

Bild 25. Elektrofilter
 a Rohr-Elektrofilter nach [107]
 b 2-Zonen-Platten-Elektrofilter
 1 Sprühdraht
 2 Niederschlags Elektroden
 3 Drahtführung

Die Grundgleichung für die Auslegung wurde von *Deutsch* abgeleitet [88, 98]. Mit gewissen vereinfachenden Annahmen ergibt sich für den Trenngrad eines Plattenabscheiders:

$$T(d) = 1 - \exp \left[\frac{A w_e(d)}{\dot{V}} \right] \quad (47)$$

Hierbei ist A die Fläche der Niederschlags Elektroden und \dot{V} der Gasvolumenstrom. w_e wird die effektive Wanderungsgeschwindigkeit genannt. Diese Größe beschreibt den Partikeltransport zur Niederschlagsfläche. $w_e(d)$ hängt außer von der Partikelgröße auch von der Aufladung und der Feldstärke ab [108]. Bei experimentellen Bestimmungen von w_e an praktischen Abscheideranlagen ergeben sich teilweise erhebliche Unterschiede zu den theoretischen Werten. Die Abhängigkeit der Wanderungsgeschwindigkeit von geometrischen und strömungstechnischen Einflüssen bedarf noch weiterer Aufklärung.

4.3 Abscheiden von Feststoffen aus Flüssigkeiten

4.3.1 Trennprinzipien

Die zur Fest-Flüssig-Trennung im großtechnischen Maßstab verwendbaren physikalischen Prinzipien sind in ihrer Anzahl sehr begrenzt (Tab. 9) [109, 110]. Sieht man von Verfahren ab, die sehr spezielle, selten auftretende Eigenschaften des Feststoffs ausnutzen (z. B. Abscheidung von Eisenpartikeln aus Bohrmilch durch Magnete), so verbleiben die hauptsächlich verwendeten Methoden

Tab. 9. Überblick über die Trennprinzipien für die Feststoffabtrennung aus Flüssigkeiten

Art der Kräfte	Kuchenbildung			Kuchenentfeuchtung		
	erzeugt durch	Sedimentation	Filtration	Auspressen	Gasdurchströmen	Abdrainieren
Massenkräfte	Erdbeschleunigung	Klärbecken	statisches Entwässern	Sedimentbildung in Natur Eindickspitze	—	abtropfen abseihen abrieseln
	Zentrifugalbeschleunigung	Vollmantelzentrifugen Hydrozyklone	alle filtrierenden Zentrifugen	Schlammkompression in Vollmantelzentrifugen	—	alle filtrierenden Zentrifugen
	Schwingbeschleunigung	—	Schwingsiebe Schwingrinnen	—	—	Schwingsiebe Schwingrinnen
Äußere Kräfte durch Anlegen einer Druckdifferenz	Vakuum	—	Vakuumfilter	—	Vakuumfilter	—
	Überdruck	—	Druckfilter Filterpressen	—	Druckfilter	—
Äußere Kräfte durch Volumenverminderung	Nachpressen eines Filterkuchens (hydraulisch, pneumatisch, mechanisch)	—	—	Membranfilterpressen Preßfilter	—	—
	Transport in verengtem Raum	—	—	Schneckenpressen Siebbandpressen	—	—

der Fest-Flüssig-Trennung: die Abscheidung des Feststoffs (Kuchenbildung) durch Filtration und durch Sedimentation.

In beiden Fällen wird aus den einzelnen, suspendierten Feststoffpartikeln ein Haufwerk gebildet, dessen Poren zunächst noch voll mit Flüssigkeit gefüllt sind. In manchen Anwendungsfällen genügt es, auf diese Weise eine feststofffreie, flüssige Phase zu gewinnen (Filterpresse, Kläreindicker). Meist jedoch schließt sich dieser Kuchenbildung eine weitgehende Entfeuchtung des Haufwerkes an (nun eine Flüssig-Fest-Trennung):

- das Teilentleeren der flüssigkeitsgefüllten Hohlräume mittels Durchströmen von Gasen oder Abdrainieren durch die Wirkung von Kraftfeldern (Erdbeschleunigung, Zentrifugalbeschleunigung),
- weitergehende Verminderung der Porosität des Kuchens durch Auspressen (Filterpressen mit Membran, Schneckenpressen),
- Kombination beider Methoden (z. B. Preßwalzen, Preßbänder bei Vakuumtrommelfiltern).

Basierend auf diesen Wirkprinzipien wurde eine Vielzahl von technischen Apparaten und Maschinen entwickelt, welche ihren wirtschaftlichen Einsatz in jeweils sehr verschiedenen Bereichen haben. Ihre Auswahl geschieht neben den trenntechnischen Aspekten vor allem nach Betriebsverhalten, Werkstoffausführung und Kosten.

4.3.2 Rechnerische Beschreibung der Vorgänge bei der Fest-Flüssig-Trennung

Zur Auslegung von Zentrifugen und Filtern ist es notwendig, die Eigenschaften des zu verarbeitenden Stoffes physikalisch zu beschreiben. Man findet heute zwei prinzipiell verschiedene Vorgehensweisen:

Die *analytischen Methoden* versuchen, das Verhalten der realen Produkte in physikalisch begründete Modelle zu fassen und damit der Rechnung zugänglich zu machen. Die dabei angewandten notwendigen Vereinfachungen führen jedoch häufig zu so großen Abweichungen vom gemessenen, realen Produktverhalten, daß die Modelle für die Praxis nicht verlässlich genug sind.

