

Entwurf zum Kapitel „Aufbereitung von Bauabfällen“. Fragen, Anmerkungen und Ergänzungen an [anette.mueller@abw-recycling.de](mailto:anette.mueller@abw-recycling.de) oder [anette-m.mueller@uni-weimar.de](mailto:anette-m.mueller@uni-weimar.de)

- 4 Aufbereitung von Bauabfällen
  - 4.1 Zerkleinerung
    - 4.1.1 Grundbegriffe
    - 4.1.2 Funktionsweise und Parameter von Backen- und Prallbrechern
    - 4.1.3 Auswirkungen der Zerkleinerung
  - 4.2 Siebklassierung
    - 4.2.1 Grundbegriffe
    - 4.2.2 Bauarten von Siebmaschinen
    - 4.2.3 Auswahl der geeigneten Siebmaschine
  - 4.3 Sortierung
    - 4.3.1 Grundbegriffe
    - 4.3.2 Trockene Dichtesortierverfahren
    - 4.3.3 Nasse Dichtesortierverfahren
    - 4.3.4 Metallsortierung
    - 4.3.5 Sensorgestützte Sortierung
- 5 Recyclinganlagen
  - 5.1 Mobile Anlagen
  - 5.2 Stationäre Anlagen
  - 5.3 Anlagen zur Sortierung von gemischten Bauabfällen

## 4 Aufbereitung von Bauabfällen

Die Aufbereitung hat die Aufgabe, aus dem Sekundärrohstoff Bauabfall einen Recycling-Baustoff mit definierten Eigenschaften zu erzeugen. Das betrifft zum einen die Partikelgrößenzusammensetzung, die den Anforderungen entsprechen muss, die für das jeweilige Einsatzgebiet gelten. Zum anderen müssen die Materialzusammensetzung und bestimmte physikalische Merkmale eingehalten werden, insbesondere wenn die Gesteinskörnung im klassifizierten Straßenoberbau oder im Betonbau angewendet werden soll.

Die Qualität der erzeugten Recycling-Baustoffe hängt von dem jeweiligen Ausgangsmaterial und der eingesetzten Aufbereitungstechnologie ab. Bei homogenem Ausgangsmaterial kann mit einem geringen technologischen Aufwand ein qualitätsgerechter Recycling-Baustoff erzeugt werden. Ist das Ausgangsmaterial sehr heterogen, muss der Aufbereitungsprozess deutlich aufwändiger sein, um dieses Ziel zu erreichen. Die für die Bauschutttaufbereitung zu wählende Technologie wird also durch die Merkmale des Ausgangsmaterials und die angestrebte Produktqualität bestimmt.

Die Grundoperationen der Verfahrenstechnik, die für die Bauabfallaufbereitung genutzt werden, sind in Tabelle 4- 1 zusammengestellt. Darüber hinaus ist es erforderlich, dass Material zu lagern und zu fördern. Werden spezielle Baustoffgemische hergestellt, müssen zusätzliche Aggregate zur Dosierung und Mischung vorhanden sein. Weitere Verfahrensschritte bei der Bauabfallaufbereitung sind die Entstaubung der Abluftströme sowie die Entwässerung der Produkte und die Aufbereitung des Prozesswassers, sofern nasse Sortierverfahren zum Einsatz kommen.

Tabelle 4- 1: Grundoperationen bei der Bauschutttaufbereitung und deren Ziele

Grundoperation	Ziele beim Bauschuttrecycling
Zerkleinern Zerteilen eines Festkörpers durch Einwirken mechanischer Kräfte bis zum Bruch	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herabsetzung der oberen Korngröße</li> <li>- Erzeugung bestimmter Korngrößenverteilungen</li> <li>- Aufschließen von „Verwachsungen“, d.h. dem Freilegen der Einzelkomponenten aus Stoffverbunden</li> </ul>
Klassieren Trennung eines körnigen Haufwerks nach geometrischen Abmessungen in Kornfraktionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begrenzung der oberen Korngröße</li> <li>- Erzeugung bestimmter Korngrößenverteilungen für die nachfolgende Verwertung</li> <li>- Abtrennen von Grobanteilen zum Schutz nachgeschalteter Brecher vor Überlastung und Beschädigung</li> <li>- Abtrennen von Feianteilen zur Entlastung von Zerkleinerungsanlagen, zum Schutz vor Verschleiß, zum Vermeiden von Verstopfungen</li> <li>- Vorbereitung der Sortierung, wenn diese nur bei engem Körnungsband möglich ist</li> <li>- ggf. Sortierung selbst, wenn in bestimmten Kornfraktion, bestimmte Stoffe angereichert sind</li> </ul>
Sortieren Trennen eines Materialgemisches nach Stoffarten unter Nutzung physikalischer Merkmale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entfernung von Schad- und Störstoffen</li> <li>- Trennung von gemischten Bauabfällen in ihre mineralischen Bestandteile</li> </ul>

Die Aufbereitung von Bauabfällen kann in mobilen oder stationären Anlagen erfolgen. Bei der einfachsten technologische Variante, wie sie in mobilen Anlagen realisiert wird (Bild 4- 1 links), wird das Aufgabematerial zunächst durch

Vorabsiebung in zwei Fraktionen getrennt. Das Grobgut wird dem Brecher zugeführt und zerkleinert. Ein nach dem Brecher angeordneter Überbandmagnet entfernt die Eisenteile. Als Produkte entstehen bei dieser Aufbereitungstechnologie das so genannte Vorsiebmaterial und der eigentliche Recycling-Baustoff. Das Vorsiebmaterial besteht aus den wenig festen Bestandteilen der Bauabfälle und aus Bodenpartikeln. Die Zusammensetzung des Recycling-Baustoffs entspricht im Wesentlichen der des Aufgabematerials, da mit dieser Variante ist nur die Korngröße beeinflussbar und eine direkte Einflussnahme auf den Materialbestand nicht möglich ist.

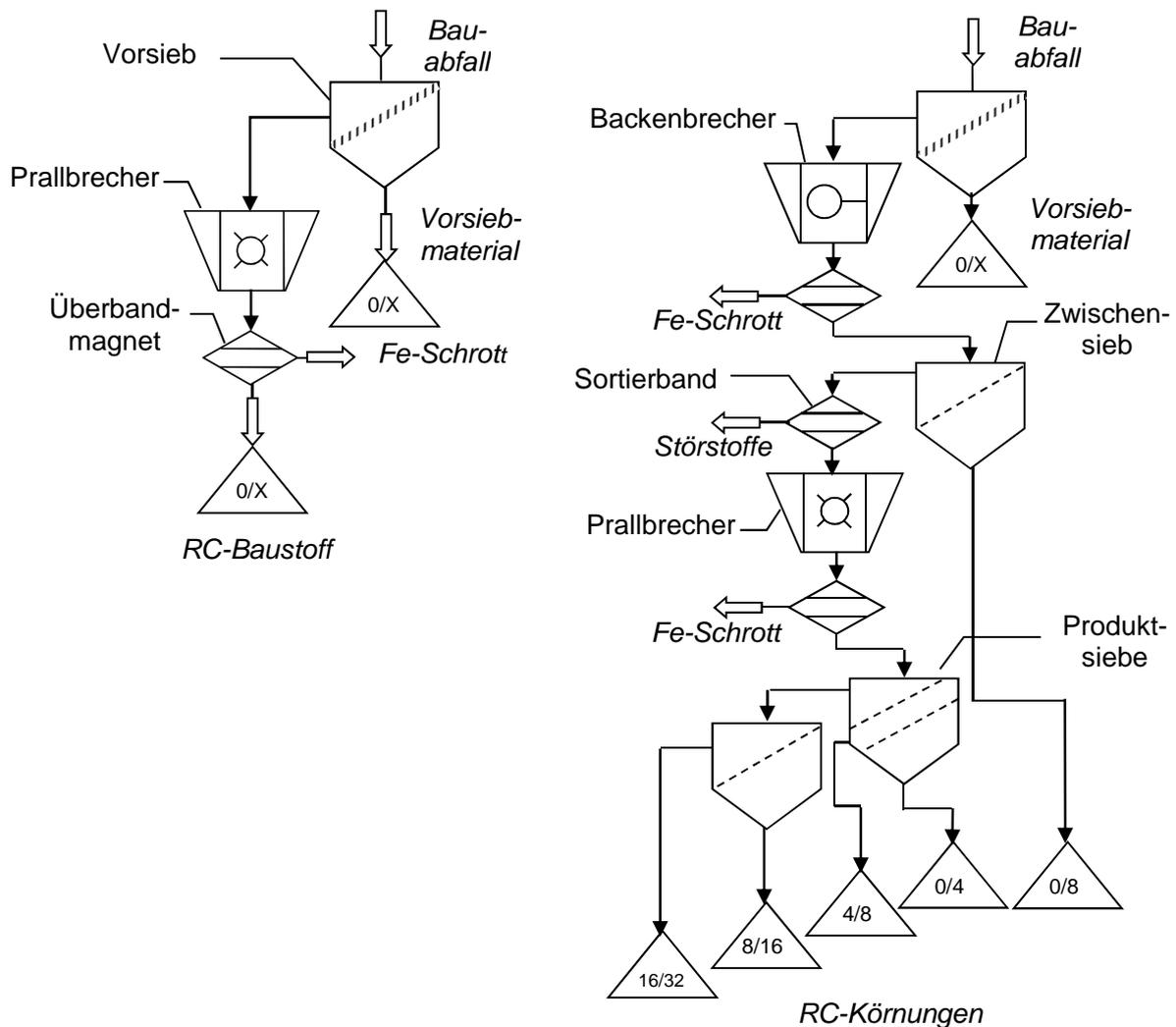


Bild 4- 1: Vereinfachte Verfahrensfliessbilder einer mobilen Aufbereitungsanlage für mineralische Bauabfälle (links) und einer stationären Aufbereitungsanlage (rechts) [1][2]

Anspruchsvollere Technologien für die Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen sind in stationären Anlagen realisierbar. Als Beispiel ist im Bild 4- 1 rechts eine Technologie mit den folgenden, zusätzlichen Aufbereitungsschritten dargestellt:

- Zweistufige Zerkleinerung: Prallbrecher im Anschluss an einen Backenbrecher
- Aussortieren von Störstoffen am Sortierband
- Herstellung von Korngruppen mittels Vibrationssiebung.

Zusätzlich zu der händischen Sortierung können in stationären Anlagen Sortierprozesse in den Verfahrensablauf integriert werden. Durch eine Windsichtung lassen sich leichte Störstoffe abscheiden. Eine Nasssortierung ermöglicht die Trennung eines Baustoffgemisches nach der Dichte. Eine Beeinflussung des Materialbestandes ist somit möglich.

Das Sortiment an Recycling-Baustoffen umfasst nach der Partikelgröße eingeteilte Recycling-Gesteinskörnungen und Korngemische, bei denen die gleichen Siebschnitte wie bei natürlichen Gesteinskörnungen gelten. Werden die Recycling-Baustoffe mit anderen Gesteinskörnungen gemischt, wird von RC-Gemischen gesprochen. Zusätzlich entsteht bei der Aufbereitung das Vorsiebmaterial, das allerdings nicht in die Kategorie der Baustoffe eingeordnet werden kann.

Tabelle 4- 2: Einteilung von rezyklierten Gesteinskörnungen und RC-Gemischen nach der Partikelgröße

	Definition	Beispiele für Korngruppen [mm]
Rezyklierte bzw. Recycling-Gesteinskörnungen		
Feine Gesteinskörnungen	$D \leq 4 \text{ mm}$	0/1 0/2 0/4
Grobe Gesteinskörnungen	$d \geq 2 \text{ mm}$ $D \geq 4 \text{ mm}$	2/8 4/8 8/16 16/32 4/32 8/22
Korngemische	$d = 0$ $D \leq 45 \text{ mm}$	0/22 0/32
RC-Gemische aus RC-Baustoffen und natürlichen und/oder industriell hergestellten Gesteinskörnungen		
Feine Gesteinskörnungen Grobe Gesteinskörnungen Korngemische	Partikelgrenzen analog zu Recycling-Gesteinskörnungen	
D: Maximaler Partikeldurchmesser d: Minimaler Partikeldurchmesser		

Mit den Lieferkörnungen beispielsweise 8/16 mm und 16/31,5 mm können spezielle Anwendungsgebiete wie die Betonherstellung bedient werden. Die Korngemische, die entweder ausschließlich aus Rezyklaten bestehen oder auch Gesteinskörnungen anderer Herkunft enthalten können, sind im Straßen- und Wegebau anwendbar. Die RC-Brechsande lassen sich als Pflastersande oder zum Verfüllen von Kabelkanälen einsetzen. Der RC-Schotter, worunter sehr grobe Recycling-Gesteinskörnungen verstanden werden, eignet sich zur Untergrundverbesserung.

## 4.1 Zerkleinerung

### 4.1.1 Grundbegriffe

#### *Zerkleinerung*

Die Zerkleinerung ist die Fragmentierung eines Festkörpers durch Einwirken mechanischer Kräfte. Dazu müssen die Bindungskräfte in seinem Inneren überwunden werden, damit Risse entstehen, die sich dann durch den Feststoff ausbreiten. Das Ergebnis ist eine gegenüber dem Ausgangszustand größere Partikelanzahl, eine Reduzierung der Partikelabmessungen und eine Zunahme der spezifischen Oberfläche.

#### *Bruchvorgänge*

Der Bruch eines Festkörpers tritt ein, wenn sowohl bestimmte Kraft- als auch Energiebedingungen erfüllt sind. Die Kraftbedingungen bestehen darin, dass die örtlichen Zug- oder Scherspannungen größer als die Bindungskräfte sein müssen. Für die Energiebedingung gilt, dass die Oberflächenenergie der neu entstehenden Bruchflächen aus der elastischen Verformungsenergie gedeckt werden muss. Die Energiebedingung bildet eine der Grundlagen der Bruchmechanik, die sich mit der Rißentstehung und –ausbreitung in Festkörpern beschäftigt. Auf der Basis einer Energiebilanz mit dem Spannungsfeld als Energiequelle und den Bruchflächen als Energiesenke entwickelte Griffith 1920 eine Gleichung zur Bestimmung der theoretischen Bruchfestigkeit, die unabhängig davon gilt, ob ein Bruch erzeugt werden soll, wie es bei der Zerkleinerung der Fall ist, oder ob ein Versagen verhindert werden soll, wie es bei Bauwerken erforderlich ist. In späteren Überlegungen und Untersuchungen wurde von Rumpf [3] die Energiebilanz um zusätzliche Quellen- und Senkenterme erweitert. Damit wurde dem Sachverhalt Rechnung getragen, dass die elastische Verformungsenergie nur zu einem geringen Teil in Oberflächenenergie der Bruchflächen umgesetzt wird. Ein Großteil geht in mikroplastischen Verformungen und weiteren Vorgängen verloren.

