



Laborbericht

für das Fach

Mechanische Verfahrenstechnik

Partikelgrößenanalyse durch Siebung

Aufgabe:

Analyse einer Kalksteinprobe mittels drei verschiedener Siebmethoden und deren qualitativer Vergleich.

Gruppe 1: Simon Lude 277454

Christian Mayr 277719

Klaus Vochezer 277616

Datum: 7. Mai 2007

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen	3
2 Aufgabenstellung	3
3 Erstellen der einzelnen Proben	4
4 Bestimmung der Siebzeiten	4
5 Versuchsaufbau und -durchführung	6
5.1 Trockene Turmsiebung	6
5.2 Nasse Turmsiebung	7
5.3 Luftstrahlsiebung	7
6 Versuchsergebnisse und -auswertung	8
6.1 Trockene Turmsiebung	8
6.2 Nasse Turmsiebung	10
6.3 Luftstrahlsiebung	10
6.4 Vergleich der Siebverfahren	11
6.5 Die nasse Turmsiebung in verschiedenen Darstellungsarten	13
6.5.1 Logarithmisches Wahrscheinlichkeitsnetz	14
6.5.2 Potenznetz	14
6.5.3 RRSB-Netz	16
6.6 Spezifische Oberfläche S_V	17
7 Zusammenfassung	19
Literaturverzeichnis	20
Abbildungsverzeichnis	20
Anhang	21
A Beantwortete Fragen aus Laboranleitung	21
B q_3 - Verteilungen	28
C Daten	30

1 Grundlagen

Die Siebanalyse gehört zu den Trennprozessen und ist ein wichtiges Instrument zur Charakterisierung von Schüttgütern. Mit ihrer Hilfe kann die Partikelgrößenverteilung ermittelt werden, allerdings beschränkt sie sich auf Schüttgüter $>5\,\mu\text{m}$, diese können mittels Nasssiebung gerade noch charakterisiert werden. Für kleinere Korngrößen muss zu anderen Analyseverfahren gegriffen werden (z.B. Streulicht).

Bei der Analysesiebung werden die Trenngrenzen durch die Maschenweiten der verwendeten Siebe vorgegeben. Bei der Durchführung der Analyse wird durch den Klassiervorgang die eingewogene Probe bei den Trenngrenzen in jeweils zwei Mengenteile aufgeteilt und das so entstandene Feingut (Rückstand) und Grobgut (Durchgang) wird durch Wägung bestimmt.

Es wird mit Einzelsieben oder mit einem Siebsatz bzw. Siebturm gearbeitet. Zur Dispergierung und zum Transport der Probe werden verschiedene Methoden eingesetzt. Bei der Turmsiebung werden die Siebe in Vibration versetzt, bei der nassen Turmsiebung wird zusätzlich Flüssigkeit zur besseren Dispergierung zugegeben. Bei der Luftstrahlsiebung werden die Partikel wiederholt durch einen Luftstrahl aufgewirbelt, dispergiert und durch das Sieb gesaugt.

Werden hochpräzise Ergebnisse gewünscht, muss beachtet werden, dass auch die Maschen eines Siebes einer statistischen Streuung unterliegen. Typische Werte hierzu liegen bei $\pm 5\%$. Allerdings soll der Einfluss dieser Streuung in diesem Versuch vernachlässigt werden.

2 Aufgabenstellung

Eine vorgetrocknete Kalksteinprobe soll mittels drei verschiedener Siebmethoden analysiert werden:

1. Trockene Turmsiebung
2. Nasse Turmsiebung
3. Luftstrahlsiebung

Dabei sollen für die einzelnen Verfahren die rechnerischen spezifischen Oberflächen S_V sowie die Q_3 - und q_3 -Verteilungen berechnet werden. Die Werte für S_V sollen später mit dem ermittelten Wert aus der RRSB-Verteilung verglichen und bewertet werden.

Eine der drei Q_3 -Verteilungen sollen auf verschiedene Arten dargestellt werden:

1. im logarithmischen Normalverteilungsnetz
2. im RRSB-Netz
3. im doppellogarithmischen Potenzverteilungsnetz

Dabei soll die Frage beantwortet werden, welches Netz die PGV am besten als eine Gerade wiedergibt.

Die q_3 -Verteilungen sollen halblogarithmisch dargestellt werden.

Zur Bestimmung der Siebzeit bei der trockenen Turmsiebung und Luftstrahlsiebung sollen die Rückstands-Zeit-Verläufe in einem Diagramm dargestellt und verglichen werden.

Die Ergebnisse, Beobachtungen und Auswertung der Daten sollen kritisch kommentiert und diskutiert werden.

3 Erstellen der einzelnen Proben

Da nicht der gesamte zu Verfügung stehende Kalkstein (ca. 2 kg) gesiebt werden kann, ist es für die Siebungen notwendig, Proben aus dem Material zu nehmen. Für die verschiedenen Siebmethoden werden folgende Probengrößen angestrebt:

Turmsiebung trocken: 50-80 g

Turmsiebung nass: 50-80 g

Luftstrahlsiebung: 20-50 g

Um eine repräsentative Probe zu erhalten werden zweierlei Geräte verwendet. Um die Ausgangsmenge erst einmal schnell in kleinere Teile zu teilen wird ein Riffelteiler (Teilung 1:2) der Firma Retsch verwendet. Die letztendliche Aufteilung auf die geforderten Mengen wird mittels eines 8-fach Rotationsprobenteilers, ebenfalls ein Gerät der Firma Retsch, durchgeführt.

4 Bestimmung der Siebzeiten

Die Bestimmung der Siebzeit t_s wird nur bei der trockenen Turmsiebung und der Luftstrahlsiebung durchgeführt. Bei der nassen Turmsiebung wird solange gesiebt bis am Auslauf klares Wasser kommt.

Der Massenrückstand auf einem Sieb nimmt während des Siebvorgangs etwa exponentiell ab. Die notwendige Siebzeit ist über das Kriterium in Gleichung 1 gegeben:

$$\frac{\Delta R}{\Delta t} < \frac{0,1\%}{min} \quad (1)$$

Die Siebzeitbestimmung wird aus Vergleichsgründen für beide Siebmethoden mit dem $90 \mu\text{m}$ -Sieb durchgeführt. Dazu wird zuerst die Tara des leeren Siebs bestimmt und anschließend eine abgewogene Probenmenge aufgegeben. Die Siebung wird gestartet. In der ersten Minute wird

das Sieb alle 10 Sekunden gewogen, in der zweiten Minute alle 20 Sekunden, später dann jede Minute. Abbildung 1 zeigt die angenäherten Rückstands-Zeit-Verläufe für die beiden Siebmethoden, wobei jeweils zwei verschiedene Messungen zu Vergleichszwecken dargestellt sind. Die Daten zur Siebzeitbestimmung finden sich in Anhang C.

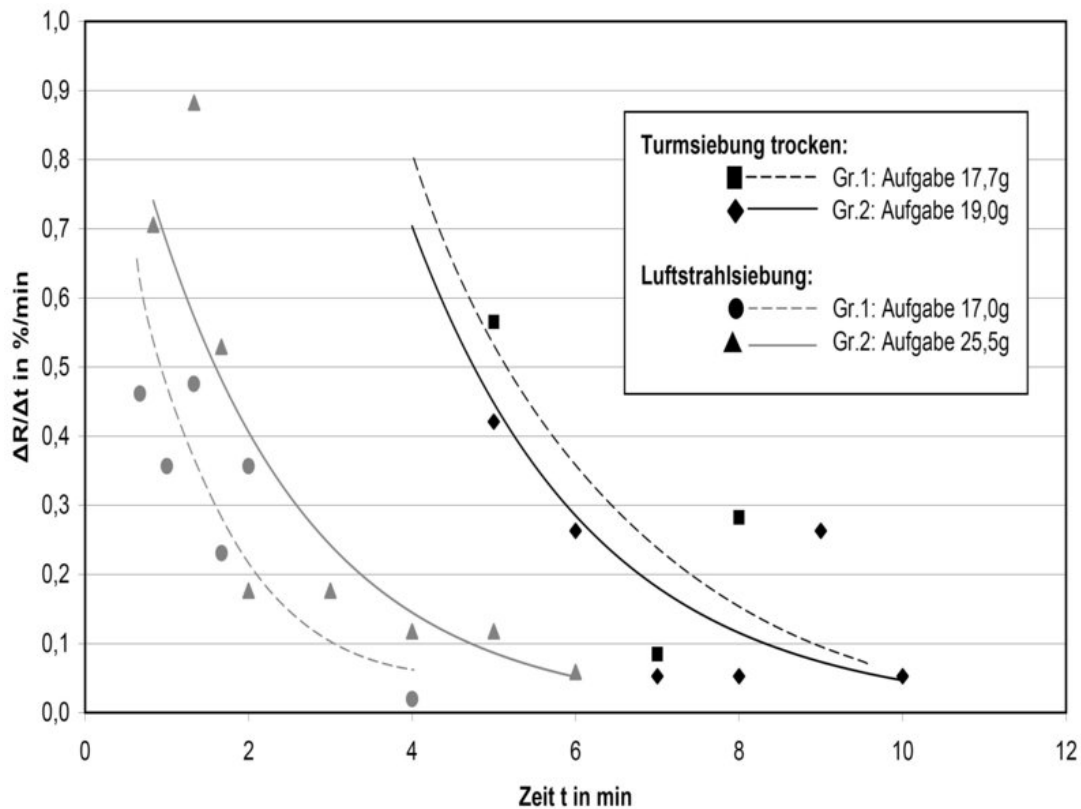


Abbildung 1: ΔR -t-Verläufe der Luftstrahl- und Turmsiebung im Vergleich

Im Diagramm ist zu sehen, dass die Abnahme bei der Luftstrahlsiebung deutlich schneller ist als bei der Turmsiebung. Dies erklärt sich durch die deutlich bessere Dispergierung durch den Luftstrahl und dadurch, dass die Partikel durch den Luftstrom, der sie durch das Sieb saugt, eine höhere Chance haben, durch die Maschen zu schlüpfen.

Ebenfalls ist zu erkennen, dass die Beladung bei der Luftstrahlsiebung einen deutlichen Einfluss auf die Siebzeit hat. Bei der Trockensiebung ist die Siebzeit innerhalb gewisser Beladungsgrenzen ähnlich. Das lässt sich damit begründen, dass bei der Trockensiebung unabhängig von der Beladung eine Entmischung durch die Bewegung des Siebes stattfindet; feines Gut wandert nach unten, Grobgut bleibt an der Oberfläche. Die feinen Partikel werden also automatisch in Richtung Maschen transportiert, wogegen durch die starke Luftzerwirbelung im Luftstrahlsieb die Durchmischung weitgehend optimal bleibt. Dadurch hat ein feines Partikel im Luftstrahlsieb bei hoher Beladung eine deutlich geringere Chance den Weg durch die Maschen zu finden als bei der Turmsiebung.

Die Zeit, bei der das Kriterium aus Gleichung 1 erstmals erfüllt ist, ist die Siebzeit t_s und wird grafisch aus dem Diagramm bestimmt. Sie beträgt für die

Turmsiebung: 9 - 10 min

Luftstrahlsiebung: 2 - 3 min

5 Versuchsaufbau und -durchführung

5.1 Trockene Turmsiebung



Abbildung 2: *Verwendete Siebmaschine „Retsch g-control“ zur trockenen Turmsiebung*

In Abbildung 2 ist die verwendete Siebmaschine „Retsch g-control“ zu sehen. Sie besteht aus einem Deckel, dem Siebturm und einer Schwingeinrichtung. An ihr kann die Amplitude und die Siebzeit eingestellt werden. Die Amplitude ist auf ca. 70 % einzustellen. Der Siebturm ist möglichst nach der R5-Reihe zusammenzustellen und die benötigten Siebe müssen vor dem Versuch gewogen werden. Das Aufgabegut (50 - 80 g) ist mit Aerosil zu vermischen, um eine bessere Dispergierung der Probe zu erreichen.

