

## **Gewinnung von feinteiligem Brennstoff aus Abfällen**

M. Wilczek, C. Wolf, J. Bertling, R. Kümmel

### **99 Historische und aktuelle Rahmenbedingungen**

Bereits Anfang der 80er Jahre galt das Interesse der gezielten mechanischen Aufbereitung von Restabfällen zu Ersatzbrennstoffen (EBS) bzw. »Brennstoff aus Abfall (BRAM)«. Aus der Erfahrung der knappen Primärenergiereserven heraus, die sich besonders deutlich in den steigenden Rohstoff- und Energiepreisen (OPEC-Ölembargo 1973-74) ausdrückte, erwuchs das Recyclingkonzept als eine Lösungsmöglichkeit. Schon bald rückten Abfälle in den Mittelpunkt des Interesses, da man in ihnen einen Großteil noch nicht erschlossener Reserven sah. Die Idee der Sortierung von Abfällen zur Brennstoffgewinnung basiert damit im wesentlichen auf energiewirtschaftlichen Erwägungen. Alternative Brennstoffe sollten konventionelle Primärenergieträger ergänzen und wenn möglich substituieren. Das Anforderungsprofil wurde weitgehend durch energetische Parameter (Heizwert, Wassergehalt, Aschegehalt) und Transport- und Lagereigenschaften bestimmt.

Sehr schnell wurde aber deutlich, dass Technologien, die aus anderen Branchen bekannt sind, nicht ohne zusätzlichen Forschungsaufwand zur Aufbereitung von heterogenem Abfall benutzt werden können [alte85]. Gleichzeitig wurde die Produktion von BRAM erheblich teurer als zuvor eingeschätzt. Eine einfache Verfahrenstechnik war nicht in der Lage, Brennstoffe mit ausreichend guten Verbrennungseigenschaften zu produzieren. Die ursprünglichen Konzeptionen zur Brennstoffgewinnung waren zudem für die Erfordernisse des Marktes nicht spezifisch genug. Die damals nicht gleichbleibende Qualität hatte erheblichen Einfluss auf die Abnahmesituation am Brennstoffmarkt, da es Vorbehalte gegen nicht exakt zu kalkulierende Brennstoffe gab. Nachdem eine Vielzahl von Konzepten nicht den gewünschten Erfolg brachte, wurde die Idee von Brennstoff aus Abfall zurückgestellt.

Mit Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes - KrW-/AbfG - 1996 wurde eine Neuorientierung in der Abfallwirtschaft gesetzlich festgeschrieben. Das wesentliche Ziel war die Abkehr von der linear ausgerichteten Wegwerfgesellschaft hin zu einem kreislauforientierten Stoffstromsystem für Produkte und Abfälle.

Entsprechend wurden bestehende Entsorgungsdeterminanten wie die Vorgabe von Entsorgungspfaden und der Anschlusszwang bei der Abfallentsorgung für Teile der bisherigen abfallwirtschaftlichen Bestandteile aufgehoben. Ziel des Gesetzes ist eine deregulierende und markt-öffnende Wirkung. Die daraus resultierende nun frei zu treffende Auswahl von Entsorgungsoptionen soll sich an

- der technischen Realisierbarkeit (§ 5 Abs. 4 KrW-/AbfG),
- der wirtschaftlichen Zumutbarkeit (§ 5 Abs. 4 KrW-/AbfG),
- der Umweltverträglichkeit (§ 5 Abs. 5 und § 6 Abs. 1 KrW-/AbfG) und
- der Hochwertigkeit (§ 5 Abs. 2 KrW-/AbfG)

ausrichten.

Diese geänderten Randbedingungen führten zuletzt zu einer Auflebung der BRAM-Konzepte und der themenbezogenen Diskussion, nicht zuletzt auch wegen der starken Zunahme an mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsverfahren, die eine heizwertreiche Fraktion aus dem Restabfall abtrennen. Neu entwickelte Konzepte müssen sich an den Eckwerten des KrW-/AbfG messen lassen, um ihre Hochwertigkeit und Umweltverträglichkeit nachzuweisen.

## **100 Untersuchungsprofil**

Der Schwerpunkt bei den nachfolgend beschriebenen Untersuchungen wurde auf die Herstellung eines feinteiligen Sekundärbrennstoffs gelegt, der unter anderem auch in Staub- oder Schmelzfeuerungen eingesetzt werden kann. Die daraus an diesen Ersatzbrennstoff resultierenden Anforderungen aus Sicht der mechanischen Aufbereitung sind:

- enge Korngrößenverteilung,
- Homogenität und
- Riesel- sowie Förderfähigkeit

Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurde bisher in Anlagenkonzepten eine pyrolytische Brennstoffaufbereitung verfolgt. In den nachfolgend aufgeführten experimentellen Untersuchungen lag nun der Fokus auf der Gestaltung eines Gesamtverfahrens und der Auswahl der Maschinenteknik, der sinnvollen Anordnung sowie der damit verbundenen Gestaltung der Schnittstellen der eingesetzten Apparate. Diese Untersuchungen waren entscheidend für eine Bewertung der technisch Realisierbarkeit eines Gesamtverfahrens zur Herstellung von feinteiligen Brennstoffen.

Die Auswahl der Maschinen und Apparate für die durchgeführte Untersuchung erfolgte auf der Basis der theoretischen Vorüberlegungen zur Qualität der Abfallfraktionen und der Charakteristika der Zerkleinerungsphänomene. Eine Zusammenstellung der Theorie erfolgt im nachfolgenden Kapitel.

## **101 Theoretische Grundlagen der Zerkleinerung**

Abfall ist hinsichtlich seiner werkstofflichen und bruchmechanischen Eigenschaften ein äußerst heterogenes Gemisch. Das Verhalten der Einzelfraktionen beim Einwirken mechanischer Kräfte reicht von spröde- über viskoelastisch bis plastisch. Ein besonderes Problem bei der Zerkleinerung von Hausabfall stellen Stoffe dar, die bei der Zerkleinerung zerfasern und sich durch die intensive mechanische Bewegung im Zerkleinerungsapparat zu »Wollmäusen« zusammenlagern. Diese führen bei nachfolgenden Arbeitsschritten hinsichtlich ihres großen Volumens, einer niedrigen mittleren Dichte und der Tatsache, dass sie aufgrund ihrer Tendenz, andere Stoffe einzulagern, quasi neue Verbundmaterialien bilden, nicht selten zu Betriebsproblemen.

