

Entwurf zum Kapitel „Stoffstrommanagement“

Fragen, Anmerkungen und Ergänzungen an anette.mueller@abw-recycling.de oder anette-m.mueller@uni-weimar.de

- 2 Stoffstrommanagement
- 2.1 Grundbegriffe
- 2.2 Klassifizierung von Bauabfällen
- 2.3 Bauwerksspezifische Kennzahlen
- 2.3.1 Abfallmengen und –arten bei der Errichtung von Bauwerken
- 2.3.2 Abfallmengen und -arten aus dem Abbruch und Rückbau
- 2.4 Abfallwirtschaftliche Kennzahlen

2 Bauabfallmanagement

2.1 Grundbegriffe

Abbruch/Rückbau

Bauabfälle entstehen bei der Errichtung oder dem Umbau sowie bei der Beseitigung eines Bauwerkes. Bei der Bauwerksbeseitigung wird zwischen zwei Vorgehensweisen unterschieden:

- Unter Abbruch wird die Entfernung eines Bauwerkes ohne ausdrückliche Berücksichtigung seines Materialbestandes verstanden.
- Der selektive, kontrollierte, systematische oder auch recyclinggerechte Rückbau ist die schrittweise Demontage mit dem Ziel möglichst unvermischte Materialien zu erhalten.

Die Beispiele (Bild 2- 1 und Bild 2- 2) zeigen zwei unterschiedliche Wege des selektiven Rückbaus. Beim Rückbau des Wohngebäudes werden zunächst alle zugänglichen Schad- und Störstoffe sowie die Wertstoffe kontrolliert zurückgebaut, um so das Bauwerk wieder in einen rohbauähnlichen Zustand zurückzusetzen. Anschließend erfolgt der Abbruch. Bei Bauwerken mit geringerem Ausbaugrad kann ein selektiver Abbruch ohne vorgelagerte Demontagestufen erfolgen. Im Anschluss wird eine Sortierung in die Materialarten Betonbruch, Mauerwerkbruch, Metalle, Holz und ggf. weitere Bestandteile vorgenommen.

Selektiver Rückbau

1. Demontage bzw. Entfernung von Schad- und Störstoffen

2. Demontage von Wertstoffen



3. Abbruch

Abbruchbeton mit nicht rückbaubaren Fremdbestandteilen

- Asbesthaltige Baustoffe
- Kontaminierte Bauteile...
- Teerhaltige Dachbahnen...
- Baustoffe auf Gipsbasis – leichte Trennwände, Verbundschächte, Estriche...
- Holz – Fensterrahmen, Türen, Zargen, Spanplatten...
- Kunststoffe – PVC-Rohre, Bodenbeläge...
- Metalle – Rohrleitungen, Heizkörper, Treppengeländer, Armaturen, Rohrleitungen...

Bild 2- 1: Selektiver Rückbau eines Wohngebäudes mit den zu auszubauenden Bestandteilen [1]

Selektiver Abbruch mit maschineller Vorsortierung am Abbruchort

Gebäude im Ausgangszustand



- Beton
- Mauerwerk
- Holz
- Metalle
- Schad- und Störstoffe



Bild 2- 2: Materialtrennung beim selektiven Abbruch (oben) und Beispiel für die mittels maschineller Vor-Ort-Sortierung getrennten Bestandteile (unten) [1]

Schad- und Störstoffe

In Recycling-Baustoffen können unerwünschte Stoffe enthalten sein. Dabei kann zwischen Schad- und Störstoffen unterschieden werden (Bild 2- 3).

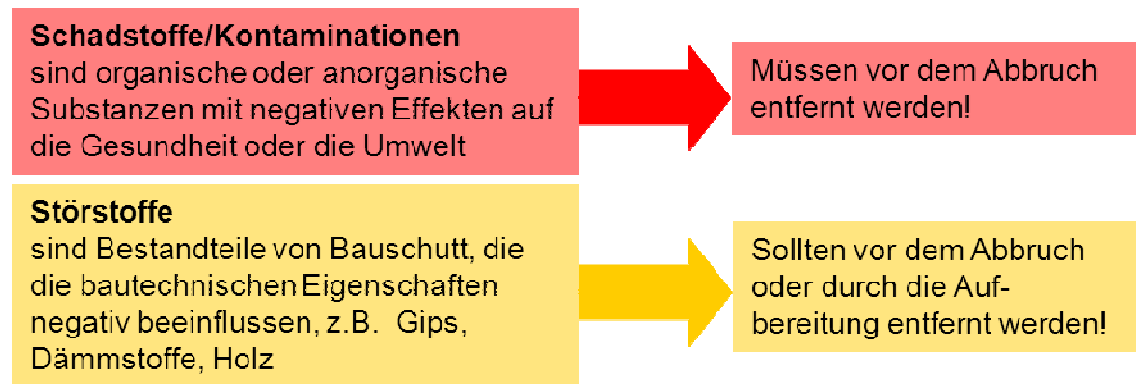
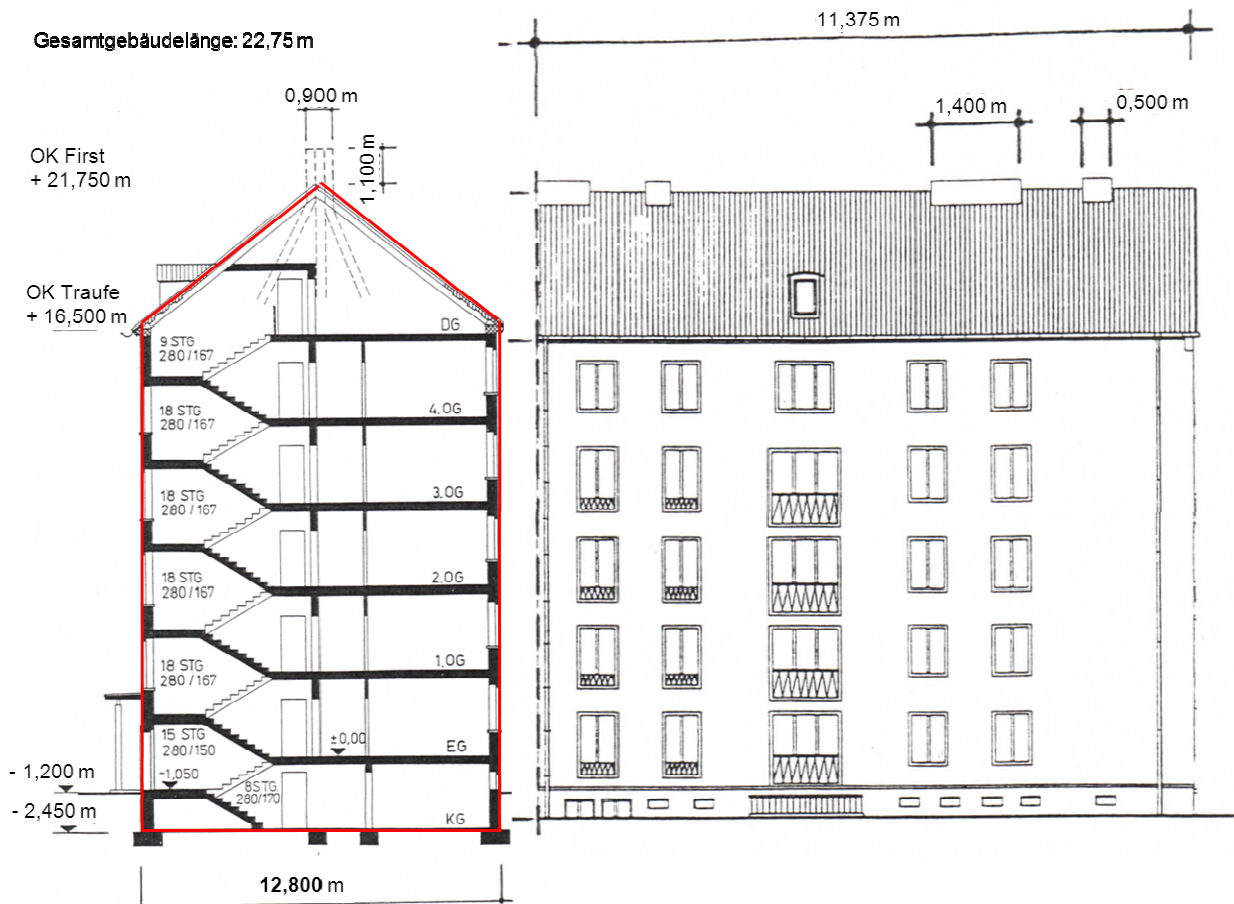


Bild 2- 3: Definitionen von Schad- und Störstoffen und Beispiele

Vielfach wurden schadstoffhaltige Materialien bereits bei der Errichtung eines Bauwerks verwendet, weil zum damaligen Zeitpunkt die negativen Auswirkungen nicht bekannt waren. Dazu zählen Baumaterialien, die Asbest enthalten, künstliche Mineralfasern mit geringer Biolöslichkeit, Holzschutzmittel, polychlorierte Biphenyle (PCB), polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Schwermetalle. Zusätzlich können Schadstoffe auftreten, die nutzungsbedingt hauptsächlich bei Industrie- und Gewerbebauten in das Baumaterial eingetragen wurden. Dabei handelt es sich um Kohlenwasserstoffe unterschiedlicher Art, aber auch um Schwermetalle wie beispielsweise Blei, Cadmium oder Quecksilber. Störstoffe haben keine negativen Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt, beeinflussen aber die bautechnischen Eigenschaften negativ. Wenn sie separiert werden, ist ihre Verwertung möglich.

