

2 Zerkleinerung

2-1

Grundaufgaben

A: Erzeugen bestimmter Feinheiten

maximale und minimale Korngrößen, bestimmte Partikelgrößen-Verteilungen, z.T. auch Kornformen

Beispiele: Baustoffe (Zement);
Schleifmittel;
Farbstoffe, Pigmente, Füllstoffe;
Lebensmittel;
Kosmetika, Pharmazeutika ...

B: Oberflächenvergrößerung

zur Beschleunigung von physikalischen und chemischen Reaktionen

Beispiele: Lösen und Schmelzen von Feststoffen;
Extrahieren aus der festen Phase
Erhärten und Abbinden von Bindemitteln
Verbrennen von Kohlestaub
heterogene Katalyse
pharmazeutische Wirkstoffe

C: Aufschließen heterogener Feststoffe

für eine nachfolgende Trennung (Sortierung) in die Komponenten

Beispiele: Getreidemahlung
Erzmahlung
Müllzerkleinerung

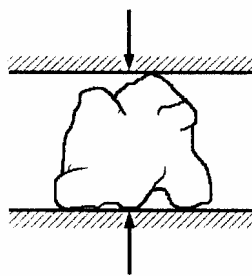
Oft erfüllen Zerkleinerungsprozesse mehrere Grundaufgaben!

Suchen Sie Beispiele!

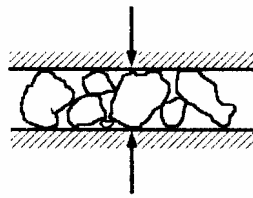
2 Zerkleinerung

2-2

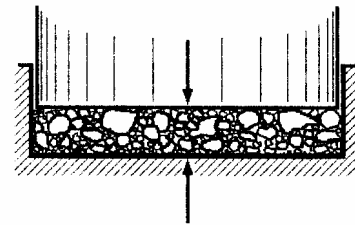
Beanspruchungs-Bedingungen



Einzelkorn-



Kollektiv-
Beanspruchung



Gutbett-

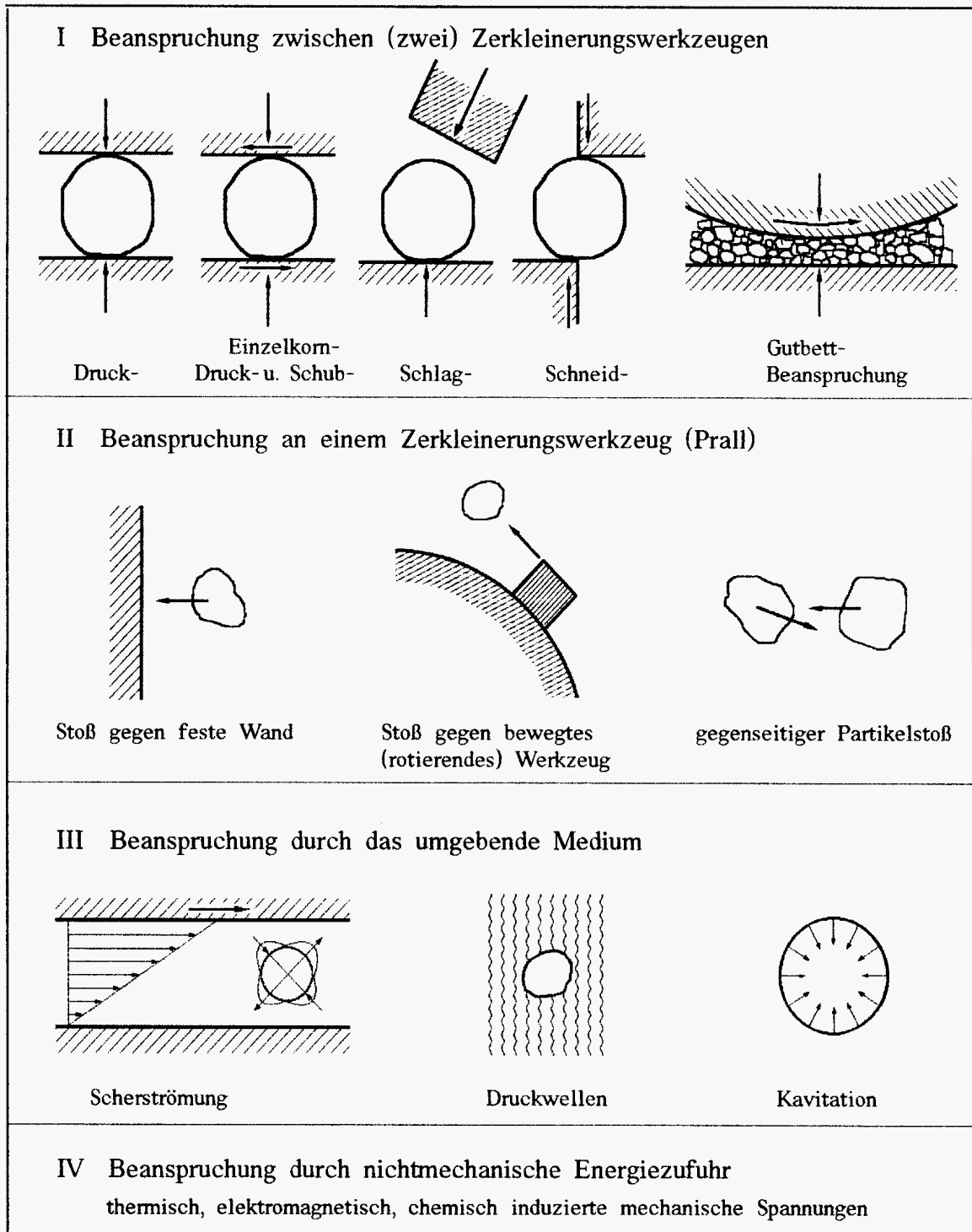
Übung:

