

Das folgende Kapitel wurde auszugsweise vorveröffentlicht in: Hillebrandt/Riegler-Floors/Rosen/Seggewies, Atlas Recycling, Edition Detail, München 2018 und seitdem überarbeitet und ergänzt.

3. Status quo: Rückbau und Entsorgung¹⁶ im Bauwesen

Eine echte zirkuläre Wertschöpfung im Bauwesen ist allgemeines Ziel der Akteure in Politik, Wissenschaft und Wirtschaft. Oftmals kursieren Meldungen, wonach die Kreislaufwirtschaft im Bausektor bereits gängige Praxis sei. Dabei werden wichtige Begriffe häufig pauschal und ungenau verwendet. Trotz bestehender rechtlicher Regelungen findet ein Recycling auf hohem Qualitätsniveau bislang nicht statt. In diesem Kapitel wird die aktuelle Rechtsgrundlage dargestellt und derzeitige Verwertungsquoten beleuchtet.

Zusammenhänge zwischen Recyclingpraxis und angewandten Rückbauverfahren werden hergestellt, um daraus Kriterien für eine Berechnung von Kreislaufpotenzialen abzuleiten.

Anschließend wird die voraussichtliche Entwicklung des Gebäudebestands und der Recyclingquoten dargestellt, um den Handlungsbedarf zu identifizieren.

3.1.	Rechtliche Hintergründe	40
3.2.	Abfallaufkommen und Verwertungsquoten	46
3.3.	Rückbau- und Abbruchverfahren	50
3.4.	Aufwand für Rückbau und Abbruch	54
3.5.	Entwicklung des anthropogenen Rohstofflagers	56
3.6.	Zwischenfazit	57

A 3.1 Konventioneller Abbruch in Brochterbeck/Münsterland (2018): sortenreine Trennung von Ziegeln, Beton, Holz, Metall, Dämm- und Kunststoffen? Fehlanzeige!

16 Unter Entsorgung wird im allgemeinen Sprachgebrauch die Beseitigung von Abfällen verstanden. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff gemäß seiner Definition in § 3, Abs. 22 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) angewandt, wonach zur Entsorgung sowohl die Beseitigung als auch die Verwertung gehört.

3.1. Rechtliche Hintergründe

In dem 2016 vom Bundestag beschlossenen Ressourceneffizienzprogramm ProgRess II ist das Ziel definiert, die Gesamtrohstoffproduktivität Deutschlands bis 2030 im Vergleich zu 2010 um 30% zu steigern. Hierzu wurde die Bundesregierung vom Bundestag aufgefordert, eine Reihe von Maßnahmen zu ergreifen, zu denen auch die Förderung der Kreislaufwirtschaft auf Basis gesetzlicher Regelungen gehört (BMUB, 2016 [54])

3.1.1. Bauproduktenverordnung

In der EU-Bauproduktenverordnung (EUBauPVO [55]) vom März 2011 sind Grundanforderungen an Bauwerke und wesentliche Merkmale von Bauprodukten festgelegt. Demnach muss ein Bauwerk „derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden.“ Insbesondere muss „das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können“ und „für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.“ Anforderungen an die Qualität oder Quantität des Recyclings stellt die Bauproduktenverordnung aktuell jedoch nicht.

3.1.2. Abfallrecht

Das Abfallrecht ist in Deutschland auf verschiedenen Ebenen in diversen Gesetzen, Richtlinien und Verordnungen geregelt. Die in Bezug auf das Bauwesen relevantesten zeigt Abbildung A 3.2.

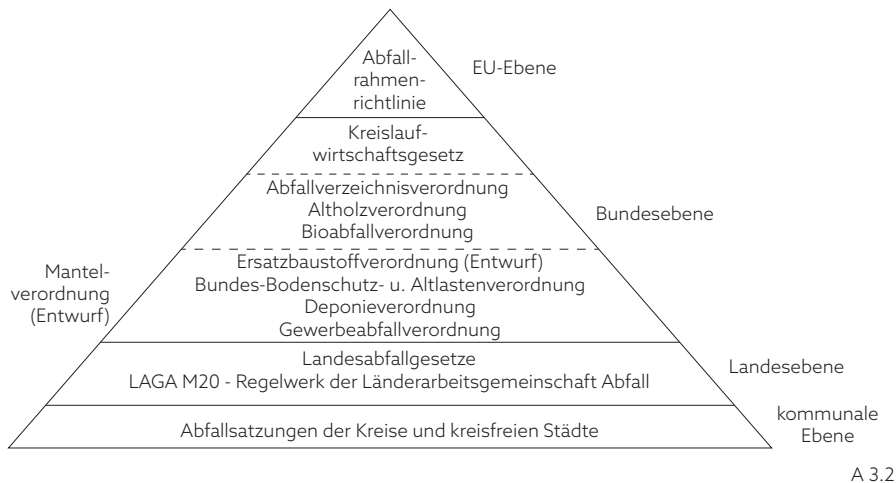
Abfallrahmenrichtlinie

Übergeordnet gilt in den EU-Mitgliedsstaaten seit 2008 die europäische Abfallrahmenrichtlinie (AbfRR [56]). Darin sind wichtige Begriffe definiert, z. B. die Abgrenzung zwischen Abfall und Nebenprodukten sowie das Ende der Abfalleigenschaft. Letzteres wird erreicht durch ein Verwertungsverfahren, mit dem der Abfall wieder zum nachgefragten und zweckbestimmten Produkt wird.

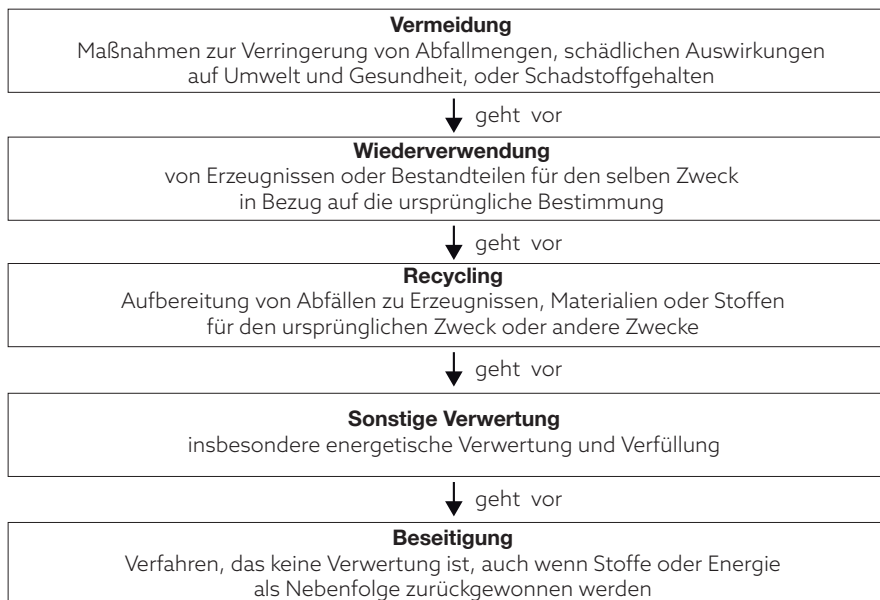
Die AbfRR legt außerdem eine fünfstufige Hierarchie für den Umgang mit Abfällen fest (s. Abb. A 3.3). Die Mitgliedsstaaten sollen dabei „Maßnahmen zur Förderung derjenigen Optionen [ergreifen], die insgesamt das beste Ergebnis unter dem Aspekt des Umweltschutzes erbringen“. Weiterhin enthält die AbfRR Zielvorgaben für die Verwertung bestimmter Abfallarten. Für nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle wurde 2008 bereits eine Verwertungsquote von 70 Masseprozent bis zum Jahr 2020 gefordert, die von Deutschland – rein statistisch betrachtet – erfüllt wird (s. Kapitel 3.2).

