

Folien zur Lehrveranstaltung

**Grundlagen der Mechanischen
Verfahrenstechnik**

– nur zum persönlichen Gebrauch –

PD Dr.-Ing. habil. Frank Babick
Dr.-Ing. Benno Wessely

Dresden, Frühjahr 2021

3. Klassieren von dispersen Systemen

Lernziele zu Kapitel 5

- Wissen:
 - Was verstehen wir unter Klassieren und Sortieren?
 - Was wird durch eine Trennfunktion quantifiziert?
 - Wie lassen sich bestimmte Klassieraufgaben durch entsprechende Schaltung von Klassieren realisieren?
 - Welche Formen des Strömungsklassierens sind Ihnen bekannt?
- Fähigkeiten:
 - Bilanzierung eines Klassierprozesses
 - Berechnung von Gesamtabscheidegrad aus Trennkurve und Partikelgrößenverteilung des Aufgabegutes

3. Klassierung von dispersen Systemem

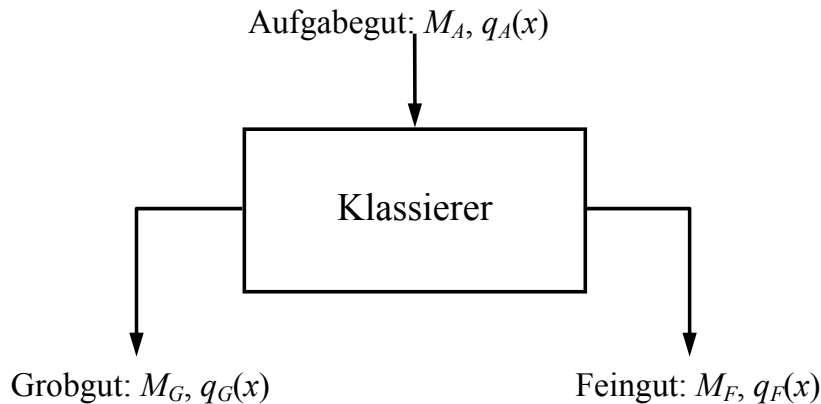
- Grundlagen -

Trennen disperser Systeme – Grundtypen

- **Teilung** von Stoffsystemen
 - in Stoffströme identischer Zusammensetzung
 - z. B. bei Zuführung in parallel angeordnete Reaktoren oder in Zyklonbatterien zur Gasentstaubung
- **Abscheidung** der dispersen Phase
 - (eingedickte) disperse Phase und (partikelfreie) kontinuierliche Phase
 - z. B. Staubabscheidung, Klären, Entfeuchten
- **Sortieren** von heterodispersen Stoffsystemen
 - Trennung nach stofflichen Eigenschaften (Dichte, Benetzbarkeit, Magnetisierbarkeit, Form, ...)
 - z. B. Flotation, Schwimm-Sink-Sortierung, Magnetsortierung
- **Klassieren** der dispersen Phase nach Partikelgröße
 - mindestens zwei Fraktionen mit unterschiedlicher Größe (bzw. Volumen, Sinkgeschwindigkeit, ...)
 - z. B. für Schleifpulver und Baustoffe; in Mühle-Sichter-Kreisläufen

Klassieren in Grob- und Feingut

- Schema:



Menge M :

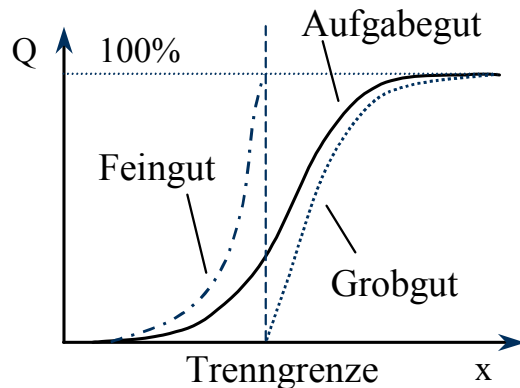
- Masse m (hohe Konzentration)
- Anzahl N (geringe Konzentration, feine Partikel)

Dichtefunktionen q sind folglich

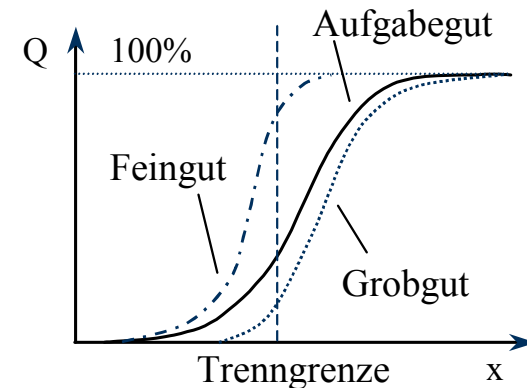
- massengewichtet ($q_3(x)$) oder
- anzahlgewichtet ($q_0(x)$)

- Partikelgrößenverteilungen von Aufgabe, Grob- und Feingut:

eines idealen Klassierprozesses



eines realen Klassierprozesses



Stoffbilanz und Gesamtabscheidegrad

- Gesamtbilanz

$$M_A = M_F + M_G$$

- Bilanz an Größenfraktion k

$$M_A \cdot \Delta Q_{M,A,k} = M_F \cdot \Delta Q_{M,F,k} + M_G \cdot \Delta Q_{M,G,k}$$

- Bilanz am Größenintervall dx

$$M_A \cdot dQ_{M,A} = M_F \cdot dQ_{M,F} + M_G \cdot dQ_{M,G}$$

$$q_{M,A} = f \cdot q_{M,F} + g \cdot q_{M,G}$$

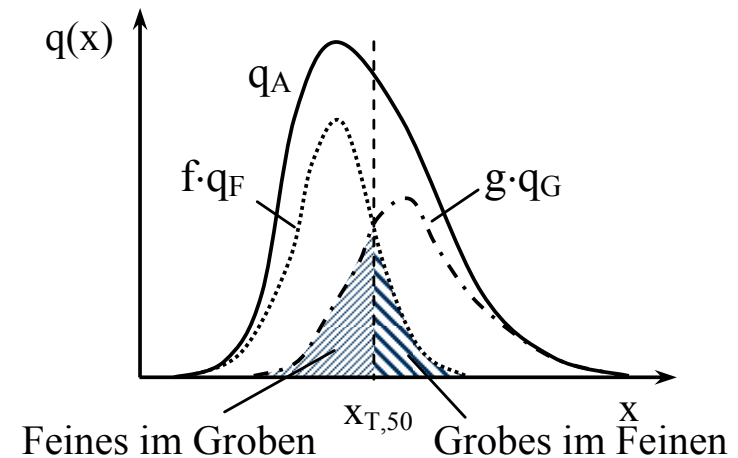
- Gesamtabscheidegrad

- Definition

$$\eta_{\text{ges}} = \frac{\text{Menge an Grobgut}}{\text{Menge an Aufgabegut}} = g$$