Beschreiben Sie mit Ihren eigenen Worten die Unterschiede, die Sie bei den Bildern oben sehen.

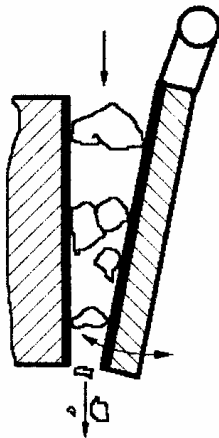
2 Zerkleinerung

2-3

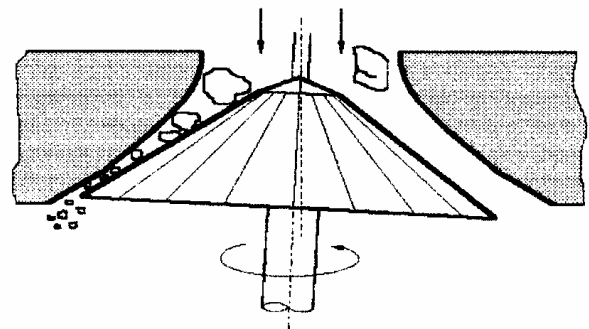
Beanspruchungs-Arten



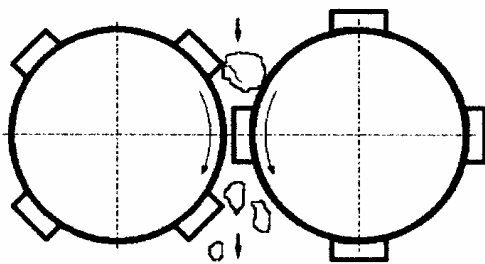
Maschinen-Typen



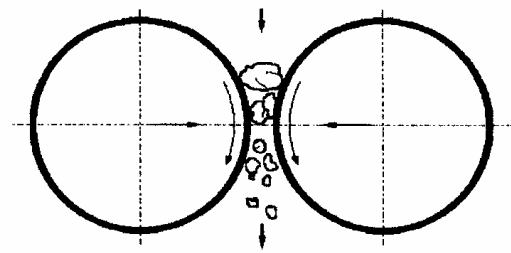
Backenbrecher
Druck (und Schub)



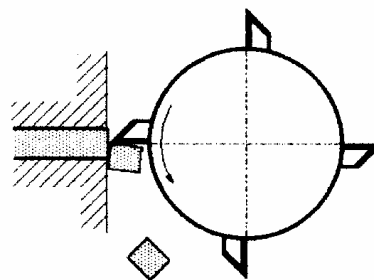
Rundbrecher
Druck (und Schub)



Walzenbrecher
Druck (und Schub)

