

Materialbilanzen und Verwertungswege für Baustellenabfälle

Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller

1. Zunahme von Baustellenabfällen beim Bauen im Bestand

Aufgrund des in Deutschland in den zurückliegenden Jahren geschaffenen hohen Bestandes an Bauwerken einerseits und der zu erwartenden degressiven Bevölkerungsentwicklung andererseits gewinnt das Bauen im Bestand zunehmend an Bedeutung. Bereits in der in Bild 1 dargestellten Gegenüberstellung von Wohnungsbauleistungen, die bis 1995 als Neubau bzw. im Bestand erbracht wurden, deutet sich diese Entwicklung an.

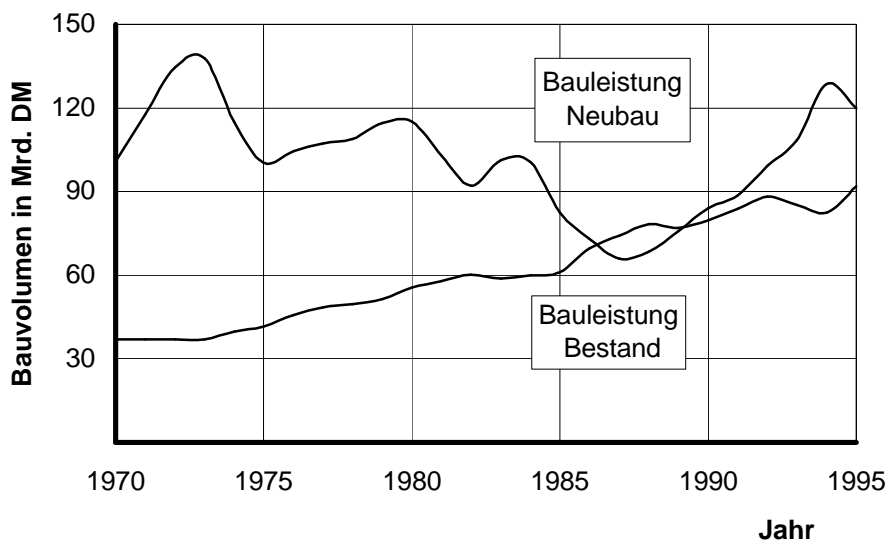


Bild 1: Entwicklung des Wohnungsbauvolumens, in Preisen von 1991 nach DIW 1996 in [1]

Im Unterschied zum völligen Gebäudeabbruch bleibt beim Bauen im Bestand die Tragkonstruktion erhalten, während der Ausbau erneuert wird. Als Folge sind zunehmende Mengen an Baustellenabfällen zu erwarten. Diese Zunahme kommt in den Angaben zu den spezifischen Abfallvolumina, die bei Neubau-, Umbau- und Sanierungsmaßnahmen pro m^3 umbauten Raum anfallen, zum Ausdruck. Nach [2] kann von einer Verdoppelung oder sogar einer Verdreifachung des Abfallvolumens von $0,035\text{-}0,05 \text{ m}^3/\text{m}^3$ UR bei Neubau auf $0,080\text{-}0,18 \text{ m}^3/\text{m}^3$ UR bei Umbau und Sanierung ausgegangen werden.

Die Verwertung der zunehmenden Mengen an Baustellenabfällen macht den Ausbau bewährter Verwertungswege erforderlich. Zusätzlich wird das Erschließen neuer Einsatzgebiete unumgänglich sein. Im folgenden wird diese Problematik für ausgewählte Bestandteile von Baustellenabfällen dargestellt.

2. Aufkommen und Merkmale von Baustellenabfällen

In bezug auf die Mengen an Baustellenabfällen, die jährlich in Deutschland anfallen, ergibt sich für den Beginn der neunziger Jahre sowohl aus den Erhebungen der Recyclingindustrie als auch den Angaben der entsorgungspflichtigen Körperschaften ein vergleichsweise einheitliches Bild. Nach KOHLER [3] betrug 1992 das Aufkommen an Baustellenabfällen in Deutschland 14 Mio t/a bzw. 175 kg/E-a. Im Bericht zur Entwicklung der Umwelt in Thüringen [4] wird für 1993 ein Wert von 180 kg/E-a für Thüringen angegeben. Die Abnahme der den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern überlassenen Menge auf 69 kg/E-a im Jahr 1997 spiegelt die höhere Verwertungsquote dieser Abfälle durch eine gezielte Sortierung wider.

