

 WILEY-VCH

P. Schmidt, R. Körber, M. Coppers

Sieben und Siebmaschinen

Grundlagen und Anwendung



P. Schmidt, R. Körber, M. Coppers
Sieben und Siebmaschinen

Sieben und Siebmaschinen

Paul Schmidt, Rolf Körber und Matthias Coppers

Copyright © 2003 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KG aA, Weinheim

ISBN: 3-527-30207-7

Weitere empfehlenswerte Bücher

Schubert, H. (Hrsg.)

Handbuch der Mechanischen Verfahrenstechnik

2 Bände

2003

ISBN 3-527-30577-7

Hess, W. F.

Partikel-Messtechnik

2003

ISBN 3-527-30311-1

Zlokarnik, M.

Stirring

2001

ISBN 3-527-29996-3

Kraume, M. (Hrsg.)

Mischen und Rühren Grundlagen und moderne Verfahren

2002

ISBN 3-527-30709-5

Pietsch, W.

Agglomeration Processes

2002

ISBN 3-527-30369-3

Kaye, B. H.

Characterization of Powders and Aerosols

1999

ISBN 3-527-28853-8

Gasper, H., Oechsle, D., Pongratz, E.
(Hrsg.)

Handbuch der industriellen Fest-/Flüssig-Filtration

2., vollständig überarbeitete und stark
erweiterte Auflage

2000

ISBN 3-527-29796-0

Paul Schmidt, Rolf Körber, Matthias Coppers

Sieben und Siebmaschinen

Grundlagen und Anwendung



**WILEY-
VCH**

WILEY-VCH GmbH & Co. KGaA

Prof. em. Dr.-Ing. Paul Schmidt
ehemals Universität GH Essen
Institut für Apparatechnik, FB 12
Universitätsstr. 2
D-45141 Essen
Germany

Dr.-Ing. Rolf Körber
Technolog
Ückendorfer Str. 151
D-45327 Essen
Germany

Dr.-Ing. Matthias Coppers,
Dipl.-Ing. Manfred Fischer
RHEWUM GmbH
Rosentalstr. 24
D-42899 Remscheid
Germany

Dr.-Ing. Ernst Heinrich Dreßler
Richard-Wagner-Str. 17
D-09599 Freiberg
Germany

Obering. Norbert Scholz
Max-Planck-Str. 9
D-67454 Haßloch
Germany

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© 2003 WILEY-VCH Verlag
GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Satz Typomedia GmbH, Ostfildern
Druck Strauss Offsetdruck, Mörlenbach
Bindung Großbuchbinderei J. Schäffer
GmbH & Co KG, Grünstadt

Printed in the Federal Republic of Germany.

ISBN 3-527-30207-7

Inhalt

	Vorwort	IX
1	Grundlagen des Siebens	1
1.1	Allgemeine Bemerkungen	1
1.2	Korngrößenverteilung und Trennschärfe	5
1.3	Anwendungsgebiete: Eine Übersicht	7
2	Theorie des Siebens	11
2.1	Rieselsiebung	14
2.1.1	Haftkräfte zwischen Partikeln	15
2.1.2	Ultraschallsiebung	17
2.2	Durchgangswahrscheinlichkeit	18
2.3	Der Siebvorgang als Reaktion erster Ordnung	19
2.4	Empirische Siebfunktionen	21
2.5	Dimensionsanalytische Behandlung des Siebvorganges	22
2.5.1	Rieselsiebung ohne und mit Vibration	22
2.5.2	Allgemeine Anwendung der Dimensionsanalyse beim Sieben	25
2.6	Wechselwirkung zwischen Korn und Siebmasche	27
2.7	Schräges Auftreffen auf die Siebfläche	28
2.8	Strömungssiebung	29
3	Siebmaschinen	31
3.1	Siebmaschinen mit indirekter Erregung des Siebes	34
3.1.1	Roste	34
3.1.2	Wurfsiebe	35
3.1.2.1	Kreis- und Ellipsenschwingsieb	38
3.1.2.2	Linearschwingsiebe	38
3.1.2.3	Mehrdeck-Siebmaschinen	41