- Berechnung

$$\eta_{\text{ges}} = \frac{M_G}{M_A} = \frac{M_G}{M_F + M_G} = 1 - \frac{M_F}{M_A}$$



Feingutanteil $f = M_F / M_A$

Grobgutanteil $g = M_G / M_A$

Mediantrenngrenze $x_{T,50}$

Trennfunktion

- Trennfunktion (auch: *Trennkurve*)

- Definition

$$T(x) = \frac{\text{Menge an Grobgut in Klasse } x \dots x + dx}{\text{Menge an Aufgabegut in Klasse } x \dots x + dx}$$

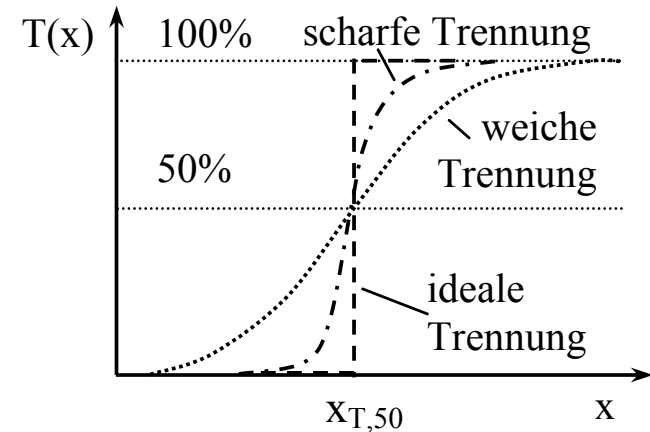
- Berechnungsvarianten

$$T_{AG}(x) = \frac{M_G \cdot dQ_{M,G}}{M_A \cdot dQ_{M,A}} = g \cdot \frac{q_{M,G}(x)}{q_{M,A}(x)}$$

$$T_{AF}(x) = 1 - f \cdot \frac{q_{M,F}(x)}{q_{M,A}(x)}$$

$$T_{FG}(x) = \frac{g \cdot q_{M,G}(x)}{f \cdot q_{M,F}(x) + g \cdot q_{M,G}(x)}$$

$$T_{AFG}(x) = \frac{1 - q_{M,F}(x)/q_{M,A}(x)}{1 - q_{M,F}(x)/q_{M,G}(x)}$$



Der Gesamtabscheidegrad

... resultiert aus der Trennfunktion und der Partikelgrößenverteilung des Aufgabegutes:

$$\eta_{\text{ges}} = \int T(x) q_{M,A}(x) dx = \sum T_k \Delta Q_{M,A_k}$$

T_k = Trenngrad für die Größenfraktion k (auch: *Fraktionsabscheidegrad*)

Güte der Trennung

- Trenngrenze

- Mediantrenngrenze $x_{T,50}$

$$T(x_{T,50}) = 0.5 \quad f \cdot q_{M,F}(x_{T,50}) = g \cdot q_{M,G}(x_{T,50})$$

- analytische Trenngrenze $x_{T,a}$

$$g \cdot \int_{x_{\min}}^{x_{T,a}} q_{M,G}(x) dx = f \cdot \int_{x_{T,a}}^{x_{\max}} q_{M,F}(x) dx$$

- Trennschärfe

- Trennschärfegrad κ (n. Eder)

$$\kappa = x_{25} / x_{75}$$

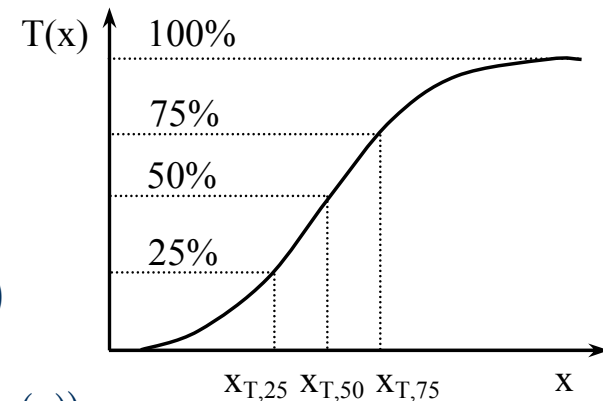
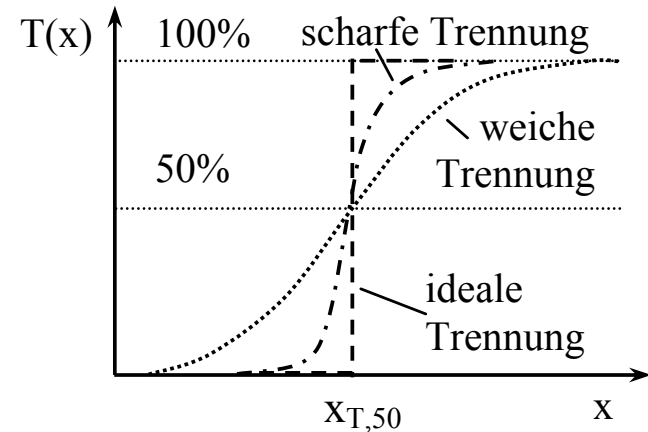
- Spannweite E_T (n. Terra)

$$E_T = 0.5 \cdot (x_{75} - x_{25})$$

- Fehlausträge

- Unterkorn: $F_{M,G} = g \cdot \int_{x_{\min}}^{x_T} q_{M,G}(x) dx = g \cdot Q_{M,G}(x)$
(Feines im Groben)

