denen auf einen Einsatz von CFK zunächst besser verzichtet werden sollte. Darüber hinaus gilt es, das durchaus noch vorhandene Entwicklungspotenzial auf der Aluminiumseite im Bereich der Metallurgie (neue Legierungen) und Werkstoffkunde (Aluminium-Glasfaserverbundwerkstoffe) sowie der Verfahrenstechnik (Laserstrahlschweißen, Aluminiumgussverfahren) zu berücksichtigen. Einiges deutet darauf hin, dass die zukünftige Entwicklung im Flugzeugbau durch den Wettbewerb dieser beiden Werkstoffe vorangetrieben wird.

Anmerkungen

2) Unter Halbzeug wird allgemein ein zur Weiterverarbeitung bestimmtes Produkt bezeichnet. Darunter fallen, bezogen auf den A320-Rumpf, z. B. die Rohbleche für die Hautblechherstellung oder die Carbonfasergelege für die CFK-Bauteilherstellung
3) Für die Herstellung von CF-Garn wurde ein Datensatz des IKP zugrundegelegt. Der in Zusammenarbeit mit der Industrie erstellte Datensatz ist noch nicht vollständig fertiggestellt und wird erst im Rahmen des Endberichts verwendet. Die hier vorgestellten Ergebnisse haben somit vorläufigen Charakter.
4) Als Werkzeug wird in diesem Fall die für die Aufnahme des Bauteils vorgesehene Form mit Zubehör bezeichnet.

Literatur

European Integrated Pollution and Prevention Control Bureau, 1999: Draft reference document on best available techniques in non ferrous metals industries. http://eippcb.jrc.es/

European Aluminium Association, 2000: Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry. European Aluminium Association, Brussels. http://www.eaa.net

Kontakt

Dr. Matthias Achternbosch
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe
Tel.: +49 (0) 72 47 / 82 - 45 53
E-mail: Achternbosch@itas.fzk.de

»

Stoffstromanalyse und Ökobilanz als Hilfen zur umweltorientierten Positionsbestimmung von Beton mit und ohne rezykliertem Zuschlag im mineralischen Baustoffstrom

von Marcel Weil, Udo Jeske, Liselotte Schebek, Institut für Technische Chemie, Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme, Forschungszentrum Karlsruhe

Die deutsche Bauwirtschaft hat eine Selbstverpflichtung zur Reduzierung der deponierten Bauschuttmenge bis 2005 auf die Hälfte der Menge von 1995 abgegeben. In gleichem Maße soll das Recyling von Bauschutt verstärkt werden. Vor diesem Hintergrund wird der Frage nachgegangen, in welchem Umfang bei der Betonherstellung eine Entlastung der natürlichen Ressourcen durch Nutzung von aus Bauschutt gewonnenem rezyklierten Zuschlag möglich ist, welche Bauschuttmengen für das Recycling auf dem Betonpfad verfügbar sind und welcher Aufwand mit dem Recycling verbunden ist. Dazu werden stoffstromanalytische und ökobilanzielle Ansätze zur Untersuchung des mineralischen Baustoffstromes und der Betonherstellung in sich ergänzender Weise angewendet.

1 Rahmenbedingungen

Die Europäische Union empfiehlt für Baureststoffe eine Recyclingquote von 70-85 % als Zielmarke für 2010. Bedeutende Verbände der deutschen Bauwirtschaft haben sich 1995 zu einer Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau[1] zusammengeschlossen und eine Selbstverpflichtung gegenüber dem Umweltminister abgegeben, in der sie sich verpflichten, die „Ablagerung von verwertbaren Bauabfällen bezogen auf das Bauvolumen gegenüber 1995 bis zum Jahre 2005 auf die Hälfte zu reduzieren“. Die reduzierte Menge soll rezykliert werden. Die sich daraus ergebenden Zielwerte für Deponie und Bauschutt-Recycling sind in Tabelle 1 wiedergegeben.[2]

Tab. 1: Deponierte und rezyklierte Bauschuttmengen (ohne „andere Verwertung") und Selbstverpflichtung der Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau

	1995	*1996*	*1998*	*2000*	*2005*
Bauvolumen, [%]* (Basis 1995)	**100,0**	**97,2**	**94,8**	**92,8**	*(100)* *****
Deponie, [Mio. t] (ohne Boden)	**54,0**	(***)	**10,9**	(***)	-
Deponie-Höchstwerte Selbstverpflichtung, [Mio. t]	-	< 26,3	< 25,6	< 25,1	*27,0*
Bauschutt-Recycling, [Mio. t]** (ohne Boden)	**31,0**	**58,5**	**55,2**	(50,0) ****	-
Recycling-Zielwerte Selbstverpflichtung, [Mio. t]	-	> 56,4	> 55,0	> (53,8) ****	*58,0*

* Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 18, Reihe 3
** Die Menge von 1996 ist Sollschwelle für die Berechnung der Selbstverpflichtung: Recycling (1996) X Bauvolumensquote (aktuelles Jahr/1995)
*** keine explizite Angabe im Bericht
**** vorläufige Werte
***** ursprüngliche Zielvorgaben der Selbstverpflichtung für 2005 auf der Basis einer unveränderten Baukonjunktur gegenüber 1995.
Quelle: Monitor 2001 und eigene Berechnungen

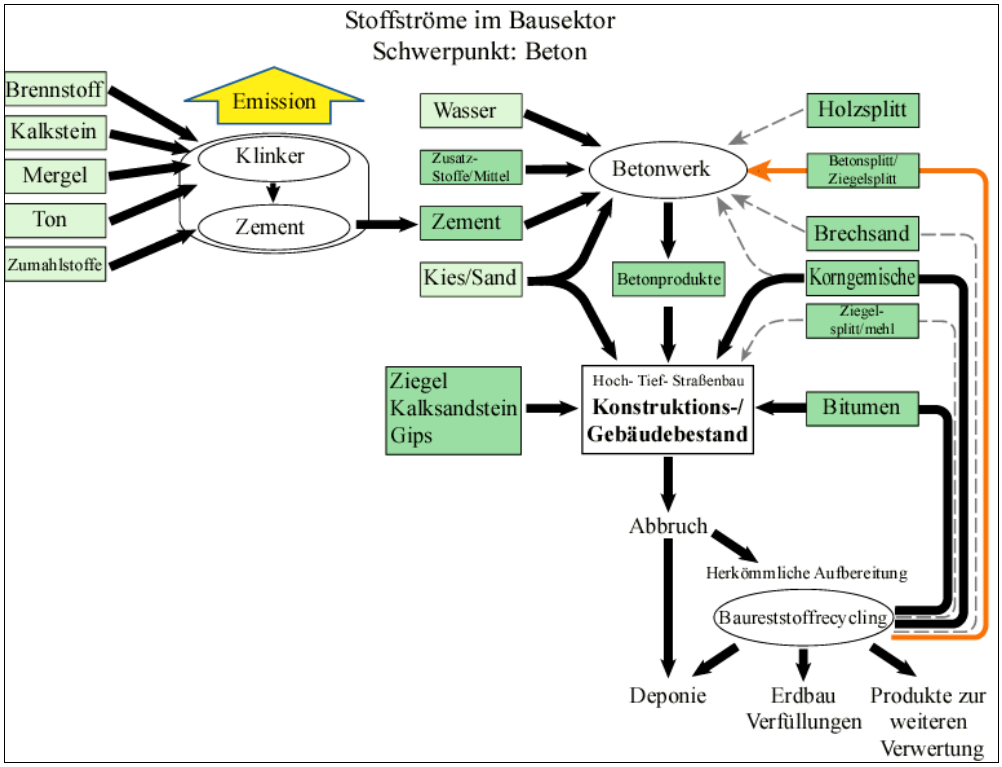
Die im Jahre 1998 deponierte Menge von 10,9 Mio. t liegt schon deutlich unter dem ermittelten Höchstwert für die Deponie von 25,6 Mio. t Bauschutt, der nicht überschritten werden soll. Die im Jahre 1998 rezyklierte Bauschuttmenge von 55,2 Mio. t überschreitet den Zielwert von 55,0 Mio. t, der nicht unterschritten werden soll, hingegen nur knapp. Die Einhaltung der Selbstverpflichtung für das Jahr 2000 erscheint zwar nicht für die Deponierung, wohl aber für das Recycling aufgrund der bereits vorliegenden Daten zur Baukonjunktur gefährdet (vgl. Tab. 1). Die Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger BAU befürchtet, dass das in Deutschland erreichte Niveau des Recyclings auf Dauer nicht gehalten werden kann, wenn nicht zusätzliche Anstrengungen zur Förderung des Recyclings gemacht werden (AG KWTB 2001).