Die Zusammensetzung von Baustellenabfällen ist in Tabelle 1 am Beispiel von drei Sortieranlagen an unterschiedlichen Standorten dargestellt [5,6,7]. Danach dominiert bei den gegenübergestellten Beispielen

len der Bauschutt mit einem Anteil von 45 bis 70 Ma.-%. Altholz fällt ebenfalls in beträchtlichen Mengen an. Abfälle, die nicht direkt Funktionen im Bauwerk übernehmen, wie Verpackungen, machen einen geringeren Prozentsatz aus. Der Sortierrest, der beispielsweise Reste von Gipskartonplatten, PVC, Mineralfaserabfälle u.a. enthält, beträgt zwischen 20 und 30 Ma.-%.

Bestandteile von Baustellenabfällen		Anteile [Ma.-%]		
		nach [3]	nach [4]	nach [5]
Bauschutt	Grobfraction	} 68,9	2,9	40,8
	Mittelfraction		19,5	10,1
	Feinfraktion		23,2	9,1
Metalle	Fe- und NE-Metalle	2,9	1,3	3,0
Holz	Altholz	5,9	15,6	5,1
	Altfensterholz		0,1	
Verpackungen	Papier/Pappe/Kartonagen	0,5	4,1	1,2
	Kunststoffverpackungen	0,1	0,1	1,4
Sortierrest		21,6	33,1	29,3

Tabelle 1: Zusammensetzung von Baustellenabfällen an unterschiedlichen Standorten [5,6,7]

3. Anlagen zur Sortierung von Baustellenabfällen

In Sortieranlagen für Baustellenabfälle wird bei aller Unterschiedlichkeit der Einzelausrüstungen im wesentlichen folgender Verfahrensablauf (Bild 2) realisiert:

- Vorsortierung: Besonders große oder sperrige Einzelteile werden mit Hilfe eines Greifers oder Sortiermanipulators aus den angelieferten Abfällen ausgesondert.
- Siebung: Über ein Steigeband werden die vorsortierten Abfälle einer Siebmaschine aufgegeben, in der die feinen Bestandteile abgesiebt werden. Die Trennung erfolgt bei Stückgrößen von ca. 300 mm.
- Handsortierung: Dem Grobgut der Siebung werden auf einem Leseband die verwertbaren Bestandteile entnommen und in Containern gesammelt. Zusätzlich kann Nichtverwertbares im Sinne einer Negativsortierung ausgesondert werden. Die mineralischen Bestandteile werden als Wertstofffraktion am Ende des Lesebandes aufgehaldet.

Das Feingut der Siebung wird ggf. einer weiteren Aufbereitung unterzogen und durch Sortierung oder Siebung in weitere Teilströme zerlegt.