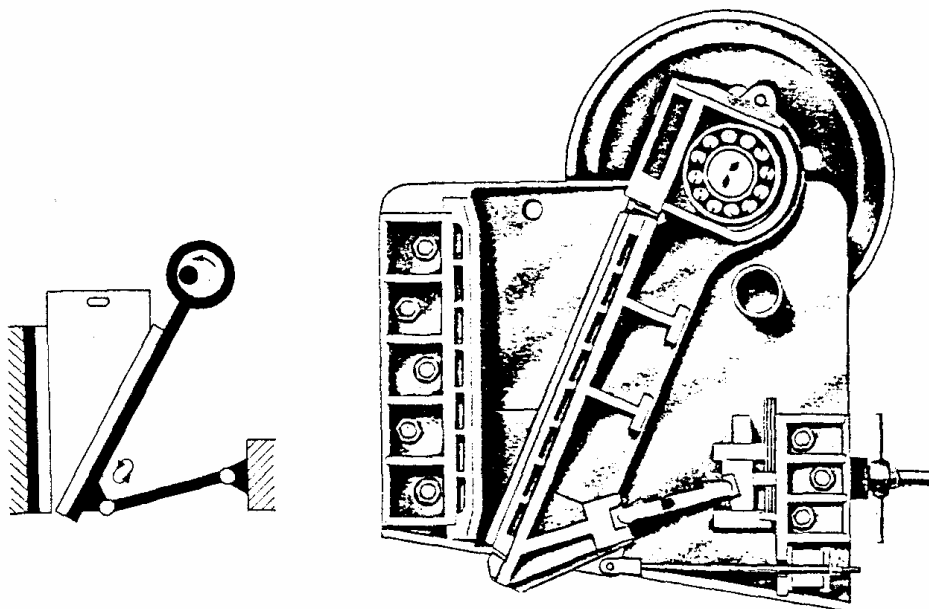


Walzenmühle
Druck (und Schub)



Schneidmühle

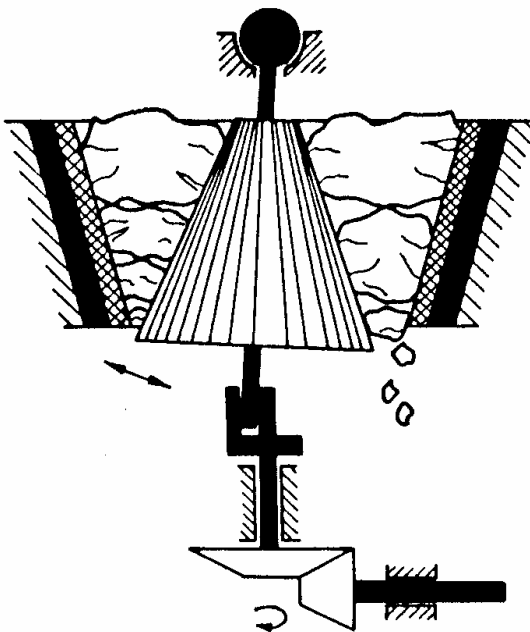
Zerkleinerungsmaschinen



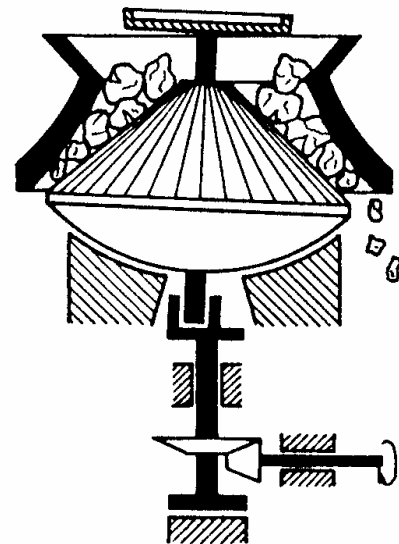
Backenbrecher

Aufgabe: Versuchen Sie, die Funktion zu verstehen und mit Ihren eigenen Worten zu beschreiben

Zerkleinerungsmaschinen



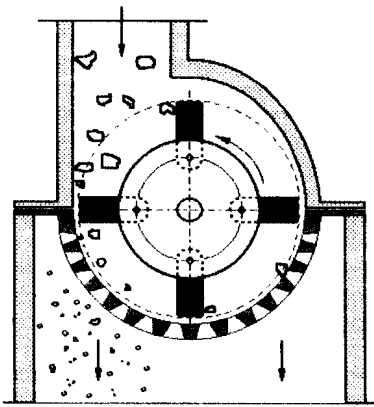
Kegelbrecher



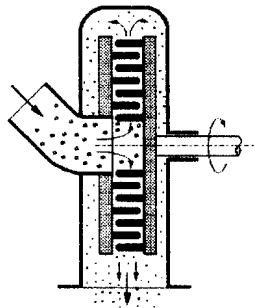
Rundbrecher

Aufgabe: Versuchen Sie, die Funktion zu verstehen und mit Ihren eigenen Worten zu beschreiben.