So ist es z. B. bis heute nicht möglich, den Widerstandsbeiwert eines Filterkuchens allein aus den Daten der beiden Phasen wie Zähigkeit der Flüssigkeit, Partikelgrößen- und Formverteilung, der Dichtedifferenz u. ä. aufgrund der verfügbaren Theorien sicher genug vorherzusagen. Für manche Vorgänge der Fest-Flüssig-Trennung gibt es bis jetzt keine ausreichenden, theoretischen Grundlagen; so kann z. B. der Widerstand eines Filtertuchs bei der kuchenbildenden Filtration wegen der Vorgänge der Feststoffeinlagerung nicht vorhergesagt werden.

Die *ingenieurmäßig-praktischen Auslegungsverfahren* bilden die Betriebsbedingungen von Filtern oder Zentrifugen möglichst getreu dem Vorgang auf der Großmaschine mit geringen Produktmengen im Labor nach und übertragen die Versuchsergebnisse wieder auf die Großausführung. Die Kombination aus beiden Methoden liefert ein Optimum an Aussagekraft: Die Theorie erlaubt ein Abschätzen der Größenordnung der Vorgänge und gibt recht gut den Einfluß der Änderung der Betriebs-Parameter an, z. B. den Einfluß der Druckdifferenz, der Entfeuchtungszeit oder der Feststoffkonzentration. Der Versuch liefert zuverlässig die absolute Größe des Ergebnisses, z. B. Restfeuchte oder Feststoffgehalt im Filtrat bei bestimmten, fixierten Betriebsbedingungen.

4.3.2.1 Sinkgeschwindigkeit von Einzelpartikeln

Die Sinkgeschwindigkeit w_a einer kugelförmigen Einzelpartikel in einem newtonschen Medium bei laminarer Umströmung unter der Zentrifugalbeschleunigung $a = r\omega^2$ beträgt:

$$w_a = \frac{(q_s - q_f)d^2 a}{18\eta} \quad (48)$$

Entsprechend der großen Variationsbreite jedes Faktors bei technisch vorkommenden Suspensionen kann sich dieser Wert w_a über viele Zehnerpotenzen erstrecken. Dies ist einer der Gründe für die Vielfalt der entwickelten und auch benötigten unterschiedlichen Trenngeräte. Gegenüber realen technischen Suspensionen berücksichtigt diese Beziehung u. a. nicht

- höhere Feststoffkonzentrationen, bei denen eine gegenseitige Behinderung der Partikeln auftritt,
- verschiedene Kornformen.

4.3.2.2 Gesetz der kuchenbildenden Filtration

Ausgehend vom Gesetz von Darcy ergibt sich der Flüssigkeitsdurchsatz bei laminarer Strömung durch ein poröses Haufwerk (Filterkuchen) mit der Durchlässigkeit B_0 , dem Widerstand des Filtermittels r_0 , dem Widerstandsbeiwert α des Kuchens und der Kuchenhöhe h_K zu

$$\dot{V} = \frac{A B_0}{\eta} \frac{dp}{dl} = \frac{A \Delta p}{\eta(\alpha h_K + r_0)} \quad (49)$$

Für die kuchenbildende Filtration kann man eine Differentialgleichung ansetzen, deren Lösung für die meist vorkommende Randbedingung konstanten Differenzdrucks lautet:

$$h_K = -\frac{r_0}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{r_0}{\alpha}\right)^2 + \frac{2\alpha^*}{\eta\alpha} \Delta p t_1} \quad (50)$$

Dabei ist α^* ein Maß für die Feststoffkonzentration und gibt die Höhe des entstandenen noch gesättigten Kuchens zur Höhe des angefallenen Filtrats an, t_1 stellt die Kuchenbildungszeit dar.

Wird der Filtertuchwiderstand gegenüber dem des Kuchens als klein angesehen, was bei technischen Anwendungen der kuchenbildenden Filtration und längeren Kuchenbildungszeiten zutrifft, so vereinfacht sich der Ausdruck zu:

$$h_K = \sqrt{\frac{2}{\eta\alpha} \alpha^*} \cdot \sqrt{\Delta p t_1} \quad (51)$$

Produkt- Einstell-

Für kontinuierliche Filter, die mit der Drehzahl n umlaufen, ergibt sich daraus mit dem Kuchenbildungswinkel β und ρ_{kt} der Dichte des trockenen Filterkuchens die Produktionsrate

$$\dot{m} = \rho_{kt} A \sqrt{\frac{2}{\alpha\eta} \alpha^* \Delta p} \frac{\beta}{360^\circ} n \quad (52)$$

4.3.2.3 Entfeuchtung des Filterkuchens

Eine Entfeuchtung des Filterkuchens kann erst erreicht werden, wenn die angelegte äußere Druckdifferenz größer ist als der Kapillardruck des Kuchens (Bild 26). Die Dynamik des Vorgangs kann nach Schubert [111] näherungsweise für jedes Stoffsystem beschrieben werden durch eine Funktion

$$\frac{S(t_2) - S_\infty}{1 - S_\infty} = f \left\{ \frac{B_0}{\varepsilon\eta} \frac{(\Delta p - p_k)}{h_K^2} t_2 \right\} \quad (53)$$

