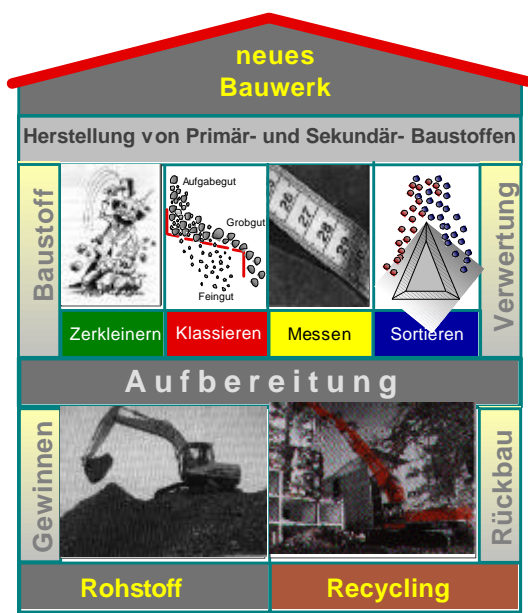


# Disperse Feststoffe aus Roh- und Recyclingmaterialien – experimentelle Möglichkeiten der Herstellung und Bewertung

Vortrag zum Kolloquium „Recycling 99“ am 30.04.99 in Weimar

Professur **AUFBEREITUNG VON BAUSTOFFEN UND WIEDERVERWERTUNG**  
Fakultät Bauingenieurwesen an der BAUHAUS - UNIVERSITÄT WEIMAR



## Gliederung des Vortrages

1. Einleitung
2. Teilprojekte und Ergebnisse
  - Zerkleinerung von Altbeton
  - Mahlung von Hüttensand
  - Klassierung von Steinkohlenflugasche
3. Zusammenfassung

## 1. Einleitung

In der Aufbereitung ist man befaßt mit den Maschinen und Apparaten, mit denen Rohstoffe und Recyclingprodukte für eine bestimmte Verwendung zerkleinert und gegebenenfalls klassiert werden (Bild 1).

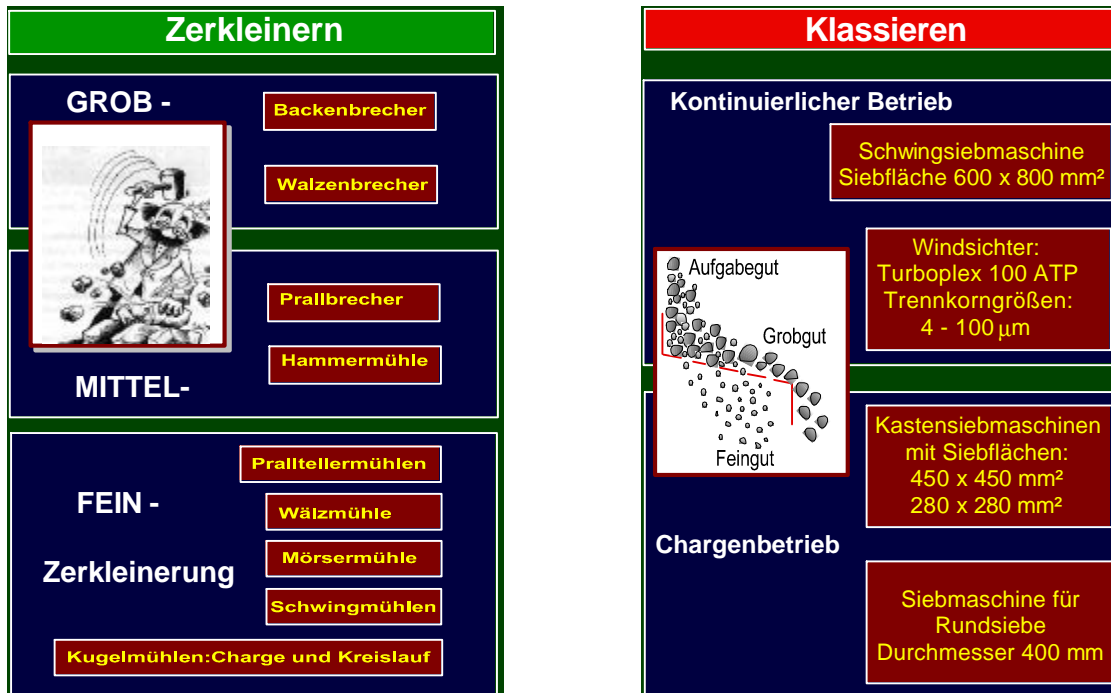


Bild 1: Zerkleinerungs- und Klassiermaschinen an der Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung (ABW)



Bild 2: Meßtechnische Einrichtungen an der Professur ABW

Zur Beurteilung und Bewertung sowohl der Maschinen als auch der dispersen Feststoffe, die hergestellt werden, benötigt man eine umfangreiche Meßtechnik. Im Korngrößen- und Recycling-labor der Professur (Bild 2) werden für die Korngrößenanalyse die Siebung, Sedimentation und die Laserbeugung, zur Bestimmung der spezifischen Oberflächen Durchströmungs- und Adsorptionsverfahren und zur Messung von Roh- und Reindichte verschiedene Pyknometer genutzt. Im Hinblick auf eine Verwertung von Recyclingprodukten stehen im Recyclinglabor diesbezügliche Prüfmöglichkeiten zur Verfügung.