Bei der Auswahl der Zerkleinerungsapparate sind für bestimmte werkstoffliche Eigenschaften verschiedene Mechanismen (Druck, Prall, Schneiden, Scherung) der Zerkleinerung mehr oder weniger gut geeignet (vgl. Tabelle 1). Erschwerend kommt hinzu, dass aufgrund von Materialverbänden und

eng beieinanderliegender Trenncharakteristika nur schwer Einzelfractionen mit einem einheitlichen werkstofflichen Verhalten für eine separate Zerkleinerung gewonnen werden können.

Bei der Auswahl eines Zerkleinerungsaggregats für Abfälle muss dabei immer berücksichtigt werden, dass auch Stoffe durchgesetzt werden müssen, für die das ausgewählte Aggregate nicht oder nur bedingt geeignet ist. Nur selten verhalten sich diese Stoffe inert, zumeist stören sie den Betrieb z.B. durch Verschleiß, Verstopfen, Feinstaubbildung, Verkleben etc. Darüber hinaus ist auch immer mit »Scherartikeln« zu rechnen, die keiner Zerkleinerung zugänglich sind. Diese können zu einer Zerstörung der Apparate führen, wenn sie nicht rechtzeitig erkannt und abgetrennt werden. In Abfällen wurden bereits z.B. Schiffsschrauben, gefüllte Acetylenflaschen oder sogar ausgegossene Betonfässer gefunden.

**Tab. 1** Zerkleinerungsrelevante Eigenschaften von Abfallfraktionen [pall95]

Stoffeigenschaft	Stoffbeispiele aus Abfällen	Beanspruchungsart			
		Druck	Prall	Schnitt	Scherung
<b>hart/schleißend</b>	Glas, Keramik, Metalle, Sand, Steine	+	-	-	-
<b>mittelhart</b>	Salz, Duroplaste	+	+	-	-
<b>weich</b>	Vegetabilien, Thermoplaste, Textilien, Papier, Pappe, Holz	<b>0</b>	<b>0</b>	+	+
<b>spröde</b>	Glas, Keramik	+	+	-	-
<b>elastisch</b>	Thermoplaste, Elastomere, Metalle	-	<b>0</b>	+	<b>0</b>
<b>viskos/plastisch</b>	Kunststoffe, Vegetabilien	-	+	+	+
<b>faserig</b>	Papier, Pappe, Textilien, Kunststofffasern	-	-	+	<b>0</b>
<b>verklebend</b>	Kunststoffe, Vegetabilien	-	-	+	<b>0</b>

+: gut anwendbar, 0: bedingt anwendbar,  
-: nicht anwendbar

Im Bereich der Grobzerkleinerung von Abfällen sind langsamlaufende Rotorscheren und -reißer, Kugelmühlen sowie schnelllaufende Shredder, Schneid- und Hammermühlen etabliert. Die ersten vier Aggregate lassen sich für die Gesamtfraction einsetzen. Die Schneidmühlen eignen sich als nachfolgender Schritt für die vorwiegend zäh-elastische Fraction 25 bis 80 mm, die Hammermühlen für die mit Vegetabilien und Hartstoffen angereicherte Fraction < 25mm.

Bei Aufbereitung von Haushaltsabfällen kommt dem Verschleiß an den aus Statoren und Rotoren bestehenden Mahlwerkzeugen besondere Bedeutung zu; er muss in einer Wirtschaftlichkeitsberechnung unbedingt berücksichtigt werden. Andererseits darf der Verschleiß nicht als ausschließendes Appara-

tedefizit angesehen werden, sondern Mahlwerkzeuge müssen als typisches Betriebsmittel für Zerkleinerungsmaschinen begriffen werden. Moderne Lösungen für die konstruktive Gestaltung von Zerkleinerungsapparaten entsprechen demnach auch diesem Anspruch. So lassen sich die Mahlwerkzeuge nachschleifen und -justieren und bei üblichen Standzeiten von einigen hundert bis 3000 Vollastbetriebsstunden innerhalb von einigen Minuten bis zu 2h Zeitaufwand auswechseln. Verglichen mit dem Zeitaufwand für Wartungsarbeiten bei thermischen Anlagen und den daraus resultierenden Anlagenstillständen ist dies jedoch sehr gering.

Während die Grobzerkleinerung von Siedlungsabfällen mit den genannten Aggregaten als Stand der Technik bezeichnet werden kann, ist die Herstellung eines feinteiligen und rieselfähigen Abfalls mit oberen Korngrößen < 3mm Gegenstand aktueller Entwicklungsarbeiten. Prinzipiell geeignet für diese Aufgabe sind Prall- und Schneidmühlen. Gegebenenfalls ist der Feinzerkleinerung eine spezielle Abfallkonfektionierung, die einen besseren Energieeintrag durch die Mahlwerkzeuge in das Mahlgut erlaubt, vorzuschalten.

Zur Konfektionierung bietet sich die Kompaktierung des Abfalls oder die Tieftemperaturversprödung viskoelastischer und plastischer Komponenten an. Diese Verfahren sind aber mit zusätzlichem Aufwand und mit Kosten verbunden. Für die Tieftemperaturversprödung der primär kunststoffhaltigen Grobfraction mittels innovativer Kältetechnologie, wie sie bei Fraunhofer UMSICHT für verschiedene Mahlaufgaben entwickelt wird [bert99], sind ca. 100 kWh/t anzusetzen; umgerechnet auf die Gesamtfraction sind dies etwa 35 kWh/t Abfall.