Der eigentliche Bruchvorgang wird durch die Beanspruchung des Partikels mit Hilfe des Zerkleinerungswerkzeugs ausgelöst. Übersteigt die dadurch erzeugte Spannung eine materialabhängige Grenze kommt es zur Rissentstehung. Ausgangspunkt für Risse sind dabei die in realen Feststoffen immer vorhandenen Inhomogenitäten, die zum einen eine Schwächung der Struktur bewirken und zum anderen lokale Spannungsüberhöhungen verursachen. Bei spröden Materialien folgt eine Rissausbreitung mit Schallgeschwindigkeit bis zum plötzlichen Bruch, ohne dass vorher eine sichtbare Verformung stattgefunden hat. Voraussetzung ist, dass weiter genügend Energie nachgeliefert wird. Anderenfalls bleibt der Bruch stehen. Die Folge sind Anrisse im Material aus unvollendeten Bruchvorgängen. Im Unterschied dazu treten bei Materialien mit duktilem Verhalten zunächst starke plastische Verformungen auf, bevor es zum Bruch kommt. Glas sowie vereinfachend auch Ziegel und Beton sind den spröden Werkstoffen zuzurechnen, während Metalle und Baustähle Werkstoffe mit hoher Duktilität sind. Beim Abbruch von Stahlbetonbauwerken kann mit einer Druckbeanspruchung nur der Beton zerkleinert werden. Der Bewehrungsstahl übersteht diese Beanspruchung und wird lediglich verformt. Er kann nur mit einer Schneidbeanspruchung, wie sie mit hydraulischen Scheren realisiert wird, zerkleinert werden.



Bild 4- 2: Rest eines rückgebauten Stahlbetonschonsteins mit zerkleinertem Beton und verformtem Bewehrungsstahl

Der Bruchflächenverlauf ist ausschlaggebend für die Partikelgrößenverteilung des Zerkleinerungsprodukts. Bei spröden Materialien entstehen neben groben Bruchstücken immer auch feine Partikel. In der schematischen Darstellung im Bild 4- 3, die anhand der Prallzerkleinerung von Glaskugeln entwickelt wurde, treten vier Partikelgrößen nebeneinander auf. Modellversuche, bei welchen Betonkugeln mit einem Durchmesser von 150 mm mit einer bestimmten Geschwindigkeit gegen eine Prallplatte geschossen wurden, bestätigten diesen Bruchflächenverlauf. Im Histogramm der Partikelanteile (Bild 4- 4) treten vier Maxima auf, die den verschiedenen Partikelspezies zugeordnet werden können.

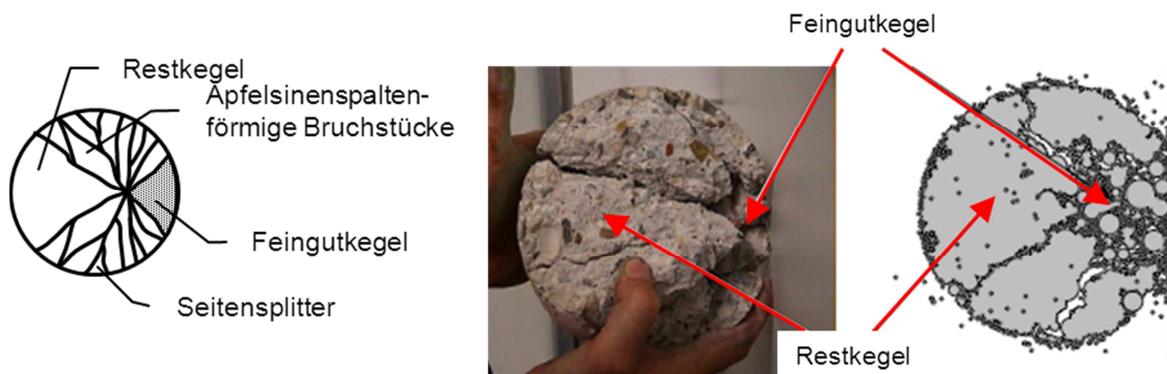


Bild 4- 3: Bruchflächenverlauf bei der Prallbeanspruchung einer Glas- bzw. einer Betonkugel

Links: Schematischer Bruchflächenverlauf einer Glaskugel, nachgezeichnet nach Rumpf [4]

Mitte: Bruchflächen in einer Betonkugel bei einer Beanspruchungsgeschwindigkeit von 15 m/s, rechts: Simulation der Zerkleinerung [5]

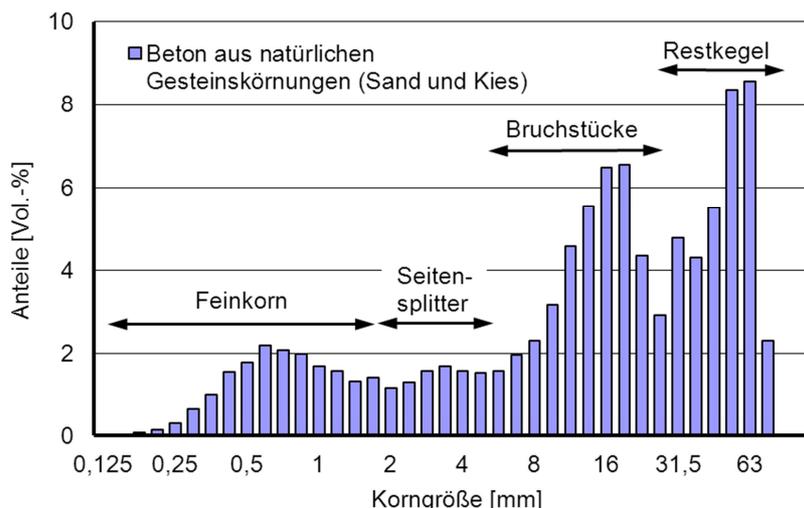


Bild 4- 4: Anteile der durch die Prallzerkleinerung einer 150 mm- Betonkugel erzeugten Partikel unterschiedlicher Größe [6]

### Beanspruchungen

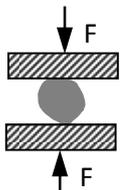
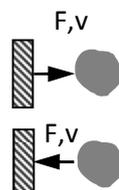
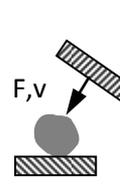
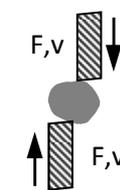
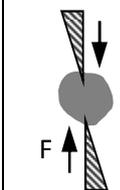
In technischen Zerkleinerungsaggregaten werden je nach Bauart unterschiedliche Beanspruchungsarten und –intensitäten realisiert. Auswahlkriterien für die jeweils geeignete Beanspruchungsart sind das Verformungsverhalten sowie die Festigkeit und Härte des zu zerkleinernden Materials. Die angestrebte Produktfeinheit ist ausschlaggebend für die erforderliche Beanspruchungsintensität. Im Falle der Bauschutttaufbereitung dominiert die Grobzerkleinerung in Brechern. Dabei enthält das Ausgangsmaterial verschiedene Materialarten, die unterschiedliche Zerkleinerungseigenschaften aufweisen, wie Beton, Mörtel, Mauerwerksbaustoffe und Naturstein als Hauptbestandteile sowie Dämmstoffe, Holz, Kunststoffe, Bitumen, Bewehrungsstahl und NE-Metalle als Nebenbestandteile. Zwischen diesen Stoffen treten beispielsweise folgende Unterschiede auf

- Verformungsverhalten: Glas → spröde, Metall → duktil, Dichtungsmaterial → gummielastisch
- Druckfestigkeit: Dämmstoffe → 0 N/mm<sup>2</sup>, Leichtziegel, Porenbeton → 2 N/mm<sup>2</sup>, Beton → 100 N/mm<sup>2</sup>
- Zugfestigkeit: Mineralische Baustoffe → 0 N/mm<sup>2</sup>, Baustahl → 800 N/mm<sup>2</sup>, Spannstahl → 2000 N/mm<sup>2</sup>
- Härte: Gleisschotter → hart, Betonbruch, Mauerwerksabbruch → mittelhart, Kalkmörtel, Gipsputz → weich

Die Zusammenstellung in Tabelle 4- 3 zeigt die Stoffeigenschaften und die jeweils für die Zerkleinerung geeigneten Beanspruchungsarten. Mineralische Bauabfälle wie Beton, Ziegel und mineralisch gebundene Wandbaustoffe, Gesteinskörnungen, die ein näherungsweise elastisches Verformungsverhalten aufweisen, sowie Glas und Keramik, können mittels Druck-, Prall oder Schlagbeanspruchungen zerkleinert werden. Für nichtmineralische Abfälle mit inelastischem Verformungsverhalten kann die Zerkleinerung durch Scher- und Schneidbeanspruchungen erfolgen. Metalle als duktile Materialien müssen durch Scheidbeanspruchungen zerkleinert werden. Da sich die Auswahl der geeigneten Beanspruchungsart und –intensität nach den Hauptbestandteilen richten muss, kann nicht vermieden werden, dass bestimmte Bestandteile die Beanspruchung unzerkleinert oder nur verformt „überstehen“,

während andere wiederum zu stark zerkleinert werden. Diese Effekte sind besonders bei im Backenbrecher zerkleinertem Bauschutt zu beobachten (Bild).

Tabelle 4- 3: Überblick über Materialverhalten und Beanspruchungsarten bei der Bauschuttaufbereitung

Stoffeigenschaften	Beanspruchungsart  Beispiel	Druck	Prall	Schlag	Scherung	Schnitt
						
Spröde	Glas, Keramik	++	++	++	-	-
Duktil	Metalle	-	-	-	+	++
Hart	Gesteinskörnungen in Asphalt und Beton	++	++	+	-	-
mittel-hart	Beton, Wandbaustoffe	++	++	++	-	-
Weich	Bodenbestandteile, Holz, Thermoplasten,	+	++	+	++	++
Faserig	Holz, Papier, Pappe, Textilien	-	+	+	+	++
wärmeempfindlich	Asphalt	-	++	-	-	-
	Thermoplasten	-	++	-	-	+
		F: Kraft v: Geschwindigkeit		++ gut geeignet + bedingt geeignet - nicht geeignet		

### Partikelgrößenverteilungen

Durch die Zerkleinerung von Bauabfällen entstehen polydisperse Partikelkollektive, in welchen Partikel mit Größen vom Mikro- bis in den Dezimeterbereich in unterschiedlichen Anteilen nebeneinander vorliegen. Die Charakterisierung dieser Kollektive erfolgt mit Hilfe von Partikelgrößenverteilungen. Die Verteilungen können als Verteilungssumme  $Q_3$  oder als Verteilungsdichte  $q_3$  angegeben werden. Der Index 3 zeigt an, dass es sich um massebezogene Verteilungen handelt. Die Verteilungssumme entspricht der Siebdurchgangslinie, die aus den durch Siebung ermittelten Massenanteilen der einzelnen Kornklassen hervorgeht. Die Verteilungsdichte ist der Differentialquotient der Verteilungssumme. Näherungsweise kann die Verteilungsdichte als Differenzenquotient aus den relativen Häufigkeiten der einzelnen Kornklassen, die in einem Histogramm dargestellt werden können (Bild 4-5), und der jeweiligen Klassenbreite berechnet werden. Nur im Falle sehr enger Kornklassen ist der Differenzenquotient mit der Verteilungsdichte näherungsweise identisch.

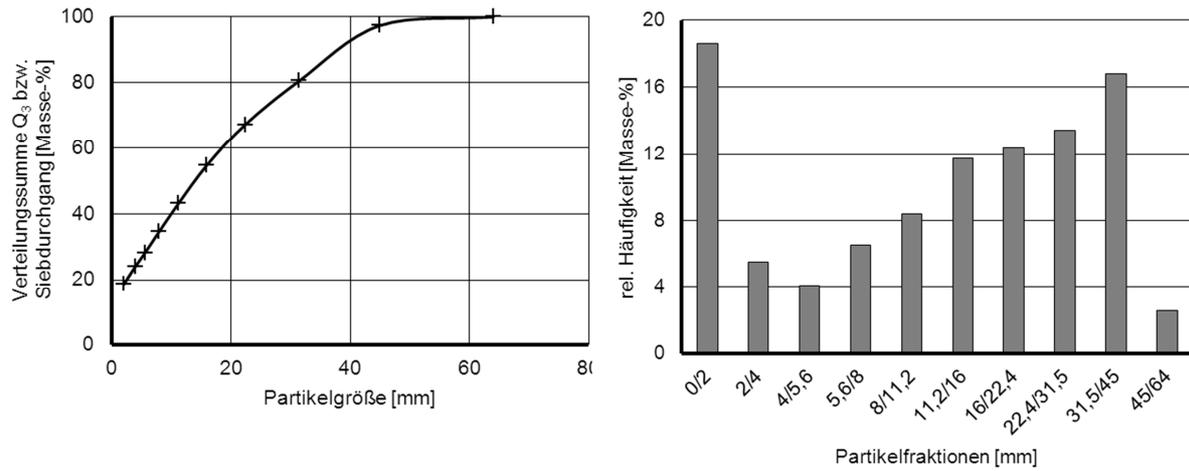


Bild 4- 5 Verteilungssummenkurve bzw. Siebdurchgangslinie (links) und relative Häufigkeiten der Partikelfractionen (rechts) eines RC-Baustoffs 0/45 mm

In dem für Brechprodukte relevanten Grobkornbereich kann die analytische Beschreibung der Siebdurchgangslinien mit Hilfe der Verteilungsfunktion nach Gates, Gaudin und Schuhmann, kurz GGS-Verteilung erfolgen:

$$Q_3 = \left( \frac{x}{x_{max}} \right)^m$$

mit  $x$ : Korngröße  
 $x_{max}$ : Größtkorn des Partikelkollektivs  
 $m$ : Gleichmäßigkeitsparameter

Die im Bild 4- 6 dargestellten Siebdurchgangslinien von RC-Baustoffen lassen sich mit GGS-Verteilungen mit  $x_{max}= 56$  mm und  $m = 0,55$  im größeren Bereich sowie  $x_{max}= 32$  mm und  $m = 0,4$  im feineren Bereich umschließen.

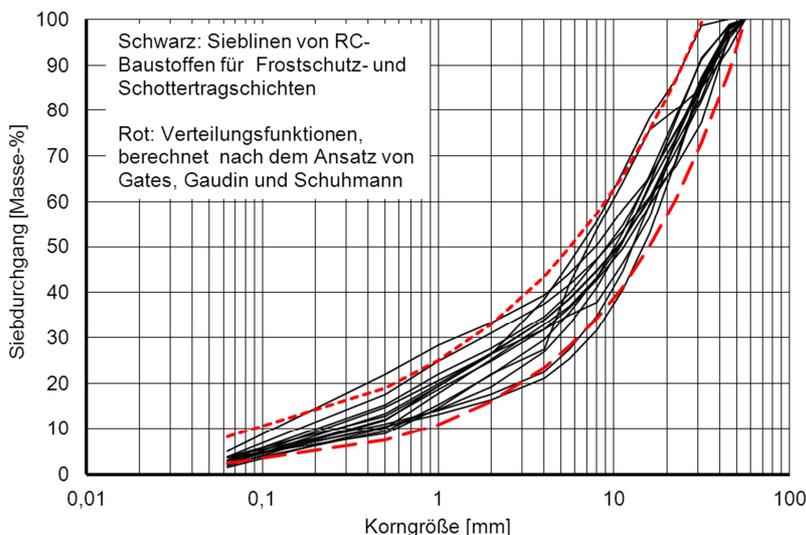


Bild 4- 6: Siebdurchgangslinien von RC-Baustoffen und berechnete GGS-Verteilungsfunktionen

Aus den Sieblinien von Aufgabematerial und Produkt kann das Zerkleinerungsverhältnis  $n$  als Kennwert für die bei der Zerkleinerung erreichte Korngrößenreduktion ermittelt werden. Es ist der Quotient aus einer charakteristischen Korngröße des Aufgabematerials zu der des Produkts:

$$n = \frac{\text{Aufgabekorngröße}}{\text{Produktkorngröße}}$$

mit *mittlere Korngröße oder Korngröße bei 80 % Siebdurchgang als Aufgabekorngröße und mittlere Korngröße oder Korngröße bei 80 % Siebdurchgang als Produktkorngröße*

### Zerkleinerungsarbeit

Die für die Zerkleinerung benötigte technische Zerkleinerungsarbeit wird nur zu einem sehr geringen Teil zur Erzeugung neuer Oberflächen als eigentlichem Ziel der Zerkleinerung genutzt. Vielmehr müssen entlang der Gesamtenergieflusskette (Bild 4- 7) zum einen die nur indirekt mit der Zerkleinerung in Zusammenhang stehenden Verluste des Motors, des Getriebes und des Brechers ohne Materialdurchlauf aufgebracht werden. Zum anderen müssen die direkt mit der Zerkleinerung in Zusammenhang stehenden Prozesse, die von Verformungen bis zur Schallwellenentstehung und –ausbreitung reichen, gedeckt werden.