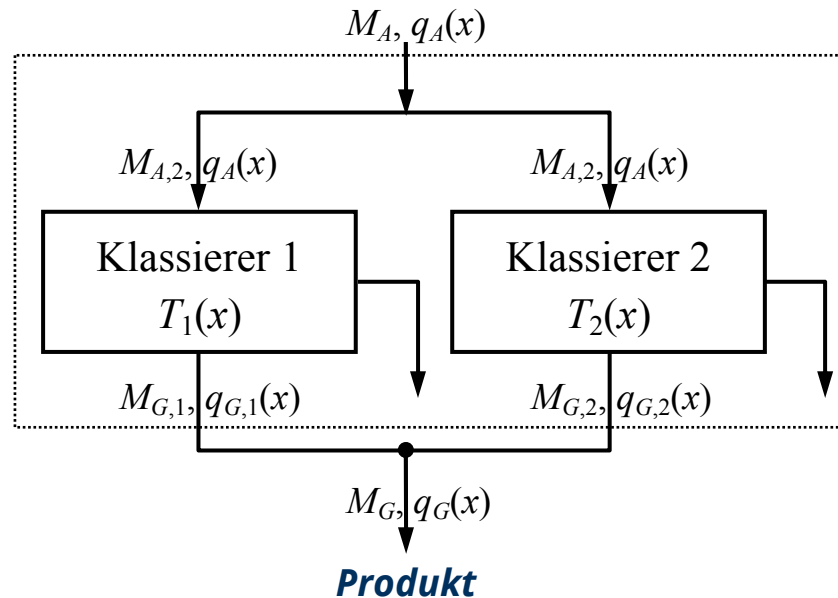
- Überkorn: $F_{M,F} = f \cdot \int_{x_T}^{x_{\max}} q_{M,F}(x) dx = f \cdot (1 - Q_{M,F}(x))$
(Grobes im Feinen)



3. Klassierung von dispersen Systemem

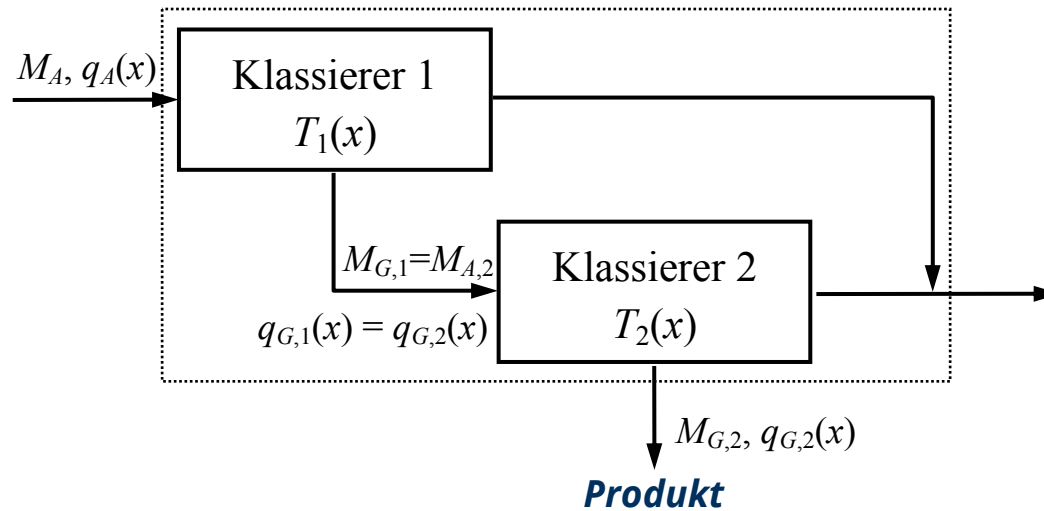
– *Klassierschaltungen* –

Parallelschaltung, grobgut-orientiert



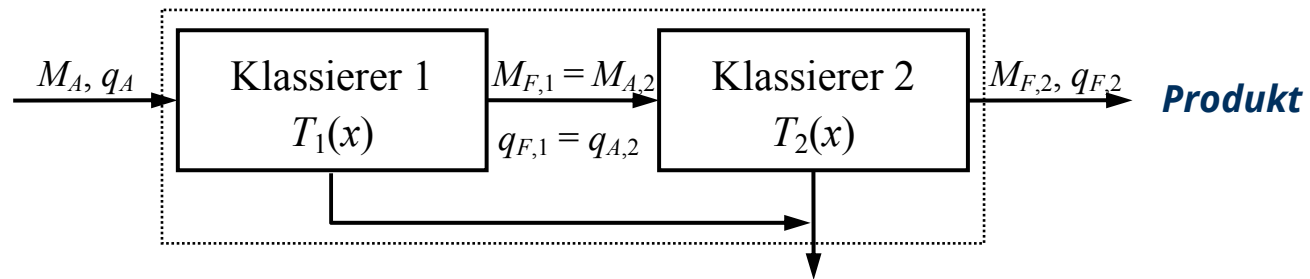
- Zweck:
 - höhere Durchsatz ohne Beeinträchtigung der Trennschärfe
- Anwendung:
 - kleine Apparate = hohe Trennschärfe, aber geringer Durchsatz
 - z. B. bei der Rauchgasreinigung
- Trennfunktion bei gleichen Massenströmen:
$$T_{ges}(x) = \frac{1}{n} \sum T_i(x)$$

Reihenschaltung, grobgut-orientiert



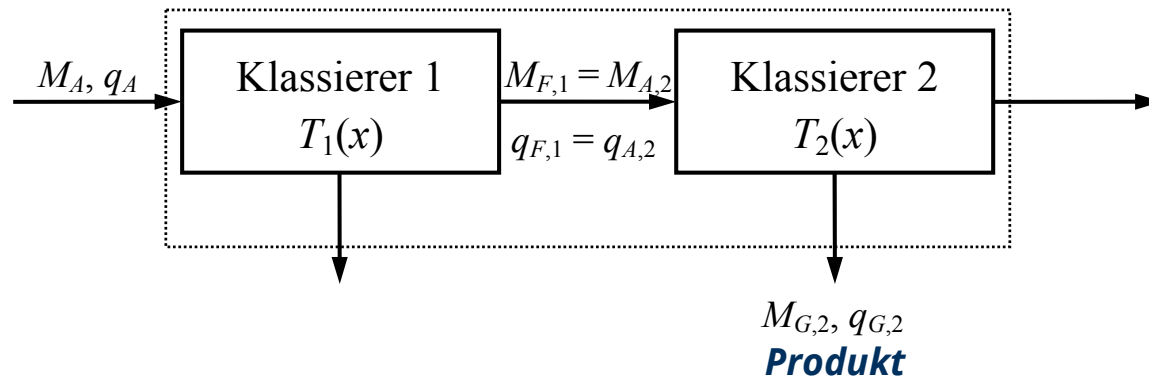
- Zweck:
 - Erhöhung der Trennschärfe mit dem Ziel eines „reineren“ Grobgutes
- Anwendung:
 - wenn Unterkorn (Feines im Groben) vermieden werden soll
 - z. B. bei Mühle-Sichter-Kreisläufen
- Trennfunktion und Gesamtabseidegrad: $T_{ges}(x) = T_1(x) \cdot T_2(x)$ $\eta_{ges} = \eta_{ges,1} \cdot \eta_{ges,2}$
- Trennfunktion bei Kaskadenschaltung: $T_{ges}(x) = \prod T_i(x)$
- jreineres Grobgut, aber davon weniger!