2 Zielsetzung des Beitrags

In dem nachfolgenden Beitrag wird über erste Ergebnisse eines Forschungsvorhabens berichtet, in dem mit Hilfe von Systemmodellierung unter Verwendung von Input-Output-Beziehungen und darauf aufbauenden ökobilanziellen Untersuchungen die Möglichkeiten zur umweltorientierten Optimierung des mineralischen Baustoffstromes untersucht werden. Auf der Makroebene werden die mineralischen Baustoffströme der Jahre 1997/1998 in Deutschland behandelt. Die Gesamtbelastung der Umwelt durch den mineralischen Baustoffstrom wird durch die Darstellung der Input- und Outputströme in den Sektoren Hochbau und Tiefbau bzw. Straßenbau repräsentiert. Vor diesem Hintergrund geht das Forschungsvorhaben der Frage nach, in welchem Maße durch Nutzung von aus Bauschutt gewonnenem rezyklierten Zuschlag[3] bei der Betonherstellung eine Entlastung der natürlichen Ressourcen möglich ist und unter welchen Umständen.

Abbildung 1 zeigt den Untersuchungsbereich zum Schwerpunkt Beton mit dem Baubestand als zentralem Bezugspunkt, mit Quellen, Senken und Prozessen (ohne Bodenaushub) sowie mit den Hauptpfaden des mineralischen Baustoffstromes. Diese Sicht soll hier als „globales Stoffstrommodell Beton" bezeichnet werden.

Abb. 1: Untersuchungsbereich des mineralischen Baustoffstroms (ohne Bodenaushub) mit Schwerpunkt Beton



Um Erkenntnisse darüber zu gewinnen, mit welchem Aufwand die Rezyklierung von Beton im Sinne von „closed loop-Recycling“ verbunden ist, werden Ergebnisse eines ökobilanziellen Vergleichs der Herstellung von Beton mit und ohne rezykliertem Zuschlag dargestellt. Durch die gezeigten Beispiele soll deutlich gemacht werden, dass sich die je nach Teilfrage unterschiedlich zugeschnittenen stoffstromanalytischen und ökobilanziellen Werkzeuge für die Beantwortung der hier aufgeworfenen Frage gegenseitig ergänzen. Für die Darstellung der Stoffströme wird im Folgenden hauptsächlich das marktgängige Analyse-Programm Umberto (ifu, ifeu) benutzt.

3 Stoffstromanalyse und Ökobilanz

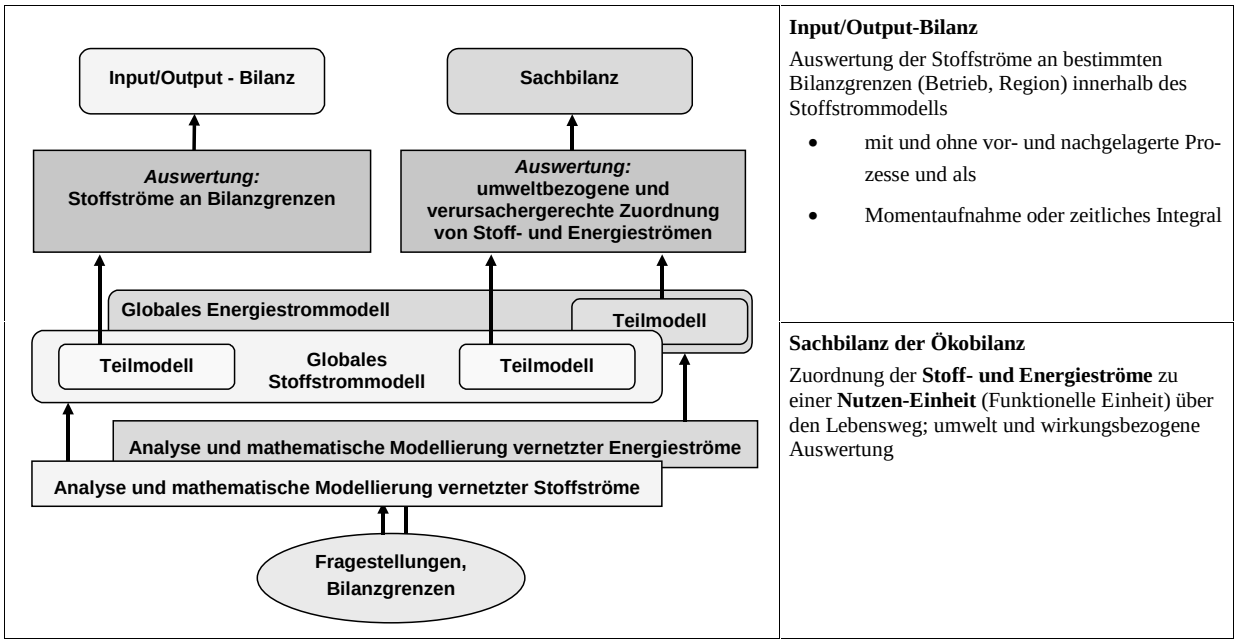
3.1 Stoffstromanalyse

Stoffstromanalyse ist die Erfassung und Beschreibung vernetzter Stoffströme in einem Raum (einschließlich stofflicher Energieträger und der Stoffwechselprozesse) mit den Mitteln der wissenschaftlichen Stoffflussrechnung und ihre Interpretation im Hinblick auf interessierende Fragestellungen. Die wissenschaftliche Stoffflussrechnung kann auf physikalisch-mathematischen oder statistisch-zahlenmäßigen Beschreibungen des untersuchten Systems beruhen[4]. Von der Fragestellung, dem Untersuchungsbereich und den verfügbaren Mitteln zur Systembeschreibung (mathematisch-physikalische Gleichungen, statistische Daten) hängt es ab, welches Systemmodell gewählt wird. Drei Arten von Modellen können unterschieden werden: Modelle aus ersten Prinzipien (physikalische Grundgesetze[5]), phänomenologische Modelle (Kombination von physikalischen Grundgesetzen mit experimentell gestützten Zusammenhängen[6]) und Datenmodelle (Messungen von Input- und Output-Größen, Zeitreihen). Können Transferkoeffizienten zwischen Input- und Outputflüssen ermittelt werden, so entsteht eine Kombination aus Datenmodell und phänomenologischem Modell.

Das Stoffstrommodell beschreibt ein offenes System aus Gütern und Prozessen, durch das Stoffe strömen. Baccini und Bader nennen dieses System „Stoffhaushaltssystem“ (Baccini und Bader 1996). Güter und Prozesse sind die grundlegenden Elemente des Stoffstrommodells. Mit Gütern werden Stoffe und Stoffgemische bezeichnet, die bestimmte vom Menschen bewertete Funktionen erfüllen, z. B. Transportbeton oder Hochlochziegel. Die Prozesse beschreiben Transport, Transformation, Lagerung und Wertveränderung von Stoffen und Gütern.

Aus Elementen des globalen Stoffstrommodells nach Abbildung 1 können Teilmodelle gebildet und weiter verfeinert werden. (vgl. Abb. 2, linker Teil)

Abb. 2: Modellierung vernetzter Stoffströme und deren Auswertung in Stoffstromanalyse und Ökobilanz



3.2 Erweiterung der Stoffstromanalyse zur Ökobilanz

Sollen die mit der Herstellung eines Gutes über dessen Lebensweg verbundenen stofflichen und energetischen Gesamtaufwendungen und zusätzlich die daraus resultierenden Umweltauswirkungen betrachtet werden, so wird der Analyseumfang zur Ökobilanz erweitert durch Ergänzung der Stoffstromanalyse um eine Energiebilanzierung und gegebenenfalls weitere physikalische/phänomenologische Daten/Variablen, (wie Strahlung oder Lärm), sowie eine Wirkungsabschätzung. Die Bilanzierung der Stoff- und Energieströme wird als Sachbilanz bezeichnet (vgl. Abb. 2, rechter Zweig).