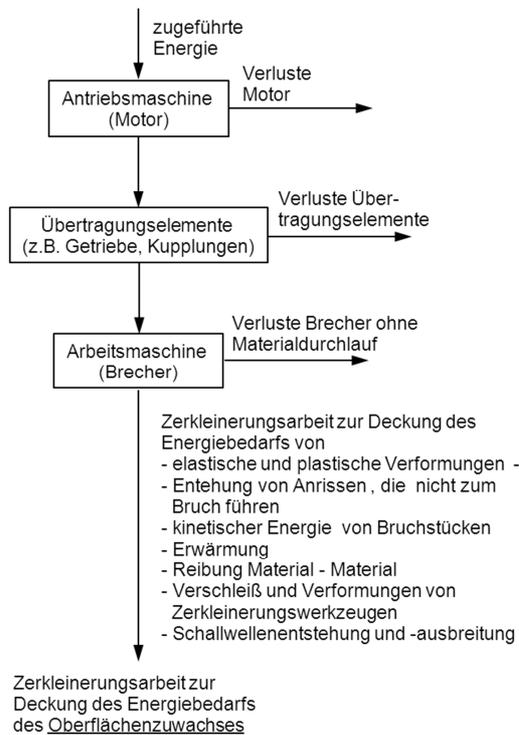


Bild 4- 7: Energieflusskette für die Grobzerkleinerung in einem Brecher

Die Nutzarbeit zur Erzeugung neuer Oberflächen beträgt weniger als 1 % der insgesamt aufgebrauchten technischen Zerkleinerungsarbeit. Anhand der Ergebnisse von Modellversuchen zur Prallzerkleinerung von Betonkugeln unterschiedlicher Zusammensetzung kann das Verhältnis von eingetragener Energie und erreichtem Zuwachs der Oberflächenenergie beispielhaft deutlich gemacht werden (Bild 4- 8). Die erreichte Zunahme der Oberflächenenergie beträgt weniger als 0,1 % der aufgewandten kinetischen Energie.

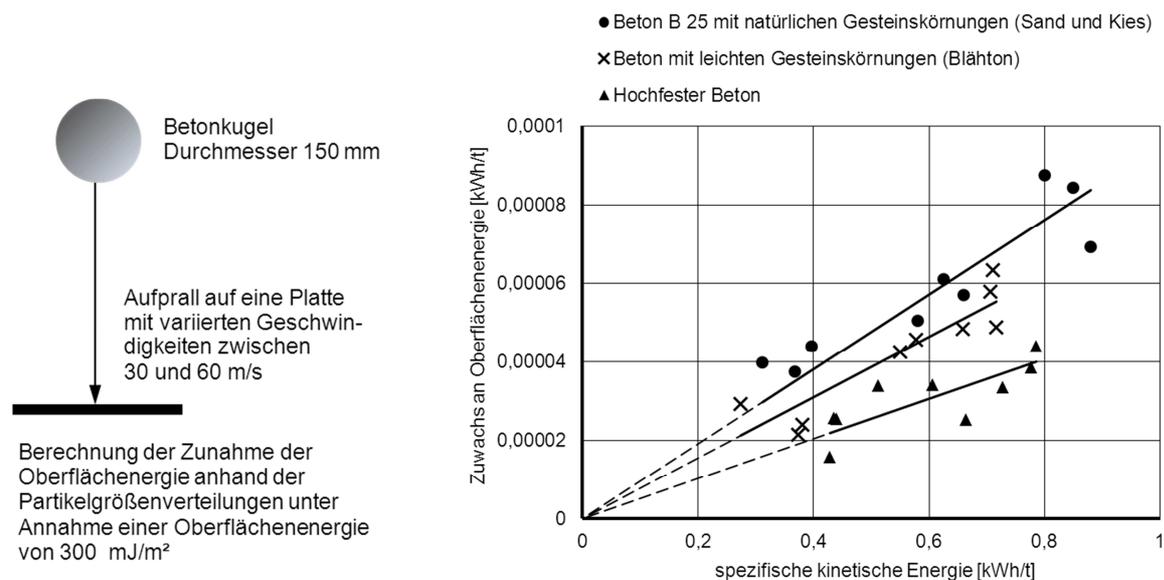


Bild 4- 8: Zuwachs an Oberflächenenergie in Abhängigkeit von der kinetischen Energie bei Prallversuchen mit Betonkugeln entsprechend dem links dargestellten Schema [6]

Die technische Zerkleinerungsarbeit und die erforderliche Antriebsleistung kann mit Hilfe der empirischen Beziehung von Bond und Wang für unterschiedliche Materialhärten in Abhängigkeit von den Partikelgrößen des Aufgabematerials und des Produkts abgeschätzt werden:

$$W = c_{BW} \left( \frac{\sqrt{x_{A80}/x_{P80}}}{x_{P80}} \right)^{0,5}$$

mit

$x_{A80}$ : Partikelgröße des Aufgabematerials bei einem Siebdurchgang von 80 % in cm

$x_{P80}$ : Partikelgröße des Produkts bei einem Siebdurchgang von 80 % in cm

$c_{BW}$ : Materialbeiwert, weiches Material  $\approx 0,3 \frac{kWh}{t} \sqrt{cm}$ ,  
hartes Material  $\approx 1,3 \frac{kWh}{t} \sqrt{cm}$

Die Gegenüberstellung der berechneten Werte mit den Ergebnissen aus den Prallversuchen im Bild 4- 9 zeigt, dass Betone als hartes Material im Sinne der Bond-Wang-Beziehung eingestuft werden können. Anhand der Beziehung lassen sich folgende Abschätzungen vornehmen

- Welche Zerkleinerungsarbeit muss pro Tonne Aufgabematerial zum Erreichen einer bestimmten 80 %-Produktpartikelgröße aufgebracht werden?
- Welche Unterschiede in der Produktpartikelgröße ergeben sich, wenn hartes und weiches Material parallel zerkleinert werden?
- Welche Unterschiede entstehen in Abhängigkeit von der Größe des Aufgabematerials?

Die Abschätzungen in Tabelle 4- 4 verdeutlichen, dass die Materialhärten das Zerkleinerungsergebnis stärker beeinflussen als die Aufgabekorngrößen. Offen ist allerdings, welche Bauschuttbestandteile als „weiches Material“ einzuordnen sind.

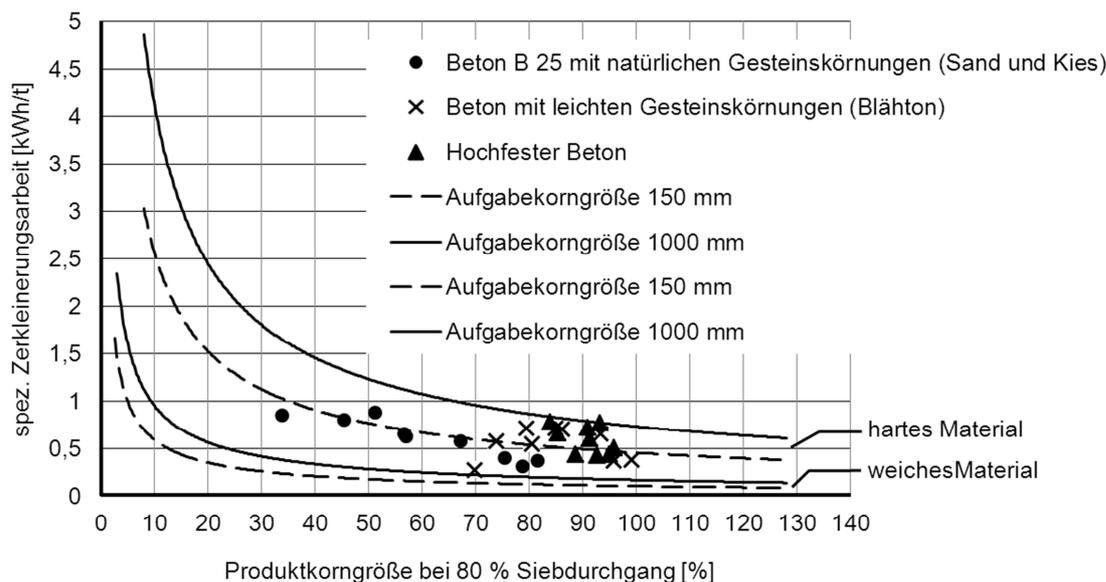


Bild 4- 9: Für die Grobzerkleinerung erforderliche spezifische technische Zerkleinerungsarbeit in Abhängigkeit von der Produktkorngröße bei einem Siebdurchgang von 80 %

Tabelle 4- 4: Abschätzungen zu den Einflüssen auf die Zerkleinerung nach der Bond-Wang-Beziehung

Ausgangsdaten		Ergebnis nach der Bond-Wang-Beziehung für $W = 1 \text{ kWh/t} = \text{const}$	
Aufgabematerial $x_{A80}$	Materialbeiwert $c_{BW}$	Produkt $x_{A80}$	
[cm]	[ $\text{cm}^{1/2} \cdot \text{kWh/t}$ ]	[cm]	[mm]
100	weich: 0,3	0,9	9
100	hart: 1,3	6,6	66
15	hart: 1,3	3,5	35
100	hart: 1,3	6,6	66

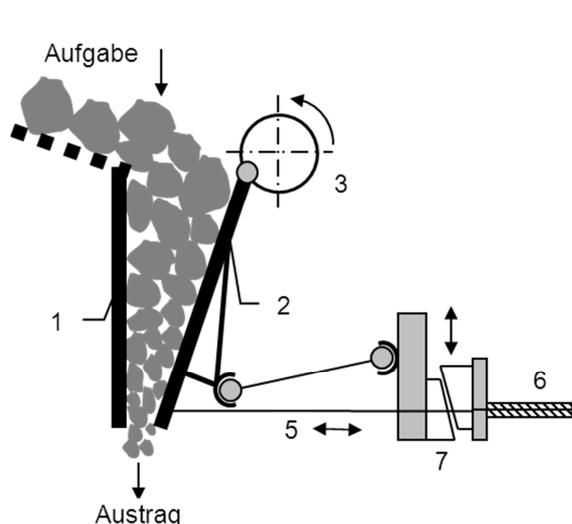
#### 4.1.2 Funktionsweise und Parameter von Brechern für die Bauschutttaufbereitung

Bei der Aufbereitung von Bauabfällen nimmt die Zerkleinerung eine Schlüsselstellung ein. Sie hat die Aufgabe, nach der Größe abgestufte Körnungen oder Kornfraktionen zu erzeugen, die als Tragschichtmaterial für den Straßenbau oder als Gesteinskörnung für die Betonherstellung eingesetzt werden können. Weiter dient sie der Trennung von Verbundmaterialien, um anschließend eine Sortierung vornehmen zu können. Zum Einsatz kommen hauptsächlich Backenbrecher und Prallbrecher, in welchen das Material durch Druck oder Prall beansprucht wird. Die Zuführung des Aufgabematerials erfolgt über einen Rollenrost oder ein Plattenband. Der Austrag des Brechprodukts muss so gestaltet sein, dass sperriges Austragsgut keine Verstopfungen bzw. Beschädigungen des unter dem Brecherauslauf angeordneten Austragsbandes hervorruft.

Der Backenbrecher kann problemlos sehr große Aufgabestücken zu einem groben Brechprodukt zerkleinern. Der Prallbrecher erzeugt ein feineres Brechprodukt. Für eine einstufige Zerkleinerung sind grundsätzlich beide Brechertypen mit bestimmten

Einschränkungen geeignet. Bei einer zweistufigen Zerkleinerung wird der Backenbrecher als Vorbrecher und der Prallbrecher als Nachbrecher eingesetzt. Weitere bei der Bauabfallaufbereitung eingesetzte Brechertypen sind der Schlagwalzenbrecher, der Kegeltreiber und der Fräsbrecher.

Backenbrecher können als technische Umsetzung des Nussknackerprinzips angesehen werden. Die Zerkleinerung findet zwischen einer festen und einer beweglichen Brechbacke statt. Das Material fällt in die Aufgabeöffnung: Durch das Schließen des Brechmauls wird ein Formzwang ausgeübt, das Material wird „zerdrückt“. Danach rutscht das Material in eine tiefere Position und wird erneut beansprucht. Dieser Vorgang wiederholt sich so oft, bis das Material den Austragsspalt passieren kann. Nach der Antriebsart wird zwischen Kniehebel- und Einschwingenbackenbrecher unterschieden. Der erste Backenbrecher wurde von Blake im Jahr 1858 für die Gesteins- und Erzaufbereitung entwickelt.



- 1: Feste Brechbacke
- 2: Bewegliche Brechbacke, im oberen Aufhängungspunkt mittels Exzenter (3) direkt angetrieben
- 4: Druckplatte, gegen die die bewegliche Druckplatte im unteren Teil abgestützt ist
- 5, 6: Rückholstange und Feder für die kraftschlüssige Verbindung der gelenkigen Teile der Druckplatte
- 7: Spaltregulierung durch Hydraulik oder höhenverstellbaren Keil

Bild 4- 10: Prinzipskizze eines Einschwingenbackenbrechers

In Bauschutttaufbereitungsanlagen wird bevorzugt der Einschwingen- oder Kurbelschwingenbrecher eingesetzt, bei welchem die bewegliche Brechbacke im oberen Aufhängungspunkt direkt angetrieben wird (Bild 4- 10). Dadurch beschreibt die bewegliche Brechbacke am Brechereinlauf eine Kreisbewegung, in der Nähe des Austragsspalts eine ellipsenförmige Bewegung. Das Förderverhalten im Brechspalt wird dadurch verbessert.