Bauwerksspezifische Kennzahlen

Um die Verwertung von Abfällen, die bei der Errichtung, dem Umbau oder beim Abbruch eines Bauwerkes entstehen, vorbereiten zu können, sind Aussagen zu den entstehenden Abfallmengen und -arten erforderlich. Die Mengen können aus bauwerksspezifischen Kennzahlen abgeschätzt werden. Diese geben das Baustoffvolumen bzw. die -masse bezogen auf eine funktionale Einheit an. Für Verkehrsbauwerke wie Straßen und Bahntrassen sind die Länge und der jeweilige Querschnitt die Bezugsgrößen. Für Brücken kann die Stützweite als Bezug dienen. Für raumschließende Bauwerke werden der Brutto-rauminhalt (BRI) oder der umbaute Raum (UR) als Bezugsgrößen verwendet. Der Brutto-rauminhalt ist der Rauminhalt von Baukörpern, der von unten von der Unterfläche der konstruktiven Bauwerkssohle und im Übrigen von den äußeren Begrenzungsflächen des Bauwerks umschlossen wird. Er ist nach den in der DIN 277 zusammengestellten Rechenregeln zu ermitteln [2]. In den umbauten Raum (UR) gehen zusätzlich zum BRI Zuschläge z.B. für Kriechkeller, Luftgeschosse, für Fundamente, für außergewöhnliche Einbauten usw. ein (vgl. TV Abbrucharbeiten [3]). Die Unterschiede zwischen beiden Bezugsgrößen sind meist gering. Ein Beispiel ist im Bild 2- 4 dargestellt.



Querschnittfläche = $12,8 \times [(16,5 + 2,45) + (21,75 - 16,5)/2] \text{ m}^2 = 276,16 \text{ m}^2$
 Bruttorauminhalt BRI = $276,16 \text{ m}^2 \times 22,75 \text{ m} = 6279 \text{ m}^3$

Zuschläge umbauter Raum (UR)

Fundamente = $(12,8 \times 22,75 \times 1) \text{ m}^3 = 292 \text{ m}^3$

Schornsteinköpfe = $4 \times (1,1 \times 0,9 \times 0,5) \text{ m}^3 + 3 \times (1,1 \times 0,9 \times 1,4) \text{ m}^3 = 6,14 \text{ m}^3$

Bild 2- 4: Beispiel für die Berechnung des Bruttorauminhalts eines Gebäudes und Zuschläge für den umbauten Raum

Abfallwirtschaftlichen Kennzahlen

Für eine summarische Betrachtung des gesamten Bauabfallaufkommens eines Landes oder einer Planungsregion werden abfallwirtschaftliche Kennzahlen benötigt. Sie geben das Bauschutttaufkommen als absolute, jährlich anfallende Menge oder als spezifische, einwohner- oder flächenbezogene Kennzahl an. Mit solchen Kennzahlen können Aussagen zur möglichen Ressourcenschonung bei der Verwertung, zur möglichen Reduzierung des Abfallaufkommens oder zu den insgesamt benötigten Kapazitäten für die Aufbereitung oder die Ablagerung gemacht werden: Sie dienen letztendlich dazu, Maßnahmen zur Steuerung der Abfallströme auszuwählen.

Abfallarten

Die Ermittlung und Verwendung der bauwerksspezifischen ebenso wie der abfallwirtschaftlichen Kennzahlen setzt eine Klassifizierung der Abfälle voraus, um eine definierte Basis zu haben. Das ist erforderlich, um vergleichende Betrachtungen zum Abfallaufkommen anzustellen oder um Entsorgungsmöglichkeiten für bestimmte Ar-

ten von Bauabfällen zu planen. Diese Einteilung in Klassen, die anhand des Europäische Abfallverzeichnisses [4] vorgenommen wird, ist auch für die Bilanzierung und den Nachweis der erreichten Recyclingquoten erforderlich.

2.1 Klassifizierung von Bauabfällen

Das Europäische Abfallverzeichnis (EAV) dient der Systematisierung der im Zuge von Produktionsprozessen oder am Ende einer Produktnutzung entstehenden Abfälle. Den Abfallarten werden sechsstellige Zifferncodes mit drei Gliederungsebenen zugeordnet (Bild 2- 5). Die beiden ersten Ziffern stehen für das Kapitel, welches die Herkunft und den Entstehungsprozess berücksichtigt. Die beiden Mittleren stehen für die Untergruppe, die in der Regel eine bestimmte Stoffgruppe repräsentiert. Die beiden letzten Ziffern sind fortlaufend.

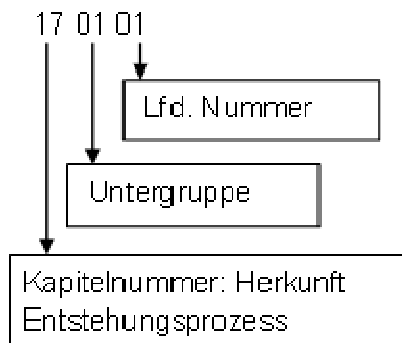


Bild 2- 5: Zifferncodes des Europäischen Abfallverzeichnisses

Insgesamt umfasst das Europäische Abfallverzeichnis 839 Abfallarten, die in 20 Kapitel eingeordnet sind. Davon sind 405 Abfallarten als gefährlich eingestuft. Sie sind mit einem Stern (*) hinter der Abfallschlüsselnummer gekennzeichnet. Daneben enthält das Verzeichnis 172 sogenannte Spiegeleinträge. Das bedeutet, dass eine ursprünglich ungefährliche Abfallart ein zweites Mal aufgeführt wird, wenn sie gefährliche Inhaltsstoffe enthält. Das Europäische Abfallverzeichnis nennt 14 Gefährlichkeitskriterien, die von explosionsgefährlich bis ökotoxisch reichen.

Bauabfälle sind alle im Zusammenhang mit der Errichtung, dem Umbau bzw. der Renovierung und dem Abbruch von Bauwerken entstehenden Abfälle. Sie sind im Kapitel 17 des Europäischen Abfallverzeichnisses erfasst. Insgesamt enthält dieses Kapitel 38 Abfallarten. Davon sind 10 Spiegeleinträge. Somit sind 28 Abfallarten berücksichtigt.

Bauabfälle werden in die herkunftsbezogenen Gruppen Bodenaushub, Straßenaufbruch, Bauschutt, Bauabfälle auf Gipsbasis sowie Baustellenabfälle eingeteilt. Bodenaushub fällt bei der Errichtung von Hochbauten und bei der Erneuerung oder Neuerrichtung von Straßen- und Tiefbauten an. Straßenaufbruch stammt aus Straßen und Verkehrsflächen. Bauschutt hat seinen Ursprung im Abbruch von Hoch- und Tiefbauten sowie von Ingenieurbauwerken. Gemische aus verschiedenen Bauabfallarten können beim Abbruch von Hochbauten entstehen, wenn keine ausreichende Stofftrennung vorgenommen wird. Typischerweise fallen diese Gemische aber bei dem Ausbau oder der Gebäudesanierung als Baustellenabfälle an. In

Tabelle 2- 1 sind die Bauabfallarten, wie sie im Europäischen Abfallverzeichnisses definiert sind, den herkunftsbezogenen Bauabfallgruppen zugeordnet. Bereits daraus geht hervor, dass sich die Gruppen in der Anzahl der darin erfassten Materialarten und damit in ihrer Heterogenität unterscheiden. Straßenaufbruch ist vergleichsweise homogen, während gemischte Bau- und Abbruchabfälle sehr viele unterschiedliche

Materialarten enthalten. Bauschutt aus dem Hochbau nimmt eine Zwischenstellung ein.

Tabelle 2- 1: Zusammenfassung der nach dem Europäischen Abfallverzeichnis klassifizierten Bauabfallarten in herkunftsbezogene Gruppen

Herkunft	EAV-Nummer	Bestandteile
Bodenaushub	17 05 04	Boden und Steine ohne gefährliche Stoffe
	17 05 06	Baggergut ohne gefährliche Stoffe
	17 05 08	Gleisschotter ohne gefährliche Stoffe
Straßenaufbruch	17 03 02	Bitumengemische ohne gefährliche Stoffe
Bauschutt	17 01 01	Beton
	17 01 02	Ziegel
	17 01 03	Fliesen, Ziegel und Keramik
	17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik ohne gefährliche Stoffe
Baustellenabfälle	17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik ohne gefährliche Stoffe
	17 02 01	Holz
	17 02 02	Glas
	17 02 03	Kunststoff
	17 04 01 - 1704 11 außer 17 04 09, 17 04 10	Metalle (einschließlich Legierungen) außer solchen, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind und außer Kabeln, die Öl, Kohlen- teer oder andere gefährliche Stoffe enthalten
	17 06 04	Dämmmaterial mit Ausnahme desjenigen, das gefährliche Stoffe oder Asbest enthält
	17 08 02	Baustoffe auf Gipsbasis mit Ausnahme derjenigen, die gefährliche Stoffe enthalten
	17 09 04	Gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die gefährliche Stoffe enthalten
Bauabfälle auf Gipsbasis	17 08 02	Bauabfälle auf Gipsbasis ohne gefährliche Stoffe

Die Handhabung der Abfallschlüsselnummern ist anhand eines Durchschnittsgebäudes, dessen Zusammensetzung auf Modellrechnungen basiert [5], in Bild 2- 6 dargestellt. Allen verwendeten Baustoffarten des Durchschnittsgebäudes können Abfallschlüsselnummern zugeordnet werden. Im Hinblick auf den Massenanteil dominieren die Materialarten Beton und Ziegel einschließlich der Putze, die in die Untergruppe 17 01 gehören. Von der Anzahl der Stoffarten her steht die Untergruppe 17 02 „Holz, Glas und Kunststoff“ an erster Stelle. Der Anteil der verschiedenen Stoffe in dieser Gruppe bewegt sich zwischen minimal 0,003 M.-% für PVC-Dichtungsbahnen bis maximal 3 M.-% für unbehandeltes Holz.

