

Fest-Flüssig Trennprozesse

Solid-Liquid separation

Разделение твердой и жидкой фаз

Kennzeichnung des Trennerfolges

Identification of the separation success

Что такое успешное разделение фаз?

Сепарационные процессы можно различать как процессы разделения твердое-твердое, твердое-жидкость, и твердое-газ.

Последние два являются предельными случаями разделения твердое –твердое, когда размер частиц одной из фаз бесконечно мал.

В сепарационном процессе твердое-твердое исходный материал состоит из частиц с размерами зерен между x_{\min} und x_{\max} .

Распределение частиц по размерам может быть описано некоторой (Суммарной) функцией распределения частиц $Q(x)$.

Цель сепарации в том, чтобы вынести из исходного материала зерна размером $x > x_T$

Это можно сделать только с некоторой долей ошибок (неострое разделение).

Чтобы описать неостроту разделения мелкозернистого и крупнозернистого материалов вводится т.н.

СЕПАРАЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ (она же называется сепарационная кривая).

Функция Сепарации $T_G(x_i)$ указывает долю некоторой фракции частиц с размерами $[x_i - x_{i+1}]$

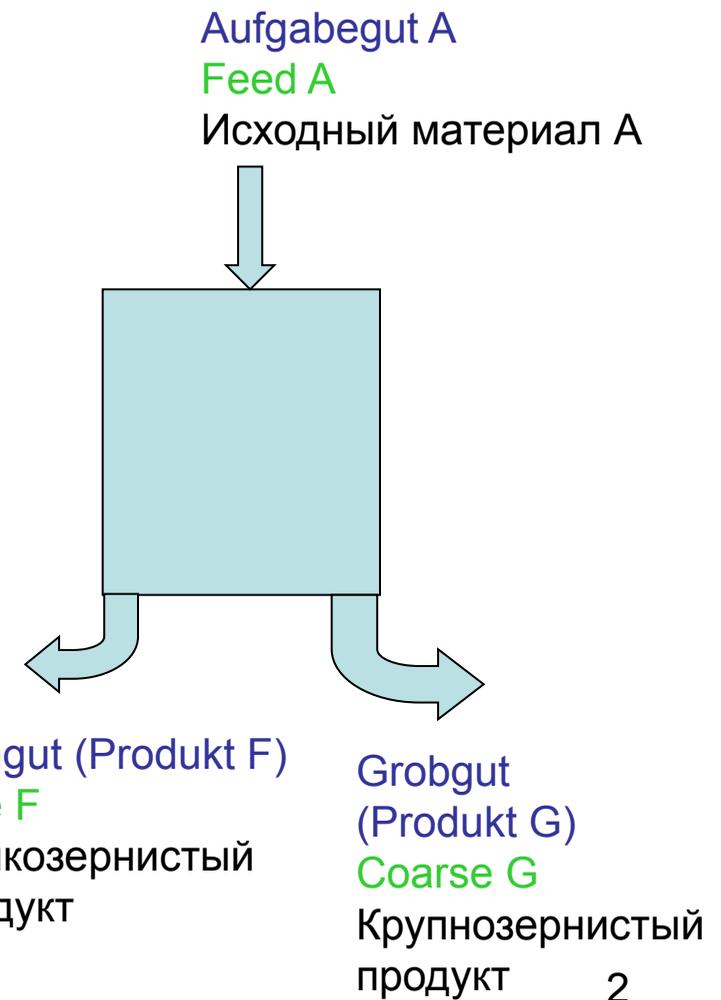
Которая будет вынесена в продукт G:

$$T_G(x_i) = \frac{m_{G,i}}{m_{A,i}}$$

Здесь:

$m_{G,i}$ Масса i-Фракции в крупнозернистом продукте

$m_{A,i}$ Масса i-Фракции в исходном материале

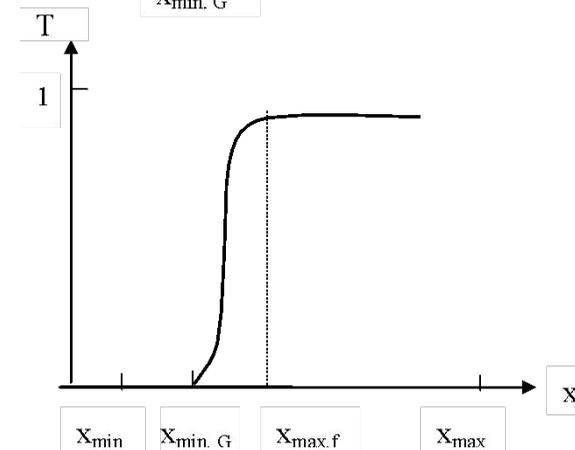
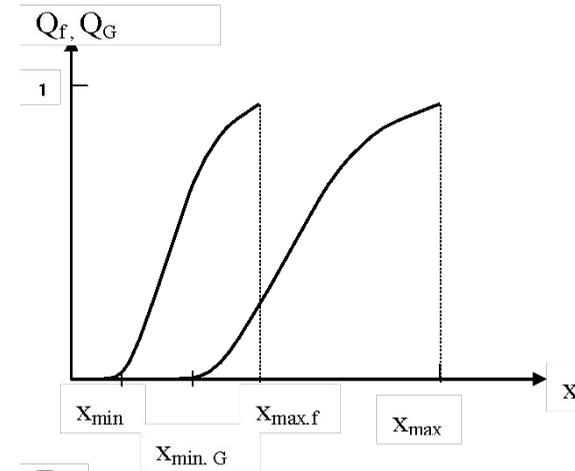
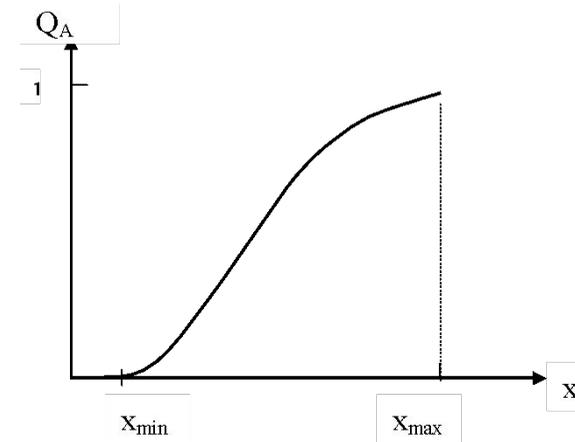