Reihenschaltung, feingut-orientiert



- Zweck:
 - Erhöhung der Trennschärfe mit dem Ziel eines „reineren“ Feingutes
- Anwendung:
 - Vermeidung von Überkorn (Grobes im Feinen) oder vollständige Abtrennung
 - z. B. beim Reinigen von Abluft & Abwasser
- Gesamtabscheidegrad: $1 - \eta_{ges} = (1 - \eta_{ges,1}) \cdot (1 - \eta_{ges,2})$
- Trennfunktion: $1 - T_{ges}(x) = (1 - T_1(x)) \cdot (1 - T_2(x))$
- Trennfunktion bei Kaskadenschaltung: $1 - T_{ges}(x) = \prod (1 - T_i(x))$
- „reineres“ Feingut, aber davon weniger!

fraktionierende Reihenschaltung

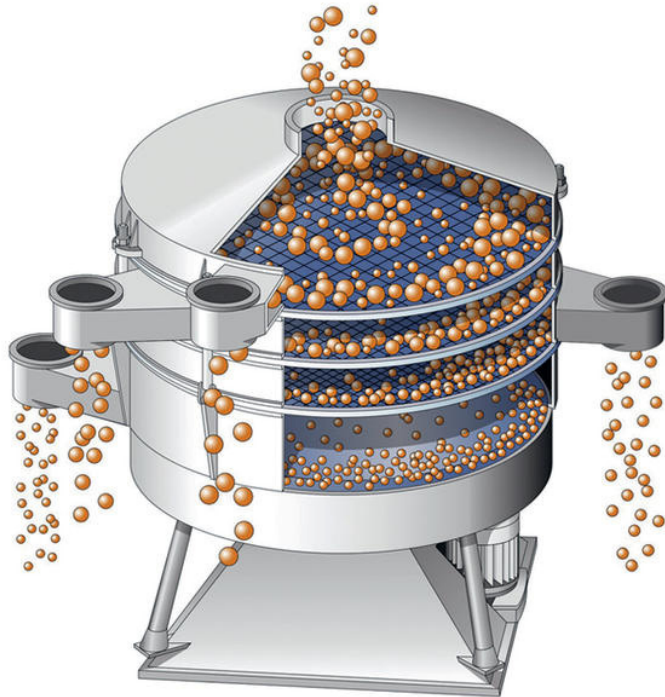


- Zwecke:
 - Aufteilung in mehrere Größenfraktionen
 - Gewinnung einer mittleren Fraktion
- Anwendung:
 - für enge Verteilungen ohne Fein- und Grobgutanteile
 - z. B. Fraktionierung von Schleifpulvern
- erfordert Stufung der Trenngrenzen: $x_{T,1} > x_{SOLL} > x_{T,2}$
- Abscheidegrade für die mittlere Fraktion: $\eta_{mF} = (1 - \eta_{ges,1}) \cdot \eta_{ges,2}$
- Trennfunktion für die mittlere Fraktion: $T_{mF}(x) = (1 - T_1(x)) \cdot T_2(x)$ „Glockenkurve“

3. Klassierung von dispersen Systemem

– Siebklassierung –

Siebklassierung – Prinzip und Siebmaschinen



Siebklassierung – Siebmedien

- Einteilung nach Korngröße
 - Grobsiebung: > 20 mm
 - Mittelsiebung: 1 ... 20 mm
 - Feinsiebung: 0,04 ... 1 mm
 - Ultrafeinsiebung: <0,04 mm
- Siebmedien
 - Drahtgewebe nach DIN 4185, 4186, 4189, 4192
 - Roste
 - Lochbleche
 - textile Siebböden
- Angaben zur Feinheit
 - Maschenweite w (in mm)
 - *mesh size* = Fäden / Zoll (die Drahtdicken d sind standardisiert, 1 Zoll = 2,54 cm)
z.B. 4 mm Maschenweite = 5 mesh (pro Zoll 5 Fäden mit Dicke von je 1,1 mm)
2 mm = 10 mesh, 0,707 mm = 25 mesh, 0,044 mm = 325 mesh
 - Sieböffnungsgrad (DIN 4185): $F_0 = w^2 / (w + d)^2$

Prozessdauer beim Siebklassieren

- Partikel mit Abmaßen > Maschenweite
 - vollständiges Zurückhalten auf der Sieboberfläche
- Partikel mit Abmaßen < Maschenweite
 - können prinzipiell das Siebmedium passieren
 - können beim Auftreffen auf die Sieboberfläche an den Fäden/Drähten abprallen

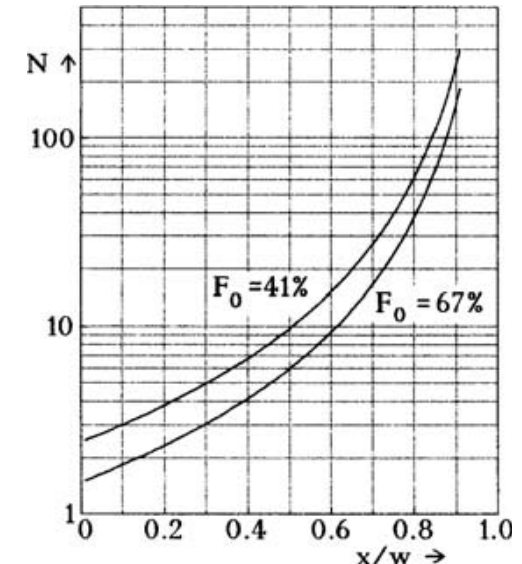
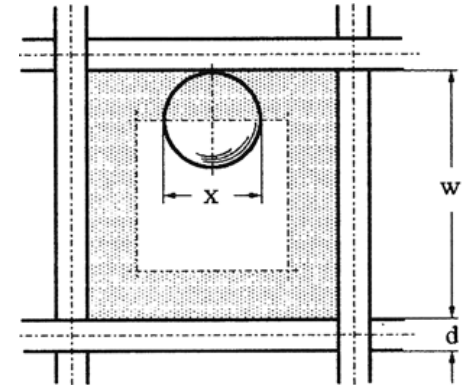
das heißt: Durchgangswahrscheinlichkeit < 100%

$$W(x) = \frac{(w-x)^2}{(w+d)^2}$$

- je mehr Kontakte mit Oberfläche (z.B. durch Rütteln des Siebes) desto höher die Wahrscheinlichkeit des Siebdurchgangs