In meinem Vortrag möchte Ihnen 3 ausgewählte Teilprojekte vorstellen, die u.a. im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten entstanden sind. Es sollen dabei Prozesse der Zerkleinerung und Klassierung im Zusammenhang mit einer umfangreichen Bewertung mittels meßtechnischer Untersuchungen im Mittelpunkt stehen. Bei den Stoffen handelt es um die Sekundärrohstoffe Altbeton, Hüttensand und Steinkohlenflugasche (Bild 3).

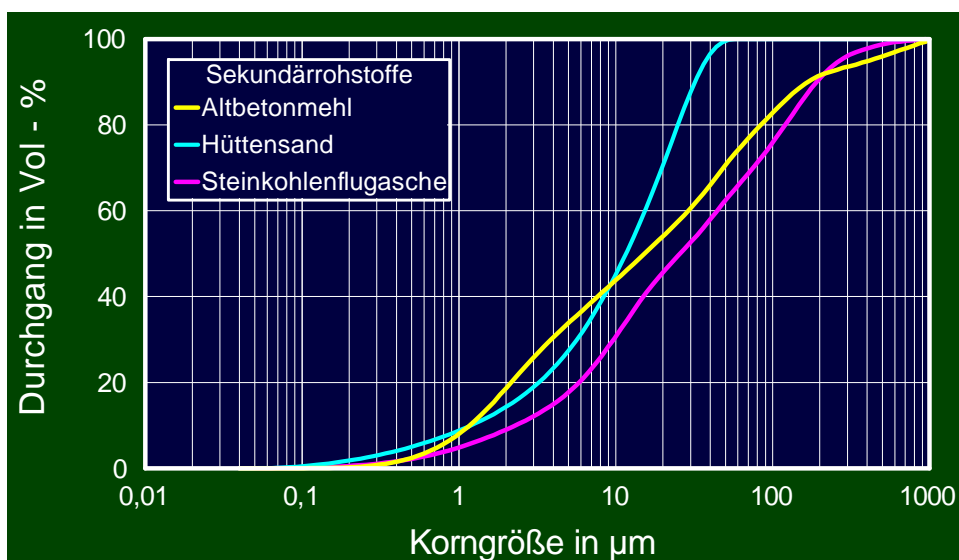


Bild 3: Korngrößenverteilungen der ausgewählten Sekundärrohstoffe

## 2. Teilprojekte und Ergebnisse

### 2.1 Zerkleinerung von Altbeton

Die Verwertung der Feinkornanteile  $< 4$  mm von zerkleinertem Abbruchmaterial ist derzeit nur beschränkt möglich. Eine Feinmahlung dieser Fraktionen auf Zementfeinheit und feiner und eine Verwendung als teilweiser Zementersatz könnte eine erfolgversprechende Verwertungsmöglichkeit darstellen.

Der Altbeton  $< 4$  mm wurde deshalb zunächst mit den unterschiedlichen Feinzerkleinerungsmaschinen im Aufbereitungstechnikum gemahlen und die Korngrößenverteilung ermittelt. Die Ergebnisse sind in Bild 4 dargestellt. Die Korngrößenverteilung verschiebt sich von der Schlagnasenmühle zur Chargenkugelmühle in den feineren Größenbereich. Weiterhin ist zu erkennen, daß die unterschiedlichen Beanspruchungsarten neben unterschiedlichen Dispersionsgraden auch unterschiedliche Kurvenverläufe der Korngrößenverteilungen erzeugen. So können sowohl mono- als auch bimodale und mit der Kugelmühle sogar trimodale Verteilungen erzielt werden.

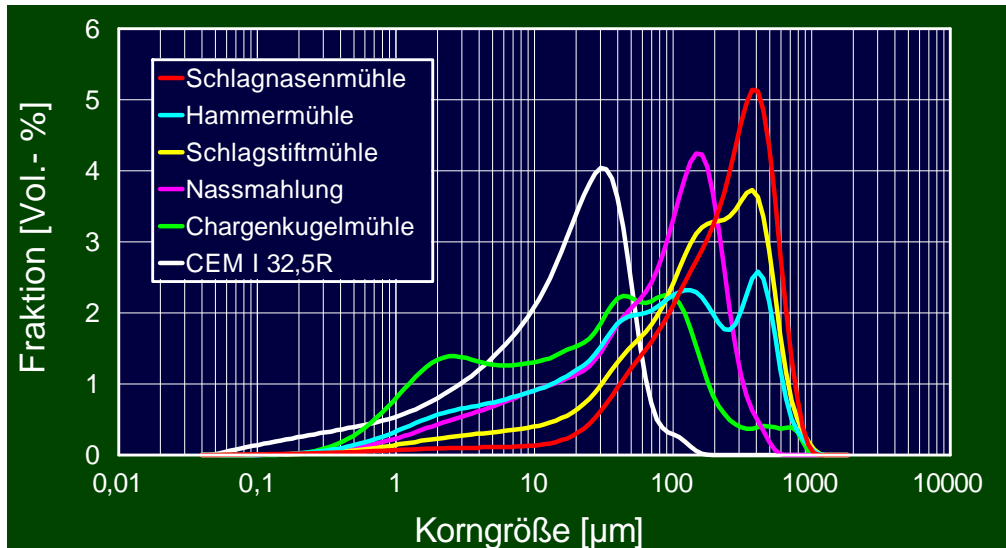


Bild 4: Zerkleinerung von Altbeton < 4 mm

Der Vergleich mit einem CEM I 32,5 R zeigt, daß bei Zerkleinerung mit der Chargenkugelmühle am ehesten die gewünschte Zementfeinheit erreicht wird. Es ist jedoch noch ein erheblicher Grobanteil vorhanden. Daraus kann gefolgert werden, daß mit einer einstufigen Mahlung ohne Klassierung die Herstellung eines Altbetonmehles mit Zementfeinheit nicht zu realisieren ist. Die Zerkleinerung mit einer Kugelmühle kombiniert mit einem Sichter im Kreislaufbetrieb bietet nach den bisherigen Erfahrungen mit der Technikums- Kugelmahl-Sichtanlage die Möglichkeit der gezielten Herstellung bestimmter Feinheiten mit den entsprechenden Verteilungen.