Функция Сепарации

$$T_G(x_i) = \frac{m_{G,i}}{m_{A,i}}$$

- Q_A, Q_f, Q_G -Распределение частиц по размерам в исходном материале (A),
 -Мелкозернистом продукте (f) и
 -Крупнозернистом продукте (G)

На рисунке: Распределение частиц по размерам в исходном материале, крупнозернистом и мелкозернистом продуктах (схематически)



Функция Сепарации

Для баланса массы в классе крупности (фракции) i справедливо:

$$m_{A,i} = m_{G,i} + m_{f,i} \quad (1)$$

Масса в классе i :

$$m_{A,i} = m_A \Delta Q_{A,i} \quad m_{f,i} = m_f \Delta Q_{f,i} \quad m_{G,i} = m_G \Delta Q_{G,i} \quad (2)$$

$$(2) \implies (1): \quad \Delta Q_{A,i} = \frac{m_f}{m_A} \Delta Q_{f,i} + \frac{m_G}{m_A} \Delta Q_{G,i}$$

$$\sum_{i=0}^{i=j} \Delta Q_{A,i} = \frac{m_f}{m_A} \sum_{i=0}^{i=j} \Delta Q_{f,i} + \frac{m_G}{m_A} \sum_{i=0}^{i=j} \Delta Q_{G,i}$$

$$Q_{A,j} = \frac{m_f}{m_A} Q_{f,j} + \frac{m_G}{m_A} Q_{G,j} \quad (3)$$

Функция Сепарации

Massenausbringen (Definition):

$$R_{m,f} = \frac{m_f}{m_A} \quad R_{m,G} = \frac{m_G}{m_A}$$

Вынесенная массовая доля (определение):

$$Q_{A,j} = R_{m,f} Q_{f,j} + R_{M,G} Q_{G,j} \quad (3a)$$

$$Q_A(x) = R_{m,f} Q_f(x) + R_{M,G} Q_G(x) \quad (3b)$$

$$q_{A,j} = R_{m,f} q_{f,j} + R_{M,G} q_{G,j}$$

$$q_A(x) = R_{m,f} q_f(x) + R_{M,G} q_G(x) \quad (4)$$

Massenanteile in der j – Klasse (Definition), Массовая доля в фракции (определение):

$$Q_{f,j} = \mu_{f,j} = \frac{m_{f,j}}{m_f} \quad Q_{G,j} = \mu_{G,j} = \frac{m_{G,j}}{m_G} \quad Q_{A,j} = \mu_{A,j} = \frac{m_{A,j}}{m_A}$$

Функция Сепарации

Trennfunktion

$$T_G(x_i) = \frac{m_{G,i}}{m_{A,i}} = \frac{\mu_{G,i} m_G}{\mu_{A,i} m_A} = R_{m,G} \frac{\mu_{G,i}}{\mu_{A,i}}$$

$$T_G(x) = R_{m,G} \frac{\mu_G(x)}{\mu_A(x)}$$

Таким образом Сепарационную функцию можно определить через долю вынесенного материала $R_{m,G}$ и двух Распределений частиц по размерам
Hiermit wird die Trennfunktion durch Massenausbringen und zwei Korngrößenverteilungen bestimmt.

Trennfunktion

Вычисление сепарационной кривой с использованием

3 функций распределения частиц по размерам

Berechnung der Trennfunktion durch drei Korngrößenverteilungen

Massenbilanz (1)

$$m_{A,i} = m_{G,i} + m_{f,i} \quad m_A = m_G + m_f \quad \implies \quad R_{m,f} + R_{m,G} = 1$$

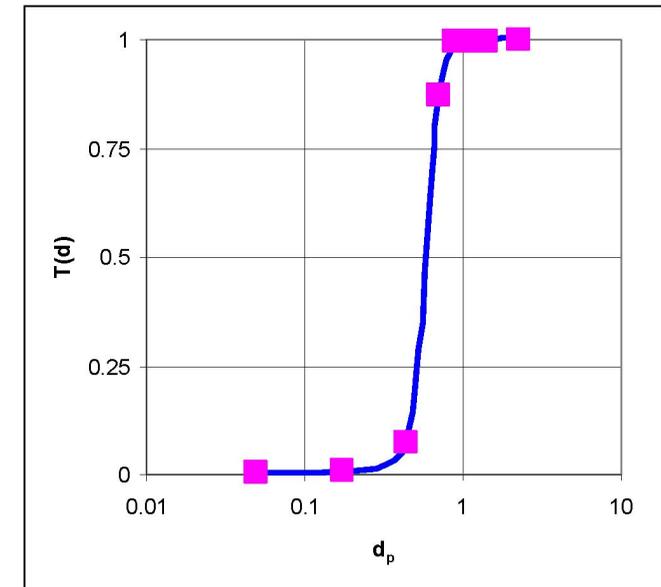
$$1 = \frac{m_{G,i}}{m_{A,i}} + \frac{m_{f,i}}{m_{A,i}} = \frac{m_{G,i}}{m_G} \frac{m_G}{m_A} \frac{m_A}{m_{A,i}} + \frac{m_{f,i}}{m_f} \frac{m_f}{m_A} \frac{m_A}{m_{A,i}} = \frac{\mu_{f,i}}{\mu_{A,i}} R_{m,f} + \frac{\mu_{G,i}}{\mu_{A,i}} R_{m,G}$$

$$1 = \frac{\mu_{f,i}}{\mu_{A,i}} (1 - R_{m,G}) + \frac{\mu_{G,i}}{\mu_{A,i}} R_{m,G} \quad \implies \quad R_{m,G} = \frac{\mu_{A,i} - \mu_{f,i}}{\mu_{G,i} - \mu_{f,i}}$$

$$T_G(x) = R_{m,G} \frac{\mu_G(x)}{\mu_A(x)} \quad \implies \quad T_{G,i} = \left[\frac{\mu_{A,i} - \mu_{f,i}}{\mu_{G,i} - \mu_{f,i}} \right] \frac{\mu_{G,i}}{\mu_{A,i}}$$