Backenbrecher wurden ursprünglich für die Grobzerkleinerung von hartem, sehr druckfestem Gestein entwickelt. Für die Zerkleinerung von Beton- und Mauerwerkbruch arbeiten sie in Bezug auf Materialparameter wie Festigkeit und Härte zum Teil unterhalb ihrer Leistungsgrenze. Besonderes Merkmal von Backenbrechern ist der vergleichsweise geringe Verschleiß, der an den Brechwerkzeugen auftritt. Für die Zerkleinerung von Stahlbeton ist eine Trennung von Bewehrung und Beton vor der Aufgabe in den Brecher vorteilhaft, um Störungen des Materialflusses durch den Brecher zu vermeiden.

Prallbrecher bestehen aus dem Gehäuse und dem Rotor. Beide sind mit Parallelementen ausgerüstet. Die Zerkleinerung des Materials erfolgt durch das Auftreffen des Materials auf die am Rotor befestigten Pralleisten, durch den Aufprall des beschleunigten Materials auf die Prallplatten im Brechergehäuse bzw. durch die Beanspruchung der Partikel untereinander (Bild 4- 11). Die Pralleisten übertragen

beim Kontakt mit dem Material einen Teil ihrer kinetischen Energie auf das Material. Spannungen werden aufgebaut, welche die Zerkleinerung bewirken. Zusätzliche Beanspruchungen werden durch den Aufprall des Materials auf die Prallplatten und den Prall der Bruchstücke untereinander verursacht. Das Material wird so lange beansprucht bis es den Austragsspalt zwischen der unteren Prallplatte und der Prallleiste passieren kann. Prallbrecher können zusätzlich mit einer Mahlbahn ausgestattet sein, an der eine weitere Zerkleinerung stattfindet.

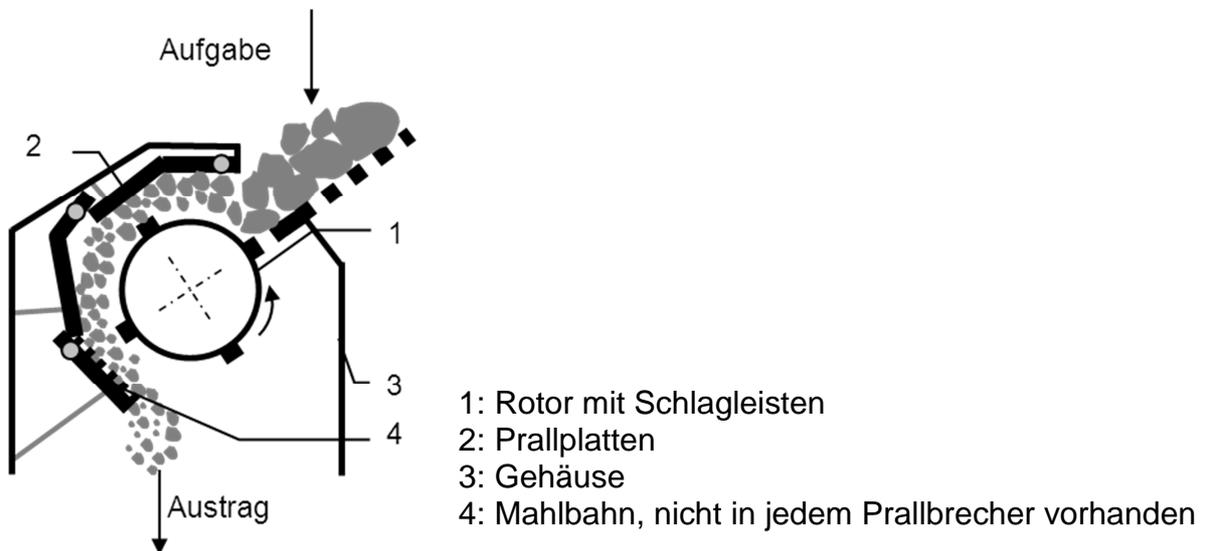


Bild 4- 11: Prinzipskizze eines Prallbrechers

Prallbrecher werden für die Zerkleinerung von Natursteinen mittlerer Festigkeit eingesetzt. Im Recycling von Bauabfällen haben sie breite Anwendung gefunden. Bei Prallbrechern tritt ein vergleichsweise hoher Verschleiß auf. Davon sind besonders die Kanten der Schlagleisten betroffen. Die Schlagleisten sind deshalb schnell auswechselbar und so ausgebildet, dass alle vier Kanten nacheinander als Verschleißkante zum Einsatz kommen können. Die Prallplatten sind schwenkbar aufgehängt, um Beschädigungen durch nicht zerkleinerbare Fremdstoffe zu vermeiden.

Brecher gibt es in den unterschiedlichsten Baugrößen. Die Auswahl der benötigten Baugröße erfolgt anhand der Größe des Aufgabematerials und des gewünschten Durchsatzes:

- Aus der Größe des Aufgabematerials, die im Interesse eines störungsfreien Betriebs nicht überschritten werden sollte, folgt die erforderliche Maulweite, aus der wiederum auf die Größe der Aufgabeöffnung geschlossen werden kann.
- Der gewünschte Durchsatz folgt aus der geplanten Anlagenkapazität. Der technisch mögliche Durchsatz ergibt sich aus dem Volumenstrom, der den Brecher bei gegebener Größe der Aufgabeöffnung und Kinematik passieren kann. Als weitere Einflussgröße ist der Zerkleinerungswiderstand des Materials zu berücksichtigen, wenn eine bestimmte Korngrößenverteilung des Produkts erreicht werden soll.

Für Backenbrecher sind die geometrischen Parameter der Aufgabeöffnung und des Austragsspalts im Bild 4- 12 dargestellt. Nach der angegebenen

Näherungsbeziehung darf die größte Abmessung des Aufgabematerials ca. 80 % der Weite der Aufgabeöffnung nicht übersteigen. Das gilt ebenfalls für Prallbrecher. Die Maulweite steht in enger Beziehung zur Größe der Aufgabeöffnung, wobei die Unterschiede zwischen den Brechertypen relativ gering sind (Bild 4- 13).

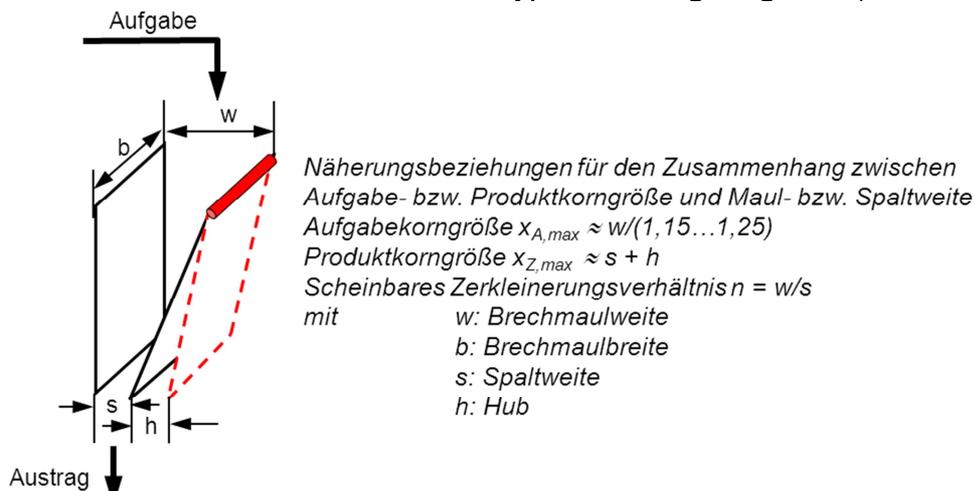


Bild 4- 12: Geometrie von Brechereinlauf und –austritt beim Backenbrecher

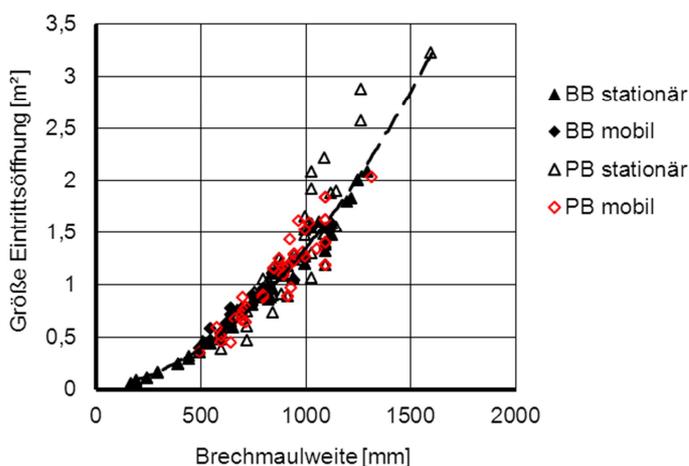


Bild 4- 13: Zusammenhang zwischen Brechmaulweite und Größe der Aufgabeöffnung, Daten aus [7]

Die Größe der Aufgabeöffnung stellt die Leitgröße für den möglichen Durchsatz dar. Durchsätze um 200 t/h, wie sie in Bauabfallrecyclinganlagen typischerweise realisiert werden, sind bei einem Eintrittsquerschnitt von 0,5 bis 1 m² möglich, unabhängig davon, ob der Brecher mobil oder stationär betrieben wird. Um trotz größerer Abmessungen des Aufgabematerials nicht zu Baugrößen zu kommen, die deutlich über den Kapazitätserfordernissen liegen, wird das Ausgangsmaterial durch eine Vorzerkleinerung mit hydraulischen Zangen oder anderen Werkzeugen an diesen Querschnitt angepasst.

Beim Backenbrecher hängt die maximale Partikelgröße des Produktes von der Spaltweite des Austrags und dem Hub der Brechbacke ab. Ihre Abschätzung aus diesen geometrischen Parametern (Bild 4- 12) gibt aber lediglich eine Orientierung, weil die Eigenschaften des zu zerkleinernden Materials einen zusätzlichen, wichtigen Einfluss auf die Produktkorngröße ausüben. Das scheinbare Zerkleinerungsverhältnis  $w/s$ , das sich aus der Brechmaulweite und der Spaltweite

ergibt, bewegt sich zwischen 4 für Grobbrecher und 20 für Feinbrecher. Beim Prallbrecher beeinflusst die Rotorumfangsgeschwindigkeit die erzielte Produktkorngröße. Mit steigender Umfangsgeschwindigkeit nimmt die Produktfeinheit zu und der Sandanteil der erzeugten Körnung steigt. Der Austragsspalt ist für die Austragskorngröße nicht entscheidend, sollte aber so groß gewählt werden, dass das zerkleinerte Gut ungehindert austreten kann.

Eine Gegenüberstellung der wichtigsten Kenngrößen von Backen- und Prallbrechern zeigen Bild 4- 14 und Tabelle 4- 5.

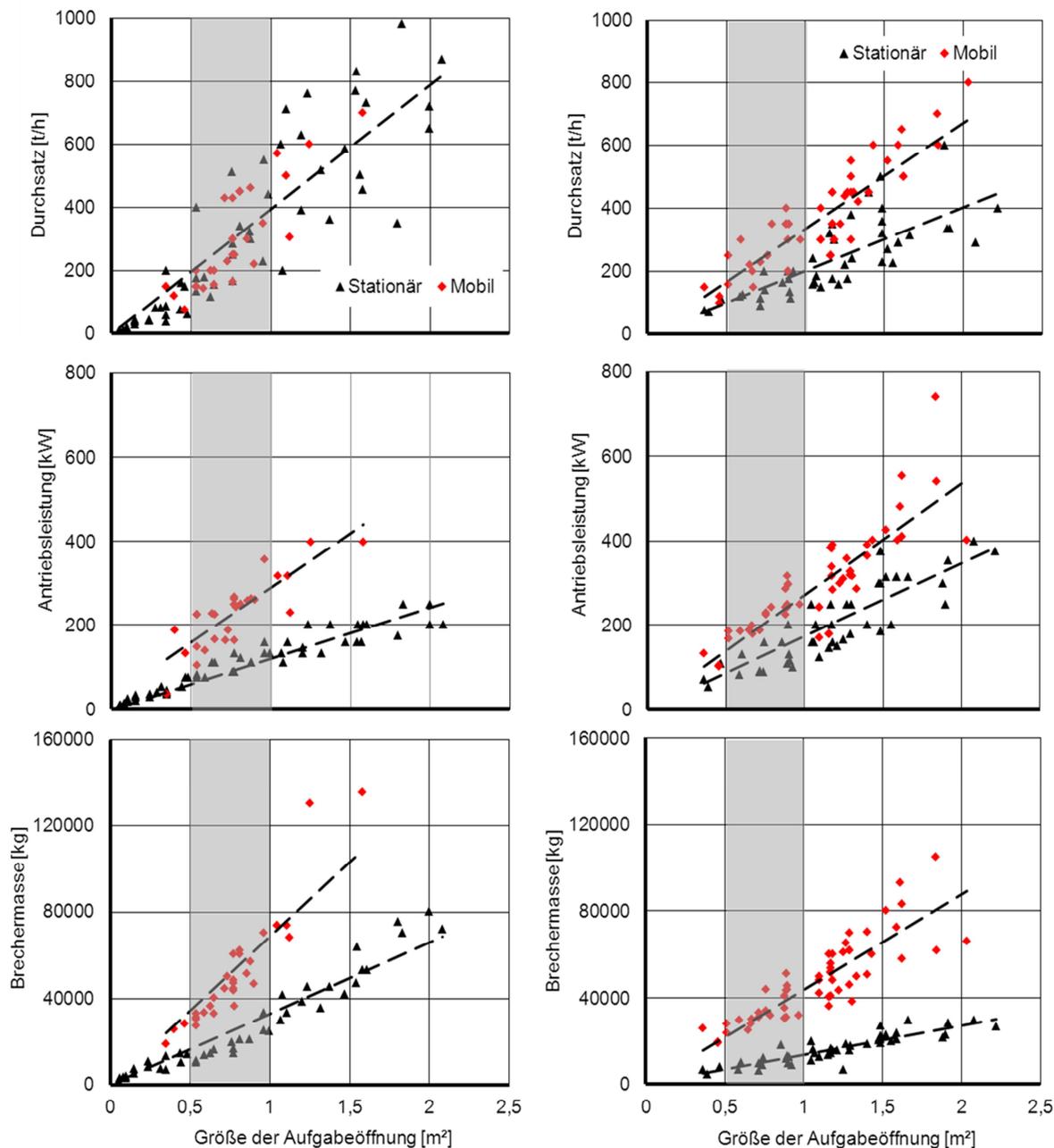


Bild 4- 14: Durchsatz, Antriebsleistung und Brechermasse für Backenbrecher (links) und Prallbrecher (rechts) in Abhängigkeit von der Größe der Aufgabeöffnung [7]

Der Durchsatz, die erforderliche Antriebsleistung und die Brechermasse steigen mit zunehmender Größe der Aufgabeöffnung an. Bei stationären Brechern sind die als

typisch geltenden Unterschiede erkennbar: Der Backenbrecher ist bei gleichem Durchsatz schwerer als der Prallbrecher, erfordert aber eine geringere Antriebsleistung. Mobile Brecher benötigen bei gleichem Durchsatz eine höhere Antriebsleistung als stationäre. Die Brechermasse ist größer, weil zusätzliche Ausrüstungen vorhanden sind. Die Unterschiede zwischen den Brechertypen sind gering.