2018 wurde die AbfRR umfassend novelliert [57], um die Kreislaufwirtschaft zu fördern und den Ressourcenschutz zu verbessern. Zu den wesentlichen Änderungen mit Relevanz für das Bauwesen gehören:

- **die Stärkung der Herstellerverantwortung**
Nach dem „Regime der erweiterten Herstellerverantwortung“ [58] sollen die EU-Mitgliedsstaaten Maßnahmen ergreifen, die eine finanzielle und organisatorische Verantwortung der Hersteller für die Sammlung und Verwertung ihrer Produkte am Nutzungsende sicherstellen.



A 3.2



A 3.3

- **Hinweise auf wirtschaftliche Instrumente**

In einem Anhang werden beispielhafte wirtschaftliche Instrumente zur Schaffung von Anreizen für die Anwendung der Abfallhierarchie genannt (z.B. steuerliche Anreize, Pfandsysteme oder ein nachhaltiges öffentliches Beschaffungswesen).

- **Förderung des selektiven Abbruchs**

Die EU-Mitgliedsstaaten sind aufgerufen, Maßnahmen zur Förderung des selektiven Abbruchs zu ergreifen, um eine Entsorgung von gefährlichen Stoffen zu sichern und ein „hochwertiges Recycling“ zu ermöglichen. Hierzu sollen Bau- und Abbruchabfälle zukünftig in allen Mitgliedsstaaten in „Holz, mineralische Fraktionen (Beton, Back-

A 3.2 Ebenen des Abfallrechts mit Relevanz für Rückbau und Recycling im Bauwesen
A 3.3 Abfallhierarchie nach Abfallrahmenrichtlinie [56]

und Ziegelstein, Fliesen, Keramik und Steine), Metall, Glas, Kunststoffe und Gips“ getrennt werden.

Nach Ansicht der Verfasserin geht diese Forderung nicht weit genug. Zum einen ist das hochwertige Recycling nicht definiert, zum anderen ist ein höherer Selektierungsgrad erforderlich (s. „selektiver Rückbau“ auf Seite 51). In Deutschland gehen die Anforderungen der Gewerbeabfallverordnung bereits seit 2017 über die Trennung der genannten Stoffe hinaus (s. Seite 44).

- **Aussicht auf Anpassung der Verwertungsquoten**

Die Novellierung berücksichtigt zwar eine schrittweise Erhöhung der Verwertungsquoten für Siedlungsabfälle bis 2035, für Bau- und Abbruchabfälle ist jedoch weder eine Erhöhung noch eine Differenzierung nach Art der Bau- und Abbruchabfälle gefordert. In der Novelle wird aber zumindest festgehalten, dass die EU-Kommission bis Ende 2024 „Zielvorgaben für die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling für Bau- und Abbruchabfälle und ihre materialspezifischen Fraktionen [...] in Betracht“ zieht.

Kreislaufwirtschaftsgesetz

Auf nationaler Ebene wird die EU-Richtlinie im deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG [59]) umgesetzt. Die Novellierung der AbfRR muss bis Juli 2020 umgesetzt werden. Zum Zeitpunkt der Einreichung dieser Dissertation (März 2020) liegt nur ein vorläufiger Entwurf des BMU [60] vor. Dieser enthält über die Vorgaben der neuen AbfRR hinaus flankierende Regelungen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz und des Ressourcenmanagements in Deutschland. Relevanz für das Bauwesen haben vor allem:

- **eine Ermächtigung zur Förderung des Rezyklateinsatzes**

Die Bundesregierung soll ermächtigt werden, durch Rechtsverordnung den Einsatz von Rezyklaten in bestimmten Produkten fördern zu können. Dies zielt zwar vorwiegend auf Kunststoffe (insbesondere Einwegverpackungen), ist aber ein erster Schritt zur Förderung geschlossener Stoffkreisläufe. **Die Anwendung einer solchen Ermächtigung auf Baustoffe könnte die dringend notwendige Ressourcenwende voranbringen.**

- **Stärkung der nachhaltigen öffentlichen Beschaffung**

Die Pflichten der öffentlichen Hand nach § 45 KrWG sollen gestärkt werden, indem die bisherige Prüfpflicht der Behörden zu einer Bevorzugungspflicht für kreislaufgerechte Produkte werden soll. Dieser Pflicht sollen jedoch zugleich Grenzen gesetzt werden, da sie nur für Erzeugnisse gelten soll, die keine „unzumutbaren“ Mehrkosten verursachen. **Die Berücksichtigung der Lebenszykluskosten (inkl. Entsorgungskosten) wird in dem Entwurf für die Novellierung des KrWG nach Ansicht der Verfasserin versäumt.**

Die aus dem KrWG abzuleitenden Maßnahmen werden in den Abfallwirtschaftsplänen der Länder und im Abfallvermeidungsprogramm des Bundes festgelegt.

In Bezug auf das Bauwesen gehen die Bemühungen der Länder bisher

Schlüssel	Abfallbezeichnung nach Abfallverzeichnis
17	Bau- und Abbruchabfälle (inkl. Aushub von verunreinigten Standorten)
1701	Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik
17 01 01	Beton
17 01 02	Ziegel
17 01 03	Fliesen und Keramik
17 01 06*	Gemische oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen u. Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten
17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 01 06 fallen
17 02	Holz, Glas und Kunststoff
17 02 01	Holz
...	
17 03	Bitumengemische, Kohlenteer und teerhaltige Produkte
17 04	Metalle (einschließlich Legierungen)
17 05	Boden (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten), Steine und Baggergut
17 06	Dämmmaterial und asbesthaltige Baustoffe
17 08	Baustoffe auf Gipsbasis
17 09	Sonstige Bau- und Abbruchabfälle

* gefährliche Abfälle sind in dritter Ebene des Schlüssels mit einem Stern gekennzeichnet

A 3.4 Einordnung von Bau- und Abbruchabfällen nach Abfallverzeichnis (beispielhafter Auszug) [64]

über die Erstellung von Leitfäden zur Verwendung von RC-Baustoffen im Straßen- und Erdbau kaum hinaus (z. B. in NRW [61]). Das Abfallvermeidungsprogramm des Bundes [62] beschränkt sich auf eine Empfehlung der Anwendung des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB, s. Kapitel 4.1.1).

Die Vorschläge des BMU zur Novellierung des KrWG könnten die rechtlichen Rahmenbedingungen für das zirkuläre Bauen verbessern. Ob sich das BMU durchsetzen kann, ist jedoch fraglich. Den größten Hebel für die Kreislaufwirtschaft hätte nach Ansicht der Verfasserin die Stärkung der Herstellerverantwortung. Gerade hier soll im Rahmen der noch bevorstehenden Abstimmung unter den Ministerien „insbesondere den spezifischen Anforderungen des Baubereichs angemessene Rechnung getragen“ werden [63]. Dies könnte aufgrund der langen Nutzungszeiten auf eine Ausnahmeregelung für Bauprodukte hinauslaufen.

Abfallverzeichnisverordnung

Die Einordnung von Abfällen nach Herkunft und Gefährlichkeit ist in der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) [64] geregelt. Ein für jede Abfallart im Abfallverzeichnis definierter sechsstelliger Schlüssel bildet die Grundlage für deren Entsorgungsweg, nach dem auch die jährlichen Abfallstatistiken erstellt werden (siehe Seite 46). Abbildung A 3.4 zeigt beispielhaft die Gliederung des Abfallverzeichnisses.

