

NETZSCH

Proven Excellence.



Auswahl der Zerkleinerungstechnologie in Abhängigkeit von den Materialeigenschaften des Mahlgutes

Business Unit
GRINDING & DISPERSING

Auswahl der Zerkleinerungstechnologie in Abhängigkeit von den Materialeigen

Dr. Stefan Mende | NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH, Selb | Deutschland
Christian Höfels | NETZSCH Trockenmahltechnik GmbH, Hanau | Deutschland

1. Einleitung

Neben dem Agglomerieren, dem Trennen und dem Mischen ist das Zerkleinern eine der vier Grundoperationen in der Mechanischen Verfahrenstechnik. Im nachfolgenden Beitrag wird ausgehend von den möglichen Materialeigenschaften und den gewünschten Qualitätskriterien diskutiert, nach welchen Kriterien eine Zerkleinerungstechnologie ausgewählt werden sollte, um einen möglichst effizienten und gleichzeitig leistungsstarken Prozess zu ermöglichen.

2. Grundlagen des Zerkleinerns

Zerkleinerung bedeutet nach unserem allgemeinen Verständnis in der Regel das Zerteilen eines Feststoffgefüges unter Einwirkung mechanischer Energie. Solche Zerkleinerungsprozesse können in Echtzerkleinern, Desagglomerieren oder Desaggregieren unterschieden werden. Man kann jedoch auch das Emulgieren, d.h. das Zerteilen von Flüssigkeitstropfen oder Gasblasen in einer anderen Flüssigkeit oder sogar Prozesse, bei denen der Zellaufschluss das Ziel ist als Zerkleinerungsprozesse verstehen.

Die mechanische Energie wirkt als Druck-, Prall-, Scherbeanspruchung oder Schneidbeanspruchung auf das Mahlgut ein (s. Abb. 1). Dabei kann die mechanische Energie durch zwei Werkzeuge durch, nur ein Werkzeug oder im speziellen Fall durch gegenseitigen Partikelstoß auf das zu zerkleinernde Gut übertragen werden.

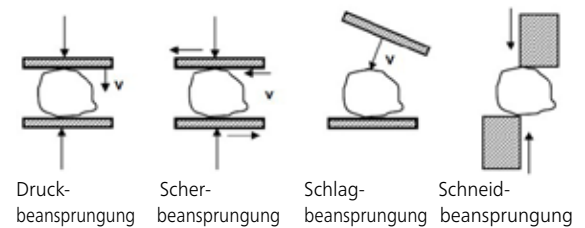
Das Verhältnis der für die Oberflächenerzeugung theoretisch benötigten Arbeit und dem tatsächlichen technischen Energieaufwand kann als Wirkungsgrad von Zerkleinerungsmaschinen verstanden werden und stellt für die meisten Anwender in der Zerkleinerungstechnik einen erstaunlichen Aspekt dar. Nur etwa 5 bis 10 % der aufgewendeten Energie wird bei Feinstzerkleinerungsprozessen effektiv zur Erzeugung neuer Oberflächen genutzt. Der größte Anteil, der bei technischen Zerkleinerungsprozessen aufgewendeten Energie wird in Wärme umgewandelt oder geht durch uneffektive Zusammenstöße und

Beanspruchungen für den eigentlichen Zerkleinerungsprozess "verloren". Fuerstenau [1] geht für den Bereich der Feinstzerkleinerung sogar von einem noch schlechteren Wirkungsgrad aus. Daher wird bei der Entwicklung neuer Zerkleinerungsmaschinen neben einer hohen realisierbaren Energiedichte und einer möglichst effizienten Energieübertragung auf das Mahlgut vor allem auch auf die Maximierung der Kühlflächen geachtet.

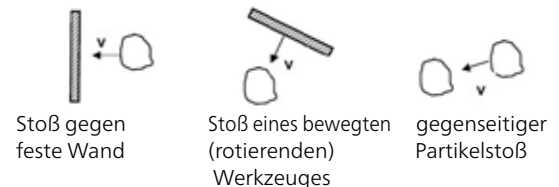
Abbildung 1

Beanspruchungen, die zu einer mechanischen Zerkleinerung führen können

Beanspruchung zwischen zwei Zerkleinerungswerkzeugen



Beanspruchung an einem Zerkleinerungswerkzeug (Prall)



Wegen des hohen spezifischen Energiebedarfs, vor allem bei der Fein- und Feinstzerkleinerung, wurden in der Vergangenheit Möglichkeiten der Effektivitätssteigerung immer wieder untersucht.

Ansatzpunkte für die Steigerung der Energieausnutzung bestehen in:

- Weiterentwicklung der Zerkleinerungsmaschinen durch Verbesserung bekannter oder Nutzbarmachung neuer mechanischer oder nichtmechanischer Prinzipien und Verbesserung ihrer Anpassung an die jeweilige Zerkleinerungsaufgabe.

schaften des Mahlgutes

- Günstigere Gestaltung des Gesamtsystems
- Zerkleinerungsmaschine -Klassiermaschine,
insbesondere zur schnellen Abscheidung des
genügend feinen Materials (vor allem bei der
Trockenzerkleinerung).
- Optimierung des Zerkleinerungsverhaltens
durch Verminderung der Agglomeratbildung
bei der Feinmahlung durch die Zugabe von
Additiven (sogenannte Mahlhilfsmittel).

Oftmals sind jedoch schon die Auswahl der am besten geeigneten Zerkleinerungstechnologie in Abhängigkeit von:

- den mechanischen Eigenschaften des Mahlgutes
- der Partikelgröße und der Partikelform
- dem rheologischen Verhalten einer Mahlgutsuspension
- der Morphologie und der eigentlichen Zerkleinerungsaufgabe

sowie die Optimierung der Prozessführung, der Betriebsparameter und der Formulierung wesentliche Schritte, um die Effektivität und somit die Produktionsleistung und die Effizienz, d.h. den Wirkungsgrad des Zerkleinerungsprozesses signifikant zu steigern.