Die mit Aerosil versetzte Probe wird auf das größte Sieb gegeben, die Parameter an der Siebmaschine werden eingestellt und die Siebung wird gestartet. Nach Ablauf der im Voraus bestimmten Siebzeit muss jedes Sieb mit dem Rückstand gewogen werden. Anschließend wird der Rückstand vom Sieb entfernt und das Sieb wird erneut gewogen. Die Tarawerte werden notiert.

5.2 Nasse Turmsiebung



Abbildung 3: verwendete Retsch - Nasssiebmaschine mit Bebrausung und Feinstablauf

Abbildung 3 zeigt die Einrichtung für die Nasssiebung. Der Siebsatz ist wieder nach der R5-Reihe zusammenzustellen und mit einem $32\mu\text{m}$ Sieb zu erweitern. Durch den Deckel wird Wasser über den ganzen Querschnitt eingedüst. Der Boden ist mit einem Auslauf versehen, durch den das Wasser und die kleinste Fraktion ausgespült wird. Der komplette Siebturm ist wiederum auf einer Schwingeinrichtung angebracht.

Es werden wieder 50 - 80 g vom Probenmaterial benötigt, welches vor der Siebung mit Wasser und zur besseren Dispergierung mit einem Tropfen Spülmittel zu vermischen ist. Dieses Gemisch wird wieder auf das oberste Sieb gegeben. Durch Aufdrehen des Wassers und Einschalten der Schwingeinrichtung wird die Siebung gestartet. Wie oben schon erwähnt wird die Siebung beendet, wenn am Auslauf klares Wasser kommt. Der Auslauf muss getrennt aufgefangen werden, um die Menge der kleinsten Fraktion bestimmen zu können. Die Siebe müssen wieder vor der Siebung gewogen werden. Um den Rückstand auf den Sieben bestimmen zu können werden die Siebe nach der Siebung mit dem Rückstand im Trockenschrank getrocknet. Die getrockneten Siebe werden mit Rückstand und ohne Rückstand gewogen.

5.3 Luftstrahlsiebung

In Abbildung 4 ist die verwendete Luftstrahlsiebmaschine zu sehen. Es wird der gleiche Siebsatz wie bei der Nasssiebung verwendet. Bei der Luftstrahlsiebung wird das Aufgabegut zuerst auf das kleinste Sieb gegeben und nach der zuvor bestimmten Siebzeit gesiebt. Der Durchgang wird abgesaugt und ist daher verloren. Daher muss das Aufgabegut (20 - 50 g) vor der Siebung genau gewogen und die Masse festgehalten werden. Der Rückstand auf diesem Sieb wird auf das nächst größere gegeben. Dieser Vorgang wird bis zum Sieb mit der größten Maschenweite wiederholt. Zusätzlich wird das Sieb wieder vor der Siebung, nach der Siebung mit Rückstand und nach der Siebung ohne Rückstand gewogen. Bei der Luftstrahlsiebung ist zusätzlich noch



Abbildung 4: Die verwendete Luftstrahlsiebmaschine Hosokawa Alpine 200 LS

die Siebzeit der einzelnen Siebe zu notieren. Da die feinen Siebe mit viel Gut beladen sind, sollte die Siebzeit bei den feinen Sieben eher etwas länger sein als bei den groben Sieben.

6 Versuchsergebnisse und -auswertung

Durch die gewogenen Rückstände auf jedem Sieb kann die Dichteverteilung q_3 des Schüttguts durch Gleichung 2 bestimmt werden. Hierbei ist m_i die Masse des Rückstands auf jedem Sieb und m_{ges} die Gesamtmasse der Rückstände. Hierfür wird der prozentuale Anteil jeder Kornklasse ermittelt und über der Kornklassenmitte aufgetragen.

$$q_3(\bar{x}_i) = \frac{m_i}{m_{ges}} \quad (2)$$

Die Summenverteilung Q_3 ergibt sich durch Aufsummieren der Werte der q_3 -Verteilung. Alle ermittelten Werte der Siebungen befinden sich in Anhang C.

6.1 Trockene Turmsiebung

Bei der trockenen Turmsiebung benutzten die Gruppen 1, 2 und 4 Aerosil, die Gruppe 3 hingegen nicht. In der Summenverteilung (Abbildung 5) ist kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Kurven zu sehen, was darauf schließen lässt, dass die Dispergierwirkung von Aerosil für trockene Siebungen keinen Einfluss hat. Allerdings sieht man deutlich, dass die Kurven im Kornklassenbereich von 0,5 bis 1 mm eng beieinander liegen, im Bereich kleiner 0,5 mm gehen die Kurven deutlich auseinander. Daraus wird deutlich, dass die trockene Turmsiebung im

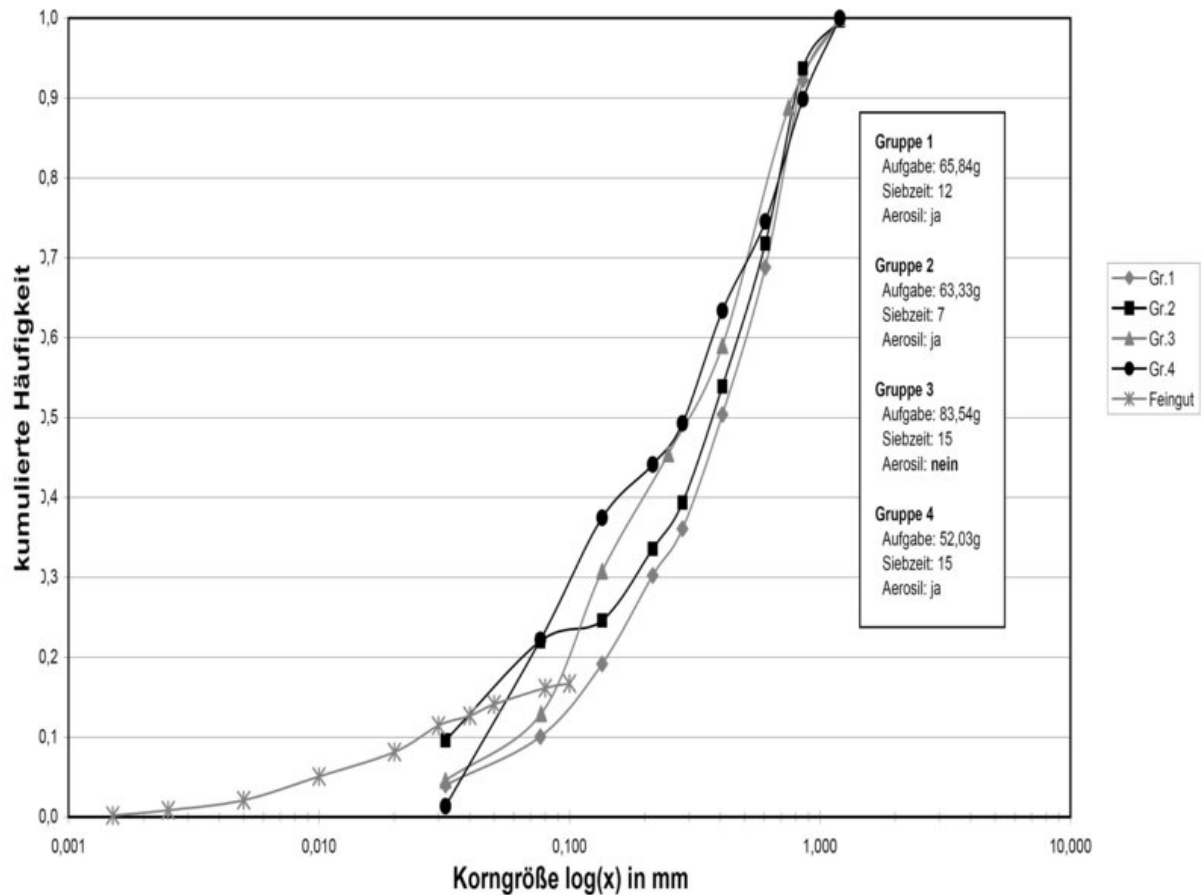


Abbildung 5: Ermittelte Q_3 -Verteilungen der trockenen Turmsiebung

Feinbereich nicht ausreichend genaue Werte liefert. Dies wird auch deutlich wenn man sich die Rückstände auf den feineren Sieben ($<250\ \mu\text{m}$) anschaut. Neben den Partikeln die in die jeweilige Kornklasse gehören, ist ein deutlicher Anteil an feinerem Fehlkorn zu sehen. Diesen Effekt zeigt Abbildung 6. Er kann durch die großen Haftkräfte kleiner Partikel untereinander und zum Siebdraht erklärt werden. Dadurch findet eine Verbackung statt, die es den Partikeln nicht mehr gestattet, durch die Maschen zu schlüpfen. Dieser Effekt ist schwer kontrollierbar und führt so zu den großen Unterschieden der einzelnen Q_3 -Verteilungen im Feinbereich.

Der Feinstanteil, der mittels Sedigraph im Vorfeld des Versuchs vom Laborpersonal genauer bestimmt wurde, ist in diesem Diagramm ebenfalls mit aufgetragen. Hierzu wurde er zuerst auf eine gemeinsame Mengenart umgerechnet und anschließend anteilig mit der Masse der Kornklasse $90\ \mu\text{m}$ aus der Siebung aufgetragen. Einen Rückschluss auf die Siebzeit lässt sich aus den Ergebnissen nicht erkennen.



Abbildung 6: Sieb mit Feingutrückstand

6.2 Nasse Turmsiebung

Bei der nassen Turmsiebung ist eine deutliche Abweichung der Aufgabemenge von Gruppe 3 festzuhalten. In Abbildung 7 ist die Summenverteilungskurve der Gruppe 3 nicht wesentlich verschieden im Vergleich mit den anderen Gruppen. Hieraus kann man schließen, dass die Aufgabemenge keinen signifikanten Unterschied im Ergebnis liefert, jedoch muss länger gesiebt werden bis klares Wasser abläuft. Wie bei der Trockensiebung sind die Kurven im Kornklassenbereich von $500\ \mu\text{m}$ bis $1\ \text{mm}$ eng beieinander. Dies ist auf die verhältnismässig große Kornklasse über einen halben Millimeter zurückzuführen, die daher rührt dass es das bei der Trockensiebung eingesetzte Sieb mit der Maschenweite $710\ \mu\text{m}$ nicht in einer Ausführung für Nasssiebungen gab.

Bei Gruppe 3 ist ein starker Abfall der feinsten Kornklasse zu erkennen. Dies ist hoher Wahrscheinlichkeit auf unsaubere Arbeitsweise beim Umgang mit dem Sediment zurückzuführen.

Abbildung 8 zeigt den Effekt der Agglomeratbildung auf dem obersten Sieb des Siebturms. Innerhalb dieser Agglomerate können sich noch feine Partikel befinden, die dann nicht weiter ins Feingut ausgetragen werden. Dieser Effekt führt zu einem gesenkten Feingutanteil in der PGV.

6.3 Luftstrahlsiebung

In Abbildung 9 werden die ermittelten Q_3 -Verläufe für die Luftstrahlsiebung gezeigt. Zu erkennen ist ein deutlich höherer Medianwert für Gruppe 2 im Vergleich zu den restlichen Gruppen, welche eng beieinander liegen. Erklären lässt sich dies durch die wesentlich höhere Aufgabemasse bei gleicher Siebzeit. Wie schon im Kapitel 4 erläutert, spielt die Beladung bei der Luftstrahlsiebung eine deutlich größere Rolle als bei der Trockensiebung.

