

Mechanische Flüssigkeitsabtrennung in der Lebensmittelverfahrenstechnik

Harald Anlauf* und Hermann Nirschl

In memoriam H. G. Kessler (1932 – 1998)

In der Lebensmitteltechnologie findet sich eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Aufgabenstellungen für die mechanische Flüssigkeitsabtrennung. Dies ist durch die stark differierenden Produkteigenschaften, die zulässigen Prozessbedingungen und die Forderungen an das Verfahrensergebnis begründet. Zur Lösung dieser Trennaufgaben kann im Prinzip auf die ganze Breite der mechanischen Trenntechnik zurückgegriffen werden, welche auch in anderen Branchen Anwendung findet. Die speziellen Eigenschaften der hier zu behandelnden Produkte und die Anforderungen zur Gewährleistung der geforderten Produktqualitäten machen meist eine entsprechende Anpassung der trenntechnischen Apparate an diese Erfordernisse notwendig. Dies betrifft insbesondere den hygienischen Umgang mit den zu trennenden Stoffen oder auch die Sensorik, welche durch den Verarbeitungsprozess nicht negativ beeinflusst werden darf. Insbesondere im Bereich der Abtrennung von Kolloiden und gelöst vorliegenden Makromolekülen erobern sich mechanische Membrantrennverfahren immer weitere Anwendungsfelder, welche traditionell thermischen Verfahren vorbehalten waren.

Schlagwörter: Filtration, Flüssigkeitsabtrennung, Hygiene, Lebensmittelverfahrenstechnik, Sedimentation

Eingegangen: 2. Februar 2008; *akzeptiert:* 14. Mai 2008

1 Einführung

Die Abtrennung von Flüssigkeit aus Suspensionen kann auf mechanischem oder thermischem Wege erfolgen. Der thermische Weg erfordert eine Erhöhung der Suspensionstemperatur bis zum Siedepunkt der Flüssigkeit und den Übergang von der flüssigen in die Dampfphase. Dieses Verfahren ist im Vergleich zur mechanischen Flüssigkeitsabtrennung wesentlich energieintensiver und birgt durch die höheren Temperaturen bei der Verarbeitung von Lebensmitteln häufig die Gefahr einer Qualitätsminderung des Produktes. Demgegenüber erlauben die Verfahren der mechanischen Flüssigkeitsabtrennung, wie Filtration oder Sedimentation, eine wesentlich energiesparendere und häufig produktschonendere Arbeitsweise. Dies schließt thermische Verfahren aber keineswegs aus, wie das Beispiel der im Lebensmittelbereich häufig eingesetzten Sprühtrocknung zur gezielten Einstellung von Instantisierungseigenschaften

von Produkten zeigt. Als Regel könnte also formuliert werden, dass mechanische Flüssigkeitsabtrennung dort eingesetzt werden sollte, wo es möglich und thermische Trocknung dort, wo es nötig ist.

Mindestens ein unumgänglicher Prozessschritt zur mechanischen Flüssigkeitsabtrennung lässt sich aber in praktisch jedem Verfahren der lebensmitteltechnischen Produktaufarbeitung finden. Von der Getränkeklärung über die Entharmung von Milch und andere Anwendungen in der Molkereitechnik, die Dreiphasenseparierung von pflanzlichen Speiseölen, die Bleicherdeentfettung bei der Margarineherstellung, das Auspressen und Entsaften von Gemüseschnitzeln und Obstmaische, die Abtrennung von Hefe aus Fermentationsbrühen und Trub aus Gärprozessen der Wein- und Bierherstellung, die Gewinnung von Stärke, Gelatine, Pektinen oder allgemein von Biopolymeren in Form von Polysacchariden und Proteinen bis hin zu parenteralen Nährstoffen existiert hier eine

Die Abtrennung von Flüssigkeit aus Suspensionen kann auf mechanischem oder thermischem Wege erfolgen.