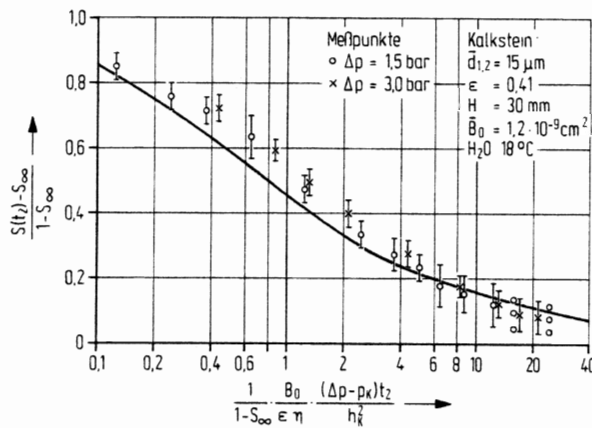


Bild 26. Entfeuchtungsverlauf

Dabei bedeuten:

$S(t_2)$ die Sättigung des Kuchens am Ende der Saugzeit t_2 , S_∞ die nach unendlich langer Saugzeit beim Druck Δp erreichbare Sättigung, h_k die Kuchenhöhe und t_2 die Entfeuchtungszeit. Die Sättigungsgrenzkurve muß durch geeignete Extrapolationsmethoden aus dem Experiment bestimmt werden.

4.3.3 Experimentelle Methoden der Vorhersage

Die einzelnen Arbeitszyklen eines Vakuumdrehfilters können mit einer Handfilterplatte und einer geringen Produktmenge nachgebildet und dabei Kuchenbildung, Filtratqualität, Restfeuchte und Luftverbrauch gemessen werden (Bild 27). Für horizontale Filter und Druckfilter dient analog eine Nutsche als Testgerät (Bild 28).

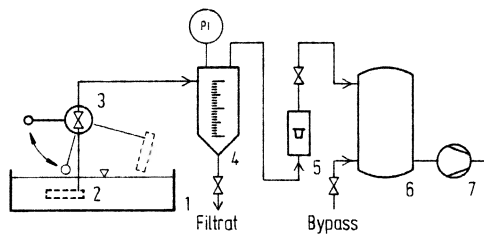


Bild 27. Handfilterversuchsstand

- 1 Suspensionsbehälter
- 2 Handfilterplatte
- 3 Schwenkvorrichtung
- 4 Filtratabscheider
- 5 Durchflußaufnehmer
- 6 Vakuumbehälter
- 7 Vakuumpumpe

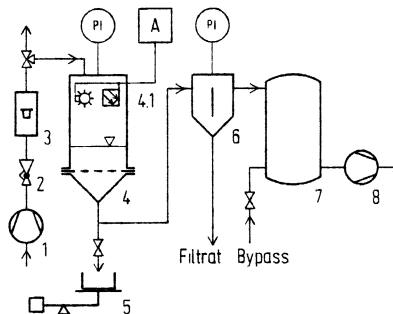


Bild 28. Drucknutschenversuchsstand

- 1 Kompressor
- 2 Druckminderer
- 3 Durchflußaufnehmer
- 4 Drucknutsche
- 4.1 Lampe und Photodiode
- 5 Waage
- 6 Filtratabscheider
- 7 Vakuumbehälter
- 8 Vakuumpumpe

Bei der Übertragung ist zu beachten, daß

- der Effekt der Tuchverlegung nicht ausreichend beurteilt werden kann,
- Entmischungserscheinungen und Querströmungseffekte (durch Rührwerk beim Großfilter bzw. Entmischung in der Nutsche) stark unterschiedliche Ergebnisse verursachen können,
- konstruktiv bedingte Erscheinungen bei Großfiltern, wie Druckabfall in den Filtratleitungen oder unvollkommene Kuchenabnahme, sich qualitäts- und durchsatzmindernd auswirken.

Zur Simulation der Bedingungen in Großzentrifugen (Kuchenhöhe, Beschleunigung, Verweilzeit) mit kleinen Produktmengen haben sich Becherzentrifugen bewährt, die ein sehr schnelles Anfahren und Abbremsen ermöglichen. Die erreichten Restfeuchten werden als Funktion von diesen Betriebswerten aufgetragen und lassen eine schnelle Beurteilung des Entfeuchtungsverhaltens zu. Es können auch Durchflußwiderstände im Fliehkraftfeld ermittelt werden.

4.3.4 Trennverfahren im Schwerfeld

Klären

Für die Trennung großer Mengen von Suspensionen ($\rho_s > \rho_f$) dienen statische Kläreindicker in rechteckiger oder runder Ausführung (Bild 29). Während die geklärte, flüssige Phase am Überlauf

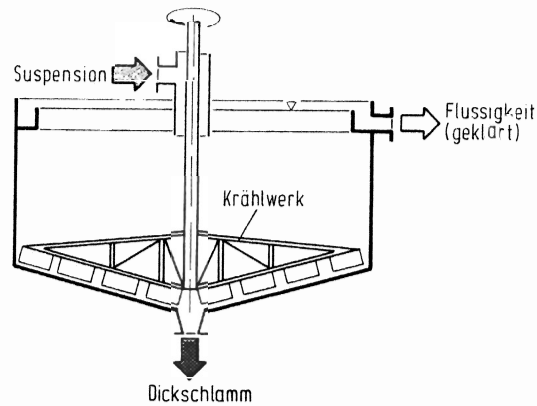


Bild 29. Kläreindicker

abfließt, wird das Sediment durch Rechen- oder Räumerkonstruktionen zur Abzugsöffnung im Behälterboden geschoben.