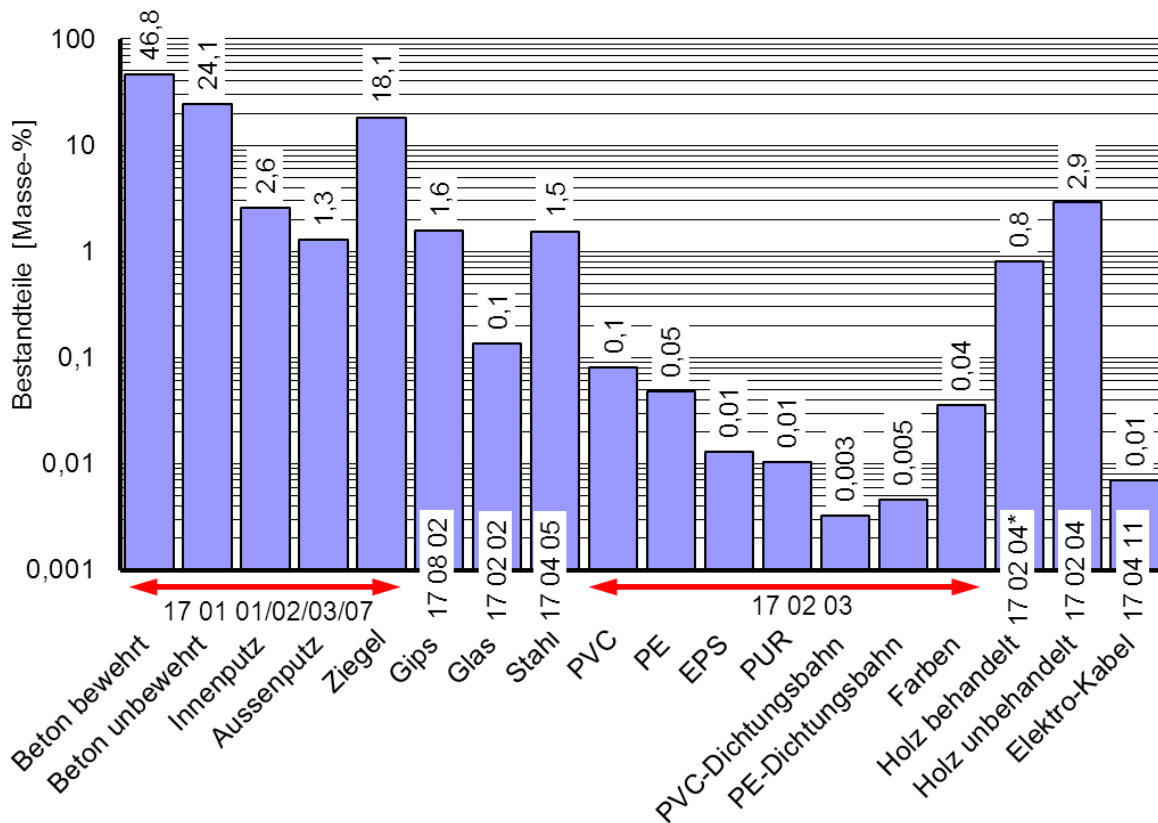


Bild 2- 6: Materialarten und deren Zuordnung zu Abfallschlüsselnummern am Beispiel eines hypothetischen Durchschnittsgebäudes

Aus Bild 2- 6 kann entnommen werden, dass sich die Masseanteile der verwendeten Baustoffarten um Zehnerpotenzen voneinander unterscheiden. Folgende Abstufungen lassen sich feststellen:

- Baustoffe mit Anteilen von 10 bis 100 Masse-%: Beton, Ziegel einschließlich anderer mineralischer Wandbaustoffe
- Baustoffe mit Anteilen von 1 bis 10 Masse-%: Gips, Holz und Stahl
- Baustoffe mit Anteilen von 0,1 bis 1 Masse-%: Glas, PVC
- Baustoffe mit Anteilen von < 0,1 Masse-%: Kunststoffe, Farben, Elektrokabel.

Die Klassifizierung der Bauabfälle nach Arten ist eine der notwendigen Voraussetzungen für das Stoffstrommanagement. Der Abfallstrom wird damit strukturiert. Die Teilströme werden einheitlich bezeichnet. Diese Bezeichnungen finden sich beispielsweise in den Annahmekatalogen von Recyclingunternehmen wieder. Die Strukturierung bildet aber auch die Grundlage für die nationalen und Europäischen Bauabfallstatistiken. Sie sind die Voraussetzung, um zu einer Vergleichbarkeit zu kommen und um Recyclingquoten berechnen zu können.

2.3 Bauwerksspezifische Kennzahlen

2.3.1 Abfallmengen und –arten bei der Errichtung von Bauwerken

Bei der Errichtung von Bauwerken entsteht zunächst in der Regel Bodenaushub. Anschließend fallen Baustellenabfälle an. Sie bestehen aus Verschnittabfällen, nicht verbrauchten Restmengen, Hilfsmaterialien, verschmutzten Verpackungen, die nicht

zurückgegeben werden können, und weiteren Bestandteilen. Bei einer Modernisierung kommt Abbruchmaterial und demontierte Gebäudetechnik dazu.

Die Menge der Baustellenabfälle, die bei Hochbauvorhaben entstehen, hängt von folgenden Einflussfaktoren ab:

- Gebäudegröße
- Art des Bauwerks, wie Wohngebäude, Bürogebäude, Gebäude mit gewerblicher oder industrieller Nutzung
- Bauweise, wie Massivbau, Skelettbau oder Fertigbau

Die deutlichste Abhängigkeit besteht von der Gebäudegröße, die anhand von Literaturangaben im Bild 2- 7 dargestellt ist. Insgesamt bewegen sich die spezifischen Volumina zwischen 0,03 und 0,05 m³/m³ BRI, wobei für kleinere Gebäude die geringeren spezifischen Werte gelten. Die angegebene Näherungsbeziehung kann eine Orientierung für die entstehenden Abfallvolumina geben. Allerdings können Abweichungen von etwa ± 50 % auftreten.

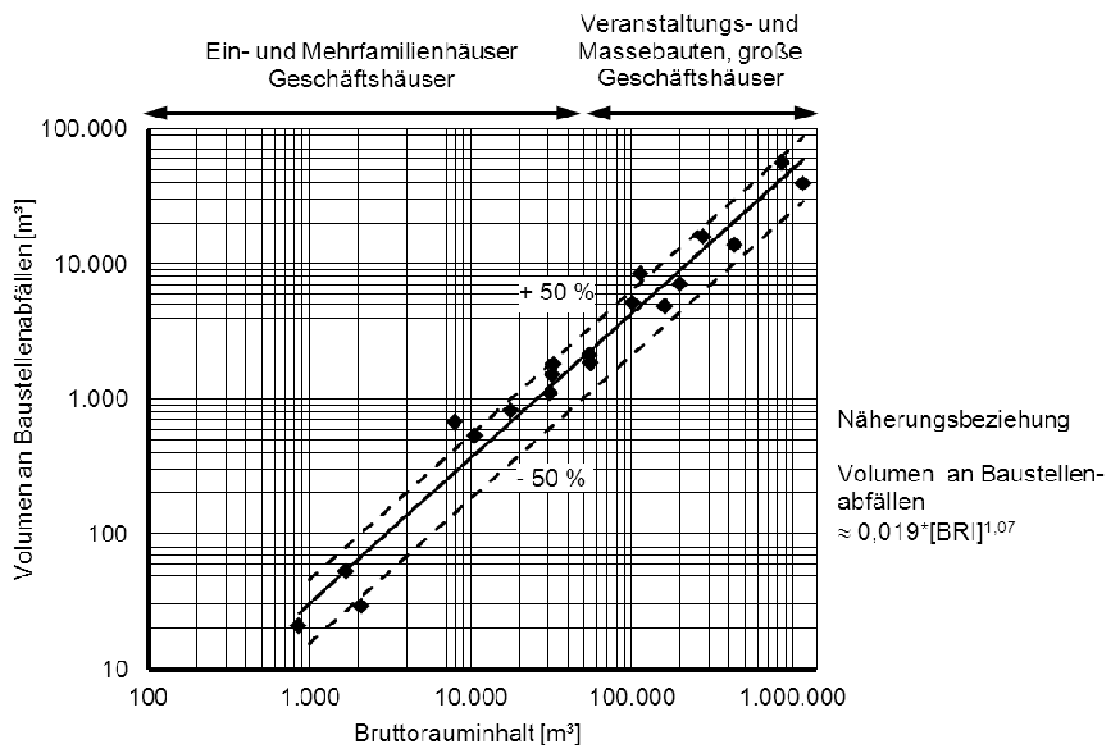


Bild 2- 7: Abhängigkeit der bei der Errichtung von Gebäuden entstehenden Volumina an Baustellenabfällen von der Bauwerksgröße (Daten aus [6])

Baustellenabfälle fallen während des gesamten Bauablaufs an. In der Rohbauphase entstehen ca. 25 %, beim Ausbau 75 % der Gesamtmenge [7]. Sie setzen sich aus folgenden Stoffgruppen zusammen:

- Mineralische Bestandteile: Beton, Ziegel, Kalksandstein, Mörtel, Naturstein, Steinzeug
- Metalle: Bewehrungsreste, Installationsmaterial von Heizung, Sanitär, Dachentwässerung, Elektroinstallationen
- Holz: Schalholz, Kantholz, Paletten, Leimhölzer, Spanplatten
- Papier und Pappe
- Kunststoffe

Die massebezogenen Anteile der Stoffgruppen sind im Bild 2- 8 dargestellt. Die mineralischen Bestandteile dominieren, gefolgt von Kleinmengen unterschiedlichster Art, die als Sonstiges zusammengefasst sind. Es schließen sich Holz sowie Papier, Pappe und Kartonagen an. Metalle und Kunststoffe sind etwa zu gleichen Massenanteilen vorhanden. Die Schwankungsbreiten, die aus den angegebenen Standardabweichungen abgelesen werden können, sind erheblich.