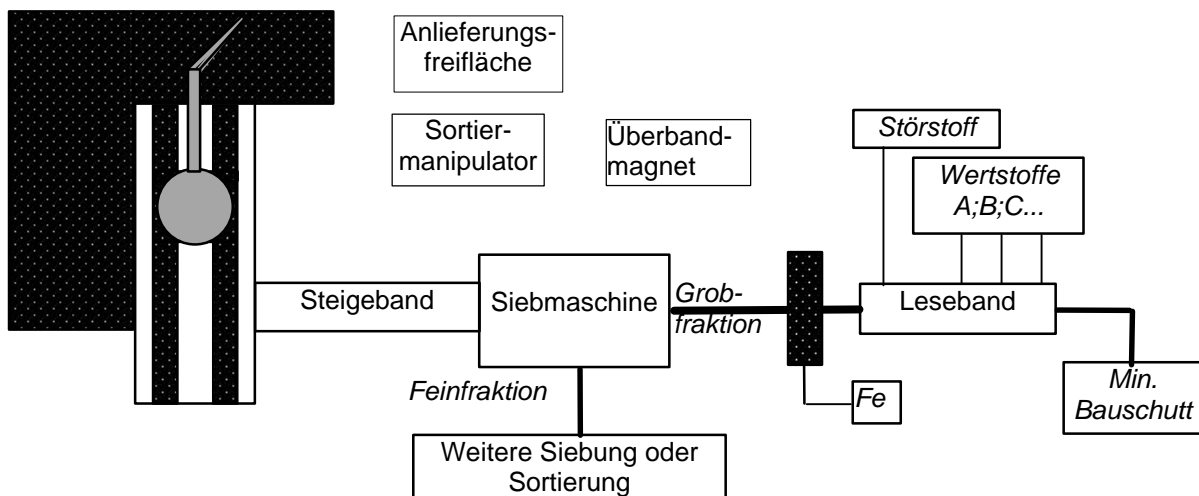


Bild 2: Anlagenschema für die Sortierung von Baustellenabfällen

4. Verwertung der Abfälle nach der Sortierung

4.1 Bauschutt

Für die mineralischen Bauschuttfraktionen, die den Hauptbestandteil der Baustellenabfälle darstellen, liegt das Haupteinsatzgebiet im Tiefbau, Erd- und Landschaftsbau. Auch perspektivisch sind keine höherwertigen Einsatzgebiete zu erwarten, weil i.d.R. ein Gemisch aus Mauerwerksbaustoffen und Beton vorliegt. Die Recyclingbaustoffe können zur Untergrundverbesserung und Bodenverfestigung, zum Bodenaustausch, zur Herstellung von Unterbau, für Hinterfüllungen und Überschüttungen, für den Bau ungebundener Verkehrsflächen und Wege, zum Verfüllen von Gräben, für Lärmschutzwälle eingesetzt werden. In diesen Marktsegmenten werden angemessene Mengen bei erfüllbaren bautechnischen Anforderungen (Tabelle 2) benötigt. Bedingung ist die Einhaltung von umwelttechnischen Parametern, insbesondere von Sulfat-, Chlorid- und Schwermetallkonzentrationen im Eluat. Bei konsequentem Aussortieren von Gipsbaustoffen erscheint diese Bedingung aber erfüllbar (Tabelle 3).

Einsatzgebiet	ausgewählte bautechnische Anforderungen
Untergrundverbesserung und Bodenverfestigung, Bodenaustausch, Herstellung von Unterbau, Hinterfüllungen und Überschüttungen, Verfüllung von Leitungsgräben	<ul style="list-style-type: none"> – Nebenbestandteile wie Metall, Glas, Kunststoff müssen zerkleinert vorliegen. Holz und Klumpen von bindigem Material sollen nicht enthalten sein. – Ausreichende Raumbeständigkeit. – Langzeitsetzungen sind durch ausreichende Verdichtung zu verhindern.
Ungebundene Verkehrsflächen und Wegebau	<ul style="list-style-type: none"> – Nebenbestandteile wie Metall, Glas, Kunststoff müssen zerkleinert vorliegen. Holz und Klumpen von bindigem Material sollen nicht enthalten sein. – Ausreichender Widerstand gegen Frost, Verwitterung. – Ausreichende Raumbeständigkeit. – Kornaufbau als korngestuftes Gemisch nach ZTVT-StB, als unsortiertes Gestein, als Deckschicht 0/11 mm, 0/16 mm, 0/32 mm.
Lärmschutzwälle	<ul style="list-style-type: none"> – Nur geringe Mengen an Nebenbestandteilen wie Holz, Gesträuch dürfen enthalten sein. – Ausreichende Raumbeständigkeit, Setzungen bzw. Hebungen durch das Material dürfen nicht auftreten. – Kornaufbau muß Einbaufähigkeit und Standfestigkeit gewährleisten. Unzulässige Setzungen durch Ausspülungen müssen vermieden werden. – Ausreichender Verformungsmodul, Haufwerksfestigkeit, Standfestigkeit und Scherfestigkeit, um Eigenlast und ggf. zusätzliche Lasten aufzunehmen. Zeit- Setzungsverhalten ist bei bindigen Massen zu beachten. Vermeidung von Langzeitsetzungen ggf. durch Verdichtung. – Begrünbarkeit.

Tabelle 2: Bautechnische Anforderungen an RC-Baustoffe bei Verwertung im Tief-, Erd- und Landschaftsbau [8]

Einsatzgebiet	Einbauart		
	Offener Einbau		Geschlossener Einbau
Ungebundene Verkehrsflächen und Wegebau	Z 1.1	Z 1.2 ¹⁾	Z 2
Hinterfüllungen und Aufschüttungen	Z 1.1	Z 1.2 ¹⁾	Z 2

Verfüllungen von Leitungs- und Kanalgräben	Z 1.1	Z 1.2 ¹⁾	Z 2
Unterbau	Z 1.1	Z 1.2 ¹⁾	Z 2
Lärmschutzwälle	Z 1.1	Z 1.2 ¹⁾	Z 2

1) Anwendung setzt hydrogeologisch günstige Verhältnisse voraus, d.h. Schichten mit > 2 m Mächtigkeit aus Ton, Lehm oder Schluff über Grundwasserleiter und erfordert einen Erosionsschutz durch Vegetationsschicht

Tabelle 3: Empfohlene Einsatzgebiete für RC-Baustoffe in Abhängigkeit von deren wasserwirtschaftlichen Parametern nach [9]

4.2 Altholz

Bei der Baustellenabfallsortierung fallen beträchtliche Mengen an Altholz an, das mit unterschiedlichsten Komponenten verunreinigt sein kann. Am häufigsten treten auf:

- Fremdbestandteile aus dem ursprünglichen Einsatzgebiet
- Beschichtungen
- Holzschutzmittel.