3.3 Ökobilanzen im Bausektor

Eine verabredete Vorgehensweise ist in den Normen der Reihe Ökobilanzen nach (DIN ISO 14040 ff.) niedergelegt (vgl. Abb. 3).

Drei Schritte sind bei der Ökobilanz von zentraler Bedeutung:

- Zieldefinition und Festlegung des Untersuchungsrahmens
- Sachbilanz mit Auswahl einer funktionellen Einheit zur Ermittlung der stofflichen und energetischen Aufwendungen (Input, Output) einschließlich Transportprozessen sowie vor- und nachgelagerten Prozessen („von der Wiege bis zur Bahre“) für diese Einheit.

Abb. 3: Schematische Darstellung der Ökobilanz-Methode

Quelle: BS+E 1999

In diesem Fall sind bei der Aufstellung des Stoffstrommodells besondere Regeln zu beachten, damit diese Auswertung später möglich wird. Von besonderer Bedeutung ist die Definition eines funktionalen Äquivalents für das betrachtete Gut (vgl. Abschnitt 3.3.1), mit dessen Hilfe die zur Funktionserfüllung notwendige stoffliche und energetische Zusammensetzung des Gutes normiert werden kann.

In der hier vorliegenden Arbeit werden zwei Teilmodelle benutzt: ein statistikorientiertes Teilmodell zur Erzeugung einer Input-Output-Bilanz des mineralischen Baustoffstromes (vgl. Abschnitt 4) und ein Teilmodell zur Erzeugung einer Sachbilanz für ökologische Vergleiche der Betonproduktion (vgl. Abschnitt 6).

- Wirkungsabschätzung nach ausgewählten Wirkungskategorien.

Ökobilanzen im Bausektor können unterschiedlichen Zwecken dienen, und je nach Akteursgruppe unterscheiden sich funktionelle Einheit und die hierfür zu berücksichtigenden Stoff- und Energieströme.

3.1.1 Funktionelle Einheit und Untersuchungsrahmen

Die funktionelle Einheit kennzeichnet die Funktion der betrachteten Einheit und deren Leistungsfähigkeit als Bezugsgröße für die Umwelteinwirkungen, z. B.: „1 m^3 Beton einer bestimmten Festigkeitsklasse“ oder komplexer: „Herstellung eines Quadratmeters Wohnfläche

in einem 4-Familien-Massivhaus und dessen Nutzung über 80 Jahre“.

3.1.2 Erstellung der Sachbilanz

Zur Erstellung der Sachbilanz werden die Instrumentarien der Stoffstromanalyse und der Energiestromanalyse genutzt. Im Sektor Steine und Erden wird das folgende Vorgehen akzeptiert (BS+E 1997):

Stoffe, die in ein System eintreten (Input-Stoffe), werden nach „verknüpften“ und „unverknüpften“ Stoffen unterschieden. Verknüpfte Stoffe sind mit einer vorgelagerten Prozessstufe verknüpft, unverknüpfte dagegen nicht. Es ist zulässig, vorgelagerte Prozessstufen von Stoffen mit Massenanteilen unterhalb eines bestimmten Schwellenwertes am Input in das betrachtete System nicht zu berücksichtigen, wenn dadurch die Bilanz nicht beeinflusst wird. Diese Regelung soll dazu dienen, die Bilanzierung zu erleichtern. Dennoch muss erst geprüft werden, ob die Vorketten der nicht berücksichtigten Stoffe einen Anteil an der Umweltbelastung haben, der vernachlässigt werden darf. Ist dies nicht der Fall, dann müssen diese Stoffe mit ihrer Vorkette berücksichtigt werden, auch wenn ihr Massenanteil sehr klein ist. Die Konsequenz daraus ist, dass das grundsätzlich aufzustellende Stoffstrommodell sehr umfassend ist.

Auf der Output-Seite sind die Emissionen in die Umwelt mit keinen weiteren Verarbeitungsprozessen verknüpft. Sie werden deshalb als „unverknüpft“ geführt. Nebenprodukte und Abfälle, die in weitere Prozessstufen gehen, sind verknüpft. Die Anzahl der Emissionen kann sehr groß werden. Um den Mess- und Bilanzierungsaufwand (auch unter dem Gesichtspunkt einer laufenden Aktualisierung) vertretbar zu halten, ist es nötig, hier ebenfalls eine Eingrenzung vornehmen zu können. Vorgeschlagen wird in (BS+E 1997) ein Schwellenwertverfahren, in dem abgeschätzt wird, inwieweit eine Emission an einer bestimmten Wirkung auf die Umwelt beteiligt ist. Zur Bemessung wird eine Leitgröße definiert, die innerhalb einer einzelnen Wirkkategorie dominant ist. Daran werden die anderen Beiträge gemessen.

Grundsätzlich bleibt anzumerken: unter dem Gebot, das Modell nicht komplizierter zu machen, als es zur Lösung der Aufgabenstellung unbedingt notwendig erscheint, werden immer wieder Versuche gemacht, durch so genannte „streamlined life cycle analysis“ den Aufwand der normierten Ökobilanz zu verringern, ohne dadurch wesentliche Erkenntnisdefizite und verfälschende Ergebnisse in Kauf nehmen zu müssen. Die Methodenentwicklung ist noch nicht zum Abschluss gekommen. In dem hier präsentierten Forschungsvorhaben soll auch ermittelt werden, ob die Methode der „streamlined life cyle analysis“ für die hier zu behandelnden Fragestellungen ausreichend ist und wie sie gegebenenfalls zu gestalten wäre.

4 Der mineralische Baustoffstrom in Deutschland

Zur Modellierung des mineralischen Baustoffstromes wird Deutschland als Bilanzraum gewählt und es werden statistische Daten verwendet. Eine grobe Modellierung unterscheidet die Bereiche Hochbau und Tiefbau. Extra ausgewiesen wird der Bodenaushub. Die statistischen Daten zu den mineralischen Baustoffströmen des Hoch- und Tiefbaus in Deutschland wurden im Wesentlichen aus dem zweiten Monitoring-Bericht Bauabfälle der „Kreislaufwirtschaftsträger Bau“ (AG KWTB 2001) entnommen und um Daten aus der Studie „Der Bedarf an mineralischen Baustoffen“ ergänzt (BS+E 2000).

In Deutschland werden jährlich im Bausektor 600 bis 700 Mio. t mineralische Rohstoffe verbraucht. 1998 betrug die Produktion von Gesteinsbaustoffen 657,7 Mio. t (vgl. Tab. 2). Nicht enthalten sind Kalkstein bzw. Kalkmergel und Gips, die hier für die erste Stufe der Recyclingbetrachtungen noch nicht berücksichtigt werden müssen. Es kann nicht sicher angegeben werden, ob die Angaben für Naturstein 1998 auch Splitt einschließen.

Aus den Angaben für den Kies- und Sandverbrauch 1997 für Beton (BS+E 2000) lassen sich die zugehörigen Kies-Betonmengen unter Zugrundelegung von mittleren Betonzusammensetzungen berechnen. Für den Hochbau ergibt sich eine Menge von ca. 157 Mio. t und für den Tiefbau ca. 65 Mio. t Kies-Beton. Zahlen für den hinzukommenden Splittbeton können analog mit den Zahlen für Splitt (vgl. Tab. 2) aus (BS+E 2000)[7] ermittelt werden und betragen für den Hochbau ca. 24 Mio. t sowie ca. 18 Mio. t für den Tiefbau. Insgesamt ergibt sich daraus für 1997 eine Betonproduktion von 264 Mio. t.