Als Zerkleinerungsaggregate bieten sich Prall- und Scheibenmühlen sowie Mahlventilatoren an. In diesen werden Umfangsgeschwindigkeiten bis zu etwa 130 m/s erreicht. Da die Feinheitensanforderungen mit < 3mm nicht allzu hoch sind, sollten zur Minderung des Wartungsaufwands relativ große Mahlwerkzeuge eingesetzt werden. Zur Abschätzung des Energiebedarfs bei der Feinzerkleinerung liegen nur wenige Literaturdaten vor. Nach [deck87] kann aber für eine weitergehende Zerkleinerung bis zu Korngrößen im Millimeterbereich mit einem Energiebedarf von 50 bis 500 kWh/t gerechnet werden. Der Energiebedarf liegt damit etwa 10 bis 50 mal höher als bei der Zerkleinerung von Mineralstoffen.

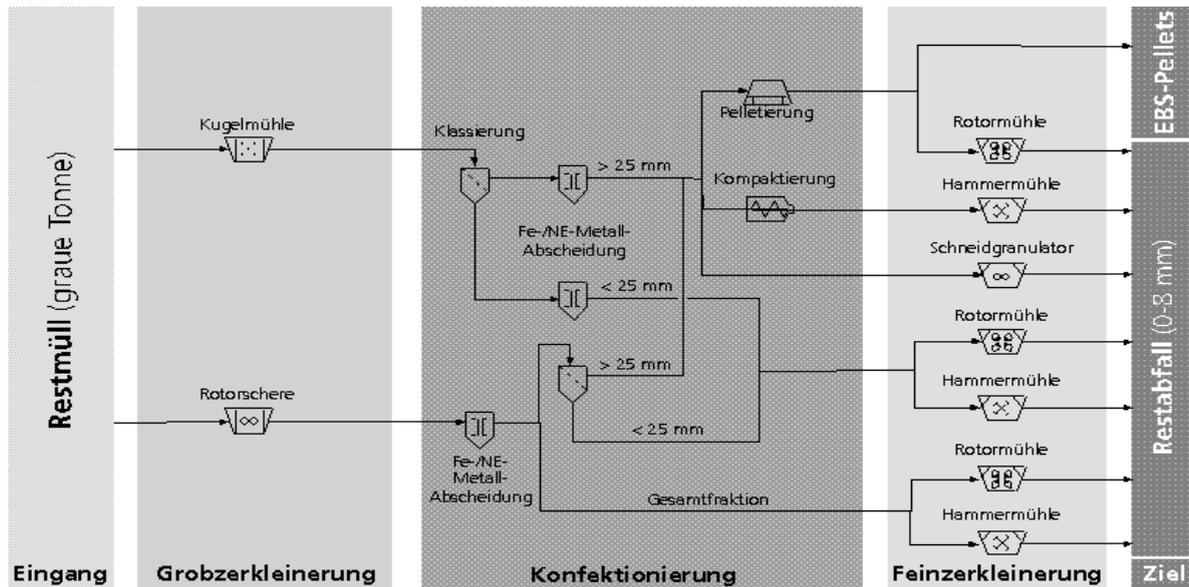
## 102 Vorüberlegungen zur Aufbereitung

Nach einer Grobzerkleinerung von Restabfällen werden zumeist Fe- und NE-Metalle durch geeignete Abscheider aus dem Restabfall entfernt. Danach erfolgt eine Siebung oder Sichtung, die den Inputstrom entsprechend den Angaben in Tabelle 2 aufteilt. Stand der Technik ist die Abtrennung einer hochkalorischen Grobfraction, die als Ersatzbrennstoff verwertet wird, sowie die biologische Behandlung (aerob oder anaerob) der Feinfraction, um das Produkt dann entweder als Kompost zu verwerten oder zu deponieren.

**Tab. 2** Charakterisierung von Restabfallfraktionen

		<b>Grobfraction</b>	<b>Feinfraction</b>
Korngröße	[mm]	> 100 (25)	< 100 (25)
Heizwert	[kJ/kg]	15-25.000	5-8.000
Feuchtegehalt	[Gew.-%]	15-25	25-45
überwiegende Inhaltsstoffe		Papier, Textilien, Kunststoffe	Mineralien, Vegetabilien, andere Organika

Dieser Schritt hat mit Blick auf die weitere Behandlung einen entscheidenden Vorteil, nämlich die Separierung des gesamten Restabfallstroms hinsichtlich seiner Zerkleinerungseigenschaften. Die Grobfraction kann aufgrund des zähen Verhaltens ihrer Inhaltsstoffe nur durch Schneidprozesse in kleinere Partikel zerkleinert werden (Stand der Technik, insbesondere bei der BRAM-Herstellung). Eine Mahlung der eher spröden Feinfraction ist hingegen nur mit Aggregaten sinnvoll, die eine Schlag- oder Prallbeanspruchung auf den Einsatzstoff ausüben. Es ergeben sich somit grundsätzlich für die Vorbehandlung die in Abbildung 1 dargestellten Aufbereitungskonzepte.



**Abb. 1** Vorbehandlung von Restabfall

Die durchgeführten Untersuchungen und die dabei variierten Parameter zeigt die folgende Tabelle 3:

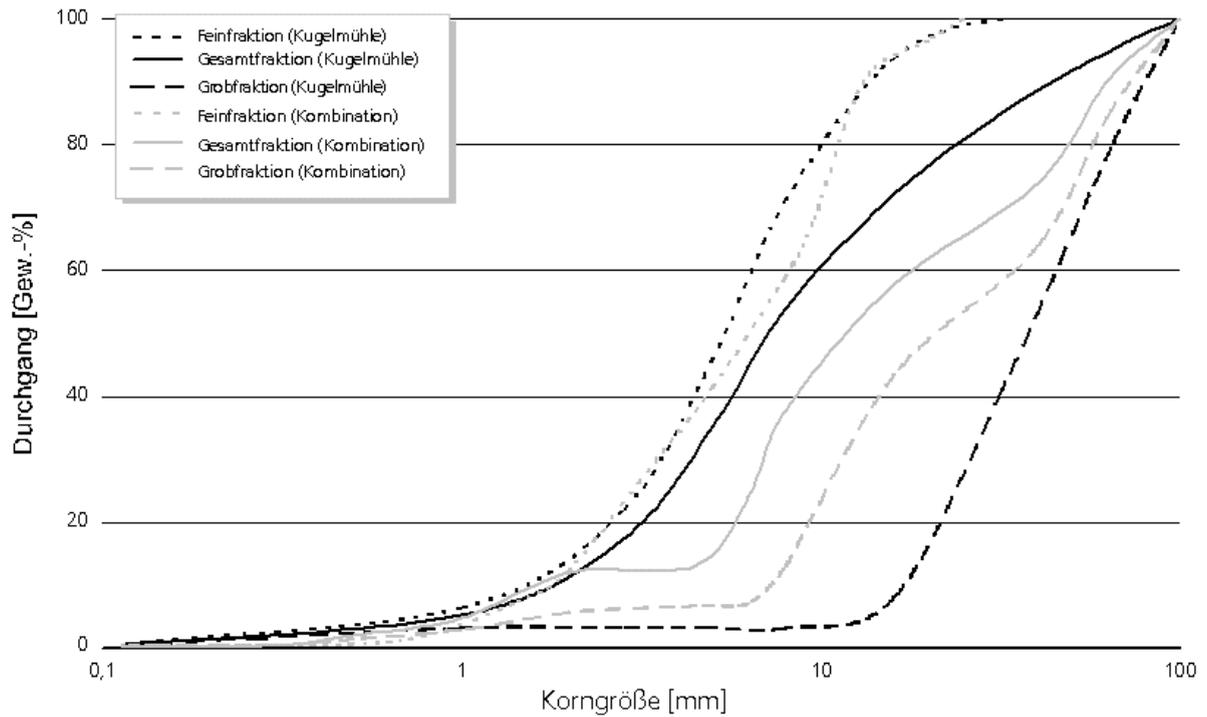
**Tab. 3** Durchgeführte Untersuchungen

Eingesetzte Aggregate	Varierte Parameter	Produkt(e)
Restabfall-Aufbereitung		
Fe-/NE-Abscheider, Rotorschere, Siebboden		Grobfraktion > 25 mm, Feinfraktion < 25 mm, Gesamtfraktion
Fe-Abscheider, Doppelschneckenextruder	Matrizendurchmesser	Pellets $\phi = 80$ mm, Pellets $\phi = 45$ mm
Zerkleinerung der Gesamtfraktion		
Hammermühle	Frequenz, Sieblochweite	Restabfall < 16 mm, Restabfall < 30 mm
Micro-Wirbel-Mühle	Frequenz, Luftstrom, Eintritts- temperatur	Restabfall < 10 mm
Zerkleinerung der Grobfraktion		
Hammermühle	Frequenz, Sieblochweite	Grobfraktion < 16 mm, Grobfraktion < 30 mm
Micro-Wirbel-Mühle	Frequenz, Luftstrom, Eintritts- temperatur	Grobfraktion < 3 mm
Schneidgranulator	Sieblochweite	Grobfraktion < 8 mm
Labor-Hammermühle	Sieblochweite	Grobfraktion < 3 mm
Zerkleinerung der Feinfraktion		
Hammermühle	Frequenz, Sieblochweite	Feinfraktion < 16 mm, Feinfraktion < 30 mm
Micro-Wirbel-Mühle	Frequenz, Luftstrom, Eintritts- temperatur	Feinfraktion < 3 mm
Labor-Hammermühle	Sieblochweite	Feinfraktion < 3 mm

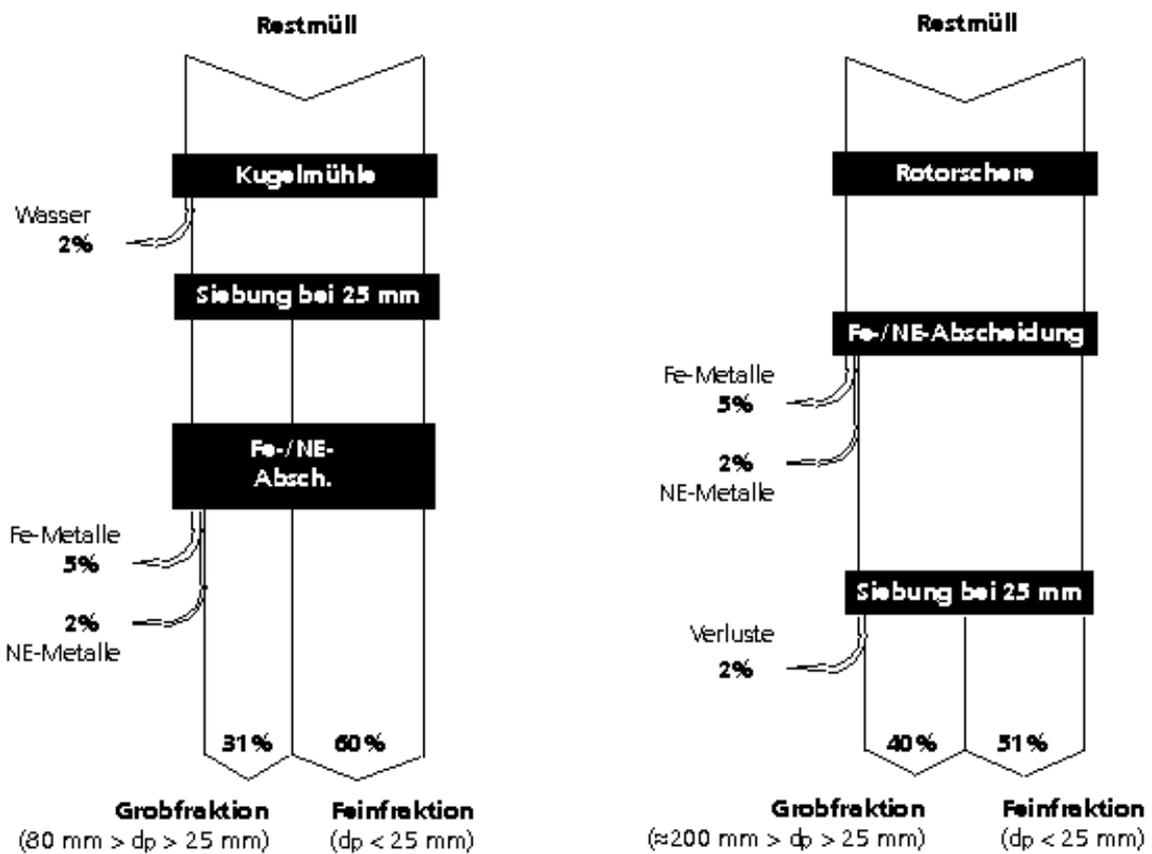
## 103 Ergebnisse

### 103.1 Vorzerkleinerung

In beiden Wegen der Aufbereitung, gemäß Abbildung 1 wurde ein Siebschnitt bei 25mm durchgeführt. Eine Korngrößenanalyse der Gesamtfraktionen sowie der erhaltenen Fein- bzw. Grobfraktionen ist in Abbildung 2 dargestellt.