Tabelle 4- 5: Auswahl- und Einsatzkriterien für Backenbrecher [8][9]

	Backenbrecher	Prallbrecher
Verarbeitbares Aufgabematerial		
Verformungsverhalten	Sprödes Material mit überwiegend elastischem Verhalten wie Gleisschotter, Beton, Wandbaustoffe	Material mit überwiegend elastischem Verhalten wie Beton, Wandbaustoffe
Festigkeit	bis 500 MPa	bis 300 MPa
Härte	hartes bis sehr hartes Material z.B. Gleisschotter	mittelhartes bis hartes Material
Aufgabekorngröße	flächige Bauteile bis ca. 1,00 x 1,00 m <sup>2</sup> Kantenlänge	flächige Bauteile bis ca. 1,00 x 1,00 m <sup>2</sup> Kantenlänge
Anfälligkeit gegen Fremdstoffe im Aufgabematerial	Asphalt kann zu Verklebungen führen. Holz und Kunststoffe unproblematisch. Freigelegte oder vorstehende Bewehrungsstähle können Austrag behindern.	Asphalt zerkleinerbar, ausgenommen bei hohen Außentemperaturen. Holz und Kunststoffe unproblematisch. Freigelegte oder vorstehende Bewehrungsstähle können Austrag behindern.
Erreichbare Produktparameter		
Zerkleinerungsverhältnis	10:1	20:1
Produktkorngröße	= f(Spaltweite) ca. 0 bis 150 mm	= f (Rotorumfangsgeschwindigkeit) ca. 0 bis 80 mm
Feingutanteil	gering	höher
Überkornanteil	u. U. hoch, besonders bei plattenförmigen Aufgabegut wie Gehwegplatten, Dachziegel, die unzerkleinert in das Endprodukt gelangen können.	gering
Kornform des Produkts	eher plattig bis splittrig	kubisch
Maschine/Anlage		
Beanspruchungsart	Druck	Prall
kinematische Parameter	Hubzahl 270...400 min <sup>-1</sup>	Rotorumfangsgeschwindigkeit 20...45 m/s
Aufgabehöhe	Rampe erforderlich	Rampe erforderlich
Standzeit der Verschleißteile	hoch, ca. 300.000 t	geringer, 3.000 t als Hauptbrecher, 10.000 t als Nachbrecher
Umweltauswirkungen	geringe Staub- und Lärmemission	Lärmemission und Staubemission, Bedüsung erforderlich
Einsatzempfehlungen	in zweistufigen Anlagen: als Vorbrecher in einstufigen Anlagen: bei geringen Endprodukthanforderungen	in zweistufigen Anlagen: als Vorbrecher in einstufigen Anlagen: bei hohen Anforderungen an das Endprodukt

Bei der Zerkleinerung im Prallbrecher werden höhere Zerkleinerungsverhältnisse erreicht als bei der Aufbereitung im Backenbrecher.

Weitere, in einigen Fällen bei der Bauschuttzerkleinerung eingesetzte Brecher sind der Schlagwalzenbrecher, der Kegelbrecher und der Fräsbrecher. Der Schlagwalzenbrecher ist ein horizontal arbeitender Brecher ohne Materialumlenkung. Er ist besonders für Aufgabegut wie Bahnschwellen, Lichtmaste und Wandelemente geeignet. Das zu zerkleinernde Gut wird mittels Kratzkettenförderer (1) der Schlagwalze (2) zugeführt und durch Schlag, Prall und Druck zerkleinert (Bild 4- 15). Die Fördergeschwindigkeit des Förderers und die Umlaufgeschwindigkeit der Schlagwalze müssen aufeinander abgestimmt sein. Die Korngröße des zerkleinerten Produkts hängt von der Umfangsgeschwindigkeit der Schlagwalze ab. Schlagwalzenbrecher werden in der Regel als Vorbrecher eingesetzt.

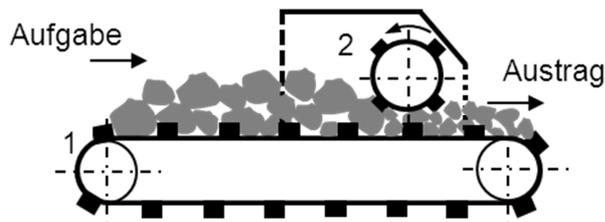


Bild 4- 15: Prinzipskizze und Aufgabeöffnung eines Schlagwalzenbrechers

Beim Kegelbrecher findet die Zerkleinerung zwischen dem äußeren Brechmantel und dem Brechkegel statt. Der Brechkegel führt eine schnelle Taumel- und Schlagbewegung aus, die durch die Neigung der Kegelachse erreicht wird. In den Kegelbrecher kann nur vorzerkleinerter Bauschutt aufgegeben werden. Er eignet sich als Sekundärbrecher und erzeugt ein kubisches Brechkorn.

Der Fräsbrecher ist ein Einwellenwalzenbrecher, der speziell für die Zerkleinerung von Asphaltbruch entwickelt wurde. Die Asphalttschollen, die sich im Aufgabetrichter des Brechers befinden, werden mittels eines aktiven Zuführsystems der mit Fräszähnen bestückten Fräswelle zugeführt. Die Zerkleinerung des Materials findet zwischen den Fräszähnen und einer Kammliste statt. Es entsteht ein vergleichsweise grobes Brechprodukt. Die Kornzertrümmerung der Primärgesteinskörnung im Asphalt ist gering. Mit Fräsbrechern können auch Glas, Faserzementplatten, Ziegel, Porenbeton und Leichtbeton zerkleinert werden. Der Sandgehalt < 4 mm des Brechprodukts bleibt unter 20 Masse-%.

#### 4.1.3 Auswirkungen der Zerkleinerung

Im Ergebnis der Zerkleinerung werden folgende Partikeleigenschaften gegenüber dem Ausgangszustand verändert:

- Korngröße und Kornform
- Aufschlussgrad und
- Gefüge der erzeugten Partikel.

Die Korngrößenveränderungen sind bei der Aufbereitung von Bauabfällen am augenscheinlichsten (Bild 4- 16).



Bild 4- 16: Aufgabematerial Betonbruch und daraus hergestellter RC-Baustoff 0/45 mm

Die Veränderungen des Aufschlussgrades und des Gefüges sind solange von untergeordneter Bedeutung, solange RC-Baustoffe in erster Linie über die Korngrößenverteilung definiert sind. Bisher wird lediglich bei der Freilegung der Bewehrung während der Aufbereitung von Stahlbeton ein Aufschluss realisiert.

#### *Korngröße und Kornform*

Die Charakterisierung der Brechprodukte erfolgt mit Hilfe von Siebdurchgangslinien, die in Abhängigkeit von der vorgesehenen Verwendung der Produkte bestimmte Bereiche einhalten müssen. Die im Brechprozess erzeugten Partikelgrößenverteilungen unterliegen folgenden Einflüssen:

- Brecherart und Brechereinstellungen: Mit dem Backenbrecher werden in der Regel gröbere Körnungen erzeugt als mit dem Prallbrecher. Die Austrittsspaltweite bzw. die Rotorumfangsgeschwindigkeit beeinflussen die Produktfeinheit. Pralleisten mit abgerundeten Kanten können zu einem gröberen Zerkleinerungsprodukt führen als solche ohne Verschleißerscheinungen.
- Materialrohichte und Materialart: Vereinfachend kann davon ausgegangen werden, dass sich die Korngrößenverteilung mit abnehmender Rohdichte des Materials in den feineren Bereich verschiebt, weil der Zerkleinerungswiderstand des Materials abnimmt. Daraus folgt, dass spezifisch leichtere Baustoffe stärker zerkleinert werden als schwerere.

Der Nachweis der o.g. Materialeinflüsse gelingt nur bei Verwendung von Aufgabematerial, das im Wesentlichen aus einer Baustoffart besteht, eine bekannte Aufgabekorngröße aufweist und das unter definierten Beanspruchungsbedingungen zerkleinert wird. Wie das Beispiel im Bild 4- 17 zeigt, ist bei der Zerkleinerung von Mauerwerksbaustoffen im Backenbrecher ein Material- und Dichteeinfluss erkennbar. Das Zerkleinerungsverhältnis nimmt zu, wenn die Rohdichte geringer wird.

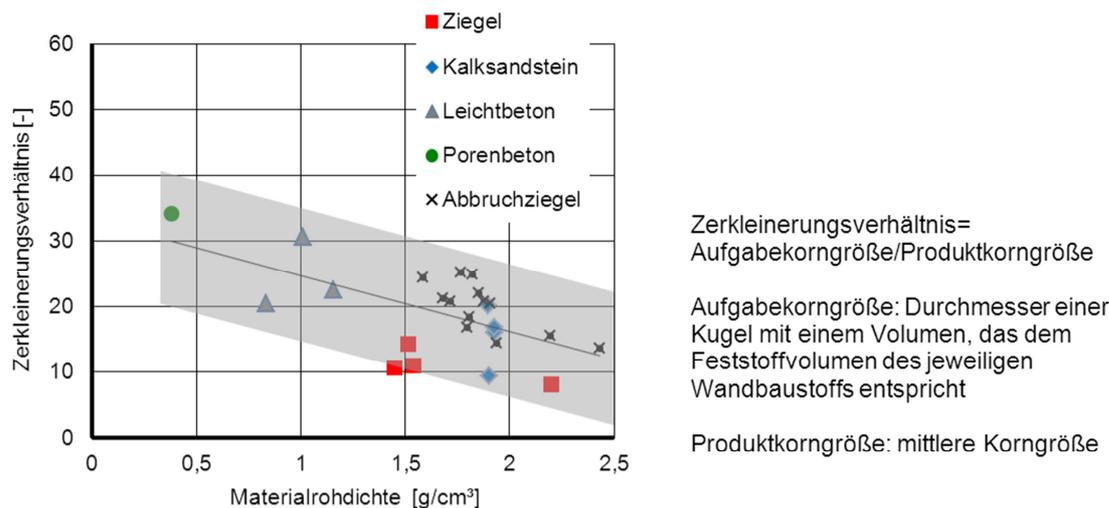


Bild 4- 17: Einfluss der Rohdichte des Aufgabematerials auf das erreichte Zerkleinerungsverhältnis bei der Zerkleinerung im Backenbrecher [10],[11]

In der Recyclingpraxis lassen sich nur noch Tendenzen nachweisen (Bild 4- 18). Der Anteil der Fraktion < 4 mm nimmt zu, wenn der Gehalt an Ziegeln, deren Rohdichte in der Regel unter der von Beton liegt, im Aufgabematerial steigt. Eine Angabe des Zerkleinerungsverhältnisses stößt hier auf methodische Schwierigkeiten, weil die für dessen Berechnung notwendige Aufgabekorngröße nicht bekannt ist. Sie kann sich im Bereich zwischen der Maschenweite der Vorabsiebung als unterer Korngröße und der Geometrie des Brechereinlaufs als oberer Korngröße bewegen.

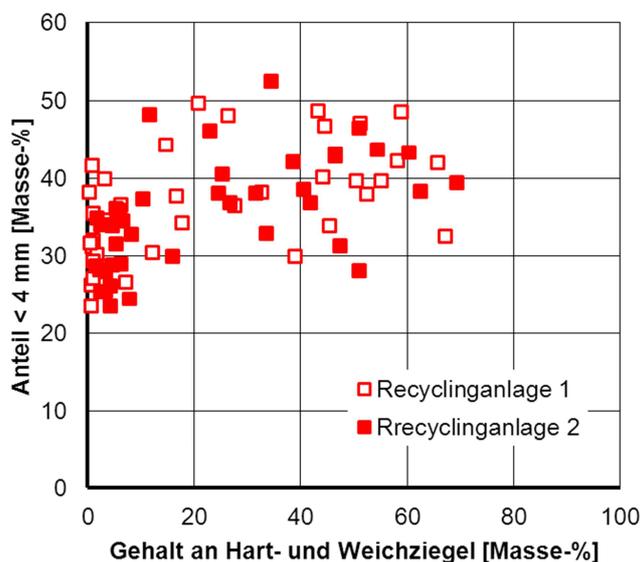


Bild 4- 18: Einfluss des Gehaltes an Ziegeln im Aufgabematerial auf den Anteil der Fraktion < 4 mm im Brechprodukt, Daten aus veröffentlichten Prüfzeugnissen

Die Kornform hängt von geometrischen Parametern und Texturparametern des Aufgabematerials sowie vom gewählten Brechertyp ab. Bei plattigem Aufgabematerial wie Dachziegeln, Dachsteinen, Faserzementplatten, Fliesen oder Flachglas ebenso wie bei Hohlkörpern mit geringen Wandstärken wie Sanitärkeramikartikeln oder bei Wandbaustoffen mit ausgeprägtem Lochbild wie Hochlochziegeln entstehen kubische Partikel erst unterhalb einer Grenzkorngröße, die sich aus der Platten- oder Wandstärke bzw. der Stärke der Stege zwischen den Hohlkammern ergibt (Bild 4- 19). Beispielsweise können kubische Körnungen aus Dachziegeln mit einer Wandstärke von 20 mm nur dann hergestellt werden, wenn bis

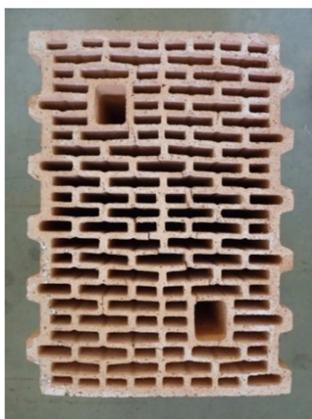
auf ein Größtkorn unter etwa 15 mm herunter gebrochen wird. Unterhalb dieser vom Ausgangsmaterial abhängigen Grenzkorngröße liefert der Prallbrecher kubischere Kornformen als der Backenbrecher, bei welchem im ungünstigsten Fall plattiges Ausgangsmaterial unzerkleinert in den Austrag gelangen kann.



Faserzementplatten als Beispiel für plattiges Aufgabematerial



Sanitärkeramikscherben entstanden aus Hohlkörper mit geringen Wandstärken [12]



Ziegel bzw. Leichtbetonsteine mit ausgeprägtem Lochbild [10]

Bild 4- 19: Beispiele für Bauprodukte, die ungünstige Kornformen verursachen können

Sanitärkeramikartikel haben Wandstärken um 20 mm. Folglich liegen in der Fraktion 16/32 mm hohe Anteile von ungünstig geformten Partikeln mit einem Länge- Breite-Verhältnis  $> 3 : 1$  vor. Bei Biberschwanddachziegeln liegt die Wandstärke in der

gleichen Größenordnung. Auch hier sind die Körner ab der Fraktion 16/32 mm ungünstig geformt (Bild 4-20).