Bei Hölzern aus dem Außenbereich muß in der Regel von einer Anwendung von Holzschutzmitteln ausgegangen werden. Bei Hölzern, die im Innenbereich verwendet wurden, ist die Verwendung von Holzschutzmitteln dagegen weniger wahrscheinlich, aber ebenfalls nicht völlig ausgeschlossen. Im Bild 2 wird in Anlehnung an [10] der Versuch einer Klassifizierung unternommen.

Aufgrund der Vielfalt der eingesetzten Mittel ist eine zuverlässige Schnellerkennung kaum möglich. Durch augenscheinliche Begutachtung, Geruchskontrolle und ggf. Schnittkontrolle kann eine Vorauswahl hinsichtlich der möglichen Entsorgungswege bzw. der Notwendigkeit der Beseitigung getroffen werden. Dabei sind folgende Kategorien zu unterscheiden [11]:

- Reines, naturbelassenes Restholz wie Einwegpaletten, Holzspäne, Balken, Bretter, Kisten und Verschnittabfälle von Holzwerkstoffen wie Sperrholz, Spanplatten, verleimtes Holz, Faserplatten melaminharz-beschichtete Hölzer können einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Für diese Abfälle ist ebenso eine energetische Verwertung in Anlagen nach der TA Luft möglich.
- Hölzer, die mit chlororganischen Holzschutzmitteln behandelt sind, und PVC-beschichtete Hölzer können energetisch verwertet werden. Die Verwertung muß in Anlagen, die der 17. BImSchV entsprechen, erfolgen.
- Quecksilberhaltige Hölzer sind von der thermischen Verwertung auszuschließen.

Wegen des dezentralen Anfalls und des vergleichsweise geringen Materialwertes scheint eine dezentrale Verwertung von Altholz geboten. Dafür können zwei Wege beschrritten werden:

- Die energetische Verwertung von Gebrauchtholz stellt eine sinnvolle Möglichkeit der Altholzverwertung dar, insbesondere wenn die erzeugte Energie vor Ort genutzt werden kann. Ein anteiliger Einsatz von belasteten Hölzern ist möglich und muß bereits bei der Anlagengenehmigung und -planung berücksichtigt werden [11,12].
- Die Nutzbarmachung von Altholz bei der Kompostierung ist eine weitere dezentrale Verwertungsvariante, die aber ebenfalls durch die Holzschutzmittelproblematik eingegrenzt wird.

Für die Rückführung von gebrauchtem Holz in den Stoffkreislauf wurden verschiedene, spezifische Verfahren entwickelt. Als Beispiele seien das Verfahren für das Recycling von Span- und Faserplatten aus Möbeln bzw. aus dem Innenausbau, das bereits in der Spanplattenindustrie eingeführt ist [13], und das Verfahren zur Aufbereitung von Altfensterholz [14] genannt. Die Nutzung dieser Verfahren, auch für die Verwertung von Altholz aus Baustellenabfallsortieranlagen, hängt zum einen von technischen Parametern ab. Zum anderen stehen diese Verfahren nur an bestimmten Standorten zur Verfügung, so daß ihre Anwendung die Entwicklung schlüssiger Logistikkonzepte erfordert.