Altholzverordnung

Altholz ist Industrierestholz und Gebrauchtholz, soweit es sich um Abfall im Sinne des KrWG handelt. Unter Gebrauchtholz sind Erzeugnisse aus Massivholz, Holzwerkstoffen oder aus Verbundstoffen mit überwiegendem Holzanteil (mehr als 50 Masseprozent) zu verstehen. Deren stoffliche oder energetische Verwertung sowie Beseitigung ist in der Altholzverordnung (AltholzV [65]) geregelt. Die Verordnung unterscheidet diesbezüglich vier Kategorien von Altholz (s. Abb. A 3.5), die bei einem Rückbau ab 1 m³ loses Schüttgut oder 0,3 Tonnen pro Tag getrennt zu sammeln und zu lagern sind. Nach § 4 AltholzV werden die stoffliche und die energetische Verwertung gleichermaßen als hochwertig eingestuft. Eine Kaskadennutzung, d. h. eine mehrfache, hintereinandergeschaltete stoffliche und abschließende energetische Verwertung, sieht die AltholzV bisher nicht vor. Es existieren deshalb Forderungen nach einer Novellierung der AltholzV. So könnte nach Ludwig, Gawel und Pannicke vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung „die AltholzV etwa vorsehen, dass Altholz der Kategorie A I nur stofflich für Holzwerkstoffe verwertet werden darf“ [66].

Bioabfallverordnung

Bioabfälle im Sinne der Bioabfallverordnung (BioAbfV [67]) sind Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft, die kompostiert werden können. Im vorindustriellen Zeitalter war es üblich, mit Materialien zu bauen, die der Natur entnommen wurden und die nach erfolgter Nutzung durch Verrotten oder Sedimentation in den Naturkreislauf zurückgeführt werden konnten (z.B. Dämmstoffe aus Stroh oder Hanf). In der heutigen Zeit finden diese Baustoffe nur noch bei ökologisch orientierten Bauweisen Anwendung. Mit zunehmender Ressourcenknappheit könnten die nachwachsenden Materialien wieder an Bedeutung gewinnen und einen Umfang annehmen, auf den das Abfallrecht und die Abfallwirtschaft bisher nicht vorbereitet sind. So gilt die BioAbfV nicht für „für Stoffe, die nach anderen Rechtsvorschriften entsorgt werden müssen“, z.B. Bau- und Abbruchabfälle, die in der Gewerbeabfallverordnung geregelt sind. Kompostierungsanlagen und Entsorgungsbetriebe sind deshalb auch nicht auf größere Mengen biologisch verwertbarer Bau- und Abbruchabfälle eingestellt (siehe Kapitel 6.1.2).

Gewerbeabfallverordnung

Zu den wichtigsten bundesweiten Regelwerken mit Bezug zur Kreislaufwirtschaft im Bauwesen gehört die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV). Seit einer Novellierung in 2017 sind Bau- und Abbruchabfälle in folgende wesentliche Fraktionen zu trennen und „nach Maßgabe des § 8 Absatz 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes vorrangig der Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zuzuführen“ [68]:

- Glas
- Kunststoff
- Metalle, einschließlich Legierungen
- Holz
- Dämmmaterial
- Bitumengemische
- Baustoffe auf Gipsbasis

Altholzkategorie	Potenzial für höherwertige, stoffliche Verwertung zu Holzwerkstoffprodukten	A 3.5 Potenziale von Althölzern für die höherwertige stoffliche Verwertung nach AltholzV [65]
A I naturbelassenes oder nur mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde	ja	
A II verleimtes oder behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung, ohne Holzschutzmittel	ja	
A III Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel	Verwertung nur möglich, wenn Beschichtungen durch Vorbehandlung oder im Rahmen des Aufbereitungsprozesses entfernt werden	
A IV mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz sowie Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Kategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz	nein	

- Beton
- Ziegel
- Fliesen und Keramik

Die Verordnung beinhaltet sowohl Dokumentationspflichten als auch Ausnahmeregelungen, z. B. wegen fehlender technischer Möglichkeit der Abfalltrennung (z. B. Platzmangel auf der Baustelle) oder wirtschaftlicher Unzumutbarkeit (z. B. hoher Verschmutzungsgrad, kleine Mengen). Bei Anwendung der zu begründenden Ausnahmeregelungen sind die anfallenden Gemische je nach Zusammensetzung einer Vorbehandlungs- oder einer Aufbereitungsanlage zuzuführen.

Nach einer Umfrage der Deutschen Umwelthilfe (DUH [69]) unter den zuständigen Bundesländern wurde die Änderung der GewAbfV knapp ein Jahr nach Inkrafttreten kaum vollzogen. Durch die Ausnahmeregelungen ist eine gemischte Sammlung mit anschließender Vorbehandlung oder Aufbereitung, die die GewAbfV eigentlich vermeiden will, weiterhin möglich – mit fatalen Folgen für den Wettbewerb: Sind Recyclingprodukte aufgrund eines aufwendigen Aufbereitungsprozesses zu teuer, werden in der Praxis weiterhin Primärbaustoffe verwendet.

3.1.3. Rückbaurecht

Im allgemeinen Baurecht, insbesondere im Bauordnungsrecht der Länder (Landesbauordnungen) sowie in der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB), ist nicht nur das Bauen, sondern auch das Rückbauen geregelt. Daneben existieren Normen und Richtlinien, die speziell für den Rückbau bzw. Abbruch von Gebäuden verfasst sind. Hierzu gehören:

- DIN 18007 Abbrucharbeiten [70]
- ATV DIN 18459 Abbruch- und Rückbauarbeiten [71]
- VDI-Richtlinie 6210 Abbruch von baulichen und technischen Anlagen

Die rechtlichen Anforderungen an den Rückbau beziehen sich in diesen Normen hinsichtlich der Separierung von Abbruchmaterialien zur weiteren Verwertung auf das Abfallrecht. Solange dort allerdings keine erhöhten Anforderungen an die Qualität der Verwertbarkeit gestellt sind, wird auch der Abbruch den hohen Ansprüchen im Sinne des selektiven Rückbaus (siehe Seite 51) nur vereinzelt gerecht werden.

3.2. Abfallaufkommen und Verwertungsquoten

Deutschland gilt allgemein als Recycling-Weltmeister.¹⁷ Bei genauer Betrachtung trägt der Schein jedoch – auch im Bauwesen.

3.2.1. Eine statistische Betrachtung

Rund 54% aller Abfälle in Deutschland sind dem Bausektor zuzuordnen. Im Jahr 2016 betrug das Gesamtabfallaufkommen nach Angaben des Statistischen Bundesamtes [72] 411,5 Mio. Tonnen. Davon entfielen rund 223 Mio. Tonnen auf Bau- und Abbruchabfälle (Abb. A 3.6).

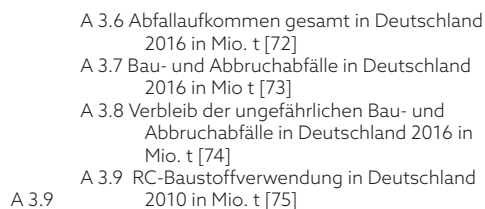
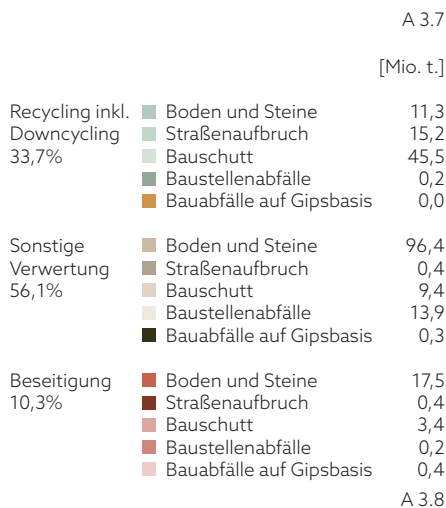
Der größte Anteil der Abfälle aus dem Bauwesen entfällt auf die schweren mineralischen Baustoffe: Böden, Steine und Baggergut, die z. B. beim Aushub von Baugruben oder bei der Ausbaggerung von Wasserstraßen anfallen, trugen mit 127,6 Mio. Tonnen zu ca. 57% der Bau- und Abbruchabfälle bei, während 59,2 Mio. Tonnen bzw. ca. 27% auf die allgemein als „Bauschutt“ bezeichneten Materialien Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik entfielen (siehe Abb. A 3.7).