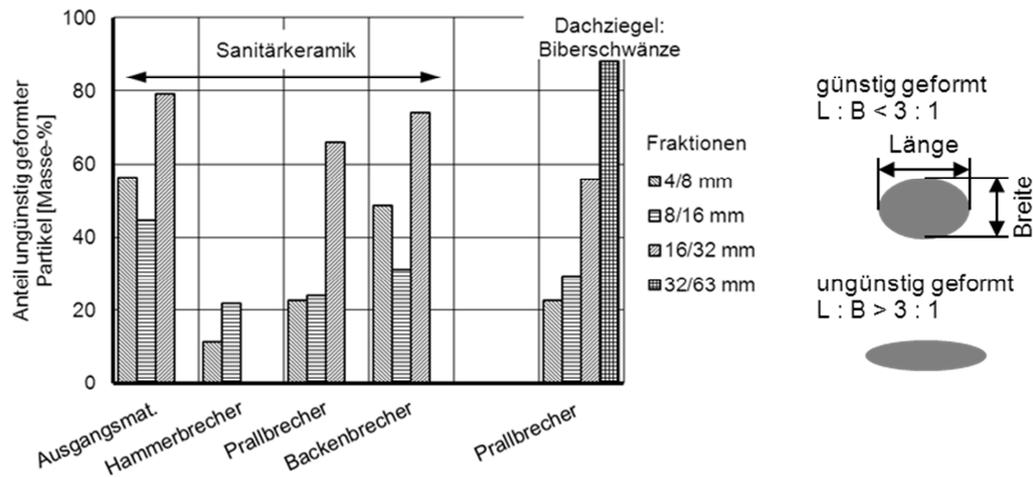


Bild 4- 20: Anteil ungünstig geformter Partikel in den Zerkleinerungsprodukten verschiedener Brechertypen bei dünnwandigem bzw. plattigem Aufgabematerial [12]

Texturparameter gehen auf den Herstellungsprozess des Primärprodukts zurück. Weist das Primärprodukt in seinen Eigenschaften eine deutliche Richtungsabhängigkeit auf, ist also nicht isotrop, beeinflusst das die Kornform des Brechprodukts. Als Beispiel sind im Bild 4- 21 die Kornformen der Brechprodukte von Ziegeln, deren Formgebung mittels Strangpressung erfolgte, gegenübergestellt. Bei der Körnung aus dem Backenbrecher spiegelt sich der Textureinfluss in der Kornform wider. Die Partikel sind länglich und splittrig. Die Körnung aus dem Prallbrecher weist diese Merkmale kaum noch auf. Der entstehende Feinkornanteil ist höher.

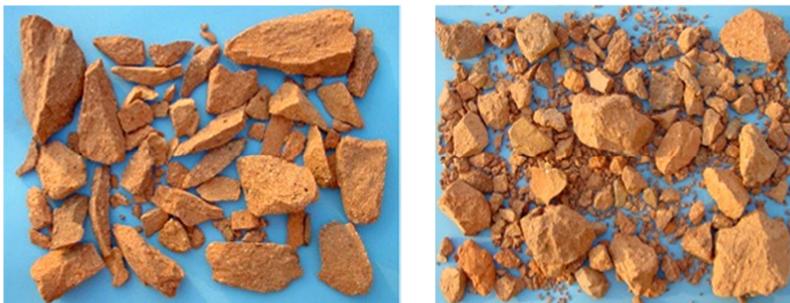


Bild 4- 21: Brechprodukte aus Ziegeln gleicher Herkunft, links Backenbrecher, rechts Prallbrecher [12]

### Gefüge

Als weiteres Merkmal kann das Gefüge durch die Zerkleinerung Veränderungen erfahren. Von natürlichen Gesteinskörnungen, die durch Brechprozesse hergestellt wurden, ist die Bildung von Anrissen bekannt, die auf eingeleitete, aber nicht abgeschlossene Bruchereignisse zurückzuführen sind und die von der Art und der Intensität der Beanspruchung abhängen. Solche Gefügestörungen können durch eine zweistufige Zerkleinerung aufgehoben werden, indem die Anrisse, die während des ersten Brechvorgangs entstehen, in einem zweiten Zerkleinerungsvorgang bis zum tatsächlichen Bruch fortgeführt werden. Bei Rezyklaten aus Betonbruch wird als zusätzlicher Effekt einer zweistufigen Zerkleinerung eine Verringerung des Zementsteingehaltes der groben Fraktionen erreicht. Beide Vorgänge bewirken

Qualitätsverbesserungen wie eine Zunahme der Rohdichte und der Kornfestigkeit sowie eine Verringerung der Wasseraufnahme. Eine Differenzierung, welche der beiden Effekte – Abbau der Gefügestörungen oder Verringerung des Zementsteingehaltes – stärker zu den Qualitätsverbesserungen beigetragen hat, ist nicht möglich.

## 4.2 Siebklassierung

### 4.2.1 Grundbegriffe

#### Siebklassierung

Bei der Siebklassierung werden polydisperse Partikelkollektive nach geometrischen Abmessungen in Fraktionen getrennt. Die Trennung erfolgt mittels eines Siebbodens, in welchem sich geometrisch gleiche Öffnungen befinden. Die lichten Abmessungen der Sieböffnungen geben näherungsweise die Trennkorngröße vor. Der Aufgabestoffstrom wird in Siebdurchgang/Feingut und Siebrückstand/Grobgut getrennt.

#### Bewertung von Siebvorgängen

Die Bewertung von Siebungen erfolgt auf der Basis von Massenbilanzen und daraus abgeleiteten Parameter für die technologische Bewertung des Siebprozesses wie Massenausbringen, Trennkorngröße und Trennschärfe. Die Massenbilanzen gelten sowohl für die Gesamtstoffströme als auch für die Fraktionen, aus welchen diese Stoffströme bestehen, (Bild 4- 22).

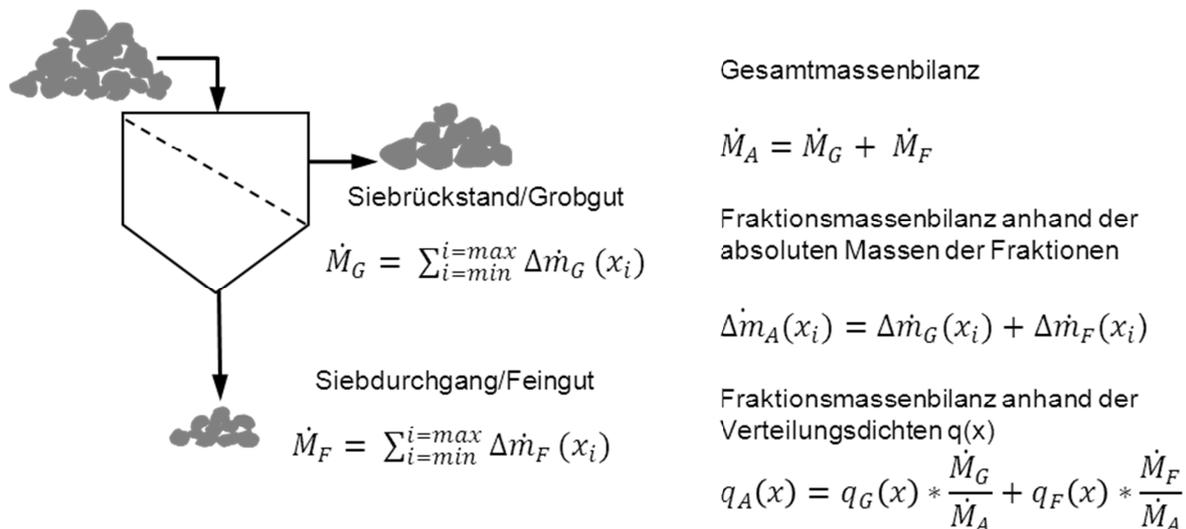


Bild 4- 22 : Schema der Materialtrennung durch Siebung und Massenbilanzen

Für technische Siebungen gilt, dass keine ideale Trennung ohne Überschneidung der Sieblinien von Grob- und Feingut erreicht werden kann. Vielmehr ergibt sich ein Überlappungsbereich, welcher die Fehlkornanteile in beiden Produkten widerspiegelt (Bild 4- 23).

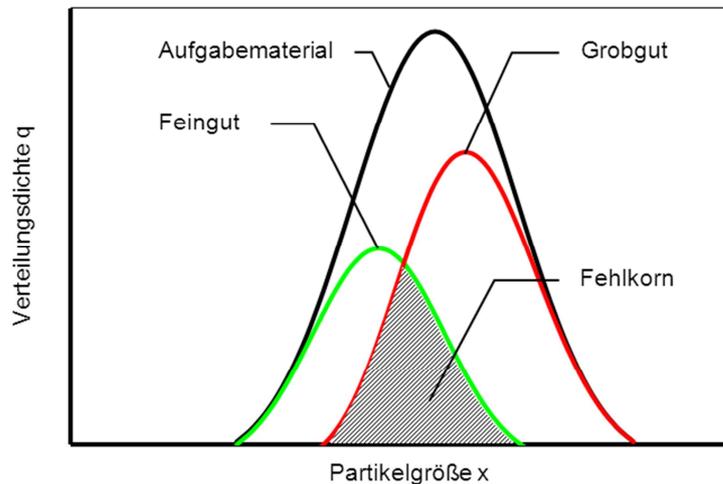


Bild 4- 23: Verteilungsdichte-  
kurven von Aufgabegut,  
Grobgut und Feingut einer  
technischen Siebung und  
Fehlkornbereich

Die Trennschärfe als Maß für die Fehlkornanteile in den gesiebten Gütern hängt davon ab, ob das Feingut ausreichend Gelegenheit hat, sich unmittelbar über den Sieböffnungen einzuordnen und anschließend die Trennfläche zu passieren. Bei technischen Siebprozessen muss während des Materialtransports über den Siebboden, welcher durch die Neigung des Siebbodens und/oder seine Bewegung erreicht wird, ein ständiger Vergleich zwischen den Abmessungen der Partikel und den Abmessungen der Siebmaschen stattfinden können. Um die Fehlkornanteile gering zu halten, sind eine angepasste Materialaufgabemenge und eine ausreichende Verweilzeit erforderlich. Beides muss der zur Verfügung stehenden Siebfläche und den Merkmalen des Siebgutes angepasst sein. Außerdem kann die umgekehrte Proportionalität zwischen Durchsatz und Trennschärfe genutzt werden, um das Siebergebnis auf die technologischen Erfordernisse abzustimmen. Wenn eine hohe Trennschärfe erreicht werden muss, kann es erforderlich sein, den Durchsatz zu reduzieren. Ist dagegen ein hoher Durchsatz erforderlich, kann das zu Lasten der Trennschärfe gehen.

### *Siebguteigenschaften*

Die Feinheit des zu trennenden Siebgutes ausschlaggebend für die Auswahl der Siebmaschine und die erreichte Trenngüte. Andere Faktoren wie die Grenzkorngehalte, d.h. die Fraktionsanteile im Bereich der Siebmaschenweite, die Kornform, die Oberflächenfeuchte und die Schüttdichte beeinflussen die Effektivität der Siebung zusätzlich. Ein Material mit hohen Fraktionsanteilen im Bereich der Siebmaschenweite, mit ungünstig geformten, plattigen oder stengligen Körnern, mit einer hohen Oberflächenfeuchte und einer geringer Schüttdichte muss als siebschwierig eingestuft werden.

### 4.2.2 Bauarten von Siebmaschinen

In Bauschutt-Recyclinganlagen dient die Siebung

- dem Abtrennen von Grobanteilen zum Schutz des nachgeschalteten Brechers vor Überlastung und Beschädigung
- dem Abtrennen von Feianteilen zur Entlastung von Zerkleinerungsanlagen, zum Schutz vor Verschleiß, zum Vermeiden von Verstopfungen

- der Begrenzung der oberen Korngröße oder der Erzeugung bestimmter Korngrößenverteilungen für die nachfolgende Verwendung, z.B. als Tragschichtmaterial 0/32 mm oder als rezyklierte Gesteinskörnung 16/32 mm
- der Vorbereitung der Sortierung, wenn diese nur bei engem Körnungsband möglich ist
- ggf. der Sortierung selbst, wenn in bestimmten Kornfraktion bestimmte Stoffe angereichert sind

In Abhängigkeit von der Aufgabe kommen unterschiedliche Bauformen von Siebmaschinen zum Einsatz, die entweder vor oder nach der Zerkleinerung in den technologischen Ablauf der Bauschuttaufbereitung eingeordnet sind (siehe Bild 4- 1). Von den in der Übersicht (Bild 4- 24) angegebenen Bauformen werden die Roste für die Vorabsiebung vor dem Eintritt des Materials in den Brecher eingesetzt. Schwingsiebe und zum Teil auch Trommelsiebe sind nach der Zerkleinerung in den Verfahrensablauf eingeordnet, um bestimmte Produkte zu erzeugen bzw. eine nachfolgende Sortierung vorzubereiten. Nasssiebungen spielen bei der Aufbereitung von Bauschutt keine Rolle.

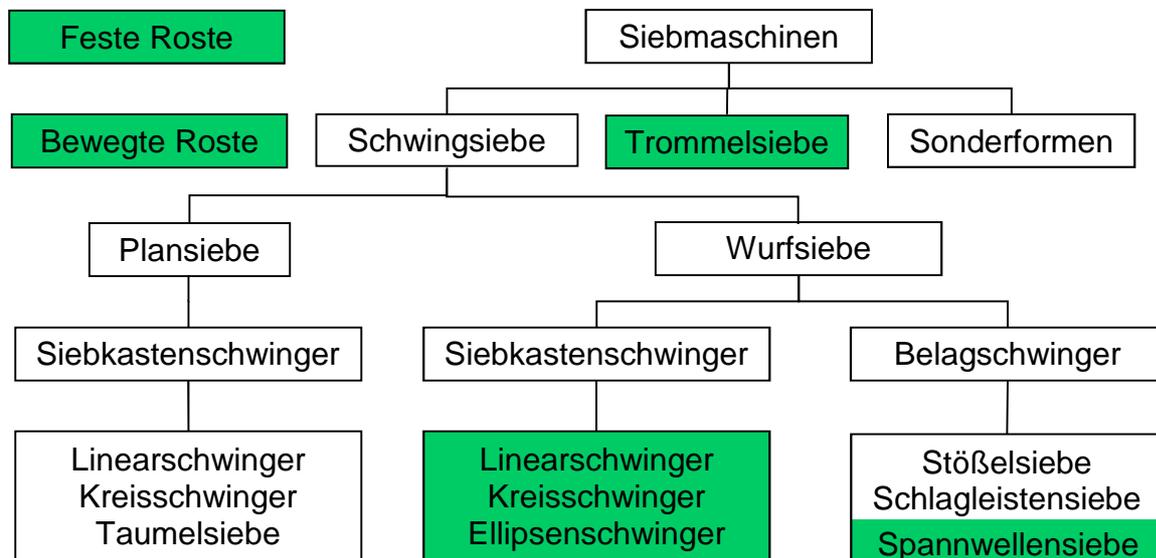


Bild 4- 24: Überblick über Bauformen von Siebmaschinen, in der Bauschuttaufbereitung eingesetzte Maschinen grün hervorgehoben

### Roste

Bei Rosten wird die Trennfläche durch parallele Profilstäbe oder Walzen gebildet (Bild 4 -25). In Abhängigkeit davon, wie der Transport des Siebgutes erfolgt, können unterschiedliche Bauformen unterschieden werden:

- **Feste Roste:** Der Guttransport erfolgt unter Wirkung der Schwerkraft. Die notwendige Neigung der Stangen liegt zwischen  $35^\circ$  bis  $50^\circ$ . Der Abstand der Roststäbe liegt i.d.R. über 50 mm.
- **Bewegte Roste:** Dazu zählen Stangen- und Schwingroste. Die Stangenroste bestehen aus zwei ineinander greifende Roste mit geringer Neigung, die langsame, schwingende Bewegungen ausführen und so den Materialtransport bewirken. Bei den Schwingrosten werden die den Siebboden bildenden Stangen mit einem Exzenter in Schwingungen versetzt.