Eindicken

Durch die Höhe des Schlammspiegels kann bei kompressiblen Sedimenten der Eindickgrad beeinflusst werden; zur Verbesserung der Eindickung können im Boden tiefe Eindickspitzen angebracht werden. Anwendungen: Abwassertechnik, Gegenstromdekantation zur Auswaschung. Der Vorgang der Eindickung kann auch von dem der Klärung apparativ getrennt werden; dadurch ist eine getrennte Auslegung der Prozesse möglich.

Filtern

Zur Eindickung von Suspensionen mit groben Teilchen ($d > 100 \mu\text{m}$) werden *Bogensiebe* verwendet (Bild 30). Die Suspension strömt unter Druck aus tangential an das Sieb angestellten Düsen. Die Erdanziehung aber auch die Fliehkraft lassen einen Teil der Flüssigkeit, allerdings mit Feinkorn beladen, durch das Spaltsieb treten; der Feststoff tritt noch fließfähig am unteren Ende aus.

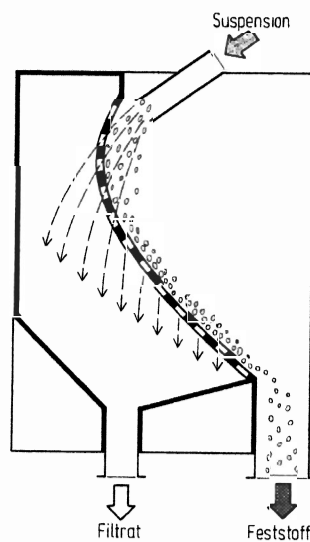


Bild 30. Bogensieb

Anwendungen: Voreindickung von Schubzentrifugen, Schwingsieben.

Suspensionen mit groben Teilchen können auf *Tropfsieben* oder *Schwingsieben* entwässert werden. Um der zulaufenden Suspension neue Filterfläche zu schaffen, wird entweder das Band bewegt oder durch vorwiegend horizontale Schwingungen ein Wandern des Feststoffs auf dem Siebboden erreicht. Bei schräger Anordnung wird der Schwingtransport durch die Erdbeschleunigung unterstützt. Neben dem Schwerfeld tragen die Schwingbeschleunigungen (bis 6 g) zur Entwässerung bei.

4.3.5 Trennverfahren im Fliehkraftfeld

Um sowohl den zeitlichen Ablauf als auch die vom Haufwerk zurückgehaltene Flüssigkeitsmenge zu reduzieren, geht man auf das Fliehkraftfeld über, wobei der Hauptbereich der Anwendungen bei 500–3000 g liegt.

4.3.5.1 Diskontinuierliche Zentrifugen

Diese Zentrifugen gehören zu den ältesten Bauarten. Dennoch haben sie wegen der großen Flexibilität in der Betriebseinstellung und damit ihrer Anpaßbarkeit an die Produkteigenschaften (beliebig einstellbare Einzelzeiten und Drehzahlen für die Teilvorgänge Füllen, Abschleudern der Mutterflüssigkeit, Waschen, Trockenschleudern, Kuchenentfernen) im Zusammenspiel mit modernen, frei programmierbaren Steuerungen ein großes Anwendungsgebiet in der chemischen und pharmazeutischen Industrie behalten. Die Konstruktionen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Anordnung (stehend, hängend, horizontal) und ihrer Art des Feststoffabtrags. Hierfür verwendet man eine Schwenkschälvorrichtung in ganzer Trommelbreite oder löffelartig mit überlagerter Axialbewegung des Schälmessers, bei Schälzentrifugen Obenentleerung mit Filtersack, Untenentleerung durch speichenförmige Trommelrückwand, pneumatische Feststoffabsaugung, ruckartiges Abbremsen der Trommel bei Zuckerzentrifugen und dadurch Losreißen des Kuchens vom Filtermedium.

Bei einer jüngeren Entwicklung wird der Wirkung des Fliehkraftfeldes durch einen sog. Rotationssyphon ein Saugzugeffekt überlagert, der bis zum Dampfdruck der Flüssigkeit unter dem Filtertuch gesteigert werden kann; ferner kann die bei allen Ausschälmethoden unvermeidliche Produktgrundsicht zwischen der Endstellung des Schälmessers und dem Filtertuch durch Rückspülen filtrierbar gehalten werden (Bild 31).