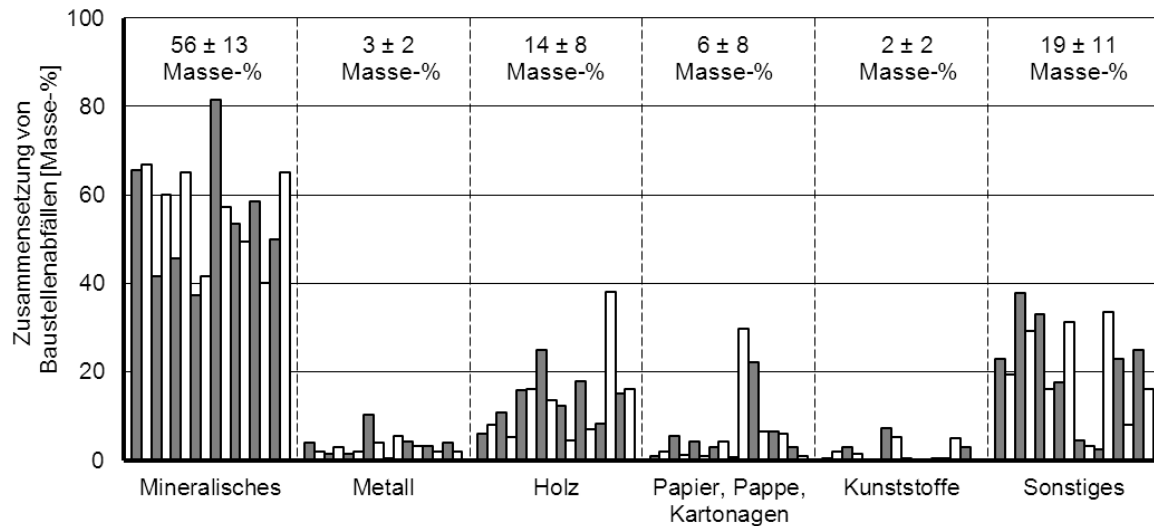


Bild 2- 8: Zusammensetzung von Baustellenabfällen (Daten aus [8])

Eine Getrennthaltung der Baustellenabfälle ist aus Kostengründen immer geboten. Sie kann der im Bild 2- 8 angegebenen Einteilung folgen. Zusätzlich sollten anfallende Verschnittabfälle von Gipskartonplatten oder ausgebaute Gipskartonplatten separiert werden, um die Verwertung oder die Beseitigung nicht zu erschweren.

Die für die unterschiedlichen Bestandteile benötigten Kapazitäten für die Zwischenlagerung oder den Transport können mit Hilfe der Schüttdichten, die durch das Auswägen von gefüllten Bauschuttcontainern ermittelt wurden [6], errechnet werden (Tabelle 2- 2). Ein Rechenbeispiel für die Umrechnung der mittleren Zusammensetzung von Masse-% in Volumen-% ist in

Tabelle 2- 3 angegeben. Danach sind zunächst die Volumina der Bestandteile pro 100 t Baustellenabfälle zu berechnen und anschließend auf die Summe der Einzelmolumina zu beziehen. Die Gegenüberstellung der Masse- und der Volumenzusammensetzung zeigt Bild 2- 9.

Tabelle 2- 2: Schüttdichten für in Containern gesammelte Baustellenabfälle [6]

	Schüttdichte [t/m ³]		Schüttdichte [t/m ³]
Bauschutt	1,142	Metalle	0,208
Holz, behandelt	0,205	Mineralfasern	0,090
Holz, unbehandelt	0,130	Gips	0,257
Pappe, Papier	0,088	Baumischabfall, Rohbau	0,730
Folie	0,070	Baumischabfall, Ausbau	0,185
Dachpappe	0,374		

Tabelle 2- 3: Beispiel für die Umrechnung einer Massezusammensetzung in eine Volumenzusammensetzung

	Anteile [Masse-%]	Dichte [t/m ³]	Volumen der Bestandteile [m ³ /100 t Gesamtmaterial]	Anteile [Volumen-%]
Mineralisches	56	1,142	$= 56/1,142$ $= 49,0$	$= 100 \cdot 49,0/283,9$ $= 17$
Metall	3	0,208	16,6	6
Holz	14	0,168	83,3	29
Papier, Pappe, Kartonagen	6	0,088	68,2	24
Kunststoffe (Folien)	2	0,07	25,3	9
Sonstiges	19	0,458	41,5	15
Summe	100		283,9	100

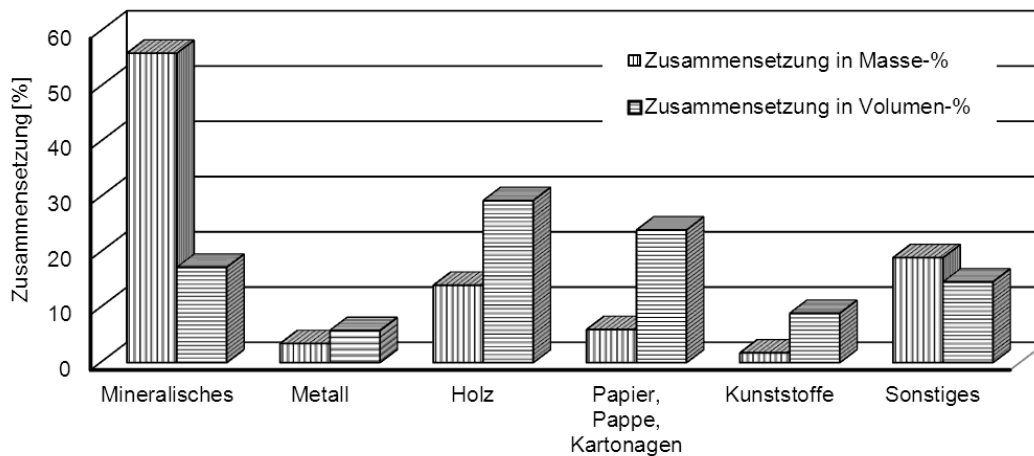


Bild 2- 9: Gegenüberstellung der Masse- und Volumenzusammensetzung von Baustellenabfällen

Die leichteren Bestandteile bestimmen das Aussehen von Baustellenabfällen. Besonders Holz und Papier dominieren im Volumen. Obwohl der Masseanteil an mineralischen Bauschutt mehr als die Hälfte beträgt, ist das für die Zwischenlagerung oder den Transport der mineralischen Bestandteile benötigte Volumen weniger als ein Viertel des insgesamt benötigten Volumens.

2.3.2 Abfallmengen und -arten aus dem Abbruch und Rückbau

Die durch den Abbruch oder Rückbau gewonnenen Ausgangsmaterialien für die Herstellung von RC-Baustoffen stammen aus unterschiedlichsten Bauwerken - von Geschossbauten, die als Wohngebäude genutzt werden, über solche für Verwaltungen, Handelseinrichtungen, Hotels oder Sozialeinrichtungen bis zu Flachbauten, Hallen für Industrie oder Landwirtschaft, Ingenieurbauwerken, Straßen, Verkehrsflächen, Schienenverkehrswegen, Wasserstraßen, Versorgungsbauwerken etc.

Werden die Bauwerke unter dem Aspekt des Baustofflieferanten betrachtet, sind besonders ihr Mengenpotential und ihre Zusammensetzung von Interesse. Die Materialmenge ist in erster Linie von der Bauwerksgröße und von der Art des Bauwerks abhängig. Die Zusammensetzung hängt zusätzlich vom Alter des Bauwerks ab. Im

Allgemeines ist die Materialvielfalt in Hochbauten größer als die in Ingenieurbauwerken oder Tiefbauten. Gebäude mit hohem Ausbaugrad wie Wohngebäude, Verwaltungsgebäude, Anstaltsgebäude oder Hotels weisen eine größere Materialvielfalt auf als solche mit geringerem Ausbaugrad wie Handels- und Lagergebäude, Fabrik- und Werkstatt- oder Landwirtschaftsgebäude. Die Anzahl der Materialarten ist bei jüngeren Bauwerken größer als bei älteren, vorausgesetzt diese haben wenig Umbauten erfahren.

Die Materialmengen, die beim Abbruch von Bauwerken entstehen, können auf der Grundlage einer Bauwerksaufnahme berechnet oder anhand von bauwerksspezifischen Kennzahlen abgeschätzt werden. Für raumumschließende Bauwerke besteht ein Zusammenhang zwischen dem entstehenden Volumen an Abbruchmaterial und der Bauwerksgröße. Wird das Bauwerk vereinfachend als Würfel betrachtet, nimmt die „spezifische Oberfläche“ - also das Verhältnis aus Würfeloberfläche zu Würfelvolumen - mit abnehmender Würfelgröße zu. Es gilt folgende umgekehrte Proportionalität:

$$\text{Spezifisches Baustoffvolumen} \sim \frac{1}{[\text{Volumen Bauwerk}]^{0,33}}$$

mit

spezifisches Baustoffvolumen in m³/m³
 Volumen Bauwerk in m³

Die in einer bestimmten Wandstärke ausgeführte Würfeloberfläche kann als das beim Abbruch entstehende Material aufgefasst werden. Wird zusätzlich die Anzahl der Innenwände als Variable eingeführt, kann auch die Kompaktheit des Bauwerks, wie im Bild 2- 10 dargestellt, vereinfacht erfasst werden.