Beispiel (Siebanalyse) Пример (ситовой метод анализа)

i	d Maschenweite (mm)	d _p mittlerer Partikeldurchmesser (mm)	Massenantei le im Aufgabegut in %	Massenanteile im Grobgut in %	T _i
1	0	0.05	13.1	0	0
2	0.1	0.175	18.2	0.2	0.003879
3	0.25	0.44	23.8	0.5	0.0074159
4	0.63	0.715	10.1	2.1	0.073396
5	0.8	0.9	3.8	9.4	0.8732105
6	1	1.125	5	14.1	0.99546
7	1.25	1.425	5.6	15.8	0.9959642
8	1.6	1.8	6.8	19.2	0.9967058
9	2	2.25	8.1	23.1	1.0067037
10	2.5	6.25	5.5	15.6	1.0012363
			100	100	



$$R_{mG} = 0,353$$

$$T_G(x) = R_{m,G} \frac{\mu_G(x)}{\mu_A(x)}$$

Trennfunktion

Характеристические значения некоторой Сепарационной кривой

Charakteristische Werte einer Trennfunktion:

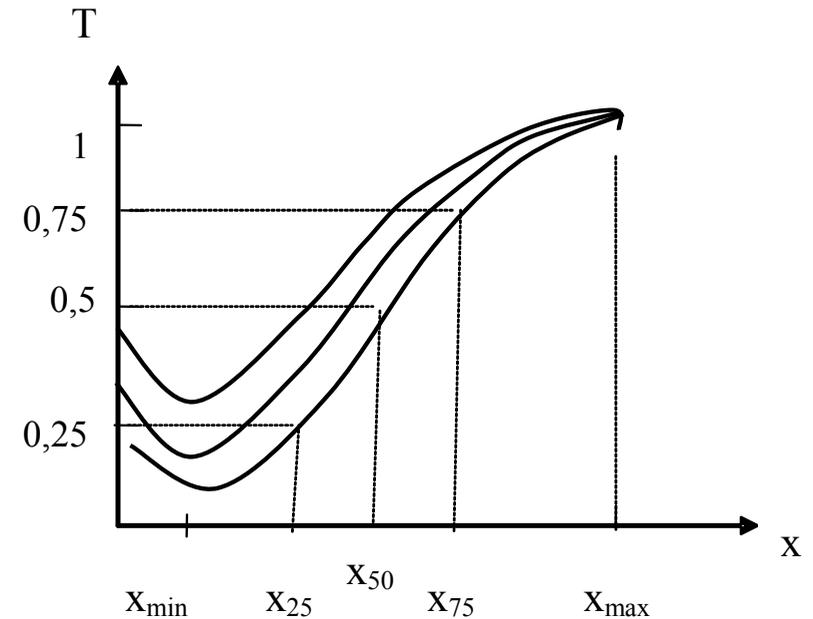
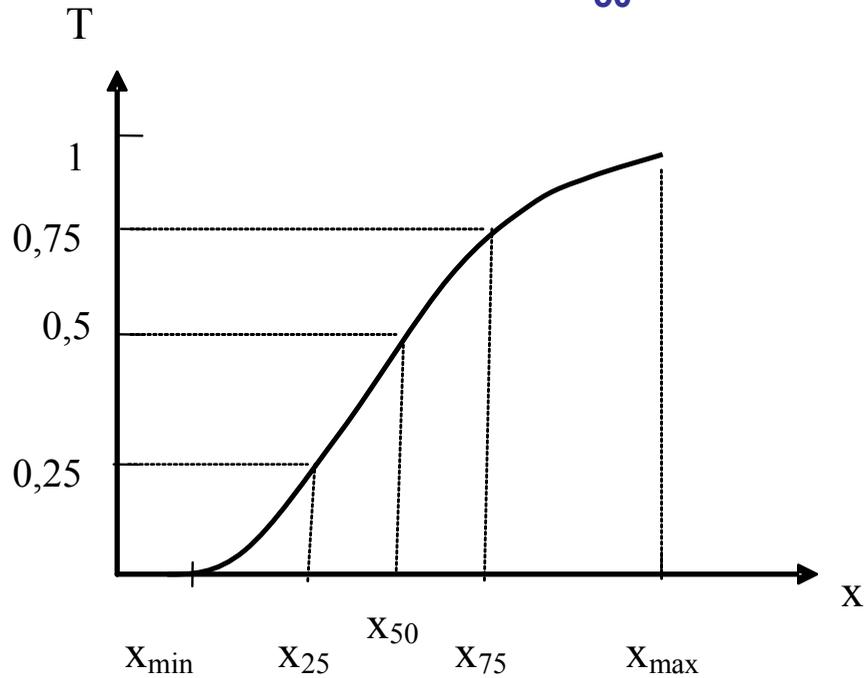
Зерно разделения

Острота разделения

$$\chi = X_{75} / X_{25}$$

Trennschnitt (Trennkorngröße) X_{50}

Kornstreuung (Trennschärfe)



Ситовой анализ

Siebanalyse

Гидроклассификация

Stromklassierung

Классификация

Классификационные процессы направлены на разделение Коллективов частиц на продукты, содержащие различные распределения частиц по размерам.

Возможные принципы действия классифицирующих аппаратов можно разделить на две группы:

Ситовая классификация и Гидроклассификация.

При ситовой классификации разделение происходит в соответствии с характерным размером зерен с использованием полупропускающей разделительной поверхности (Сито). Зерна, размеры которых меньше ячеек сита попадают в мелкий продукт, в то время как остальные (крупнозерновые) образуют крупнозернистый материал.

При гидроклассификации используется то обстоятельство, что различные по размеру зерна в потоке под воздействием силовых полей, потока и инерции имеют различные траектории движения.

В технике используются сита для зерен больших примерно 1 мм, а для более мелких зерен используется гидроклассификация.

Klassieren

Klassierprozesse dienen zur Trennung von Kornkollektiven in Produkte unterschiedlicher Korngrößenzusammensetzungen.

Die möglichen Wirkprinzipien lassen sich in zwei Gruppen gliedern: Siebklassierung und Stromklassierung.