## 2.2 Mahlung von Hüttensand

Die Arbeitsweise der Technikums-Mahlanlage, die im Vortrag von Herrn Lander ausführlich vorgestellt wurde, konnte zunächst mit Hüttensand umfassend getestet werden. Von einem Hüttensand wurden 5 verschiedene Mahlfleinheiten hergestellt und dabei alle meßbaren Anlagenparameter erfaßt. Die Korngrößenverteilungen der erzeugten Mahlprodukte mit unterschiedlichen spezifischen Oberflächen zeigt Bild 5.

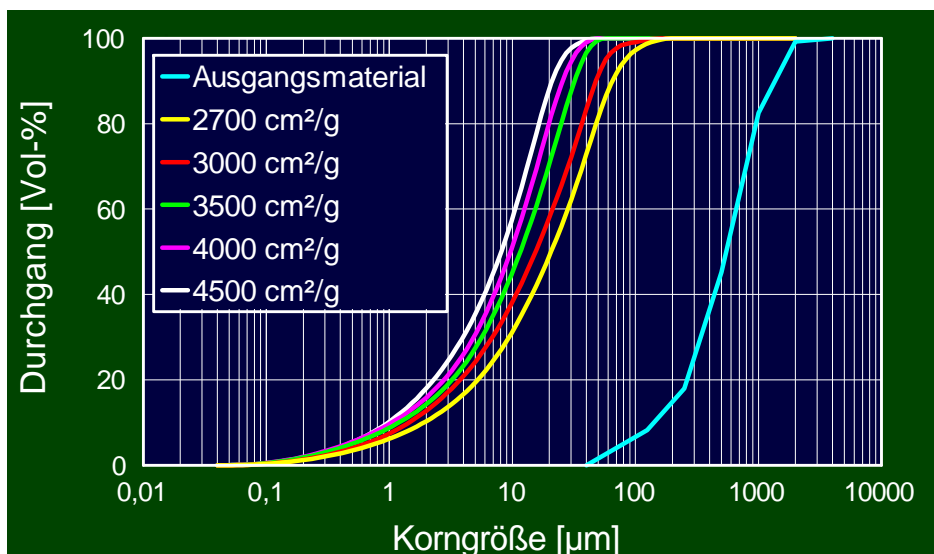


Bild 5: Korngrößenverteilungen des Ausgangshüttensandes und der Mahlprodukte

Zur Erzeugung dieser Feinheiten wurden die Parameter der Mühle – Mahlkörperfüllungsgrad, Mahlgutfüllungsgrad, Gattierung der Mahlkörper und Austragsspaltbreite – konstant gehalten und nur die Drehzahl des Sicherterrades variiert. Die Abhängigkeit von Mahlfeinheit und Durchsatz des Feingutes von der Sicherterraddrehzahl wird in Bild 6 deutlich sichtbar.

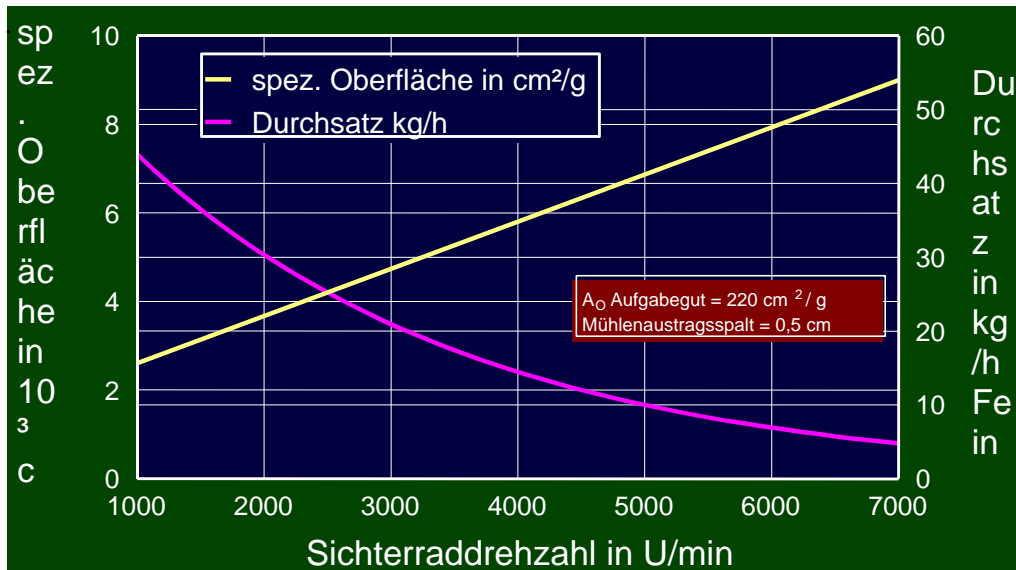


Bild 6: Zusammenhang zwischen Mahlfeinheit bzw. Durchsatz und der Sichertereinstellung

Mit steigender Sieberterraddrehzahl steigt die Mahlfeinheit des erzeugten Feingutes fast linear an und gleichermaßen sinkt der Massenstrom. Diese Anlagenkennlinien können auf andere Materialien ähnlicher Mahlbarkeit wie Hüttensand übertragen werden, so daß für eine gewünschte Mahlfeinheit eine Voreinstellung der Sieberterraddrehzahl möglich ist. Die Feineinstellung kann dann nur durch parallele Messungen der spezifischen Oberfläche und/oder der Korngrößenverteilung erfolgen.