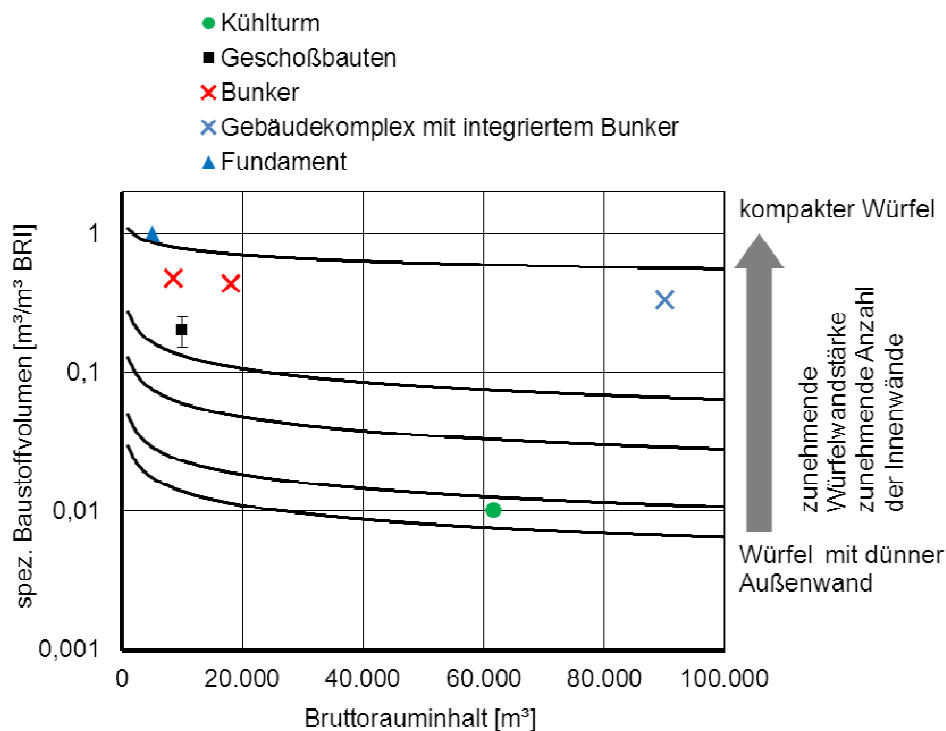


Bild 2- 10: Einfluss der Bauwerksgröße auf das Baustoffvolumen mit verschiedenen Beispielen (nach [8], ergänzt um [9])

Sehr dünnwandige Konstruktionen wie beispielsweise Kühltürme ergeben sehr geringe spezifische Baustoffvolumina. Sehr massive Bauwerke wie beispielsweise Bunker sind dagegen durch spezifische Baustoffvolumina um $0,5 \text{ m}^3 \text{ Baustoff/m}^3 \text{ BRI}$ gekennzeichnet. Das Extrem sind kompakte, hohlraumfreie Bauwerke wie Fundamente mit $1 \text{ m}^3 \text{ Baustoff/m}^3 \text{ BRI}$.

Der Einfluss der Bauwerksgröße auf die entstehenden Bauabfallmengen nach einer hyperbolischen Funktion kann auch an den von realen Bauwerken stammenden Daten abgelesen werden (Bild 2- 11). Sie beziehen sich auf den Abbruch von Wohngebäuden und einigen, wenigen sonstigen Bauwerken in Massivbauweise bzw. anderen Bauweisen sowie auf den Abbruch von Industriebauten. Allerdings treten erhebliche Streuungen auf. Die Hilfslinien markieren eine Schwankungsbreite von $\pm 50\%$.

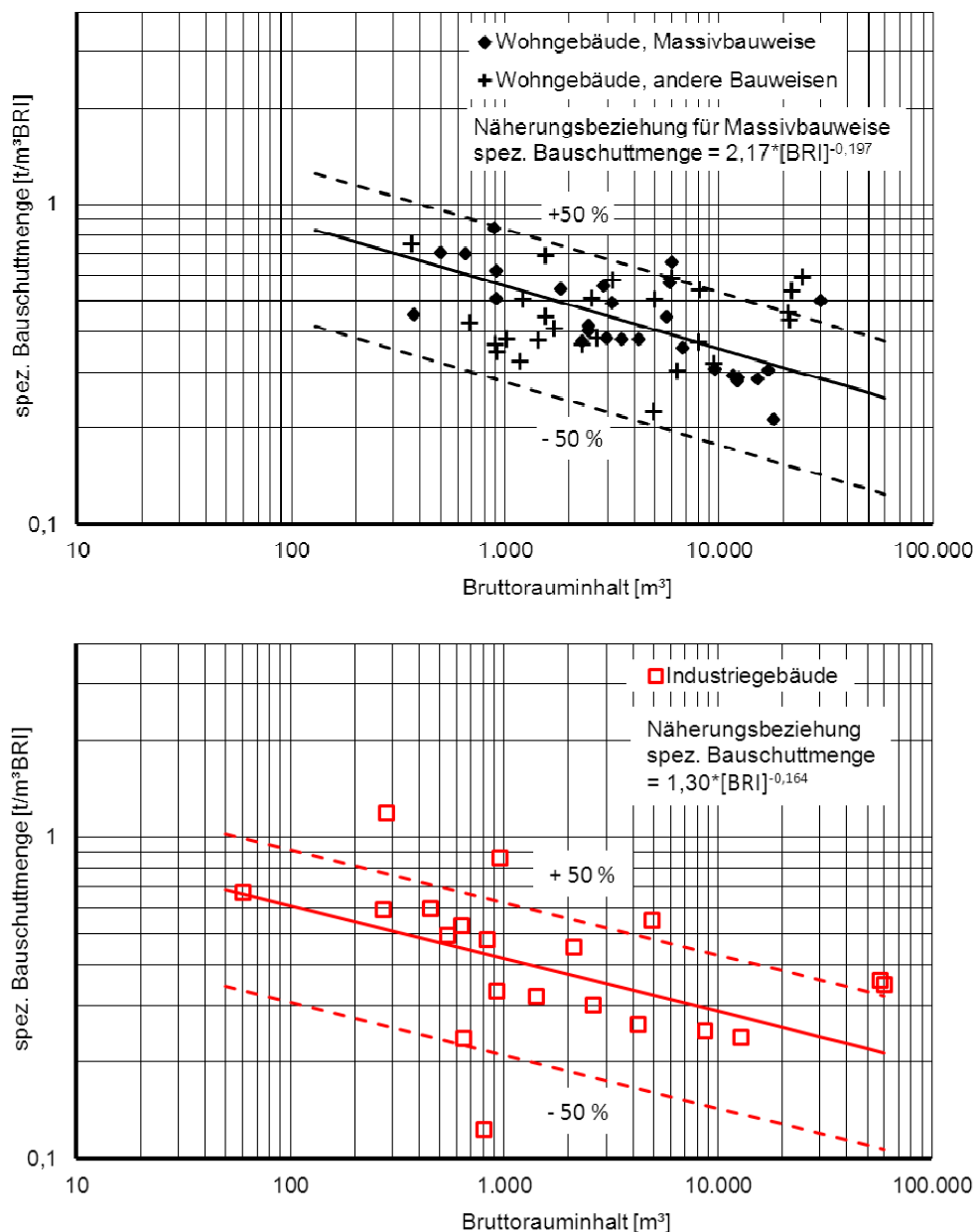


Bild 2- 11: Abhängigkeit der spezifischen Bauschuttmenge von der Bauwerksgröße für Wohngebäude bzw. Industriegebäude in beliebiger Bauweise (Daten aus [8],[9])

Infolge der Streuungen kann es dazu kommen, dass die spezifischen Bauschutt-mengen sehr großer Gebäude entgegen der theoretisch begründeten Tendenz über der von Einfamilienhäusern liegen. Vereinfachend können zwei Bereiche unterschieden werden: Bis zu einem Bruttorauminhalt von 6.000 m³ sollte die Abhängigkeit der Bauschuttmenge vom Bruttorauminhalt berücksichtigt werden. Ab einem Bruttorauminhalt von 6.000 m³ kann von einer mittleren, BRI-unabhängigen Bauschuttmenge von 0,4 t/m³ für Wohngebäude und 0,3 t/m³ für Industriegebäude ausgegangen werden.

Neben der Bauwerksgröße beeinflusst auch die Bauweise die entstehende Abfallmenge (Bild 2- 12). Massivbauten aus Beton weisen die höchste, Stahl-Fachwerk-Bauten die geringste „Materialintensität“ auf.

Für die Entsorgungsplanung ist zusätzlich zu der Baustoffmasse auch die Zusammensetzung der Bauabfälle von Interesse. Richtwerte für den Baustoffbestand in Gebäuden sind in Tabelle 2- 4 zusammengestellt.

