

3.3.5 Wirbelstromsortierung	187
3.3.6 Kläubung	197
3.3.7 Läutern	206
3.3.8 Sortierung nach weiteren physikalischen Eigenschaften	210

3.3.5 Wirbelstromsortierung

- abstoßende Wirkung zwischen dem äußeren Magnetfeld und dem sich aufbauenden Magnetfeld eines Leiters infolge induzierter Wirbelströme - siehe Wirkungsweise des Elektromotors
- Trennmerkmal ist die unterschiedliche spezifische Leitfähigkeit γ_e oder der spezifische Widerstand ρ_R der Stoffe, siehe auch Tabelle 2.5 im Abschnitt 2.2.2.1
- genutzt für das Recycling NE-metallhaltiger Schrotte, aluminiumfolienhaltiger Verpackungen

Bild F 3.93

... Ergänzungen notw. !!!

siehe SCHUBERT s. 189 ff

Da bei der Wirbelstromsortierung - auch als elektrodynamische Sortierung bezeichnet - die abstoßende Wirkung zwischen dem induzierenden Magnetfeld und dem Magnetfeld ausgenutzt wird, das die in den abzutrennenden Teilstücken induzierten Wirbelströme aufbauen, kommen als Wirkprinzipien nur solche Querstromtrennungen in Betracht, die der Ablenksortierung zuzuordnen sind. Trotz dieser Einschränkung im Vergleich zur Magnetscheidung existiert aber hinsichtlich der technischen Realisierung noch eine beachtliche Variationsbreite, die einerseits durch die Gestaltung der Ablenkgeometrie gegeben ist. Daraus resultiert eine Anzahl verschiedener Bauarten von Wirbelstromscheidern.

Das erste Patent für einen Wirbelstromscheider wurde schon 1889 erteilt und betraf die Abscheidung von Seifengold. Trotzdem ist es erst in jüngster Zeit zu einer bemerkenswerten industriellen Nutzung der Wirbelstromsortierung gekommen. Die Ursachen sind nicht nur darin zu sehen, daß es erst in den letzten Jahren gelungen ist, leistungsfähige Wirbelstromscheidern zu entwickeln, sondern auch in der Tatsache, daß ihre Anwendung erst im Zusammenhang mit dem Recycling NE-metallhaltiger Schrotte deutlich an industrieller Bedeutung gewonnen hat. Im Rahmen der modernen Aufberei-

tung mineralischer Rohstoffe bieten sich nämlich für diesen Sortierprozeß kaum Einsatzmöglichkeiten.

Grundlagen der Wirbelstromsortierung

Hinsichtlich der Grundlagen der Wirbelstromsortierung läßt sich auf zwei wichtige Aussagen von Abschn. 2.1.1 zurückgreifen, nämlich: Ein zeitlich veränderliches magnetisches Feld ist immer von einem elektrischen Feld begleitet (**Induktionsgesetz**); und ein stromdurchflossener Leiter baut ein magnetisches Feld auf (**Biot-Savartsches Gesetz**). Setzt man deshalb elektrisch leitende Teilstücke einem magnetischen Wechselfeld aus bzw. bewegt sie durch stationäre Magnetfelder, so werden in ihnen Wirbelströme senkrecht zum magnetischen Wechselfluß erzeugt. Diese wiederum bauen Magnetfelder auf, die den induzierenden Feldern entgegengerichtet sind, wodurch eine abstoßende Kraftwirkung hervorgebracht wird. Darauf beruht die Ablenkung von elektrisch leitenden, nichtmagnetischen Teilstücken bei der Wirbelstromsortierung.

Da das in den Teilstücken entstehende Wirbelfeld der Flußdichte des induzierenden Wechselfeldes entgegengerichtet ist, verdrängt es letzteres aus deren Innerem. Der Umfang der Verdrängung wächst mit der Frequenz des einwirkenden Wechselfeldes. In diesem Zusammenhang spricht man von der Eindringtiefe des Wechselfeldes in der Teilstücke, die mit der Frequenz abnimmt.

Schließlich ist auch zu erwähnen, daß für elektrische Maschinen und Wechselstrommagnete anstatt massiver Teile solche eingesetzt werden, die aus voneinander isolierten Blechen bestehen, um die Wirbelströme und die dadurch bedingten Verluste zu reduzieren. Dies hat für die Wirbelstromsortierung insofern Bedeutung, als daß sich sehr dünne Bleche (Folien) nicht damit abscheiden lassen.

Die theoretische Berechnung der Abstoßkräfte ist folglich sehr schwierig. Sie setzt die Kenntnis der räumlichen Ausbildung sowohl des induzierenden Magnetfeldes als auch der Wirbelströme voraus. Letzteres wiederum wird vor allem durch die Intensität und Frequenz der Einwirkung des induzierten Feldes sowie die Leitfähigkeit, Größe, Form und Orientierung der Teilstücke bestimmt. Ergebnisse entsprechender Untersuchungen bei vereinfachenden Annahmen liegen von mehreren Autoren vor. Um deren wesentliche Annahmen zu verdeutlichen, soll auf entsprechende Ergebnisse von Schlömann für einen Rutschenscheider zurückgegriffen werden. Ein solcher Scheider besteht aus einer Weicheisenplatte, auf deren Oberfläche Permanentmagnet-Streifen mit abwechselnder Polarität unter einem Winkel von $\beta_1 = 45^\circ$ zur Plattenbasis angeordnet sind. Die Platte ist unter einem Winkel β_2

zur Horizontalen derart geneigt, daß die aufgegebenen Stücke unter Schwerkraftwirkung über sie hinweggleiten und dadurch den Magnetfeldern der Wechselfolienanordnung mit vergleichsweise geringer Frequenz ausgesetzt sind. Leitende Teilstücke werden hierbei in der auf Bild 169 angedeuteten Weise aus dem Gutstrom ausgelenkt. Für leitende Kreisscheiben, deren Durchmesser D klein im Vergleich zur Periodenlänge der Magnetanordnung $2s$ (s - Polmittenabstand der Wechselfolienanordnung) ist, ergibt sich für die in y -Richtung auslenkende Komponente $F_{\text{rep},y}$ der Abstoßkraft:

$$F_{\text{rep},y} = m_p \alpha X_x$$

m_p Teilstückmasse

v_x Geschwindigkeit des Teilchen in x -Richtung

wobei der komplexe Parameter α für ein kreisscheibenförmiges Teilstück mit dem Durchmesser D gegeben ist durch:

$$\alpha_{\text{Sch}} = \frac{1}{32} \frac{\kappa}{\chi} D^2 \left(\frac{\partial B_y}{\partial x} \right)^2$$

κ elektrische Leitfähigkeit des Teilstückes

B_y y -Komponente der magnetischen Flußdichte

Aufbauend auf diesen theoretisch abgeleiteten und experimentell weitgehend bestätigten Zusammenhängen wird für die Komponente $F_{\text{rep},y}$ der Abstoßungskraft, die auf kleine Kreisscheiben wirkt, folgende Näherungsbeziehung angegeben:

$$F_{\text{rep},y} \cong m_p \frac{\kappa}{\chi} \left(\frac{D}{2s} \right)^2 B^2 v_x$$

Handelt es sich um Teilstücke, deren Abmessungen in der Größenordnung der Periodenlänge der Wechselfolienanordnung liegen, so ergibt sich bei der Ableitung eine wesentliche komplexere Abhängigkeit. So fand Schlömann für Teilstücke, die aus Metallbändern der Breite b bestehen, für α in Gl. (87) folgende Beziehung:

$$\alpha_{\text{Ba}} = \frac{1}{4} \frac{\kappa}{\chi} B_1^2 \int_{\text{Ba}} (p)$$

wobei B_1 und $f_{\text{Ba}}(p)$ durch nachstehende Abhängigkeiten gegeben sind:

$$B_z(x, y) = B_1 \sin k(x - y)$$

$$\text{mit } k = s^{1/2} \pi / 2s$$

und

$$f_{Ba}(p) = 1 - (\cosh p - \cos p) / p \sinh p$$

$$\text{mit } p = k b = 2^{1/2} \pi b / 2s$$

Umfangreiche Modellrechnungen zur Bestimmung der Abstoßkräfte, die auf parallelepipedförmige Teilstücke wirken, sind in den letzten Jahren für mehrere Scheiderkonfigurationen an der Delft University of Technology ange stellt worden. In den Berechnungsformeln sind hierbei der Einfluß der Teilchenform durch einen Formparameter sowie die Ausbildung des Magnetsystems durch einen speziellen Parameter berücksichtigt, der dessen Optimierung für gegebene Einsatzbedingungen ermöglicht.

Elektrische Leitfähigkeit κ , Dichte γ und Stoffparameter κ/γ von nichtmagnetischen Metallen

Metall	κ in $10^6 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$	γ in kg/m^3	κ/γ in $10^3 \Omega^{-1} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$
Aluminium	35	2700	13,0
Magnesium	22	1800	12,2
Kupfer	56	8900	6,3
Silber	63	10500	6,0
Zink	16	7100	2,3
Messing	11 bis 14	$\cong 8500$	1,3 bis 1,6
Zinn	9	7300	1,2
Blei	5	11300	0,4
hochlegierte Stähle	$\cong 0,7$	$\cong 7700$	0,1

In allen Berechnungsformeln für die Abstoßkräfte ist der Stoffparameter κ/γ enthalten. In Tabelle 26 sind die elektrische Leitfähigkeit κ , die Dichte γ und κ/γ für die wichtigsten Metalle, die im Zusammenhang mit der Wirbelstromsortierung von Interesse sind, zusammengestellt. Daraus ist zu erkennen, daß die günstigsten Bedingungen für eine Abtrennung für Aluminium und Magnesium gegeben sind. Demgegenüber besteht kaum eine Möglichkeit, Blei auf diese Weise von Halb- und Nichtleitern abzutrennen.

Daß die Abstoßungskraft F_{rep} vom Quadrat der magnetischen Flußdichte abhängt, verdeutlichen unmittelbar die Gln. (89) und (90). Ersetzt man unter sonst gleichbleibenden Bedingungen in der Wechseipolanordnung eines Wirbelstromabscheiders Barium- oder Strontiumferrit-Magnete mit $B_R \cong$

0,4T durch moderne Hochleistungs-Permanentmagnete mit $B_R \cong 0,8T$, so erhöht sich F_{rep} auf das Vierfache. Dies unterstreicht die große Bedeutung dieser Magnete für die Entwicklung leistungsfähiger Wirbelstromscheider.