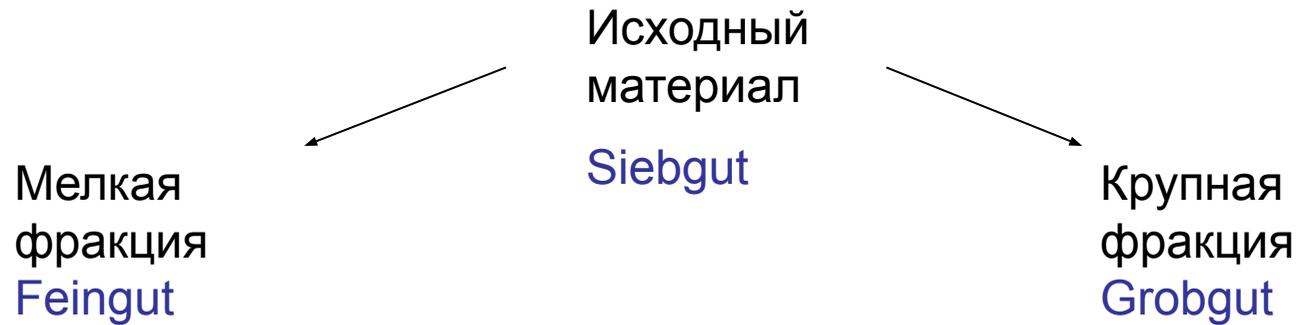
Bei der Siebklassierung erfolgt die Trennung nach der charakteristischen Größe der Körner mittels einer semidurchlässigen Trennfläche (Siebboden). Die Körner, die kleiner als die Maschenweite des Siebes sind, gelangen ins Feingut, während die anderen auf dem Siebboden als Grobgut zurückbleiben.

Bei der Stromklassierung wird die Tatsache ausgenutzt, dass unterschiedlich große Körner in einem Fluid unter der Wirkung von Feld-, Strömungs- und Trägheitskräften unterschiedliche Bahnen zurücklegen.

In der Technik werden Siebe für Körner größer (ungefähr) 1 mm, und Stromklassierer für Körner unterhalb 1mm eingesetzt.

Ситовая классификация Siebklassierung

L 2



При техническом просеивании часть исходного материала образует мелкозернистый материал $< x_{50}$, остальное образует грубый материал $> x_{50}$.

Наибольшие трудности возникают при просеивании частиц, размеры которых сравнимы с ячейками сит (границные размеры зерен).

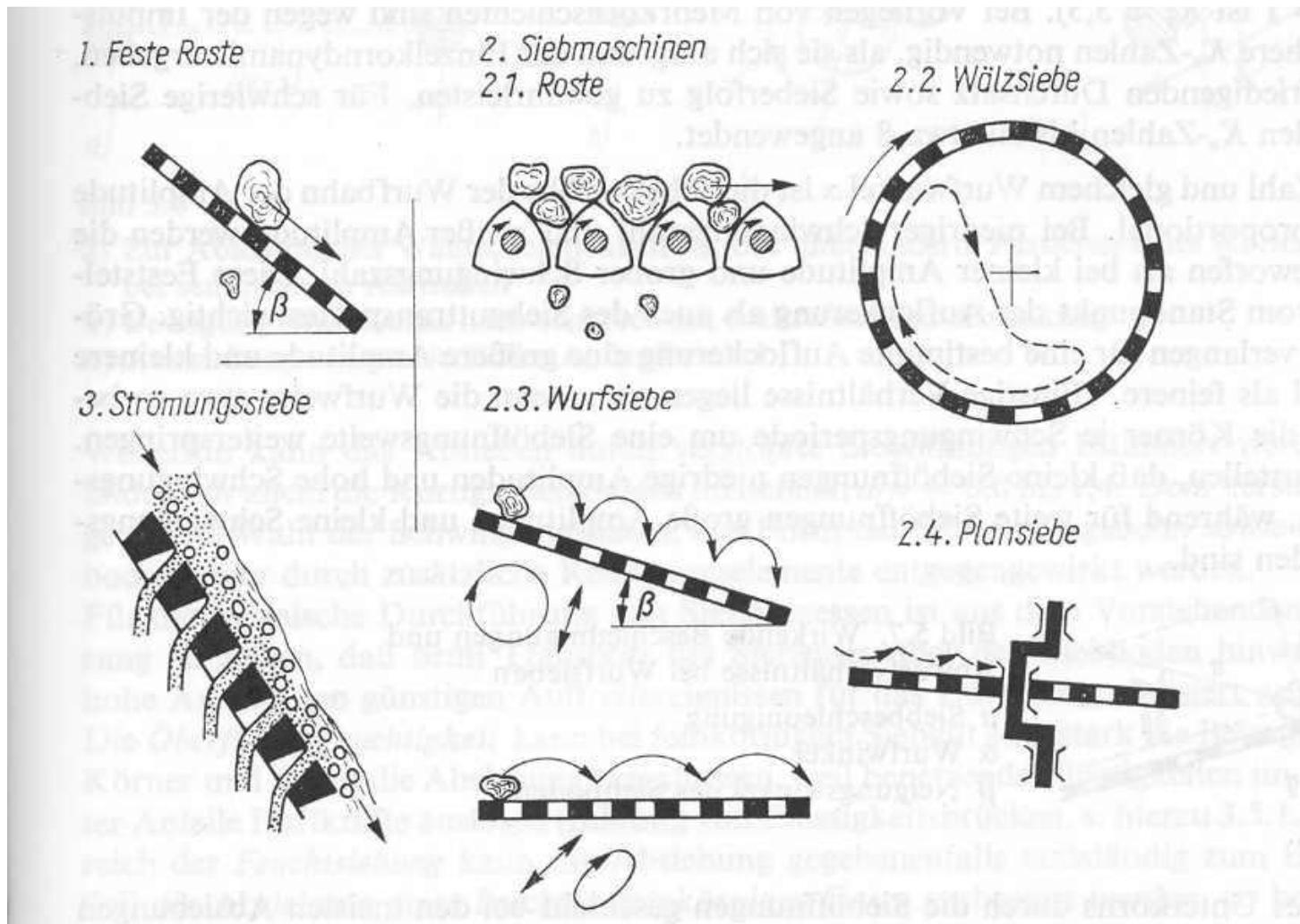
В зависимости от типа движения материала на поверхности сита можно различать аппараты различных групп:

Feste Siebe (Roste), Wälzsiebe, Wurfsiebe, Plansiebe ...



Исторический рисунок Агриколы (1566).