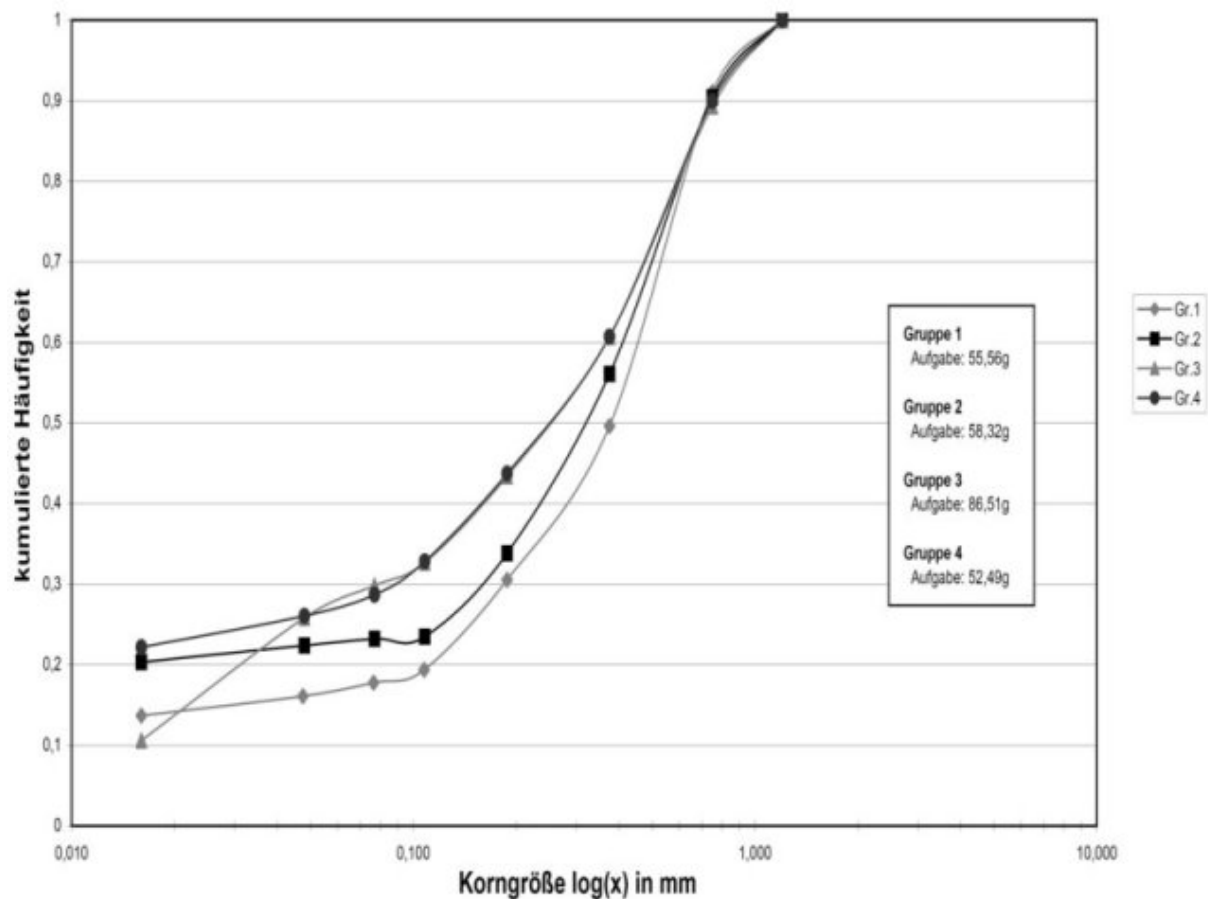


Abbildung 7: Ermittelte Q_3 - Verteilungen bei der nassen Turmsiebung

6.4 Vergleich der Siebverfahren

Für den Vergleich der einzelnen Siebmethoden wurden aus den Werten der Gruppen Mittelwerte gebildet. Dabei wurden für die trockene Turmsiebung nur die Werte der Gruppen 1 und 2 verwendet, da Gruppe 3 kein Aerosil verwendet hat und Gruppe 4 sehr schwankende Werte vorwies. Für die nasse Turmsiebung und die Luftstrahlsiebung wurden die Daten aller Gruppen verwendet.

Der aus dem Diagramm in Abbildung 10 ablesbare Medianwert $x_{t,50}$ beträgt für die Nass- und Luftstrahlsiebung $300 \mu\text{m}$, für die Trockensiebung ungefähr $400 \mu\text{m}$. Deutlich erkennbar ist der niedrigere Feingutanteil der trockenen Turmsiebung im Vergleich zur Nass- und Luftstrahlsiebung. Dies lässt sich durch Anhaftung der feinsten Partikel, die hohe Haftkräfte aufweisen, an grobe Partikel und Sieb erklären. Bei der Nasssiebung werden diese Haftkräfte durch die Dispergierung in Wasser herabgesetzt. Bei der Luftstrahlsiebung führen die hohen Strömungsgeschwindigkeiten der Luft zu einem Durchgang des Feinguts. Luft- und Nasssiebung sind also zur Charakterisierung des vorliegenden Schüttgutes weit besser geeignet als die trockene Turmsiebung. Zieht man den erhöhten Aufwand bei der nassen Turmsiebung durch

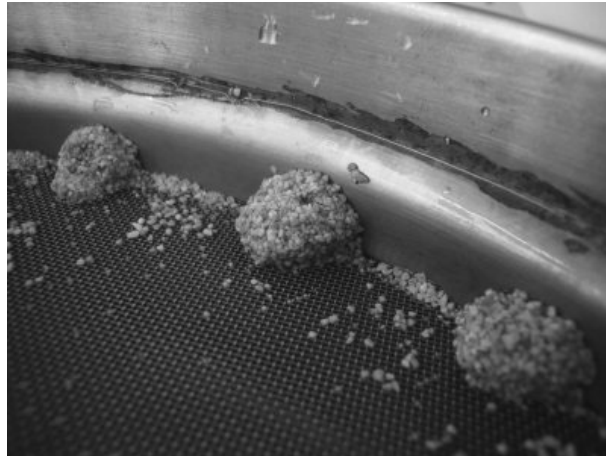


Abbildung 8: Während der Nasssiebung gebildete Agglomerate auf dem $1000\mu\text{m}$ - Sieb

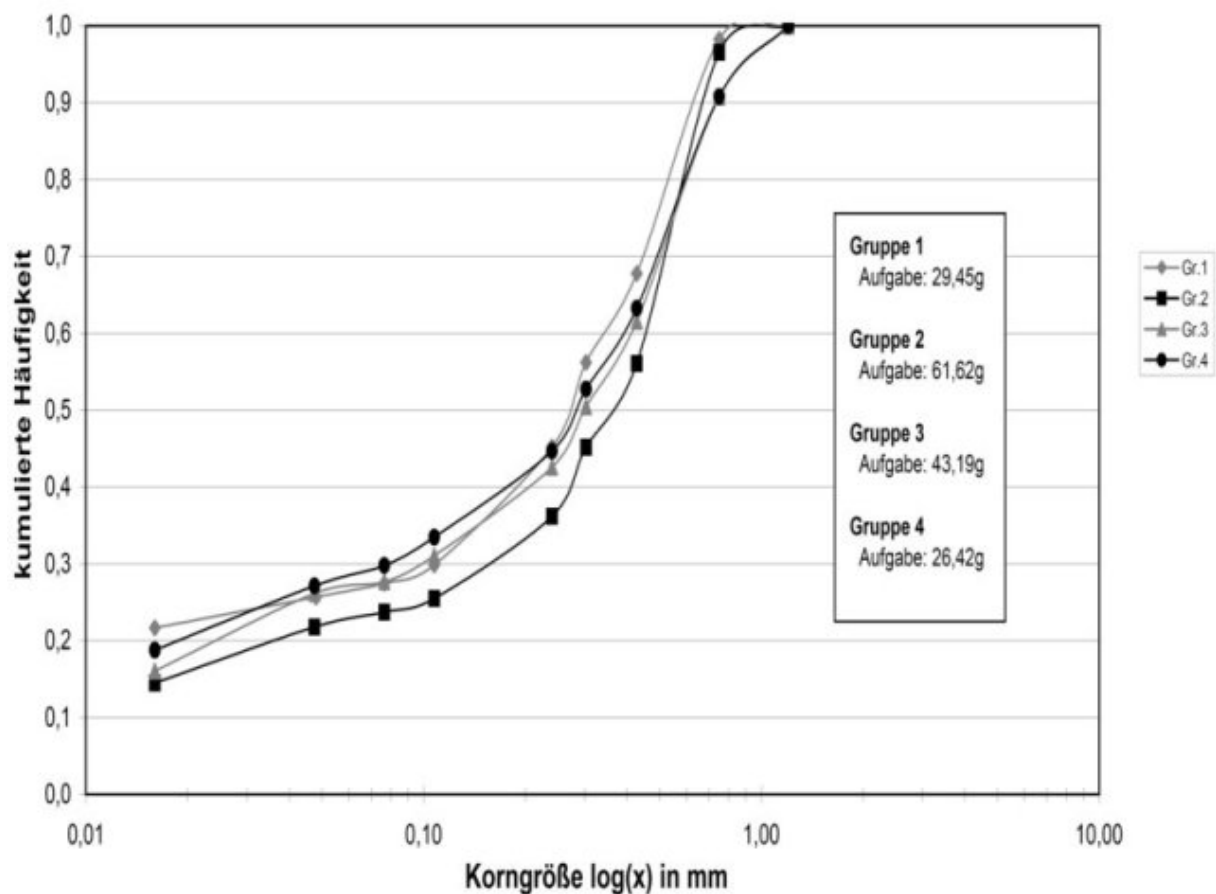


Abbildung 9: Ermittelte Q_3 - Verteilungen bei der Luftstrahlsiebung

die nötige Trocknung des Gutes in Betracht, ist die Luftstrahlsiebung für das vorliegende Gut am besten geeignet. Wäre das Gut allerdings feucht und nicht vorgetrocknet, wäre eventuell wegen erhöhten Haftkräften durch bereits geringe Feuchte die nasse Turmsiebung die bessere Wahl.

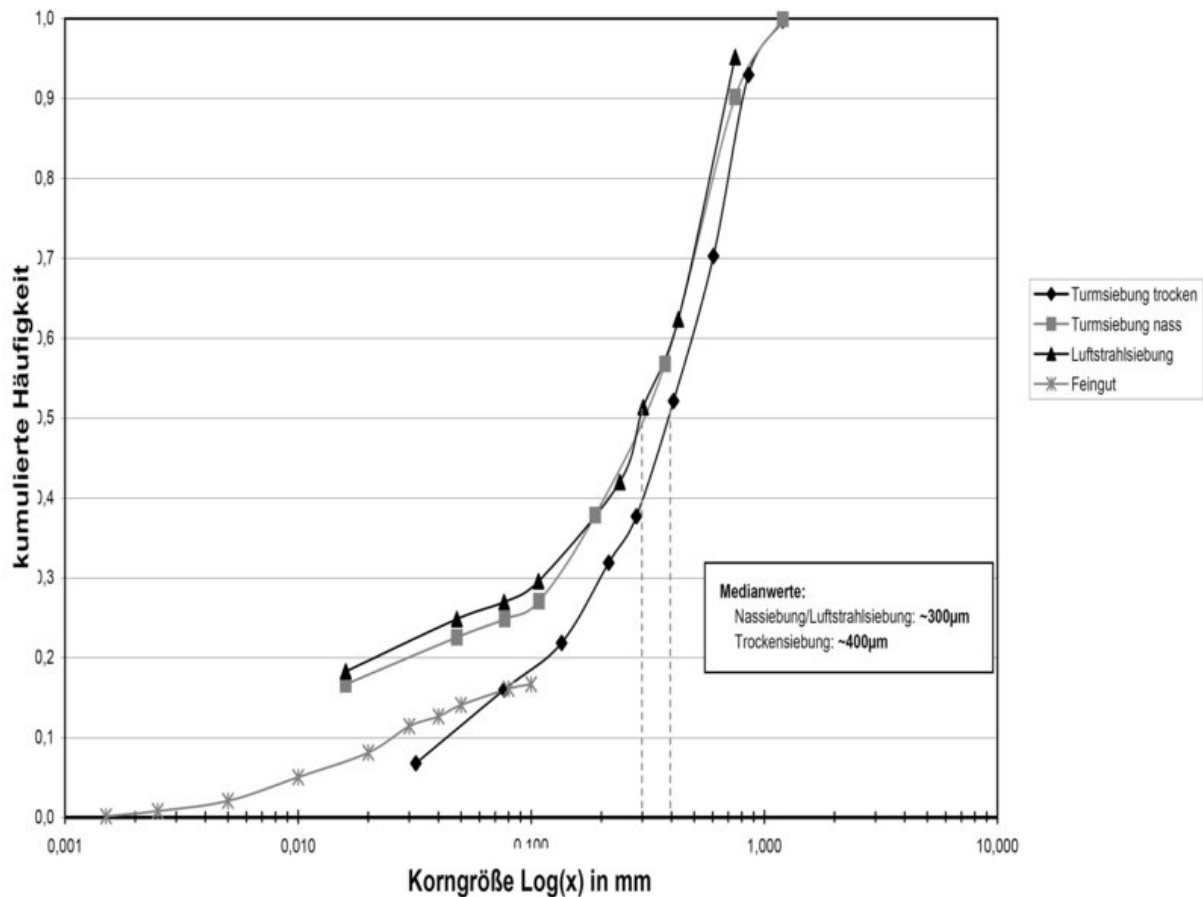


Abbildung 10: Gegenüberstellung der gemittelten Q_3 - Verteilungen der verschiedenen Siebmethoden

Beim Anfügen der Werte aus dem Sedigraphen an die Kurve der trockenen Turmsiebung ist im Schnittpunkt ein deutlicher Knick zu erkennen. Erklären lässt sich dies durch die unterschiedlichen Dispersitätsgrößen der unterschiedlichen Vorgehensweisen. Deutlich sichtbar ist allerdings eine Parallelität der Sedigraphkurve und der Kurven aus Luftstrahl- und Nasssiebung im Kornklassenbereich zwischen 15 und 100 μm .