Die erzielbare Abstoßkraft hängt weiterhin vom Abstand z zwischen Poloberfläche und Teilstück ab. Dieser Abstand wird bei einigen Scheidern mitbestimmt durch die Abmessungen des Fördermittels (Band, Trommel), das sich zwischen den Magnetpolen und dem Gutstrom befindet. Für die Abstandabhängigkeit der magnetischen Flußdichte längs der Symmetrieachse eines Pols kann man entsprechend auf Gl. (51) zurückgreifen, und zwar:

$$B/B_0 = \exp(-cz)$$

B_0 magnetische Flußdichte am Pol

c Parameter, der vom Polmittenabstand s abhängt, und zwar für Polanordnungen

- in einer Ebene: $c = \pi/s$

- auf einem Zylindermantel: $c = \pi/s + 1/R$

R Zylinderradius

Da $F_{rep} \cong B^2$ ist, wirkt sich eine Vergrößerung des Abstandes z - und damit bei gegebenem Polmittenabstand von z/s - besonders drastisch auf die Reduzierung der Abstoßungskraft aus. Durch Vergrößerung von s kann man bei der Konstruktion eines Scheiders einen größeren Abstand z in gewissen Grenzen durch Vergrößerung von s kompensieren. Jedoch sind dem Grenzen gesetzt, weil man auch die Flußdichte B im „Luftspalt“ zwischen Nachbarpolen herabgesetzt wird.

Eine weitere Größe, die bei der Wahl des Polmittenabstandes s zu berücksichtigen ist, ist die Größe der Teilstücke. Modellrechnungen über die Abhängigkeit $F_{rep} = f(z, L, s)$ sind von Barskij und Bondar angestellt worden, wobei die Größe der Teilstücke durch deren Länge L erfaßt worden ist. Das Ergebnis ist im Bild 170 dargestellt. Daraus ist zu entnehmen, daß der Polmittenabstand s in der Größenordnung der Teilstückgröße L liegen und mit Zunahme von z/L verringert werden sollte.

Eine Verbesserung der Abscheidung kleiner Teilstücke, d.h. Steigerung der auf sie wirkenden Abstoßkraft, läßt sich gegebenenfalls auch durch Erhöhung der Frequenz des auf diese einwirkenden Wechselfeldes erreichen, falls dies die Arbeitsweise des Scheiders zuläßt. Überhaupt ist die Frequenz auch im Zusammenhang mit der im vorstehenden kurz erörterten Eindringtiefe des induzierenden Feldes in das Teilstück ein Parameter, der gemeinsam mit der Teilstückgröße, der elektrischen Leitfähigkeit κ und dem Pol-

mittenabstand s zu optimieren ist. Auf der Grundlage experimenteller Untersuchungen mit Metallplatten ($L/H = 1$ bis 9) formulierten Barskij und Mitarbeiter folgendes Optimierungskriterium:

$$f = \frac{2,5 \cdot 10^5 s}{H^2 L \kappa} \quad \text{in Hz}$$

s in mm

H ; L Höhe bzw. Länge der Teilstücke in mm

κ in $(M\Omega)^{-1}m^{-1}$

Offensichtlich ist die optimale Frequenz dann gegeben, wenn die Teilstückehöhe der Eindringtiefe des induzierenden Magnetfeldes entspricht.

Wenn man die Frage nach dem bei der Wirbelstromsortierung wirksamen Trennmerkmal aufwirft, so findet man die Antwort mit Hilfe der Anfangsbeschleunigung dv/dt , die die Teilstücke bei ihrer Auslenkung aus dem Gutstrom unter der Wirkung der Abstoßungskraft F_{rep} erhalten. Vernachlässigt man weitere Kräfte, so folgt aus $F_T = F_{rep}$ bei Einsetzen von Gln. (87) und (88):

$$\left. \frac{dv}{dt} \right|_{t=t_0} = \frac{1}{32} \frac{\kappa}{\gamma} D^2 \left(\frac{\partial B_y}{\partial x} \right)^2 v_x$$

Hieraus ergibt sich $\frac{\kappa}{\gamma} D^2$ als Trennmerkmal, weil in diesem Ausdruck die

für die Trennung maßgeblichen Teilstückeeigenschaften zusammengefaßt sind. Dabei ist zu beachten, daß unter den Voraussetzungen für die Ableitung der Gln. (87) und (88) D^2 sowohl Größe und Form als auch Orientierung der Teilstücke repräsentiert. Diese Feststellung ist verallgemeinerungsfähig, wenn man bedenkt, daß von elektrischer Leitfähigkeit, Größe, Form und Orientierung der Teilstücke die Ausbildung der Wirbelströme unter der Einwirkung des induzierenden Wechselfeldes abhängt. Aus dieser Tatsache ist auch die Schlußfolgerung zu ziehen, daß eine genügend enge Vorklassierung des Aufgabegutes die Voraussetzung für das Erreichen befriedigender Trennschärfen bei der Wirbelstromsortierung ist.

Wirbelstromscheider

Was die Erzeugung der auf die Teilstücke wirkenden magnetischen Wechselfelder anbelangt, so lassen sie sich entweder mit einem Elektromagnetsystem oder mit einem Permanentmagnetsystem erzeugen, wobei die letztere

ren - vor allem verursacht durch die großen Fortschritte auf dem Gebiet der Permanentmagnetwerkstoffe in neuerer Zeit - stark an Bedeutung für die Konstruktion von Wirbelstromscheidern gewonnen haben, so daß Scheider mit Elektromagneten sehr verdrängt worden sind.

Bei Anwendung eines Elektromagnetsystems zur Erzeugung eines Wechselfeldes ist vor allem auf das Prinzip des Linearmotors der Elektrotechnik zugegriffen worden. Diesen kann man sich durch Aufschneiden und Abrollen des Ständers eines Elektromotors auf einer Ebene entstanden denken. So „entartet“ beim Wandelfeldmotor das Drehfeld zu einem Wanderfeld, das metallische Teilstücke in seiner Bewegungsrichtung auslenkt. Bild 171 verdeutlicht das Prinzip einer solchen Scheideranordnung, bei der das Magnetsystem (1) unter dem Förderband (2) angeordnet ist. Aufgrund der Bewegungsrichtung des Wanderfeldes werden die Metallstücke seitlich aus dem Gutstrom ausgelenkt, so daß sie am Bandabwurf getrennt aufgefangen werden können. Bei einigen Scheiderkonstruktionen ist die Auslenkung so stark, daß die NE-Metallstücke sogar über den seitlichen Rand des Bandes ausgetragen werden. Ein offenes Magnetsystem wie im Bild 171 hat einen relativ großen elektrischen Energiebedarf und erfordert deshalb auch Kühlung. Zur Reduzierung des Energieverbrauchs lassen sich derartige Wirbelstromscheidern aber auch mit einem geschlossenen Magnetsystem ausbilden, indem man zwei Linearmotoren übereinander mit entsprechendem Spalt anordnet. In diesem vollzieht sich dann die Trennung des Gutstromes. Da jedoch dann die Spaltweite genügend klein gehalten werden muß, ergibt sich vor allem bedingt durch die zu sortierenden Teilstückgrößen und -formen die Gefahr von Verstopfungen. Ein weiterer Nachteil aller Scheider auf Grundlage des Linearmotors besteht darin, daß bei der seitlichen Auslenkung der metallischen Teilstücke auf dem Band nichtmetallische mitgerissen werden können, so daß umfangreichere Fehlasträge die Folge sind. Dem läßt sich allerdings durch Vereinzeln des Teilstückstromes entgegenwirken, jedoch nur mit erheblichen Durchsatzminderungen.

Mit einem Ausstoß-Elektromagneten ist der im Bild 172 schematisch dargestellte Bandscheider ausgerüstet. Durch den im Inneren der Abwurfrolle (1) des Förderbandes (2) fest installierten Elektromagneten (3), der mit Wechselstrom erregt wird, werden relativ große Abstoßkräfte erzeugt, wodurch die abzutrennenden metallischen Teilstücke aus dem Gutstrom herausgehoben werden. Diese Art der Einwirkung auf den Teilstückstrom reduziert Fehlasträge von nichtleitenden Bestandteilen weitgehend.

Es sind auch mit Gleichstrom erregte Elektromagnete für Wechsellöslösungen von Wirbelstromscheidern benutzt worden. Scheider dieser Art sind aber mittlerweile für die Praxis bedeutungslos.

Zu den ersten mit einem Permanentmagnetsystem ausgestatteten Wirbelstromscheidern zählt der Rutschenscheider, dessen Arbeitsweise schon im Abschn. 2.3.1 vorgestellt worden ist. Da die Frequenz des auf die Teilstücke einwirkenden Wechselmagnetfeldes durch deren Gleitgeschwindigkeit auf der Rutsche und die Abmessungen der Magnetstreifen in Gleitgeschwindigkeit, ein eventuelles Rollen rundlicher Teilstücke oder sogar das Haften magnetischer Teilstücke auf die Trennschärfe auswirken. Schließlich ist auch der Durchsatz dieses Scheiders relativ niedrig.

Die Weiterentwicklung des dem Rutschenscheider zugrunde liegenden Auslenkprinzips führte zur Entwicklung eines Wirbelstrom-Kammerscheiders, bei dem die Auslenkung im senkrechten Spalt zwischen zwei mit Magnetstreifen belegten Weicheisenplatten geschieht, wobei die Streifen wiederum unter einem Winkel von 45° zur Plattenbasis angeordnet und nicht nur die in einer Platte nebeneinander liegenden Streifen, sondern auch die gegenüberliegenden Magnetstreifen entgegengesetzt magnetisiert sind. Hierbei sind Luftspalte bis zu 50 mm mit relativ starken Magnetfeldern möglich. Auch dieser Scheider konnte sich nicht in die Praxis einführen. Dies gilt ebenfalls für den Drehscheibenscheider, bei dem der Trennspace zwischen zwei mit gleicher Drehzahl rotierenden Scheiben liegt, deren gegenüberliegende Oberflächen mit Sektoren von Permanentmagneten abwechselnder Magnetisierung belegt sind. Aufgrund der Rotation wirkt auf die durch den Spalt fallenden Teilstücke ein Drehfeld, das die leitenden radial auslenkt. Durch Drehzahleinstellung besteht die Möglichkeit, die Frequenz des einwirkenden Wechselfeldes an die Materialeigenschaften anzupassen.