mittlere Anzahl der Würfe bis Siebdurchgang

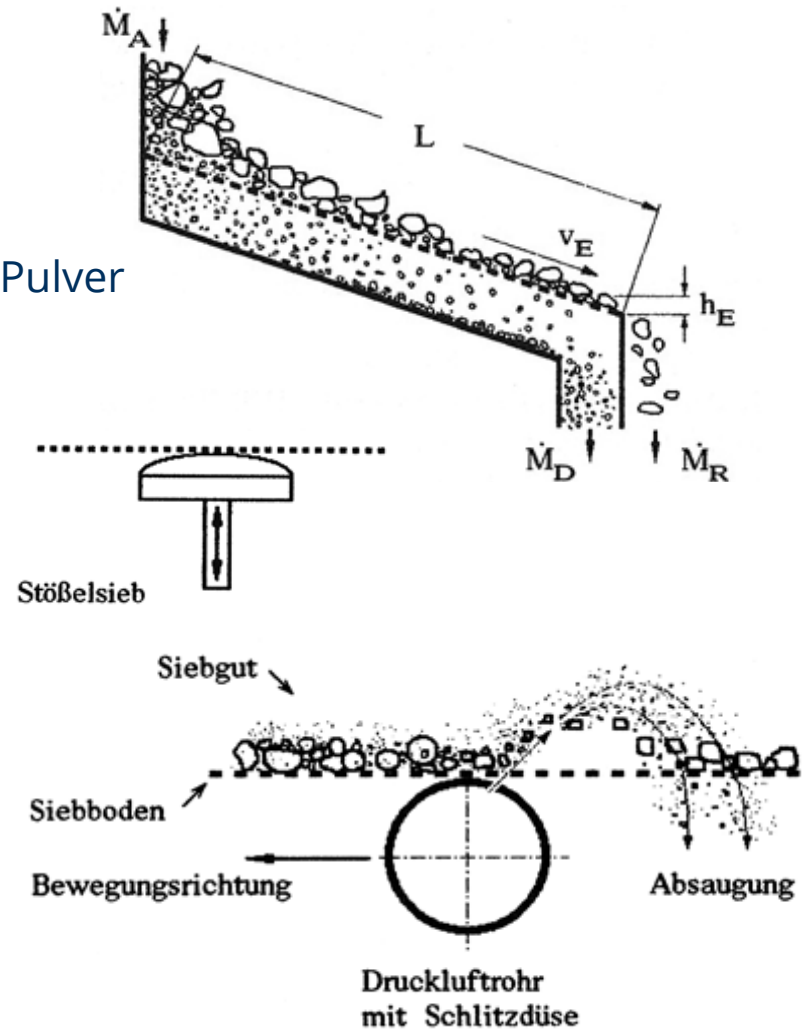
$$N = \frac{1}{W(x)} = \frac{1}{F_0 \cdot \left(1 - \frac{x}{w}\right)^2}$$



M. Stieß. *Mechanische Verfahrenstechnik – Partikeltechnologie 1*; S. 291f. Springer, 2009.

Technische Umsetzung der Siebklassierung

- feste Rosten für trockene Schüttgüter
- bewegte Siebe/Roste für trockene Schüttgüter/Pulver
 - Vibrationsiebe (ca. 90 μm bis 125 mm)
 - Stößelsiebe
 - Wurfsiebe
 - Wälzsiebe / Trommelsiebe
 - Taumelsiebe
 - Plansiebe
- Strömungssiebung
 - Luftstrahlsiebung (ca. 20 μm bis 500 μm)
 - Nasssiebung (<100 μm bis 25 mm)

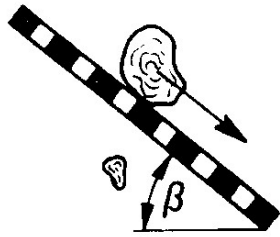


Bildquelle:

M. Stieß. *Mechanische Verfahrenstechnik – Partikeltechnologie 1*. Springer, 2009.

Technische Umsetzung der Siebklassierung

1. Feste Roste



3. Strömungssiebe

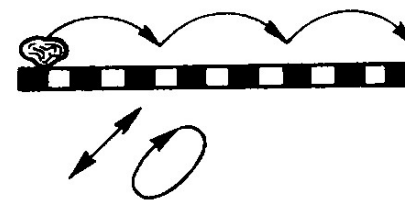
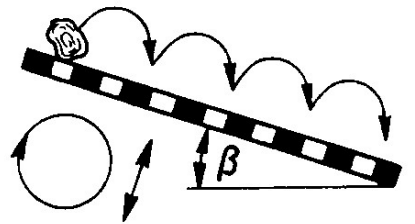