Wesentliche Voraussetzungen dafür sind Grundverständnis der Elementarprozesse, des mechanischen Verhaltens von Materialien aber auch der reproduzierbaren Charakterisierung von Qualitätskriterien verschiedenster Produkte wie

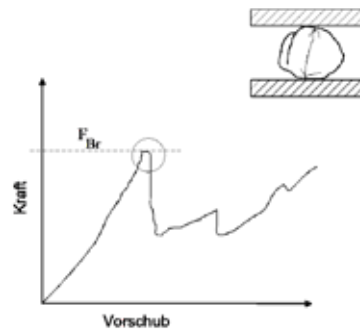
- Partikelgröße und Partikelgrößenverteilung
- Partikelform
- Materialmorphologie
- Farbstärke, Transparenz und Glanz
- Suspensionsstabilität
- Geschmack u.v.m.

2.1. Elementarprozess des Partikelbruchs

Wird eine Partikel durch eine Beanspruchung verformt, entsteht ein dreidimensionales Spannungsfeld mit Druck-, Zug- und Schubspannungen. Bei genügend hoher Spannungsintensität werden Brüche ausgelöst. Dabei führt der erste die Partikel durchquerende Bruch zum Partikelbruch. Im Beanspruchungsdiagramm ist dies durch einen plötzlichen Spannungsabfall zu erkennen (s. Abb. 2).

Abbildung 2

Beanspruchungsdiagramm eines Druckversuches



Der Spannungszustand bestimmt das Geschehen. Von ihm hängt ab, ob inelastische Verformungen oder Bruchereignisse stattfinden [2].

Der Spannungszustand ist einerseits von den Beanspruchungsbedingungen wie Anzahl, Richtung und Stärke der Kräfte, Eigenschaften des Werkzeuges (Härte, Form, Rauigkeit), Beanspruchungsgeschwindigkeit und Temperatur sowie andererseits von den Partikeleigenschaften abhängig, wozu die mechanischen und thermischen Materialeigenschaften sowie die Größe, Form und innere Struktur der Partikel gehören. In Abb. 3 sind die Zusammenhänge schematisch dargestellt.

Ebenso wie die Anzahl, Richtung und Stärke der Kräfte, die Eigenschaften der Werkzeuge, die Beanspruchungsgeschwindigkeit und die Temperatur sowie Partikeleigenschaften einen Einfluss auf den dreidimensionalen Spannungszustand haben, ergibt sich ein Einfluss auf die Beschaffenheit und Form der Bruchlinien und Bruchflächen sowie auf die Form und Größe der entstehenden Bruchstücke oder den Feinanteil (s. Abb. 4).

Experimente mit Glaskugeln haben gezeigt, dass unterhalb bzw. oberhalb des Kontaktbereichs bei der Druckbeanspruchung ein Feingutkegel oder ein zentraler Feingutbereich entsteht. Dieses Phänomen ist aus dem ursprünglichen Spannungsfeld heraus nicht erklärbar, denn nach diesem existieren dort keine Zugspannungen. Es wird vermutet, dass sich das Feingut erst dann bildet, wenn dieser Bereich durch die Schalenbrüche freigesetzt wird und fast schlagartig entspannt. Das Material dehnt

Abbildung 3

Strukturschema des Partikelbruchs [2]

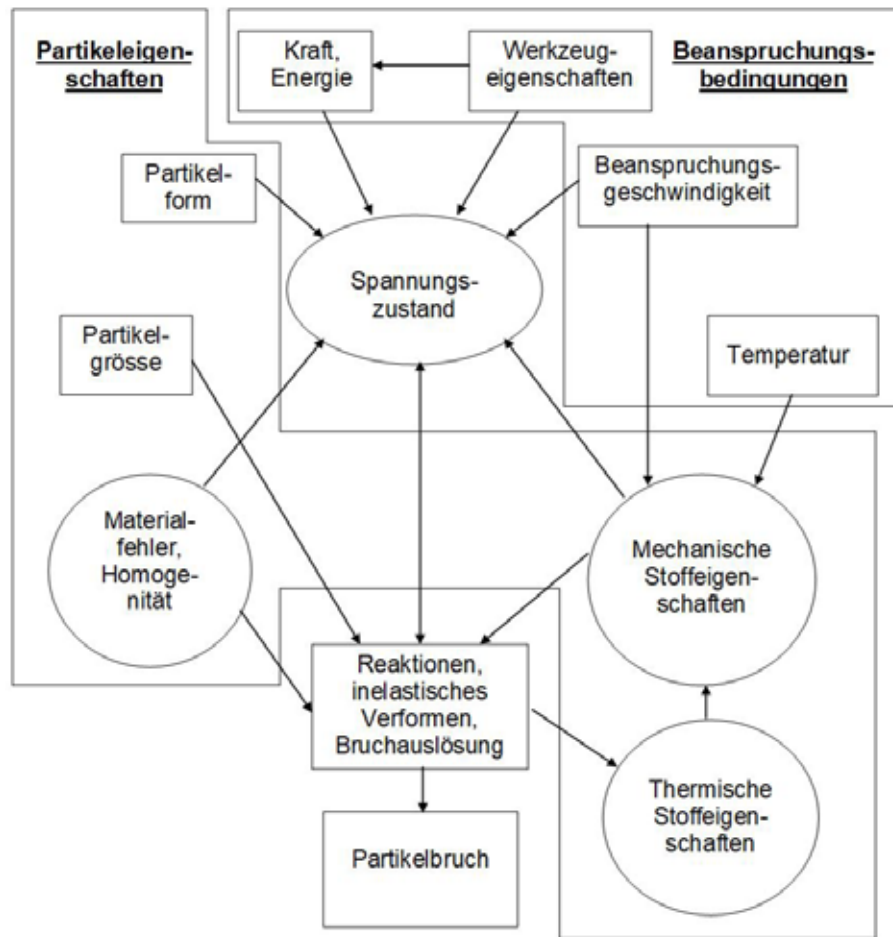


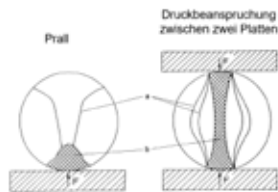
Abbildung 4

Effekte bei der Beanspruchung von Partikeln durch unterschiedliche Beanspruchungsarten