Wesentliche Fortschritte bei der Entwicklung von Wirbelstromscheidern sind nicht nur durch den Einsatz von Hochleistungs-Permanentmagneten, sondern auch durch Anwendung des von der Magnetscheider-Entwicklung her bekannten Polrades zur Erzeugung eines magnetischen Wechselfeldes erreicht worden. Scheider dieser Art haben sich nicht durch ihre Anpassungsfähigkeit mittels Drehzahlveränderung des Polrades und damit Frequenzänderung anderen Lösungen als überlegen erwiesen. Bei den hauptsächlich eingeführten Scheidern kommt dann noch hinzu, daß das Polrad im Inneren der Abwurftrömmel des Bandes rotiert, so daß die Metallstücke aus dem Gutstrom herausgehoben werden, wodurch bekanntlich höhere Durchsätze bei guter Trennschärfe möglich sind. Eine moderne Entwicklung ist der Wirbelstrom-Bandscheider mit exzentrischem Polrad, Bauart Steinert, der im Bild 173 schematisch dargestellt ist. Das Polrad (3) rotiert innerhalb der Abwurftrömmel (1). Seine exzentrische Anordnung zur Trömmel ist einstellbar und kann für unterschiedliche Materialien so optimiert werden, daß die abzutrennenden NE-Metallstücke nahezu radial aus dem Gutstrom heraus beschleunigt werden. Das Polrad besteht aus einer Wechselfeld-

nung von Nd-Fe-B-Magneten. Seine Drehzahl ist stufenlos einstellbar und läßt Frequenzen bis zu etwa 400 Hz zu, woraus die relativ hohen Abstoßkräfte resultieren und Teilstückgrößen bis zu etwa 3 mm herunter sortiert werden können. Wie für alle Wirbelstromscheider, bei denen sich Fördermittel zwischen den Poloberflächen und den Teilstücken befinden, ist bei der konstruktiven Auslegung dieser Abstand so klein wie möglich zu halten, weil sonst die auf die Teilstücke einwirkende magnetische Flußdichte B und deshalb auch die Abstoßkraft ($F_{rep} \sim B^2$) zu stark vermindert werden. In diesem Zusammenhang sollte auch der Polraddurchmesser nicht zu klein gewählt werden, weil sich dies ebenfalls negativ auswirkt. Wirbelstromscheidern im allgemeinen und solchen mit leistungsfähigen Magnetsystemen im besonderen kann nur ein Gut aufgegeben werden, aus dem ferromagnetische Anteile weitestgehend durch eine vorgeschaltete Magnetscheidung entfernt sind. Fehlausträge einer solchen Vorabscheidung stören jedoch bei der exzentrischen Polradanordnung nicht, weil infolge der Abstandszunahme zwischen den Polen und der Trommeloberfläche auf dem Wege in die untere Lage die magnetischen Kräfte so stark nachlassen, daß die ferromagnetischen Anteile dann dort abfallen. Die Bandgeschwindigkeit ist ebenfalls einstellbar, und zwar zwischen 0,5 und 2 m/s. Dieser Scheider wird bei einem Trommeldurchmesser von 400 mm und einer -breite von 500 mm für Stückgrößen bis zu 3 mm herab bei einem Durchsatz von etwa 5 t/h eingesetzt. Bei einer größeren Ausführung dieses Scheiders (Trommelbreite 1000 mm) ist die Drehzahl des Polrades nicht mehr veränderbar. Er ist für Teilstückgrößen bis zu 15 mm herab bei Durchsätzen von etwa 10 t/h vorgesehen. Die obere verarbeitbare Stückgröße dieser Scheider liegt bei etwa 100 mm.

Es sind auch Bandscheider mit konzentrischem Polrad entwickelt worden. In diesem Fall werden haftende ferromagnetische Anteile mittels des umlaufenden Bandes abgehoben.

Anwendung der Wirbelstromsortierung

Obwohl die Anwendung der Wirbelstromsortierung fast ausschließlich auf das Recycling NE-metallhaltiger Zwischenprodukte der Schrott- und Müllaufbereitung beschränkt ist, so bieten sich für diesen Prozeß in den entwickelten Industrieländern heute vielfältige Einsatzmöglichkeiten, die sich zukünftig noch erweitern dürften. Charakteristisch für ihre Einordnung in Aufbereitungsverfahren ist hierbei, daß sie im allgemeinen in Kombination mit anderen Sortierprozessen (vor allem Schwachfeld-Magnetscheidung sowie verschiedene Dichtesortier-Prozesse) für die weitere Anreicherung

von Zwischenprodukten eingesetzt wird. Tabelle 27 vermittelt einen Überblick über die gegenwärtig bekannten Einsatzgebiete.

Anwendungsmöglichkeiten für die Wirbelstromsortierung

Aufgabegut	Stückgrößen in mm	Trennprodukte	
		elektrisch leitend	elektrisch nicht- und schwachleitend
Ne-metallhaltige Zwischenprodukte der Schrottaufbereitung, ¹⁾ und zwar - Magnesium-Gummi-Zwischenprodukte - Aluminium-Glas (Steine)-Zwischenprodukte - unmagnetische Zwischenprodukte (gesiebt oder gesichtet) - schwermetallhaltige Zwischenprodukte	5(3) ... 100	Mg Al Al, Mg, Cu, Zn, Cu-Zn-Legierung Cu, Zn, Cu-Zn-Legierungen	Gummi Gummi (Steine) Pb, legierte Stähle, Nichtmetalle Pb, legierte Stähle
Vorangereicherte Zwischenprodukte der Müll-aufbereitung	< 100 (150)	Al, Cu, Zn	legierte Stähle Nichtmetalle
Glasbruch		Al	Glas

3.3.6 Klaubung

Bei den Klaubetrennungen wird das Trennmerkmal an jedem einzelnen Partikel geprüft. Körner die dabei einem Schwellenwert überschreiten (oder auch unterschreiten), werden aus dem Gut bzw. Gutstrom ausgelenkt. Beim Handklauben (Bild F 3.30) wird das Trennmerkmal (Farbe, Glanz, Dichte) individuell geschätzt, und das Auslenken geschieht manuell, Bild F 3.94.

Tabelle 3.22: Trennmerkmale für automatische Klaubetrennungen

Trennmerkmal		Sensor/Meßgerät
lichtoptisch	Reflexion (allgemein, farbspezifisch, polarisiert)	Fotozelle
dito	Durchlässigkeit	Fotozelle
dito	Fluoreszenz	Fotozelle
dito	Form	Bildanalysator
Infrarotstrahlung	Emission	Infrarotspektrometer
	Reflexion	Infrarotspektrometer
Röntgenstrahlen	Durchlässigkeit	Szintillationszähler, Impulshöhenanalysator
dito	Lichtfluoreszenz	Fotozelle
dito	Röntgenfluoreszenz	Szintillationszähler, Impulshöhenanalysator
magnetische	Leitfähigkeit	Wirbelstrom-Detektion
elektrische	niedrige Spannung	elektrischer Widerstand
Leitfähigkeit	hohe Spannung	Induktion, Wirbelstrom-Detektion

Das Handklauben hat noch eine gewisse Bedeutung in der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe, der Landtechnik und auch in der Lebensmitteltechnik. Der Gutstrom ist derart am Klaubepersonal vorbeizuführen, daß die einzelnen Körner sichtbar sind. Es empfiehlt sich, vorher das nicht klaubefähige Feinkorn zu entfernen. Die Bewegung des Gutes kann auf einer geeigneten Fläche, einer schwingenden Unterlage oder einem Band erfolgen. Beim automatischen Klauben (Bild F 3.94) wird das Trennmerkmal (z.B. Lichtreflektion, radioaktive Eigenstrahlung, Leitfähigkeit) der einzelnen an einem Detektor vorbeizuführenden Körner gemessen und entsprechend eine automatische Auslenkvorrichtung (mechanisch, pneumatisch) betätigt. Diese Prozesse erfordern eine relativ enge Vorklassierung. Das automatische Klauben hat sich in neuerer Zeit stark entwickelt und wird heute

- in der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe (z.B. Klauben von Farbsat, Kalkstein für chemische Zwecke, Uranerze),
- in der Recyclingtechnik für grobstückiges Gut (z.B. Aussortieren von Papier, Kunststoffen, Glas, Metallen, Elektronikbauteilen u.a.m. aus Siedlungsabfällen, Baustellenmischabfällen, DSD-Leichtstoffen von Gewerbe und Haushalten)
- sowie in der Land- und Lebensmitteltechnik (z.B. Sortieren von Kaffee- und Kakaobohnen) angewendet.

Wegen der Vielfalt nutzbarer Trennmerkmale ist eine weiter zunehmende Nutzung zu erwarten. Eingeführt sind Klaubebänder **F 3.95** und rotierende Klaubetische.

Bei den Klaubentrennungen wird das Trennmerkmal an jedem einzelnen Korn bzw. Teilstück geprüft. Körner bzw. Teilstücke, die hierbei einen Schwellenwert überschreiten (oder auch unterschreiten), werden aus dem Gut ausgesondert bzw. aus dem Gutstrom ausgelenkt. Beim Handklauben wird das Trennmerkmal entweder vom Klaubepersonal durch Einschätzung (vor allem von Farbe, Glanz, Dichte und/oder Form) oder unter Zuhilfenahme eines Meßgerätes (z.B. für elektrische Leitfähigkeit, Thermospannung, emittierte Strahlung durch Anregung) bewertet und danach von Hand ausgesondert bzw. ausgelenkt, wobei im Falle der Inanspruchnahme eines Meßgerätes der Gutstrom zur Meßwertgewinnung kurzzeitig unterbrochen werden muß. Beim automatischen Klauben wird der Trennmerkmalswert (z.B. Lichtreflexion, radioaktive Eigenstrahlung, elektrische Leitfähigkeit, angeregte emittierte Strahlung) der einzeln an der Meßvorrichtung vorbeizuführenden Körner bzw. Teilstücke gemessen und nach Auswertung entsprechend eine automatische Auslenkvorrichtung (pneumatisch, mechanisch) betätigt, wobei Meßwertgewinnung, -auswertung und Bestätigung der Auslenkvorrichtung in Sekundenbruchteilen geschehen müssen. Dies setzt neben einer dafür geeigneten Analyseverfahren die Anwendung elektronischer Geräte voraus. Die Entwicklung der automatischen Klaubung, deren Anfänge etwa 50 Jahre zurückreichen, ist deshalb eng mit der Elektronik verbunden gewesen und hat in jüngster Zeit - vor allem mit angeregt durch die Erfordernisse des Recyclings - zu wichtigen neuen Einsatzmöglichkeiten im industriellen Maßstab geführt.