2. Siebmaschinen

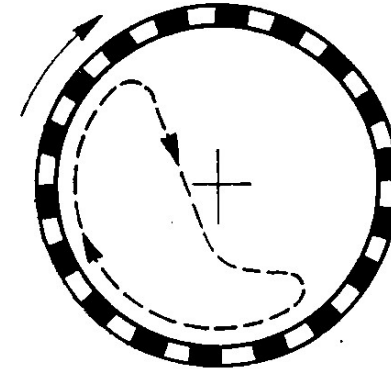
2.1. Roste



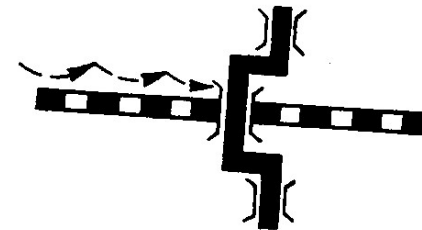
2.3. Wurfsiebe



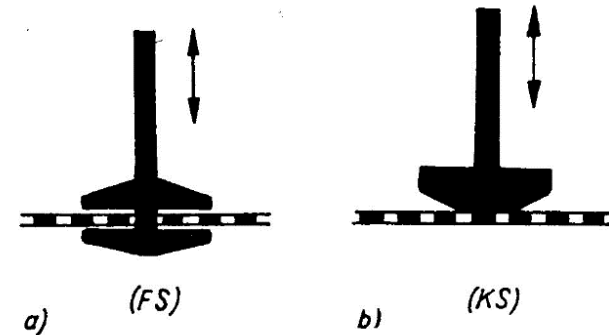
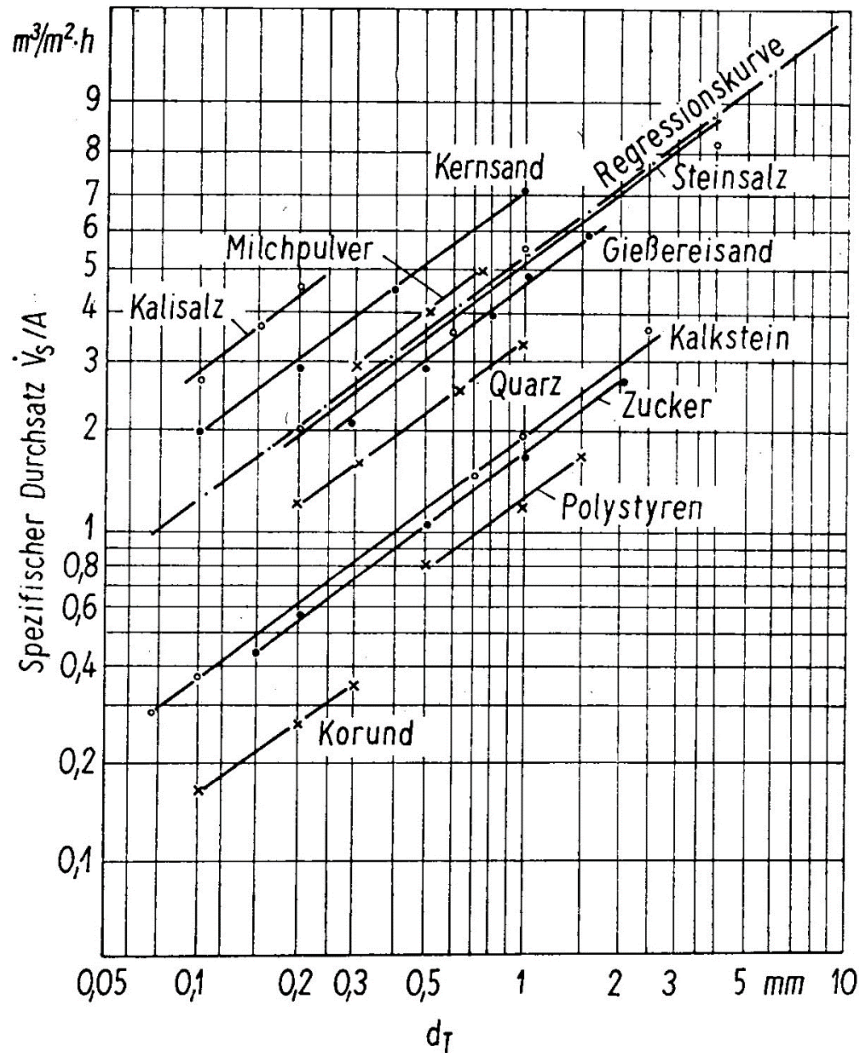
2.2. Wälzsiebe



2.4. Plansiebe



Spezifischer Durchgang von Stößelschwingsiebenen



a) Formschlüssige und
b) Kraftschlüssige Schwingungsübertragung
bei Stößelschwingsieben

3. Klassierung von dispersen Systemem

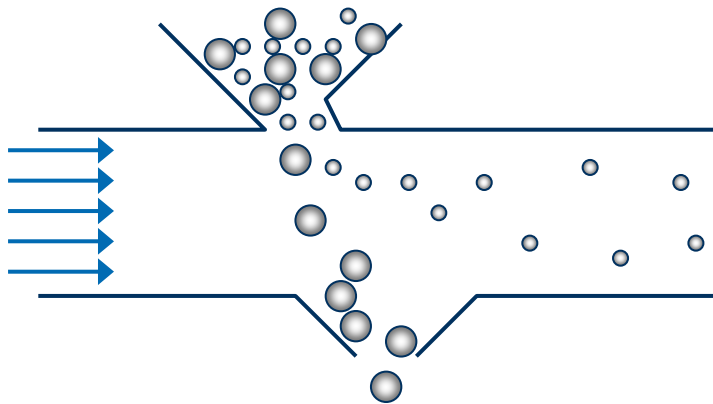
– Strömungsklassierung –

Windsichten

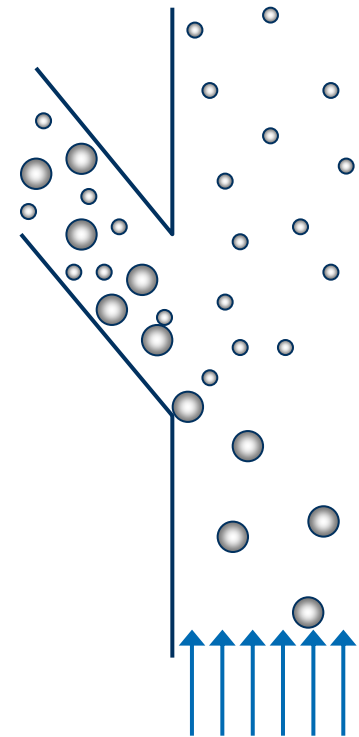


Technisches Windsichten – Strömungsklassieren

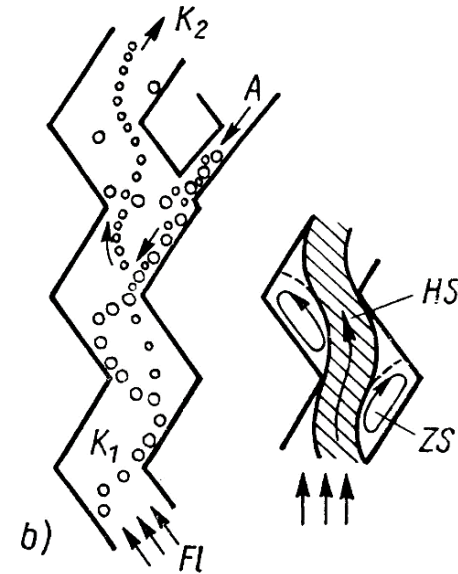
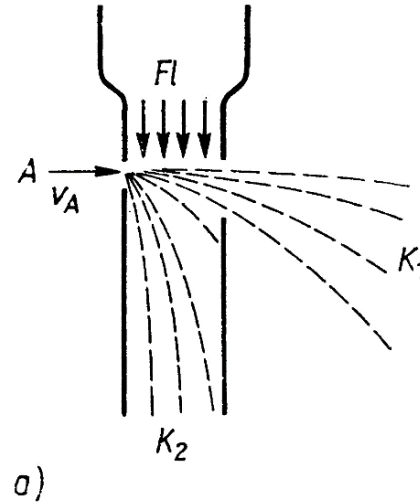
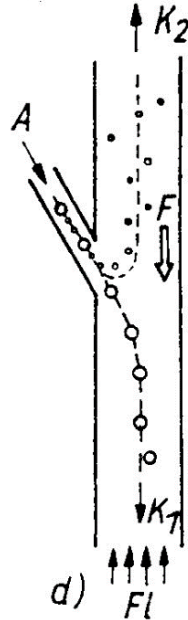
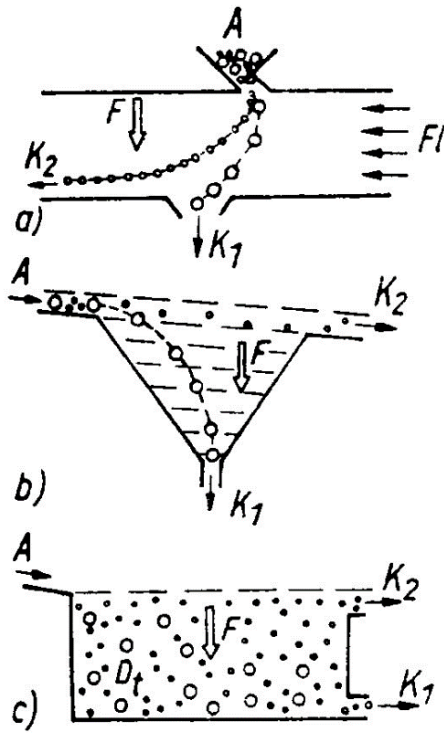
im Querstrom