6.5 Die nasse Turmsiebung in verschiedenen Darstellungsarten

Eine der Siebmethoden, in diesem Fall die nasse Turmsiebung, wurde nun noch weitergehend untersucht. Dazu werden die Werte der PGV in drei verschiedene Netze zur PGV-Charakterisierung eingetragen. Diese verschiedenen Netze haben das Ziel, eine PGV möglichst als Gerade darzustellen, wodurch eine formelmäßige Erfassung der PGV möglich wird. Die S-Form der üblichen, linearen Auftragung lässt nur eine Annäherung durch einfache analytische Ausdrücke zu [1]. Durch eine formelmäßige Erfassung jedoch kann z.B. der Mittelwert oder die spezifische Oberfläche einfacher berechnet werden. Für jede Verteilungsart gibt es zwei Parameter, einen Feinheits- und einen Körnungsparameter. Der Feinheitsparameter steht für

die Lage, der Körnungsparameter für die Breite der Verteilung.

6.5.1 Logarithmisches Wahrscheinlichkeitsnetz

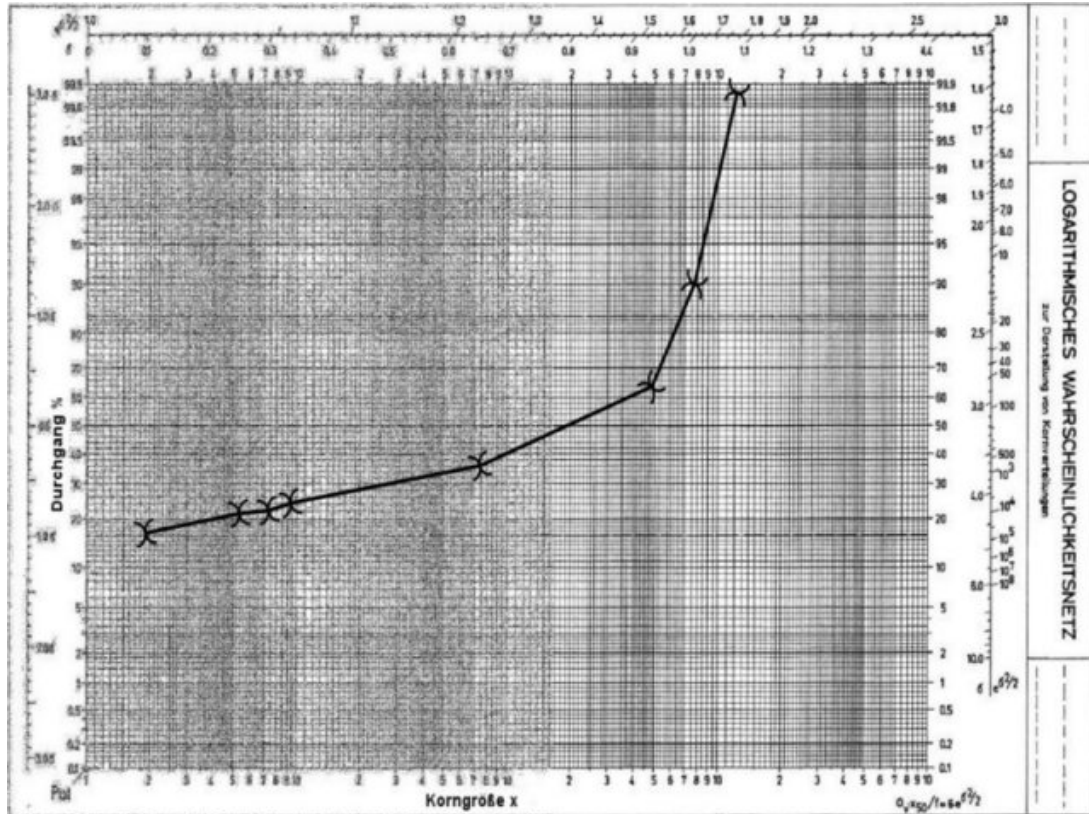


Abbildung 11: Die Werte der nassen Turmsiebung im logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz

Logarithmisch normalverteilte Partikelverteilungen ergeben im logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz eine Gerade. In Abbildung 11 sind die Werte der vorliegenden PGV in einem solchen Netz dargestellt. Wie deutlich zu sehen ist, lässt sich an die Werte nur schwer eine Gerade annähern. Daher ist anzunehmen, dass die PGV der Nasssiebung nicht logarithmisch normalverteilt ist. Aufgrund der deutlichen Abweichung von der Geraden werden für dieses Netz keine Parameter bestimmt.

6.5.2 Potenznetz

Eine Darstellung der Werte im Potenznetz zeigt eine, wie in Abbildung 12 zu sehen, gute Näherung an eine Gerade. Die beiden Parameter, die es in diesem Netz zu bestimmen gilt, sind x_{max} als Feinheitparameter und die Steigung m als Körnungsparameter. x_{max} ist die Körngröße, bei der die Ausgleichsgerade den Wert $D(x) = 1$ erreicht. Die Steigung kann ganz einfach am Randmaßstab abgelesen werden, nachdem die Gerade durch den Pol verschoben

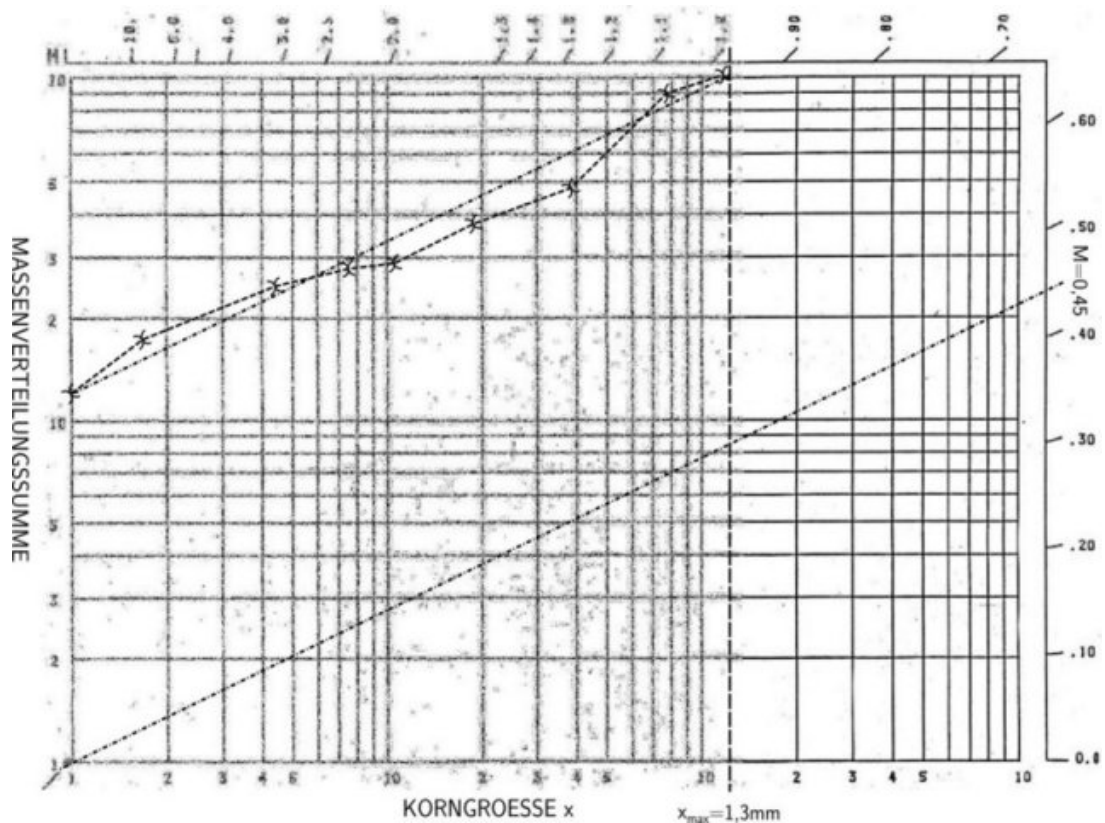


Abbildung 12: Die Werte der nassen Turmsiebung im Potenznetz

wurde:

$$x_{max} = 1,3 \text{ mm}$$

$$m = 0,45$$

Die Gleichung der Geraden wird mit den abgelesenen Parameter nach Formel 3 angegeben.

$$D(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^m \quad (3)$$

$$= \left(\frac{x}{1,3 \text{ mm}} \right)^{0,45}$$

Allerdings lässt sich keine Aussage über den Verlauf im Feinbereich $<10 \mu\text{m}$ treffen, da das Netz bei $10 \mu\text{m}$ endet. Da im Potenznetz der Feinbereich stark vergrößert erscheint, treten Messungenauigkeiten dort verstärkt hervor und es kann durchaus sein, dass dort der Verlauf deutlicher von einer Geraden abweicht.