Handklauben

Das Handklauben ohne Benutzung eines Meßgerätes gehört zu den ältesten Sortierprozessen, die für die Aufbereitung mineralischer Rohstoffe angewendet worden sind. Dafür sind vor allem die optischen Eigenschaften des

Gutes und gegebenenfalls zusätzlich eine gefühlsmäßige Bewertung der Dichte herangezogen worden. Wegen der relativ geringen Produktivität und somit hohen Lohnkosten ist jedoch die Handklaubung mineralischer Rohstoffe heute in den Industrieländern nahezu bedeutungslos, während sie in Entwicklungsländern noch eine gewisse Rolle spielt. Demgegenüber hat sie im Rahmen der Abfallaufbereitung (vor allem für Haus- und Gewerbemüll, besonders auch in Verbindung mit der getrennten Sammlung wichtiger Abfallarten wie Papier/Pappe/Karton, Glas, Leichtstoffe u.a.) in den Industrieländern für die Wertstoff-Gewinnung wieder eine beachtliche Bedeutung erlangt.

Für das Handklauben ohne Meßgerät sollten die Eigenschaften, die vom Klaubepersonal zu bewerten sind (optische Eigenschaften, Form, Dichte u.a.), genügend ausgeprägt sein, damit eine schnelle und „trennscharfe“ Entscheidung möglich ist. Deshalb müssen die Körner bzw. Teilstücke auch frei von oberflächlich haftenden Überzügen sein, so daß manchmal eine vorgeschaltete Läuterung erforderlich werden kann. Im Hinblick auf die Produktivität sollte beim Klauben immer jener Bestandteil ausgesondert werden, der den geringeren Anteil ausmacht. Was die klaubbaren Korngrößen anbelangt, so dürfte bei mineralischen und ähnlichen Stoffen die untere Grenze etwa 40 mm, die obere etwa 500 mm betragen. Bei Abfallstoffen können sich diesbezüglich aber mehr oder weniger große Abweichungen ergeben.

Der Gutstrom ist unter solchen Bedingungen am Klaubepersonal vorbeizuführen, daß die einzelnen Stücke sichtbar sind und ausreichende Zeit für das Klauben zur Verfügung steht. Es empfiehlt sich, vorher das nicht klaubfähige Feinkorn zu entfernen sowie gegebenenfalls den zu klaubenden Gutstrom durch Siebung zu unterteilen und die Teilströme getrennt zu klauben. Der Transport des Gutes geschieht vorwiegend auf Bändern, geeigneten Ebenen oder Schwingförderern, wobei Bänder vorherrschen. Das Klaubepersonal befindet sich beiderseitig des Gutstromes. Die Arbeitsbreite je Klauber längs des Stromes sollte etwa 1,50 bis 1,80 m betragen, die Arbeitstiefe unter normalen Verhältnissen 0,60 m nicht übersteigen, so daß die Klauber die auszulesenden Stücke durch eine einfache und wenig Kraft erfordernde Bewegung entfernen können. Dabei müssen sie in der Lage sein, den Gutstrom zu beobachten. Dies erreicht man bei der bisher beschriebenen Anordnung meist dadurch, daß neben den Klauben Schurren angeordnet sind.

Eine leistungsfähige Methode stellt die Schiebemethode dar. Hierbei wird das Gut relativ breiten Bändern (1600 bis 2400 mm) entweder nur in der Mitte oder in zwei Teilströmen auf beiden Seiten zugeführt. Das Klaubepersonal verschiebt mit Hilfe leichter Rechen die auszuklaubenden Stücke aus

dem Strom auf die freien Flächen zu gesonderten Teilströmen. Am Ende des Bandes werden die Produkte getrennt abgezogen.

Durch geeignete Beleuchtungsverhältnisse sollte die Klaubetätigkeit erleichtert werden. Wichtig ist eine gute, blendungsfreie Beleuchtung. Mit Hilfe einer geeigneten Beleuchtung können die Farbunterschiede deutlicher hervorgehoben werden.

Die besten Bedingungen für das Handklauben sollten jeweils durch Versuche bestimmt werden. Die Klaubeleistung hängt vor allem von der Korn- bzw. Stückgröße ($\sim d^{2\text{bis}3}$), der Dichte, der Kontinuität des Gutstromes und der Schwierigkeit der Entscheidung ab. Ein bis zehn Stücke können je Klauber beim Klauben ohne Meßgerät etwa in der Minute ausgelesen werden.

Die Handklaubung mit Meßgerät hat für die Sortierung von Schrotten und metallhaltigen Abfällen eine gewisse Bedeutung. Eingeführt haben sich Meßmethoden, von deren Meßwerten unmittelbar auf die chemische Zusammensetzung geschlossen werden kann, sowie solche, die physikalische Eigenschaften messen, die von der stofflichen Zusammensetzung abhängen. Zur zuerst genannten Gruppe gehören:

- die Schleiffunkenanalyse, insbesondere für die Vorsortierung legierter Stahlschrotte,
- die Emissionsspektralanalyse, insbesondere für die Sortierung legierter Stahlschrotte und Kupferlegierungsschrotte,
- die Röntgenfluoreszenzanalyse.

Zur zweiten Gruppe zählen Geräte zur Messung von:

- der elektrischen Leitfähigkeit mittels Induktion von Wirbelströmen,
- Kontaktthermospannungen.

Bei der Handklaubung mit Meßgerät werden die Teilstücke einem Klaube zugeführt und dort vom Klaubepersonal mittels eines tragbaren Gerätes analysiert oder mit Hilfe einer handhabbaren Sonde abgetastet, deren Meßwerte zu einem ortsfesten Geräteteil zur Auswertung übertragen werden. Anschließend geschieht die Sortentrennung von Hand.

Automatisches Klauben

Für das automatische Klauben ist eine genügend enge Vorklassierung des Aufgabegutes unverzichtbar, wobei das Verhältnis d_o/d_u einer jeweils gemeinsam verarbeitbaren Korngrößen- bzw. Stückgrößenklasse im Bereich

von 1,5 bis 3 liegen sollte. Je enger klassiert wird, um so besser ist die Trennschärfe. Außerdem kann sich dort, wo Oberflächeneigenschaften als Trennmerkmal in Anspruch genommen werden (d.h. vor allem beim fotometrischen Klauben), eine vorgelagertes Waschen zur Entfernung oberflächlicher Verunreinigungen erforderlich machen.

Ein automatischer Klaubeprozess wird durch drei aufeinander folgende Prozessstufen realisiert, und zwar:

- Vereinzeln der Körner bzw. Teilstücke des Gutstromes,
- Gewinnung von Meßwerten des Trennmerkmals an den einzelnen Körnern sowie deren Auswertung (Detektion),
- Auslenken der Körner, deren Meßwerte den festgelegten Schwellenwert überschreiten (oder auch unterschreiten) aus dem Gutstrom (Ejektion).

Für die Realisierung dieser Prozessstufen sind entsprechende Wirkprinzipien verfügbar. Hinsichtlich der Vereinzelung lassen sich zwei Zielrichtungen unterscheiden. Entweder führt man die Körner in einer Reihe geordnet oder als Einkornschicht zur Detektion, wobei Kontakte und instabile Lagen der Körner weitestgehend auszuschließen sind. Die zuerst genannte Vorgehensweise war die früher allein übliche, wird auch heute noch verbreitet benutzt und gewährleistet, daß von den Körnern allseitig Meßwerte erfaßbar sind. Zu ihrer Realisierung benutzt man vorwiegend Bänder, in denen sich eine oder mehrere parallele, keilförmige Längsrillen befinden, denen das Gut mittels Aufgabevibratoren gezielt zugeführt wird. Eine weitere Möglichkeit zur Vereinzelung in Reihe, die besonders für gröberes Material geeignet ist, macht von der Anwendung einer rotierenden Scheibe Gebrauch, auf der die Stücke durch die Zentrifugalkraft nach außen bewegt, an eine äußere Führungswand gedrückt und dadurch zu einer Reihe geordnet werden. Die Vereinzelung zu Einkornschichten ermöglicht im Vergleich zu der in Reihe höhere Durchsätze, sie gewährleistet aber nicht mehr die Meßwert-Abtastung an den Körnern von allen Seiten. Zu ihrer Realisierung werden hauptsächlich Aufgabevibratoren in Verbindung mit Rutschen benutzt. Neben den kurz vorgestellten wichtigsten Methoden zur Vereinzelung existieren noch weitere.

Detektions-Systeme für automatisches Klauben

Feststoffeigenschaft	Sensor
Trennmerkmal	
Optische	
- Reflektionsvermögen	

• allgemein	Fotozelle
• spezifisch	Fotozelle
• polarisiert	Fotozelle
- Durchlässigkeit	Fotozelle
- Fluoreszenz	Fotozelle
- Infrarot	Infrarotspektrometer
- Form	Bildanalysator

Röntgenstrahlen

- Durchlässigkeit	Szintillationszähler und Impulshöhenanalysator
- Fluoreszenz (sichtbar)	Fotozelle
- Röntgenfluoreszenz	Szintillationszähler und Impulshöhenanalysator

Magnetische	Wirbelstrom-Detektion
-------------	-----------------------

Elektrische Leitfähigkeit

- niedrige Spannung	elektrischer Widerstand
- höhere Spannung	Induktion oder Wirbelstrom-Detektion

Die Detektion geschieht mittels Sensoren zur Erfassung der Trennmerkmalswerte und deren elektronischer Auswertung. Tabelle 56 vermittelt einen Überblick über die Trennmerkmale sowie Sensoren, die für die automatische Klaubung zur Verfügung stehen.

Die überwiegende Anzahl von in der Praxis eingesetzten Klaubeapparaten nutzt fotometrische Detektoren. Hierbei können die Intensität des insgesamt reflektierten Lichtes (vor allem diffuse Reflexion), enge Spektralbereiche der Reflexion (Farbe) oder auch die Durchlässigkeit bewertet werden. Eine wesentliche Weiterentwicklung des fotometrischen Klaubens ist mit Hilfe von laser-fotometrischen Systemen erzielt worden, womit sich eine effektive Sortierung von Einkornschichten und wesentliche Durchsatzsteigerungen realisieren lassen. Weiterhin kann in einigen Fällen eine induzierte Fluoreszenz (z.B. für Scheelit und einige weitere Minerale durch Anregung mit UV-Licht) herangezogen werden. Im Zusammenhang mit dem Recycling (z.B. Flaschen) hat auch die Formbewertung mittels Bildanalyse Bedeutung für die automatische Klaubung erlangt. Aufgrund der Röntgenfluoreszenzstrahlung läßt sich eine Sortierung von NE-Metallen erreichen. Industriell genutzt wird weiterhin die elektrische Leitfähigkeit als Trennmerkmal. Schließlich hat von den in Tabelle 56 angeführten Trennmerkmalen noch die natürliche Radioaktivität zur Voranreicherung von Uranerzen mittels Klaubung umfangreiche industrielle Nutzung gefunden.