Просеивание на наклонных ситах



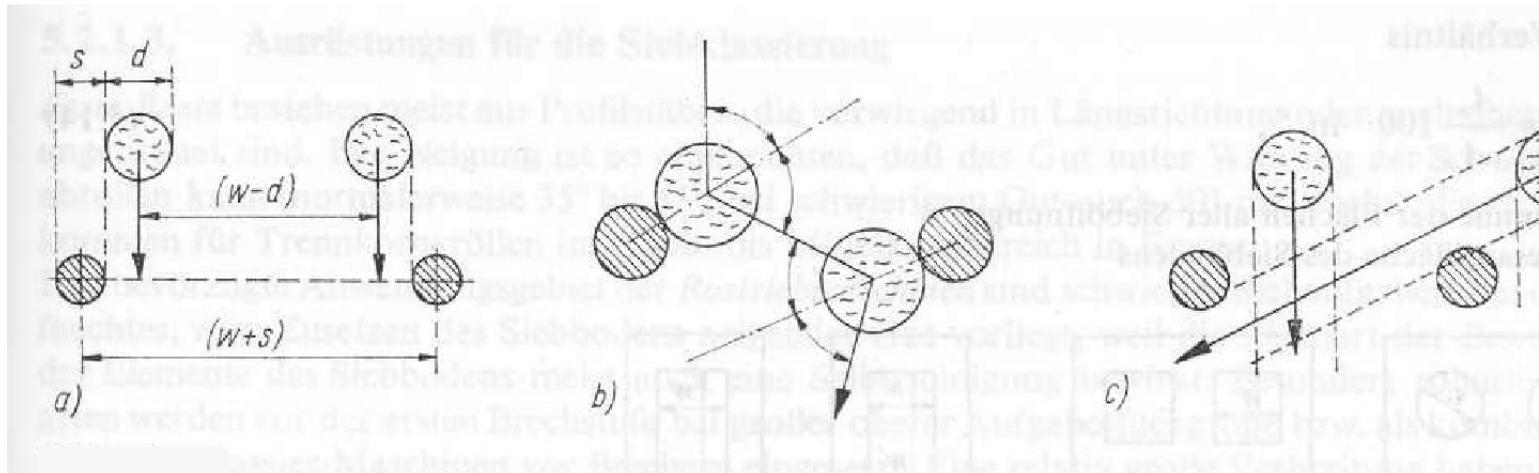
Схемы различных аппаратов для ситовой классификации в зависимости от типа движения материала

Вероятность прохождения зерна

Размер зерна	d
Размер ячейки	w
Толщина проволоки	s

Вероятность **W** для прохождения зерна при перпендикулярном падении на поверхность сита сквозь квадратную ячейку есть:

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



- a) Zur Ableitung der Wahrscheinlichkeit für das unbehinderte Passieren eines Korns bei senkrechtem Auftreffen
- b) Bewegung eines Korns nach senkrechtem Auftreffen und Ablenkung
- c) Auswirkung unterschiedlicher Auftreffwinkel

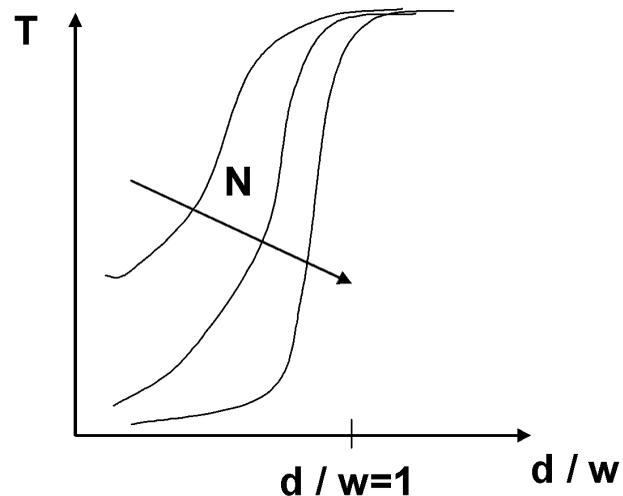
- a) К выводу вероятности свободного прохождения зерна
- b) Движение зерна при прохождении зерна с изменением траектории
- c) Влияние величины угла падения на поверхность сита

Durchtrittswahrscheinlichkeit

Количество N бросков сита для 1 успешного прохождения ячейки есть:

$$N = 1 / W = \frac{(w + s)^2}{(w - d)^2} = \frac{(w + s)^2}{w^2} \frac{1}{(1 - d/w)^2}$$