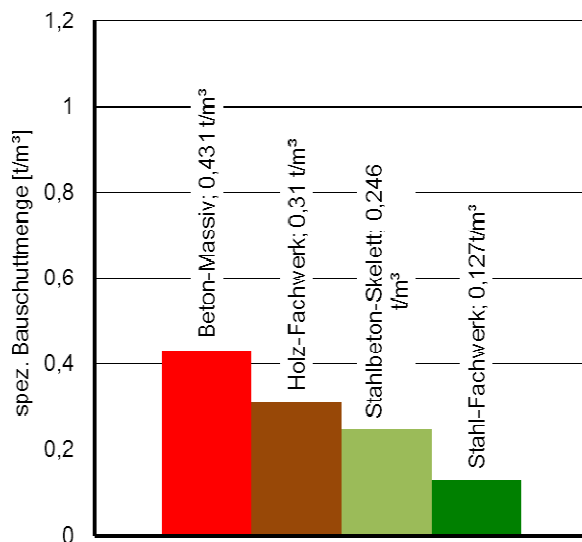


Bild 2- 12: Abhängigkeit der spezifischen Bauschuttmenge von der Baukonstruktion [10]

Tabelle 2- 4: Richtwerte für die Materialzusammensetzung von Gebäuden in Abhängigkeit von Altersklasse und Bauweise [10],[11]

	Beton	Mauerwerk	Holz	Metalle	Restabfall	Sonstiges	Summe
	[Masse-%]						
Massivbau vor 1918	35,0	59,9	2,2	2,0	0,6	0,3	100
Massivbau 1918-1948	32,1	62,0	2,5	1,7	1,1	0,6	100
Massivbau ab 1949	36,8	55,4	2,2	0,8	4,0	0,8	100
Ein- und Mehrfamilienhäuser 1978-1999	57,0	34,9	3,5	1,9	2,7	0,0	100
Beton-Massivbau	85,6	11,6	0,5	1,4	0,5	0,5	100
Holz-Fachwerkhaus	11,6	76,8	9,0	1,0	1,3	0,3	100
Stahlbeton-Skelettbau	93,5	2,4	1,6	0,8	0,8	0,8	100
Stahl-Fachwerk-Gebäude	60,6	18,1	7,1	12,6	0,8	0,8	100

In Abhängigkeit vom Bauwerkalter kann eine Verschiebung vom Mauerwerk zum Beton verzeichnet werden. Bis etwa 1970 überwog Mauerwerk mit einem Anteil von ca. 60 %. Beton hatte einen Anteil von ca. 30 %. Danach wird Beton mit ca. 60 % dominierend, während Mauerwerk mit einem Anteil von ca. 30 % vertreten ist. Bei allen Baukonstruktionen überwiegen die mineralischen Baustoffe. Auch bei Fachwerkbauten bleiben die Anteile an Holz bzw. Stahl unter 10 %.

Anhand der bauwerksspezifischen Kennzahlen kann die Menge an Bauschutt, die auf der Abbruchbaustelle anfällt, abgeschätzt werden. In Tabelle 2- 5 sind beispielhaft die entstehenden Abfallmengen für einen Garagenabbruch und den Abbruch eines großen Wohngebäudes gegenübergestellt. Darauf aufbauend können z.B. eine Planung der benötigten Transportkapazitäten oder eine Entscheidung, ob eine Vor-Ort-Aufbereitung vorgenommen werden soll, vorgenommen werden.

Tabelle 2- 5: Beispiel für die Abschätzung der Bauabfallmenge anhand der bauwerksspezifischen Kennzahlen

	Garage	Wohngebäude
Bruttorauminhalt [m ³]	60	10.000
Bauwerksspezifische Kennzahl, aus Bild 2- 11 [t/m ³ BRI]	0,7	0,35
Bauabfallmasse [t]	42	3500
Bauabfallvolumen, Schüttdichte nach Tabelle 2- 2 [m ³]	37	3070

2.4 Abfallwirtschaftliche Kennzahlen

Abfallwirtschaftliche Kennzahlen geben die absolute bzw. die pro Einwohner entstehende, jährliche Abfallmenge an. Sie basieren in der Regel auf Abfallstatistiken. Durch den Bezug auf die Einwohnerzahl werden Vergleiche zwischen verschiedenen Regionen möglich. Eventuell auftretende Abweichungen lassen sich erkennen.

Die in Deutschland anfallenden Abfallmengen werden vom Statistischen Bundesamt als Zeitreihen dokumentiert. Dem Überblick im Bild 2- 13 ist zu entnehmen, dass Bau- und Abbruchabfälle mehr als die Hälfte des gesamten Abfallaufkommens ausmachen. Der Anteil der Abfälle aus den anderen Herkunftsbereichen bewegt sich zwischen 9 und 12 %.

Die Bau- und Abbruchabfälle bestehen zu 59 % aus Boden, Steinen und Baggergut und zu 41 % aus unmittelbaren Bau- und Abbruchabfällen, die hauptsächlich aus Bauschutt und Straßenaufbruch bestehen. Auch im direkten Vergleich mit den Abfällen aus den anderen Herkunftsbereichen bleiben die unmittelbaren Bau- und Abbruchabfälle mit einem durchschnittlichen Aufkommen von 81 Mio. t/a für die Jahre 1999 bis 2010 bzw. einem Anteil von 23 %, dominierend.

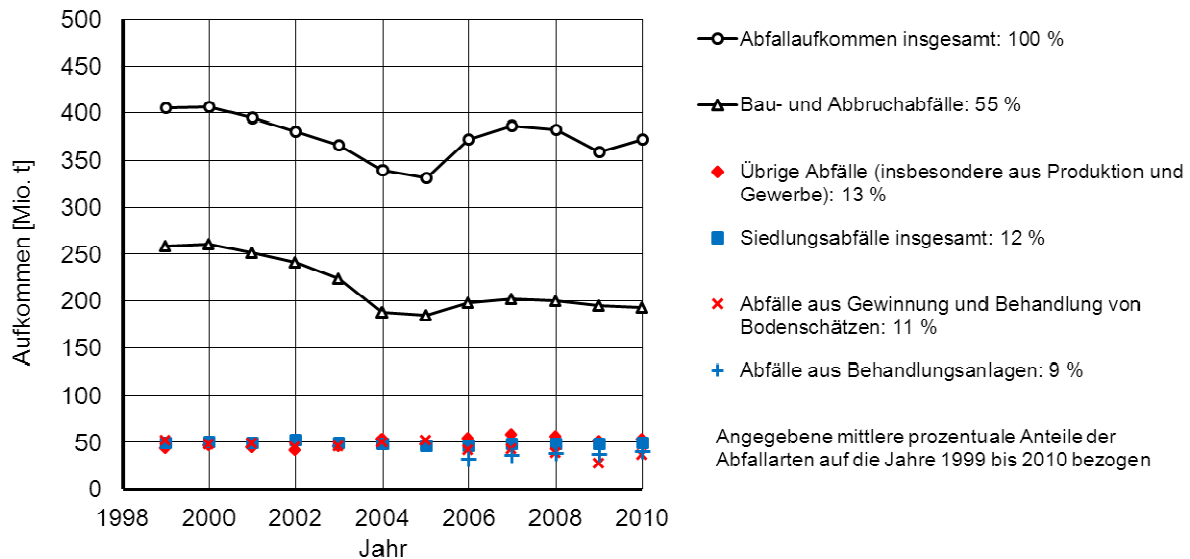


Bild 2- 13: Zeitreihe zum Abfallaufkommen in Deutschland, untergliedert nach Abfallarten [12],[13]

Eine differenziertere Bilanzierung der Bauabfallströme wird von der Bau- und Recyclingwirtschaft vorgenommen. Sie ist in Tabelle 2- 6 dargestellt und beinhaltet das herkunftsbezogene Aufkommen an Bauabfällen, den Verbleib nach Einsatzgebieten sowie das Sekundärrohstoffpotential von Recycling-Baustoffen durch die Gegenüberstellung mit dem Verbrauch an Primärrohstoffen.

Die Menge an Bauabfällen bewegt sich zwischen 72,4 und 88,6 Mio. t. Es treten gewisse Schwankungen auf, die konjunkturell bedingt sein können. Bei den Einsatzgebieten dominiert der Straßenbau, gefolgt von Erdbau. Der Wiedereinsatz von zu rezyklierten Gesteinskörnungen aufbereitetem Altbeton spielt bisher noch keine große Rolle.

Tabelle 2- 6: Aufkommen an Bauabfällen, Einsatzgebiete und in der Bauindustrie verbrauchte Mengen an mineralischen Rohstoffen nach Angaben der Bau- und Recyclingwirtschaft [14],[15]

	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Aufkommen [Mio. t]								
Boden, Steine und Baggergut	136,8	128	163,6	140,9	128,3	106	107,3	105,7
Bauschutt	58,1	58,5	54,5	52,1	50,5	57,1	58,2	53,1
Straßenaufbruch	17,6	14,6	22,3	16,6	19,7	14,3	13,6	14,1
Gemischte Bau- und Abbruchabfälle (1996 inkl. Abbruchholz, ab 2004 exkl. Gipsabfälle)	7,5	4,0	11,8	4,3	1,9	10,9	12,4	13,0
Gipsabfälle					0,3	0,4	0,5	0,6
Gesamt ohne Boden, Steine und Baggergut	83,2	77,1	88,6	73,0	72,4	82,7	84,7	80,8
Gesamt mit Boden, Steine und Baggergut	220,0	205,1	252,2	213,9	200,7	188,7	192,0	186,5
Verbleib [Mio. t]								
Straßenbau	38,2	40,4	42,5	35,5	32,9	37,4	32,8	30,2
Erdbau	13,4	11,8	11,9	9,9	12,3	12,2	15,4	9,7
Beton1	1,6	0	1,9	0,8	2,4	1,1	0,8	11,0
Sonstiges	5,3	3,0	5,1	4,9	2,0	4,7	8,7	4,5

Gesamt	58,5	55,2	61,4	51,1	49,6	55,4	57,7	55,4
RC-Baustoffe aus Boden und Steinen						8,2	8,9	9,8
Mengen an mineralischen Gesteinskörnungen [Mio. t]								
Industrielle Nebenprodukte			30,0	30,0	30,0	17,3	36,3	31,5
RC-Baustoffe excl. Boden etc.			61,4	51,1	49,6			
RC-Baustoffe incl. Boden etc.						63,6	66,6	65,2
Kiese und Sande			343,0	303,5	278,9	277,2	260,0	239,0
Naturstein			210,0	201,6	190,0	187,3	218,0	208,0
Gesamt			644,4	586,2	548,5	545,4	580,9	543,7
Anteile [%]								
Industrielle Nebenprodukte			4,7	5,1	5,5	3,2	6,2	5,8
RC-Baustoffe excl. Bodenaushub			9,5	8,7	9,0			
RC-Baustoffe incl. Bodenaushub						11,7	11,5	12,0
Kiese und Sande			53,2	51,8	50,8	50,8	44,8	44,0
Naturstein			32,6	34,4	34,6	34,3	37,5	38,2
Gesamt			100	100	100	100	100	100

¹: Für 2010 ist der Verbleib im Beton und Asphalt als Summe angegeben.