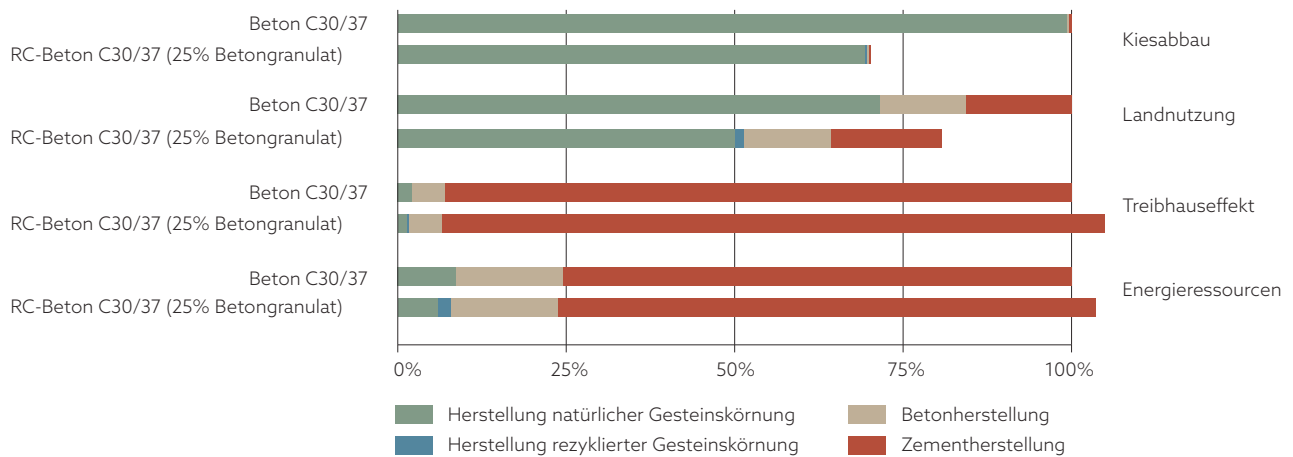
Die laut Gesetz für Bau- und Abbruchabfälle geforderte Verwertungsquote von 70% (siehe AbfRR Seite 40) wird in Deutschland – rein statistisch betrachtet – erfüllt. Von 214,6 Mio. Tonnen nicht gefährlicher Bau- und Abbruchabfälle wurden gemäß Abfallstatistik 2016 insgesamt 89,7% verwertet [73]. Diese Quote beinhaltet jedoch laut Gesetz auch die nachrangige „sonstige stoffliche Verwertung“, worunter insbesondere die Verfüllung z. B. von Bodenabfällen und Bauschutt in Gruben des Tagebaus zählt (Abb. A 3.8). Nur die energetische Verwertung wird in der Quote nicht angerechnet.

Die Initiative Kreislaufwirtschaft Bau [74] veröffentlicht seit 2006 Statistiken über Verwertungsquoten mineralischer Bauabfälle. Im Jahr 2016 lag die Recyclingquote des Bauschutts, der den weitaus größten Anteil der Abbruchabfälle aus dem Hochbau (ohne Boden und Steine) ausmacht, bei 77,8%. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um echtes Recycling, sondern um sogenanntes Downcycling, also um eine Verwertung mit einem geringeren Leistungsspektrum gegenüber dem Ausgangsmaterial: Der Bauschutt wird gebrochen, zu Recycling-Gesteinskörnung aufbereitet und vorwiegend im Straßenbau verwendet (Abb. A 3.9). Die RC-Gesteinskörnung ersetzt dabei zwar Primärmaterialien wie Kies und Splitt, hat aber als ungebundene Körnung nicht mehr die gleiche Performance wie die Ausgangsprodukte Beton, Ziegel, Fliesen oder Keramik.

Doch selbst bei dem sehr geringen in der Betonherstellung verwendeten Anteil der RC-Baustoffe ist der Stoffkreislauf nicht geschlossen, da aus gebrochenem Beton ohne erneuten Zusatz von Zement und Wasser kein neuer Beton hergestellt werden kann. In der Zementproduktion liegt aber das wesentliche Problem, weil diese maßgeblich zu den Umweltbelastungen durch Beton beiträgt. Studien des Schweizer Instituts für Bau und Umwelt (HSR) unter Leitung von Prof. Dr. Kytzia im Auftrag der Holcim (Schweiz) AG ([76]) zu Ökobilanzen von Beton zeigen, dass sich mit recycelten Gesteinskörnungen abiotische Rohstoffe (Kies, Sand) einsparen lassen, Energieverbrauch und Treibhausgase aber möglicherweise

¹⁷ z.B. „Die Welt“, 06.06.2019





A 3.10

steigen können, wenn aufgrund eines höheren Hohlraumgehalts (bedingt durch den Einsatz von gebrochenem Korn) mehr Zement für die Herstellung des Betons eingesetzt wird (s. Abb. A 3.10).

Bau- und Abbruchabfälle aus Holz, Glas, Kunststoff und Metall sowie Dämmstoffe und Baumischabfälle sind im Monitoring der Kreislaufwirtschaft Bau zu den sogenannten Baustellenabfällen zusammengefasst. Das Recycling dieser Fraktionen wird jedoch amtlich bisher nicht erfasst. Hillebrandt und Seggewies haben für diese Abfallfraktionen die Verwertungsquoten und -potenziale auf Basis weiterer Quellen recherchiert und im Atlas Recycling [77] veröffentlicht. Darauf wird in Kapitel 5.1 zurückgegriffen.

3.2.2. Voraussichtliche Entwicklung der mineralischen Abfallströme

Aufgrund der Gewichtung der mineralischen Bau- und Abbruchabfälle und der diesbezüglich geplanten rechtlichen Änderungen wird im Folgenden die voraussichtliche Entwicklung der Stoffströme näher untersucht.

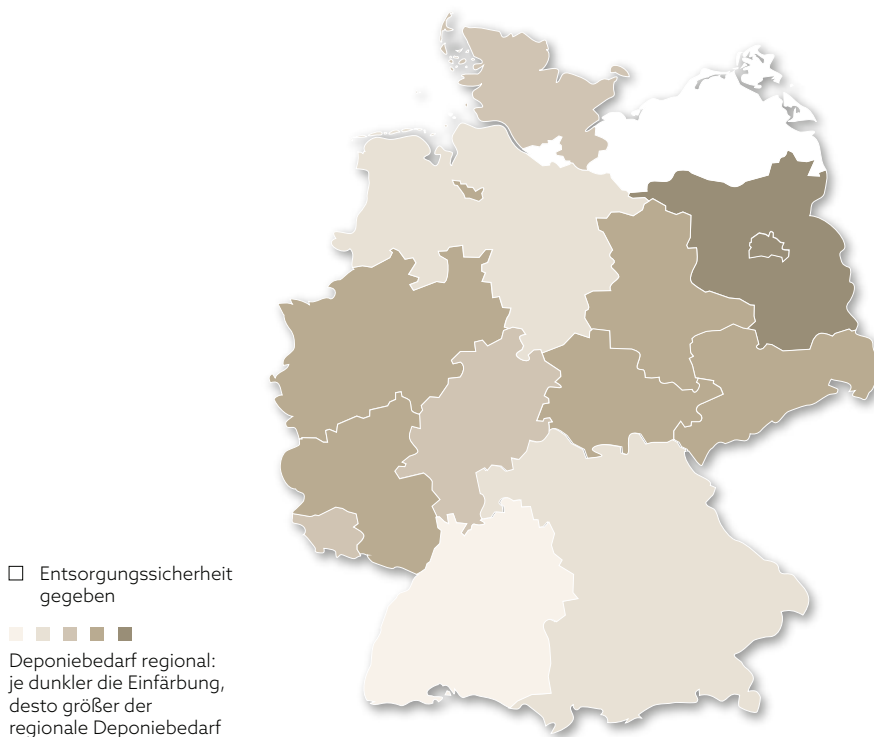
Auf Basis des vom Umweltbundesamt (UBA) in Auftrag gegebenen Forschungsprojekts „Planspiel Mantelverordnung“ wird in der Folgenabschätzung zum Entwurf der MantelV (2017, [78]) mit einer Stoffstromverschiebung von Bauschutt und Boden gerechnet. Demnach wird erwartet, dass von jährlich 5,4 Mio. Tonnen Bauschutt, die bisher für Verfüllungen verwertet wurden (Stand 2014), zukünftig rund 3 Mio. Tonnen auf Deponien landen, zuzüglich 7–10 Mio. Tonnen belastete Bodenmassen. Angesichts der im Jahr 2014 deponierten Massen von 20,3 Mio. Tonnen würde dies eine Steigerung um mehr als 50% bedeuten, bei alleiniger Betrachtung der Bauschuttfraktion sogar nahezu eine Verdoppelung. Die Studie geht dabei von einer Erhöhung der bundesweiten Recyclingquote für Bauschutt (siehe Seite 49) von 77,8% auf nur 80% aus und bezieht somit die angestrebte Recyclingoptimierung nur sehr konservativ in die Betrachtung mit ein.