Bruchvorgänge in spröden Glaskugeln

a) Brüche

b) Zonen von feinen Bruchstücken in der Nähe der Kontaktfläche der Kräfteleitung auf Grund hoher Zugkräfte



sich über den entspannten Zustand hin aus, so dass Zugspannungen in der Höhe der vorher vorhandenen Druckspannungen entstehen. Diese sind hoch genug, um eine Vielzahl von Brüchen auszulösen. Feingutkegel und spontaner Partikelbruch sind typisch für spröde Kugeln.

Die obigen Darstellungen gelten analog für die Prallbeanspruchung, bei der jedoch die Schalenbrüche nicht konvergieren, so dass ein unzerbrochener Restkegel übrig bleibt [2].

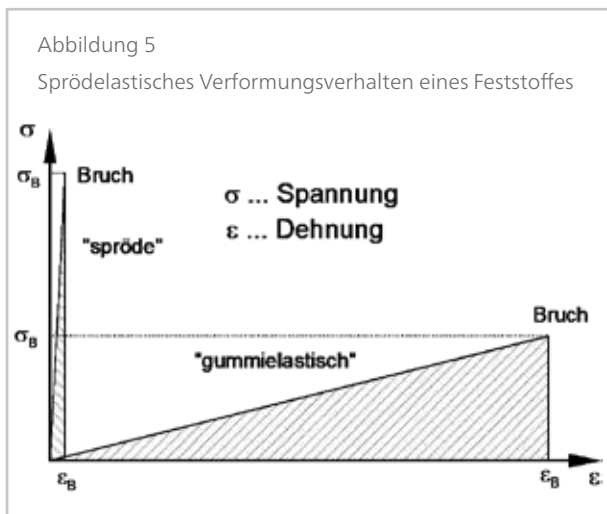
2.2. Verformungsverhalten von Feststoffen

Üblicherweise werden Mahlgüter in harte, mittelharte und weiche oder in spröde und plastische bzw. duktile Materialien eingeteilt. Nach Schönert [2] ist jedoch die Betrachtung von elastischen, plastischen und viskosen Materialeigenschaften sinnvoller. Danach lassen sich die drei Grenzfälle elastisches, elastisch-plastisches und elastisch-viskoses Verformungsverhalten unterscheiden.

2.2.1. Elastisches Verformungsverhalten

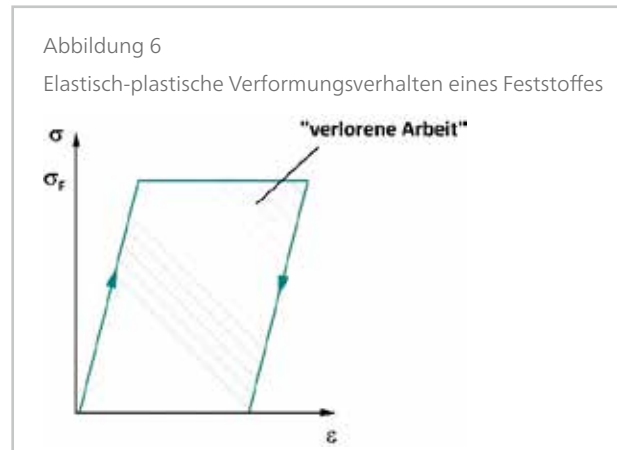
Elastisches Verformungsverhalten bedeutet, dass nach der Entlastung keine Formänderung zurückbleibt. D.h., bei ideal elastischem Verformungsverhalten wird die zugeführte Energie komplett zurückgewonnen. Der Vorgang der Verformung ist also reversibel. Theoretisch ist die Elastizität unabhängig von der Dehngeschwindigkeit. Beanspruchungsgeschwindigkeit und Temperatur haben keinen oder vernachlässigbaren Einfluss auf das Verformungsverhalten elastischer Partikeln.

Ein Material wird als spröde bezeichnet, wenn es sich bei einer geringen maximalen Dehnung bis zum Bruch überwiegend elastisch verformt (s. Abb. 5).



2.2.2. Elastisch-plastisches Verformungsverhalten

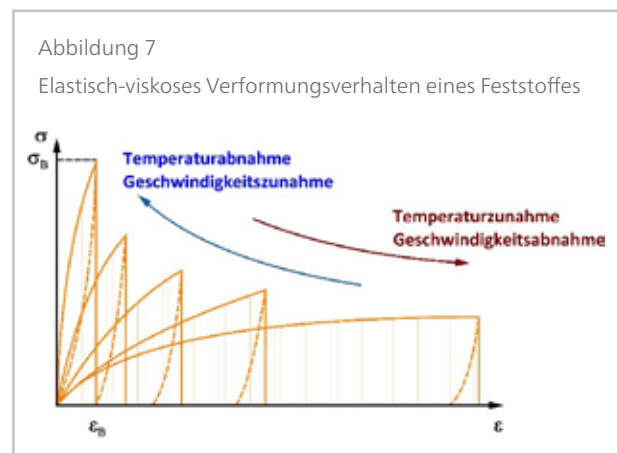
Im Wesentlichen verformen sich elastisch-plastische Materialien zunächst linear elastisch. Nach Erreichen eines Fließkriteriums verformen sie sich nur noch plastisch ohne weitere Erhöhung der Spannungen (s. Abb. 6). Das Fließkriterium ist von der Temperatur abhängig, von der Beanspruchungsgeschwindigkeit jedoch unabhängig. Mit zunehmender Temperatur setzt das Fließen früher ein. Unterhalb einer bestimmten Temperatur führt eine weitere Verringerung der Temperatur zu einer Versprödung des Materials, d.h. das Fließkriterium wird unterdrückt. Elastisch-plastische Stoffe können auch nach ausgedehnten Fließvorgängen (z.B. Mehrfachbeanspruchungen wie sie in Rührwerkskugelmühlen realisiert werden können) verspröden. Dieser Effekt wird als Kaltversprödung bezeichnet.