Werden die aufbereiteten und verwerteten Bauabfälle den im Bauwesen verbrauchten natürlichen Gesteinskörnungen gegenübergestellt, wird deutlich, dass die natürlichen, mineralischen Rohstoffe stark dominieren. Der Anteil an Recycling-Baustoffen betrug in dem betrachteten Zeitraum von 2000 bis 2008 etwa 10 %. Tendenzen sind nicht zu erkennen. Ab 2006 werden die aus Boden, Steinen und Baggergut gewonnenen Recycling-Baustoffe in die Bilanzierung einbezogen, was zu erhöhten Anteilen der Recycling-Baustoffe führt.

Anhand der Angaben in Tabelle 2- 6 lassen sich Recycling- und Substitutionsquoten nach den im Kapitel 1 angegebenen Gleichungen berechnen (Tabelle 2- 7). Die Quoten verändern sich über den betrachteten Zeitraum nur wenig. Eindeutige Entwicklungen sind daran nicht abzulesen.

Tabelle 2- 7: Recyclingquoten von Bauabfällen und Substitutionsquoten für den Ersatz von mineralischen Gesteinskörnungen durch Recycling-Baustoffe

	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Recyclingquote [%]								
excl. Bodenaushub	70,3	71,6	69,3	70,0	68,5	67,0	68,1	68,6
ab 2006 incl. Bodenaushub	70,3	71,6	69,3	70,0	68,5	70,0	71,2	72,0
Substitutionsquote [%]								
excl. Bodenaushub			11,1	10,1	10,6	11,9	12,1	12,4
ab 2006 incl. Bodenaushub			11,1	10,1	10,6	13,7	13,9	14,6

Die aus statistischen Erhebungen entnommenen Bauabfallmengen bilden die Grundlage für die Berechnung des einwohnerspezifischen Aufkommens als abfallwirtschaftlicher Kennzahl. In Deutschland bewegt sich diese Kennzahl für Bau- und Abbruchabfälle im Zeitraum von 1996 bis 2010 zwischen 2,29 und 3,06 t/Einwohner*Jahr. Ohne die Einbeziehung von Boden, Steinen und Baggergut beträgt das einwohnerspezifische Aufkommen als Summe von Bauschutt, Straßenaufbruch, gemischten Bau- und Abbruchabfällen und Gipsabfällen zwischen 0,88 und 1,08 t/Einwohner*Jahr. Dieser Wert kann dazu genutzt werden, um das in einem bestimm-

ten Gebiet zu erwartende Bauabfallaufkommen abzuschätzen und Entsorgungsmöglichkeiten zu planen. Als vereinfachtes Beispiel soll das erforderliche Einzugsgebiet für eine stationäre Recyclinganlage in zwei Regionen mit unterschiedlichen Bevölkerungsdichten berechnet werden. Ausgangspunkt ist das spezifische Bauabfallaufkommen für Deutschland von 0,9 t/Einwohner*Jahr. Als Bevölkerungsdichte werden beispielhaft Werte von 500 Einwohner/km² bzw. 50 Einwohner/km² angenommen. Diese Werte sind typisch für Städte bzw. ländliche Regionen. Wenn die Kapazität der Recyclinganlage 100.000 t/a betragen soll, ergeben sich die in Tabelle 2- 8 gegenübergestellten Flächen der Einzugsgebiete, aus welchen die maximalen Transportentfernungen für die Anlieferung berechnet werden können. Wenn angenommen wird, dass die Recyclinganlage an der Peripherie eines kreisrunden Einzugsgebietes liegt, ergibt sich im Fall der Anlage in der Region mit geringer Bevölkerungsdichte eine maximale Transportentfernungen von 53 km. Im Fall der Anlage in der Region mit höherer Bevölkerungsdichte beträgt die Transportentfernung 17 km. Sie liegt unter der für Massentransporte als wirtschaftlich angesehenen Grenze von 25 km [16] Eine Kapazitätsauslastung kann erwartet werden.

Tabelle 2- 8: Beispiel für die Kapazitätsplanung von Recyclinganlagen in Gebieten mit unterschiedlicher Bevölkerungsdichte

Bevölkerungsdichte [E/km ²]	500	50
Flächenbezogenes Aufkommen [t/km ²]	450	45
Einzugsgebiet [km ²]	222	2222
Geplante Anlagenkapazität [t/a]	100.000	
Maximale Transportentfernung [km]	17	53

Um das für Deutschland genannte spezifische Bauabfallaufkommen einordnen zu können, müssen Kennzahlen verfügbar sein, die auf den gleichen Definitionen für Bauabfälle beruhen und mit ähnlichen Erhebungsmethoden ermittelt werden. Das ist für die Bauabfallmengen in Europa zumindest teilweise gegeben. Die Mengen, die in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union entstehen, werden nach den in Tabelle 2- 1 genannten Abfallschlüsselnummern strukturiert und von der Statistikbehörde der Europäischen Union Eurostat zusammengestellt. Nach einer darauf aufbauenden Auswertung [17] bewegt sich das Pro-Kopf-Aufkommen für Bauabfälle in den Jahren 2001 bis 2006 zwischen 0,02 t/E*a und 1,78 t/E*a (Bild 2- 14).

Die große Spannweite wird zum einen durch die unterschiedliche Qualität der Datenerhebung verursacht. Zum anderen spielen die Dynamik der wirtschaftlichen Entwicklung, technische Aspekte wie die regional bevorzugten Materialarten und Konstruktionen oder das Alter und der Zustand des vorhandenen Bauwerksbestandes eine Rolle. Eine weitere Einflussgröße für das Bauschutttaufkommen dürfte die Bevölkerungsdichte sein. Aus Bild 2- 15 folgt, dass das Bauschutttaufkommen mit zunehmender Bevölkerungsdichte tendenziell zunimmt. Allerdings ist die Korrelation nur wenig ausgeprägt. Wenn die Werte unterhalb von 0,2 t/E*a ausgeklammert werden, scheint eine untere Grenze für das spezifische Bauschutttaufkommen zu existieren, die bei 0,36 t/E*a bei einer Bevölkerungsdichte von 100 E/km² liegt und auf 1,44 t/E*a bei 400 E/km² ansteigt. Allerdings gibt es auch Aufkommenswerte, die über dieser unteren Grenze liegen.

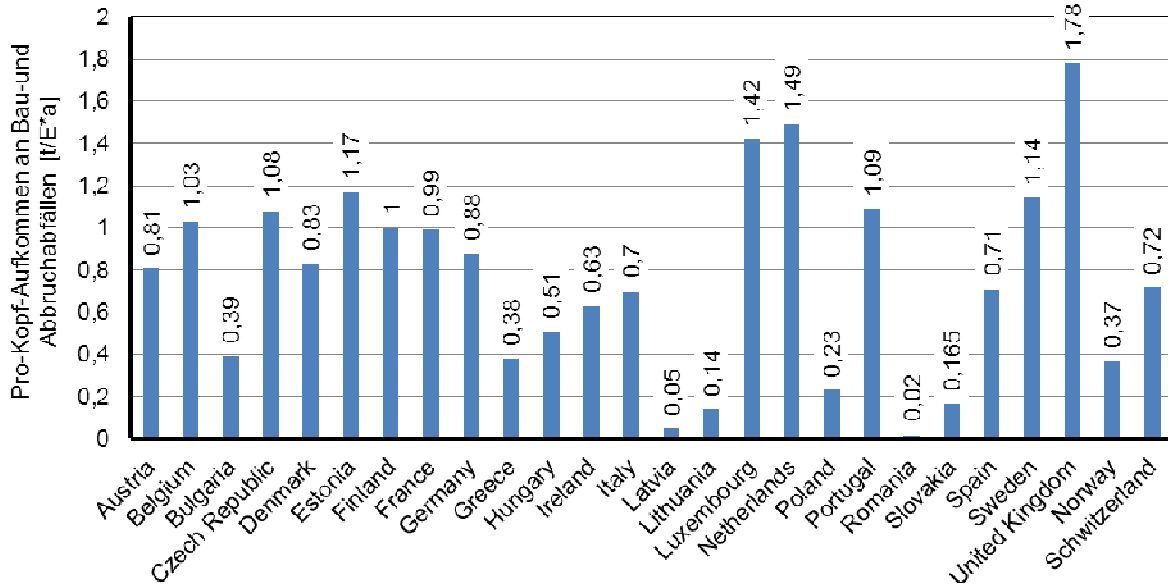


Bild 2- 14: Pro-Kopf-Aufkommen an Bau- und Abbruchabfällen in europäischen Ländern als Mittelwert der für die Jahre 2001 bis 2006 verfügbaren Daten
Anmerkung: Korrektur des Bodenaushubs in Anlehnung an [18]