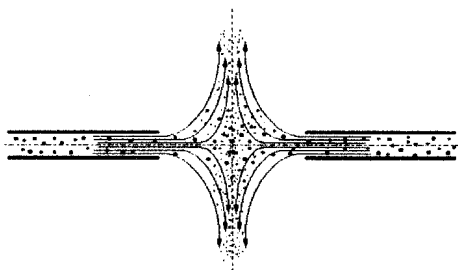
Prall-Zerkleinerungsmaschinen



Hammermühle



Stiftmühle



Strahlmühle

Aufgabe: Versuchen Sie, die Funktion zu verstehen und mit Ihren eigenen Worten zu beschreiben.

2 Zerkleinerung

2-8

Beurteilung der Zerkleinerung

Produkt-Beurteilung (Ergebnis):

partikeltechnisch: Partikelgrößen-Verteilung (PGV)
Spezifische Oberfläche S_v
Schüttgut-Dichte ρ_{Sch}
Kornform

anwendungstechnisch: Fließverhalten als Schüttgut
Filtrationsverhalten (Durchströmung)
Geschmack, Farbe, Geruch, Aussehen
Löse- oder Schmelzverhalten
Aufschluss

Prozess-Beurteilung (Aufwand):

Betriebs-Parameter (Einstellungen):
Mühlenart (Zerkleinerungs-Werkzeuge)
Drehzahl; Füllgrad;
Mahldauer; Durchsatz
energetisch: Leistungsaufnahme der Mühle (brutto - netto)
spez. Zerkleinerungsarbeit (massebezogen)

Kombinierte Beurteilung (Ergebnis/Aufwand)

Energie-Ausnutzung EA in $[m^2/kWh]$
Mahlbarkeit $(1/EA)$

2 Zerkleinerung

2-9

Kontrollfragen

1. Nennen Sie die drei Grundaufgaben der Zerkleinerung.
2. Geben Sie zu jeder der Grundaufgaben ein Beispiel an.
3. Nennen Sie ein Beispiel für eine Zerkleinerung, die mehrere Grundaufgaben erfüllt.
4. Welche Grundaufgaben erfüllt die Zerkleinerung von Kaffeebohnen?
Oder: Was erreicht man durch die Zerkleinerung von Kaffeebohnen?
5. Beschreiben Sie mit Ihren eigenen Worten
Einzelkorn-Beanspruchung
Mehrkorn- Beanspruchung
Gutbett-Beanspruchung
6. Welche Beanspruchungsarten gibt es?
7. Welche Beanspruchungsarten treten in einem Kegelmühle auf?
8. Welche Beanspruchungsart tritt in einer Hammermühle auf?
9. Nennen Sie Mahlprodukte, die Sie kennen.
10. Nach welchen Gesichtspunkten beurteilt man ein Mahlprodukt (= Ergebnis einer Zerkleinerung)?

2 Zerkleinerung

2-10

Kontrollfragen Zerkleinerung (Fortsetzung)

11. Mit zunehmender Mahldauer wird ein Produkt immer
> feiner / gröber < .
12. Mit zunehmender Mahldauer wird die Oberfläche des gemahlene Feststoffs immer > kleiner / größer <.
13. Welche Betriebsparameter kann man bei einer Mühle einstellen (verändern)?
14. Durch welche Betriebsparameter kann man eine größere Feinheit des Mahlprodukts erreichen?
15. Wie muss man diese Betriebsparameter verändern?
16. Welche anwendungstechnischen Kriterien gibt es bei der Beurteilung eines Zerkleinerungsprodukts?
17. Wie kann man die Feinheit eines Mahlproduktes messen?
18. Beschreiben Sie die Beanspruchungen in den verschiedenen Mühlentypen.

2 Zerkleinerung

2-11

Energetische Beurteilung

Massebezogene spezifische Zerkleinerungsarbeit W_m

Bei kontinuierlicher Mahlung:
$$W_m = \frac{P}{\dot{m}}$$

Bei diskontinuierlicher Mahlung:
$$W_m = \frac{P \cdot t}{m}$$

- Mit
- P Leistung in [W] bzw. [kW]
 - \dot{m} Durchsatz (Massenstrom)
in [kg/s] bzw. technisch in [kg/min] bei kleineren Durchsätzen und [t/h] bei großen Durchsätzen
 - t Mahldauer in [s], [min] oder [h]
 - m Mahlgut-Masse in [kg] oder [t]

„kontinuierliche Mahlung“ = Durchlauf-Mahlung:
der Gutstrom läuft andauernd durch die Mühle hindurch

„diskontinuierliche Mahlung“ = „satzweise“ Mahlung:
eine bestimmte Menge m des Mahlgutes wird in die Mühle gefüllt und während der Zeit t (Mahldauer) gemahlen.