Typische Vertreter dieser Stoffgruppe sind Metalle. Ihre Zerkleinerung kann durch Temperaturabsenkung verbessert werden. Praktikabler ist jedoch die Mehrfachbeanspruchung, die ebenfalls zur Kaltversprödung führt; dies kann z.B. in Kugelmühlen oder im Bereich feinsten Partikeln in Rührwerkskugelmühlen realisiert werden.

2.2.3. Elastisch-viskoses Verformungsverhalten

Bei elastisch-viskosem Stoffverhalten ist der viskose Verformungsanteil in ausgeprägtem Maß von der Dehngeschwindigkeit und der Temperatur abhängig. Viskose Feststoffe lassen sich daran erkennen, dass die Spannung bei fixierter Verformung nachlässt oder dass sich das Material auch bei konstanter Belastung plastisch verformt. Typische Vertreter dieser Stoffklasse sind Kunststoffe.



2.3. Partikelfestigkeit

Im Sinne der Festigkeitslehre stellt der Bruch ein Versagen der Partikel dar. Die Partikelfestigkeit σ_p kann als Quotient aus der wirkenden Bruchkraft F_{Br} und dem Partikelquerschnitt definiert werden. Geht man von sphärischen Partikeln aus, gilt:

$$\sigma_p = \frac{4 F_{Br}}{\pi x^2}$$

Hierbei ist x der Partikeldurchmesser. Die Partikelfestigkeit hängt von der Partikelgröße ab. Dies kann mit der geringeren Zahl von Materialfehlern erklärt werden.

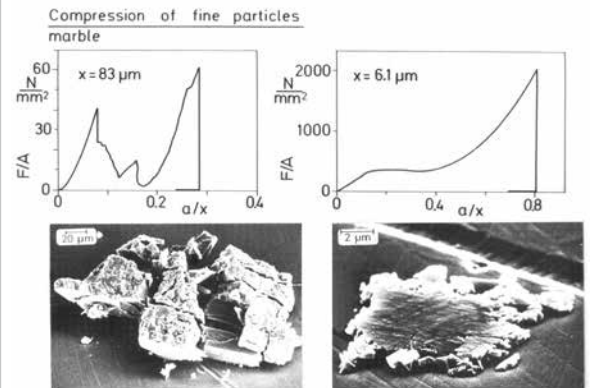
2.4. Spröd-plastischer Übergang

Bei der Untersuchung der Partikelfestigkeit verschiedener Materialien konnte je nach Material im Bereich zwischen 20 μm und einigen wenigen Mikrometern durch Einzelkornbeanspruchung kein Partikelbruch mehr ausgelöst werden. Abb. 8 zeigt Untersuchungsergebnisse zur Einzelkornbeanspruchung [2] am Beispiel von Marmorpartikeln. Aufgetragen ist die Druckkraft bezogen auf den Partikelquerschnitt über den auf die Partikelgröße bezogenen Vorschub (a/x) der Druckplatte.

Bei der 83 μm -Partikel zeigt sich der Partikelbruch bei (a/x) von etwa 0,08. Anschließend fällt die Kraft zunächst weiter ab, steigt wieder zu einer zweiten Spitze an, die zum Bruch eines größeren primären Bruchstückes gehört. Danach gibt es einen erheblichen Kraftanstieg infolge des Widerstandes des Bruchstückshaufens gegenüber dem weiteren Platten-vorschub. Das Bild darunter zeigt eine REM-Aufnahme der Bruchstücke. Das Belastungsdiagramm der 6,1 μm -Partikel verläuft gänzlich anders; es ist eine glatte Kurve mit einem ausgeprägten Zwischenplateau und anschließendem steilen Anstieg. Die Beanspruchung erfolgte bis zu einem relativen Vorschub von 0,8, d.h. am Schluss betrug der Spalt zwischen den Druckplatten nur etwa ein Mikrometer. Die REM-Aufnahme (s. Abb. 8) zeigt eine plattgedrückte Partikel, deren äußerer Bereich durch Vertikalbrüche aufgebrochen ist. Offensichtlich wurde diese kleinere Marmorpartikel hauptsächlich inelastisch verformt. Dieser Übergang vom teils spröden zum stark plastischen Verhalten wurde bei allen untersuchten Stoffen festgestellt [3].

Abbildung 8

Beanspruchungsdiagramm einer 83 μm bzw. 6,1 μm Marmorpartikel und REM-Aufnahmen von beiden Partikeln nach dem Versuch

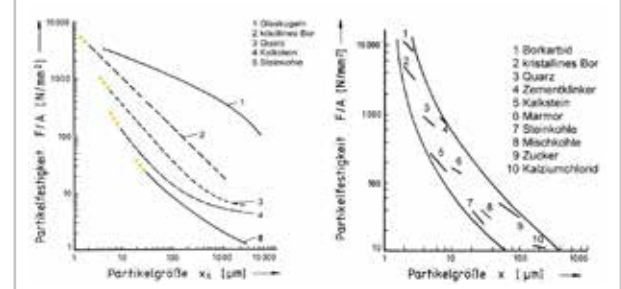


Die Partikelfestigkeit in Abhängigkeit von der Partikelgröße sowie der Übergang vom spröd-elastischen zum plastischen Materialverhalten wurde für unterschiedliche Materialien in Abhängigkeit von der Partikelgröße dargestellt (s. Abb. 9).