In den Detektions-Systemen geschieht die Auswertung der Meßergebnisse bis zur Entscheidungsfindung elektronisch, und insbesondere die Fortschritte auf dem Gebiet der Elektronik haben entscheidend zur Entwicklung moderner Klaubearbeitegeräte beigetragen, wobei zunehmend Mikroprozessoren zur Entwicklung moderner Klaubearbeitegeräte beigetragen, wobei zunehmend Mikroprozessoren zur Auswertung in die Apparate integriert worden sind.

Die selektive Ejektion geschieht heute fast ausschließlich mittels Druckluftdüsen aus den Wurfbahnen, die die Körner nach Abwurf von den Bändern oder Rutschen zurücklegen. In diesem Zusammenhang ist es zweckmäßig, die Sensoren kurz zuvor anzuordnen, damit die Zeit, in der die Körner den Weg zwischen Sensor und Ejektor zurücklegen, kurz und somit weitestgehend determiniert ist. Diese Zeit liegt der elektronischen Steuerung der Druckluftdüsen zugrunde, deren Ventile nur wenige Millisekunden geöffnet werden. Andere Formen der Ejektion sind heute nahezu bedeutungslos.

Die Arbeitsweise eines älteren fotometrischen Klaubearbeitegerätes, der aber wesentliche Merkmale widerspiegelt, soll anhand des Bildes 338 besprochen werden. Er eignet sich für die Sortierung trockener Minerale zwischen 20 und 8 mm und nutzt unterschiedliche Lichtreflexion oder -durchlässigkeit aus. Das Aufgabegut gelangt über den Aufgabevibrator (1) auf ein mit Rillen versehenes Band (2), wo die Körner in Reihe geordnet zum optischen Sortierkasten (3) transportiert werden. Auf dessen kreisförmigen Umfang sind vier Fotozellen (4) angeordnet, die auf die gegenüberliegenden farbigen Vergleichsplatten (5) gerichtet sind. Diese entsprechen hinsichtlich Farbe und Reflexion einer im Haufwerk enthaltenen Komponente und sind auswechselbar. Jedes Korn passiert den Sortierkasten im Zentrum des 4-Linien-Systems. Folglich wird die Oberfläche von 4 Seiten geprüft. Weicht ein Stück von der Vergleichsfarbe ab (zu wenig oder zu stark farbintensiv, Schmutz, Gesteineinschlüsse usw.), so ändert sich die Spannung an den registrierenden Fotozellen. Dieses Signal wird einem Verstärkersystem (6) übertragen, das einen kurzzeitigen Druckluftstoß durch die Düse (7) auslöst, so daß das Korn aus seiner Wurfbahn auslenkt und getrennt aufgefangen werden kann. Alle Lichtquellen und optische Teile sind vor Staubteilchen durch einen Druckluftvorhang geschützt. Der Klaubearbeitegerät, der zunächst zum Sortieren landwirtschaftlicher Erzeugnisse entwickelt wurde und dort sein Hauptanwendungsgebiet gefunden hat (z.B. für Kaffeebohnen), ist auch zum Erzeugen von Farbspat (Baryt) und für die Halit-Anhydrit-Trennung eingesetzt worden. Später ist eine wesentliche Weiterentwicklung dieser Apparate für mineralische Rohstoffe erfolgt. Diese betrifft die verarbeitbaren Korngrößen, die Vorbehandlung des Gutes (gegebenenfalls einschließlich Abbrausen), das Erreichen der Ordnung in Reihe sowie das optische System. Durch die verschiedenen Bauarten lassen

sich Korngrößen zwischen etwa 3 und 150 mm Korngröße - natürlich eng vorklassiert - verarbeiten. Der Durchsatz beträgt in Abhängigkeit von der Bauart und dem Korngrößenbereich 0,5 bis 40 t/h. Auf Klaubeapparaten dieser Art sind Steinsalz, Baryt, Kalkstein, Dolomit, Marmor, Talk, Feldspat, Gips, Diamant u.a. mineralische Rohstoffe erfolgreich sortiert worden. Im Bild 339 ist schematisch die Arbeitsweise eines Klaubeapparates mit laser-fotometrischem System wiedergegeben. Nach Vereinzelung zu einer Einkornschicht geschieht die Meßwerterfassung auf dem Band mit Hilfe des Systems gemäß Bild 339b. Hierbei wird der Gutstrom quer zur Förderrichtung von einem Laserstrahl abgetastet, der von dem Polygon-Spiegel (8) auf den Gutstrom zurückgeworfen wird. Die von kleinen Teilbereichen des Gutstromes reflektierte Strahlung gelangt zum Sensor (5). Die reflektierten Helligkeitswerte werden von einem Computer zu einem Rasterbild ausgewertet, auf dessen Grundlage einzelne oder Gruppen von Druckluftdüsen gesteuert werden, die in größerer Anzahl quer zur Förderrichtung angeordnet sind. Bei dem Modell 16 der RTZ Ore Sorters Ltd. geschieht die Abtastung unmittelbar nach dem Abwurf von einem 800 mm breiten Band. Ein mit 600 min^{-1} rotierender Polygon-Spiegel mit 20 Einzelspiegeln erlaubt eine Abtastrate von 2000 s^{-1} . Die Bandgeschwindigkeit beträgt 4 m/s. Dies ermöglicht Helligkeitsinformationen von Teilbereichen der Größe $2 \times 2 \text{ mm}$. Der Computer wertet die Helligkeitsinformationen aus und steuert 40 oder 80 über die Breite angeordnete Druckluftdüsen. Die mittels dieser laser-fotometrischen Klaubeapparate entsprechend etwa 25 bis 200 t/h betragen. Eine Gruppe automatischer Klaubeapparate, die insbesondere für die Erzeugung sortenreiner Produkte bei der Altglas-Aufbereitung entwickelt worden ist, hat die S+S Metallsuchgeräte und Recyclingtechnik GmbH, Schöneberg/Niederbayern, entwickelt. Das Wirkprinzip dieser Apparate gibt Bild 340 wieder. Die Vereinzelung geschieht mittels Vibrationsaufgeber und auf der Rutsche (1). Im unteren Bereich der Rutsche befindet sich ein quer zur Förderrichtung angeordnetes Detektor-System, das aus einer größeren Anzahl von Einzeldetektoren besteht. Bei einem Metallabscheider ist dies ein Multikanal-Spulensystem (2), bei einem Ausscheider für opake, nichtmetallische Teilchen ein Multi-Laser-System (3) und bei einem Apparat zur Abtrennung fehlgefärbter Glasstücke ein Multicolor-Laser-System. Die abzutrennenden Teilchen werden am unteren Rutschenende mittels eines Düsen-Systems (5) nach unten ausgeblasen.

Im Zusammenhang mit dem Recycling von Kunststoff-Abfällen wird in jüngster Zeit intensiv daran gearbeitet, auch für deren automatische Klau- bung Trennmerkmale zu finden und zu erproben, mit denen sortenreine Trennungen entweder allein oder in Kombination gelingen. Dazu bieten sich nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand neben Farbe und Form insbeson-

dere zur stofflichen Identifizierung an: NIR-Strahlung (nahes Infrarot, 700-2500 nm), Röntgenfluoreszenzstrahlung (jedoch nur für Kunststoffe, die Cl oder andere Heteroatome enthalten), Massenspektroskopie, Raman-Spektroskopie.

Für die automatische Klaubung elektrisch leitender Minerale ist der im Bild 341 dargestellte Klaubeapparat, Bauart CS-03 der Firma Gunson's Sortex Ltd., entwickelt worden. Das eng vorklassierte stückige Aufgabegut wird vom Aufgabevibrator (1) der rotierenden Scheibe (2) zugeführt, wobei die Stücke durch die Zentrifugalkraft nach außen gedrückt und mit Hilfe der Führungswände (3) sowie des Führungsbandes (4) zu einer Einkornkette geordnet werden. Passiert ein Stück die rotierende Bürstenelektrode (5), so stellt es den elektrischen Kontakt zur rotierenden Scheibe (2) her. Dabei wird seine Leitfähigkeit gemessen und mit einem vorgegebenen Schwellenwert verglichen. In Abhängigkeit zur Lage des Schwellenwertes wird die Luftdüse (8) zur Auslenkung betätigt oder nicht, nachdem noch kurz zuvor die Lage des Korns mit Hilfe des optischen Systems (6) und (7) genau erfaßt worden ist. Scheider dieser Art sollen sich z.B. für die Sortierung stückiger Eisen- und Ilmeniterze eignen, wobei bei einem Scheibendurchmesser von 1,50 m und Korngrößen von 50 bis 150 mm der Durchsatz etwa 30 t/h betragen soll.

Beim radiometrischen Klauben nutzt man Unterschiede in der natürlichen oder künstlichen Radioaktivität für die Sortierung aus. Die natürliche Radioaktivität hat vor allem für stoffliche Trennungen in der Uranerzaufbereitung Bedeutung. Uranminerale senden ohne äußere Anregung α -, β - und γ -Strahlen aus. Für die Sortierung wird nur die γ -Strahlung ausgenutzt. Diese elektromagnetische Strahlung von sehr hoher Frequenz besitzt im Vergleich zur α - und β -Strahlung eine sehr große Reichweite. Aus diesem Grunde werden in Geiger-Müller-Zählrohren nur 1 bis 2 % absorbiert, so daß für ihre Messung Szintillationszähler einzusetzen sind. Die γ -Strahlung der Uranminerale entstammt nicht allen Gliedern der Zerfallsreihe des Urans in gleichem Maße. Vielmehr sind die intensiven Strahler die Folgeprodukte des Radons. Die Kenntnis des radioaktiven Gleichgewichts ist somit für die Sortierung von großer Bedeutung. Bleibt es für das zu verarbeitende Gut gleich, können die Schwellenwerte für die automatische Klaubung entsprechend eingestellt werden. Ist es Schwankungen unterworfen, können sich dann Fehlausträge ergeben. Mit Hilfe mehrstufiger Anordnungen läßt sich dieser Mangel gegebenenfalls beheben.