**Abb. 2** Korngrößenanalyse der Gesamt- sowie der Grob- und Feinfraktion



**Abb. 3** Stoffflüsse der gewählten Aufbereitungsvarianten

Die erhaltenen Korngrößenbereiche sind in beiden Aufbereitungswegen nahezu identisch. Der hohe Feinanteil der Grobfraction des Shredders ist auf durch die Feuchte des Materials bedingte Anhaftungen feiner Partikel an größeren zurückzuführen. Die geringere mittlere Korngröße der Gesamtfraction sowie der höhere Anteil der Feinfraction deuten auf eine intensivere Zerkleinerung der Kugelmühle im Vergleich zum Shredder hin. Die nachfolgende Abbildung zeigt die unterschiedlichen Stoffflüsse der Verfahrenszweige bezüglich der Grobzerkleinerung.

Eine Analyse der erzielten Qualitäten zeigt die nachfolgende Tabelle:

**Tab. 4** Wesentliche Eckwerte der aufbereiteten Fraktionen

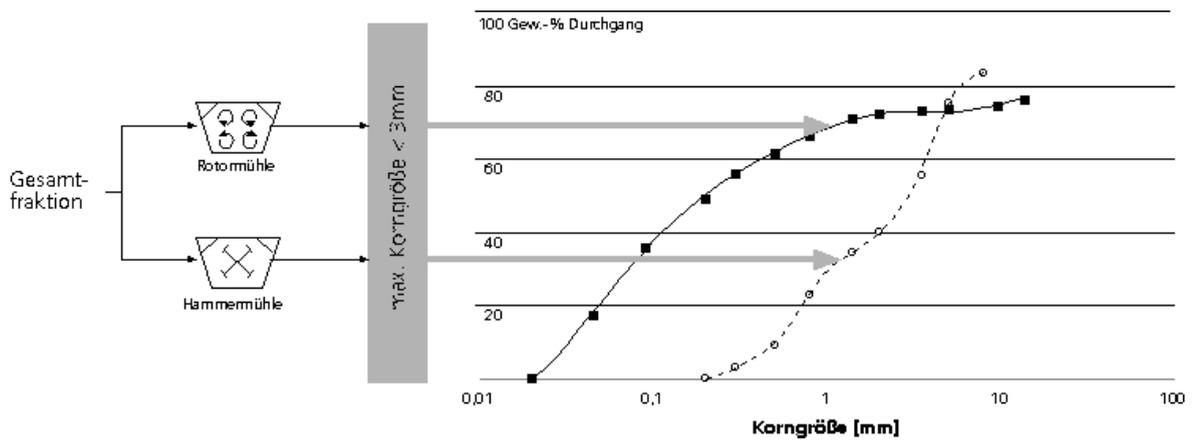
	<b>Kugelmühle</b>	<b>Shredder</b>
<b>Gesamtfraction</b>		
Heizwert [kJ/kg]	10.100	9.540
Feuchtegehalt [Gew.-%]	26	29
<b>Grobfraction &gt; 25 mm</b>		
Anteil [Gew.-%]	31	40
Heizwert [kJ/kg]	20.250	14.990
Feuchtegehalt [Gew.-%]	15	15
<b>Feinfraction &lt; 25 mm</b>		
Anteil [Gew.-%]	60	51
Heizwert [kJ/kg]	6.800	7.650
Feuchtegehalt [Gew.-%]	30	37

In der Kugelmühle findet eine intensivere und selektivere Zerkleinerung als im Shredder statt, was sich an dem deutlich höheren Heizwert der Grobfraction erkennen lässt. Während zäh-elastische Materialien (vorwiegend Kunststoffe und Textilien) wesentlich schlechter als spröde Stoffe in der Kugelmühle zerkleinert werden, werden die Materialien von einem Shredder relativ unabhängig von den Eigenschaften zerkleinert.

Die weiterführenden Versuche konnten aus Gründen der Verfügbarkeit der Kugelmühle lediglich mit dem Material, welches mit dem Schredder aufbereitet wurde, weitergeführt werden.

### 103.2 Feinzerkleinerung der Gesamtfraction

Um den verfahrenstechnischen Aufwand der Aufbereitung zu begrenzen, bietet sich grundsätzlich eine zweistufige Zerkleinerung ohne Siebschnitte an. Für die Versuche zur Zerkleinerung einer Gesamtfraction wurden eine Hammermühle sowie eine Rotormühle eingesetzt.