$$N = n t = n L / v$$



Частота колебаний сита

Frequenz der Siebschwingung

n

Длина сита

Sieblänge

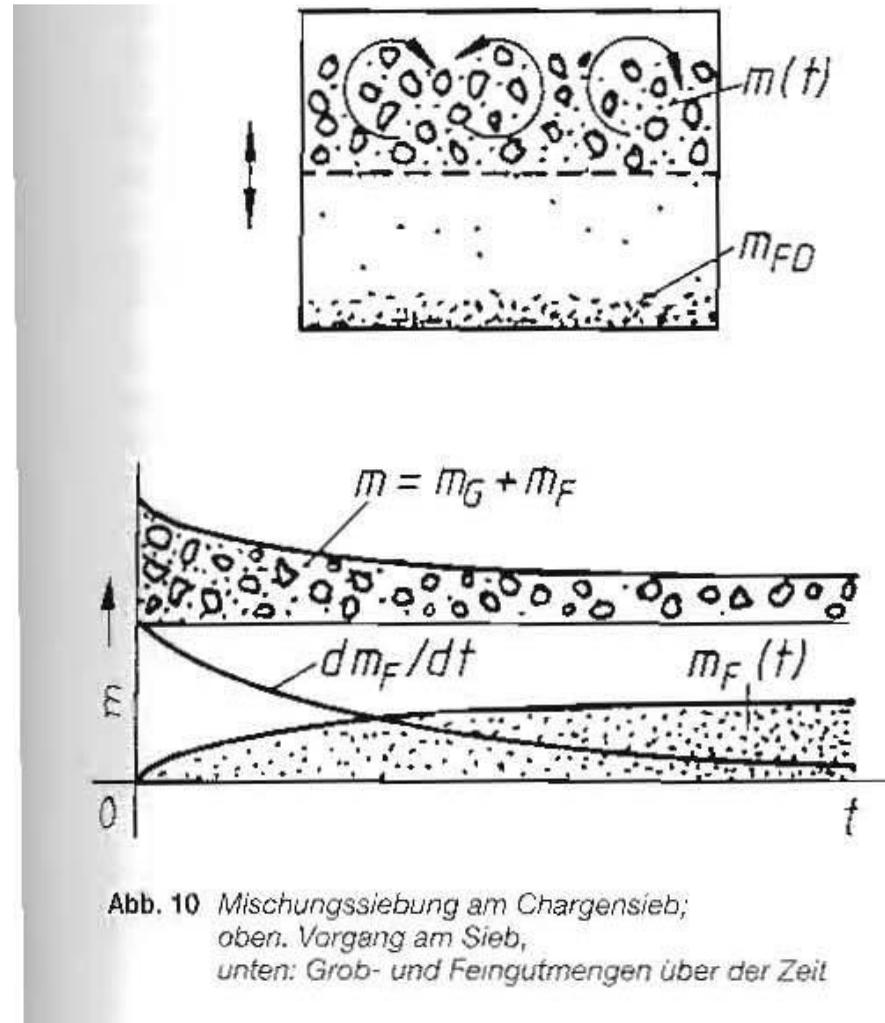
L

Скорость движения материала

Transportgeschwindigkeit

s

Просеивание как реакция 1. порядка



Просеивание смеси на порционном сите.
 Вверху – Процесс вблизи плоскости сита,
 Внизу- Развитие во времени

Просеивание как реакция 1. порядка

Уравнение просеивания подобно уравнению для реакции 1. порядка в химической кинетики:

$$\frac{dm_F}{dt} = -kA \frac{m_F}{m_G}$$

Здесь m_F - количество мелкой фракции

m_G - количество крупной фракции, $m_G = \text{const}$

$m = m_G + m_F$ - общее количество материала

A – поверхность сита

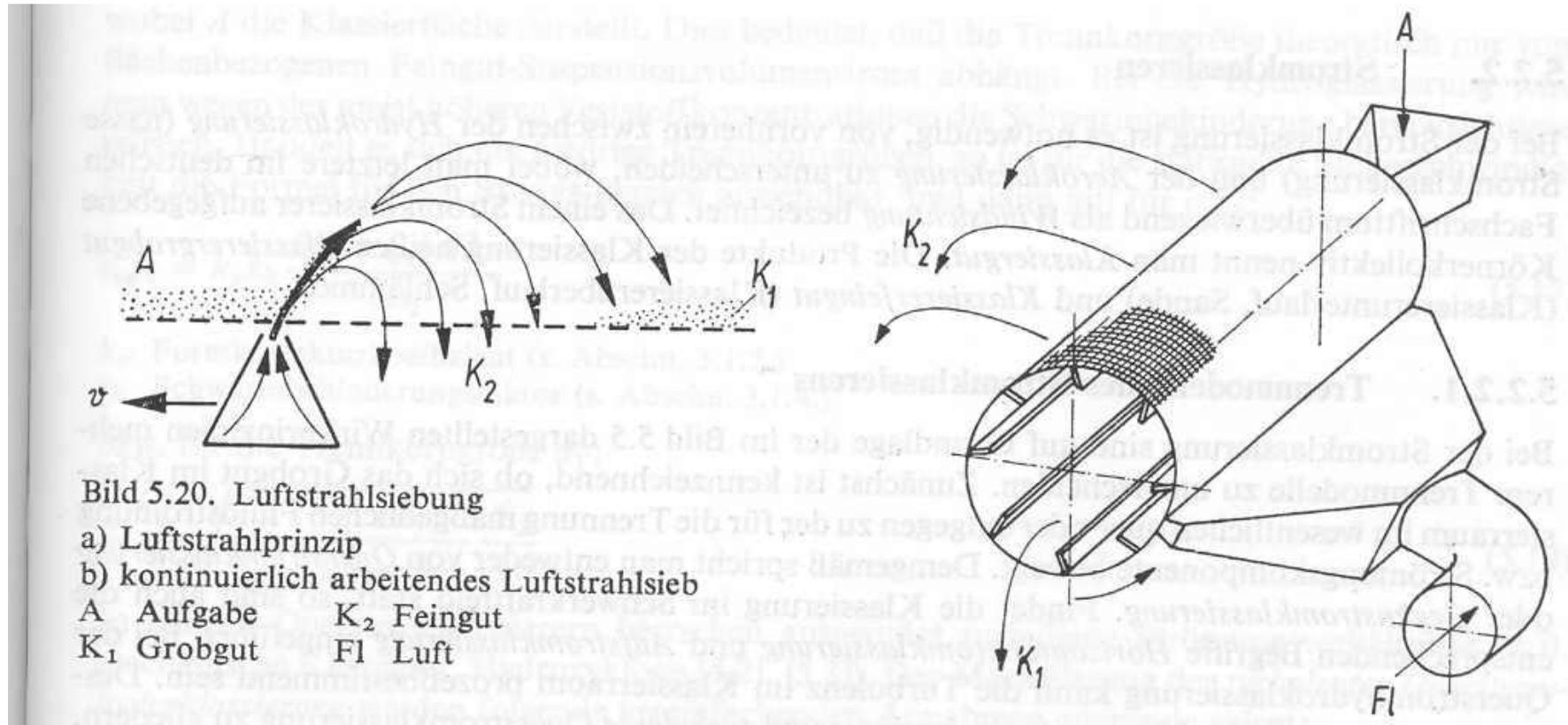
K - константа сита [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$], пропорциональна