Für die Arbeitsweise der Anlage sind weiterhin alle Stoffströme im Kreislauf interessant. Sie geben nicht nur Aufschluß über die einzelnen Apparate der Anlage sondern auch über die Mahlbarkeit des Produktes. Bild 7 zeigt die schematische Darstellung des Mahl-Sicht-Kreislaufes. Für einen Aufgabemassenstrom von 15,6 kg/h sind die Massenströme der einzelnen Produkte und deren mittlere Korngrößen eingetragen. Die Korngrößenverteilungen sind in Bild 8 dargestellt.

Bei der betrachteten Einstellung wird das Mühlenaufgabegut so zerkleinert, daß bei der anschließenden Sichtung 39 % als Grobgut abgetrennt und zur erneuten Mahlung zurückgeführt wird. Es werden demnach 39 % der Aufgabemasse im Umlauf gefahren. Das ergibt für die Mühle eine Umlaufzahl =  $M_{\text{Umlauf}} / M_{\text{Aufgabe}} \sim 0,4$ . Je feiner das Endprodukt werden soll, d.h. je kleiner die Trennkorngröße des Sichters eingestellt wird, um so höher muß bei konstanten Mühlenparametern die Umlaufzahl werden. Zur Herstellung eines Hüttensandes der Mahlfeinheit von 5700 cm²/g wurde z.B. eine Umlaufzahl von 8,6 gemessen.

Die Beurteilung des Sichters erfolgt über die Trennschärfe. Für die eingestellte Drehzahl des Sieberterrades von 1500 U/min ergibt sich aus den Teilungszahlen der Trenngradverlauf in Bild 9. Aus der Trenngradkurve läßt sich bei einer Teilungszahl  $T(x) = 50\%$  die Trennkorngröße  $x_T$  ermitteln, d.h. die Korngröße deren Masse sich je zur Hälfte auf das grob- und Feingut aufteilt. Sie beträgt 58,9 µm. Die Trennschärfe  $\chi = d_{25} / d_{75}$  berechnet zu 0,6 und liegt damit an der unteren Grenze einer scharfen technischen Trennung (0,6...0,8).

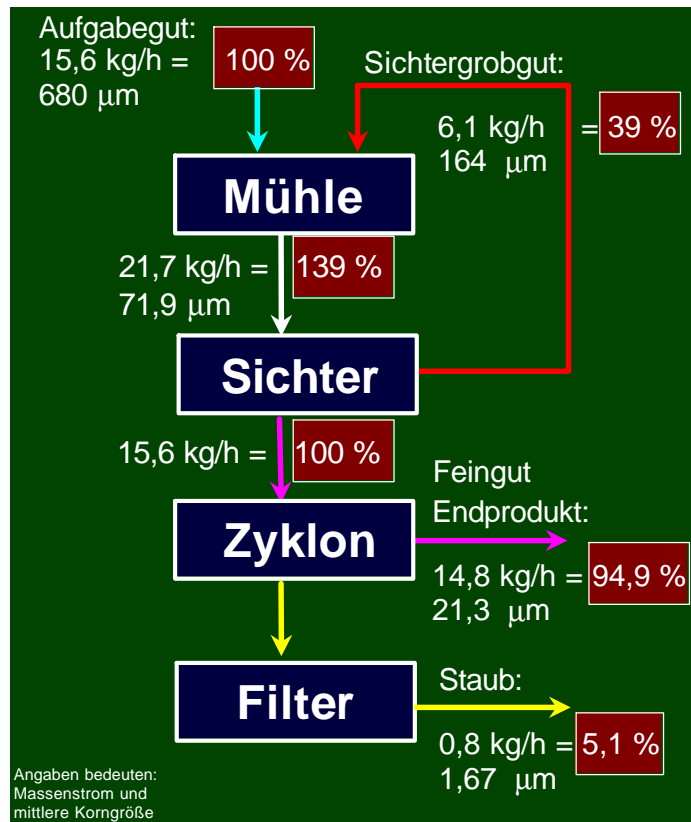


Bild 7: Massenströme im Mahl-Sicht-Kreislauf, Sichterraddrehzahl  $n = 1500 \text{ U/min}$