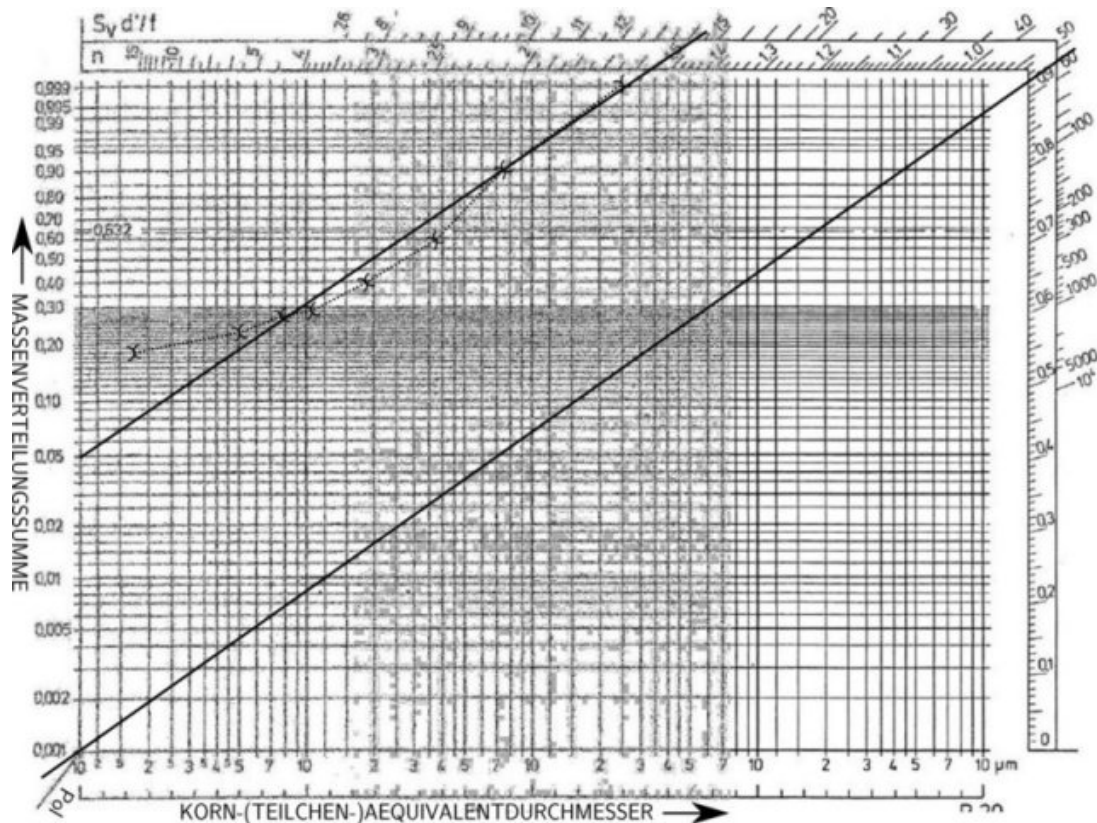


Abbildung 13: Die Werte der nassen Turmsiebung im RRSB-Netz

6.5.3 RRSB-Netz

Das RRSB-Netz stellt insbesondere Korngrößenverteilungen, die aus einer Feinzerkleinerung kommen, als Gerade dar. Es hat den besonderen Vorteil, dass nicht nur Feinheits- und Körnungsparameter abgelesen werden können, sondern auch noch die Oberflächenkennzahl K_S , die einen direkten Zusammenhang zur spezifischen Oberfläche S_V herstellt (siehe Kapitel 6.6). Die ins RRSB-Netz eingetragenen Werte der nassen Turmsiebung ergeben, wie in Abbildung 13 gezeigt, in etwa eine Gerade, besonders aber im Bereich $<100 \mu\text{m}$ knicken die Messwert nach oben ab. Die Näherung an eine Gerade ist nicht so gut wie im Potenznetz. Die explizite Form der Geraden wird für dieses Netz nach Formel 4 angegeben. Beim Erstellen der Ausgleichsgeraden wurde der gröbere Bereich stärker gewichtet, da dort mit weniger Messfehlern zu rechnen ist als im Feinbereich.

$$D(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{d'} \right)^n \right] \quad (4)$$

Die Werte für den Feinheitsparameter d' , Körnungsparameter n und Oberflächenkennzahl K_S wurden aus dem Netz abgelesen. Dabei entspricht d' dem 63,2 %-Wert der PGV, die Steigung

der Geraden n und die Oberflächenkennzahl K_S können am inneren bzw. äußeren Randmaßstab abgelesen werden, nachdem die Gerade durch den Pol verschoben wurde:

$$d' = 0,3 \text{ mm}$$

$$n = 1,18$$

$$K_S = 53$$

Setzt man die Werte ein, ergibt sich für die Geradengleichung:

$$D(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{0,3 \text{ mm}} \right)^{1,18} \right] \quad (5)$$

6.6 Spezifische Oberfläche S_V

Die spezifische Oberfläche S_V wurde auf zwei verschiedene Arten berechnet: Zum einen theoretisch nach Formel 6 [1] und zum Vergleich dazu mittels den aus dem RRSB-Netz ermittelten Werten K_S und d' (siehe Kapitel 6.5.3) nach Formel 7. S_V wurde für jede Siebmethode einzeln bestimmt.

$$S_V = 6 \cdot f \cdot \sum \frac{\Delta D_i}{\bar{x}_i} \quad (6)$$

$$\text{trockene Turmsiebung} \quad S_V = 6 \cdot 1,4 \cdot 5,4 \frac{1}{\text{mm}} = 45,4 \frac{1}{\text{mm}}$$

$$\text{nasse Turmsiebung} \quad S_V = 6 \cdot 1,4 \cdot 13,8 \frac{1}{\text{mm}} = 115,9 \frac{1}{\text{mm}}$$

$$\text{Luftstrahlsiebung} \quad S_V = 6 \cdot 1,4 \cdot 14,89 \frac{1}{\text{mm}} = 125,1 \frac{1}{\text{mm}}$$

Die Werte zeigen eine deutliche Abweichung zwischen trockener Turmsiebung und Luft- bzw. nasser Turmsiebung. Der Wert der trockenen Turmsiebung ist fast um Faktor 3 kleiner als der der anderen Siebmethode. Dies ist logisch, da die spezifische Oberfläche viel stärker von den feinen Partikeln abhängt als von den großen. Je feiner ein Partikel, desto größer das Verhältnis Oberfläche zu Volumen. Da die trockene Turmsiebung einen sehr schlechten Feingutdurchlauf aufweist, muss hier also die berechnete spezifische Oberfläche deutlich kleiner sein.

$$\text{Im RRSB-Netz} \quad K_S = S_V \cdot \frac{d'}{f} \quad (7)$$

$$\Leftrightarrow S_V = \frac{K_S \cdot f}{d'} = \frac{53 \cdot 1,4}{0,3 \text{ mm}} = 247 \frac{1}{\text{mm}}$$

Benötigte Werte:

- d' : Lageparameter der PGV,
entspricht dem 63,2 % Wert im RRSB-Netz (abgelesen: 0,3 mm)
- K_S : Oberflächenkennzahl aus RRSB-Netz (abgelesen: 53)
- f : Formfaktor oder Heywoodzahl, = 1,4 (aus Versuchsanleitung)
- ΔD_i : Durchgang bezogen auf jeweilige Kornklasse i
- $\bar{x}_i$: jeweilige Kornklassenmitte

Der aus dem RRSB - Netz berechnete Wert für die Nasssiebung ist fast doppelt so groß wie der theoretisch berechnete. Das unterstreicht die ungenaue grafische Näherung im RRSB - Netz. Darum ist anzunehmen, dass der über Formel 6 berechnete Wert für S_V eher der Wirklichkeit entspricht. Zur Ermittlung der tatsächlichen spezifischen Oberfläche könnten z.B. genauere Volumenuntersuchungen mit einem Pyknometer durchgeführt werden oder eine genauere PGV - Analyse muss durchgeführt werden.

7 Zusammenfassung

Zusammenfassend ist zu sagen, dass bei gewissenhafter Durchführung einer Siebanalyse entsprechend genaue und auch reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden können. Dabei ist zu beachten, dass die trockene Turmsiebung nur sinnvoll ist für Partikel $>250\text{ }\mu\text{m}$, da sonst Verbackungen in den Maschen auf Grund großer Haftkräfte entstehen. Außerdem ist der Einsatz von Aerosil als Dispergiermittel nicht immer sinnvoll, zumindest ergab sich bei den Messungen kein Unterschied in den Q_3 -Verläufen.

Die Luft- und nasse Turmsiebung lieferten deutlich feinere und fast identische Ergebnisse. Der Medianwert der mit dieser Methoden ermittelten Q_3 -Verläufe lag um etwa $100\text{ }\mu\text{m}$ weiter im Feinen.

Medianwerte

trocken Turmsiebung:	$\sim 400\text{ }\mu\text{m}$
Nass- bzw. Luftstrahlsiebung:	$\sim 300\text{ }\mu\text{m}$

Die deutlich besseren Ergebnisse dieser Methoden liegen in der besseren Dispergierung begründet. Diese wird bei der Nasssiebung durch Herabsetzen der Haftkräfte durch Zugabe von Wasser erreicht. Bei der Luftstrahlsiebung werden durch die Luftverwirbelungen hohe Scherkräfte erzeugt.

Eine Berechnung der spezifischen Oberfläche ergab für die Nass- und Luftstrahlsiebung ebenfalls sehr ähnlich Werte, der Werte für die Trockensiebung dagegen ist um Faktor 3 kleiner. Der aus dem RRSB-Netz ermittelte Wert für S_V lag um das Doppelte über diesen beiden Werten, was daran lag, dass die Annäherung einer Gerade an die Werte der nassen Turmsiebung im RRSB-Netz relativ schlecht war.

Werte für S_V

trockene Turmsiebung:	$45,4\frac{1}{\text{mm}}$
nasse Turmsiebung:	$115,9\frac{1}{\text{mm}}$
Luftstrahlsiebung:	$125,1\frac{1}{\text{mm}}$
RRSB-Netz (aus nasser Turmsiebung):	$247\frac{1}{\text{mm}}$

Eine Darstellung der Werte der nassen Turmsiebung im Potenznetz ergab eine gute Näherung an eine Gerade, die Eintragung ins logarithmische Wahrscheinlichkeitsnetz eine sehr viel schlechtere.

Literatur

- [1] Matthias Stieß – Mechanische Verfahrenstechnik, 2. Auflage, Springer Verlag, 1995

Abbildungsverzeichnis

1	ΔR -t-Verläufe der Luftstrahl- und Turmsiebung im Vergleich	5
2	Verwendete Siebmaschine „Retsch g-control“ zur trockenen Turmsiebung . . .	6
3	verwendete Retsch-Nasssiebmaschine mit Bebrausung und Feinstablauf	7
4	Die verwendete Luftstrahlsiebmaschine Hosokawa Alpine 200 LS	8
5	Ermittelte Q_3 -Verteilungen der trockenen Turmsiebung	9
6	Sieb mit Feingutrückstand	10
7	Ermittelte Q_3 -Verteilungen bei der nassen Turmsiebung	11
8	Während der Nasssiebung gebildete Agglomerate auf dem 1000 μm -Sieb . . .	12
9	Ermittelte Q_3 -Verteilungen bei der Luftstrahlsiebung	12
10	Gegenüberstellung der gemittelten Q_3 -Verteilungen	13
11	Die Werte der nassen Turmsiebung im logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz	14
12	Die Werte der nassen Turmsiebung im Potenznetz	15
13	Die Werte der nassen Turmsiebung im RRSB-Netz	16
14	Skizze einer Produktionssiebmaschine	25
15	Die ermittelten q_3 -Verteilungen der trockenen Turmsiebung	28
16	Die ermittelten q_3 -Verteilungen der nassen Turmsiebung	29
17	Die ermittelten q_3 -Verteilungen der Luftstrahlsiebung	29

Anhang

A Beantwortete Fragen aus Laboranleitung

1. Wenn Sie die Ergebnisse der Nasssiebung zusammen mit den Ergebnissen der Sedimentationswaage für den Feingutanteil in ein Diagramm einzeichnen, welche Voraussetzungen treffen Sie dabei in Bezug auf die Dispersitätsgröße?
 - Um die Vergleichbarkeit gewährleisten zu können müssen die verschiedenen Mengenarten umgerechnet werden, um eine einheitliche Mengenangabe zu erhalten. Die Dispersitätsgrößen stimmen mit dieser Vorgehensweise aber nicht exakt überein. Daraus folgt ein „Knick“ der Übergangsstelle der Partikelgrößenverteilungen.
2. Worin liegt der Vorteil der Luftstrahlsiebung im Vergleich zu den beiden anderen Siebverfahren?
 - Selbstreinigung der Maschine
 - trockenes Verfahren
 - dauert nicht länger
 - Minimale Fraktionsgröße $20\mu m$ (Turmsiebung $80\mu m$)
 - Automatische Desagglomeration bei agglomerierten Gütern
3. Was ist der besondere Vorteil der Nasssiebung gegenüber den beiden anderen Verfahren?
 - Auflockerung der Partikelschicht durch Auftrieb auf dem Sieb
 - Durch die Aufhebung der Flüssigkeitsbrücken wird
 - Agglomeration feinsten Bestandteile verhindert
 - Anhaftendes Feinstkorn von groben Partikeln und vom Siebboden getrennt
 - Der Transport durch die Maschen wird durch das durchströmende Wasser unterstützt
4. Was ist im Vergleich zur Vibrationssiebung zu erwarten, wenn man beim Luftstrahlsieb Partikel mit stark unregelmäßiger Kornform analysiert?
 - Unregelmäßig geformte Partikel haben einen höheren Strömungswiderstand. Dieser ist beim Luftstrahlsieb maßgeblich für den Transport der Partikel verantwortlich. Nadelige oder plattige Partikel, die normalerweise flach auf dem Sieb liegen bleiben würden richten sich auf und schlüpfen durch das Sieb. Damit werden unregelmäßig

geformte Partikel besser durch die Maschen transportiert und der Feingutanteil steigt. Die PGV wird damit nach links in Richtung kleinerer Korngrößen verschoben.

