungen)	58
Abbildung 10:	Neubau von Gebäuden nach Nutzungsart, 1995–2050 (Quelle: eigene Berechnungen)	59
Abbildung 11:	BAU – Materialflüsse für Wohnen und Nichtwohnen gesamt in verschiedenen Ausdifferenzierungen (Quelle: eigene Darstellung) ..	60
Abbildung 12:	Rezyklateinsatz und Recyclingrate im Vergleich (Quelle: eigene Darstellung)	61
Abbildung 13:	Einsparpotenziale durch Rezyklat und Bauweise (erhöhter Holzbauanteil, Dämmstoffeinsatz, halbiertes EFH-Bau zugunsten von MFH, -10 % Material-Input für Tragkonstruktionen) – Szenarien im Vergleich (Quelle: eigene Darstellung)	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Mengenschätzung und -verteilung im Nichtwohngebäudebestand in m ² Nutzfläche.	16
Tabelle 2:	Materialzuordnungen zu Bauproduktgruppen	18
Tabelle 3:	Materiallager und Materialströme des Baugeschehens 2010, unterteilt nach 16 Materialgruppen – Bautätigkeit gesamt	22
Tabelle 4:	Übersicht der Zuordnung von Altholz aus dem Baubereich zu Altholzkategorien nach AltholzV (die nicht genannte Zuordnung A III betrifft selten Bauhölzer, sondern Möbel und Sortimente, die über den Sperrmüll erfasst werden)	37
Tabelle 5:	Verteilung der im Jahr 2007 für den Bausektor verarbeiteten und von diesem in Form von Abfällen freigesetzten Kunststoffmengen in Mio. t (Quelle: Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH). ...	44
Tabelle 6:	Verwertungsergebnisse der europäischen Recyclinginitiativen der PVC-Kunststoffindustrie in den Jahren 2010 und 2011 gemäß eigenen Darstellungen von „Vinyl 2010“ beziehungsweise „VinylPlus“..	45
Tabelle 7:	RC-Quotensetzung.....	51
Tabelle 8:	Quotienten „Zugang“ und „Abgang“ in m ² Nutzflächen pro 1.000 Einwohner.....	53
Tabelle 9:	Nutzfläche Nichtwohnen in 1 000 m ² für Neubau und Abbruch in den Jahren 2010, 2030 und 2050, Bestandszuwachs bis 2050 auf +30%/EW begrenzt	54
Tabelle 10:	Annahmen und Setzungen bei den beiden Sensitivitätsanalysen (Quelle: BAU & NA)	56

Bildnachweise

Umschlag/Titelfoto: Banana Republic/Fotolia

Seite 3: Banana Republic/Fotolia

Seite 5: Milena Schlösser, Berlin

Seite 8: Monika Gruszewicz/Fotolia

Seite 12: Tombaky/Fotolia

Seite 14: ccfoto/Fotolia

Seite 24: meryll/Fotolia

Seite 26: hydebrink/Fotolia

Seite 28: Ingo Bartussek/Fotolia

Seite 48: aryfahmed/Fotolia

Seite 50: hydebrink/Fotolia

Seite 56: Monika Gruszewicz/Fotolia

Seite 58: Dittrich/Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), 2002

Seite 86: BBSR

Literaturhinweise des Herausgebers



ready – vorbereitet für altengerechtes Wohnen. Neue Standards und Maßnahmensets für die stufenweise, altengerechte Wohnungsanpassung im Neubau



best practice – Soziale Faktoren nachhaltiger Architektur. 17 Wohnungsbauprojekte im Betrieb



Renarhis – Nachhaltige energetische Modernisierung und Restaurierung historischer Stadtquartiere



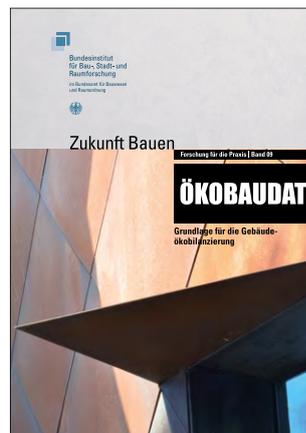
Ökologische Baustoffwahl – Aspekte zur komplexen Planungsaufgabe „Schadstoffarmes Bauen“



WECOBIS – Webbasiertes ökologisches Baustoffinformationssystem



Nachhaltiges Bauen des Bundes – Grundlagen – Methoden – Werkzeuge



ÖKOBAUDAT – Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung

Die Broschüren sind kostenfrei erhältlich. Die Bestellhinweise sowie die Downloads finden Sie unter: www.forschungsinitiative.de.

Impressum | Bezugsquelle

In der Schriftenreihe „Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis“ veröffentlicht das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Bonn, ausgewählte Forschungsergebnisse der Forschungsinitiative Zukunft Bau. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren. Ihre vertretene Auffassung ist nicht unbedingt mit der des Herausgebers identisch.

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und
Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und
Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn
Internet: www.bbsr.bund.de

Wissenschaftliche Begleitung und Redaktion

Referat II 6 Bauen und Umwelt
Claus Asam
Referat II 3 Forschung im Bauwesen
Wencke Haferkorn

Autoren

Prof. Clemens Deilmann, Jan Reichenbach,
Norbert Krauß, Karin Gruhler

Bildnachweise

Seite 85

Gestaltung | Korrektorat

A Vitamin Kreativagentur GmbH, Berlin |
Dr. phil. Birgit Gottschalk, Nümbrecht

Druck

ARNOLD group – Großbeeren

Stand

Dezember 2016

Kostenfreie Bestellungen

ref-2-6@bbr.bund.de
Stichwort: Materialströme im Hochbau

Nachdruck und Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck nur mit genauer Quellenangabe gestattet.
Bitte senden Sie uns zwei Belegexemplare zu.

ISBN 978-3-87994-284-8
ISSN 2199-3521
Bonn 2017



Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Wie kann Recycling von Bauschutt und Baustellenabfällen im Hochbau gesteigert werden? In welchem Umfang können Bauabfälle in Bauprodukte zurückgeführt werden? Wie lässt sich die Kreislaufwirtschaft im Hochbau verbessern? Erste Antworten zu geben und einen Blick in die Zukunft zu werfen, war das Ziel der wissenschaftlichen „Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau“.

Die Studie beleuchtet den Status quo der Bautätigkeit 2010 sowie die Materialströme und deren Herkunft, Zusammensetzung und Verwertungswege für die Jahre 2030 und 2050. Es wurden innovative Verwertungstechnologien und theoretisch denkbare Rezyklatanteile in Bauprodukten angenommen sowie Testrechnungen durchgeführt, um so die Potenziale des Recyclings im Hochbau zu erkunden.

Mit der Forschungsinitiative Zukunft Bau stärkt das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) in Zusammenarbeit mit dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) die Zukunfts- und Innovationsfähigkeit der Bauwirtschaft. Ziel ist es, die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Bauwesens im europäischen Binnenmarkt zu verbessern und insbesondere den Wissenszuwachs und die Erkenntnisse im Bereich technischer, baukultureller und organisatorischer Innovationen zu unterstützen.



www.forschungsinitiative.de

ISBN 978-3-87994-284-8
ISSN 2199-3521