3.1.2.4	Wahrscheinlichkeitssieb, Sizer	41
3.1.2.5	Bogen- oder Bananen-Sieb	43
3.1.2.6	Doppelfrequenz-Siebmaschinen (DF)	43
3.1.3	Plansiebe	47
3.1.3.1	Rundsiebe und Taumelsiebmaschinen	50
3.1.3.2	Rechtecksiebmaschine	52
3.1.4	Trommelsiebe	52
3.1.5	Zentrifugalsiebe	57
3.1.6	Siebhilfen bei indirekt erregten Sieben	59
3.2	Siebmaschinen mit direkter Erregung des Siebes	60
3.2.1	Punktförmige Erregung	61
3.2.2	Linienförmige Erregung	64
3.2.2.1	Elektromagnetischer Antrieb der Schwingachsen, Bauart WA	65
3.2.2.2	Taumelrüttler-Antrieb der Schwingachsen	67
3.2.2.3	Kuppelstangen-Antrieb der Schwingachsen, Bauart M	68
3.2.2.4	Siebmaschinen flacher Bauform, Bauart WAF	69
3.2.3	Direkt erregte Bogen-Siebe, arc-Siebe	70
3.3	Siebmaschinen mit sich verformenden Siebflächen	73
3.4	Strömungssiebmaschinen	75
3.4.1	Pneumatische Siebmaschinen	79
3.4.2	Verwehen einer Siebfläche	81
3.4.3	Nass-Siebe	83
3.4.3.1	Nasssieb mit Zusatzbefeuchtung und Doppelfrequenz-Antrieb	85
3.4.3.2	Funktionsweise des Doppelfrequenz (DF)-Nasssiebes	86
3.4.3.3	Einfluss des Doppelfrequenz-Antriebes bei der Nasssiebung	88
3.4.3.4	Wasserkreislauf	89
3.4.3.5	Vibrations-Nasstrommelsieb	89
4	Siebung in der Praxis	93
4.1	Siebflächen	93
4.1.1	Charakterisierung von Siebgeweben	93
4.1.2	Reinigung der Siebgewebe	96
4.2	Mehrdeck-Siebmaschinen	98
4.2.1	Konstruktiver Aufbau der Mehrdeck-Siebmaschine	99
4.2.2	Baugrößen der Mehrdeck-Siebmaschine	101
4.2.3	Technische Besonderheiten der Mehrdeck-Siebmaschine	103
4.2.3.1	Schwingungsparameter	104
4.2.3.2	Verspannung	104
4.2.3.3	Wartung	105
4.2.4	Ausgewählte Ergebnisse und Einsatzbeispiele mit Mehrdeck-Siebmaschinen	105

- 4.2.4.1 Siebklassierung von Basalt-Brechsand 105
- 4.2.4.2 Siebklassierung von Siedesalz im Feinstbereich 107
- 4.2.4.3 Schutzsiebung und Staubabtrennung bei einem chemischen Produkt 108
- 4.2.5 Weitere verallgemeinerungsfähige Ergebnisse 109
 - 4.2.5.1 Einfluss der Maschenweite 109
 - 4.2.5.2 Einfluss der Siebdeckanzahl 110
- 4.2.6 Zusammenfassung 111
- 4.3 Beispiele zur praktischen Siebung 112
 - 4.3.1 Schutzabsiebung 113
 - 4.3.1.1 Anlage zur Erzeugung spritzkornfreier Quarzmehle 113
 - 4.3.1.2 Herstellung von spritzkornfreiem Glassand 115
 - 4.3.2 Entstaubung 118
 - 4.3.2.1 Absiebung von Feinkristallen in der Zuckerindustrie 118
 - 4.3.2.2 Entstaubung von Kali-Granulat vor der Verladung 121
 - 4.3.3 Klassierung 122
 - 4.3.3.1 Klassierung im Mahl- und Siebkreislauf 122
 - 4.3.3.2 Klassierung in einem Mahl- und Siebkreislauf mit Kompaktierpresse 124
 - 4.3.3.3 Splittklassierung für bituminöse Fahrbahndecken 128
 - 4.3.3.4 Fraktionierung von Schleifmitteln nach dem FEPA-Standard 132
- 4.4 Analysensiebung 135
 - 4.4.1 Einleitung 135
 - 4.4.2 Probenahme 137
 - 4.4.3 Probenvorbereitung 139
 - 4.4.4 Siebanalyse 141
 - 4.4.4.1 Handsiebung 142
 - 4.4.4.2 Plan-Prüfsiebung 143
 - 4.4.4.3 Wurf-Prüfsiebung 143
 - 4.4.4.4 Nass-Prüfsiebung 144
 - 4.4.4.5 Luftstrahl-Prüfsiebung 145
 - 4.4.5 Siebanalysen-Vorschriften 146
 - 4.4.6 Siebanalysengerät 150
 - 4.4.6.1 Impulsgesteuertes Analysengerät 150
 - 4.4.6.2 Luftstrahl-Präzisionssiebe 153
 - 4.4.6.3 Analysen-Nass-Siebgeräte 166
 - 4.5.6 Auswertung 169
 - 4.5.7 Typische Anwendung der Analysensiebung und Beurteilung von technischen Trennungen 170
 - 4.5.8 Versuche 174