5. Aus welchem Grund kann bei gleicher Siebzeit, gleicher Vibrationsintensität und gleichem Analysesieb das Siebergebnis abhängig von der eingewogenen Aufgabegutmenge sein?
- Bei einer höheren Aufgabegutmenge erhöht sich die Schicht auf dem Sieb. Das Feingut benötigt länger bis möglichst alles die Möglichkeit hat, durch die Siebmaschen zu kommen. Je größer die aufgegebene Menge ist, desto länger muss gesiebt werden.
6. Warum muss die Siebung im Feinstbereich bei ca. 5 bis 40 μm in Flüssigkeit erfolgen, bzw. warum können Sie das Siebgut mit den gleichen Sieben nicht trocken sieben?
- Aufgrund zu hoher Haftkräfte (Van-der-Waals-Kräfte)
7. Warum kann es angebracht sein auch gröberes Material $> 40 \mu\text{m}$ nass zu sieben?
- Anhaftendes Feinstgut kann vom Grobgut heruntergespült werden.
8. Warum ist es vorteilhaft Siebsätze nach der R5-, R10- oder R20-Reihe zu wählen? Was bedeutet R10?
- Wenn die Partikelgröße mit einem konstanten Faktor gestuft ist, wird durch logarithmieren ($\log \text{Faktor} + \log x$) ein konstanter Wert hinzuaddiert. Die Siebsatzzusammenstellung führt bei Auftragung in ein Netz mit logarithmierter Abszisse zu äquidistanten Stützstellen der PGV.

$$R10 = \text{Stufung } \sqrt[10]{10} = 1,259$$

9. Wie sehen die Kurven $R = f(t)$ für die Siebzeitbestimmung bei weichen Granulaten aus, die zu Abrieb neigen?
- Zuerst nimmt der Rückstand über der Zeit exponentiell ab (wie bei „normalen“ Siebungen), nähert sich aber keinem konstanten Endwert an sondern geht in eine Gerade (konstanter Abrieb/Zerkleinerung) über, die auf Null zuläuft (alle Partikel soweit zerkleinert, dass sie ins FG gehen).
10. Worauf beruht die Wirkung von Aerosil bei trockenem Gut?
- Aerosil vergrößert den Kontaktabstand zwischen den Partikeln, indem es sich auch die Partikeloberfläche des zu siebenden Gutes setzt. Damit werden die Haftkräfte zwischen den Partikeln um Größenordnungen reduziert. Massemäßig fällt die Zugabe aufgrund der geringen Dichte kaum ins Gewicht.

11. Warum muss bei einer Luftstrahlsiebung das feinste Sieb zuerst aufgelegt werden?
- Der Durchgang (Feingut) gelangt bei jeder Siebung mit der Luft in den Filter des Staubsaugers.
12. Warum wird die effektive Maschenweite eines Siebes bei rein horizontaler Vibration kleiner? Wird die PGV dadurch gröber oder feiner?
- Der Partikeldurchgang durch eine Masche hängt von der Partikelorientierung zur Sieböffnung ab. Beispielsweise bleiben nadelförmige Partikel liegen und stellen sich nicht auf. Die PGV verschiebt sich damit in Richtung gröberer Partikel.
 - Physikalisch gesehen kann ein Partikel nur durch die Masche gehen, wenn die Fallgeschwindigkeit des Partikels größer ist als die Querschnittsgeschwindigkeit der Masche. Bei rein horizontaler Geschwindigkeit ist das Partikel sehr viel langsamer beim Fall, die Masche hingegen bewegt sich schneller. Somit steht dem Partikel — ohne dass es auf einen Draht trifft und wieder nach oben gestoßen wird — eine viel kleinere effektive Maschenweite in x und y Richtung zur Verfügung, die von der Schwingungsamplitude des Siebes in horizontaler Richtung abhängt.
13. Sind kugelige oder kantige — auch nadelige — schwerer zu sieben?
- Kugelige Partikel sind schwieriger zu sieben, da sie bei langsamen Siebbewegungen zum blockieren der nahezu quadratischen Siebmaschen neigen. Sie klemmen sich in den Maschen fest. Die maximale Zahl der Kontaktpunkte für die Klemmung beträgt vier. Da kantige oder nadelige Partikel weniger Kontaktpunkte haben, ist die Wahrscheinlichkeit einer Klemmung geringer.
14. Was sagt eine PGV aus?
- Ein Punkt der PGV bezeichnet den Mengenanteil aller Partikel eines Haufwerks, die kleiner als die betreffende Partikelgröße sind.
15. Was sagt ein Punkt der Dichteverteilung aus?
- Die Steigung der Summenkurve. Für die Praxis ist dieser Wert allerdings nicht besonders aussagekräftig.
16. Warum kann die Messung der PGV eines Guts mit nadelförmigen Partikeln mit dem Luftstrahlsieb zu besseren Ergebnissen führen als auf einer Schwingsiebmaschine?
- Unregelmäßig geformte Partikel können sich beim Luftstrahlsieb aufstellen und durch die Maschen rutschen. Beim Schwingsieb verbleiben sie als Rückstand auf dem Sieb.

17. Wie sieht die Maschenweitenverteilung eines guten und eines schlechten Siebes aus? Welchen Einfluss hat die Maschenweitenverteilung auf das Siebergebnis?
- Eine Maschengrößenverteilungsfunktion sieht aus wie eine statistische Verteilung der Maschengrößen. Schlechte, abgenutzte Siebe haben eine breitere Verteilung der Maschengrößen als neue, straff gespannte. Eine schlechte Maschenweitenverteilung verläuft flach. Das Siebergebnis wird dadurch nicht so exakt. Die Punkte der PGV schwanken ggf. stärker, die Streuung wird größer.
18. Was ist eine Dispersitätsgröße? Was ist die Dispersitätsgröße beim Sieben?
- Dispersität ist die Feinheit. Das Problem ist, dass nicht eindeutig ist, welches Merkmal verantwortlich für die Feinheit ist (Länge, Fläche, Volumen). Beim Sieben ist die Dispersitätsgröße durch die Maschenweite gegeben, demnach ist hier die Länge das Feinheitsmerkmal.
19. Warum sollte die Vibration einer Siebmaschine auf ein Optimum eingestellt werden? Warum kann eine Intervallsiebung unter bestimmten Voraussetzungen besser als eine kontinuierliche Siebung?
- Stöße bewirken, dass die Partikel auf dem Sieb aufgelockert bzw. umgeschichtet werden. So hat jedes Partikel die gleiche Chance durch die Maschen zu fallen. Nachteil dieser Methode ist, dass die effektive Maschenweite mit zunehmender Vibrationsstärke abnimmt. Vorteil der Intervallsiebung ist, dass trotz intensiver Auflockerung das Gut zur Ruhe kommen kann und die Partikel durch die Maschen fallen können. Bei kontinuierlicher Vibration wäre das nicht möglich.
20. Was bedeutet „g-control“ und welchen Vorteil hat diese Betriebsweise?
- g-control bedeutet Beschleunigungskontrolle. Bei Siebmaschinen wird die schwingende Masse durch die Siebturmhöhe bestimmt. Die Beschleunigungskontrolle sorgt für eine konstante Anregung unabhängig von der Zahl der gestapelten Siebe. Somit ist bei gleichem g-Wert eine Vergleichbarkeit mit anderen Sieben gewährleistet.
21. Wie unterscheidet sich eine technische Siebung auf einer Produktionsmaschine von einer Analysesiebung?
- Eine technische Siebung stellt im Vergleich zur Analysesiebung einen unvollkommenen Trennungsprozess dar.
22. Skizzieren sie eine Produktionssiebmaschine und bezeichnen Sie Teile und Funktion.

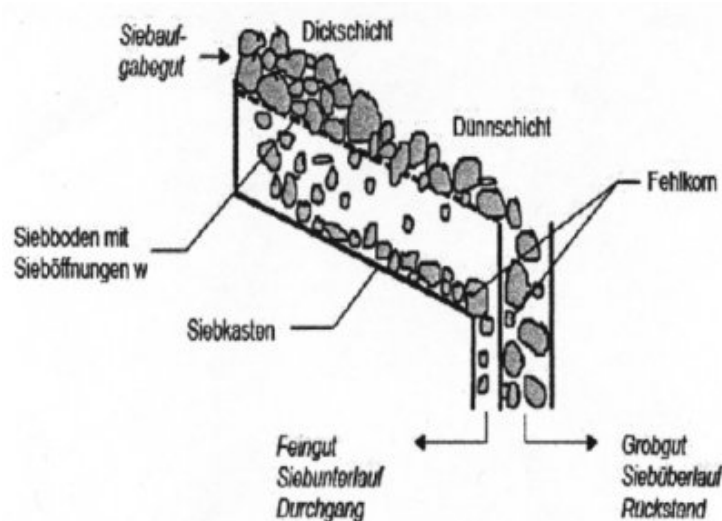


Abbildung 14: Skizze einer Produktionssiebmaschine

23. Erklären Sie, wie PGVs zusammengesetzt werden (Hier am Beispiel: Trockensiebung und Sedigraph)

- Zuerst auf eine gemeinsame Mengenart umrechnen. Anschließend einen Übergangspunkt definieren und beide PGVs an diesem Punkt zusammensetzen. Dann wird der Feinanteil der Siebung an diesem Punkt als Gewichtungsfaktor für die anzusetzende Feinverteilung aus dem Sedigraphen genommen.

24. Welchen Sinn haben unterschiedliche Netze für PGVs?

- Mit verschiedenen Netzen ist es möglich bei unterschiedlichen PGVs eine annähernd gerade PGV einzuzichnen. Außerdem gibt es für einzelne Bereiche (Grobereich, Feinbereich) unterschiedliche Netze, die hierfür als Lupe für eine verbesserte Ableitung dienen.

25. Warum trägt man die Partikelgröße (fast immer) logarithmisch auf?

- Da die Partikelgrößenverteilung häufig über mehrere Dekaden reicht, ermöglicht eine logarithmische Darstellung den Überblick über den gesamten Bereich. Außerdem ist die PGV bei logarithmischer Auftragung oft eine Gerade in den Netzen.

26. Welchen Großen Vorteil hat die RRSB-Verteilung?

- Superlupe für den Grobbereich
- Normale Lupe für den Feinbereich
- Mittelkornbereich ist annähernd symmetrisch

27. Warum ist die Häufigkeitsverteilung dimensionslos, die Verteilungsdichte [Dim: ?] dimensionsbehaftet?

- Verteilungssumme

$$Q = \frac{\text{Teilmenge}}{\text{Gesamtmenge}} = \left[\frac{g}{g} \right] = [1]$$

- Verteilungsdichte

$$q = \frac{\text{Anteil der Fraktion}}{\text{Klassenbreite}} = \frac{\Delta Q}{\Delta x} = \left[\frac{1}{\mu m} \right]$$

28. Wie fein können technische Trockensiebungen mittels Vibration (ohne Luftunterstützung) sein?

- ca. $100\mu m$ — $125mm$

29. Die Einwaagemenge findet man nur zufällig in der Summe der Einzelmassen wieder. Was kann passiert sein, wenn die Summe größer ist, die Summe kleiner ist? Interpretieren sie die Fehlermöglichkeiten!

- Zu große Summe: Partikel die bei der Einwaage nicht mitgewogen wurden, wie etwa Klemmkörner aus früheren Messungen, sind hinzugekommen.
- Zu kleine Summe: Partikel haben sich in Maschen verklemmt oder sind durch unsauberes Arbeiten verloren gegangen.