Der Umgang mit verderblichen Lebensmitteln, Nährstoffen und Getränken erfordert zur Gewährleistung ausreichender Produktqualität und -sicherheit die Erfüllung mehr oder weniger hoher hygienischer Standards.

schier unendlich große Zahl stofflich extrem unterschiedlicher Produkte. Meist müssen sogar mehrere Fest/Flüssig-Trennaufgaben auf dem Weg zur Herstellung eines einzigen Produktes gelöst werden. So erfordert etwa die Gewinnung von Kristallzucker unter anderem die Aufbereitung des Rübenwaschwassers, das Auslaugen und Auspressen der Rübenschnitzel, die Trennung und Absüßung (Waschung) der Karbonatationsschlämme, die Zentrifugation der Zuckerkristalle und die Abtrennung der Melasse. Allgemein formuliert liegt hier eine extreme Variabilität in Hinblick auf Partikelgröße, -form und -festigkeit, Konzentration, Viskosität und Physikochemie der Suspension, prozesstechnische Randbedingungen und Anforderungen an das Trennergebnis vor. Allein die Partikelgröße variiert von Zentimetern bis Nanometern im Bereich von sieben Zehnerpotenzen!

Zur Lösung derartiger Trennaufgaben kann vom Prinzip her auf nahezu die gesamte weit gegliederte Palette physikalisch ganz unterschiedlich arbeitender Trennverfahren und Apparate zurückgegriffen werden, welche auch in der Chemie, der Pharmazie, dem Umweltschutz oder der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe eingesetzt [1] und fortlaufend weiterentwickelt werden [2 – 4]. Noch erweiterte Möglichkeiten für die Anpassung der Trennmethode an die konkrete Aufgabenstellung werden durch Suspensionsvorbehandlung oder durch Kombination mehrerer Trennapparate eröffnet. Vorbehandlungsmethoden zur Verbesserung der Trennbarkeit einer Suspension bestehen unter anderem in der Partikelagglomeration, ihrer Vorkonzentrierung und dem Einsatz von festen Filterhilfsmitteln, wie Kieselgur oder Zellulose. Apparatekombinationen können beispielsweise zur Funktionentrennung, zur Verstärkung der Trennwirkung durch Reihenschaltung, zur Kapazitätserweiterung durch Parallelanordnung oder zur vollständigeren Trennung durch Kreuzschaltung gebildet werden. Die Wahl des bestgeeigneten Trennverfahrens ist zudem immer im Zusammenhang mit der ganzen Prozesskette, also auch den vorhergehenden und den nachgeschalteten Prozessen, wie etwa einer vorgeschalteten Zerkleinerung oder einer abschließenden thermischen Trocknung zu treffen. Weiterhin spielen bezüglich der Apparateauswahl neben der primären Trennung der Phasen auch die Anforderungen an die zu erreichende Produktreinheit, die Partikelfreiheit der Flüssigkeit und die Restfeuchte des Feststoffes eine wichtige Rolle. Für die „Waschung“ von dispersen Feststoffen stehen beispielsweise sehr unterschiedlich intensive Möglichkeiten zur Verfügung [5].