Dieser Übergang vom teils spröden zum stark plastischen Verhalten wurde von Hess [3] bei allen untersuchten Stoffen festgestellt. Die Abb. 9 zeigt eine Zusammenstellung der Ergebnisse, wobei die gerade noch feststellbaren Partikelfestigkeiten über den korrespondierenden Partikelgrößenbereich aufgetragen sind. Wenn auch bei Mahlungen diese ausgeprägten flächenförmigen Bruchstücke nicht gefunden werden, so geben doch die Ergebnisse den Hinweis, dass unterhalb des materialspezifischen Übergangsbereichs die Zerkleinerung schwieriger wird.

Abbildung 9

Partikelfestigkeit in Abhängigkeit von der Partikelgröße - Übergang von sprödem zu plastischem Materialverhalten



3. Einteilung und Auswahl von Zerkleinerungsmaschinen

3.1. Einteilung nach den Eigenschaften des Mahlgutes

Eine fast unendliche Anzahl der unterschiedlichsten Produkte wird innerhalb eines Produktionsprozesses zerkleinert. Die Art der Zerkleinerung und somit Auswahl der geeigneten Maschine richtet sich hierbei in erster Linie nach der erforderlichen Korngröße, -form und Korngrößen- oder Partikelgrößenverteilung. Ein weiterer Faktor ist die spätere Weiterverarbeitung des Produktes oder die erforderliche Produktionsleistung. Das Verformungsverhalten des Zerkleinerungsgutes, welches von sprödelastisch über inelastisch und elastisch-plastisch bis zu elastisch-viskos variieren kann, ist das wesentlichste Kriterium für die Einsetzbarkeit einer Zerkleinerungstechnologie (s. Tab. 1).

Richtet man sich bei der Auswahl der Zerkleinerungsmaschine zunächst nach dem

Verformungsverhalten des Mahlgutes kann eine grobe Auswahl der am besten geeigneten Technologie zunächst nach Abb. 10 erfolgen. Weiterhin wird die Auswahl der Technologie entscheidend durch die Ausgangspartikelgröße sowie die Zielfeinheit des Prozesses entscheidend beeinflusst (s. Abb. 11).

Die vom Geschäftsbereich Mahlen & Dispergieren der Firma NETZSCH angebotenen Technologien sind in Abb. 10 und Abb. 11 orange eingerahmt. Diese Übersicht zeigt, dass im Bereich des Mahlens von stückigen Mahlgütern bis hin zu nanopartikulären Systemen im Portfolio der Firma NETZSCH für Mahlgüter mit jedem denkbaren Verformungsverhalten eine geeignete Zerkleinerungstechnologie verfügbar ist.

Tabelle 1

Unterscheidungsmerkmale für Zerkleinerungstechnologien

Material	Feinheit	Durchsatz	Medium	Beanspruchung	Werkzeug
Einzelkorn	stückig	Produktion	Gasförmig	Druck	Druckfläche
Kollektiv	grob	Pilot	Flüssig	Reibung	Reibfläche
	fein	Labor		Schnitt	Messer
hart	submikron			Prall	Prallfläche
weich	nano	t/h			Luftstrahl
spröde		kg/h			Walze
zäh		g/h			Mahlkörper
					Medium

Abbildung 10

Auswahl einer Zerkleinerungsmaschine in Abhängigkeit vom Verformungsverhalten des Mahlgutes

spröde			nicht spröde		
hart	mittelhart	weich trocken	feucht	plastisch	visko-elastisch
Backenbrecher					
Rund-, Kegelbrecher					
Strahlmühle					
Schwingmühle (Trocken und nass)					
Rührwerksmühle (nur nass)					
Kugelmühlen (trocken und nass)					
Stabmühlen (trocken und nass)					
Prall- und Hammerbrecher					
Prall- und Hammermühlen					
Walzmühlen					
Gutbett- Walzmühlen (trocken und nass)					
Walzenbrecher (mit Zähnen, Schneiden u. a.)					
			Schneidmühle		

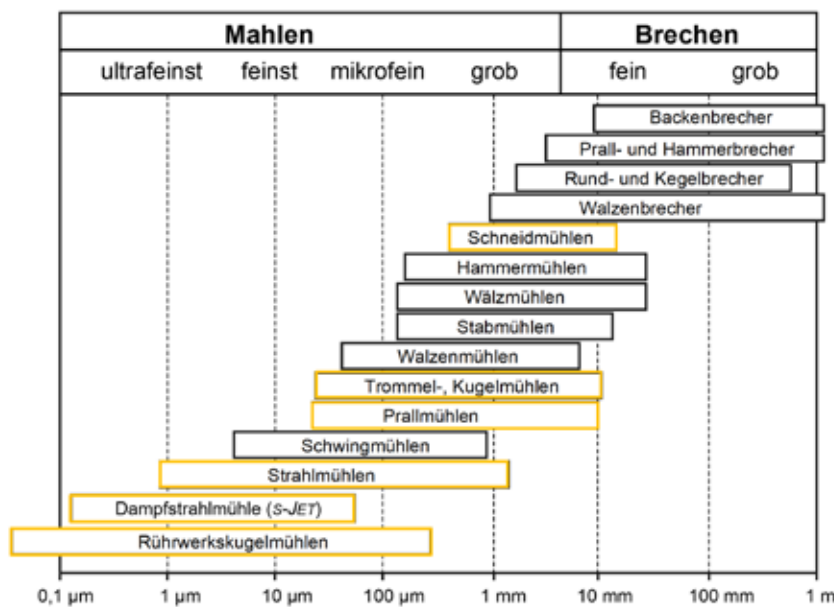
3.2. Trockenzerkleinerung oder Nasszerkleinerung