Tab. 2: Produktion von Gesteinsbaustoffen

*Herkunftsbereiche**	*[Mio.t] 1997 *****	*[Mio.t] 1998*	*[%]*
Industrielle Nebenprodukte für Straßenbau**		40,0	6,1
Kies und Sand		372,5	56,6
für Beton im Hochbau	123,1		
für Beton im Tiefbau	50,6		
Splitt			
für Beton im Hochbau	22,28		
für Beton im Tiefbau	13,05		
Naturstein		190,0	28,9
Recyclingbaustoffe		**55,2**	**8,4**
Σ **1998**		**657,7**	100,0

* ohne Kalk, Kalkmergel und Gips
** Hochofenstückschlacken, Elektroofenschlacken u. a.
*** Zahlen für 1997 aus Baustoffbedarf 2000
Quelle: AG KWTB 2001 und eigene Ergänzungen

Für die Bauabfälle sind die Ergebnisse des zweiten Monitoring Berichts (AG KWTB 2001) in Tabelle 3 zusammengefasst. 1998 wurden 77,1 Mio. t Bau- und Abbruchabfälle erfasst, bei leicht rückläufiger Tendenz, wovon 58,5 Mio. t Bauschutt und 14,6 Mio. t Straßenaufbruch und Asphalt waren. Von der erfassten Menge wurden 55,2 Mio. t (71,6 %) rezykliert. Die rezyklierten Stoffe wurden im Straßen-, Erd- und Tiefbau sowie in Einzelprojekten im Betonhochbau eingesetzt.

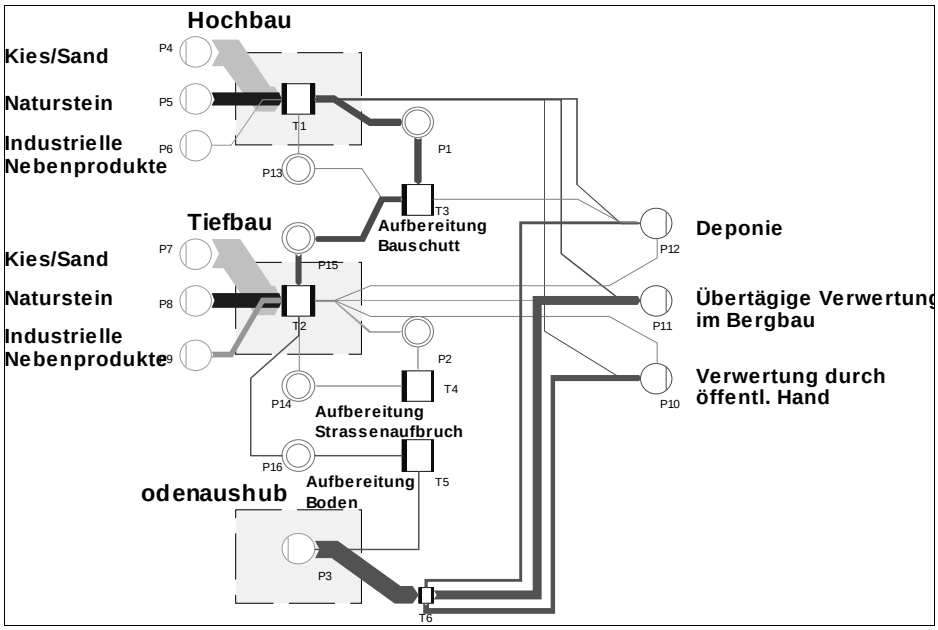
Zusammen mit den Abfallströmen aus Tabelle 3 kann ein vereinfachtes Modell des mineralischen Stoffstromes erstellt werden. Die jährliche Produktion an Kies und Sand wird gemäß der Erhebung in BS+E (2000) auf Tiefbau und Hochbau verteilt. Für Naturstein wird eine Aufteilung zu jeweils 50 % auf diese Bereiche angenommen[8].

Tab. 3: Aufkommen an Bau- und Abbruchabfällen und deren Verwertung 1998

Aufkommen 1998			*Anfall*	*Baustoff-Recycling*			*Deponie*		*andere Verwertung*		
				In	*Out*						
LAGA-Gruppe	**ASN***	**Aufteilung**	**Mio t**	**Mio t**	**Mio t**	[%]	**Mio t**	[%]	**Mio. t**	[%]	Sektor
Bodenaushub	31411		**128,0**		**7,0**	5,5	**20,0**	15,6	**60,0**	46,9	Bergbau (übertägig)
Boden und Bauschutt gemischt	31400	80 % Bodenaushub							**41,0**	32,0	öffentl. Hand
		20 % Bauschutt	**58,5**	**68,0**	**41,5**	70,9	**7,5**	12,9	**6,5**	11,1	Bergbau (übertägig)
Bauschutt	31409								**3,0**	5,1	öffentl. Hand
Straßenaufbruch	31410		**14,6**		**12,5**	85,6	**0,6**	4,1	**1,5**	10,3	Bergbau (übertägig)
Baustellenabfälle	91206		**4,0**		**1,2**	30,0	**2,8**	70,0	-	-	-
Σ **1998** (o. Boden)			**77,1**	**68,0**	**55,2**	71,6	**10,9**	14,1	**11,0**	14,3	-
Σ **1998**			**205,1**	-	**62,2**	30,3	**30,9**	15,1	**112,0**	54,6	-

* letztmalig wurde die alte Abfallschlüsselnummer (ASN) verwendet
Quelle: AG KWTB 2001

Abb. 4: Input-Output-Bilanz 1997/1998 des mineralischen Baustoffstroms in Deutschland (ohne Kalkstein, Kalkmergel, Gips)



Die aufbereiteten Mengen von Bauschutt, Straßenaufbruch und Bodenaushub nach Tabelle 3 sind in Abbildung 4 in getrennten Aufbereitungsmodulen dargestellt. Die Breite der Strompfade ist proportional zu den Flussmengen.

Der große Volumenstrom von 41,5 Mio. t aus dem Hochbau fließt fast vollständig in den Tiefbau (siehe Verbindungspunkt P1 in Abb. 4), so dass hier fast die gesamte Menge der aus Hoch- und Tiefbau kommenden 55,2 Mio. t hergestellter Recycling-Baustoffe (RC-Baustoffe) zum Einsatz kommt. Das sind 40,4 Mio. t im Straßenbau und 11,8 Mio. t im Erdbau. Die verbleibenden 3 Mio. t werden für sonstige Zwecke im Hoch- und Tiefbau verwendet. Eine genaue Aufteilung liegt nicht vor (vgl. Tab. 4). Bekannt ist allerdings, dass derzeit nur sehr geringe Mengen in den Hochbau fließen[9].

Tab. 4: Anwendungsgebiete rezyklierter Baustoffe 1998

Anwendungsbereiche	*[Mio.t]*	*[%]*
Straßenbau	40,4	73,2
Erdbau	11,8	21,4
Sonstige Zwecke	3	5,4
Σ 1998	55,2	100,0

Quelle: AG KWTB 2001

Die prinzipiellen Verwertungsmöglichkeiten der 10,9 Mio. t Bauschutt und Straßenaufbruch, die noch deponiert wurden, sowie der tatsächliche Einsatzzweck der 11 Mio. t, die aus diesen Bereichen in „andere Verwertung“ verbracht wurden (siehe Tab. 3), müssen in weiteren Untersuchungen ermittelt werden. Diese insgesamt 21,9 Mio. t sind immerhin 28,5 % der insgesamt anfallenden Menge von 77,1 Mio. t.

Im Folgenden soll darauf eingegangen werden, welches Potenzial durch Recycling von Betonzuschlag für den Hochbau besteht, um zu einer weiteren Reduzierung der bisher deponierten Bauschuttmengen oder zur Aufnahme weiter steigender Bauschuttmengen zu gelangen.