- Rollenroste: Der Guttransport erfolgt durch die Elemente des Siebbodens, der aus rotierenden Wellen mit aufgesteckten Scheiben besteht. Diese sind je nach Anwendungsfall unterschiedlich ausgebildet. Die Öffnungen für den Durchgang des Feingutes ergeben sich aus den Abständen der Wellen und den seitlichen Abständen der Scheiben. Der Wellenabstand beträgt i.d.R. 50 mm bis 150 mm. Spezielle Bauarten der Rollenroste sind Sternsiebe, bei welche die aufgesteckten Scheiben sternförmig ausgebildet sind, und Diskscheider, bei welchen die Wellen mit den Scheiben kaskadenförmig angeordnet sind. Letztere werden in Aufbereitungsanlagen für Bauschutt eingesetzt (Bild 4- 26).

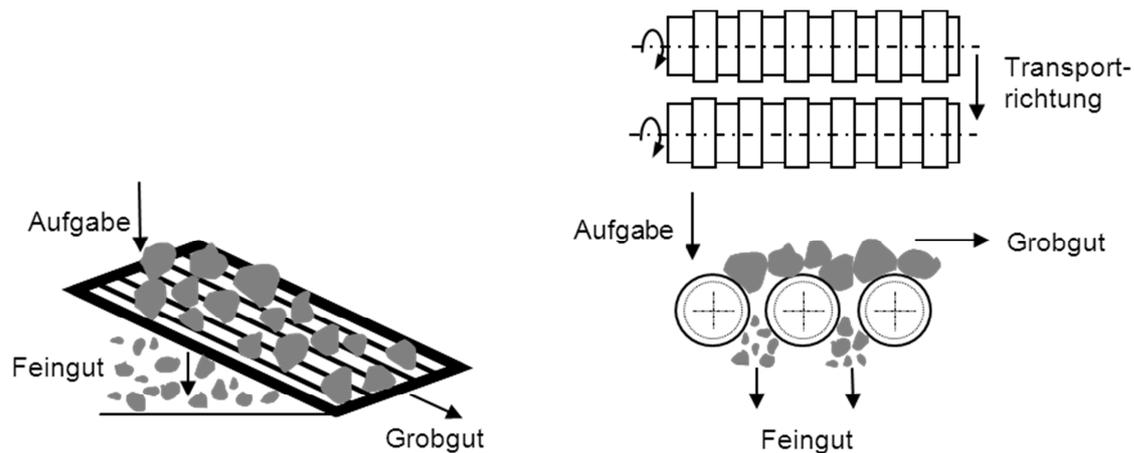


Bild 4- 25: Prinzipskizzen eines festen Rostes und eines Rollenrostes



Bild 4- 26: Diskscheider in einer stationären Recyclinganlage

Roste finden Anwendung für die Trennung im Grob- und Mittelkornbereich. Sie können feuchtes Aufgabematerial, das ein Zusetzen des Siebbodens verursachen kann, verarbeiten. Einklemmte Stücke lösen sich durch die Relativbewegung der Siebstäbe bzw. Rollen. Bei der Bauschuttaufbereitung werden Roste zur Förderung des Aufgabematerials in den Brecher bei gleichzeitiger Abtrennung des

Vorsiebmaterials eingesetzt. In diesem Material sind Bodenbestandteile und wenig feste Bestandteile des Bauschutts angereichert, welche die Qualität der RC-Baustoffe beeinträchtigen können und die deshalb ausgeschleust werden. Die Korngröße für die Abtrennung des Vorsiebmaterials liegt i.d.R. um 50 mm.

### *Trommelsiebe*

Bei Trommelsieben wird die Trennfläche durch ein leicht geneigtes, rotierendes, zylindrisches Sieb gebildet. Die Materialaufgabe erfolgt am höheren Ende. Der Transport durch die Trommel ist mit einer ständigen Materialumwälzung verbunden, wodurch das Siebgut fortlaufend aufgelockert und vermischt wird. Das Feinkorn tritt durch die Öffnungen des Trommelmantels aus. Das Grobkorn verlässt die Trommel axial am unteren Ende (Bild 4- 27).

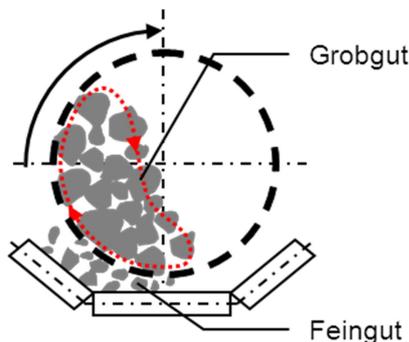


Bild 4- 27: Prinzipskizze eines Trommelsiebes

Trommelsiebe finden Verwendung für die Trennung im Mittelkornbereich von 10 bis 80 mm. Sie zeichnen sich durch eine einfache Konstruktion und einen erschütterungsfreien Lauf aus. Ihr Vorteil, dass eine Abdeckung der Sieböffnungen durch flächige Bestandteile wie Folien durch die ständige Umwälzung und Vermischung des Siebgutes vermieden wird, macht sie für die Siebung von Leichtverpackungen oder Baustellenabfällen besonders geeignet. Ihr Nachteil, dass eine Selbstreinigung des Siebbelages nur in begrenztem Umfang stattfindet, ist bei diesen Siebgütern weniger relevant. Außerdem kann der Erblindungsneigung durch die Ausstattung der Trommelsiebe mit Reinigungsbürsten entgegengewirkt werden. Dadurch sind sie auch für die Klassierung von mineralischen RC-Baustoffen tauglich.

### *Schwingsiebe*

Bei den Schwingsieben kann zwischen Plansieben, welche in der Ebene des Siebbelags schwingen, und Wurfsieben, welche senkrecht dazu schwingen, unterschieden werden. Bei Plansieben wird das Siebgut parallel zur Trennfläche hin und her bewegt, ohne dass es dabei abhebt. Die Partikel bewegen sich über die Siebfläche. Die Feingutpartikel passieren die Sieböffnungen. Plansiebe finden für die Siebung von mineralischen Bauabfällen keine Anwendung, werden aber beispielsweise in der Altholzaufbereitung eingesetzt.

Für die Klassierung von zerkleinerten Bauabfällen werden Wurfsiebmaschinen bevorzugt. Bei den indirekt erregten Siebmaschinen wird der Siebkasten, auf welchem der Siebbelag fixiert ist, mittels Exzenterantrieben, Unwuchtmotoren oder Magnetvibratoren in lineare, kreisförmige oder ellipsenförmige Schwingungen versetzt (Bild 4- 28). Die Partikel des Siebgutes bewegen sich in Mikrowürfen der Neigung des Siebbodens folgend vom Ort der Materialaufgabe zum Austrag. Infolge

der auf das Siebgut wirkenden Beschleunigungskräfte, die ein Vielfaches der Erdbeschleunigung betragen, kommt es zu

- der Auflockerung des Materialbetts
- der Schichtung und Anreicherung der feinen Partikel über dem Siebboden
- dem Durchgang der feinen Partikel durch den Siebboden.

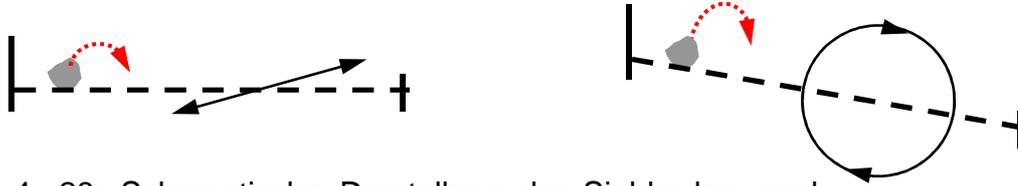


Bild 4- 28: Schematische Darstellung der Siebboden- und Siebgutbewegung bei Linear- und Kreisschwingern (in Anlehnung [14])

Bei den Belagschwingern wird der Siebbelag selbst beispielsweise durch Schlagleisten oder einen Stößel in Schwingungen versetzt (Bild 4- 30). Eine andere Möglichkeit, die bei Spannwellensieben realisiert wird, besteht darin, den Siebbelag mittels Querträgern abwechselnd glatt zu ziehen bzw. durchzubiegen.



Bild 4- 29: Schematische Darstellung der Siebboden- und Siebgutbewegung bei Stößelsieb und Spannwellensieb (in Anlehnung [14])

Die eingeleiteten Beschleunigungen bewirken die Materialauflockerung, den Transport des Siebgutes und den Durchgang der feinen Partikel durch die Trennfläche. Durch Sekundärschwingungen des Siebbelags bzw. den ständigen Wechsel zwischen Straffung und Durchbiegung des Siebbelags wird ein „Trampolin-Effekt“ erreicht. Dieser verbessert die Siebwirkung und bewirkt eine Selbstreinigung des Siebbelages.

#### 4.2.3 Auswahl der geeigneten Siebmaschine

Bei der Aufbereitung von Bauabfällen werden Roste, Trommelsiebe und Wurfsiebe eingesetzt. Die Aufgabekorngrößen des Siebguts sind von der Einordnung der Siebung in den Verfahrensablauf abhängig und liegen im Meterbereich für das Aufgabematerial in den Brecher und im Millimeterbereich nach der Zerkleinerung. Es werden Siebschnitte im Bereich von etwa 2 mm bis 80 mm realisiert. Innerhalb dieses Bereichs richtet sich die Auswahl der geeigneten Siebmaschine nach

- den Eigenschaften des Siebgutes wie obere Aufgabekorngröße, Korngrößenverteilung, Grenzkornanteil, Kornform, Oberflächenfeuchte, Schüttdichte
- den Produktparametern wie die geforderte Partikelgröße sowie der tolerierbare Fehlkornanteil

- den technologischen Anforderungen wie Durchsatz, Anzahl der Fraktionen, Einbindung in den Prozessablauf, Art der Beschickung, benötigter Flächenbedarf und Bauhöhe sowie Aufstellungsort.

In Tabelle 4- 6 ist die Auswahl des jeweils geeigneten Siebmaschinentyps anhand der Materialparameter dargestellt.

Tabelle 4- 6: Kriterien für die Auswahl von Siebmaschinen

Eigenschaften des Siebgutes	
Obere Aufgabekorngröße	→ Bauschutt im Ausgangszustand: Roste → Bauschutt nach der Zerkleinerung: Wurfsiebmaschinen
Hoher Grenzkornanteil	→ Wurfsiebmaschinen geeigneter als Trommelsiebe
Oberflächenfeuchte	→ hoch: Belagschwinger, insbesondere Spannwellensiebmaschinen, Erblindungsgefahr bei Trommelsieben
Kornform	→ kubische Partikel: alle Typen → plattige, flächige Partikel: Trommelsiebe
Schüttdichte	→ im Bereich mineralischer Bestandteile von 0,6 bis 1,6 kg/dm <sup>3</sup> : alle Typen einsetzbar → im Bereich von Leichtstoffen: Trommelsiebe
Eigenschaften des erzeugten Produktes	
Partikelgröße	
< 4 mm	Wurfsiebmaschinen,
3 -10 mm	Wurfsiebmaschinen, Trommelsiebe, Vibrationsroste
30 - 80 mm	Wurfsiebmaschinen, Trommelsiebe, Vibrations-, Stufenspalt- und Rüttelroste
> 80 mm	Trommelsiebe, Roste
Angestrebte Trenngüte	→ hoch: Wurfsiebmaschinen, Roste → ~ 1/Durchsatz

Für Wurfsiebmaschinen kann der erreichbare Durchsatz anhand des spezifischen Siebgutstroms abgeschätzt werden, welcher den Durchsatz pro verfügbare Siebfläche in m<sup>3</sup> Siebgut pro m<sup>2</sup> Siebfläche und Stunde angibt. Der spezifische Siebgutstrom hängt von der Bauart der Siebmaschine, insbesondere von der Intensität der Materialbewegung auf dem Sieb und der Siebmaschenweite sowie von den Siebguteigenschaften ab. Für die Siebung von Rundkorn wird von Höffl [15] folgende Beziehung angegeben:

$$\dot{V}_{spez} = 4 * w^{0,57}$$

mit  $\dot{V}_{spez}$ : Spezifischer Siebgutstrom in m<sup>3</sup>Siebgut/(m<sup>2</sup> Siebfläche \* h)  
w: Siebmaschenweite in mm

Die nach dieser Beziehung berechneten spezifischen Durchsätze sind zusammen mit den in der Praxis erreichbaren Durchsätzen sowie den aus einer Zusammenstellung von Herstellerangaben ableitbaren Durchsätzen im Bild 4- 31 dargestellt. Daraus ergibt sich:

- Der spezifische Durchsatz nimmt mit zunehmender Siebmaschenweite zu.
- Die nach der o.g. Beziehung berechneten Werte ebenso wie die aus den Herstellerangaben abgeleiteten Werte liegen über den in der Praxis erreichten Durchsätzen und können deshalb nur eine Orientierung geben.
- Für Belagschwinger, die geringere Siebmaschenweiten als indirekt erregte Siebmaschinen aufweisen, sind geringere Durchsätze typisch.

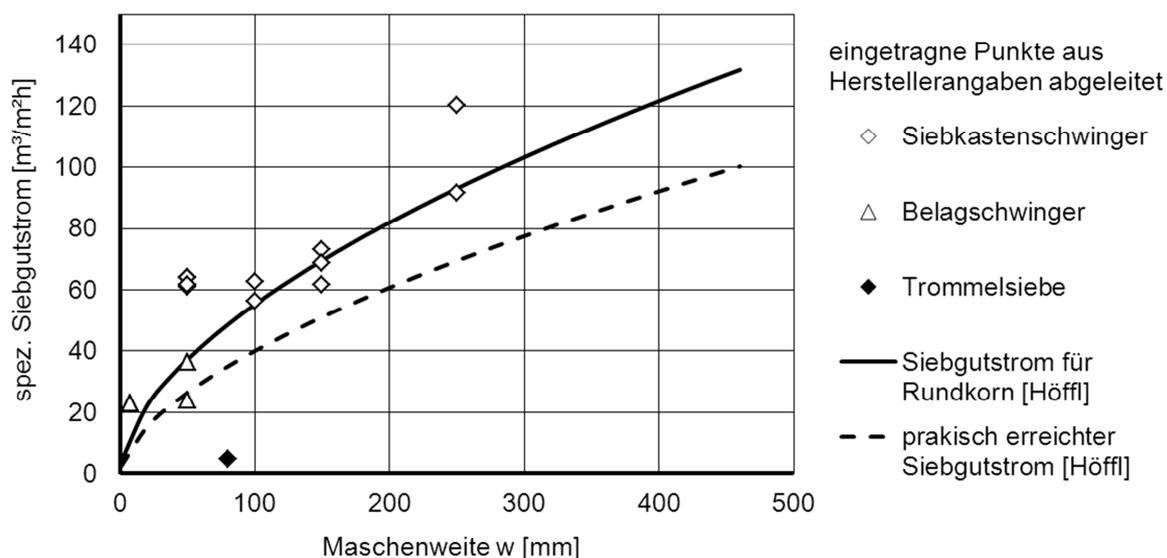


Bild 4- 30: Abhängigkeit des spezifischen Siebgutstroms von der Siebmaschenweite, berechnete Abhängigkeiten nach [15], eingetragene Punkte nach [16]

Der spezifische Siebgutstrom, der mit Trommelsieben realisiert werden kann, liegt deutlich unter den Werten für Wurfsiebmaschinen. Dieser vergleichsweise geringe Wert ergibt sich daraus, dass bei Trommelsieben immer nur etwa ein Drittel der Siebfläche tatsächlich genutzt werden kann.