Elementar für die Prozessgestaltung ist zudem die Fragestellung, ob das Mahlgut trocken oder nass zerkleinert werden soll. Nasszerkleinerungsprozesse bieten gegenüber Trockenzerkleinerungsprozessen einige Vorteile. Deshalb wird in den meisten Fällen die Entscheidung für eine Nasszerkleinerung ausfallen:

- falls das zu verarbeitende Material bereits als Suspension vorliegt
- falls das Produktmaterial als Suspension weiterverarbeitet werden soll
- falls die Partikelgröße des zerkleinerten Materials kleiner sein soll als 1 µm - Limit der Trockenzerkleinerung (Ausnahme S-JET®)
- wenn Materialverluste in jedem Fall vermieden werden müssen
- wenn toxische Materialien vermahlen werden
- wenn Mahlgüter zur Staubexplosionen neigen

Abbildung 11

Auswahl einer Zerkleinerungsmaschine in Abhängigkeit von der Partikelgröße



Darüber hinaus kann die Entscheidung zugunsten einer nassen Aufbereitung ausfallen, da die Investitionskosten für eine komplette Trockenzerkleinerungsanlage inklusive Kompressor oder Dampferzeuger und Entstaubungstechnik in der Regel wesentlich höher ist, als für eine Nasszerkleinerungsanlage mit vergleichbarer Produktionsleistung.

Aufgrund des physikalisch bedingten „katastrophalen“ Wirkungsgrads von Zerkleinerungsprozessen wird ein Großteil des Energieeintrags in Zerkleinerungsmaschinen in Wärme umgewandelt. Dispersionsmedien wie Wasser oder Lösungsmittel

verfügen über eine höhere spezifische Wärmekapazität im Vergleich zu Luft. Dieser Aspekt führt dazu, dass in Nasszerkleinerungsprozessen eine effiziente Kühlung der Maschine und somit die Kontrolle der Produkttemperatur wesentlich einfacher ist.

3.3. Zielstellung des Zerkleinerungsprozesses

Die Zielstellung eines Zerkleinerungsprozesses kann sehr unterschiedlich sein. In einigen Fällen soll sogar ein Partikelbruch vollständig vermieden werden, um die die Produkteigenschaften nicht negativ zu beeinflussen. Im Fokus dieser Betrachtung steht die Partikelform bzw. die Sphärizität (s. Abb. 12).



So kann das Ziel des Prozesses beispielsweise ein Defibrillieren, d.h. ein Entwirren und Vereinzeln von Fasern sein, ohne dabei die originale Länge dieser zu verkürzen. Typische Beispiele hier sind z.B. CNTs (Carbon Nano Tubes) oder Zellulosefasern. Von Delaminierung spricht man, wenn plättchenförmige Partikeln vereinzelt werden ohne dabei ihr Aspektverhältnis zu verändern. Ein möglichst großes Aspektverhältnis, d.h. eine möglichst große Flächenausdehnung bei gleichzeitig sehr geringer Dicke der Partikeln kann unter anderem bei Füllstoffen, die eine Barriere Wirkung erzielen sollen oder bei leitfähigen Beschichtungen von großer Bedeutung sein.

In speziellen Fällen ist die Zielstellung eines Zerkleinerungsprozesses aber auch eine gezielte Verrundung, d.h. Steigerung der Sphärizität der Partikeln durch Abbrechen oder Abreiben von oberflächlichen Auswüchsen oder Rauigkeiten.

Wird ein solcher Prozess dann beispielweise zusätzlich mit einem Klassierprozess kombiniert, ist nicht nur eine gezielte Veränderung der Partikelform, sondern gleichzeitig eine Begrenzung des Oberkorns und somit eine Veränderung der Partikelgrößenverteilung, hin zu einem monomodalen Produktsystem möglich. Des weiteren ist es möglich durch eine nachgeschaltete Inlinesichtung das Produkt zu entstauben und die Partikelgrößenverteilung erneut in ihrer Breite zu begrenzen.

3.4. Emulgieren oder Zellaufschluss

Die Herstellung einer Emulsion, d. h. die feine Verteilung von Flüssigkeitströpfchen in einer anderen Flüssigkeit kann ebenfalls als eine Art von Zerkleinerungsprozess verstanden werden. Eine sehr stabile Emulsion entsteht vor allem dann, wenn die Flüssigkeitströpfchen möglichst monodispers, d.h. gleich groß in dem Dispersionsmedium verteilt sind.

Auch Prozesse, bei denen ein Aufschluss von biologischen Zellen die Zielstellung ist, sind Zerkleinerungsprozesse. Allerdings ist hier eine wirkliche Zerkleinerung der Zellen meist ungewollt, da eine Trennung von Zellinhalt und übrigen Zellbestandteilen dann problematisch werden kann. Ziel hier ist also nur die Zellwand zu durchbrechen oder in möglichst großen Teilstücken zu erhalten.

Sowohl für das Emulgieren, als auch für Zellaufschlussprozesse können Hochdruckhomogenisatoren eingesetzt werden. Mit der *OMEGA* Technologie verfügt NETZSCH auch in diesem Bereich über hoch entwickeltes Equipment.

4. Der Geschäftsbereich Mahlen & Dispergieren der Firma NETZSCH

Der Geschäftsbereich Mahlen & Dispergieren ist ein Verbund aus hochspezialisierten Firmen und verfügt über ein sehr breites Produktportfolio für sämtliche Aufgabenstellungen in den verfahrenstechnischen Aufbereitungsstufen Dispergieren, Mischen, Entlüften, Nass- und Trockenmahlen und Sichten.