Beim radiometrischen Klauben werden die Körner einzeln, in Reihe geordnet auf einem Band oder beim Fall an dem Strahlungsdetektor vorbeigeführt. Bei dem Modell 17 der RTZ Ore Sorters Ltd. ist dies ein Rillenband, und die Szintillationszähler befinden sich unter dem Band, wobei in Abhän-

gigkeit vom Erztyp jedes Korn durch mehrere Zähler abgetastet wird. Um den Einfluß von Hintergrund-Strahlung (z.B. durch Staub verursacht) zu eliminieren, ist der Detektor-Bereich mittels Bleifolien abgeschirmt. Weiterhin werden optisch die Kornquerschnittsflächen bestimmt und aus dem Ergebnis von Strahlungsmessung und der Größe der Querschnittsfläche durch elektronische Auswertung der Urangehalt der einzelnen Körner berechnet. Auf Grundlage des Vergleichs mit dem eingestellten Schwellenwert geschieht nach Abwurf des Gutstroms vom Band die Auslenkung aus den Wurfbahnen mittels Druckluftdüsen. In der Uranerzaufbereitung setzt man die radiometrische Klaubung zur Voranreicherung ein.

Zur Sortierung kann man auch die künstliche Radioaktivität ausnutzen, die sich in ihrem Wesen nicht von der natürlichen unterscheidet. Leicht aktivierbare Elemente sind z.B. Beryllium, Kupfer, Wolfram und Gold.

Auch die unterschiedliche Absorption und Streuung von β - und γ -Strahlung bieten Möglichkeiten für die Sortierung.

3.3.7 Läuern

Bild F 3.100 bis 3.103

... Ergänzungen notw. !!!

siehe SCHUBERT s. 462 ff

In manchen mineralischen Haufwerken liegen am gröberen festen Korn haftende Überzüge oder auch Agglomerate von Feinstkorn vor, die sich in ihrer mineralogischen Zusammensetzung vom Grobanteil unterscheiden. Bei anderen mineralischen Rohstoffen sind sogar die gröberen festen Bestandteile in einem fein- bis feinstkörnigen Bindemittel eingebettet. Stofflich bestehen die Überzüge, Agglomerate und Bindemittel vielfach aus tonigen, leetigen oder mergeligen Bestandteilen. Die Haftung bzw. Agglomeration beruht vorwiegend auf kapillaren Bindemechanismen, teilweise auch auf Adhäsionskräften. Bei mineralischen Rohstoffen sind mit Ausnahme der Kaolin-, Ton- und Kreideaufbereitung die gröberen Bestandteile die Wertstoffe. Auch beim Recycling fester Abfälle kann der zurückzugewinnende gröbere Wertstoff durch feine Anhaftungen verunreinigt sein. Deshalb muß es im Rahmen der Aufbereitung der genannten Roh- und Abfallstoffe das Ziel sein, die gröberen von den feineren Bestandteilen zu trennen. Dies ist dadurch möglich, daß die Überzüge, Agglomerate und/oder Bindemittel der letzteren unter Schonung der gröberen Bestandteile selektiv zerteilt, in Wasser dispergiert und im Anschluß daran durch Klassieren abgetrennt werden. In diesem Zusammenhang sind folglich auch die Festigkeitseigenschaften des Grobanteils zu berücksichtigen.

Die Dispergierbarkeit des Fein- und Feinstanteils hängt von seiner stofflichen Zusammensetzung sowie den physikalischen und physikalisch-chemischen Eigenschaften ab. Kalkig-mergelige Bestandteile sind leichter als tonig-mergelige oder sogar tonige zu läutern. Besondere Schwierigkeiten bereiten Tone mit hohem Quellvermögen (Montmorillonit), weil deren äußere Quellschichten die weitere Wasseraufnahme und damit das Dispergieren behindern.

Dann muß bei der Läuterung auf eine entsprechend intensive abrasive Beanspruchung zur laufenden Entfernung dieser Schichten abgezielt werden. Insbesondere bei höheren Feststoffvolumenanteilen kann ein Zusatz von Dispergiermitteln zur Läutertrübe vorteilhaft sein.

Das Dispergieren der Fein- und Feinstanteile einschließlich des Suspendierens in der Läutertrübe soll als Deglomerieren bezeichnet werden. In Anlehnung an Arbeiten von Hentzschel läßt sich die Kinetik einer diskontinuierlichen Deglomeration wie folgt beschreiben bis:

$$\mu(t) = \mu_0 + (\mu_{\max} - \mu_0) (1 - \exp[-k t^n])$$

bzw.

$$\mu(t) = \mu_{\max} - \mu_A \exp[-k t^n]$$

$\mu(t)$ nach der Zeit t deglomeriert vorliegender Masseanteil des Läutergutes

μ_{\max} unter gegebenen Läuterbedingungen maximal deglomerierbarer Masseanteil

μ_0 zur Zeit $t = 0$ bereits deglomeriert vorliegender Masseanteil

μ_A zur Zeit $t = 0$ nicht-deglomeriert vorliegender, dispergierbarer

rer

Masseanteil

k die Deglomerationsgeschwindigkeit kennzeichnende Konstante

Die Geschwindigkeitskonstante k hängt vom Läutergut sowie von der Art und den Betriebsbedingungen des Läuterapparates ab. Für letzteres ist vor allem der spezifische Leistungseintrag (d.h. die Energiedissipation) entscheidend. Es hat sich herausgestellt, daß nicht selten die Deglomeration befriedigend als ein Prozeß 1. Ordnung beschrieben werden kann, d.h. in Gl.(1) ist dann $n = 1$. Will man eine kontinuierliche Deglomeration beschreiben, so ist zusätzlich das Verweilzeitverhalten im Prozeßraum zu berücksichtigen.

Erst durch Klassieren wird der Läuterprozeß abgeschlossen. Abgesehen von den Ausrüstungen, bei denen das Gut auf Siebböden geläutert wird, geschieht dies durch Querstromklassierung unmittelbar in den Läuterappara-

ten. Die realisierbaren Trennkorngrößen hängen dabei auch mit von den gesamten Prozeßbedingungen ab (Trübevolumenstrom, Trübedichte, Leistungseintrag u.a.)

Eine größere Anzahl von Apparatebauarten sind für die vielfältigen Läuteraufgaben entwickelt worden. Die Wahl eines Apparatetyps richtet sich vor allem nach dem Mengenanteil an deglomerierbaren Bestandteilen und deren Dispergierbarkeit.

Sehr einfache Läuteraufgaben können auf herkömmliche Schwingsiebmaschinen gelöst werden, wenn diese mit geeigneten Druckbrausen (> 175 kPa), die über dem Siebboden anzuordnen sind, ausgestattet werden. Zum Vorläutern eignen sich am besten flache Druckstrahlen, zum Nachläutern ist ein nebelartiges Versprühen am geeignetsten. Um die Läuterung auf Schwingsiebmaschinen zu verbessern, sind spezielle Siebböden entwickelt worden, auf denen das Gut intensiver umgewälzt wird um eine längere Zeit verbleibt. Im Bild 342 ist ein derartiger Läutersiebboden dargestellt. Er besteht aus mehreren stufenförmigen angeordneten Teilsiebflächen, zwischen denen sich Läutertaschen befinden. In diesen wird das Gut umgewälzt und bebraust. Die Brausestrahlen sind nur auf die Taschen gerichtet, um einen erhöhten Siebgewebeverschleiß zu vermeiden.

Im Bild 343 ist Unterwasser-Schwingsieb, Bauart Humboldt, dargestellt. Der trogartige, auf Gummipuffern gelagerte Siebkasten schwingt in einem wassergefüllten, trichterartigen Behälter und wird von Lenkfedern geführt. Zwei Schubstangen greifen beiderseits des Siebkastens an. Das Läutergut wird mit Wasser aufgegeben. Der einstellbare Austrag an der Trichterspritze und der Überlauf an der Aufgabeseite gewährleisten einen gleichbleibenden Wasserstand. Infolge der schwingenden Bewegung des Siebes wird das Gut aufgelockert und umgewälzt. Der Durchsatz soll das Drei- bis Vierfache herkömmlicher Naßsiebungen betragen.

Der Schwingwäscher, Bauart Imperial Chemical Industries, ähnelt konstruktiv einer Rohrschwingmühle. Die beiden nebeneinander angeordneten Läuterrohre (1) sind an ihrer Unterseite mit Lochungen versehen, durch die Läutertrübe abfließen kann. Das Läutergut wird beiden Rohren auf der einen Seite gleichmäßig zugeführt, aufgrund der Schwingbewegungen intensiv durchbewegt und das geläuterte Gut auf der gegenüberliegenden Seite kontinuierlich abgezogen. Dieser Schwingwäscher kommt für den Korngrößenbereich 5 bis 200 mm in Betracht.

Liegen geringere, aber schwer deglomerierbare Anteile vor, so eignen sich meist Läutertrommeln, die mit Durchmessern bis zu 3 m und Längen bis zu 8 m gebaut werden. Es sind Gleich- und Gegenstromläutertrommeln zu unterscheiden. Im Trommelinneren sind neben Brausen Hebeleisten oder andere Einbauten vorgesehen, mit denen Hilfe das Gut gehoben und umgewälzt

wird, so daß sich eine intensive Reib- und gegebenenfalls auch Schlagwirkung ergibt. An der Austragseite können ein oder mehrere konische Trommelsiebe an die Stirnwand angesetzt sein.

Im Bild 345 ist die Läutertrommel, Bauart SKET, dargestellt. Das Gut gelangt durch die Aufgabeschurre (1) in die Trommel (2) und wird durch Leitschaufeln (3) in den Bereich der Universalschaufeln (4) gedrückt und dort einer intensiven Läuterung unterworfen. Diese Universalschaufeln sind radial angeordnete Mitnehmer, die auf der Verschleißauskleidung (5) drehbar befestigt sind. Mit Hilfe der speziellen Ausbildung der Schaufeln ist es möglich, die Läutertrommel den Eigenschaften des Läutergutes bezüglich der Dispergiereinwirkung anzupassen. Das Gut gelangt schließlich über die Stauwand (6) in die Austragkammer (7) und dann mit Hilfe der Hubschaufeln (8) in die Austragschurre (9). Die Höhe der Stauwand (6) ist einstellbar. Das Wasser wird über die Rohrleitung (10) zugeführt und verdüst. Die Trübebeströmung und damit der Klassiervorgang werden vor allem durch das Gefälle zwischen Aufgabe- und Austragstirnwand (11) und (12) bestimmt. Die Trommel ist auf Luftstreifen (14) gelagert und wird über diese angetrieben.