Der Deutsche Abbruchverband (DA, [79]) schätzt die Menge zusätzlich zu deponierender Abfälle sogar auf 50 Mio. Tonnen jährlich ein und warnt vor einem Entsorgungsnotstand.

Nach Angaben von Haeming (2017, [80]) ist die Entsorgungssituation für die Ablagerung mineralischer Abfälle in vielen Bundesländern bereits jetzt angespannt. Abb. A 3.11 zeigt, in welchen Ländern zumindest regio-

A 3.10 Wirkungsabschätzung für Konstruktionsbetone, RC-Beton mit erhöhtem Zementanteil, Relation in % [76]

A 3.11 Entsorgungssicherheit über Deponiekapazitäten in Deutschland nach Haeming, Hartmut, 2018



A 3.11

naler Deponiebedarf besteht, um die sogenannte 10-jährige Entsorgungssicherheit zu gewährleisten. Die Entwicklungen innerhalb dieses Zeitraums haben die Länder nach § 30 KrWG bei der Erstellung der Abfallwirtschaftspläne zu berücksichtigen. Bei der Abschätzung des zukünftigen Bedarfs besteht jedoch erhebliche Datenunsicherheit, da unklar ist, ob und wann die MantelV Gültigkeit erlangen wird. Die Auswirkungen sind deshalb in Abb. A 3.11 nicht einmal enthalten.

Hinzu kommt: In den nächsten Jahren steht zunehmend der Gebäudebestand aus den 60er und 70er Jahren zur Sanierung an bzw. wird rückgebaut und durch Neubauten ersetzt werden. Dies erfolgt vor allem in den Ballungsräumen im Rahmen der Nachverdichtung und wird zu einem steigenden Bauschutttaufkommen führen. Für Rheinland-Pfalz wird beispielsweise eine Zunahme von 25% angenommen (ifeu Institut, 2016 [81]).

Es ist somit dringend erforderlich, die Recyclingquote mineralischer Bau- und Abbruchabfälle zu erhöhen. Der Hochbau, insbesondere der Einsatz von RC-Gesteinskörnung in Beton, bietet hier enormes Potenzial, wie am Projektbeispiel „Rathaus Korbach“ in Kapitel 9 gezeigt werden wird.

3.3. Rückbau- und Abbruchverfahren

Dem Rückbau bzw. Abbruch kommt hinsichtlich der Verwertungsmöglichkeiten eine Schlüsselfunktion zu, denn je selektiver der Rückbau bzw. Abbruch erfolgt, desto sortenreiner lassen sich die verbauten Materialien zurückgewinnen und desto einfacher die Qualitätsanforderungen an die Rezyklate erfüllen. Die Verfahren und die eingesetzten Techniken spielen dabei eine große Rolle. Folgende Abbruchverfahren werden nach Angaben des Deutschen Abbruchverbands (DA [82]) unterschieden.

3.3.1. Nach dem Umfang

Je nachdem, ob ein Bauwerk vollständig oder nur teilweise abgebrochen oder zurückgebaut werden soll, entstehen unterschiedliche Anforderungen und Aufwendungen.

Teil- und Komplettabbruch

Werden Bauwerksabschnitte, -anlagen oder deren Teile unter Erhaltung der Standsicherheit der verbleibenden Bauwerksteile abgebrochen, handelt es sich um einen Teilabbruch. Die restlose Beseitigung einer baulichen Anlage wird als Komplet- oder Totalabbruch bezeichnet.

Entkernung

Unter Entkernung wird der Rückbau bis auf den Rohbau verstanden. Dabei werden Bauteile ausgebaut, die keinen Einfluss auf die Standsicherheit haben (z. B. leichte Trennwände, Fenster, Türen oder technische Anlagen). Die Entkernung findet entweder vor dem Abbruch oder vor einer umfassenden Sanierung statt, bei der das Tragwerk erhalten bleibt und weitergenutzt wird.

3.3.2. Nach der Separierung

Die Separierung von Wertstoffen bereits auf der Rückbaustelle ist der erste Schritt zum Recycling. In der Reihenfolge des Arbeitsaufwands lassen sich von gering bis hoch folgende Verfahren unterscheiden.

Konventioneller Abbruch

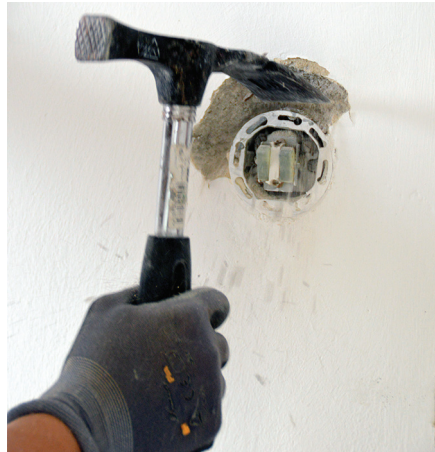
Der konventionelle Abbruch ist die größte Art der Beseitigung von Bauwerken. Dabei wird das Gebäude ohne vorherige Entkernung oder begleitende Separierung abgebrochen, wodurch es zwangsläufig zu einer Vermischung der Abbruchmaterialien kommt (s. Titelbild zu Kapitel 3, Abb. A 3.1). Diese werden entweder nachträglich getrennt (manuell oder maschinell) oder komplett als Baumischabfall entsorgt. Aufgrund der damit verbundenen hohen Entsorgungskosten findet der konventionelle Abbruch heute meist nur noch bei kleinen Objekten mit wenig unterschiedlichen Materialien Anwendung.

Selektiver Abbruch

Der selektive Abbruch ist nach Informationen des DA derzeit das häufigste Verfahren für den Komplettabbruch von Bauwerken. Die anfallenden Materialien werden dabei vor, während oder nach dem Abbruch selektiert (siehe Abb. A 3.12).



A 3.12



A 3.13

A 3.12 selektiver Abbruch mittels Abbruchzange
A 3.13 Selektiver Rückbau von Installationen aus einer Mauerwerkswand

Selektiver Rückbau

Der Begriff „selektiver Rückbau“ kommt ursprünglich aus der Schadstoffentfrachtung, wird aber inzwischen allgemein für einen hohen Selektierungsgrad verwendet. Beim selektiven Rückbau werden die unterschiedlichen Materialien vor dem Abbruch der Tragkonstruktion hochgradig sortenrein zurück- bzw. ausgebaut. Abb. A 3.13 zeigt den selektiven Rückbau am Beispiel des manuellen Ausbaus von Installationen aus einem Mauerwerk. Neben der Demontage bietet dieses Verfahren die besten Voraussetzungen für eine optimale Verwertung der Abbruchabfälle.