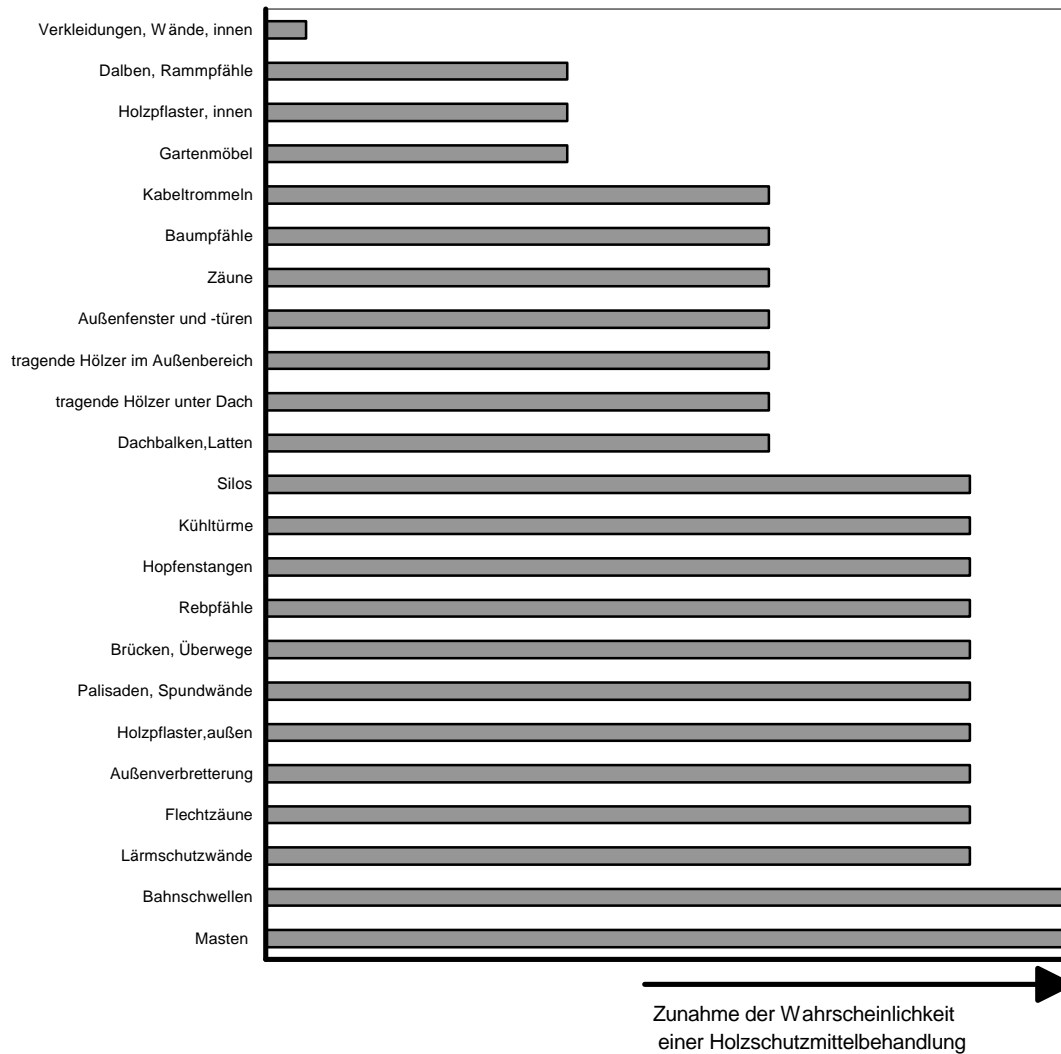


Bild 3: Wahrscheinlichkeit der Holzschutzmittelbehandlung nach Einsatzgebieten und Produkten (in Anlehnung an [10])

4.3 Bestandteile des Sortierrests

Der Sortierrest macht mit ca. 30 % einen beträchtlichen Anteil des Outputs der Sortierung aus (Tabelle 1). Er enthält u.a. Stoffe, die von ihren physikalischen und chemischen Parametern her verwertbar sind, bisher z.T. aber nicht genutzt werden können und deshalb deponiert werden müssen. Im folgenden soll diese Problematik an drei Beispielen demonstriert werden. Dabei werden auch die Ergebnisse einer standortbezogenen Recherche berücksichtigt [7], in der Verwertungswege für Gipskartonplattenabfälle, PVC-Abfälle und Mineralwolleabfälle unter Berücksichtigung regionaler Aspekte aufgezeigt wurden.

Gipskartonplatten

Gipskartonplatten finden aufgrund ihrer Vielseitigkeit, ihrer guten bauphysikalischen Eigenschaften, der einfachen Bearbeitbarkeit und des günstigen Preises insbesondere beim Umbau und bei der Sanierung breite Anwendung. Verschnittabfälle sind ebenso wie ausgebaute Platten Bestandteil des Sortierrests von Baustellenabfällen.

Gipsbaustoffe können als Schulbeispiel für die vollständige Reversibilität eines Baustoffs



dienen (Bild 4). Der Rohstoff Dihydrat wird während der Herstellung zu Halbhydrat und Anhydrit entwässert. Bei der nachfolgenden Verarbeitung zu Gipskartonplatten oder anderen Produkten kommt es zu einer Reaktion zwischen dem Halbhydrat bzw. Anhydrit und dem zugegebenen Wasser, bei der wiederum Dihydrat entsteht. Die Festigkeitsbildung wird durch die dabei gebildeten Kristallstrukturen des $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ bewirkt.