Bei höherem Anteil an deglomerierbaren Bestandteilen und nicht zu grobem festem Gut eignen sich die Schwerterwäschen. Im Bild 346 ist ein Schwerterwäsche, Bauart Excelsior, dargestellt. Sie besteht aus dem Schwertrog und dem Nachwaschtrog. Im ersteren bewirken die auf einer Welle schraubenartig angeordneten, säbelartig gekrümmten Schwerter das Zerteilen der deglomerierbaren Bestandteile und den Transport des Läutergutes. Als Läutertrübe dient hier die Dünnrübe der Nachwaschstufe, die dem Läutergut entgegenströmt. Der Nachwaschtrog ist in drei bis vier Kammern unterteilt. Auf der durchgehenden Welle sitzen in jeder Kammer ein mit gelochten Schaufeln ausgestattetes Schöpfrad sowie ein Trommelsieb. Das Gut wird mittels der Schöpfräder gehoben und von Kammer zu Kammer gefördert. Mit Hilfe des im Gegenstrom fließenden Wassers erfolgt die Nachläuterung. Flügelwäscher (Log washer) werden für gut < 60 mm mit hohem Tongehalt eingesetzt. Sie bestehen aus 5 bis 10 m langen Trögen, die in Längsrichtung um 10 bis 15° geneigt sind. Das Zerteilen, Durcharbeiten und Fördern des Läutergutes erfolgt mittels versetzt angeordneter Flügel, die an einer kräftigen Welle befestigt sind. Die Tröge sind mit einer oder zwei Wellen ausgerüstet. Das zu läuternde Gut wird zusammen mit dem Wasser am unteren Trogende aufgegeben, das geläuterte Gut am oberen Ende über dem Trübesiegel ausgetragen. Die Läutertrübe fließt über ein verstellbares Wehr ab. Bei Troglängen bis 10 m, Flügeldurchmessern bis 1 m und Umfangsgeschwindigkeit der Flügel von 0,8 bis 1,1 m/s kann der Durchsatz bis zu 200

t/h bei einem Leistungsbedarf bis zu 75 kW betragen. Der Wasserverbrauch liegt zwischen 1 und 5 m³/t.

Für die Abrasion von festhaftenden Oberflächenschichten an feinerem festem Korn in eingedickter Trübe (z.B. bei der Vorbereitung von oberflächlich kaolinisierten Feldspatkörnern für die Flotation) haben sich Attritoren bewährt. Dies sind Rührapparate, auf deren Welle zwei oder mehrere Blattrührer übereinander angeordnet sind. Für den kontinuierlichen Betrieb werden mehrere Attritoren zu einer Kaskade hintereinander geschaltet.

Die wichtigsten Einsatzgebiete für Läuterausrüstungen liegen in der Hartstein-, Kalk-, Sand- und Kiesindustrie, der Aufbereitung tonhaltiger Erze und von Rohkaolinen. Als weiteres Einsatzgebiet ist in jüngster Zeit die Bodensanierung hinzugekommen.

3.3.8 Sortierung nach weiteren physikalischen Eigenschaften

... Ergänzungen notw. !!!

siehe SCHUBERT s. 466 ff

Selektive Zerkleinerung mit nachfolgender Klassierung

Ausgeprägte Unterschiede hinsichtlich der Festigkeitseigenschaften der Wertstoff- und Nichtwertstoff-Bestandteile können bei der Zerkleinerung dazu führen, daß sich diese in unterschiedlichen Korngrößenklassen anreichern. Zur Zerkleinerung eignet sich besonders die Prallbeanspruchung, weil sie ohne Formzwang arbeitet. Die optimalen Prallbedingungen müssen jeweils bestimmt werden.

Durch zweistufiges Brechen auf Prallbrechern gelang es mit dem konglomeratischen Bleierz von Mechernich, bei dem Galenit als Bindemittel der Konglomerate und in Form von Konkretionen im Sandstein vorliegt, nach der folgenden Siebklassierung den Siebüberlauf + 8 mm als Berge abzustoßen. Dadurch konnten die Kosten je Tonne Durchsatz in der Anlage beträchtlich gesenkt werden.

In der westdeutschen Kaliindustrie gelang durch selektives Zerkleinern von tonhaltigen Rohsalzen in Prallbrechern beim nachfolgenden Sieben die Tonabtrennung.

Sortierung nach dem elastischen Verhalten

Auf Unterschieden im elastischen Verhalten zu trennender Körner beruht der Prallsprungprozeß, der sich teilweise für die Sortierung natürlich gerundeter Kiese in der Baustoffindustrie eingeführt hat. Die schädlichen Stoffe

(Schiefer, Sandstein, Mergel, Ton u.a.) weisen im allgemeinen andere elastische Eigenschaften als die Kieskörner auf. Der Prozeß zeichnet sich durch niedrige Anlage- und Betriebskosten aus, so daß er insbesondere bei geringen Durchsätzen geeignet ist.

Das Wirkprinzip soll anhand des Bildes 348 besprochen werden. Fällt ein Korn von der Aufgabevorrichtung A auf die geneigte Platte P, so wird es nach dem Aufprall entsprechend seinem realen elastischen Verhalten zurückgeworfen. Bei ideal elastischem Verhalten entsprächen die Absolutwerte von Aufprall- und Rückprallgeschwindigkeit einander. Praktisch tritt jedoch ein Energieverlust ein, der auf plastische Verformung, lokale Bruchvorgänge und/oder andere Einflüsse zurückzuführen ist. Vereinfachend sollen zunächst Körner betrachtet werden, die gleiche Größe sowie Form besitzen und sich lediglich hinsichtlich ihres realen elastischen Verhaltens unterscheiden. Setzt man schließlich eine reine Translation voraus, d.h., vernachlässigt Rotation vor und nach dem Stoß, so ergibt sich die Energiebilanz wie folgt:

$$W = m_p gh = \frac{m_p}{2} v_1^2 = \frac{m_p}{2} v_2^2 + \Delta W$$

v_1 Aufprallgeschwindigkeit

v_2 Rückprallgeschwindigkeit

ΔW Verlust an kinetischer Energie nach dem Aufprall

Das Verhältnis

$$\varepsilon = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 - \frac{\Delta W}{W}}$$

bezeichnet man als Rückprallkoeffizient. Dieser ist keine Konstante, sondern hängt von den Stoffeigenschaften, der Stoßenergie (d.h. von Kornmasse und Fallhöhe) sowie auch von der Kornform ab.

Nach dem Aufprall beschreiben die Körner in Abhängigkeit vom Rückprallkoeffizienten unterschiedliche Wurfbahnen. Für erfolgreiche Trennung ist eine ausreichend große Wegdifferenz erforderlich. Für die Wurfweite l nach dem Rückprall gilt bekanntlich:

$$l = \frac{v_2^2}{g} \sin 2\alpha = \frac{v_1^2 \varepsilon^2}{g} \sin 2\alpha$$

α Wurfwinkel

Für zwei Körner mit verschiedenen Rückprallkoeffizienten (ε' und ε''), aber gleicher Aufprallgeschwindigkeit v_1 ($v_1 = v_1' = v_1''$) ergibt sich die Wegdifferenz Δl im Niveau des Prallpunktes zu:

$$\Delta l = \frac{v_1^2}{g} (\varepsilon'^2 - \varepsilon''^2) \sin 2\alpha$$

Danach wird die beste Trennschärfe für $\alpha = 45^\circ$ erzielt. Die geneigte Prallplatte, die für die praktische Durchführung günstig ist, muß dann gegenüber der Horizontalen um $22,5^\circ$ geneigt sein. Δl kann weiterhin dadurch vergrößert werden, indem man das Niveau der Teiler unter das des Prallpunktes verlegt. Sprungtiefen bis zu 1 mm wirken sich noch wesentlich aus.

Es sind auch Anordnungen mit vertikaler bzw. horizontaler Prallplatte vorgeschlagen worden. Vom Standpunkt der Praxis dürfte neben der geneigten Platte noch eine rotierende Walze von Interesse sein, auf die man das Gut analog zur geneigten Platte aufprallen läßt.

Die voranstehende Ableitung stellt eine Vereinfachung dar. Praktisch sind Bedingungen des Reibungsstoßes gegeben, so daß der Aufprall eine Rotation auslöst, falls eine solche nicht schon vorher vorlag. Deshalb kann sich der Einfallswinkel φ_1 von dem Reflexionswinkel φ_2 unterscheiden. In diesem Zusammenhang ergibt sich auch ein Kornformeinfluß. Glatte, geschliffene, hochfeste Platten liefern die besten Trennergebnisse. Bei Anwendung einer Walze ist eine ständige Reinigung, gegebenenfalls mit Oberflächenbehandlung, möglich. Die Aufgabevorrichtung sind so auszubilden, daß das Gut in einer Einkornschicht ohne gegenseitige Behinderung zugeführt wird. Die Fallhöhe ist so zu wählen, daß der Bruch der Wertstoffkörper verhindert wird. bezüglich des Auftreffpunktes stofflich gleichartiger, gleich großer Körner ergibt sich eine gewisse Verteilungsbreite. Diese ist bei gerundetem Korn relativ klein, bei kantigem Korn dagegen größer. Folglich kommt dieser Prozeß vorwiegend für natürlich gerundetes Gut zur Anwendung. Die jeweils optimalen Trennbedingungen müssen von Fall zu Fall experimentell bestimmt werden.

Im Bild 349 ist das Fließbild einer zweistufigen Anlage dargestellt, in der Kiese zwischen 3 und 75 mm, vorklassiert in drei Korngrößenklassen, verarbeitet wurden. Bei Gehalten an schädlichen Bestandteilen im Rohkies von 7 bis 16 % wiesen die Fertiggiese 0,5 bis 3 % Fehlgut auf. Diese Anlagen arbeiteten automatisch und bedurften nur einer gelegentlichen Kontrolle. Der spezifische Durchsatz betrug etwa 8 bis 10 t/(m x h). In Italien wurde eine halbertechnische Anlage mit zwei hintereinander geschalteten, vertikalen Prallplatten entwickelt, denen das Aufgabegut mittels steilstehender, hinsichtlich der Neigung verstellbarer Rinnen zugeführt wurde.