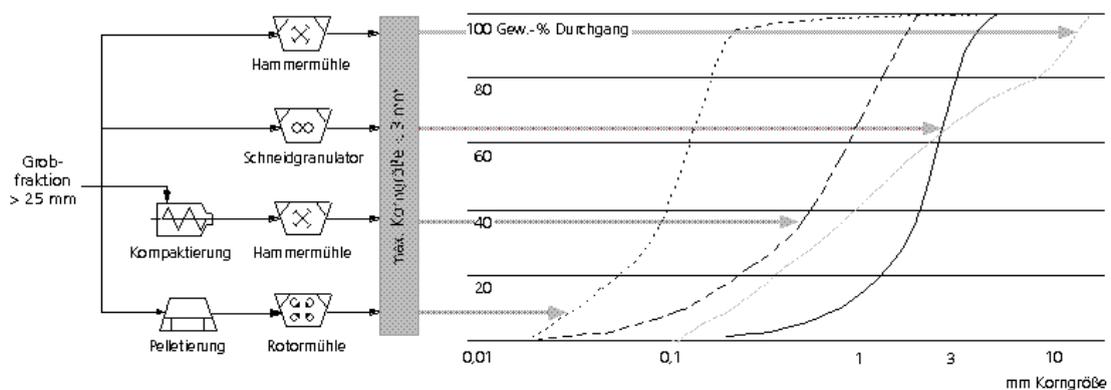


**Abb. 4** Siebdurchgang der aufbereiteten Gesamtfraction

Die Zerkleinerung in beiden Mühlen führte zu einer »Verwollung« der Endprodukte, d.h. sie enthielten einen hohen Faseranteil. Die Fasern neigten zur Bildung von Agglomeraten, die sich schwer wieder zerstören ließen. Das Phänomen ist in Abb. 4 an dem Rückstand von ca. 20% auf dem größten Sieb zu erkennen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass dieser Effekt ab einem bestimmten kritischen Faseranteil in dem zu zerkleinernden Material auftritt, so dass er bei den Untersuchungen unterschiedlich stark ausgeprägt war.

### 103.3 Feinzerkleinerung der Grobfraction

Für die Zerkleinerung der Grobfraction wurde neben einer Hammer- und einer Rotormühle auch eine Schneidmühle eingesetzt.



**Abb. 5** Siebdurchgang der zerkleinerten Feinfraction

**Hammermühle:** Bei der Zerkleinerung in einer Hammermühle (Siebboden 8mm) wurde bestätigt, dass sich die Mühle für Feinzerkleinerung von zäh-elastischen Materialien nicht eignet. Dies ist vor allem auf die Verstopfung des Siebbodens zurückzuführen. Um dennoch Zerkleinerungsenergie in das Material einzutragen, wurde die Grobfraction kompaktiert. Die erhaltenen Kompaktate wiesen einen Durchmesser von 45mm auf. Der Einsatz in einer Hammermühle mit einem Siebboden von 3mm zeigte ein sehr gutes Zerkleinerungsverhalten. Die Grobfraction wurde auf diesem Weg auf eine Korngröße  $d_{50} < 800 \mu\text{m}$  zerkleinert.

**Rotormühle:** Die Kompaktate, die in der Hammermühle eingesetzt wurden, konnten aufgrund ihrer Größe nicht in eine Rotormühle eingebracht werden. Aus diesem Grund wurden von der Grobfraction Pellets bei einem Matrizendurchmesser von 8 mm hergestellt. Diese Pellets wurden dann in der Rotormühle eingesetzt. Das erhaltene Produkt zeichnete sich durch gute Rieselfähigkeit aus. Zudem wurde erreicht, dass ca. 90% der Körner kleiner 200 µm waren.

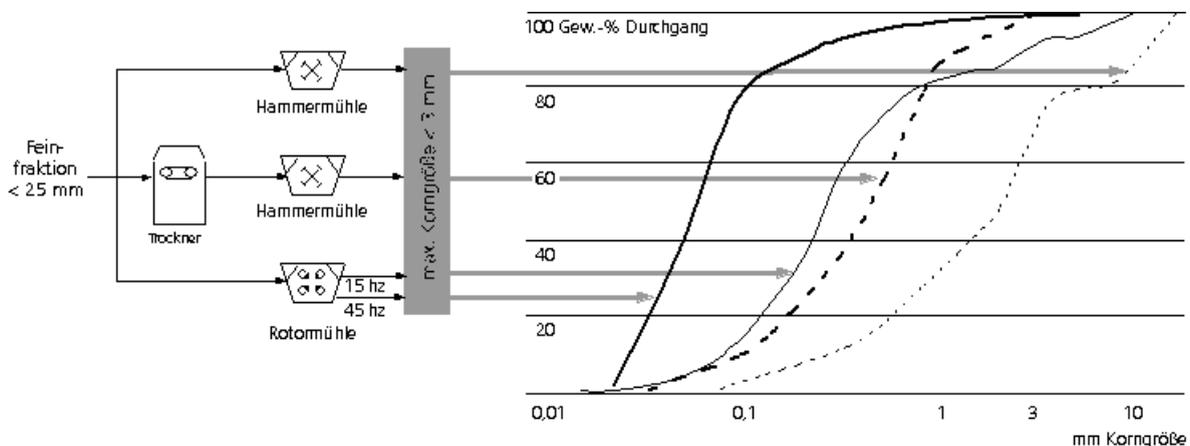
**Schneidmühle:** Die Versuche in einer Schneidmühle ergaben ein relativ enges Korngrößenspektrum. Da der kleinste für die Versuche zur Verfügung stehende Siebboden einen Lochdurchmesser von 8 mm besaß, wurden die Anforderungen bezüglich einer engen Korngrößenverteilung zwar erfüllt, aber aufgrund der Größe der Partikel kann das Produkt nicht als feinteilig bezeichnet werden. Erfahrungen des Herstellers bestätigten jedoch, dass ein Einsatz mit feineren Siebböden durchaus möglich, aber dann mit einem deutlich geringeren Durchsatz verbunden ist.

Für die Zerkleinerung der Grobfraction gilt, dass aufgrund des geringeren Apparatenaufwandes eine Schneidmühle zu empfehlen ist, sofern die Anforderungen des nachfolgenden Prozesses von dem Produkt erfüllt werden. Werden aber höhere Anforderungen bezüglich der Korngröße an das Produkt gestellt, so ist alternativ die Feinzerkleinerung mit einer Rotormühle bei vorgeschalteter Pelletierung zu empfehlen.

### 103.4 Feinzerkleinerung der Feinfraktion

Aufgrund der Verarmung der Feinfraktion an zäh-elastischen und faserigen Materialien und der damit verbundenen Anreicherung an spröden Stoffen ist für die Zerkleinerung das Prinzip der Prallzerkleinerung zu favorisieren, wie es in einer Hammermühle oder Rotormühle angewendet wird.