im Gegenstrom



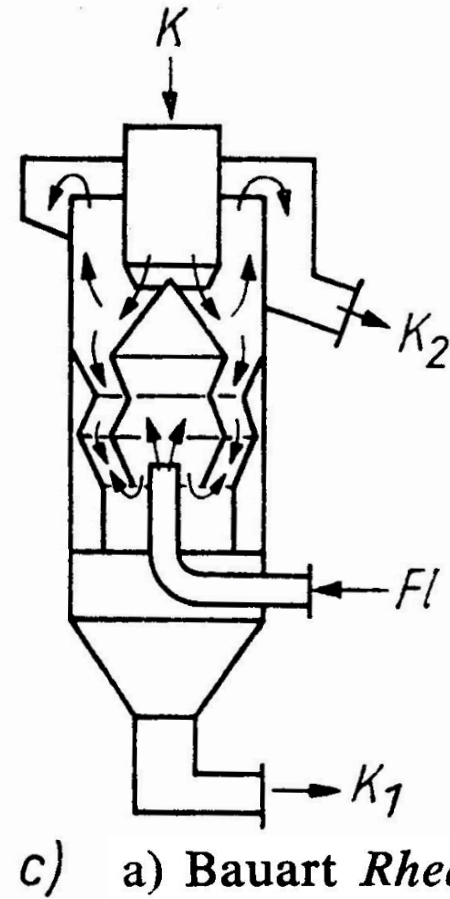
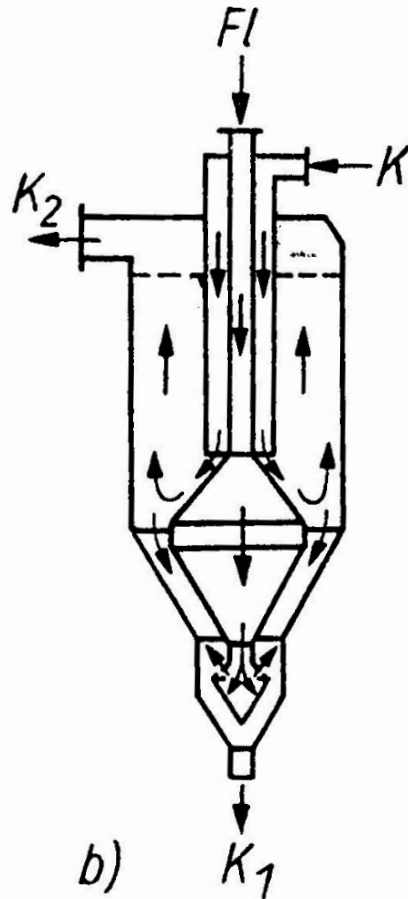
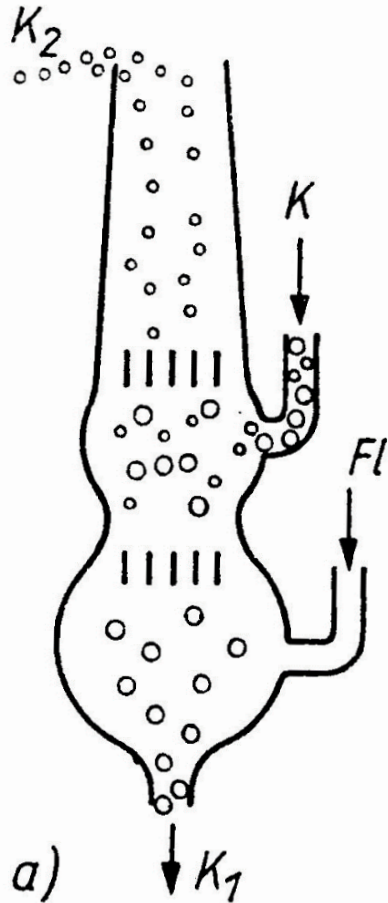
Bauarten von Strömungsklassierern



- a) Querstromwindsichter (Horizontalstromwindsichter)
- b) laminare Querstromhydroklassierung
- c) turbulente Querstromhydroklassierung
- d) Gegenstromklassierung
- A Aufgabe
- F Kraftfeld
- K_1 Grobgut
- K_2 Feingut
- FI Fluid

- a) Querstrom-Strahlwindsichter
- b) Zickzacksichter
- v_A Gutaufgabegeschwindigkeit,
- HS Hauptströmung,
- ZS Zirkulationsströmung