## 4.3 Sortierung

### 4.3.1 Grundbegriffe der Sortierung

#### Sortierung

Unter Sortierung wird die Trennung eines Materialgemisches nach Stoffarten unter Nutzung typischer Stoffmerkmale verstanden. Der aufzugebene Schüttgutstrom, der aus mehreren Komponenten besteht, wird durch die Schwerkraft, durch Strömungskräfte oder durch Konstruktionselemente der Maschine durch das Sortieraggregat gefördert. Dabei muss eine ausreichende Zerteilung des Schüttgutstroms erreicht werden, damit die Merkmale der Einzelpartikel erkannt werden können. Anschließend muss die Komponente mit dem gewünschten Sortiermerkmal separiert und ausgetragen werden. In Recyclinganlagen dient die Sortierung der Entfernung von Störstoffen oder der Trennung der Bestandteile von Bauabfällen.

Voraussetzungen für die Sortierung sind,

- dass die Komponenten aufgeschlossen sind, d.h. dass sie nicht miteinander verbunden sind und
- dass sie sich in einem Merkmal, das technisch handhabbar ist, von den anderen Komponenten unterscheiden.

## Sortiermerkmale

Materialeigenschaften, in welchen sich die Bestandteile eines Bauabfallgemisches unterscheiden und die in einem technischen Sortierprozess „erkannt“ werden können, werden als Sortiermerkmale bezeichnet. Das wichtigste Merkmal für die Trennung der Bestandteile von Bauabfällen ist die Dichte (Tabelle 4- 7). Die metallischen Bestandteile können anhand der magnetischen Eigenschaften oder der elektrischen Leitfähigkeit sortiert werden. Wenn mineralischen Bestandteile mit stark unterschiedlichen Zerkleinerungswiderständen oder Verformungsverhalten aufbereitet werden, reichert sich das leichter zerkleinerbare Material bzw. das sprödere Material im Feingut an, so dass die Korngröße als Sortiermerkmal genutzt werden kann. Für Sortierverfahren, welche die genannten Merkmale zur Trennung von Schüttgutströmen verwenden, werden als Massenstromsortierung bezeichnet.

Die Einzelkornsortierung beruht auf augenscheinlichen oder mittels Sensoren messbaren Unterschieden der Bestandteile eines Schüttgutstroms. Sie kann manuell durch Klaubung erfolgen. Zunehmend wird diese händische Sortierung aber durch sensorgestützte Verfahren abgelöst, die auf bekannte Sortiermerkmale wie Farbe oder Kornform zurückgreifen. Alternativ können die Spektren in bestimmten Wellenlängenbereichen der elektromagnetischen Strahlung für die Unterscheidung der Bestandteile von Bauabfällen genutzt werden.

Tabelle 4- 7: Zusammenstellung von Sortiermerkmalen für Bestandteile von Bauabfällen

	Trockenrohddichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Kornform	Farbe
Natürliche Gesteinskörnung	> 2500	kubisch	variabel
Beton	2000-2500	kubisch	grau
Asphalt	2500	kubisch	schwarz
Klinker, nicht por. Ziegel	2000-2400	plattig, splittrig	rot
Porosierte Ziegel	~ 1800	plattig, splittrig	rot
Kalksandstein	~ 2000	kubisch	weiss bis grau
Porenbeton	300-900	kubisch	weiss bis grau
Leichtbeton, haufwerksporiger Beton	< 1500-2000	kubisch	grau
Mörtel, Putz	< 1500-2000	k.A.	variabel
Poröse Schlacke			
Bims			
Mineralische Dämmstoffe	150	plattig, fasrig	variabel
Extrudiertes Polystyrol	30	plattig	weiss, grau
Glas	> 2500	plattig	transparent
Gipskörner	600-2100	kubisch	weiß bis grau
Kunststoffe	900-1400	plattig, splittrig	variabel
Holz	400-600		grau bis braun
Pflanzenreste	k.A.	k.A.	variabel
Papier/Pappe	500-1200	flächig	
Boden/Abschlämmbares	2500	k.A.	variabel

Unterscheiden sich die Komponenten in mehreren, für die Sortierung geeigneten Merkmalen, richtet sich die Auswahl des genutzten Merkmals zusätzlich nach der Zielstellung der Sortierung. Bild 4- 31 zeigt beispielhaft ein Gemisch aus Ziegel, Beton und Naturstein. Die Komponenten unterscheiden sich in der Dichte, der Kornform und der Farbe, wobei Überlappungen auftreten. Somit kommen diese

Eigenschaften als Sortiermerkmale in Frage. Bei der Rohdichte als Sortiermerkmal werden RC-Baustoffe mit definierten Rohdichten, aber unterschiedlicher Zusammensetzung erzeugt. Wenn die Ziegelpartikel, die bei bestimmten Anwendungen unerwünscht sind, abgetrennt werden sollen, kann die Kornform als Sortiermerkmal verwendet werden. Sollen möglichst sortenreine Stofffraktionen erzeugt werden, stellt die Farbe das günstigste Sortiermerkmal dar (Tabelle 4- 8).

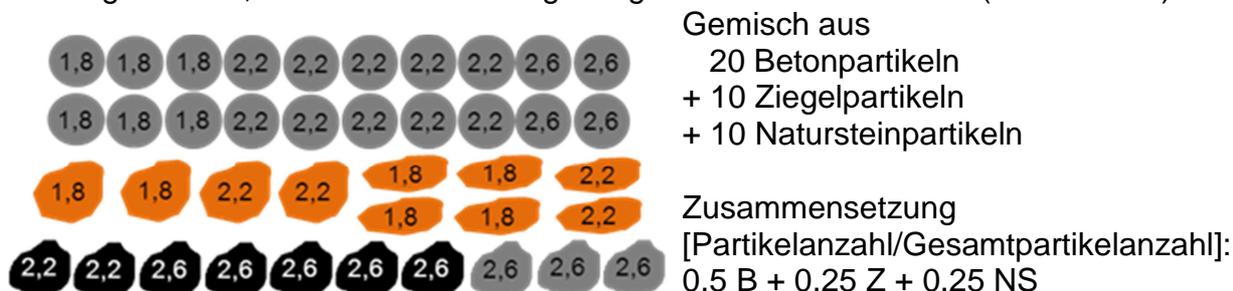


Bild 4- 31: Schematische Darstellung eines Gemisches aus Beton, Ziegeln und Naturstein mit den Sortiermerkmalen Dichte, Kornform und Farbe

Tabelle 4- 8: Ergebnisse der Sortierung des Gemisches aus Bild 4- 31 nach unterschiedlichen Merkmalen

Sortiermerkmal Dichte	1,8 g/cm <sup>3</sup>	2,2 g/cm <sup>3</sup>	2,6 g/cm <sup>3</sup>
Bestandteile [Partikelanzahl]	6 x B + 6 x Z	10 x B + 4 x Z + 2 x NS	4 x B + 8 x NS
Zusammensetzung [Partikelanzahl/Gesamtpartikelanzahl]	0,5 B + 0,5 Z	0,625 B + 0,25 Z + 0,125 NS	0,33 B + 0,66 NS
Sortiermerkmal Kornform	kubisch	plattig	
Bestandteile [Partikelanzahl]	20 x B + 4 x Z + 10 x NS	6 x Z	
Restgehalt an Ziegel als Störstoff [Partikelanzahl/Gesamtpartikelanzahl]	0,12 Z		
Sortiermerkmal Farbe	orange	grau	schwarz
Bestandteile [Partikelanzahl]	10 x Z	20 x B + 3 x NS	7 x NS
Sortenreinheit [Partikelanzahl/Gesamtpartikelanzahl]	1 Z	0,87 B	1 NS

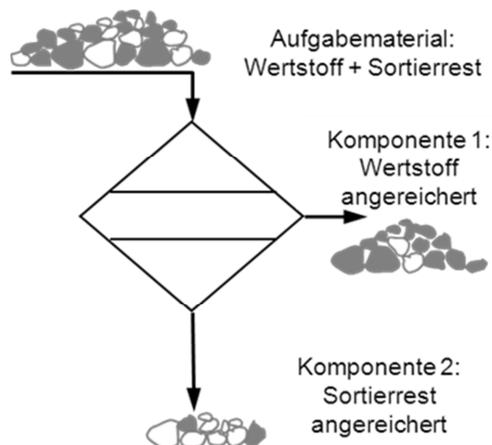
### Bewertung von Sortiervorgängen

Die Bewertung von Sortiervorgängen beruht auf Massenbilanzen. Das Aufgabematerial wird in zwei Teilströme aufgetrennt, die sich in dem für die Sortierung genutzten Merkmal unterscheiden. Sowohl die Gesamtmassenbilanz als auch die Fraktionsmassenbilanz müssen erfüllt sein. Für technische Sortierungen gilt, dass keine ideale Trennung erreicht werden kann (Bild 4- 32). Das Produkt kann unerwünschte Störstoffreste enthalten. Im Abprodukt können Wertstoffpartikel enthalten sein und „verloren“ gehen. Die Qualität des Produkts kann mit der Sortenreinheit oder dem Störstoffgehalt beschrieben werden. Diese Kenngrößen müssen den Anforderungen, die sich aus der Verwertung ergeben, genügen.

Sortenreinheit = \_\_\_\_\_ [kg/kg]

Störstoffgehalt = \_\_\_\_\_ [kg/kg]

Das Masseausbringen gibt an, wieviel von dem Aufgabemassenstrom in das Produkt übergeht. Aus dem Wertstoffausbringen kann der Anteil des Wertstoffs, der in das Produkt übergeht, abgelesen werden (



Gesamtmassenbilanz

$$\dot{M}_A = \dot{M}_{\text{Wertstoff}} + \dot{M}_{\text{Sortierrest}}$$

Komponente 1 → Produkt

$$\dot{M}_1 = \dot{M}_{\text{Wertstoff}(1)} + \dot{M}_{\text{Sortierrest}(1)}$$

Komponente 2 → Abprodukt

$$\dot{M}_2 = \dot{M}_{\text{Wertstoff}(2)} + \dot{M}_{\text{Sortierrest}(2)}$$

$$\text{Masseausbringen} = \frac{\dot{M}_1}{\dot{M}_A}$$

$$\text{Wertstoffausbringen} = \frac{\dot{M}_{\text{Wertstoff}(1)}}{\dot{M}_{\text{Wertstoff}}}$$

Bild 4-32).

Bild 4- 32: Schema der Materialtrennung durch Sortierung und Massenbilanz

Bei der Bauabfallsortierung sollte das Masseausbringen möglichst hoch sein, weil das Abprodukt in der Regel kostenintensiv beseitigt werden muss. Das Wertstoffausbringen hat dagegen eine geringere Bedeutung, weil Wertstoffverluste im Abprodukt von geringerer betriebswirtschaftlicher Relevanz sind.

### Sortierverfahren

In Abhängigkeit von dem Medium, in welchem sortiert wird, können trockene und nasse Sortierverfahren unterschieden werden. Die nassen Verfahren sind robuster in Bezug auf Partikelgrößenunterschiede. So kann bei der nassen Dichtesortierung das Verhältnis von größtem und kleinstem Partikel 8 betragen, während dieses Verhältnis bei trockenen Verfahren 4 nicht übersteigen sollte. Für die trockene Sortierung ist also eine engere Klassierung erforderlich im Vergleich mit der nassen Sortierung.

Mit Ausnahme der Klaubung ist die Sortierung nach der Zerkleinerung in den Ablauf der Aufbereitung eingeordnet. Durch die Zerkleinerung werden zum einen sortierbare Partikelgrößen erzeugt. Zum anderen erfolgt der erforderliche Aufschluss von Stoffverbunden. Weiterer vorgeschalteter Verfahrensschritt ist eine Klassierung (Bild 4- 1).

#### 4.3.2 Trockene Dichtesortierverfahren

#### 4.3.3 Nasse Dichtesortierverfahren

#### 4.3.4 Metallsortierung

#### 4.3.5 Sensorgestützte Sortierung

## Literaturverzeichnis

- [1] Müller, A.; Lander, S.: Aufbereitung und Verwertung von Bauabfällen, Entsorgungspraxis 2000, Nr. 10, S. 13 – 17. ISSN 0724-6870
- [2] Müller, A.: Baustoffkreisläufe – Stand und Entwicklungen. Ibausil-Tagungsbericht, September 2003, S. 1-1289 - 1-1308.
- [3] Rumpf 1961 Grundlegende physikalische Probleme bei der Zerkleinerung. Chemie-Ingenieur-Technik 34 (1962), Nr. 11, 731-741.
- [4] Rumpf, H.: Die Einzelkornzerkleinerung als Grundlage einer technischen Zerkleinerungswissenschaft. Chemie-Ingenieur-Technik 37 (1965), Nr. 3, 187-202.
- [5] Schubert, W.; Khanal, M.; Tomas, J.: Simulation der Aufschlußzerkleinerung eines Partikelverbundstoffes mittels Diskrete-Elemente-Methode. Vortrag zur GVC-Fachaussschußsitzung "Zerkleinern" vom 10. bis 11. April in Freiburg.
- [6] Müller, A.: Qualitätskriterien Prallzerkleinerung von Betonen mit definierten Eigenschaften. AT International Mineral Processing 51 (2010), H.9, S. 44-63.
- [7] Marktfocus Brecher. AT International Mineral Processing. Bauverlag 2011.
- [8] Hanisch, J.: Stand und Probleme bei der Zerkleinerung von Baureststoffen. Aufbereitungs-Technik 35 (1994), Nr. 8, S. 423 – 432.
- [9] Kohler, G.: Recyclingpraxis Baustoffe: Verlag TÜV Rheinland, Köln 1994.
- [10] Müller, Landmann, M., Palzer, U.: Rückgewinnung sortenreiner Baustofffraktionen aus Mauerwerk
- [11] Kurkowski, H.:
- [12] Lander, S.; Müller, A.: Sanitärkeramik -wenig beachteter Bauabfall mit großem Potential. Vortrag auf der Fachtagung „Recycling 2003“ Forschungsprojekte zum Recycling. Weimar 27. März 2003.
- [13] Stark, U.: Korngröße und Kornform von Recyclingbaustoffen - schnelle und effektive Methode zur Beurteilung. Vortrag auf der Fachtagung „Recycling 2003“ Forschungsprojekte zum Recycling. Weimar 27. März 2003.
- [14] Stieß, M.: Mechanische Verfahrenstechnik 1. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1995.
- [15] Böhringer, P.; Höffl, K.: Baustoffe wiederaufbereiten und verwerten. AVS-Institut GmbH Unterhaching, 1995.
- [16] Screening Technology. AT International Mineral Processing. Bauverlag 2011.