5 Einsatz von rezykliertem Zuschlag in Beton

Innerhalb des BMBF-Forschungsprojektes „Baustoffkreislauf im Massivbau“ (BIM), das 1999 zu Ende ging, wurde eingehend die technische Machbarkeit der Herstellung von Beton mit Zuschlägen aus in herkömmlichen Anlagen aufbereiteten Bau- und Abbruchabfällen untersucht. Die Ergebnisse dieses Projektes fanden Eingang in die DAfStb-Richtlinie „Beton mit rezykliertem Zuschlag“ (DAfStb 1998) und die

DIN 4226-1 bzw. DIN 4226-100. Die Richtlinie und die DIN-Normen stellen die technische Rahmenbedingung für die Herstellung von Recycling-Beton bzw. Recycling-Zuschlägen dar (neben der Möglichkeit einer Einzelzulassung von Recycling-Zuschlägen beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) in Berlin).

Tabelle 5 zeigt die Höchstmengen an Zuschlägen von Körnungen größer und kleiner als 2 mm für Innenbauteile, Außenbauteile und andere Einsatzbereiche. Danach können in Innenbauteilen für B25 maximal 35 Vol.-% rezyklierter Zuschlag der Körnung > 2 mm enthalten sein. In tragenden Außenbauteilen sind es nur 20 Vol.-%.

Wegen untersuchungstechnischer Probleme bei der Herkunftsbestimmung der Brechsandanteile (Körnungen < 2 mm) soll die Brechsandfraktion zukünftig nicht mehr verwendet werden. Die entsprechende DAfStb-Richtlinie wird derzeit nochmals überarbeitet.

Tab. 5: Höchstanteile rezyklierten Zuschlags bezogen auf den Gesamtzuschlag (in Vol.-%)

		Korngruppen > 2 mm [Vol.-%]	*Brechsand < 2 mm [Vol.-%]*
Innenbauteil	≤ B25	35	7
	B35	25	
Beton für Außenbauteile*		20	0

* auch für: wasserundurchlässigen Beton, Beton mit hohem Frostwiderstand, Beton mit hohem Widerstand gegen schwachen chemischen Angriff

Quelle: DAfStb-Richtlinie 1998

Die Sieblinien von Aufbereitungsanlagen zeigen, dass zwischen 20 % und 40 % der ausgebrachten Menge Brechsand < 2 mm ist, der dann vollständig anderweitig zu verwerten wäre. Untersuchungen zur Verbesserung der Brechsandeigenschaften für die anderweitige Verwertung finden gegenwärtig in einem von der EU geförderten Projekt statt (BAM 2001).

Ein m^3 Beton mit einer mittleren Dichte von 2,4 kg/l besteht nach Standardrezeptur aus 723 l Zuschlag und 277 l Wasser und Zement. Wird der Beton rezykliert, so kann er nur den nach Tabelle 5 zugelassenen Anteil des natürlichen Zuschlages ersetzen. Wird bei der Aufbereitung ein Brechsandanteil von 35 % zugrunde gelegt, so ergibt sich die effektiv pro m^3 Beton rezyklierbare Stoffmenge für Beton in Außenteilen zu 14,5 Vol.-%. des anfallenden Betonschutts. Für Innenbauteile liegt der maximale Anteil wegen der höheren Recyclingquote bei ca. 25 Vol.-%. Zwischen 75 Vol.-% und 85,5 Vol.-% müssten in jedem Fall anderweitig verwertet werden.

Mit den in Abschnitt 4 dargestellten Daten betrug der Inputstrom des Jahres 1997 an natürlichem Zuschlag in den Betonsektor 209 Mio. t Kies, Sand und Splitt (vgl. Tab. 2). Bei einem maximalen Rezyklatanteil am Zuschlag von je nach Anwendung 20 Vol.-% bis 35 Vol.-% kann das Potenzial zur Ressourceneinsparung bei Kies und Splitt auf 40-70 Mio. t beziffert werden.

6 Ökobilanzieller Vergleich der Betonherstellung

Für einen ökobilanziellen Vergleich wurde die Betonherstellung mit Naturzuschlägen und mit aus Bauschutt gewonnenen rezyklierten Zuschlägen modelliert. Zur Modellierung wird eine Kombination von statistischen Daten, physikalisch-phänomenologischen Beziehungen und Daten aus Einzelprojekten verwendet. Für den umweltbezogenen Vergleich werden die Ressourcenentnahme von Kies, der Kumulierte Energieaufwand der Herstellung von Beton (KEA_H) und die relevanten Treibhausgase in Form des CO_2-Äquivalents betrachtet. Alle weiteren Umweltauswirkungen wie beispielsweise Humantoxizität oder Photooxidantienbildung sollen in späteren Arbeiten untersucht werden.

Der KEA eignet sich normalerweise als Leitindikator für energiebedingte Umwelteffekte (Jenseit 1999), da 65 % aller Treibhausgase einschließlich der CO_2-Emissionen, 90 % der SO_2-Emissionen und 85 % der NO_X-Emissionen durch den Energieverbrauch verursacht werden (Fleischer und Schmidt 1996; cit. in SETAC 1997). Bei zementgebundenen Baustoffen entstehen die CO_2-Emissionen sowohl rohstoff- als auch energiebedingt. Die rohstoffbedingten CO_2-Emissionen entstehen bei der Entsäuerung des Kalksteins ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$) während des Zementklinker-Brennprozesses und besitzen

einen Anteil von ca. 60 % an der CO_2-Gesamtemission der Zementproduktion (VDZ 2000).

Als Leitindikator für die bei der Zementproduktion entstehenden CO_2-Emissionen ist der KEA_H deshalb nicht aussagekräftig. Um die Treibhausgas-Emissionen adäquat darzustellen, wird hier zusätzlich zum KEA_H explizit das CO_2-Äquivalent ausgewiesen.

Für die Berechnung des Kumulierten Energieaufwands (KEA_H) für die Herstellung von Beton und das CO_2-Äquivalent wurden für Zement, Kies und Sand Daten aus (ifib, HAB, ESU 1995) und für rezyklierten Zuschlag Daten aus (Müller 2001) herangezogen.

stoffkreislauf im Massivbau)-Projektes in Darmstadt und Münster, die wegen der Datenqualität für den Vergleich ausgewählt wurden (im BIM-Projekt sind insgesamt 6 Demonstrationsbauobjekte dokumentiert). Von einem Betonhersteller aus Deutschland stammt sowohl die Betonrezeptur des dritten Recycling-Betons, wie auch eines vergleichbaren Betons mit natürlichen Zuschlägen. Alle vier Betone besitzen die gleiche funktionelle Einheit von 1 m³ Beton mit vergleichbaren Frisch- und Festbetoneigenschaften für den Einsatzbereich „Innenbauteil“.

Wegen der unterschiedlichen Eigenschaften von natürlichem und rezykliertem Zuschlag

Tab. 6: Betonrezepturen zum Vergleich

	Beton mit rezykliertem Zuschlag			*Kies-Beton*
	BIM-Projekt: Hundertwasserhaus Darmstadt	*BIM-Projekt: Gesundheitshaus Münster*	*Beton mit Recycling-Zuschlag (Herstellerangaben)*	*Beton mit Natur-Zuschlag (Herstellerangaben)*
Beton	*1*	*2*	*3*	*4*
Festigkeitsklasse DIN	B25	B25	B25	B25
Konsistenz	KR	KR	KR	KR
Verwendung	Innenbauteil	Innenbauteil	Innenbauteil	Innenbauteil
Zusammensetzung pro m³ Beton				
Zement (CEM I)	280 kg	340 kg	240 kg	240 kg
Flugasche	60 kg	70 kg	80 kg	70 kg
Natur-Zuschlag	1196 kg	1129 kg	878 kg	1830 kg
Recycling-Zuschlag	581 kg	528 kg	840 kg	-
Betonverflüssiger	1,4 kg	1 kg	1,2 kg	1,2 kg
Wasser	180 kg	187 kg	186 kg	180 kg
Gesamtgewicht	2298,4 kg	2255 kg	2225,2 kg	2321,2 kg

6.1 Inputdaten für die Sachbilanz

Für den ökobilanziellen Vergleich wurden drei Betone mit rezyklierten Zuschlägen und ein Beton mit ausschließlich natürlichen Zuschlägen (Kies/Sand) miteinander verglichen (vgl. Tab. 6). Von den drei Betonen mit rezyklierten Zuschlägen stammen zwei Betonrezepturen von Demonstrationsbauobjekten des BIM (Bau-

muss die Rezeptur zur Betonherstellung bei Verwendung rezyklierten Zuschlags angepasst werden. Üblicherweise wird mehr Zement hinzugefügt, alternativ ist aber auch die Zugabe von zusätzlichem Feinkorn als Betonzusatzstoff (z. B. Flugasche) und/oder mehr Betonzusatzmittel wie Verflüssiger bzw. Fließmittel möglich.