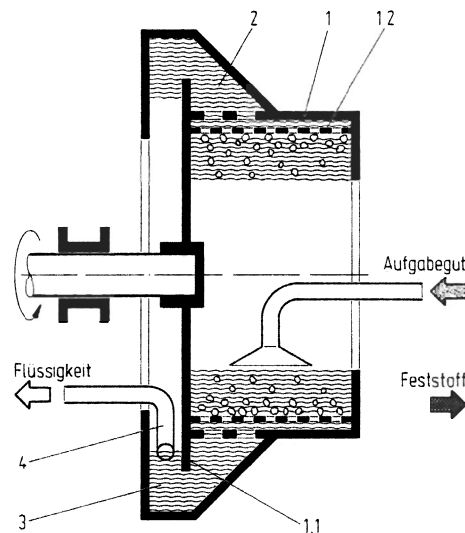


Bild 31. Schälzentrifuge mit Rotationssyphon

- 1 Zentrifugentrommel
- 1.1 Syphonscheibe
- 1.2 Filtermedium
- 2 Filtratkammer
- 3 Ringtasse
- 4 Schälrohr

4.3.5.2 Kontinuierliche Zentrifugen

In vielen Einsatzfällen sind die verfahrenstechnischen Vorzüge der diskontinuierlichen Zentrifugen nicht erforderlich, ihre chargenweise Arbeitsweise jedoch nachteilig. Hier sind kontinuierliche Zentrifugen angebracht, die sich nach der Art des Feststofftransports in der Zentrifugentrommel unterscheiden. Da in der Praxis mit Änderungen der Produkteigenschaften (Reibwerte) zu rechnen ist, kommt es entscheidend auf die Möglichkeiten der Beeinflussung des Feststofftransports an (Tab. 10).

Bei einer *Gleitzentrifuge* wird die Suspension am kleinen Durchmesser des konischen Siebkorbs meist über Ringverteiler aufgegeben (Bild 32). Die „freie“ Flüssigkeitsmenge strömt im Bereich der Aufgabeezone ab. Ein Teil der in den Poren des gebildeten Kuchens enthaltenen Flüssigkeit drainiert auf dem Weg des Kuchens über das Sieb ab. Der Konuswinkel wird bei der Gleitzentrifuge so gewählt, daß die Haftreibung des Feststoffs gerade überwunden wird, wogegen bei der *Schwing- und Taumelzentrifuge* der Kuchen ohne die Schwing- bzw. Taumelbewegung gerade noch auf dem Sieb liegenbleiben soll und erst durch die Überlagerung der axialen Kräfte eine mäßig steuerbare Gleitgeschwindigkeit des Kuchens erreicht wird.

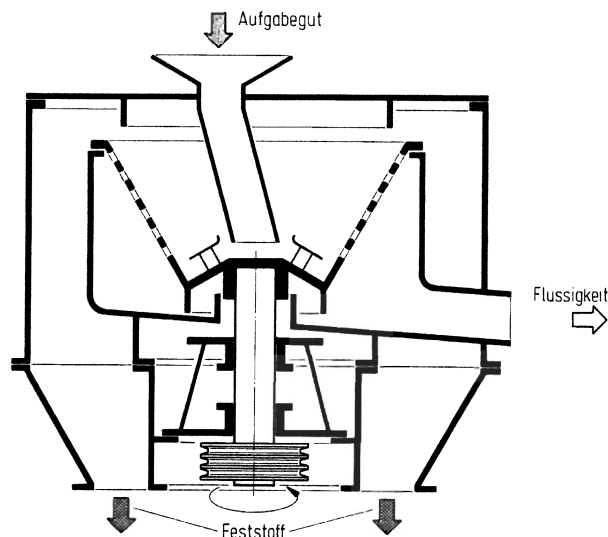


Bild 32. Gleitzentrifuge

Die Gleitzentrifuge ohne Einbauten hat wegen ihrer Empfindlichkeit auf Reibwertschwankungen nur bei der Entfeuchtung von Zucker Verbreitung gefunden (viskoses Verhalten, keine Coulombsche Reibung). In der Ausführung mit verstellbaren Leitkanaleinbauten wird sie für breite Gebiete kristalliner Stoffe eingesetzt.

Die Schwingzentrifuge (Bild 33) kann wegen der Abhängigkeit des ruckweisen Feststofftransports von der Anpreßkraft des Feststoffs auf dem Sieb und der begrenzten Schwingfestigkeit der Trommel nur mit geringen Zentrifugalbeschleunigungen (etwa 90–120 g) betrieben werden. Dadurch ist ihr Einsatz auf schnellentfeuchtendes, grobkörniges Material (> 0,5 mm) begrenzt. Einsatzgebiete von Schwing- und Taumelzentrifuge sind: Kohle 0,5–10 mm, Salze, Sande u. a.

Bei der *Schubzentrifuge* (Bild 34), ein- oder mehrstufig, wird die Reibung des Kuchens auf dem Sieb durch hydraulisch erzeugte, axiale Kräfte, die über den Schubboden in den Produktring eingeleitet werden, zwangsweise überwunden. Dadurch ist der Feststofftransport vom Reibwert weitgehend unabhängig.

Bei der *Siebschneckenzentrifuge* wird der Feststofftransport durch eine mit Differenzdrehzahl laufende Schnecke erreicht. Um die Hangabtriebskomponente teilweise auszunutzen und das