Für die Lagerung bzw. energetische Verwertung ist eine Trocknung des Materials vorteilhaft. Während bei der Rotormühle das Mahlgut aufgrund des hohen Luftüberschusses bei der Zerkleinerung getrocknet wird, müsste bei dem Einsatz einer Hammermühle ein separater Trocknungsschritt erfolgen.



**Abb. 6** Siebdurchgang der aufbereiteten Feinfraktion

**Hammermühle:** Um den Einfluss der Trocknung auf die Zerkleinerung zu untersuchen, wurde sowohl eine feuchte als auch eine getrocknete Fraktion zerkleinert. Bei der Zerkleinerung mit einem 16mm-Siebboden traten keine Probleme auf. Das Produkt neigte jedoch zu leichter »Verwollung« (vgl. Abschnitt 4), wie an dem hohen Anteil des Siebschnittes bei ca. 7mm zu erkennen ist. Die Gründe für diese Agglomeration liegen in der nicht selektiven Zerkleinerung der Grobfraction, wodurch ein relativ hoher Anteil an Faserstoffen in der eingetragenen Feinfraktion zu erklären ist. Die Vermahlung mit

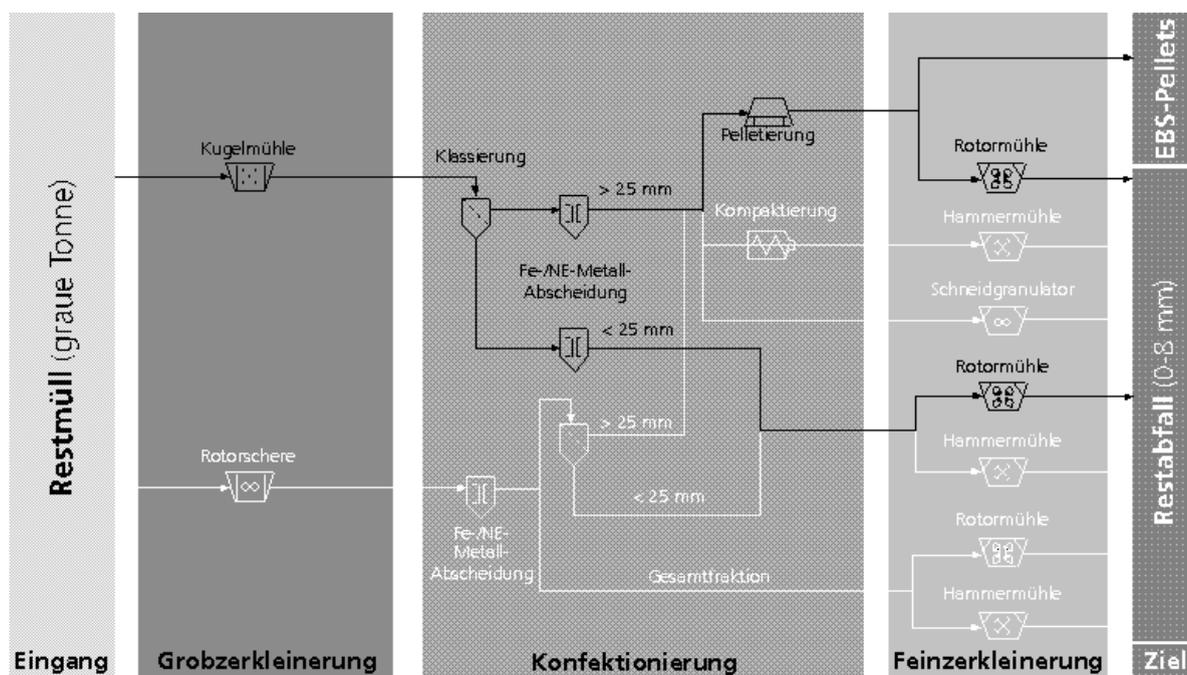
einem 3mm Siebboden schlug vollständig fehl, da dieser verstopfte und kein Durchsatz mehr möglich war.

Durch Trocknung des Materials wurden sowohl einigen Faserstoffen die Elastizität genommen als auch eine durch Feuchte bedingte Agglomeration vermieden. Die Zerkleinerung mit einem 3mm-Siebboden war dadurch ohne Probleme möglich. Das Produkt neigte auch nicht zur »Verwollung«, was u.a. an dem stetigen Verlauf der Sieblinie erkennbar ist.

**Rotormühle:** Das Produkt der Rotormühle zeichnet sich durch eine gute Rieselfähigkeit und eine hohe Feinheit aus. So konnte bei dieser Vermahlung ein Produkt erhalten werden, dessen Körner zu 80% kleiner 100 µm bei einer Frequenz von 45 Hz sind. Durch die Reduzierung der Umdrehungsfrequenz können auch Produkte erhalten werden, die gröbere Korngrößenspektren umfassen.

## 104 Zusammenfassung

Insgesamt wird von den untersuchten Verschaltungen die in der folgenden Abbildung dargestellte empfohlen. Dabei wird die Kugelmühle mit nachfolgender Siebung aufgrund ihrer Selektivität bei der Zerkleinerung bevorzugt. Die nachfolgenden Metallabscheider entfernen metallische Störstoffe aus den Stoffströmen, wodurch die Standfestigkeit der Zerkleinerungsstufen erhöht wird.