4.1. Trockenvermahlung und Sichtung

Die NETZSCH Trockenmahltechnik GmbH ist eines der weltweit führenden Unternehmen im Bereich der Aufbereitung trockener Produkte. Das Produktprogramm umfasst Maschinen und Anlagen zur Zerkleinerung und Feinstvermahlung, sowie Klassierung feinsten Pulver. Der Sitz des Unternehmens befindet sich in Hanau am Main. Neben der Montage und Verwaltung sind hier auch ein großes Labor und Technikum angesiedelt, um umfassende und kundenspezifische Tests mit den Maschinen und Anlagen der NETZSCH Trockenmahltechnik GmbH durchzuführen. Einen Überblick über die Maschinenvielfalt gibt Abb. 13.

4.2. Suspendieren, Mischen, Homogenisierung, Nasszerkleinerung und Entlüftung

Die NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH im oberfränkischen Selb ist Weltmarktführer im Bereich der Aufbereitung von flüssigen und pastösen Dispersionen. Das umfassende Portfolio bietet Maschinen und Anlagen für das Mischen, Suspendieren, Emulgieren, Dispergieren, Entlüften und Nasszerkleinern. Einen kleinen Eindruck über die Maschinenvielfalt in diesem Bereich gibt Abb. 14.

Alle verfügbaren Technologien der Firma NETZSCH werden mit Maschinengrößen im Labormaßstab bis zu Anlagen im realen Produktionsmaßstab angeboten. Weitere Informationen können Broschüren, der Internetseite des Unternehmens (www.netzsch.com) oder dem NETZSCH Kompendium [4] entnommen werden.

Im direkten Kontakt mit dem Produktspezialisten der Firma NETZSCH bekommen Sie sehr gerne eine umfassende Beratung. Darüber hinaus garantiert das weltweite Netzwerk mit verschiedenen Produktionsstätten und Applikationslabors in Deutschland, Brasilien, Russland, Indien, Südkorea, China, Spanien und in den USA und zahlreichen Vertriebs- und Servicebüros weltweit größte Kundennähe.

Aber der Geschäftsbereich Mahlen & Dispergieren der Firma NETZSCH betreibt nicht nur Spezialmaschinenbau. NETZSCH konzipiert, baut und liefert Kunden aus unterschiedlichsten Bereichen spezielle auf die Produkthanforderungen abgestimmte einzelne Maschinen oder übernimmt das Engineering, die Lieferung, die Installation sowie die Inbetriebnahme und Schulung der Operator für komplette Produktionsanlagen. NETZSCH verfügt dabei über Produktspezialisten für unterschiedliche Anwendungs- und Geschäftsfelder, wie Pharma- und Kosmetik, Lebensmittel, Mineralien und Erze oder den Bereich der chemischen Industrie.

Zusätzlich bietet NETZSCH einen umfangreichen AfterSales Service, der die sichere Lieferung von Ersatzteilen, Service- und Wartungsverträge und umfangreiche praxisorientierte Trainingsprogramme enthält. So garantiert NETZSCH eine stets hohe Produktionssicherheit.

QUELLENANGABEN

- [1] D. W. Fuerstenau
Grinding Aids, KONA No. 13, 1995, pp. 5-14
- [2] K. Schönert
Kapitel 2: Hochschulkurs Zerkleinern und Dispergieren mit Rührwerkskugelmöhlen Umdruck zum Hochschulkurs vom Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Kwade + Schwedes Zerkleinerungstechnik, Braunschweig, 2008
- [3] W. Hess
Einfluss der Schubbeanspruchung und des Verformungsverhaltens bei der Druckzerkleinerung von Kugeln und Partikeln, Dissertation TU Karlsruhe, 1980
- [4] S. Mende, et al.
NETZSCH Kompendium, Zerkleinerung & Charakterisierung von Partikeln. September 2016