2 Zerkleinerung

2-12

Oberflächenvergrößerung

Durch die Zerkleinerung wird die Oberfläche des Stoffes größer. Je feiner der Stoff gemahlen wird, desto kleiner sind die Partikeln und desto größer ist seine Oberfläche. Das Feststoffvolumen bleibt unverändert.

S: Oberfläche des Stoffes in [m²]

S₁: Oberfläche vor der Zerkleinerung

S₂: Oberfläche nach der Zerkleinerung $S_2 > S_1$

ΔS: Zunahme der Oberfläche (Oberflächenvergrößerung)

$$\Delta S = S_2 - S_1$$

Volumenbezogene spezifische Oberfläche S_V in [m²/m³]
(= die auf das Feststoff-Volumen bezogene Oberfläche)

$$S_V = S/V$$

Zunahme der volumenbezogenen spezifischen Oberfläche

$$\Delta S_V = S_{V2} - S_{V1}$$

Massebezogene spezifische Oberfläche S_m in [m²/kg]

$$S_m = S/m = S/V \cdot V/m = S_V/\rho_s$$

ρ_s: Dichte des Feststoffs in [kg/m³]

2 Zerkleinerung

2-13

Energieausnutzung EA Mahlbarkeit

Wie viel m² Oberflächenvergrößerung kann man mit W = 1 kWh Energieaufwand (Zerkleinerungsarbeit) erreichen?

Ein Maß dafür ist die Energieausnutzung

$$EA = \Delta S/W \text{ in [m}^2/\text{kWh]}$$

$$EA = \Delta S_V / (\rho_s \cdot W_m)$$

Oder umgekehrte Fragestellung:

Welche Zerkleinerungsarbeit ist erforderlich, um einen m² Vergrößerung der Oberfläche zu erreichen?

Das ist ein Maß für die Mahlbarkeit eines Stoffes:

$$1/EA = (\rho_s \cdot W_m) / \Delta S_V$$

S_V kann man messen oder aus der Partikelgrößen-Verteilung berechnen.

W_m wird aus der Leistungsmessung und dem Durchsatz berechnet.

Sätze zur Mahlbarkeit:

- *Ein Stoff ist umso leichter mahlbar, je weniger Energie zu seiner Zerkleinerung erforderlich ist.*
- *Spröde Stoffe sind leichter mahlbar als zähe Stoffe.*
- *Harte Stoffe sind schwerer mahlbar als weiche Stoffe.*
- *Gummiartige, elastische Stoffe sind schwer mahlbar.*

2 Zerkleinerung

2-14

Übungsaufgaben

1.) Eine Technikummühle (z.B. Hammermühle) mit 150 W Leistung mahlt kontinuierlich 1,2 kg Kaffee in der Minute.

a) Wie groß ist die massebezogene spezifische Zerkleinerungsarbeit W_m ?

(Lösung: $125 [W \cdot \text{min}/\text{kg}] = 2,08 [kWh/t]$)

b) In einer großen Hammermühle mit 1 kW Leistung soll der gleiche W_m -Wert gelten. Welchen Durchsatz hat die Mühle?

(Lösung: $0,48 [t/h] = 480 [kg/h] = 8,0 [kg/min]$)

2.) Eine diskontinuierliche Mahlung von Kalkstein (CaCO_3) auf eine bestimmte Feinheit benötigt $W_m = 12 [kWh/t]$. Das wurde im Technikum gemessen. Es steht eine Mühle (z.B. Kugelmühle) zur Verfügung mit einer Leistung von 4,5 [kW], in der maximal 750 kg Kalkstein gemahlen werden können.

Wie lange muss gemahlen werden?

(Lösung: 2,0 h)

3.) Vor der Zerkleinerung des Kalksteins hat man eine spezifische Oberfläche von $S_{V1} = 60 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ gemessen, nach der Zerkleinerung $S_{V2} = 2500 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$. Der Kalkstein hat eine Dichte von $2700 \text{ kg}/\text{m}^3$. W_m wie in Aufgabe 2.).

Wie groß ist die Energieausnutzung EA?

(Lösung: $7531 \text{ m}^2/kWh$)