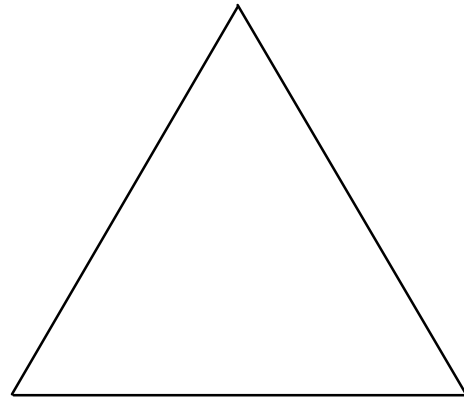


Bild 4: Vereinfachtes Schema des Gipskreislaufes

Die technische Umsetzung des Gipskreislaufes setzt voraus, daß der Gips sortenrein zurückgewonnen wird. Das scheint zumindest für Verschnittabfälle von Gipskartonplatten möglich. Bei gebrauchten Gipskartonplatten sind auch bei aufwendiger Sortierung Verunreinigungen durch Beschichtungen, Tapeeten- und Fliesenreste usw. nicht zu vermeiden.

Bei der Abtrennung des Kartons kann auf verschiedene Varianten zurückgegriffen werden. In [15] wird ein Schneckenzerkleinerer beschrieben. In eigenen Versuchen zur mechanischen Trennung von Karton und Gips wurden eine große Anzahl unterschiedlicher Zerkleinerungsmaschinen getestet [16]. Die zunächst nur qualitativen Untersuchungen zeigten, daß die Zerkleinerung und die erreichbare Trennung von Gips und Karton durch die Beanspruchungsart beeinflusst wird (Tabelle 4). Bei der Grobzerkleinerung ist reine Druckbeanspruchung z. B. im Walzenbrecher sowohl im Hinblick auf das Zerkleinerungsergebnis als auch im Hinblick auf die Trennung des Materialverbundes ungeeignet. Gute Zerkleinerungs- und Trennerfolge werden dagegen mit dem Kegelbrecher bzw. mit dem Hammerbrecher erzielt. Im Kegelbrecher, in dem eine kombinierte Druck- und Scherbeanspruchung wirkt, wird eine großflächige Abtrennung des Kartons von der Gipsoberfläche erreicht.

Brechertyp/ Mühlentyp	Zerkleinerungsergebnis	Trennung des Verbunds Gips - Karton	Anreicherungseffekte
Prallbrecher	unbefriedigend	unbefriedigend	
Walzenbrecher	unbefriedigend	unbefriedigend	
Kegelbrecher	problemlose Zerkleinerung, Gipskorngrößen um 16 mm	gut	keine Anreicherungseffekte in Abhängigkeit von der Korngröße
Hammerbrecher	problemlose Zerkleinerung, Gipskorngrößen um 4 mm	gut	Karton überwiegend > 16 mm, Gips überwiegend < 16 mm
Scheibenmühle	problemlose Zerkleinerung, Gipskorngrößen < 2 mm	gut	Karton überwiegend > 4 mm, Gips überwiegend < 2 mm
Schlagnasen- mühle	problemlose Zerkleinerung, Gipskorngrößen um 2 mm	gut	keine Anreicherungseffekte in Abhängigkeit von der Korngröße
Stiftmühle	problemlose Zerkleinerung, Gipskorngrößen < 2 mm	gut	keine Anreicherungseffekte in Abhängigkeit von der Korngröße
Zahnscheiben- mühle	problemlose Zerkleinerung, Gipskorngrößen < 2 mm	gut	Karton überwiegend > 2 mm, Gips überwiegend < 2 mm
Hammermühle	problemlose Zerkleinerung, Gipskorngrößen < 1 mm	gut	Karton überwiegend > 2 mm, Gips überwiegend < 1 mm

Tabelle 4: Ergebnisse der Zerkleinerung von Gipskartonplatten in unterschiedlichen Brecher- und Mühlentypen

Im Hammerbrecher bzw. in der Hammermühle, in der die Gipskartonplattenstücke durch Prall, Schlag und Scherung beansprucht werden, erfolgte ebenfalls eine Abtrennung des Kartons bei gleichzeitiger Zerkleinerung auf Korngrößen < 4 mm bzw. < 1 mm. Durch eine integrierte Absaugung, die bei der

Fortführung der Untersuchungen installiert wurde [17], konnten die Kartongespinnste direkt während der Zerkleinerung abgesaugt werden.

Die Verwertungswege, die gegenwärtig für Gipsabfälle zur Verfügung stehen, wurden in der standortbezogenen Recherche zusammengestellt [7] und sind in Tabelle 5 im Überblick dargestellt. Die Verwertungswege, die eine Rückführung in den Stoffkreislauf ermöglichen, erfordern einen Materialtransport von 150 km oder mehr und scheiden deshalb vorerst aus. Als dezentrale Variante steht die Kompostierung zur Verfügung. Die einsetzbaren Mengen müssen sich nach den im Kompost einzuhaltenden Grenzwerten für den SO_4^{2-} -Gehalt richten.