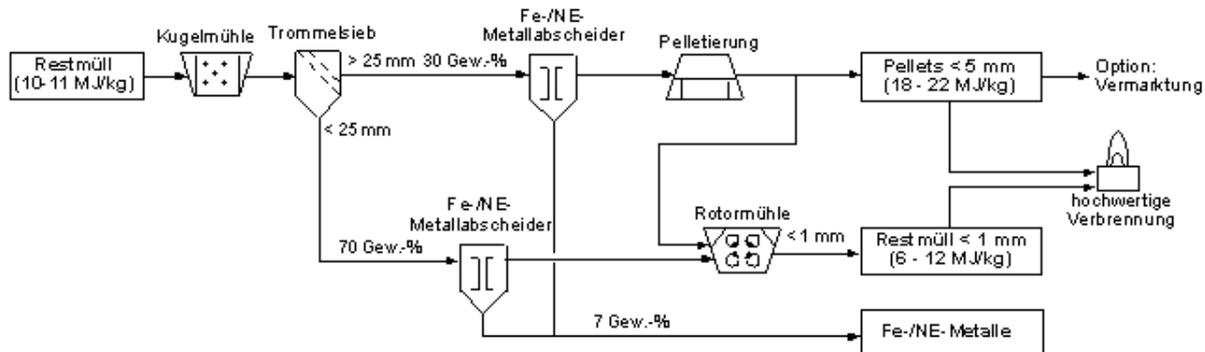


**Abb. 7** Vorzugsvarianten der Aufbereitung zu (feinteiligem) Brennstoff

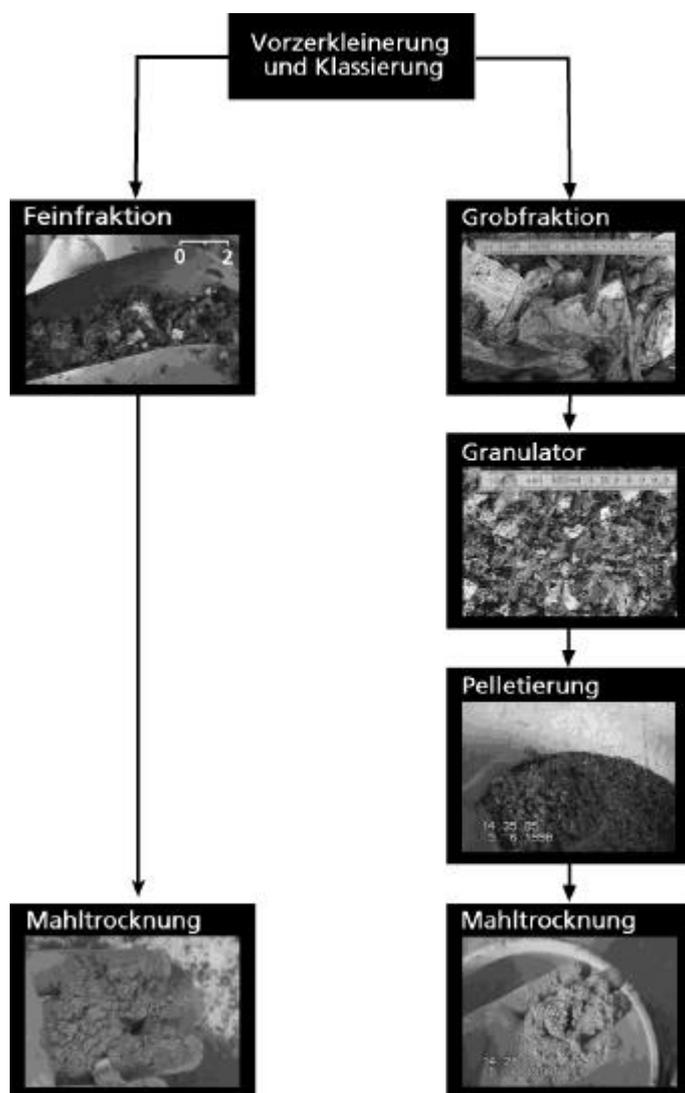
Bei dieser Verschaltung besteht zudem die Möglichkeit, die Grobfraction als Brennstoffpellets auszuscheiden oder bei der Feinzerkleinerung zur Regulierung des Heizwertes des Produktes gezielt zuzugeben.

## 105 Ausgewähltes Anlagenkonzept

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen wurde das in Abb. 8 dargestellte Verfahrenskonzept zur Herstellung eines feinteiligen Brennstoffes erstellt.



**Abb. 8** Blockfließbild des erarbeiteten Verfahrenskonzeptes



**Abb. 9** Bilder zu den erreichten (Zwischen-) Produktqualitäten

zerkleinerbare Materialien werden an dieser Stelle bereits aus dem Prozess ausgeschleust. Der vorzerkleinerte Abfall wird bei einem Siebschnitt von 25 mm in eine Fein- und eine Grobfraktion geteilt. In der Grobfraktion befindet sich verstärkt zäh-elastisches, heizwertreiches Material, während sich in der Feinfraktion feuchtes, organisches und sprödes Material anreichert. Beide Fraktionen werden über einen Fe-/NE-Metallabscheider von metallischen Störstoffen befreit. Von der Grobfraktion werden mit einer Presse Pellets, gemäß dem Stand der Technik bei der Herstellung von Sekundärbrennstoffen, hergestellt. Die Feinfraktion wird in einer Mahltrocknung auf Korngrößen kleiner 1 mm zerkleinert. Optional zur Einstellung eines bestimmten Heizwertes können Ersatzbrennstoff-Pellets gemeinsam mit der Feinfraktion aufgemahlen werden.

Bei diesem Konzept wird der anfallende Abfall in einer Kugelmühle vorzerkleinert. Schwer oder gar nicht

## 106 Literatur

- [alte85] Alter, H.: Refuse-derived fuel production and combustion in the USA. In: Ferranti, M.P.; Ferreiro, G.L.: Sorting of household waste and thermal treatment of waste. Elsevier. London 1985
- [bert99] Bertling, J., et al.: Interne Studien. Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen 1999
- [deck87] Deckers, M.: Zerkleinerung bei der Verwertung von Haushaltsabfällen. In: Thomé-Kozmiansky: Recycling von Haushaltsabfällen. EF-Verlag, Berlin 1987, S. 103ff
- [jäck97] Jäckel, H.-G., et al.: Zerkleinerung von Abfällen mittels Rotorscheren, Rotorreißern und Schraubenreißern. Chemie Ingenieur Technik 69(1997)11, S. 640ff
- [pall95] Pallmann, H.: Grundlagen der Zerkleinerung. Chemie Technik 24(1995)11, S. 72ff

### **Anschrift der Autoren:**

M. Wilczek, C. Wolf, J. Bertling, R. Kümmel  
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT  
Abteilung Abfalltechnik und Kreislaufwirtschaft  
Osterfelder Str. 3  
46047 Oberhausen  
Tel.: ++ 49 208 85 98 0  
Fax ++ 49 208 85 98 290  
Email: info@umsicht.fhg.de