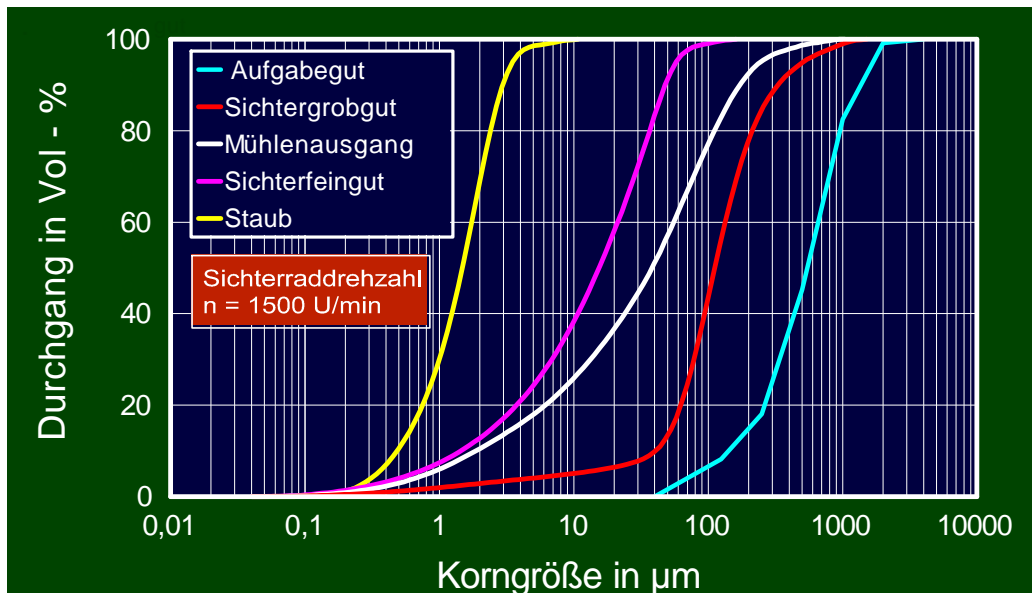


Bild 8: Korngrößenverteilungen der Stoffströme im Mahl-Sicht-Kreislauf

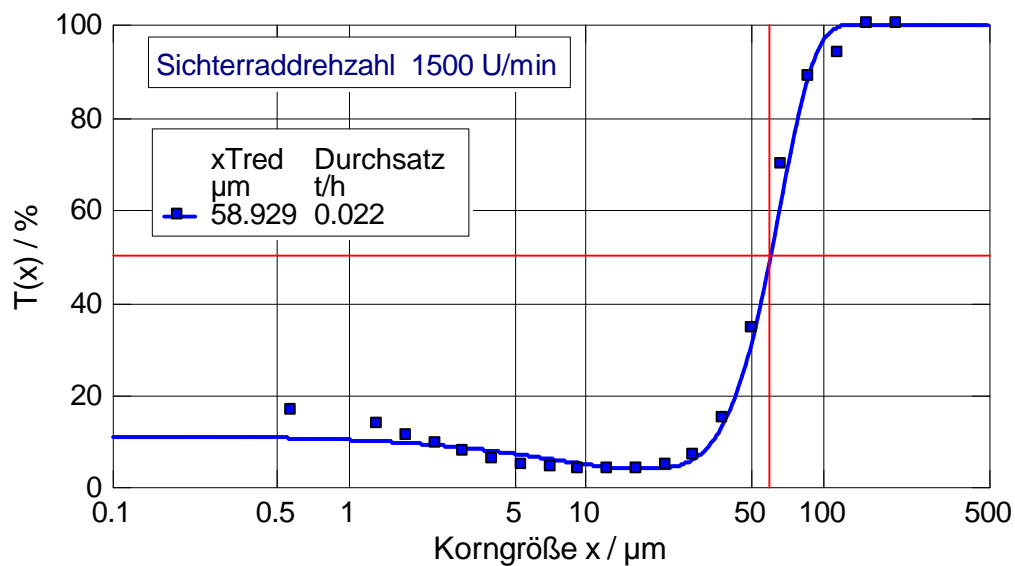


Bild 9: Trenngradverlauf des Sichters 100 ATP für Hüttensand

Der Zyklon wird nach seinem Abscheidegrad, d.h. nach der aus dem Luftstrom abgeschiedenen Feingutmenge beurteilt. Für die ausgewählte Anlageneinstellung ist der erreichte Abscheidegrad von 95 % als sehr gut zu beurteilen. Bei höheren Feinheiten des Endproduktes verschlechtert sich der Abscheidegrad des Zyklons, so daß im Extremfall die Feingutabtrennung aus dem Gasstrom nur mit dem Filter realisiert werden sollte.

Für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Mahlung ist die massebezogene Leistungsaufnahme der Mühle wichtig. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen war diese Messung leider noch nicht möglich.

Abschließend möchte ich zu diesem Gliederungspunkt in Bild 10 eine Auswahl der mit der Technikumsanlage bereits gemahlten Produkte zeigen und damit die Breite der herstellbaren Produkte deutlich machen.

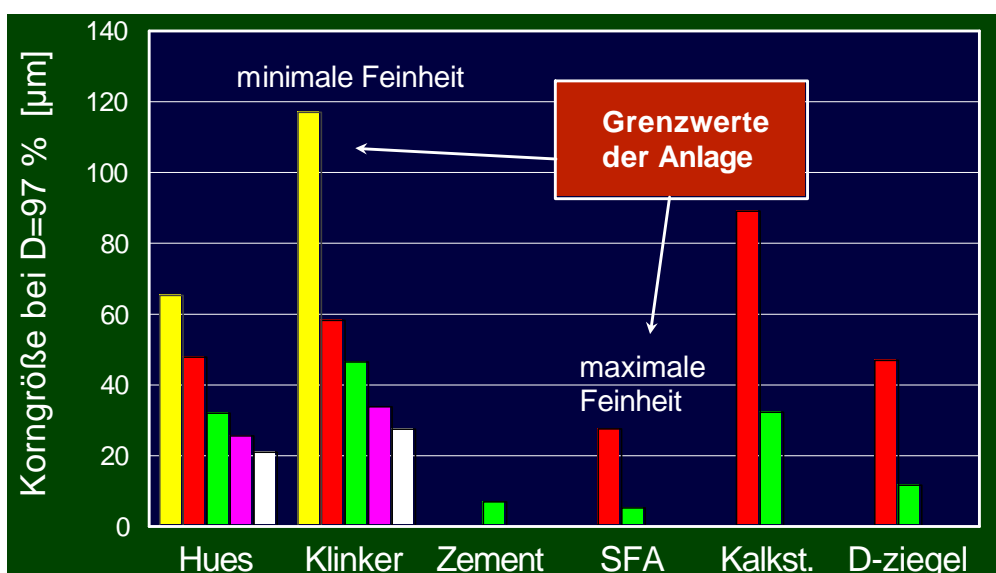


Bild 10: Mahlprodukte aus der Kugelmahl-Sicht-Anlage  
 2.3 Klassierung von Steinkohlenflugasche