Tab. 10. Überblick über kontinuierliche Zentrifugen

Art des Stofftransportes	Förderprinzip	Trennprinzip		Beeinflussungsmöglichkeit des Stofftransportes		
		Filtration	Sedimentation	während des Betriebes	bei stillstehender Maschine	durch konstruktive Änderung
durch Massenkraft der Feststoffteilchen selbst	Hangabtriebskomponente der Fliehkraft in konischer Trommel größer als Reibkraft-Produkt – Trommel	Gleit-zentrifuge	Teller-separator	keine	bei Aus-führung mit Leitschaufeln in Grenzen möglich	durch Änderung des Konus-winkels
	durch axiale Schwingun-gen der konischen Trommel wird das Produkt ruckartig in Bewegung gebracht	Schwing-zentrifuge		durch Änderung von Amplitude und/oder Frequenz und Haupt-drehzahl		durch Änderung des Konus-winkels
	durch Taumel-bewegung der koni-schen Trom-mel wird „effektiver“ Neigungs-winkel zyklisch verändert	Taumel-zentrifuge		Änderung der Taumel-drehzahl	Änderung des Taumel-winkels und/oder der Taumel-drehzahl	durch Änderung des Konus-winkels
durch Einwirken äußerer Kräfte auf die Feststoffteilchen	Periodisch bewegter Schubboden	Schub-zentrifuge		Änderung von Hublänge und/oder Hubfrequenz		Änderung der Stufenzahl und/oder der Stufenlänge
	Förder-schnecke	Sieb-schnecken-zentrifuge	Dekantier-zentrifuge	Änderung der Differenz-drehzahl	Änderung der Differenz-drehzahl	Änderung der Auslegungs-geometrie und/oder der Reibungsver-hältnisse an Schnecken-und/oder Mantel-oberflächen
	Förder-schnecke	Siebdekanter			Niveau-änderung	

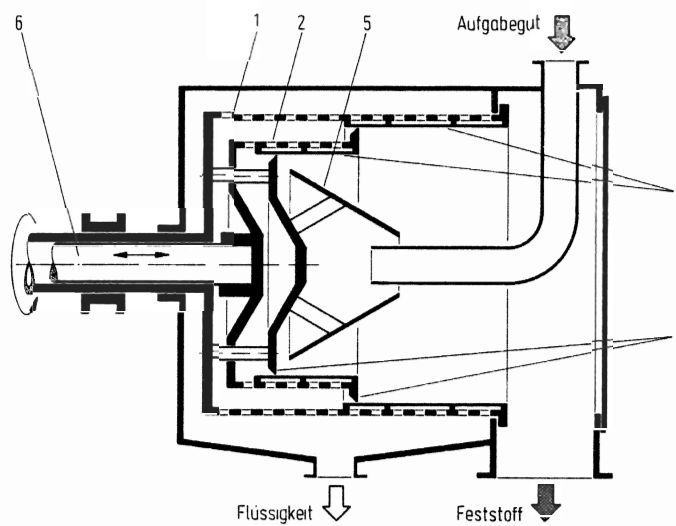
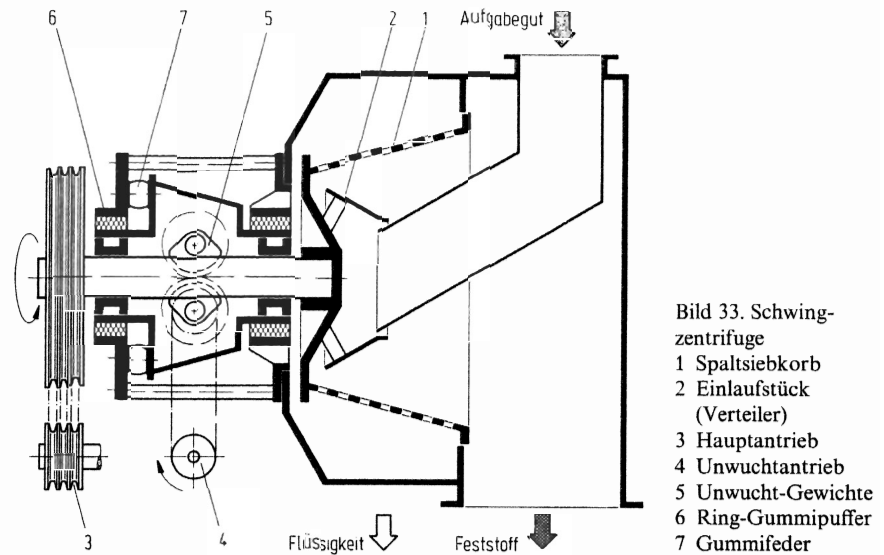


Bild 34. Schubzentrifuge

1, 2 Siebtrommeln, 3 Spaltsiebe, 4 Schubringe, 5 Verteilerkonus, 6 Schubwelle

Transportmoment zu senken, wird das Sieb meist konisch ausgeführt. Alle Siebzentrifugen erzeugen ein Filtrat mit relativ hohem Feststoffgehalt, das meist einer Nachklärung bedarf (Klärbecken, Filter).

Beim *Dekanter* (Vollmantelschnecken zentrifuge) (Bild 35) wird die Suspension über das Einlaufrohr und Durchbrüche im Schneckenkörper in den Rotor eingeführt. Durch eine Wehrscheibe am Ende der Trommel ist eine Flüssigkeitshöhe im Rotor fest eingestellt. Der Feststoff sedimentiert und wird durch die Schnecke über den Konus transportiert; die Flüssigkeit fließt unter Klärung in den Schneckenkanälen des Rotors über das Wehr der Trommel ab. Sedimentkuchen aus groben Feststoffen ($> 100 \mu\text{m}$) geben ihre freie Porenflüssigkeit durch Drainage durch den Spalt zwischen Schnecke und Konus ab; feine, schlecht filtrierende aber kompressible Kuchen