Demontage

Das zerstörungsfreie Herauslösen eines Bauteils aus einem Bauwerk durch Lösen von Verbindungsmitteln wird als Demontage bezeichnet. Das Verfahren kommt unter anderem bei Stahlkonstruktionen zum Einsatz, die mittels Lösen von Schraubverbindungen oder Auftrennen von Schweißnähten demontiert und anschließend zum Zweck der Wiederverwendung oder Verschrottung zerlegt werden.

Die Demontage zur Wiederverwendung ist vorwiegend bei historischen Bauteilen oder -materialien üblich und mit Blick auf den Ressourcenschutz konkurrenzlos, da alle ehemals zur Herstellung eingesetzten Rohstoffe, einschließlich der Energie, erhalten bleiben. Die Bauteile werden in umgekehrter Montagereihenfolge sorgfältig demontiert, um sie unbeschädigt an anderer Stelle wiederzuverwenden.

3.3.3. Nach der Verfahrensweise/Verfahrenstechnik

Noch bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts erfolgte der Rückbau, genau wie der Hochbau, vorwiegend in Handarbeit mit relativ einfachen mechanischen Werkzeugen. Der Zweck des Rückbaus war meist die Wiederverwendung oder -verwertung der Materialien. Heute hingegen ist der Abbruch ein hochtechnisiertes und energieintensives Gewerk. Dabei wird das Bauwerk in erster Linie beseitigt, um die Fläche wieder zu nutzen.

DIN 18007 [83] definiert und erläutert verschiedene Verfahrensweisen. In Anlehnung an Anhang A der Norm vergleicht Abb. A 3.14 diese nach ihrer Eignung für den selektiven Rückbau hinsichtlich Konstruktion, vorhandener Bauteile und Materialität. Die aufgeführten Verfahren können

dabei einzeln oder kombiniert erfolgen und sowohl manuell als auch maschinell durchgeführt werden.

Manuelle Verfahren

Manuelle Tätigkeiten kommen heute hauptsächlich bei der Entkernung zur Anwendung. Der personalintensive Handabbruch beschränkt sich meist auf ein begleitendes Verfahren in Bereichen, in denen Bauwerkteile erschütterungsarm zu entfernen sind oder maschinelle Technik z. B. aufgrund der Deckentragfähigkeit nicht einsetzbar ist. In Bezug auf die Verwertung lassen sich bei manuellen Verfahren Wertstoffe am besten selektieren.

Maschinelle Verfahren

Die Abbruchtechnik hat sich in den letzten 30 Jahren mit zunehmender Komplexität der Abbruchaufgaben kontinuierlich verändert und an die gestiegenen Anforderungen hinsichtlich Gebäudehöhen, Massen und geforderter Schnelligkeit angepasst. Die Gerätetechnik des Gewerks Abbruch ist arbeitstechnisch sehr effizient, gehört aber auch zu den investitions- und energieintensivsten des Bausektors.

In Abb. A 3.15 haben Schultmann et al. verschiedenen Verfahren die häufigsten Abbruchtechniken zugeordnet [84]. Der Abbruch mit Hydraulikbagger und entsprechenden Anbaugeräten (siehe Abb. A 3.12 auf Seite 51) ist nach Weimann et al. und DA mit 83% die am meisten angewandte Technik beim Abbruch von Gebäuden [85].

Vor allem im Gebäudeinneren kommen zunehmend Abbruchroboter zum Einsatz. Dabei handelt es sich um ferngesteuerte Abbruchmaschinen, die den Vorteil größerer Arbeitssicherheit bieten und emissionsfrei mit Strom funktionieren.

Die Wahl der Abbruchverfahren und -techniken ist in der Regel dem Abbruchunternehmer überlassen (mit Ausnahme von genehmigungspflichtigen Aspekten wie z. B. Sprengungen). Damit nimmt er großen Einfluss auf die Separierbarkeit und die Verwertbarkeit der Abfälle. Der Bauherr hat meist kein großes Interesse am Verbleib der Abfälle. Er haftet als deren Erstbesitzer und -erzeuger lediglich für die ordnungsgemäße Entsorgung, nicht aber für die Qualität der Verwertung.

DIN 18007 weist jedoch darauf hin, dass es im Einzelfall auch aufgrund umwelttechnischer Aspekte unter Berücksichtigung von Folgegewerken erforderlich sein kann, ein Verfahren vorzugeben. Macht weder der Bauherr noch die Genehmigungsbehörde davon Gebrauch, wird der Abbruchunternehmer stets das Verfahren mit dem geringsten (wirtschaftlichen) Aufwand wählen. **Daraus lässt sich folgern, dass der Aufwand für den Rückbau von Baukonstruktionen und die Trennbarkeit der Wertstoffe entscheidend für ein hochwertiges Recycling ist. Um Konstruktionen hinsichtlich ihrer Kreislauffähigkeit zu bewerten, ist es deshalb notwendig, den Aufwand für den Rückbau zu schätzen.**

Eignung von Abbruchverfahren für den selektiven Rückbau	Konstruktion	Bauteil	Baustoff
Verfahren	Flach- und Hallenbauten mehrgeschossige Skelettkonstruktion mehrgeschossige Wandkonstruktionen turmartige Bauwerke	Decken/Sohlen Dächer Unterzüge/Binder Stützen Wände Fundamente/Gründungskörper	Holz Mauerwerk unbewehrter Beton bewehrter Beton Stahl hochlegierter Stahl und Guß Nichteisenmetalle Dämm- und Ausbaumaterial Kunststoffe
Abgreifen	■ □ ■ □	■ □ □ ■	■ ■ □ □ □ ■ ■
Einschlagen	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ □ □ □ □
Eindrücken	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ □ □ □ □
Einziehen	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ □ ■ ■ ■
Reißen	■ □ □ □	■ □ □ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ □ □
Stemmen	■ ■ ■ ■	■ □ □ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ □ □
Pressschneiden	■ ■ ■ ■	■ □ □ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■
Scherschneiden	■ ■ ■ ■	■ □ □ ■ ■ □	■ □ ■ ■ ■ ■ □
Demontieren	■ □ □ □	■ □ □ □ □ □	■ ■ □ ■ ■ ■ ■ ■
Sprengen	■ ■ ■	bauteilunabhängig	■ ■ ■
Bohren	Bestandteil anderer Verfahren / vorbereitende Maßnahmen		
Sägen			
Fräsen	konstruktions- unabhängig	■ □ □ □ □ □	■ ■ □
Schleifen		■ □ □ □ □ □	■ ■ □ □ □ □ □
Schneiden, thermisch		□ □ □	□ ■ ■ ■ ■

□ = geeignet
 ■ = besonders geeignet
 ■ = geeignet nach Entkernung

A 3.14

Verfahren	Maschinen	
	Trägergerät	Anbaugerät
Abgreifen	Hydraulikbagger	Abbruch-/Sortiergreifer
Einschlagen	Seilbagger	Stahlmasse
Eindrücken	Hydraulikbagger	Abbruchstiel/ Tieflöffel
Einziehen	Hydraulikbagger	Stahlseil
Reißen	Hydraulikbagger	Abbruchstiel/ Aufbruchgerät
Stemmen	Hydraulikbagger	Hydraulikhammer
Pressschneiden	Hydraulikbagger	Abbruchzange
Scherschneiden	Hydraulikbagger	Stahl-/Schrottschere
Handabbruch mit Handwerkzeug	Handwerkzeug (Elektrohammer, Metallsäge)	
Materialzerkleinerung	Hydraulikbagger	Hydraulikhammer/ Pulverisierer
Materialsortierung	Hydraulikbagger	Abbruch-/Sortiergreifer

A 3.15

A 3.14 Eignung von Abbruchverfahren mit Fokus
 auf den selektiven Rückbau von Gebäuden
 in Anlehnung an DIN 18007
 A 3.15 Abbruchtechniken [84]

3.4. Aufwand für Rückbau und Abbruch

In der Praxis richtet sich die Wahl des angewandten Verfahrens neben objektiven Bedingungen wie dem Abbruchobjekt selbst (Konstruktion, Bauweise, Materialien, Abbruchhöhen etc.) und den Baustellenbedingungen (angrenzende Bauwerke, Medienversorgung etc.) vor allem nach wirtschaftlichen Aspekten. Hierbei sind Kosten und Zeit die entscheidenden Faktoren.