Der Umgang mit verderblichen Lebensmitteln, Nährstoffen und Getränken erfordert zur Gewährleistung ausreichender Produktqualität und -sicherheit die Erfüllung mehr oder weniger hoher hygienischer Standards. Dies betrifft sowohl die Reinigung und Reinigbarkeit der Trennapparate als auch die Bewahrung des Produktes vor oder seine Befreiung von Verunreinigungen. Die Prinzipien zur reinigungsfreundlichen konstruktiven Apparategestaltung umfassen vielfach in Normen geregelte Aspekte, wie die Auswahl geeigneter Werkstoffe, die mögliche Vermeidung von verschmutzungsanfälligen Einbauten, horizontalen Flächen oder schwer zugänglichen Winkeln im Verfahrensraum und werden unter dem Stichwort „Hygienic Design“ zusammengefasst [6, 7]. Nach diesen Prinzipien gestaltete Trennapparate besitzen in der Regel durch geeignet im Verfahrensraum angeordnete Düsensysteme die Möglichkeiten des CIP (Cleaning In Place) und/oder des SIP (Sterilization In Place) [8 – 10]. Für jeden Trennapparat kann eine Strategie zur optimalen Reinigung, Desinfektion und/oder Sterilisation entwickelt werden [11]. Zur Validierung des Reinigungserfolges stehen diverse Methoden zur Verfügung und werden ständig erweitert [12, 13]. Dem Verarbeitungsprozess zugeführte Gase oder im Prozess behandelte Flüssigkeiten müssen häufig einer Entkeimung unterzogen werden. Die klassischen thermischen und chemischen Methoden werden dabei immer mehr durch mechanische Verfahren ersetzt bzw. ergänzt. So lässt sich z. B. die Haltbarkeit und die geschmackliche Qualität von Milch durch eine produkt schonende Kombination aus Membranmikrofiltration und thermischer Behandlung verbessern [14]. Die Querstromultra- und -mikrofiltration mit Membranen sind inzwischen sowohl für die Entkeimung als auch für die Klärung und Aufkonzentrierung von Flüssigkeiten in weiten Teilen der Lebensmitteltechnik unverzichtbar [15].

Neben den gesundheitlichen Aspekten bei der Verarbeitung von Lebensmitteln spielen schließlich für die Produktqualität auch Aussehen und Geschmack eine wichtige Rolle. Hierbei sind nicht nur eventuelle Beeinträchtigungen durch mangelnde Hygiene und damit mikrobiell verursachte Veränderungen zu vermeiden. Auch die beim Trennprozess unbeabsichtigte Entfernung erwünschter oder die Anreicherung unerwünschter Geschmacks- oder Farbstoffe muss ausgeschlossen werden. So wurden etwa ausführliche analytisch-sensorische Vergleiche verschiedener Filtrationsverfahren bezüglich der Qualität von Rotwein angestellt [16], um die Eignung diverser Filterhilfsmittel zur Anschwemmfiltration und die

Eignung von Membranfilterverfahren zu prüfen. Die mechanische Beanspruchung von Partikeln beim Trennprozess kann dabei nicht nur im Produkt unerwünschte Stoffe freisetzen, sondern auch das Produkt selbst schädigen. Beispielsweise sollte Backhefe nach dem Trennprozess noch ihre volle Aktivität besitzen, was nicht selbstverständlich ist, wenn man bedenkt, dass an den außen liegenden Feststoffaustragsdüsen von Tellerseparatoren durchaus Drücke von bis zu 25 MPa (250 bar) entstehen können.

2 Systematik der Trenntechniken und ihr Einsatz in der Lebensmittelindustrie

2.1 Physikalische Grundprinzipien

Für die mehr oder weniger vollständige Auftrennung einer Suspension in ihre kontinuierliche flüssige und ihre disperse feste Phase stehen gemäß Abb. 1 physikalisch sehr unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung.

In der Lebensmittelverfahrenstechnik werden hauptsächlich Dichtentren- und Filtrationsverfahren praktisch genutzt. Technische Trennungen im elektrischen oder magnetischen Feld sind technisch dagegen nur im Ansatz vorhanden und bisher im Wesentlichen auf den Laborbereich beschränkt [17]. Bei einigen Anwendungen der Tiefenfiltration wird dem Filtermaterial ein positives elektrisches Potenzial (Zetapotenzial) aufgeprägt, um die Abscheidung der in Flüssigkeit meist negativ geladenen Partikel zu erleichtern. Jedes der in Abb. 1 dargestellten Grundprinzipien kann durch unterschiedliche treibende Drücke, wie statischen Druck im Erdfeld, Zentrifugaldruck, Gasunter- oder -überdruck, mechanischen oder hydraulischen Druck realisiert werden. Jede dieser Varianten fächert sich wiederum in eine Vielzahl diskontinuierlich oder kontinuierlich arbeitender Apparate mit jeweils an die konkrete Aufgabenstellung angepassten konstruktiven Details auf.