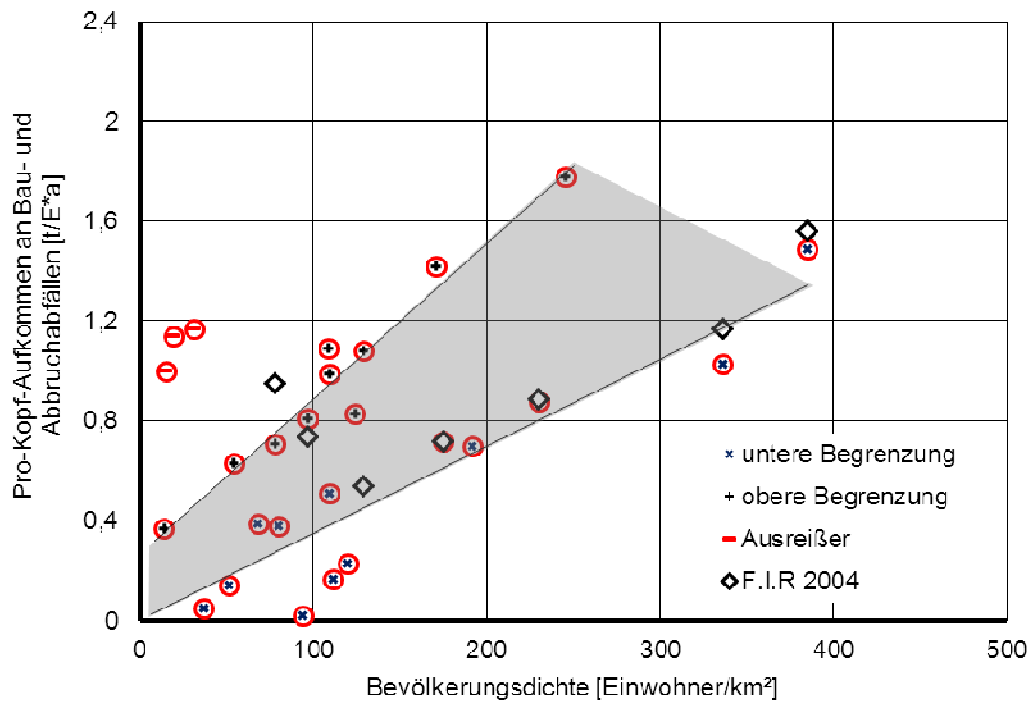


Bild 2- 15: Pro-Kopf-Aufkommen an Bau- und Abbruchabfällen in europäischen Ländern in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte
Anmerkung: Vergleichswerte der Fédération Internationale du Recyclage (F.I.R.) [19]

Alle dargestellten Werte bleiben unter 2 t/E*a. Werden höhere Werte angegeben oder ermittelt, sollte unbedingt die Plausibilität geprüft werden. Nur in Regionen mit extrem hoher Bevölkerungsdichte und hohem Entwicklungsniveau kann ein höheres spezifisches Aufkommen an Bauabfällen auftreten. Als Beispiel dafür können Städte wie Hong Kong genannt werden, deren spezifisches Bauschutttaufkommen bei 3,1 t/E*a liegt [20] und in denen sich damit ein großes Recyclingpotential bietet.

Für den Umfang des Recyclings, das realisiert wird, sind die Verfügbarkeit von Baurohstoffen und die Möglichkeiten für die Deponierung ausschlaggebend. Außerdem spielen subjektive Faktoren wie der Stellenwert des Recyclings und Definitionsfragen eine Rolle. Die Spannweite, die für die Europäischen Länder angegeben wird [17], reicht von 10 % bis nahezu 100 %.

Literaturverzeichnis

- [1] Müller, A.: Aufbereiten und Verwerten von Bauabfällen – aktueller Stand und Ausblick. Fachtagung Recycling, Weimar 2003.
- [2] DIN 277-1:2005-02: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau. Teil 1: Begriffe, Ermittlungsgrundlagen. Beuth-Verlag, Berlin 2005.
- [3] Deutscher Abbruchverband e. V.: Technische Vorschriften für Abbrucharbeiten (TV Abbruch) Düsseldorf 1997.
- [4] Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung -AVV) Ausfertigungsdatum: 10.12.2001. Zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 22 G v. 24.2.2012. <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/avv/gesamt.pdf>
- [5] Doka, G.: Ökoinventar der Entsorgungsprozesse von Baumaterialien. Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen von Gebäuden. Laboratorium für Technische Chemie. Eidgenössische Technische Hochschule ETH, Zürich 2000.
- [6] Lipsmeier K.: Abfallkennzahlen für Neubauleistungen im Hochbau – Hochbaukonstruktionen und Neubauvorhaben im Hochbau nach abfallwirtschaftlichen Gesichtspunkten. Dissertation, Technische Universität Dresden, Beiträge zu Abfallwirtschaft/Altlasten Band 37, 2004.
- [7] Haeblerlin, N.: Leitfaden für einen umweltgerechten und kostensparenden Umgang mit Bauabfällen. Gesellschaft zur Förderung des Deutschen Baugewerbes mBH im Auftrage des Zentralverbandes des Deutschen Baugewerbes, Bonn 1997.
- [8] Müller, A.: Das Rohstoffpotential von Bauabfällen. Müll-Handbuch
- [9] Wolf, K.-D.: Rückbau der ehemaligen Bundesbahndirektion Frankfurt – ein Projektbericht. Technische Informationen der Eurovia. Viafocus Nr. 30, 2008, S. 1-8.
- [10] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Abbruch von Wohn- und Verwaltungsgebäuden. Handlungshilfe. Karlsruhe 2001.
- [11] Weber-Blaschke, G.; Faulstich, M.: Analyse, Bewertung und Management von Roh- und Baustoffströmen in Bayern. Schlussbericht Verbundprojekt Stoffflussmanagement Bauwerke, TU München Freising 2005.
- [12] Statistisches Bundesamt: Umwelt. Zeitreihe zum Abfallaufkommen. 1996 – 2009. Wiesbaden August 2011.
- [13] Statistisches Bundesamt: Umwelt. Abfallbilanz 2010. Wiesbaden Juli 2012.
- [14] Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau (KWTB): 1.-5. Monitoring-Bericht Bauabfälle. Erhebungen 1996, 1998, 2000, 2002, 2004. Berlin/ Düsseldorf/ Duisburg 2000, 2001, 2003, 2005, 2007.
- [15] Mineralische Bauabfälle. Monitoring 2006, Monitoring 2008, Monitoring 2010. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., Berlin 2011, 2013.
- [16] Weil, M.: Ressourcenschonung und Umweltentlastung bei der Betonherstellung durch Nutzung von Bau- und Abbruchabfällen. Schriftenreihe WAR der Technischen Universität Darmstadt. Heft 160. Darmstadt 2004.

- [17] Fischer, C.; Werge, M.: EU as a Recycling Society. European Topic Centre on Resource and Waste Management. April 2009.
- [18] Bio Intelligence Service: Service Contract on Management of Construction and Demolition Waste – SR1. February 2011.
- [19] Stand des Baustoffrecycling in Europa. Steinbruch und Sandgrube 2005, H. 7, S. 20-24.
- [20] Jaillon, L.; Poon, C.S.; Chiag, Y.H.: Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. Waste Management (29) 2009, January, pp. 309-320.

Bild 2- 1: Selektiver Rückbau eines Wohngebäudes mit den zu auszubauenden Bestandteilen [1].....	2
Bild 2- 2: Materialtrennung beim selektiven Abbruch (oben) und Beispiel für die mittels maschineller Vor-Ort-Sortierung getrennten Bestandteile (unten) [1].....	2
Bild 2- 3: Definitionen von Schad- und Störstoffen und Beispiele.....	3
Bild 2- 4: Beispiel für die Berechnung des Bruttorauminhalts eines Gebäudes und Zuschläge für den umbauten Raum	4
Bild 2- 5: Zifferncodes des Europäischen Abfallverzeichnisses.....	5
Bild 2- 6: Materialarten und deren Zuordnung zu Abfallschlüsselnummern am Beispiel eines hypothetischen Durchschnittsgebäudes	7
Bild 2- 7: Abhängigkeit der bei der Errichtung von Gebäuden entstehenden Volumina an Baustellenabfällen von der Bauwerksgröße (Daten aus [6]).....	8
Bild 2- 8: Zusammensetzung von Baustellenabfällen (Daten aus [8])	9
Bild 2- 9: Gegenüberstellung der Masse- und Volumenzusammensetzung von Baustellenabfällen	10
Bild 2- 10: Einfluss der Bauwerksgröße auf das Baustoffvolumen mit verschiedenen Beispielen (nach [8], ergänzt um [9])	11
Bild 2- 11: Abhängigkeit der spezifischen Bauschuttmenge von der Bauwerksgröße für Wohngebäude bzw. Industriegebäude in beliebiger Bauweise (Daten aus [8],[9])	12
Bild 2- 12: Abhängigkeit der spezifischen Bauschuttmenge von der Baukonstruktion [10].....	13
Bild 2- 13: Zeitreihe zum Abfallaufkommen in Deutschland, untergliedert nach Abfallarten	15
Bild 2- 14: Pro-Kopf-Aufkommen an Bau- und Abbruchabfällen in europäischen Ländern als Mittelwert der für die Jahre 2001 bis 2006 verfügbaren Daten.....	18
Bild 2- 15: Pro-Kopf-Aufkommen an Bau- und Abbruchabfällen in europäischen Ländern in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte	18
Tabelle 2- 1: Zusammenfassung der nach dem Europäischen Abfallverzeichnis klassifizierten Bauabfallarten in herkunftsbezogene Gruppen.....	6
Tabelle 2- 2: Schüttdichten für in Containern gesammelte Baustellenabfälle [6].....	9
Tabelle 2- 3: Beispiel für die Umrechnung einer Massezusammensetzung in eine Volumenzusammensetzung	10
Tabelle 2- 4: Richtwerte für die Materialzusammensetzung von Gebäuden in Abhängigkeit von Altersklasse und Bauweise	13
Tabelle 2- 5: Beispiel für die Abschätzung der Bauabfallmenge anhand der bauwerksspezifischen Kennzahlen.....	14

Tabelle 2- 6: Aufkommen an Bauabfällen, Einsatzgebiete und in der Bauindustrie verbrauchte Mengen an mineralischen Rohstoffen nach Angaben der Bau- und Recyclingwirtschaft.....	15
Tabelle 2- 7: Recyclingquoten von Bauabfällen und Substitutionsquoten für den Ersatz von mineralischen Gesteinskörnungen durch Recycling-Baustoffe.....	16
Tabelle 2- 8: Beispiel für die Kapazitätsplanung von Recyclinganlagen in Gebieten mit unterschiedlicher Bevölkerungsdichte.....	17