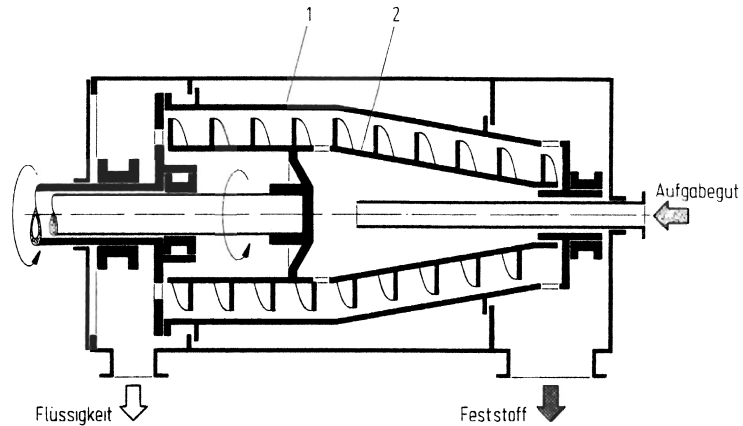


Bild 35. Vollmantelschneckenzentrifuge
1 Vollmanteltrommel, 2 Schnecke

(Schlämme) werden durch niedere Differenzdrehzahlen stark aufgestaut und entfeuchten durch Kompression bereits unterhalb des Flüssigkeitsspiegels.

Die Wirkung der Klärung kann allerdings durch Schleppwirkung der strömenden Flüssigkeit auf die bereits abgesetzten Teilchen gestört werden. Große Teichtiefen beugen diesen Störeffekten vor.

Beim Siebdekanter findet der Feststoff auf dem nachgeschalteten Siebteil bessere Bedingungen zur Entfeuchtung und Waschung. Vorbehaltlich der Lösung von Verschleißproblemen erlaubt der Siebdekanter die beste Phasentrennung auf kontinuierlichen Zentrifugen.

Die maximale Kapazität (Durchsatz) einer Zentrifuge kann durch die mit steigendem Durchsatz schlechter werdende Phasentrennung (Filtratklarheit, Restfeuchte) oder durch mechanisch bedingte Vorgänge (Rotorfestigkeit, Getriebemoment, Schubkraft) begrenzt sein. Eine Änderung der Maschineneinstellung, z. B. der Drehzahl (Umfangsgeschwindigkeit) zur Verbesserung eines Teilvorgangs (z. B. der Restfeuchte), zieht die Änderung aller anderen Teilvorgänge nach sich, wobei dann die Kapazität durch einen anderen Vorgang limitiert sein kann. Die Zentrifuge ist dann optimal eingestellt, wenn kurz über dem gewünschten Durchsatz alle Grenzen möglichst gleichzeitig erreicht werden.

4.3.6 Filtrierende Trennverfahren mit Differenzdruck

4.3.6.1 Diskontinuierliche Filter

Diskontinuierliche Filter werden auch heute noch in einer großen Zahl von konstruktiven Varianten in vielen Prozessen eingesetzt. Der Prozeßablauf ist grundsätzlich gleich dem des Filtergrundtyps, einer Nutsche. Die Vorgänge Kuchenbilden – Auswaschen – Trockenblasen – Nachpressen – Kuchenentfernen und Regenerieren des Filtertuchs werden meist vollautomatisch gesteuert; damit sind diese Filter an Produkt und Aufgabenstellung sehr weitgehend anpaßbar (Bild 36).

Die große Zahl von apparativen Ausführungen läßt sich unterscheiden nach:

- Art der Differenzdruckerzeugung (Vakuum, Druck, Kombinationen beider): das Vakuum kann durch Heberwirkung des Filtrats oder durch Fremderzeugung, der Druck hydrostatisch, durch Pumpen oder überlagerten Gasdruck aufgebracht werden;
- Anordnung und Form der Filterfläche: horizontal, vertikal, ein- oder beidseitig der Stützkonstruktion; einteilige oder mehrteilige Filterfläche, die aus Platzersparnis vielfältig geschichtet oder gestaffelt angeordnet sein kann;

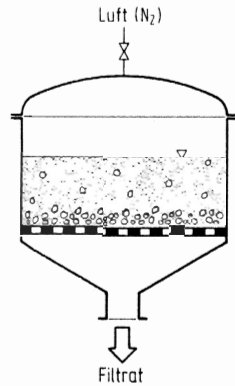


Bild 36. Drucknutsche

- Art der Kuchenabnahme: durch Rückspülen mit Filtrat, Rückblasen mit Druckluft, Abschleudern, Abvibrieren, mechanisches Abkratzen durch Messer oder Schnecken, Abfallenlassen durch Schwerkraft oder Zwangsaustag durch Abziehen mit dem Filtertuch;
- Art des Nachpressens: durch Erhöhung der Speisedrücke oder durch Nachpressen mit gummielastischen Membranen, durch Nachdrücken oder Überrollen des Kuchens.

4.3.6.2 Kontinuierliche Filter

Das Vakuumfilter ist am weitesten verbreitet. Das Grundelement, die Filterzelle, durchläuft dabei zyklisch die Bereiche der Kuchenbildung, Waschung usw. Durch Anordnen vieler Zellen auf der Oberfläche eines Drehkörpers (Trommel, vertikale Scheibe, horizontaler Teller) oder eines unendlichen, umlaufenden horizontalen Bandes entsteht eine quasikontinuierliche Produktion von Filterkuchen.