Steinkohlenflugaschen entstehen als Nebenprodukte in Kohlekraftwerken. Wegen der Puzolanität der glasigen Bestandteile ist ihr Einsatz in der Baustoffbranche nicht mehr wegzu-denken.

Der Verlauf der Korngrößenverteilungen, wie sie in Bild 11 als typische Beispiele dargestellt sind, gibt jedoch trotzdem Anlaß zur zur Fragestellung nach den Ursachen der vorhandenen Maxima der Kurven. Bei möglichen stofflichen An- und Abreicherungen in den bestimmten Korngrößenbereichen ließe sich eine mögliche Klassierung der Aschen ableiten, die eine Qualitätsverbesserung bewirken könnte.

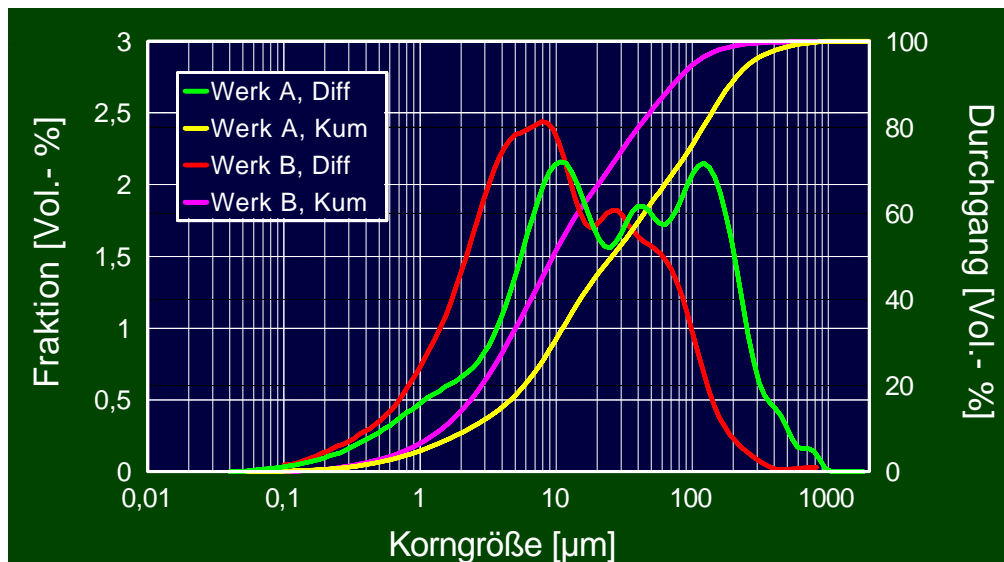


Bild 11: Korngrößenverteilungen der Steinkohlenflugaschen Werk A und B

Dazu wurde die Asche A mit 3 Maxima mittels Analysensichtung so getrennt, daß sich die Maxima in den Sichtfraktionen wiederfinden (Bild 12)

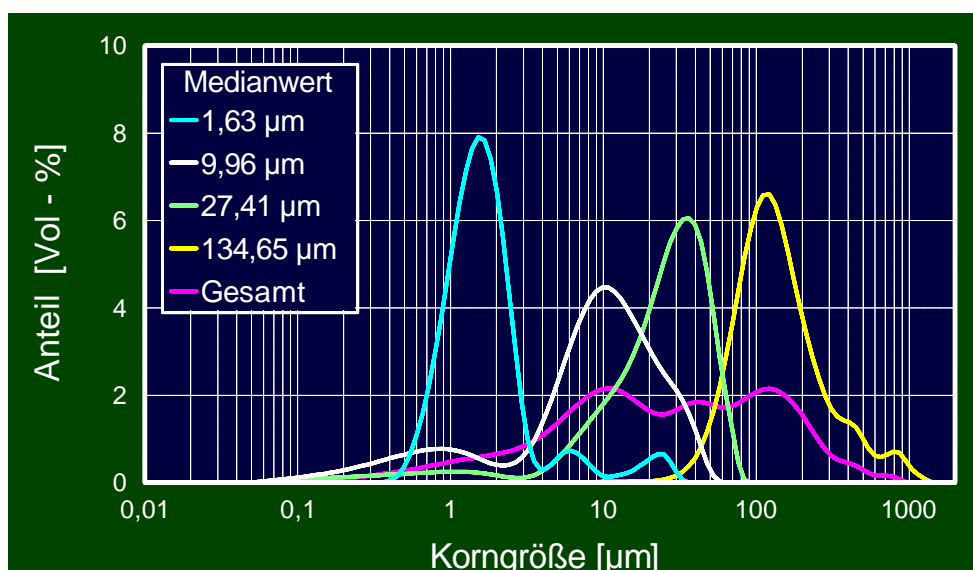


Bild 12: Korngrößenverteilungen der Sichtfraktionen und der Gesamtprobe von Steinkohlenflugasche

An den Sichtfraktionen wurden neben der Messung der Korngrößenverteilung folgende physikalische und chemische Untersuchungen durchgeführt:

- optische Begutachtung mit Rasterelektronenmikroskopie;
- Reindichtebestimmung;
- Ermittlung des Mineralphasenbestandes mittels Röntgendiffraktometrie;
- chemische Analyse.