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

$$m_{FD} = m_{F0} \left(1 - \exp\left(-\frac{kAt}{m_G}\right)\right)$$

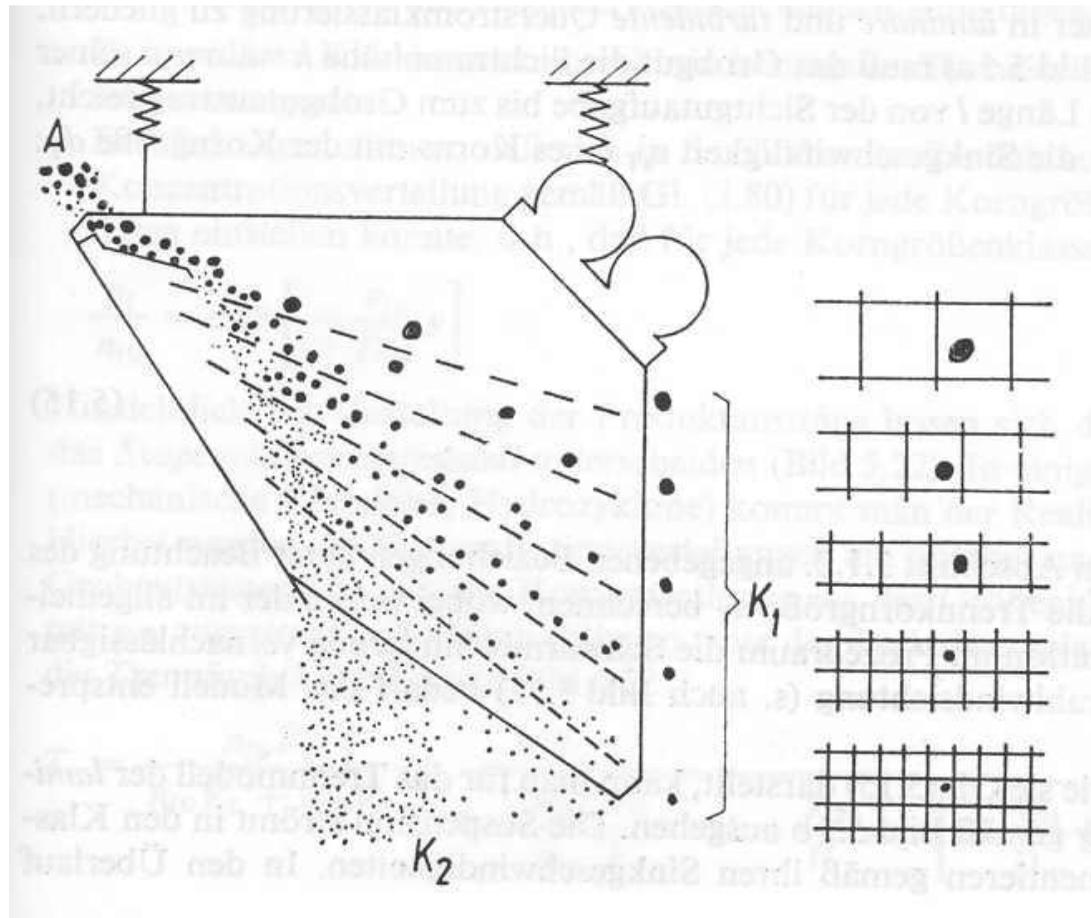
Характерное время просеивания

$$t_{\text{ch}} = \frac{m_G}{Ak}$$

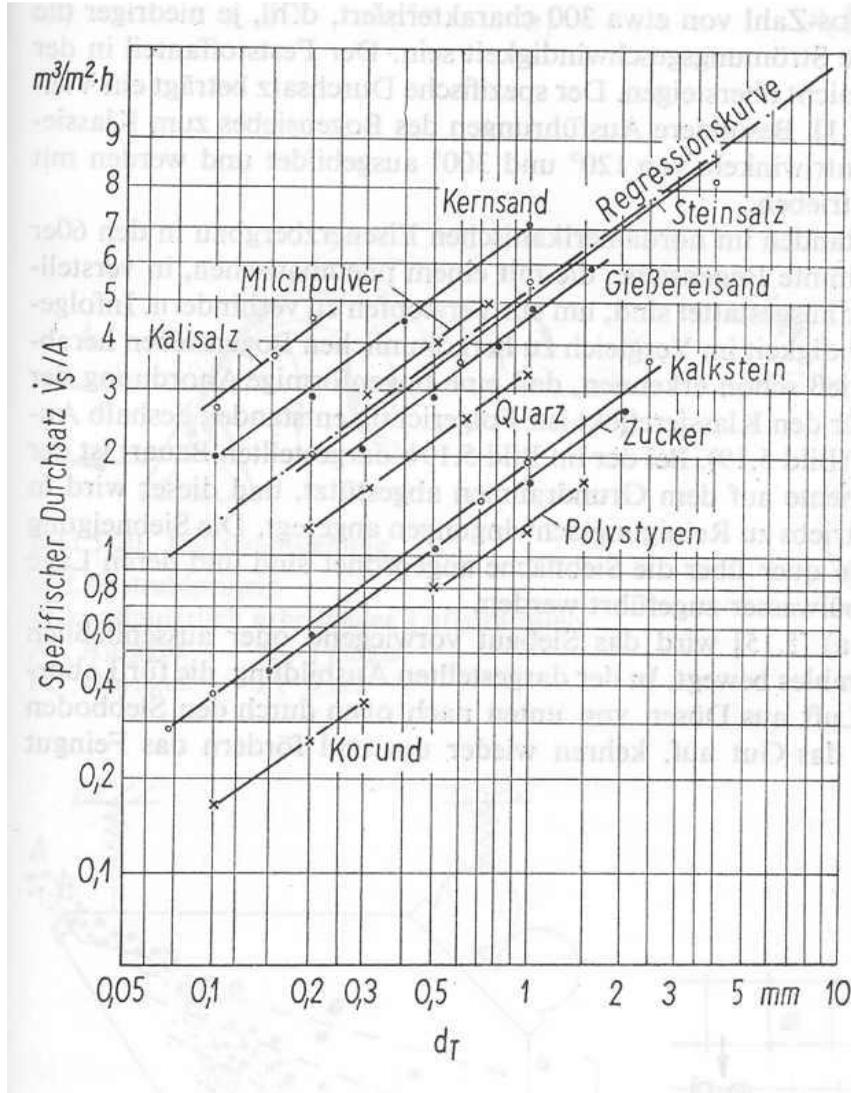


Принцип работы воздушно-струевого сита

A- Исходный материал, K₁- грубый материал, K₂ – мелкий материал, F₁- воздух



Принцип работы сита Моргензена



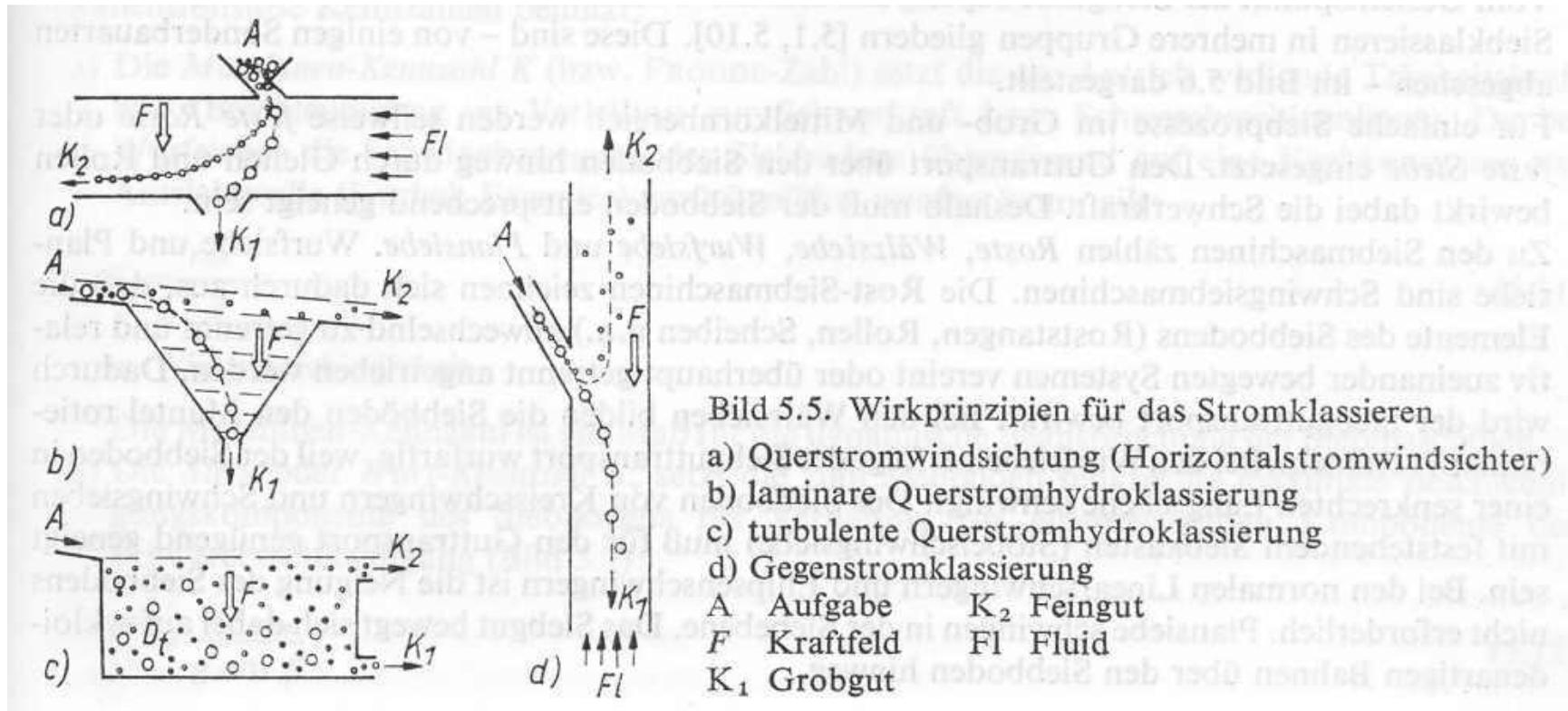
Spezifischer Durchsatz \dot{V}_s / A auf
Stößelschwingsieben in Abhängigkeit von der
Trennkorngröße

Относительный расход

сыпучего материала

$$\dot{V}_s / A$$

в ударно-колебательных ситах для различных
материалов



Принципы гидроклассификации

- a) Поперечно-поточная классификация
- b) Ламинарный режим поперечно-поточной классификации
- c) Турбулентный режим поперечно-поточной классификации
- d) Противопоточная классификация

Выводы

Важной характеристикой сепарационного процесса является т.н. Функция сепарации (или сепарационная кривая), которая показывает с какой вероятностью частица некоторого размера исходного материала попадет в грубый материал.

Функцию сепарации можно определить двумя путями:

1. Через массовый вынос (массовая доля исходного материала отделенная в грубый материал) и две функции распределения частиц по размерам (для грубого материала и исходного материала)

или

2. Через три функции распределения частиц по размерам (для грубого, мелкого и исходного материалов)

Метод 1. отличается в лучшую сторону по сравнению с методом 2 тем, что оказывается гораздо устойчивее при расчетах.

Классификационные процессы можно разделить на две группы:

Ситовые и гидродинамические классификационные процессы.

Качество просеивания зависит от типа сита и гранулометрических характеристик материала а также от физических свойств материала.

Качество классификации в гидродинамических аппаратах сильно зависит от характера течений в аппаратах.