	Anforderungen an die Sortenreinheit
Rückführung in den Stoffkreislauf	
• Herstellung von Anhydrit, α - oder β -Halbhydrat	+
• Verwertung als Rohstoffkomponente bei der Porenbetonherstellung	+++
• Verwertung als Rohstoffkomponente im Gips-Schwefelsäure-Verfahren	keine Angabe
Verwertung zur Haldenabdeckung	+
Anwendung in der Kompostierung	++

+ gering, ++ mittel, +++ hoch

Tabelle 5: Verwertungswege für Gipsabfälle und Anforderungen an die Sortenreinheit

PVC-Abfälle

Auch hier ist von den chemischen und physikalischen Grundlagen her die Verwertbarkeit gegeben. Nach der Stufe, auf die der Kunststoffabfall zurückgeführt wird, kann zwischen rohstofflichem und werkstofflichem Recycling unterschieden werden:

- Rohstoffliches Recycling bedeutet Rückführung in den Ausgangsrohstoff, bei Kunststoffen z.B. in Öl oder Paraffin.
- Werkstoffliches Recycling bedeutet Rückführung in das ursprüngliche Produkt durch Aufbereitung. Aus Kunststoffprofilen werden wieder Kunststoffprofile oder andere Plastikprodukte, indem die Abfälle zum Teil aufwendig aufbereitet werden.

Als Beispiel für die werkstoffliche Nutzung kann das Recycling von PVC-Fensterprofilen genannt werden. Verschnittabfälle und gebrauchte Fenster werden einem Aufbereitungsprozeß unterzogen, der eine Zerkleinerung und mehrere Sortierstufen umfaßt. Das erzeugte Granulat wird am Ende des Prozesses einer Schmelzfiltration unterzogen, um Fremdbestandteile sicher abscheiden zu können [18,19].

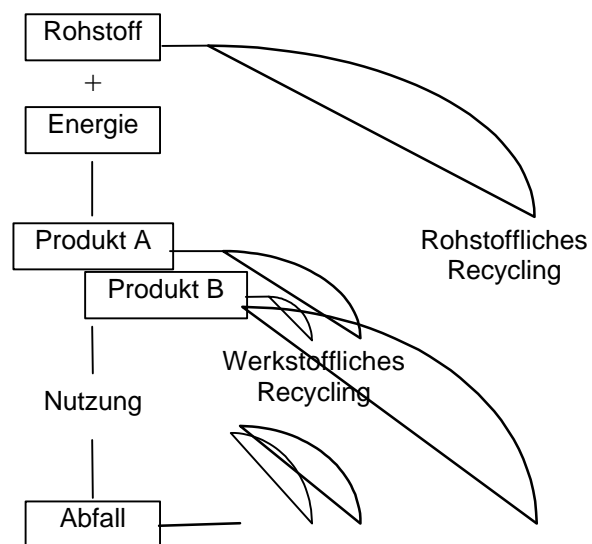


Bild 5: Stoffliche Abfallverwertung mit unterschiedlichen Rückführvarianten

Für die Verwertung von aus Baustellenabfällen aussortierten PVC-Dachrinnenabfällen konnten in der Studie mehrere potentielle Verwerter nachgewiesen werden. Die Annahmebedingungen der Verwerter -es werden fremdkörperfreie, grobgereinigte bis saubere, z.T. auch auf bestimmte Maße abgelängte Abfälle verlangt - scheinen erfüllbar, so daß die Transportentfernung wichtigstes Entscheidungskriterium für die Auswahl wird.

Mineralfaserabfälle

Für Steinwolle- und Glaswolleabfälle besteht die Möglichkeit der Rückführung in das ursprüngliche Produkt. An verschiedenen Herstellungsstandorten wird bereits mit produktionsinternen Kreisläufen gearbeitet [20,21]. Der Öffnung dieser Kreisläufe auch für Abfälle aus Bauschuttsortieranlagen steht der kaum vermeidbare Gehalt an Fremdbestandteilen und die Notwendigkeit, die chemische Zusammensetzung durch Analysen zu dokumentieren, entgegen.

Ein alternativer Verwertungsweg für Mineralwolleabfälle besteht im Einsatz als Rohstoffkomponente bei der Ziegelherstellung [22]. Dazu wird das Material einer zweistufigen Zerkleinerung zugeführt. Durch eine Siebung werden grobe Fremdbestandteile wie Kunststoffe und Metalle abgetrennt. Das Mineralfaserpulver kann als Rohstoffkomponente bei der Herstellung von Vor- und Hintermauerziegeln, Klinkermauerziegeln und Steinzeugrohren eingesetzt werden.

5. Fazit

Infolge der zunehmenden Bauleistungen, die im Gebäudebestand zu erbringen sind, ist ein Anstieg des Aufkommens an Baustellenabfällen zu erwarten. Damit bleibt die Baustellenabfallsortierung eine wichtige Komponente für die Durchsetzung der Kreislaufwirtschaft am Bau.