Sortierung nach der Kornform

Unterscheiden sich die zu trennenden Bestandteile ausgeprägt hinsichtlich ihrer Korn- bzw. Teilstückformen, so kann man auch diesen Sachverhalt für die Sortierung ausnutzen. Bei der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe sind die Einsatzmöglichkeiten relativ beschränkt. Deutliche Formunterschiede zwischen Steinkohlen und schiefrigen Bergen, Braunkohlen und Xylit-Anteilen oder in asbest- und glimmerhaltigen Rohstoffen kann man jedoch gegebenenfalls zur Trennung heranziehen. Mehr Einsatzmöglichkeiten bieten sich in der Landtechnik sowie der Lebensmitteltechnik (z.B. Reinigen von Getreide, Saatgut u.a.). Vor allem zeichnet sich aber eine größere Bedeutung der Sortierung nach der Stückform im Rahmen des Recyclings fester Abfälle ab, weil es sich hier nicht selten um extreme Formunterschiede der zu trennenden Bestandteile handelt. Ferner gewinnt die Kornform-Sortierung bei der Herstellung feiner Pulver an Bedeutung, an die hohe Anforderungen nicht nur hinsichtlich der Größe, sondern auch der Form der Partikel gestellt werden (z.B. für die Erzeugung von pulvermetallurgischen und keramischen Hochleistungswerkstoffen, Coating Materials, Schleifmittel u.a.).

Einem Sortierprozeß nach der Korn- bzw. Teilstückform kann diese Eigenschaft entweder unmittelbar oder mittelbar als Trennmerkmal zugrunde liegen. Das Erstgenannte läßt sich durch eine geeignete Kombination von Siebböden, die sich hinsichtlich Größe und Form der Sieböffnungen entsprechend unterscheiden, sowie durch fotometrisches Klauben realisieren. Mittelbar geschieht die Sortierung nach der Form vor allem dadurch, daß das durch dieses beeinflusste Bewegungsverhalten der Körner bzw. Teilstücke ausgenutzt wird, und zwar entweder die in einem strömenden Fluid auch von der Form abhängige Widerstandskraft bzw. Sinkgeschwindigkeit oder im Kontakt mit einer festen Fläche die formabhängigen Reibungsverhältnisse.

Handelt es sich um die Trennung von rundlichem bzw. kubischem Korn von plattigem, so gelingt die Sortierung, indem man zunächst durch Siebung mit Quadrat- oder Rundlochbelägen genügend enge Größenklassen erzeugt. Diese werden anschließend auf Spaltsiebböden getrennt, deren Öffnungen so bemessen sind, daß nur die plattigen Körner bzw. Stücke passieren können. Zur Trennung stengliger oder fasriger Bestandteile von normalem Korn sind nach Zerkleinerung auf eine angemessene Korngröße auch Siebböden mit quadratischen Öffnungen benutzt worden. Als Siebmaschinen hat man Roste, Schwingsiebe und nicht selten auch Trommelsiebe eingesetzt.

Auf die Möglichkeit, fotometrischer Klaubeapparate für die Formsartierung anzuwenden, ist schon im Abschn. 5.2 hingewiesen worden.

Die Tatsache, daß in manchen festen Abfällen extreme Unterschiede in den Stückformen der zu trennenden Bestandteile vorliegen, hat zur Folge, daß die auf die Teilstücke wirkenden Widerstandskräfte eines Fluids und dadurch deren Sinkgeschwindigkeiten ganz ausgeprägt mit von der Form abhängen. Davon macht man bei der Gegenstrom- und Querstromsortierung Gebrauch, worauf schon im Abschn. 1.4 ausführlich eingegangen worden ist, so daß sich hier Ergänzungen erübrigen. Eine weitere Möglichkeit, die formabhängigen Widerstandskräfte für die Sortierung auszunutzen, ist beim Siebbandscheider mit Absaugung verwirklicht, dessen Wirkprinzip Bild 350 widerspiegelt. Die durch das ansteigende Siebband (1) gesaugte Luft drückt folienartige Stücke an dieses, so daß sie von ihm aufwärts zum Abwurf an der oberen Umlenkrolle gefördert werden, während sich die rollfähigen Stücke zu unteren Umlenkrolle bewegen und dort das Band verlassen. Dieses Wirkprinzip ist auch für die Entwicklung eines Siebtrommelscheiders zur Kornformsortierung feiner Pulver zugrunde gelegt worden.

Bekanntlich beginnen rundliche und auch kubische Körner auf einer Fläche beim Überschreiten einer kritischen Neigung abzurollen, bei der solche mit davon stärker abweichenden Formen noch haften bleiben oder höchstens abgleiten können. Zur Ausnutzung dieses formabhängigen Reibungsverhaltens für die Sortierung ist eine größere Anzahl von Scheiderbauarten entwickelt worden. Diese besitzen entweder eine feststehende oder eine bewegte Trennfläche, deren Neigung den jeweiligen Erfordernissen anzupassen ist.

Eine feststehende Trennfläche ist in der ehemaligen UdSSR zur Trennung Asbest und Gangart benutzt worden, indem man die Gleit- oder Rollbewegung zurückzuführenden unterschiedlichen Abwurfweiten ausnutzte. Das gerät besteht aus mehreren untereinander angeordneten, jeweils entgegengesetzt geneigten Rinnen, von denen die nachfolgende das steiler abfallende Asbestprodukt auffängt und nachreinigt, während die weiter abgeworfenen Berge getrennt aufgefangen werden. Die Trennung feiner Körnungen auf geneigten Trennflächen können Haftkräfte behindern. Dann läßt sich die Trennwirkung durch Vibrationen der Trennfläche verbessern.

Im Bild 351 sind schematisch Scheiderbauarten dargestellt, bei denen die Sortierung von rollfähigen und nicht-rollfähigen Gutanteilen auf mit konstanter Geschwindigkeit bewegten geneigten Trennflächen geschieht. Das ist im Falle des Bildes 351a ein längsgeneigtes Band, dessen Neigung und Geschwindigkeit den Erfordernissen entsprechend einzustellen sind. Aber auch auf einem quergeneigten Flachband kann eine Sortierung nach der Form der Teilstücke realisiert werden. Die Trennwirkung läßt sich hier

durch umlaufende Kettenvorhänge, die über dem Band im Winkel zu dessen Förderrichtung angeordnet sind, noch weiter verbessern. Dadurch können zylindrisch geformte Stücke (z.B. Flaschen) parallel zur Förderrichtung des Bandes ausgerichtet und somit ihr Abrollen ermöglicht werden. Beim Walzenscheider geschieht die Formsartierung im oberen Bereich einer rotierenden Walze. Die Arbeitsweise eines Scheibenschneiders spiegelt Bild 351d wider. Die rotierende Scheibe ist in der gekennzeichneten Richtung geneigt. Die Aufgabe geschieht exzentrisch in der Nähe des Drehpunktes und entgegen der Drehrichtung. Die Teilchen legen entsprechend ihrer Form unterschiedliche Bewegungsbahnen zurück. Mehrere Scheiben lassen sich auf einer Welle übereinander anordnen. Derartige Scheider werden insbesondere für die Sortierung von Pulvern eingesetzt. Drehzahl und Neigung der Scheiben sind neben dem Durchsatz die wesentlichen Einflußgrößen für die Trennwirkung.

Auch auf schwingend bewegten Trennflächen läßt sich eine Formsartierung realisieren. Eine Bauart, die zur Trennung von NE-Metallen und Nichtmetallen (insbesondere Gummi und Kunststoffe) aus Zwischenprodukten der Stahlleichtschrott-Aufbereitung (vor allem Autoschrotte) unter Ausnutzung von mit auf die Stückform zurückführenden Reibungseffekten entwickelt worden ist, zeigt Bild 352. Vier linear-schwingende Trennflächen sind hierbei zum Erreichen einer hohen Trennschärfe hintereinander angeordnet. Um ein Abrollen von zylindrischen und ähnlich geformten Nichtmetallstücken (z.B. Schlauchstücke) in das NE-Metall-Produkt auszuschließen, werden diese durch Längsstege auf den Trennflächen in Förderrichtung ausgerichtet. Die Metallstücke bewegen sich aufgrund ihrer relativ niedrigen Gleitreibungszahl vor allem gleitend abwärts, während die Nichtmetallstücke aufwärts gefördert werden.

Sortierung nach thermischen Eigenschaften

Feststoffe lassen sich aufgrund unterschiedlicher Strahlungsabsorptionen trennen. Ein solcher Prozeß ist in den USA zur Abscheidung von Verunreinigungen (Dolomit, Anhydrit) aus Rohsteinsalz entwickelt und zur industriellen Anwendung gebracht worden. Man benutzt die Infrarot-Strahlung von Wolframfadenlampen (Strahlungsmaxima bei 0,9 bzw. 1,2 μm), die von Steinsalz (Halit) wenig, von den verunreinigten Mineralien aber intensiv absorbiert wird. Infolgedessen tritt eine unterschiedlich schnelle Erwärmung ein. Auf einer Unterlage, deren Erweichungstemperatur zwischen den Temperaturen der zu trennenden Bestandteile liegt, haften die Verunreinigungen (Thermoadhäsionsprozeß).

Im Bild 353 ist dieser Sortierprozeß schematisch dargestellt. Das eng vorklassierte Rohsalz wird in der rotierenden Trommel (1) mittels der Strahler (2) erwärmt und anschließend von der Rutsche (3) dem Sortierband (4) in einer Einkornschicht aufgegeben. Auf das Band ist eine dünne Schicht eines thermoplastischen Harzes aufgebracht, das Haften zwischen etwa 20 und 28 °C gewährleistet. Diese Harzschicht wird fortlaufend durch Aufsprühen aus einer Düse regeneriert, die sich in 7-min-Zyklen quer über die Unterseite des Bandes bewegt. Um die Verunreinigung dieser Schicht weitgehend zu reduzieren, ist neben einer sorgfältigen Entstaubung die laufende Entfernung haftender Staubteilchen mittels der Nylon-Bürste (6) erforderlich. Das gereinigte Steinsalz wird an der Umlenktrommel vom Band abgeworfen, und die haftenden Dolomit- und Anhydritkörner entfernt der Abstreifer (5). Bei der Sortierung der Korngrößenklassen 9,5 ... 12,7 mm sowie 7 ... 9,5 mm sind auf 1500 mm breiten Bändern und Bandgeschwindigkeiten von 4,9 m/s in 15 Stunden täglicher Betriebszeit Durchsätze bis zu 500 t erzielt worden, wobei das gereinigte Produkt 98 % NaCl enthielt. Der Harzverbrauch betrug 45 g/t gereinigtes Salz.

Nicht auszuschließen ist, daß der Thermoadhäsionsprozeß auch für andere stoffliche Trennungen genutzt werden kann.