3.4.1. Kostenaufwand

Die Kalkulation im Rückbau und Abbruch basiert meist auf Erfahrungswerten des Unternehmers. Im Gegensatz zur Kostenermittlung im Hochbau existieren bisher keine öffentlich verfügbaren Daten über Rückbaukosten (z. B. dem BKI Baukostenindex¹⁸ vergleichbar). Die Kostenschätzung ist mit relativ großen Unsicherheiten belegt, weil viele Parameter vorher nicht oder nur schwer erkennbar sind (z. B. verkleidete Bauteile). Fehlende Informationen über verbaute Materialien führen oft zu sehr groben Schätzungen der Rückbaukosten anhand des Bruttorauminhalts und/oder auf Basis eines durchschnittlich errechneten Zeitaufwands nach Flächengrößen.

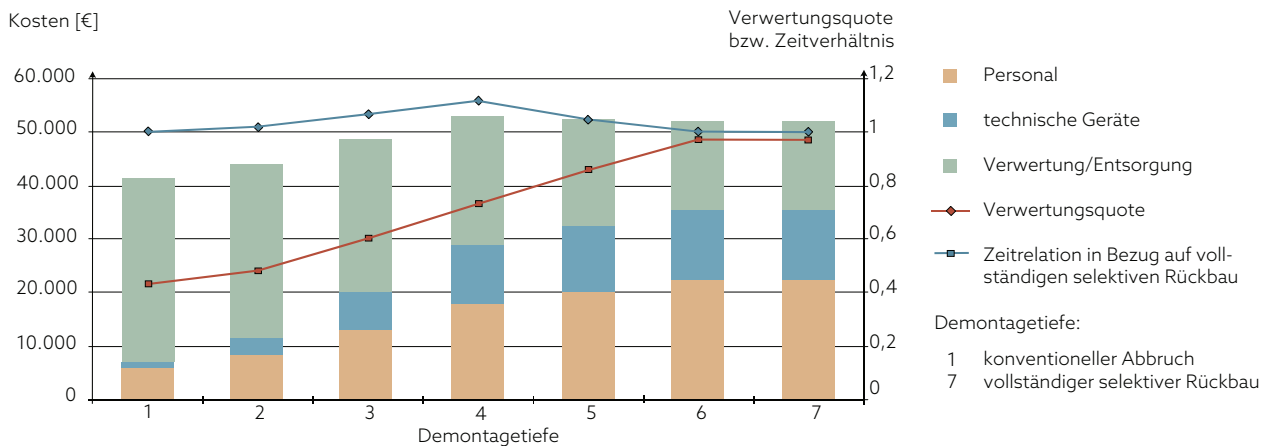
Im Wesentlichen setzen sich die Kosten zusammen aus

- Rückbau-/Demontagekosten
 - Personalaufwand (Anzahl und Qualifikation)
 - Geräte-/Maschineneinsatz (Art und Menge, Betriebsstoffe)
 - Material (Sicherungsmaßnahmen, Schutzausrüstung)
- Entsorgungskosten/-erlösen

Schultmann hat 2003 in Modellrechnungen Kosten, Zeitbedarf und Verwertungsquoten für unterschiedliche Demontagetiefen (Separierung) gegenübergestellt (Abb. A 3.16 [86]). Basis der Berechnungen sind Rückbauprojekte, die in der Praxis in Form von Pilotbaustellen durchgeführt und wissenschaftlich ausgewertet wurden. Bei Betrachtung des Verhältnisses der Rückbaukosten in Form von Personal- und Gerätekosten zu den Verwertungs-/Entsorgungskosten wird deutlich, dass mit zunehmender Demontagetiefe die Rückbaukosten zwar steigen, aber gleichzeitig die Entsorgungskosten sinken, da mit zunehmender Demontagetiefe eine höhere Sortenreinheit der beim Rückbau gewonnenen Materialien zu verzeichnen ist, wodurch die Verwertungsquote steigt. Bis zu einer mittleren Demontagetiefe steigen dabei die Gesamtkosten, d. h. die Rückbaukosten haben eine höhere Relevanz auf die Gesamtkosten als die Entsorgungskosten.

Während Entsorgungskosten mit überschaubarem Aufwand statistisch ermittelt und bewertet werden können, fehlt für eine Bewertung des Rückbauaufwands (Personal-/Maschineneinsatz) nach dem Maßstab der Kosten zum einen eine breite Datenbasis, zum anderen hängt eine Bewertung nach Kosten sehr vom regionalen und temporären Lohnni-

18 Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, diverse Bände zur Neubaukostenplanung



A 3.16

veau ab. Der Zeitfaktor ist jedoch eine relativ konstante und messbare Größe, die für eine Bewertung in der hier vorliegenden Arbeit herangezogen werden kann.

3.4.2. Zeitaufwand

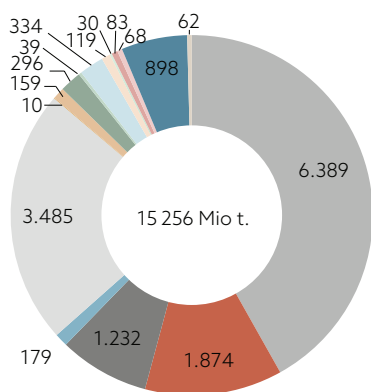
Bei der Betrachtung des Zeitaufwands für den Rückbau ist stets die Bezugsgröße zu berücksichtigen. So kann der Zeitaufwand z. B. mit Blick auf die Kosten in Personen- und Maschinenstunden pro Rückbauvorhaben betrachtet werden. Mit Blick auf einen Fertigstellungstermin kann aber auch die Gesamtzeit in Tagen die entscheidende Bezugsgröße sein, an die der Ressourceneinsatz anzupassen ist.

In den Modellrechnungen von Schultmann, dargestellt in Abb. A 3.16, liegt den Modellen mit hoher Demontagetiefe (Nr. 5–7) eine unterschiedliche Ressourcenkapazität (Maschinen/Arbeitskräfte) zugrunde, sodass sich die Demontagetiefe nicht signifikant auf die Gesamtdauer des Rückbauprojektes auswirkt. Die Zeitrelation (blaue Kurve in Abb. A 3.16) bezieht sich also auf die Gesamtdauer des Rückbaus ohne Berücksichtigung des Mehreinsatzes von Arbeitskräften und Maschinen.

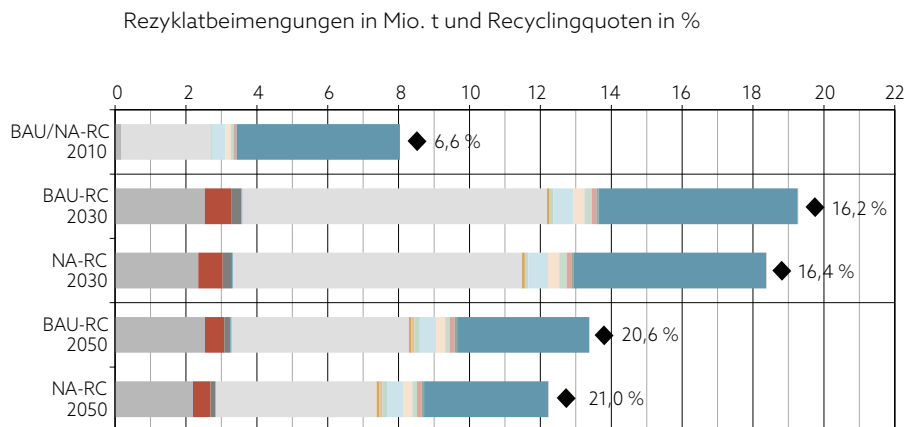
Mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus ist, abgesehen von externen terminlichen Zwängen, die Anzahl der Personen- und Maschinenstunden die entscheidende Bezugsgröße.