Die einzelnen, gegeneinander abgedichteten Zellen (Bild 37) werden dabei durch eine geeignete Steuerung (Steuerkopf bei Drehfiltern bzw. Steuerschiene bei Bandfiltern) zeitlich hintereinander

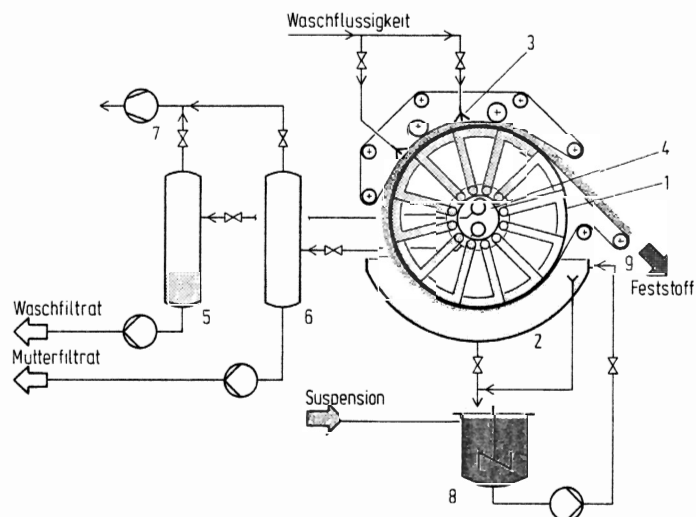


Bild 37. Vakuumfiltrationsanlage mit Waschband und ablaufendem Filtertuch
 1 Filtertrommel, 2 Filtertrog, 3 Waschvorrichtung, 4 Steuerkopf, 5 Abscheider für Washfiltrat, 6 Abscheider für Mutterfiltrat, 7 Vakuumpumpe, 8 Suspensionsbehälter

an die Zonen der Kuchenbildung–Waschung–Trockensaugung angeschlossen und entleeren das dabei anfallende Filtrat in getrennte Abscheidebehälter, in denen Flüssigkeit und Gas wieder getrennt und separat abgesaugt werden können.

Vor Abnahme des Kuchens wird die Druckdifferenz abgesteuert und der Kuchen je nach Dicke, Konsistenz und Haftung am Filtertuch durch verschiedene Vorrichtungen abgenommen. Dazu dienen Druckluftrückstoß, Schaber bei Kuchendicken > 5 mm oder Walzen, die auf dünne, pastöse Kuchen gedrückt werden und diesen durch Adhäsion aufnehmen. Der Kuchen kann so, ohne das Filtertuch zu verschmieren, von der Walze abgeschabt werden.

Bei Gefahr der Tuchverstopfung wird das Filtertuch mit von der Trommel abgezogen, beidseitig gewaschen und läuft vor der Eintauchzone wieder auf die Trommel auf. Ähnlich funktioniert die Abnahme durch Ketten oder Schnüre, die nur noch selten verwendet wird.

4.4 Klassieren in Gasen

Das Trennen einer festen, dispersen Phase in zwei oder mehr Größenklassen in einer gasförmigen Umgebungsphase nennt man Windsichten.

In der Trennzone eines Windsichters greifen an den in der Gasphase dispergierten Feststoffpartikeln in unterschiedlicher Ordnung von der Partikelgröße abhängende Kräfte an. Die Feststoffpartikeln bewegen sich auf unterschiedlichen sinkgeschwindigkeitsabhängigen Bahnkurven, so daß Größenklassen voneinander getrennt werden können.

Zu einer angenommenen Modellströmung, die der tatsächlichen Strömung in der Trennzone des Windsichters möglichst nahekommen sollte, und entsprechenden Randbedingungen läßt sich eine Elementartheorie des Trennvorgangs entwickeln, die nach Lösung der Differentialgleichungen Partikel-Bahnkurven ergibt (vgl. Abschn. 2.2). Infolge von Vernachlässigungen und wegen Sekundärströmungen geben die berechneten Partikelbahnen die tatsächliche Partikelbewegung in der Trennzone meist nur angenähert wieder, sie gestatten jedoch eine überschlägige Dimensionierung der Apparate. In den meisten Fällen lassen sich außerdem aus den berechneten Partikelbahnen prinzipielle, charakteristische Eigenschaften und Abhängigkeiten des betrachteten Trennapparates ableiten.

4.4.1 Verfahrensschritte des Windsichtens

Um in einem Windsichter eine optimale Trennung ausführen zu können, sollte die Trennzone konstruktiv so ausgebildet sein, daß die angestrebte systematische Partikelbewegung möglichst störungsfrei verwirklicht wird und zufällige, die Partikelbewegung verändernde Einflüsse auf ein unvermeidbares Maß verringert werden. Dies bedeutet aber, daß in der Trennzone eines Wind-

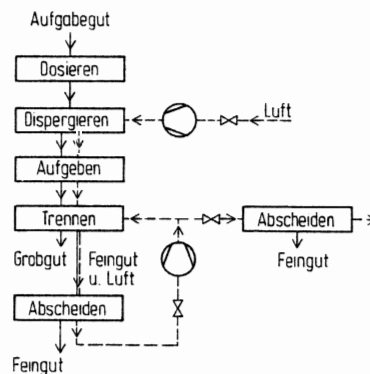


Bild 38. Verfahrensschritte des Windsichtens