Die Ergebnisse der Reindichtemessungen sind in Bild 13 und die der chemischen Analyse auszuweise in Bild 14 in Abhängigkeit von der Korngröße dargestellt.

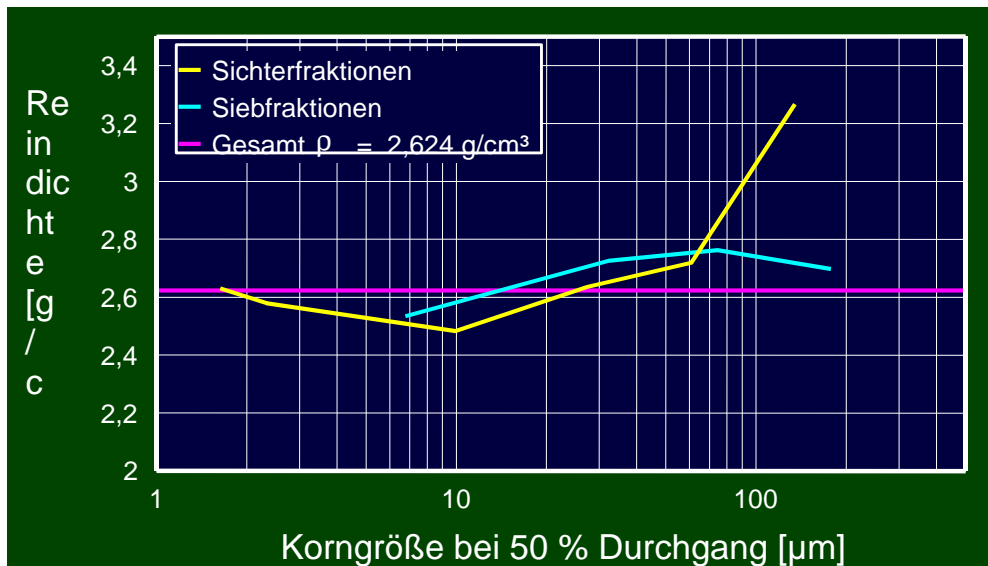


Bild 13: Reindichte der Kornfraktionen

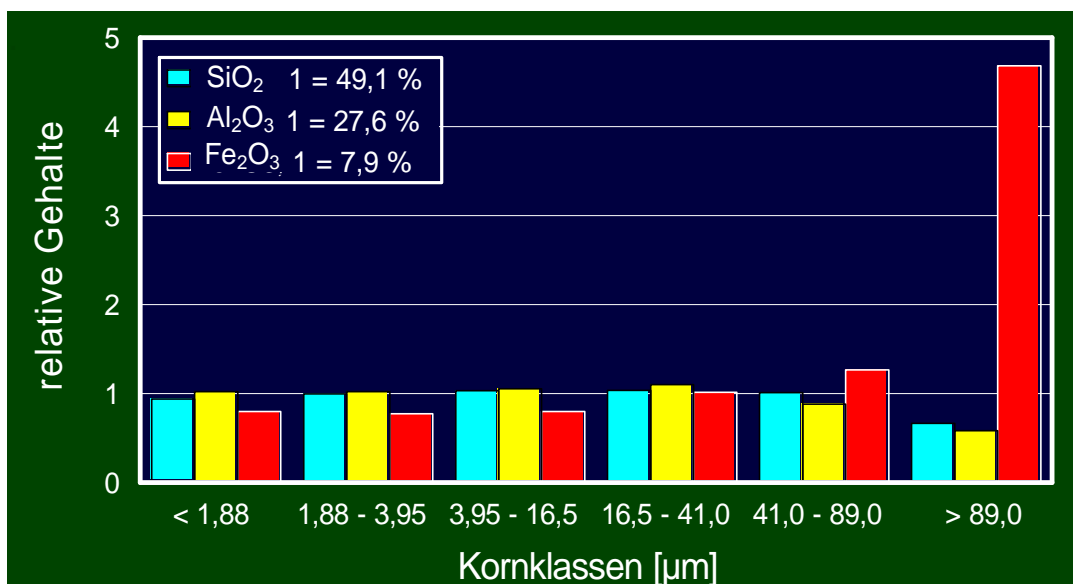


Bild 14: Gehalte der Oxide in den SFA – Sichtfraktionen

In Bild 15 werden alle Untersuchungsergebnisse zusammenfassend bewertet. Aus baustofftechnischer Sicht würde demzufolge eine Trennung der Steinkohlenflugasche bei etwa 60...90  $\mu\text{m}$  sinnvoll erscheinen.

Kornform	kugelig mit vereinzelt Kohlepartikeln und Aschehohlkugeln
Dichte	$d > 20 \mu\text{m}$ : größere Dichte als Gesamtprobe
Mineralphasenbestand	Anreicherung des Magnetitgehaltes mit zunehmender Korngröße
Glasphase	Abnahme in Fraktionen $> 90 \mu\text{m}$
Hauptoxide	$d > 20 \mu\text{m}$ : Anreicherung von Eisenoxid, Abnahme von Silicium- und Aluminiumoxid
<b>Ergebnis</b>	<b>Fraktionen <math>&lt; 90 \mu\text{m}</math> besitzen baustofftechnisch günstigere Eigenschaften</b>

Bild 15: Ergebnisse der Ascheuntersuchungen

Zu diesem Zweck wurde die Steinkohlenflugasche mit dem Sieber der Technikumsanlage klassiert. Mit einer Sieberraddrehzahl von 1000 U/min wurde eine Trennkorngröße (Bild16) von 50  $\mu\text{m}$  mit einer Trennschärfe von 0,54 erzielt. Diese niedrige Trennschärfe hat einen hohen Fehlkornanteil der Trennprodukte bei  $x_T$  zur Folge.