5	Anhang	177
5.1	Literaturverzeichnis	177
5.2	Normenübersicht	179
5.3	Verwendete Formelzeichen	182
5.4	Glossar	184
	Register	209

Vorwort

Mit einer Ausnahme werden die Grundoperationen der Verfahrenstechnik ausführlich in der Fachliteratur beschrieben: Über das Siebklassieren gibt es zwar viele, in Zeitschriften und Büchern verstreute Artikel, aber ein eigenes Fachbuch fehlt. Deshalb hat die Firma Rhewum GmbH in Remscheid vor etwa zehn Jahren eine Broschüre, die „Siebfibel“, veröffentlicht. Diese hat so großes Interesse gefunden, dass wir sie jetzt zu einem Fachbuch über Sieben erweitert haben. Behandelt wird das Sieben als Grundoperation mit den dazugehörigen Maschinen (Konstruktionen, Siebflächen und Betriebsweise). Verständlicherweise stehen Erzeugnisse der Firma Rhewum im Vordergrund; andere Produkte finden aber ebenfalls Berücksichtigung, da eine objektive Behandlung des Siebklassierens unser Ziel ist.

Unter Sieben versteht man allgemein das Trennen eines polydispersen Stoffes in zwei Fraktionen: größer und kleiner als die Trennkorngröße. Diesen Vorgang nennt man Klassieren. Sind die Fraktionen verschiedene Stoffe, spricht man von Sortieren. Der Begriff Nass-Siebung bezeichnet das Trennen von Feststoff in Flüssigkeit. Obwohl diese Vorgänge der Menschheit seit Jahrtausenden bekannt sind, existiert für das Siebklassieren bis heute keine abgeschlossene Theorie, da eine Vielzahl von Einflussgrößen erfasst werden muss. Deshalb wird das Auslegen einer Siebmaschine weitgehend empirisch vorgenommen. Zweifellos ist es aber sinnvoll, möglichst viel theoretisches Wissen einzubringen, um mit weniger Experimenten auskommen zu können.

In der Praxis erweist sich der Einfluss von Sekundäreffekten wie Feuchtigkeit, elektrostatische Ladung, Feinstgutgehalt, Kornform oder Trennschärfe oft als entscheidend für die Wahl einer Siebmaschine. Für die angestrebte optimale Siebung müssen alle Faktoren berücksichtigt werden. Meist stellt sich heraus, dass die wirtschaftlichste Siebung auch die optimale Siebung ist, wobei als Betriebsweise eine stetige Siebung angestrebt

wird. Chargensiebung kommt nur noch für Analysensiebung in Frage. Trockensiebung ist immer die erste Wahl, sofern Nass-Siebung nicht zwingend vorgegeben ist; ähnlich verhält es sich mit mechanischer Siebung und Strömungssiebung.

Einsatzgebiete der Siebmaschinen sind die chemische, metallurgische und pharmazeutische Industrie sowie die Bereiche Düngemittel, Salze und Zucker, ferner Nahrungsmittel, Kunststoff- und Pigmentherstellung. Des weiteren zu nennen ist der Bereich der Steine und Erden mit seinen zahlreichen Zweigen (Kalk, Zement, Grund- und Weißputze usw.). Schließlich ist noch die Fein- und Mittelkornsiebung von Kohle und Erzen von Bedeutung.

Dieses Buch wendet sich in erster Linie an die gegenwärtigen und zukünftigen Kunden von Siebmaschinen, seien es Praktiker oder Ingenieure, aber auch an alle Fachkollegen und nicht zuletzt an Studenten der Verfahrenstechnik. Ich danke allen, die ihr Wissen und ihre Erfahrung eingebracht haben.

Kernen, im Frühjahr 2003

Prof. em. Dr.-Ing. Paul Schmidt

1

Grundlagen des Siebens

1.1

Allgemeine Bemerkungen

Zunächst sollen das Sieben und die Siebtechnik definiert und eingeordnet werden.