Abbildung 13

Übersicht über Zerkleinerungstechnologien der NETZSCH Trockenmahltechnik GmbH

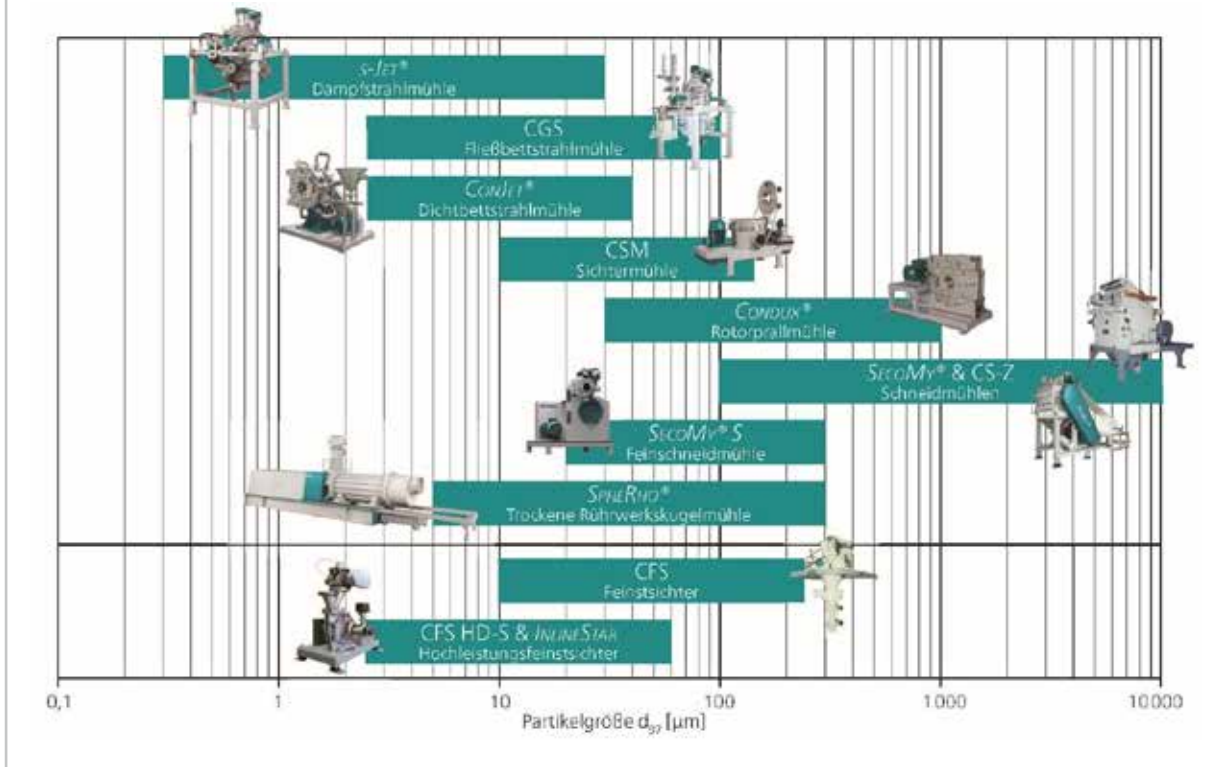
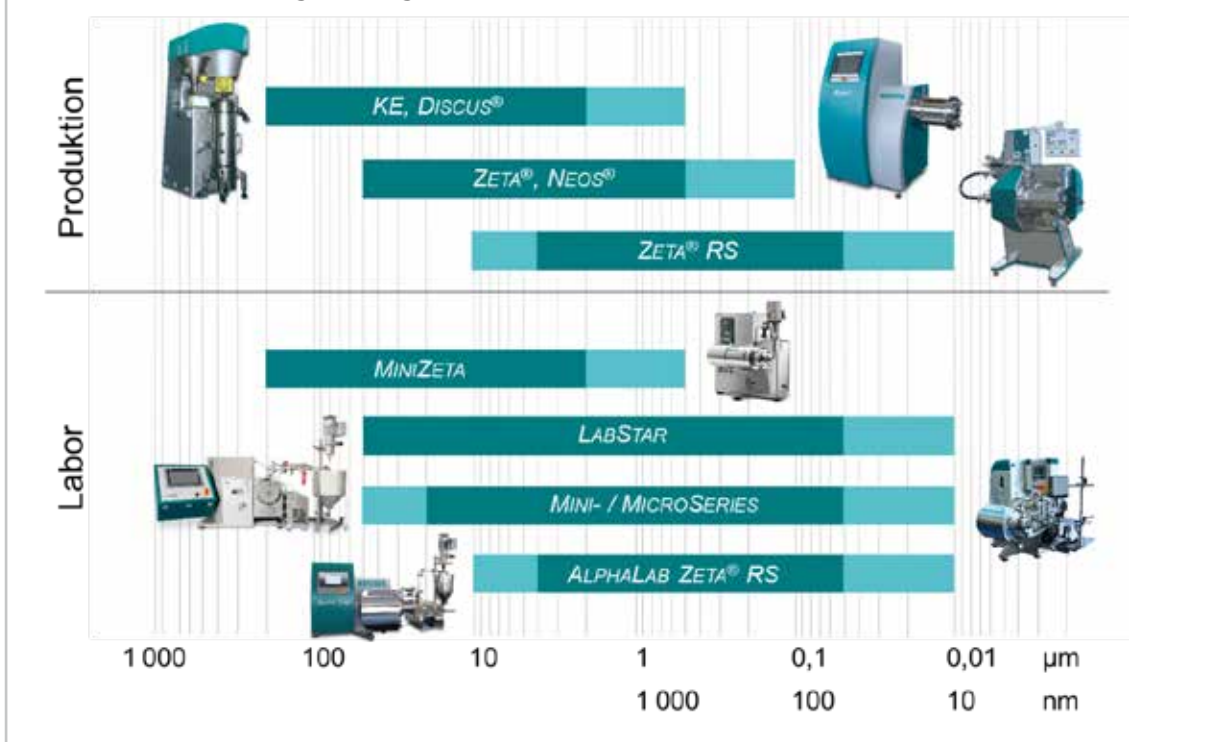


Abbildung 14

Übersicht über Zerkleinerungstechnologien der NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH





Die NETZSCH-Gruppe ist ein inhabergeführtes, international tätiges Technologieunternehmen mit Hauptsitz in Deutschland. Die Geschäftsbereiche Analysieren & Prüfen, Mahlen & Dispergieren sowie Pumpen & Systeme stehen für individuelle Lösungen auf höchstem Niveau. Mehr als 4000 Mitarbeiter in 36 Ländern und ein weltweites Vertriebs- und Servicenetz gewährleisten Kundennähe und kompetenten Service.

Dabei ist unser Leistungsanspruch hoch. Wir versprechen unseren Kunden Proven Excellence – herausragende Leistungen in allen Bereichen. Dass wir das können, beweisen wir immer wieder seit 1873.

Proven Excellence. ■

Geschäftsbereich Mahlen & Dispergieren – weltweit führende Mahltechnologie

NETZSCH-Feinmahltechnik | Deutschland
NETZSCH Trockenmahltechnik | Deutschland
NETZSCH Vakumix | Deutschland
NETZSCH Lohnmahltechnik | Deutschland
NETZSCH Mastermix | Großbritannien
NETZSCH FRÈRES | Frankreich
NETZSCH España | Spanien
ECUTEC | Spanien

NETZSCH Machinery and Instruments | China
NETZSCH India Grinding & Dispersing | Indien
NETZSCH Tula | Russland
NETZSCH Makine Sanayi ve Ticaret | Türkei
NETZSCH Korea | Korea
NETZSCH Premier Technologies | USA
NETZSCH Equipamentos de Moagem | Brasilien

NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH
Sedanstraße 70
95100 Selb
Deutschland
Tel.: +49 9287 797 0
Fax: +49 9287 797 149
info.nft@netzsch.com

NETZSCH®

www.netzsch.com