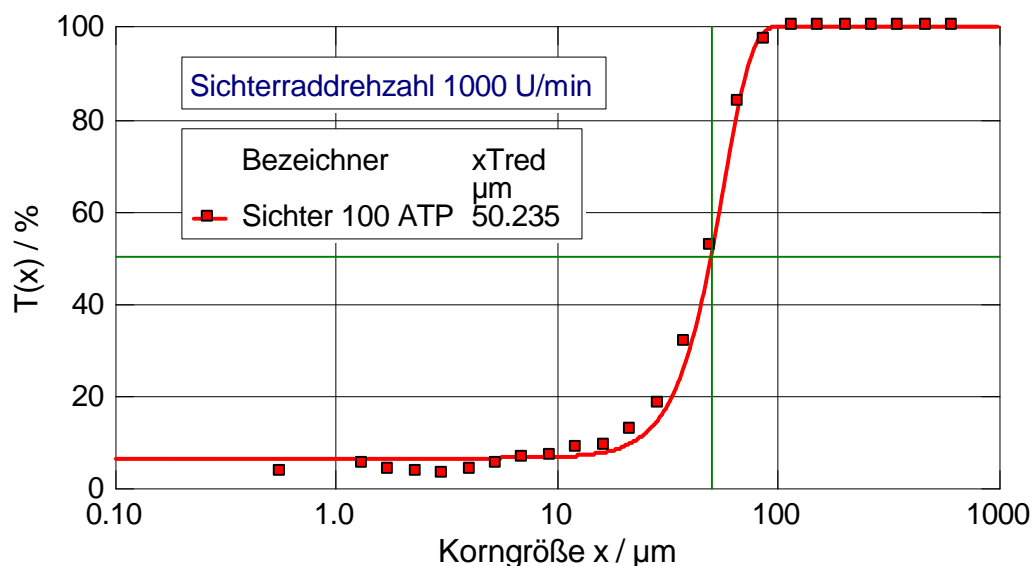


Bild 16: Trenngradverlauf von Steinkohlenflugasche

Die Korngrößenverteilungen von Grob- und Feingut, dargestellt in Bild 17, entsprechen jedoch den aus Bild 15 abgeleiteten Anforderungen an die Korngrößen des Feingutes < 90  $\mu\text{m}$ .

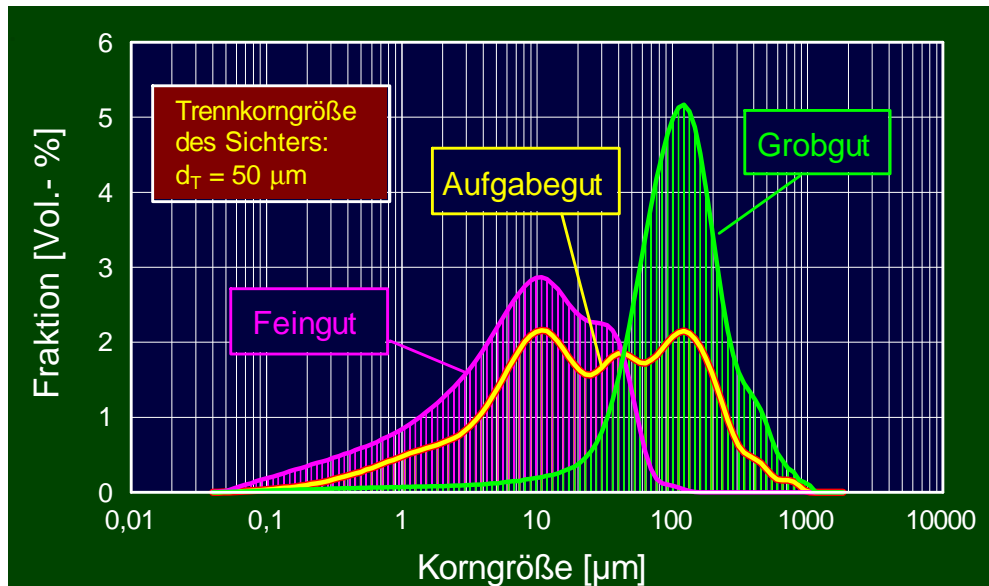


Bild 17: Korngrößenverteilungen des Aufgabegutes und der Produkte nach der Klassierung von SFA mit Sieber 100 ATP der Technikums-Mahl-Sichtanlage

Die baustofftechnischen Untersuchungen des Feingutes sind z.Z. in Bearbeitung.

### 3. Zusammenfassung

Anhand der dargestellten Teilprojekte sollte der Zusammenhang zwischen Zerkleinerungs- und Klassierprozessen und Verwertungsmöglichkeiten von Recyclingprodukten deutlich gemacht werden, der nur durch umfangreiche meßtechnische Untersuchungen zu charakterisieren ist. Die an der Professur bestehenden Möglichkeiten der Zerkleinerung, Klassierung und Messung (Bilder 1 und 2) wurden dabei im wesentlichen angesprochen.