Der RC-Beton mit Einzelzulassung (Beton 3 in Tab. 6) benötigt nicht mehr Zement als Beton ohne Rezyklat. Eine ursprüngliche Vermutung, dass bei Recyling-Beton generell eine nennenswerte Menge an Zement durch eine deutlich größere Menge an Flugasche ersetzt werden würde, konnte zumindest für den Recycling-Beton des Transportbetonherstellers in Deutschland (Beton 3 in Tab. 6) nicht festgestellt werden.

Innerhalb des Modells wurden die energetischen Aufwendungen und Emissionen des Transports der Einsatzstoffe zum Betonwerk und deren Mischung noch nicht berücksichtigt. Darüber hinaus lagen für die betrachteten Betonsorten keine Angaben über den Fließmitteleinsatz auf der Baustelle vor. Rezyklierte Abfälle werden ohne Vorkettenbelastung („Ökologischer Rucksack“) bilanziert.

KEA_H und das CO_2-Äquivalent bilanziert. Die Zulässigkeit dieser Vereinfachung ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

6.2 Ergebnisse des ökobilanziellen Vergleichs

Die bei der Herstellung von Beton verursachte Umweltbelastung gliedert sich auf drei Bereiche auf:

- Verbrauch mineralischer Ressourcen (kg)
- Verbrauch energetischer Ressourcen (KEA_H)
- Emissionen (kg CO_2-Äquivalent)

Die Ergebnisse des ökobilanziellen Vergleichs sind für diese drei Bereiche in Tabelle 7 wiedergegeben.

Tab. 7: Ergebnisse des ökobilanziellen Vergleichs von Betonen mit und ohne rezykliertem Zuschlag

	Beton mit rezykliertem Zuschlag			*Kies-Beton*
	BIM-Projekt: Hundertwasserhaus Darmstadt	*BIM-Projekt: Gesundheitshaus Münster*	*Beton mit Recycling-Zuschlag (Herstellerangaben)*	*Beton mit Natur-Zuschlag (Herstellerangaben)*
Beton	*1*	*2*	*3*	*4*
Ressourcenschonung Kies	581 kg	528 kg	840 kg	-
KEA_H*	1774,8 MJ	2105,0 MJ	1604,3 MJ	1418,1 MJ
CO_2-Äquiv.	269,6 kg	326,5 kg	232,3 kg	229,8 kg

* Kies und Sand: gerechnet mit KEA_H 19 kJ/kg (Quelle: Baustoffdaten-Ökoinventare, 1995), es werden aber auch 44 kJ/kg in der Literatur genannt (KEA-Daten zu Baustoffen, FfE München <http://www.ffe.de>).

* Rezyklierter Zuschlag: gerechnet mit KEA_H 200 kJ/kg (Quelle: Müller 2001), ein Wert von 60 kJ/kg erscheint möglich (eigene Abschätzung).

Flugasche wird als Abfallstoff betrachtet und geht aus diesem Grund zwar in die Stoffbilanz, aber nicht in die KEA- und CO_2-Bilanz ein. Eine Standardmischung eines Betonverflüssigers auf Ligninsulfonat-Basis besteht aus 30 % Calciumligninsulfonat, 1 % Ätznatronlauge, 0,2 % Entschäumer, 0,2 % Konservierungsmittel und 68,6 % Leitungswasser. Ligninsulfonat, das als Abfallstoff bei der Papierherstellung anfällt, wird für die Herstellung von Betonverflüssiger verwendet (Reul 1991). Unter dieser Voraussetzung wird die hier betrachtete Standardmischung eines Betonverflüssigers auf Ligninsulfonat-Basis ebenfalls nicht für den

Die beiden Recycling-Betone aus dem BIM-Projekt halten die 35 Vol.-% Grenze des rezyklierten Anteils am Gesamtzuschlag für Innenbauteile gemäß DAfStb-Richtlinie (DAfStb 1998) ein. Für das Hundertwasserhaus in Darmstadt bedeutet dies eine Schonung des natürlichen Zuschlags von 581 kg/m³ und für das Gesundheitshaus in Münster von 528 kg/m³. Dagegen konnte ein Betonhersteller in Deutschland über den Weg einer Einzelzulassung beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) 50 Vol.-% des Gesamtzuschlages durch Recycling-Zuschlag ersetzen, was eine Schonung von 840 kg/m³ bedeutet (siehe Beton 3 in Tab. 6).

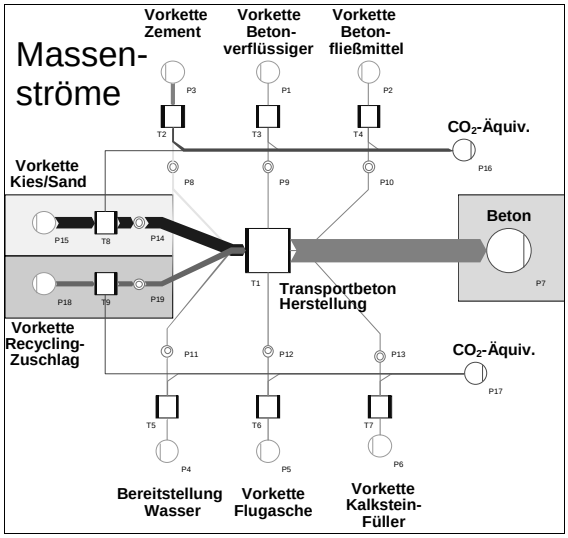
Von den drei aufgeführten Betonsorten mit rezykliertem Zuschlag besitzt der Recycling-Beton mit 50 Vol.-% Recyling-Zuschlag die geringsten KEA_H- und CO_2-Äquivalent-Werte (KEA_H 1604,3 MJ bzw. 232,3 kg CO_2-Äquivalent), die sich denen eines Betons mit natürlichen Zuschlägen des gleichen Herstellers nähern (KEA_H 1418,1 MJ bzw. 229,8 kg CO_2-Äquivalent) (Beton 4 in Tab. 6). Diese beiden Betone unterscheiden sich im Feinkornbereich nicht durch die Zementmenge, sondern lediglich durch die eingesetzte Menge an Flugasche. Die nahezu gleichen CO_2-Äquivalente dieser Betone sind dadurch zu erklären, dass die Flugasche ohne Vorbelastungen bilanziert wurde. Der höhere KEA_H-Wert der Betone mit Rezyklat gegenüber dem Beton ohne Rezyklat kann bei gleicher Zementmenge durch die höheren Energieaufwendungen bei der Herstellung von Recycling-Zuschlag gegenüber der Gewinnung von Kies und Sand erklärt werden.

Die höchsten Werte von KEA_H und CO_2-Äquivalent, verursacht durch einen sehr hohen Einsatz von Zement, finden sich bei der Betonsorte des BIM-Projektes „Gesundheitshaus in Münster“ (BIM) mit KEA_H 2105 MJ bzw. 326,5 kg CO_2-Äquivalent. Im Nachhinein ist nicht zweifelsfrei zu klären, warum für das Gesundheitshaus in Münster eine solch hohe Menge an Zement eingesetzt wurde. Für die graphische Darstellung der Stoffströme wurde beispielhaft der Recyling-Beton des Gesundheitshauses Münster ausgewählt (vgl. Tab. 6). Die mit P bezeichneten Punkte in Abbildung 5 und in Abbildung 6 können Input-Stellen (z. B. P1, P2, P3), Verbindungstellen (z. B. P8, P9, P10) oder Output-Stellen (z. B. P16, P17) sein. Die mit T bezeichneten quadratischen Symbole stellen Prozesse (Transitionen) dar. Die Breite der Strompfade ist proportional zu den Flussmengen.