Nach der Gewinnung oder Erzeugung von mineralischen, synthetischen oder organischen Roh- und Zwischenprodukten liegt in den meisten Fällen ein Schüttgut mit Körnern unterschiedlicher Größe und Form vor. Zur weiteren Aufbereitung müssen diese Körnergemische in unterschiedliche Korngrößenbereiche oder -klassen getrennt werden. Dies erfolgt mithilfe von Klassierverfahren. Bei jedem Klassiervorgang erhält man zwei Kornfraktionen unterschiedlicher Größenverteilung, ein Grob- und ein Feingut. Erwünscht ist, dass sich alle Körner, die kleiner sind als die charakteristische „Trennkorngröße“ x_T , im Feingut befinden, alle größeren im Grobgut.

Das einfachste mechanische Klassierverfahren ist das Sieben. Die Trennung erfolgt dabei durch häufig wiederholten, statistischen Vergleich der einzelnen Körner der Größe x mit Sieböffnungen der charakteristischen Größe w (Abbildung 1.1), wobei ein gleichzeitiger Siebguttransport auf meist bewegten Sieben erfolgt. Die potenzielle Energie des Siebgutes bewirkt bei der meist schwingenden oder rotierenden Siebbodenbewegung ein Durchfallen des Feingutes durch die Sieböffnungen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Korn durch die Sieböffnung fällt, ist um so größer, je kleiner das Verhältnis der Korngröße x zur Weite der Sieböffnung w ist. Wird das Korn annähernd so groß wie die Sieböffnung, kommt es zu Problemen. So können Grenzkörner ($0,8 w < x < w$) zu einer geringeren Siebleistung führen und schließlich Klemmkörner ($w < x < 1,2 w$) die Sieböffnungen völlig blockieren. Bei der Siebung im Feinstkornbereich ($x < 0,5 \text{ mm}$) kommt zusätzlich der Einfluss der Haftkraft ($F_H \sim x$) des Kornes hinzu, die kleiner werden kann als dessen Massenkraft ($F_M \sim x^3$).

Sieben und Siebmaschinen

Paul Schmidt, Rolf Körber und Matthias Coppers

Copyright © 2003 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KG aA, Weinheim

ISBN: 3-527-30207-7

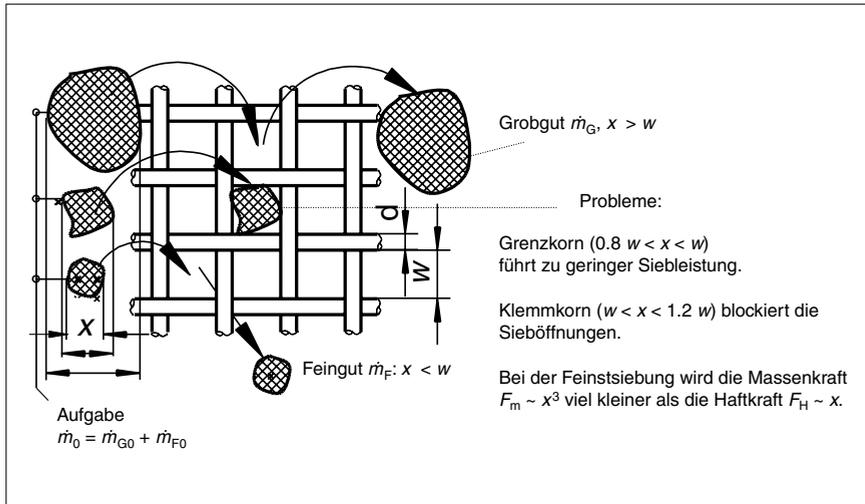


Abb. 1.1 Sieben als Vergleich der Partikelgröße x des Aufgabegutes (\dot{m}_0) mit der Maschenweite w . Trennung in Grobgut (\dot{m}_G) und Feingut (\dot{m}_F); Grenzkorn oder Klemmkorn mit $x \approx w$ führt zum Blockieren der Sieböffnungen

Nach dieser theoretischen Begriffsbestimmung des Siebens und seiner wichtigsten Probleme wollen wir einen Blick auf die Praxis werfen. Stellen Sie sich vor, Sie haben die Aufgabe, ein bestimmtes Sieb zu klassieren. Dabei interessiert Sie nicht, was physikalisch an der Siebfläche vor sich geht; Sie wollen lediglich wissen, welche Siebmaschine zu beschaffen ist und wie man sie einstellen muss, um ein optimales Siebergebnis zu erhalten. Eine solche Information liefert üblicherweise der Hersteller der Siebmaschine. Die meisten Hersteller bieten ein begrenztes Lieferprogramm, etwa Wurfsiebe oder Plansiebe, aus dem Sie ein passendes Angebot erstellen.