2.2 Dichtentrennung

Die Dichtentrenverfahren nutzen einen Unterschied im spezifischen Gewicht der zu trennenden Phasen durch Sedimentation in und durch Flotation gegen die Richtung des Erdschwere- oder eines Zentrifugalfeldes. Auf diese Weise können nicht nur Feststoff und Flüssigkeit sondern auch molekular nicht mischbare Flüssigkeiten, wie Öl und Wasser, getrennt werden. Während Schwerkraftsedi-

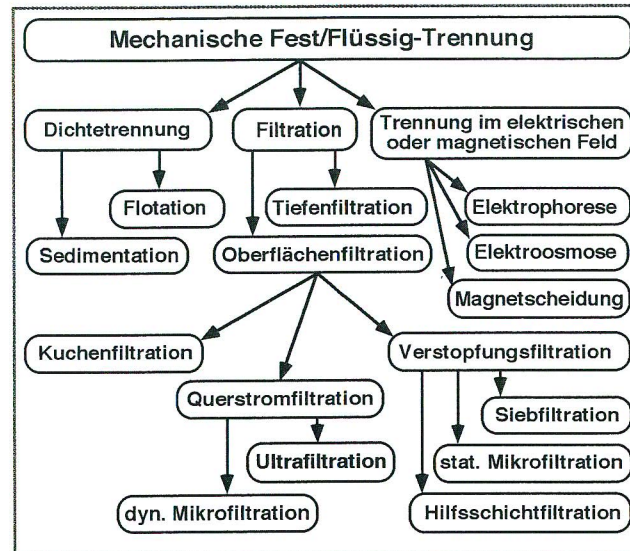


Abbildung 1. Systematik der Verfahren zur mechanischen Fest/Flüssig-Trennung.

mentation und -flotation meist im Bereich der Abwasseraufbereitung eingesetzt werden, spielt die Zentrifugalsedimentation in der lebensmitteltechnischen Produkterzeugung eine sehr wichtige Rolle. In erster Linie sind hierbei kontinuierlich arbeitende Dekantierzentrifugen und Tellerseparatoren zu nennen.

Abb. 2 zeigt exemplarisch eine Dekantierzentrifuge zur Trennung von drei Phasen, wie sie vorzugsweise in der Speiseölproduktion (Olivenöl, Palmöl, ...) eingesetzt wird.

Der Feststoff wird mit Hilfe einer Transport-schnecke über den Konus der Vollmanteltrommel ausgetragen. Die schwere Flüssigkeit (Wasser) läuft über ein Wehr drucklos ab und die leichte Flüssigkeit wird mittels einer Schäl-scheibe unter Druck abgezogen. Derartige Zentrifugen arbeiten mit ca. 2000 – 5000facher Erdbeschleunigung (Z-Wert = 2000 – 5000).

Deutlich höhere Z-Werte bis zu etwa 14000 können Tellerseparatoren realisieren. Das in der Zentrifugentrommel angeordnete mitrotierende Tellerpaket mit Spaltweiten von < 1 mm verkürzt den Sedimentationsweg der abzuscheidenden Partikel drastisch und rein rechnerisch kann eine derartige Zentrifuge ein statisches Klärbecken von mehr als 300000 m²

In der Lebensmittelverfahrenstechnik werden hauptsächlich Dichtentren- und Filtrationsverfahren praktisch genutzt.