Der Deutsche Abbruchverband hat Daten zum zeitlichen Aufwand für verschiedene Abbruchverfahren auf Basis diverser Quellen veröffentlicht. Ein Großteil der Daten basiert auf Untersuchungen von Schultmann. Die Zeitaufwandswerte können für eine Bewertung des Rückbauaufwands in der hier vorliegenden Arbeit herangezogen werden. Im Kapitel 4.3.1 werden die Forschungsergebnisse von Schultmann näher beschrieben.

A 3.16 Kosten, Zeitbedarf und Verwertungsquoten beim Rückbau für unterschiedliche Demontagetiefen (Ergebnisse von Optimierungsrechnungen) [86]



A 3.17



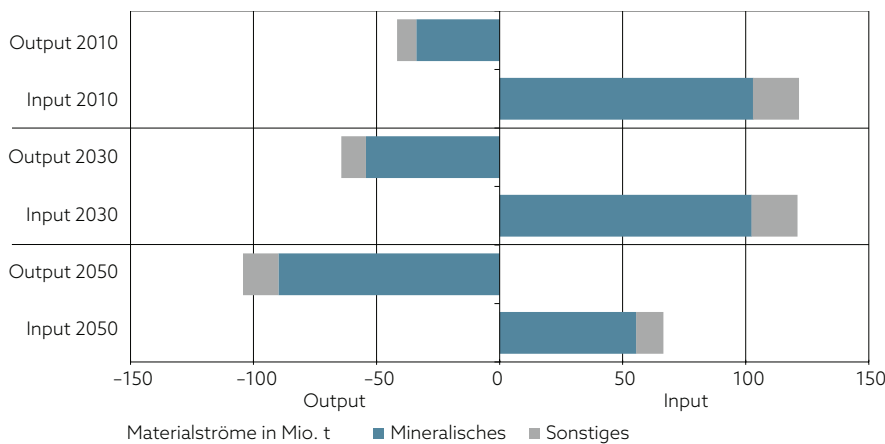
A 3.18

3.5. Entwicklung des anthropogenen Rohstofflagers

Der Gebäudebestand in Deutschland wächst seit dem Ende des zweiten Weltkriegs kontinuierlich und stellt mit geschätzten 15 Mrd. Tonnen ein enormes anthropogenes Rohstofflager/Abfalllager dar (Abb. A 3.17).

Um das Recyclingpotenzial aus dem Gesamtgebäudebestand sowie für einzelne Baustoffgruppen zu ermitteln, haben Deilmann et al. [87] auf Basis der Bau- und Abbruchaktivitäten im Jahr 2010 Hochrechnungen und Sensitivitätsstudien für die Massenströme der Jahre 2030 und 2050 durchgeführt. Nach dem Massenstrommodell waren die Input-Ströme für Neubau und Sanierung in 2010 mit 121 Mio. Tonnen dreimal so groß wie die rückbaubedingten Output-Ströme. Aufgrund der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung wird vermutlich ab dem Jahr 2030 eine Trendwende einsetzen: Demnach könnten im Jahr 2050 die Massen des Rückbaus diejenigen des Neubaus und der Sanierung um das 1,5-Fache übersteigen, wenn die Zunahme leer stehender Gebäudebrachen moderat bleiben soll (Abb. A 3.19). Auf Basis der prognostizierten Bautätigkeit wurden unter Einbeziehung von Fachverbänden und Experten die Möglichkeiten und Grenzen der Kreislaufführung – auch unter Berücksichtigung theoretischer technischer Obergrenzen – analysiert.

Zu den Kernaussagen der Sensitivitätsstudie gehört, dass der Rezyklateinsatz bei Baumaterialien im Hochbau unter optimistischen Annahmen veränderter Rahmenbedingungen für die Kreislaufwirtschaft von derzeit durchschnittlich ca. 7% auf knapp 21% in 2050 steigen könnte (Abb. A 3.18). Dabei würden neben den Metallen vor allem die mineralischen Schüttungen (z. B. RC-Gesteinskörnung als Schotterschicht unter Bodenplatten) einen hohen Massebeitrag zur Gesamtrate leisten. Ohne Zweifel ist es richtig, hierfür Rezyklate statt Primärmaterial einzusetzen. Da es sich jedoch nicht um ein echtes Recycling, sondern um ein Downcycling handelt, wäre eine Steigerung auf insgesamt nur 21% in Anbetracht der Ressourcenverknappung gering. Durch nachhaltiges Bauen mit Zunahme der Holzbauweise im Wohnungsbau, Verlagerung der Bautätigkeit von Ein- zu Mehrfamilienhäusern sowie einer erhöhten Effizienz beim Bauen mit Beton, könnte der Rezyklatanteil nach Annahmen der Wissenschaftler noch geringfügig erhöht, vor allem aber der Ressourceneinsatz insgesamt gemindert werden.



- A 3.17 Materiallager des Gebäudebestands in Deutschland 2010 in Mio. t nach Materialgruppen [87]
 A 3.18 Zukunftsszenarien für den Rezyklateinsatz nach Sensitivitätsstudien von Deilmann et al. [87]
 A 3.19 Hochrechnungen zu Materialströmen im Hochbau (Wohnen und Nichtwohnen) [87]

A 3.19

3.6. Zwischenfazit

Der Bausektor kann die in der Gesetzgebung geforderten Verwertungsquoten derzeit nur auf niedrigem Qualitätsniveau erfüllen und ist von einer echten Kreislaufwirtschaft mit geschlossenen Kreisläufen weit entfernt. Die Prognosen für die Zukunft sprechen für einen geringen Fortschritt: Selbst in ca. 30 Jahren wird sich mit den bisherigen Ansätzen keine Circular Economy im Bauwesen etabliert haben.

Angesichts knapper werdender Ressourcen und zunehmender Abbruchtätigkeiten bei gleichzeitig knapper werdenden Deponiekapazitäten sowie erhöhten Anforderungen an Sekundärrohstoffe im Tiefbau besteht dringender Handlungsbedarf, geschlossene Stoffkreisläufe im Hochbau zu generieren. Dies stellt insbesondere die Hersteller mineralischer Baustoffe vor eine große Herausforderung. In der Forschung gibt es bereits erste Lösungsansätze. So könnte in naher Zukunft z. B. Beton mittels „elektrodynamischer Fragmentierung“ in Gesteinskörnung und Zementstein zerlegt werden: Mithilfe von ultrakurzen Hochspannungsimpulsen (Blitzen) wird unter Wasser eine Druckwelle im Beton erzeugt, die alle Bestandteile sortenrein voneinander trennt. [88] Es bleibt jedoch vorerst ungelöst, wie sich aus dem Zementstein wieder reaktiver Zement gewinnen ließe. Solange kein echtes Recycling von Beton und anderen mineralischen Baustoffen praktikabel ist, besteht bei diesen ressourcen- und emissionsintensiven Materialien nur die Möglichkeit, die Nachhaltigkeitsprinzipien der Effizienz und Suffizienz zu verfolgen.

Die heutigen Abbruchtechniken sind aus wirtschaftlichen Gründen in erster Linie auf Schnelligkeit und geringen Personaleinsatz ausgerichtet. Die strengereren Trennvorschriften der novellierten GewAbfV und tendenziell steigende Entsorgungskosten werden jedoch dazu führen, dass sich der selektive Rückbau weiter durchsetzt. Für heutige Neubauvorhaben bedeutet dies, dass eine leichte Trennbarkeit durch lösbare Verbindungstechniken und der Einsatz recyclingfähiger Baustoffe zukunftsweisend ist.

Doch wie können Architekten und Ingenieure bei der Planung unterstützt werden, um wirklich kreislaufgerechte Konstruktionen von einer „Verlängerung der Sackgasse“ (Downcycling) zu unterscheiden? Bereits existierende Bewertungsmethoden werden im Folgenden vorgestellt.