Bauarten - Aufstromhydroklassierer

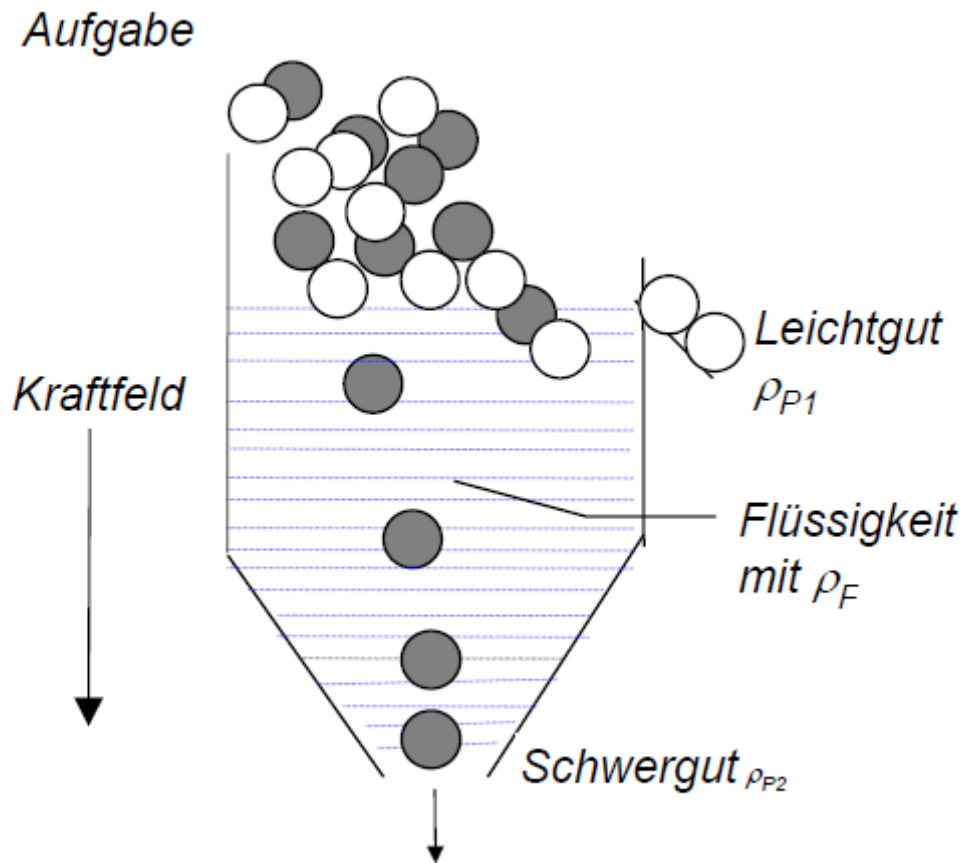


- a) Bauart *Rheax*
- b) Bauart *Sogreah (Lavoflux)*
- c) Bauart *Hydrofors*

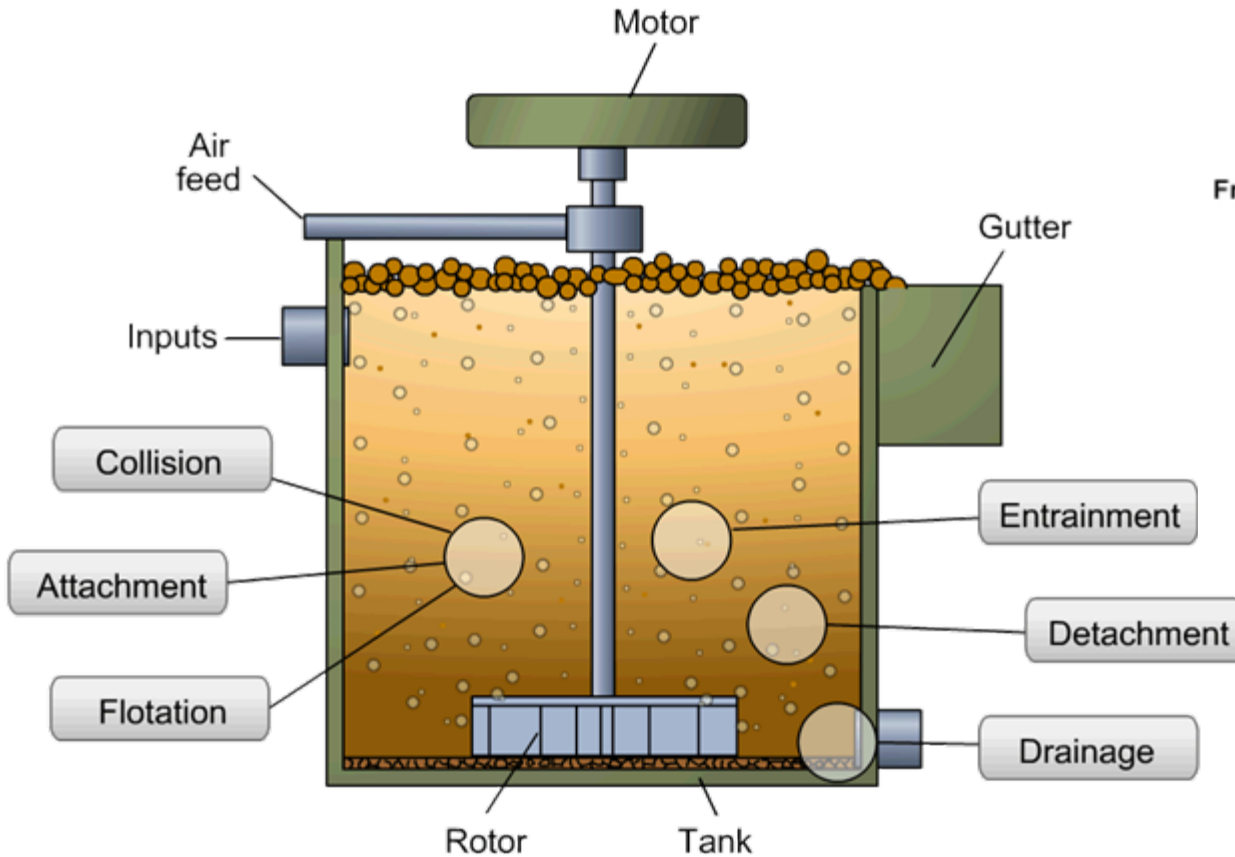
3. Klassierung von dispersen Systemem

– Sortieren –

Schwimm-Sink-Sortierung

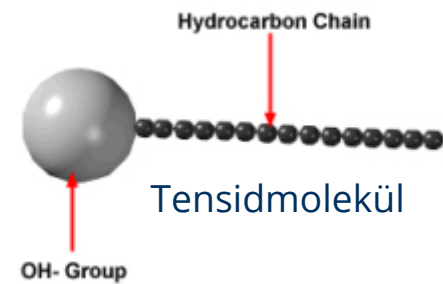


Flotation



Cu-Erz

Frother Molecule



Bildquellen:

www.minerals.org.au/primary/secondary/secondary_resources/oresome_froth2 (2007)

3. Klassierung von dispersen Systemem

– *Literatur* –

Literatur zu Kapitel 3

- H. Schubert (Hrsg.): *Handbuch der Mechanischen Verfahrenstechnik, Bd. 1 und 2*. Wiley-VCH, Weinheim, **2003**; doi:10.1002/3527603352
→ Bd. 2: Abschn. 7.1, 7.2 und 7.3
- M. Stieß: *Mechanische Verfahrenstechnik - Partikeltechnologie 1*. Springer, **2009**;
doi:10.1007/978/3-540-32552-9.
→ Kap. 6