In Abbildung 5 werden die Massenströme dargestellt.

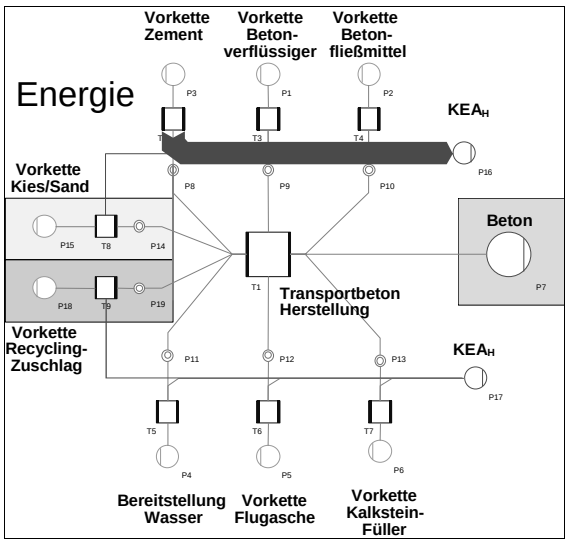
Abbildung 6 zeigt den kumulierten Energieaufwand (KEA_H).

Abb. 5: Flussdiagramm der Massenströme im Modell der Betonherstellung



Quelle: Ökobilanzprogramm UMBERTO

Abb. 6: Flussdiagramm des Kumulierten Energieaufwandes (KEA_H) im Modell der Betonherstellung



Quelle: Ökobilanzprogramm UMBERTO

Zement verursacht nur einen kleinen Anteil am Massenstrom der Betonherstellung (vgl. Abb. 5), verursacht aber einen hohen KEA_H-Wert, (vgl. Abb. 6). Dies gilt in gleicher Weise auch für das CO_2-Äquivalent, auch wenn dies weniger deutlich in Abbildung 6 zu sehen ist.

Werden die Werte der drei Recyclingbetone gemittelt und mit Beton ohne Rezyklat verglichen, so verursacht die Herstellung von 1 m^3 Beton mit im Mittel 38 % Recyclingzuschlag danach 29 % mehr Energieaufwand (KEA_H) und 20 % höhere CO_2-Äquivalente als der Beton ohne Rezyklat. Die Einsparung von primären nicht erneuerbaren Ressourcen wird also mit einem Mehraufwand an Energie und energiebedingten Emissionen erkauft. Die Praxis zeigt aber bereits heute, dass es über Einzelzulassungen möglich ist, höhere Rezyklatanteile bei niedrigerer Belastung verglichen mit diesen Mittelwerten zu erreichen.

Es wäre nun weiter zu untersuchen, ob die besseren Ergebnisse für den Beton 3 im Vergleich zu den Betonen 1 und 2 in Tabelle 7 verallgemeinerbar sind und durch welche Optimierungsschritte bei den Beton-Komponenten eine Annäherung der Umweltkennwerte des Betons mit RC-Zuschlag an den Beton ohne RC-Zuschlag erfolgen könnte.

6.3 Zukünftige Verfeinerung des Modells

Für einen belastbaren Vergleich von Recycling-Beton gegenüber Beton mit natürlichen Zuschlägen ist das verwendete Modell noch mit Bedacht zu verwenden. Weitere Faktoren wie z. B. der Transport sind noch zu berücksichtigen und die Basis-Daten bezüglich ihrer Qualität (Herkunft, Aktualität, Bilanzgrenzen, Abschneidekriterien) zu prüfen. Wie in den Fußnoten der Tabelle 7 beschrieben, gibt es in der Literatur deutliche Unterschiede bei den Daten für die Kiesgewinnung bzw. der Herstellung von Recycling-Zuschlägen, die den Vergleich von Beton mit und ohne rezyklierte Zuschläge beeinflussen. Aus diesem Grund werden zukünftig speziell für diese Bereiche eigene Daten erhoben.

Derzeit wird ein umfangreicheres Modell aufgebaut, das sämtliche Vorketten der einzelnen Beton-Komponenten und sämtliche Prozesse (wie beispielsweise Transport) berücksichtigt. Somit wird es möglich sein, Recycling-Beton gegenüber Beton mit natürlichen Zuschlägen innerhalb einer vollständigen Ökobilanz gemäß den in Abschnitt 3.3.2 aufgeführten Schritten adäquat zu vergleichen.

Darüber hinaus soll das Modell zur Identifizierung von Schwachstellen für die Herstellung von Recycling-Beton eingesetzt werden. Es wird erwartet, dass das ökologische Profil von Recycling-Beton durch den gezielten Einsatz von Betonzusatzstoffen (Flugaschen, Gesteinsmehlen), aber auch Betonzusatzmitteln (Betonverflüssigern, Luftporenbildnern, etc.) deutlich verbessert werden kann.

Noch offen ist die Frage, ob die Qualität des RC-Zuschlags so verbessert werden kann, dass der Wasser- und Zementbedarf sich nicht von dem bei Beton mit natürlichem Zuschlag unterscheidet. Entscheidend wird hierbei sein, dass die Herstellung der Zuschläge effizienter gestaltet werden kann.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgezeigt wurde ein integrativer Ansatz zur Behandlung des mineralischen Baustoffstromes mit einer Input-Output-Bilanz für die Makro-Ebene der Stoffströme in Deutschland und einem ökobilanziellen Vergleich bei der umweltorientierten Positionsbestimmung von Beton mit rezykliertem Zuschlag.

Die Erkenntnisse der Stoffstrombetrachtung auf der Grundlage der statistischen Zahlen ergeben derzeit keinen akut bestehenden Entsorgungsdruck für aufbereiteten Bauschutt, der neue Verwertungswege notwendig machen würde. Dieser Sachverhalt kann sich allerdings bei den einzelnen Entsorgungsbetrieben ganz anders darstellen. Um dies zu klären, sind eingehende Marktanalysen durchzuführen. Weiter festzuhalten bleibt, dass durch die Herstellung von Recycling-Zuschlag eine separate Brechsandfraktion entsteht, die im Recycling-Beton selbst keine Verwendung findet. Für diese Brechsandfraktion muss eine separate Verwertungsoption gefunden werden, die entsprechende Mengenströme aufnehmen kann.

Im ökobilanziellen Vergleich schnitt der Recycling-Beton in den beiden betrachteten Kategorien KEA_H und CO_2-Äquivalent im Vergleich zu Beton mit natürlichen Zuschlägen im Mittel um 20-30 % schlechter ab. Dies ergibt sich zum einen durch die höheren Energieaufwendungen bei der Herstellung des Recycling-Zuschlags, zum anderen aus dem höheren Zementeinsatz bei der Herstellung des Recycling-Betons. Da die Produktionserfahrungen mit Recycling-Beton gegenüber Beton mit natürlichen Zuschlägen noch gering sind, kann

mit einer weiteren Optimierung gerechnet werden. Die dargestellten ökobilanziellen Ergebnisse sind noch mit Bedacht anzusehen, da die Detaillierungsstufe in der Vorkettenbetrachtung auch im Hinblick auf qualitative Parameter des Recyclingzuschlags noch nicht ausreichend ist. Aus methodischer Sicht ist in weiteren Arbeiten zu hinterfragen, ob verschiedene Baustoffe adäquat miteinander verglichen werden können, wenn der Flächenverbrauch bei der Herstellung als Wirkungskategorie in der Ökobilanz nicht berücksichtigt ist. Weiter ist einzubeziehen, dass der Anteil der Herstellenergie eines Baustoffes über die Nutzungsphase eines beheizten Bauwerks in Deutschland nur einen Bruchteil der in der Nutzungsphase aufgewendeten Energie beträgt. Für den Anteil des rezyklierten Betons, der in den beheizten Gebäudebestand eingebracht wird, reduziert sich der Mehraufwand damit nochmals relativ, aber der Vorteil der Ressourcenschonung bei Kies und Splitt bleibt erhalten.