Die Sortierung von Baustellenabfällen wird an Einzelstandorten mit durch die Transportkosten begrenzten Einzugsgebieten durchgeführt. Bei der Verwertung sind deshalb zum einen dezentrale, dieser Struktur entgegenkommende Einsatzgebiete zu bevorzugen. Die Nutzung bestimmter Komponenten für die Kompostierung ist hierfür ein mögliches Beispiel. Zum anderen müssen erweiterte technologische Konzepte entwickelt werden, die eine Verarbeitung der sortierten Abfälle zu anforderungsgerechten Sekundärrohstoffen ermöglichen, damit die Recyclingindustrie in der Zukunft die Rolle des Rohstofflieferanten übernehmen kann.

Literatur

- [1] FLECKENSTEIN, K.; BILLEK, B.: BARTNIK, D.
Nachfrage nach mineralischen Baurohstoffen-Handlungsstrategien bei schrumpfender Marktentwicklung.
Kolloquium 5 des BHT 1999 an der TU Bergakademie Freiberg.
- [2] SUBBE, K.
Baustellenentsorgung nach Plan. Beratende Ingenieure, (1999), Mai, S. 62- 65.
- [3] KOHLER, G.
Recyclingpraxis Baustoffe. Verlag TÜV Rheinland, Köln 1994.
- [4] Bericht zur Entwicklung der Umwelt in Thüringen 1999. Zahlen, Daten, Fakten. Thüringer Landesanstalt für Umwelt, Jena 1999.
- [5] LANGER, H.-P.
Erste Erfahrungen mit einer Anlage zur überwiegend maschinellen Sortierung gemischter Baustellenabfälle. MÜLL und ABFALL (1990), H. 4, S. 197-211.
- [6] HORTSCH, A.
Recyclingplatz für mineralische Baustoffe. Studienarbeit, Bauhaus-Universität Weimar,

Dezember 1996.

- [7] HUTTERER, J.
Anforderungen und Verwertung von Baustellenabfällen nach der Sortierung. Studienarbeit, Bauhaus-Universität Weimar, April 1999.
- [8] Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil Wiederverwendung von Baustoffen.
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Köln, Arbeitsgruppe "Mineralstoffe im Straßenbau", Ausgabe 1985.
- [9] Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen.
Technische Regeln, September 1994, Herausgeber Länderarbeitsgemeinschaft Abfall LAGA.
- [10] Altholzverwertung - die neuen Möglichkeiten. Markt und Technologiestudie.
UDZ Verlags- und Beratungs GmbH, 1997.
- [11] MARUTZKY, R.; STRECKER, M.
Moderne Feuerungstechnik. Umwelt 29 (1999), Nr. 1/2, S. 56-59.
- [12] SEEGER, K.
Innovatives Konzept zur Altholzverwertung. Umwelt 27(1997), Nr.1/2, S. 45-47.
- [13] Gekochte Spanplatte. Umweltmagazin (1998), Feb., S. 46-47.
- [14] Aufbereitungs- und Reinigungsverfahren für Altfenster aus Holz. WKI-Jahresbericht 1997, S. 40.
- [15] HUMMEL, H.-U.
Von der Platte zur Platte. UmweltMagazin (1999), März, S.53.
- [16] LANDER, S.
Zerkleinerung und Fremdbestandteilabtrennung von Gipsbaustoffen als Voraussetzung für die Wiederverwertung. Studienarbeit, Bauhaus-Universität Weimar, August 1997.
- [17] MARTHE, F.
Zerkleinerung von Gipskartonplatten und Sortierung der Bestandteile. Diplomarbeit, Bauhaus-Universität Weimar, Juni 1999.
- [18] SCHADHAUSER, E.; SCHERRER, S.
PVC-Altfensterrecycling in der Praxis. Deutsche Bauzeitschrift (1995), H. 11.
- [19] BERNDTSEN, N.
Die Fenster-Recycling-Initiative FREI - ein Erfahrungsbericht. 14. Symposium Recycling-Baustoffe, Dresden 1998.
- [20] Großanlage für Glaswolle-Recycling. Beratende Ingenieure, (1997), Februar, S. 6.
- [21] KNOPF, U.
Kreislaufprozesse und Produktinnovationen bei Mineralwolle. 7. Fachtagung über Abfall- und Sekundärrohstoffwirtschaft, Weimar 1999.
- [22] PSCHANTKA, S.
Stoffliche Verwertung von Mineralfaserabfällen. 14. Symposium Recycling-Baustoffe, Dresden 1998