Zusammenfassung

Wichtige Charakteristik eines Trennprozesses ist so genannte Trennfunktion (oder Trennkurve) die zeigt mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Teilchen aus dem Aufgabegut in das Grobgut gelangt.

Man kann diese Trennfunktion auf zwei Arten bestimmen:

1. Massenausbringen (Anteil der aufgegebenen Masse, die in das Grobgut gelangt) und zwei Korngrößenverteilungen (des Grobgutes und des Aufgabegutes),
oder
2. Drei Korngrößenverteilungen (Grob -, Fein - und Aufgabegut)

Die 1. Methode ist zu favorisieren, da sie keine Instabilitäten aufweist.

Klassierprozesse lassen sich in zwei Gruppen gliedern:

Sieb - und Stromklassierung.

Die Qualität des Siebenvorganges hängt nicht nur vom Sieb und der granulometrischen Charakteristik des gesiebten Materials sondern auch von den stofflichen Eigenschaften des zu siebenden Materials ab.

Die Qualität des Klassiervorganges wird stark vom Strömungszustand im jeweiligen Apparat beeinflusst.

Summary

Important characteristics of a separation process is a separation function (or separation curve) which shows the probability that a particle of the feed material passes into the coarse material.

One can determine this separation function in two ways:

1. Mass removal (percentage of discontinued mass that enters the coarse material) and two particle size distributions (of the coarse material and the feed material),

or

2. Particle size distribution (coarse - fine - and feed)

The 1st Method is to be preferred, since it has no instability.

Classification processes can be divided into two groups:

Sieve (screening) - and flow classification.

The quality of the screening process, depends not only on the screen and the granulometric characteristics of the screened material but also on the material properties of the material to be screened.

The quality of flow classification is strongly influenced by the state of flow in every unit.