Insgesamt ist es erforderlich, eine bessere Vorstellung von der quantitativen Entwicklung und der qualitativen Zusammensetzung des Bauschutts zu erarbeiten, um abschätzen zu können, welche Potenziale für welchen Verwertungsweg vorhanden sind und wie sie erschlossen werden können.

Erst dann kann begründet angegeben werden, ob sich längerfristig die angestrebten Recyclingziele halten lassen, welcher Aufwand damit verbunden ist und welchen Platz das Betonrecycling dabei einnehmen kann.

Anmerkungen

1) http://www.recycling-bau.de/download/presse9.pdf
2) Die statistisch erfassten Daten zu Bauvolumen, Deponie- und Recyclingmengen sind fett gedruckt.
3) Unter Zuschlägen versteht man ein Gemisch aus Sand und Kies unterschiedlicher Korngrösse. Kies kann durch Gesteinssplitt oder gebrochenen, rezyklierten Altbeton ersetzt werden.
4) Beispiele: stöchiometrische Berechnung bei chemischen Umsetzungen; Berechnung des Güterflusses zwischen den volkswirtschaftlichen Sektoren mit Hilfe von Input-Output-Tabellen
5) Beispiel: Energieerhaltungssatz
6) Beispiel: Wärmeleitungsgleichung
7) Die Angaben für 1997 sind hier verwendet worden, weil sie aus einer Quelle stammen, in der die Entwicklung des mineralischen Baustoffstromes über mehrere Jahre dargestellt ist. Eine vergleichbare Darstellung über 1997 hinaus liegt noch nicht vor.
8) Inputseitig werden Zahlen von 1997 verwendet, outputseitig Zahlen für 1998. Im Hinblick auf die Abschätzung der Ressourcenschonung ist dies jedoch nicht von großer Bedeutung. Die Inkonsistenz wird im Zuge der Arbeiten noch korrigiert.
9) So wurden mehrere Modellbauwerke zur Erprobung von Beton mit rezykliertem Zuschlag errichtet. Zusätzlich wird Ziegelspitt als Substrat bei der Dachbegrünung eingesetzt.

Literatur

AG KWTB – Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau, 2001: Monitor 2001. Monitoring-Bericht Bauabfälle, Folgebericht, Teil 2 – Erhebung: 1998. Berlin, November; http://www.recycling-bau.de

Baccini, P., Bader, H.P., 1996: Regionaler Stoffhaushalt. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag

BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und -Prüfung, 2001: LIFE-Project: RECDEMO. Vollständige Verwertung der Sandfraktion aus Bauschutt. Start: September 2001

BIM – Baustoffkreislauf im Massivbau. http://www.b-i-m.de

BS+E – Bundesverband Steine und Erden e.V. (Hrsg.), 1997: Baustoff-Ökobilanzen. Leitfaden zur Erstellung von Sachbilanzen in Betrieben der Steine-Erden-Industrie. Frankfurt am Main

BS+E – Bundesverband Steine und Erden e.V. (Hrsg.), 1999: Baustoff-Ökobilanzen. Wirkungsabschätzung und Auswertung in der Steine-Erden-Industrie. Frankfurt am Main

BS+E – Bundesverband Steine und Erden e.V. (Hrsg.), 2000: Der Bedarf an mineralischen Baustoffen. Frankfurt

DAfStb – Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 1998: DAfStb-Richtlinie „Beton mit rezykliertem Zuschlag“. Berlin, August

DIN – Deutsches Institut für Normung (Hrsg.), 2001: DIN 4226-1. Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel – Teil 1: Normale und schwere Gesteinskörnungen. Berlin: Beuth, Juli

DIN – Deutsches Institut für Normung (Hrsg.), 2002: DIN 4226-100. Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel – Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen. Berlin: Beuth, Februar

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V., 1997: DIN ISO 14040 ff. Ökobilanz. Berlin: Beuth

ifib/HAB/ESU – Institut für Industrielle Bauproduktion, Univ. Karlsruhe; Lehrstuhl Bauklimatik und Bauökologie, Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar; Institut für Energietechnik, ETH-Zürich; M. Holliger Energie, Bern (Hrsg.), 1995: Baustoffdaten Oekoinventare. Karlsruhe, Weimar, Zürich 1995

ifu/ifeu: Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH http://www.ifu.de; Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg http://www.ifeu.de

Jenseit, W., 1999: Einsatz des Kumulierten Energieaufwandes (KEA) im Baubereich. Beitrag zur KEA-Tagung am 1.10.1999 in Weimar

Kohler, N.; Hassler, U.; Paschen, H. (Hrsg.), 1999: Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen. Heidelberg: Springer

Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG), 1994: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen. Stand 27. September 1994. http://www.umweltrecht.de

Müller, Ch., 2001: Beton als kreislaufgerechter Baustoff. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) (Hrsg.), Berlin: Beuth

Reul, H., 1991: Handbuch der Bauchemie – Einführungen in die Grundlagen – Rohstoffe, Rezepturen. Augsburg: Verlag für chem. Industrie, H. Ziolkowsky KG

SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1997: Simplifying LCA: Just Cut? SETAC-EUROPE. Brüssel

Statistisches Bundesamt (Hrsg.), 2001: Statistisches Jahrbuch 2001. Wiesbaden

UBA – Umweltbundesamt, 1999: Kumulierter Energieaufwand – KEA: mehr als eine Zahl. Basisdaten und Methoden zum Kumulierten Energieaufwand (KEA). Berlin

VDZ – Verein deutscher Zementwerke e.V., 2000: Umweltdaten der deutschen Zementindustrie. Düsseldorf

Kontakt

Marcel Weil
Forschungszentrum Karlsruhe
Institut für Technische Chemie
Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme
Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe
Tel.: +49 (0) 72 47 / 82 - 67 18
E-Mail: marcel.weil@itc-zts.fzk.de
Internet: http://itc-zts-w1.fzk.de/itc-zts//

»

„Konzeption für ein Stoffstromrecht“

Rezension der im Auftrag des Umweltbundesamtes von E. Brandt und S. Röckeisen (unter Mitarbeit von H. Baron et al.) durchgeführten Studie „Konzeption für ein Stoffstromrecht“. Berlin, 2000 (Berichte/Umweltbundesamt 2000/7), 749 S., ISBN 3-503-05937-7, € 79,76

von Juliane Jörissen, ITAS

1 Einführung

Die Forderung eines „Stoffstrommanagements“, also einer gezielten Steuerung anthropogen induzierter Stoff- und Energieströme, ist in Deutschland spätestens seit Veröffentlichung des Abschlußberichts der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 12. Deutschen Bundestages: „Die Industriegesellschaft gestalten – Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen“ (1994) zu einem wichtigen Thema in der umweltpolitischen Debatte geworden. Hintergrund ist die Erkenntnis, dass die bisher verfolgte sektoral ausgerichtete Umweltpolitik mit ihren überwiegend nachsorgenden Technologien zu einer dauerhaften Lösung der Umweltfrage nicht in der Lage ist. Trotz hoher Regelungsdichte und unbestreitbarer Erfolge in Teilbereichen hat die Belastung der Umwelt neue Dimensionen angenommen, die mit neuartigen Risiken für den Menschen und die Ökosphäre verbunden sind. Klimawandel, stratosphärischer Ozonabbau, Arten- und Biotopschwund, Waldsterben, Versauerung sowie die zunehmende Belastung von Boden und Grundwasser mit persistenten Schadstoffen sind Beispiele für diese neue Dimension von Umweltproblemen. Die Hauptursache für ihr Entstehen wird in der für die Industriegesellschaft typischen Art der Stoffnutzung gesehen, die darauf angelegt ist, der Umwelt immer größere Materialmengen zu entnehmen, die mit zunehmender Geschwindigkeit und unter weiterem Energieverbrauch den Wirtschaftsprozess durchlaufen, um alsbald als Abfall die Ökosphäre zu belasten. Da jedoch sowohl die Verfügbarkeit von Rohstoffen als auch die Aufnahmekapazität der Umweltmedien als Stoffsenke begrenzt sind, droht eine unge-