Nun kann Ihr zu siebendes Produkt eines von Tausenden ähnlicher Produkte sein. So ist beispielsweise Quarzsand nicht immer und überall gleich, selbst wenn die Korngrößenverteilung übereinstimmt. Es müssen dann weitere Faktoren berücksichtigt werden, etwa Durchsatz, Trennschärfe, Feuchtigkeit, Kornform, Verunreinigungen usw.

Zur Lösung eines anstehenden Problems könnte man Informationen sehr vieler Siebklassierer mit ähnlicher Aufgabe sammeln und die Antworten mithilfe eines Computers auswerten. Insbesondere durch die Anwendung von Statistik wird man dann eine brauchbare Antwort finden. Viele Hersteller gehen so vor, legen die gesammelten Daten aber nicht offen.

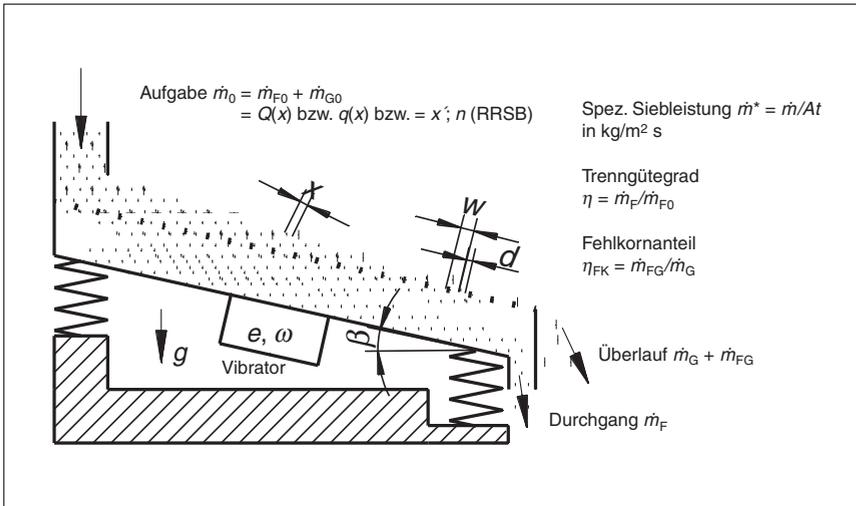


Abb. 1.2 Vorgänge beim Siebklassieren. Der Schwingungsgeber (b) bewirkt ein mechanisches Fluidisieren des Gutbettes, das zu einer Schichtbildung des Aufgabegutes \dot{m}_0 und zum Transport entlang des Siebbodens (a) führt. Trennen in Überlauf \dot{m}_G und Durchgang \dot{m}_F erfolgt durch Diffusion und Wahrscheinlichkeit unter dem Einfluss von Schwingbeschleunigung a und Erdbeschleunigung g . Es sind alle Einflussgrößen aufgezeigt, die für die Schwingesiebung maßgebend sind

Sicher werden Sie Angebote einholen, die Sie kritisch vergleichen. Wenn Ihnen das genügt, können Sie sich weiteren Zeitaufwand sparen. Wenn Sie aber grundsätzlich an Basiswissen über den Siebvorgang interessiert sind, als Betreiber ein optimales Siebergebnis erzielen wollen oder gar Siebmaschinen herstellen und entwickeln, dann wird Ihnen der folgende Text Hilfestellung bieten können.

Auch bei verfahrenstechnisch optimaler Siebung kann in manchen Fällen ein maschinentechnisch unbefriedigendes Ergebnis dazu zwingen, vom der theoretisch optimalen Vorgehen abzuweichen. Maßgebend für die Wahl von Maschinenkonstruktion und -einstellung ist letztlich die Gesamtwirtschaftlichkeit des Betriebes. So ist etwa für die Wahl zwischen Wurf- oder Plansieb oft die Veränderung des Siebgutes, etwa durch Abrieb, entscheidend.

In den meisten Anwendungsfällen handelt es sich um *stetige Siebung*, also einen kontinuierlichen Prozess. Wie Abbildung 1.2 zeigt, wird ein Aufgabestrom \dot{m}_0 über die Siebfläche geführt und in einen Feingutstrom \dot{m}_F im Durchgang und einen Grobgutstrom \dot{m}_G im Überlauf getrennt. Das