30. Warum verringert sich die effektive Maschenweite bei zunehmender Vibration? Ist das gut oder schlecht für die Siebung?

- Das Sieb bewegt sich so schnell, dass für die Partikel keine Zeit bleibt durch die Maschen hindurch zu fallen. Dadurch wird der Anschein einer zu groben PGV erweckt.

31. Was versteht man unter einer Kreisschwingsiebmaschine, einer Linearschwingsiebmaschine? Wie unterscheiden sich die Antriebe dieser Produktionsmaschinen? Einfluss auf das Siebergebnis?

- Linearschwingsiebmaschinen bewegen sich nur hin und her auf einer Linie. Sie transportieren auch bei horizontalem Siebboden (flache Bauweise!) entsprechend dem Bewegungsanteil in Siebbodenrichtung. Die Vertikalauflockerung des Siebguts ist relativ gering, so dass zum Erreichen guter Trennschärfen nur dünne Schichten gesiebt werden sollten. Außerdem beansprucht die Beschleunigung in nur einer Richtung Klemmkörper zu wenig.

- Kreisschwingsiebmaschinen bewegen das Sieb in einer Kreisförmigen Bahn. Sie werfen das Gut mit großem Abwurfwinkel vom Siebboden ab, so dass eine ausreichende Transportgeschwindigkeit mit größeren Siebneigungen ($>10^\circ$) erreicht werden muss. Die Auflockerung des Siebguts sowie die wechselnde Beanspruchung von Klemmkorn sind vorteilhaft.

B q_3 - Verteilungen

Trockene Turmsiebung

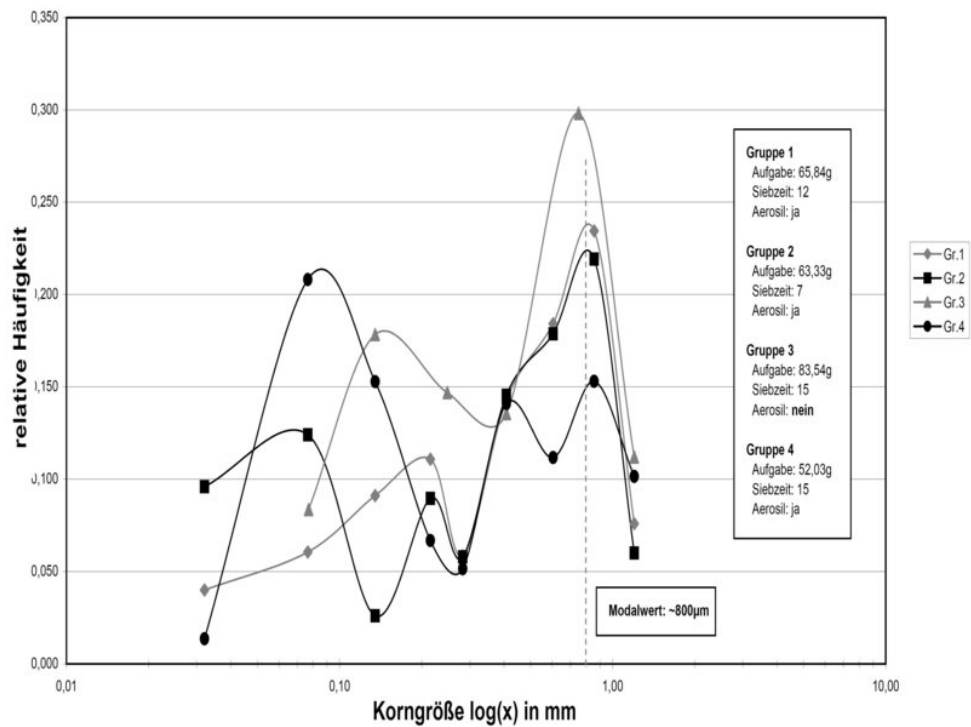


Abbildung 15: Die ermittelten q_3 - Verteilungen der trockenen Turmsiebung

Nasse Turmsiebung

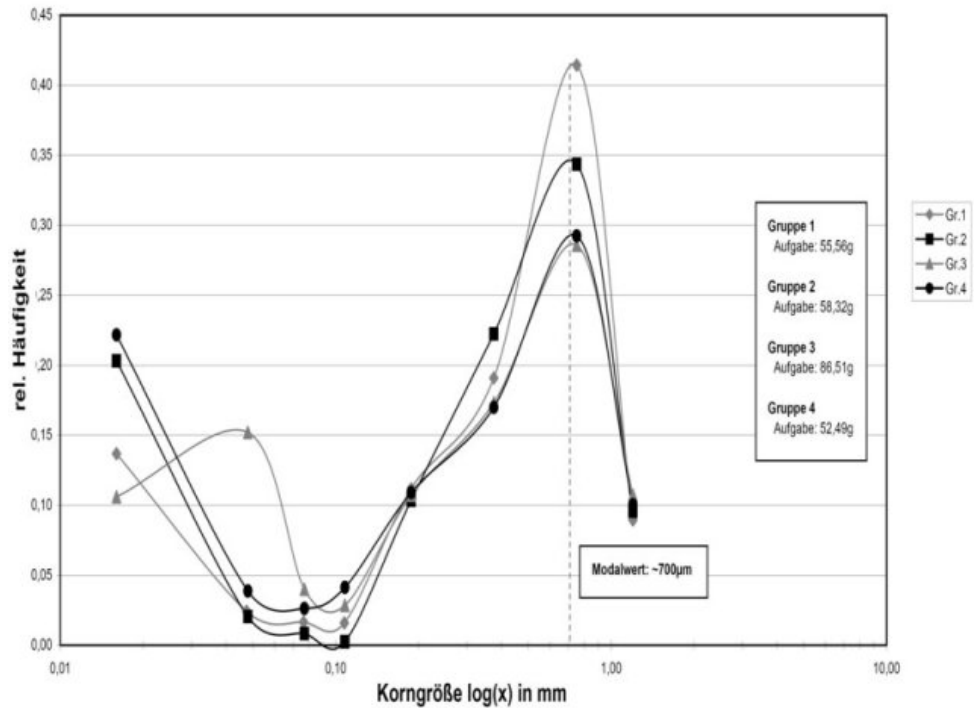


Abbildung 16: Die ermittelten q_3 - Verteilungen der nassen Turmsiebung

Luftstrahlsiebung

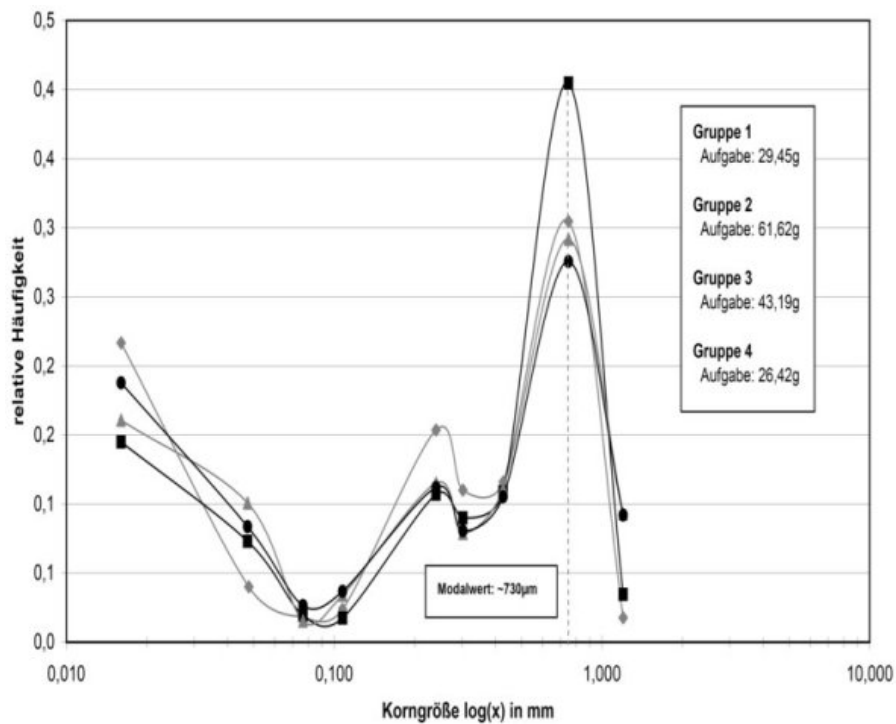


Abbildung 17: Die ermittelten q_3 - Verteilungen der Luftstrahlsiebung

C Daten

Siebzeitbestimmung

Trockensiebung													
Gruppe 2							Gruppe 1						
Siebgröße 90 µm							Sieb 90 µm						
Leergewicht 397,76 g							Leergewicht 227,64 g						
Zeit [min]	Gewicht [g]	R [g]	R [%]	ΔR [%]	Δt [min]	ΔR/Δt [1/min]	Zeit [min]	Gewicht [g]	R [g]	R [%]	ΔR [%]	Δt [min]	ΔR/Δt [1/min]
0,00	416,77	19,01	100,00				0,00	245,33	17,69	100,00			
0,17	416,62	18,86	99,21	0,79	0,17	4,73	0,17	245,15	17,51	98,98	1,02	0,17	5,99
0,33	416,13	18,37	96,63	2,58	0,17	15,47	0,33	245,11	17,47	98,76	0,23	0,16	1,41
0,50	415,74	17,98	94,58	2,05	0,17	12,31	0,50	245,06	17,42	98,47	0,28	0,17	1,66
0,67	415,36	17,60	92,58	2,00	0,17	11,99	0,67	244,98	17,34	98,02	0,45	0,17	2,66
0,83	415,12	17,36	91,32	1,26	0,17	7,57	0,83	244,9	17,26	97,57	0,45	0,16	2,83
1,00	414,76	17,00	89,43	1,89	0,17	11,36	1,00	244,85	17,21	97,29	0,28	0,17	1,66
1,33	414,56	16,80	88,37	1,05	0,33	3,16	1,33	244,44	16,80	94,97	2,32	0,33	7,02
1,67	413,89	16,13	84,85	3,52	0,33	10,57	1,67	244,05	16,41	92,76	2,20	0,34	6,48
2,00	413,67	15,91	83,69	1,16	0,33	3,47	2,00	243,76	16,12	91,12	1,64	0,33	4,97
3,00	413,20	15,44	81,22	2,47	1,00	2,47	3,00	242,7	15,06	85,13	5,99	1,00	5,99
4,00	412,91	15,15	79,69	1,53	1,00	1,53	4,00	242,52	14,88	84,12	1,02	1,00	1,02
5,00	412,83	15,07	79,27	0,42	1,00	0,42	5,00	242,42	14,78	83,55	0,57	1,00	0,57
6,00	412,78	15,02	79,01	0,26	1,00	0,26	7,00	242,39	14,75	83,38	0,17	2,00	0,08
7,00	412,77	15,01	78,96	0,05	1,00	0,05	8,00	242,34	14,70	83,10	0,28	1,00	0,28
8,00	412,76	15,00	78,91	0,05	1,00	0,05							
9,00	412,71	14,95	78,64	0,26	1,00	0,26							

Luftstrahlsiebung													
Gruppe 2							Gruppe 1						
Sieb 90 µm							Sieb 90 µm						
Leergewicht 397,79 g							Leergewicht 341,26 g						
Zeit [min]	Δm [g]	R [g]	R [%]	ΔR [%]	Δt [min]	ΔR/Δt [1/min]	Zeit [min]	Gewicht [g]	R [g]	R [%]	ΔR [%]	Δt [min]	ΔR/Δt [1/min]
0,00		17,00	100,00				0,00	366,75	25,49	100,00			
0,17	2,95	16,06	94,47	5,53	0,17	33,18	0,17	363,25	21,99	86,27	13,73	0,17	80,77
0,33	3,36	15,65	92,06	2,41	0,17	14,47	0,33	363,12	21,86	85,76	0,51	0,16	3,19
0,50	3,48	15,53	91,35	0,71	0,17	4,24	0,50	363,07	21,81	85,56	0,20	0,17	1,15
0,67	3,55	15,46	90,94	0,41	0,17	2,47	0,67	363,05	21,79	85,48	0,08	0,17	0,46
0,83	3,57	15,44	90,82	0,12	0,17	0,71	1,00	363,02	21,76	85,37	0,12	0,33	0,36
1,00	3,60	15,41	90,65	0,18	0,17	1,06	1,33	362,98	21,72	85,21	0,16	0,33	0,48
1,33	3,65	15,36	90,35	0,29	0,33	0,88	1,67	362,96	21,70	85,13	0,08	0,34	0,23
1,67	3,68	15,33	90,18	0,18	0,33	0,53	2,00	362,93	21,67	85,01	0,12	0,33	0,36
2,00	3,69	15,32	90,12	0,06	0,33	0,18	4,00	362,92	21,66	84,97	0,04	2,00	0,02
3,00	3,72	15,29	89,94	0,18	1,00	0,18							
4,00	3,74	15,27	89,82	0,12	1,00	0,12							
5,00	3,76	15,25	89,71	0,12	1,00	0,12							
6,00	3,77	15,24	89,65	0,06	1,00	0,06							
7,00	3,78	15,23	89,59	0,06	1,00	0,06							

Tabelle 1 Daten zur Siebzeitbestimmung

Trockene Turmsiebung

Nasse Turmsiebung

Luftstrahlsiebung

Gruppe 1						Gruppe 2					
Aufgabe	Verlust	Aerosil	Siebzeit	Amplitude		Aufgabe	Verlust	Aerosil	Siebzeit	Amplitude	
65,84	-3,220	ja	12	1,5		63,33	0,700	ja	7	??	
Kornklas- senmitte	Rückstand		Durchgang			Kornklas- senmitte	Rückstand		Durchgang		
	Gramm	h	Gramm	H			Gramm	h	Gramm	H	
Maschen- weite				1,000						1,0000	
1.400		0,120	0,002	68,940	0,998		0,19	0,003	62,44	0,9970	
1.000	1,200	5,240	0,076	63,700	0,922	1,200	3,76	0,060	58,68	0,9369	
0,710	0,855	16,190	0,234	47,610	0,688	0,855	13,73	0,219	44,95	0,7177	
0,500	0,605	12,720	0,184	34,790	0,504	0,605	11,19	0,179	33,76	0,5390	
0,315	0,408	9,870	0,143	24,920	0,361	0,408	9,11	0,145	24,65	0,3936	
0,250	0,283	4,040	0,058	20,880	0,302	0,283	3,63	0,058	21,02	0,3356	
0,180	0,215	7,650	0,111	13,230	0,192	0,215	5,61	0,090	15,41	0,2460	
0,090	0,135	6,290	0,091	6,940	0,101	0,135	1,63	0,026	13,78	0,2200	
0,063	0,077	4,180	0,061	2,760	0,040	0,077	7,77	0,124	6,01	0,0960	
Boden	0,032	2,760	0,040	0,000	0,000	0,032	6,01	0,096	0	0,0000	
Summe:		69,060	1,000				62,630	1,000			

Gruppe 3						Gruppe 4					
Aufgabe	Verlust	Aerosil	Siebzeit	Amplitude		Aufgabe	Verlust	Aerosil	Siebzeit	Amplitude	
83,54	-0,140	nein	15	??		52,03	-0,970	ja	15	??	
Kornklas- senmitte	Rückstand		Durchgang			Kornklas- senmitte	Rückstand		Durchgang		
	Gramm	h	Gramm	H			Gramm	h	Gramm	H	
Maschen- weite				1,000						1,000	
1.400											
1.000	1,2000	9,37	0,112	74,310	0,888	1,200	5,38	0,102	47,620	0,898	
0,710						0,855	8,11	0,153	39,510	0,745	
0,500	0,7500	24,94	0,298	49,370	0,590	0,605	5,92	0,112	33,590	0,634	
0,315	0,4080	11,34	0,136	38,030	0,454	0,408	7,47	0,141	26,120	0,493	
0,250						0,283	2,73	0,052	23,390	0,441	
0,180	0,2480	12,29	0,147	25,740	0,308	0,215	3,54	0,067	19,850	0,375	
0,090	0,1350	14,92	0,178	10,820	0,129	0,135	8,100	0,153	11,750	0,222	
0,063	0,0770	6,99	0,084	3,830	0,046	0,077	11,03	0,208	0,720	0,014	
Boden	0,0320	3,83	0,046	0,000	0,000	0,032	0,72	0,014	0,000	0,000	
Summe:		83,680	1,000				53,000	1,000			

Mittelwerte von Gruppe 1&2			
Maschen- weite	Kornklas- senmitte	Rückstand h	Durchgang H
1.400		0,002	0,998
1.000	1,200	0,068	0,930
0,710	0,855	0,227	0,703
0,500	0,605	0,181	0,521
0,315	0,408	0,144	0,377
0,250	0,283	0,058	0,319
0,180	0,215	0,100	0,219
0,090	0,135	0,059	0,160
0,063	0,077	0,092	0,068
Boden	0,032	0,068	0,000

durchschnittlicher Durchgang durch 90µm-Sieb:				0,168
Feingutanteile auf 24,9% heruntergerechnet:				
Feinstanalyse <90µm		x in mm		D bez auf
x [mm]	D			
0,1	0,995	0,1	0,167	
0,08	0,961	0,08	0,161	
0,05	0,84	0,05	0,141	
0,04	0,755	0,04	0,127	
0,03	0,682	0,03	0,114	
0,02	0,485	0,02	0,081	
0,01	0,302	0,01	0,051	
0,005	0,125	0,005	0,021	
0,0025	0,05	0,0025	0,008	
0,0015	0,011	0,0015	0,002	

Tabelle 2 Daten zur trockenen Turmsiebung

Gruppe 1						Gruppe 2					
Aufgabe		Verlust				Aufgabe		Verlust			
55,56		3,580									
Maschenweite	Kornklassenmitte	Rückstand		Durchgang		Kornklassenmitte	Rückstand		Durchgang		
		Gramm	h	Gramm	H		Gramm	h	Gramm	H	
					1						1
1,000	1,200	4,650	0,089	47,330	0,911	1,200	5,581	0,096	52,738	0,904	
0,500	0,750	21,540	0,414	25,790	0,496	0,750	20,038	0,344	32,700	0,561	
0,250	0,375	9,920	0,191	15,870	0,305	0,375	12,97	0,222	19,730	0,338	
0,125	0,188	5,810	0,112	10,060	0,194	0,188	6,04	0,104	13,690	0,235	
0,090	0,108	0,830	0,016	9,230	0,178	0,108	0,152	0,003	13,538	0,232	
0,063	0,077	0,860	0,017	8,370	0,161	0,077	0,488	0,008	13,050	0,224	
0,032	0,048	1,260	0,024	7,110	0,137	0,048	1,2	0,021	11,850	0,203	
Sediment	0,016	7,110	0,137	0,000	0,000	0,016	11,85	0,203	0,000	0,000	
Summe:		51,980	1,000				58,319	1,000			

Gruppe 3						Gruppe 4					
Aufgabe		Verlust				Aufgabe		Verlust			
52,49		2,700									
Maschenweite	Kornklassenmitte	Rückstand		Durchgang		Kornklassenmitte	Rückstand		Durchgang		
		Gramm	h	Gramm	H		Gramm	h	Gramm	H	
					1						1
1,000	1,200	9,275	0,107	77,235	0,893	1,200	5,00	0,100	44,790	0,900	
0,500	0,750	24,73	0,286	52,510	0,607	0,750	14,56	0,292	30,230	0,607	
0,250	0,375	14,98	0,173	37,530	0,434	0,375	8,46	0,170	21,770	0,437	
0,125	0,188	9,27	0,107	28,260	0,327	0,188	5,43	0,109	16,340	0,328	
0,090	0,108	2,47	0,029	25,794	0,298	0,108	2,06	0,041	14,280	0,287	
0,063	0,077	3,46	0,040	22,330	0,258	0,077	1,31	0,026	12,970	0,260	
0,032	0,048	13,16	0,152	9,170	0,106	0,048	1,93	0,039	11,040	0,222	
Sediment	0,016	9,17	0,106	0,000	0,000	0,016	11,04	0,222	0,000	0,000	
Summe:		86,510	1,000				49,790	1,000			

Mittelwerte			Zur Berechnung von Sv:	
Kornklassenmitte	Rückstand h	Durchgang H	dDi	dDi/xi
		1,000		
1,200	0,098	0,902	0,098	0,08
0,750	0,334	0,566	0,334	0,45
0,375	0,189	0,379	0,189	0,50
0,188	0,108	0,271	0,108	0,57
0,108	0,022	0,249	0,022	0,20
0,077	0,023	0,226	0,023	0,30
0,048	0,059	0,167	0,059	1,23
0,016	0,167	0,000	0,167	10,43
Summe:				13,77

Formfaktor f:	1,4
Sv:	115,6

Tabelle 3 Daten zur nassen Turmsiebung

Gruppe 1										
Maschenweite	Kornklassenmitte	Rückstand		Durchgang		Kornklassenmitte	Rückstand		Durchgang	
		Gramm	h	Gramm	H		Gramm	h	Gramm	H
					1					1
1,000	1,200	0,520	0,018	28,930	0,982	1,200	2,000	0,035	55,820	0,965
0,500	0,750	8,970	0,305	19,960	0,678	0,750	23,400	0,405	32,420	0,561
0,355	0,428	3,410	0,116	16,550	0,562	0,428	6,300	0,109	26,120	0,452
0,250	0,303	3,240	0,110	13,310	0,452	0,303	5,200	0,090	20,920	0,362
0,125	0,240	4,520	0,153	8,790	0,298	0,240	6,190	0,107	14,730	0,255
0,090	0,108	0,700	0,024	8,090	0,275	0,108	1,010	0,017	13,720	0,237
0,063	0,077	0,530	0,018	7,560	0,257	0,077	1,120	0,019	12,600	0,218
0,032	0,048	1,180	0,040	6,380	0,217	0,048	4,220	0,073	8,380	0,145
weg	0,016	6,380	0,217	0,000	0,000	0,016	8,380	0,145	0,000	0,000
Summe		29,45	1				57,82	1		
Einwage		29,45					61,62			

Gruppe 3										
Maschenweite	Kornklassenmitte	Rückstand		Durchgang		Kornklassenmitte	Rückstand		Durchgang	
		Gramm	h	Gramm	H		Gramm	h	Gramm	H
					1					1
1,000	1,200	4,000	0,093	39,190	0,907	1,200	2,430	0,092	23,990	0,908
0,500	0,750	12,600	0,292	26,590	0,616	0,750	7,280	0,276	16,710	0,632
0,355	0,428	4,800	0,111	21,790	0,505	0,428	2,780	0,105	13,930	0,527
0,250	0,303	3,400	0,079	18,390	0,426	0,303	2,130	0,081	11,800	0,447
0,125	0,240	4,970	0,115	13,420	0,311	0,240	2,960	0,112	8,840	0,335
0,090	0,108	1,470	0,034	11,950	0,277	0,108	0,970	0,037	7,870	0,298
0,063	0,077	0,660	0,015	11,290	0,261	0,077	0,700	0,026	7,170	0,271
0,032	0,048	4,350	0,101	6,940	0,161	0,048	2,210	0,084	4,960	0,188
weg	0,016	6,940	0,161	0,000	0,000	0,016	4,960	0,188	0,000	0,000
Summe		43,19	1				26,42	1		
Einwage							26,42			

Mittelwerte Gruppen 1,2,4		
Kornklassenmitte	Rückstand h	Durchgang H
		1,000
	0,048	0,952
0,750	0,328	0,624
0,428	0,110	0,514
0,303	0,094	0,420
0,240	0,124	0,296
0,108	0,026	0,270
0,077	0,021	0,249
0,048	0,066	0,183
0,016	0,183	0,000
	1	

Tabelle 4 Daten zur Luftstrahlsiebung