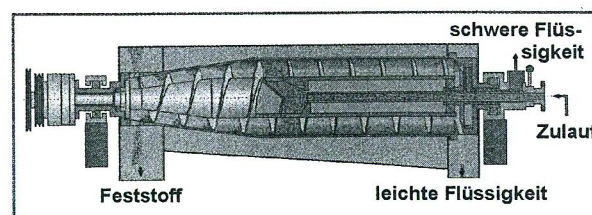
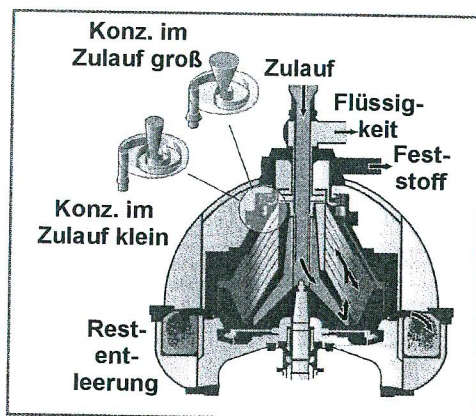


Abbildung 2. Dreiphasendekanter (Flottweg GmbH, Vilsbiburg, D).

Abbildung 3. Düsenseparator (Westfalia Separator Industry GmbH, Oelde, D).



Fläche ersetzen („äquivalente Klärfläche“). Abb. 3 zeigt eine spezielle Variante dieses Zentrifugentyps mit selbstregulierendem Düsenausstrag zur Abtrennung von Hefe oder anderen, mechanisch noch empfindlicheren Produkten.

Die hier gezeigte Konstruktion behandelt das Produkt besonders schonend. Durch einen „hydrohermetischen“ Zulauf wird die Suspension nicht abrupt beschleunigt und durch Positionierung der Austragsdüsen nahe der Rotationsachse erfolgt der Feststoffauswurf bei geringem Druck. Die Düsen (VisCon®) regulieren ihre Durchflussmenge entsprechend dem Feststoffgehalt des Zulaufes selbsttätig, so dass immer genug Feststoff an den Düsen ansteht. Nimmt einmal die Zulaufkonzentration ab, so erhöhen sich infolge geringerer Schlammschichtviskosität die Wirbelzahl und damit der Druckverlust durch Reibung in der Düse. Als Folge davon verringert sich ihr Durchsatz.

Am Beispiel der Weinerzeugung kann gezeigt werden, dass Dekantierzentrifugen eher feststofforientiert sind, während Tellerseparatoren tendenziell bei geringeren Feststoffkonzentrationen eingesetzt werden. Die Trennung von Gelägern (Süß-, Hefe-, Schönungs- und Entsäuerungstrub) mit Feststoffvolumenkonzentrationen von ca. $c_v = 10 - 60 \%$ kann mit dem Dekanter erfolgen. Most (bis ca. $c_v =$

15 Vol.-%) und Wein (bis ca. $c_v = 5$ Vol.-%) wird zur Klärung den Tellerseparatoren zugeordnet.

2.3 Tiefenfiltration

Die Verfahren der Tiefenfiltration sind dadurch gekennzeichnet, dass die abzuscheidenden Partikel nicht an der Oberfläche, sondern im Inneren eines porösen Filtermediums abgeschieden werden. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn es sich um sehr kleine Partikel ($x < 1 \mu\text{m}$) und sehr geringe Feststoffkonzentrationen handelt. Die kleinen Partikel würden bei Abscheidung an der Oberfläche eines Filtermediums eine Schicht sehr hohen Durchströmungswiderstandes erzeugen, welcher eine wirtschaftliche Filtration vergleichsweise großer Flüssigkeitsmengen nicht mehr erlaubt. Tiefenfilter werden vorwiegend zur Klärung bzw. zur Polierfiltration aber auch zur Entkeimungs- bzw. Sterilfiltration von Flüssigkeiten eingesetzt.

Tiefenfiltermedien können aus losen Schüttungen von Filtermaterialien, wie Sand, Aktivkohle, Kieselgur, Zellulose u. a. aufgebaut werden. Derartige Schüttungsschichtfilter werden vorzugsweise in der Wasserfiltration eingesetzt.

Tiefenfilter mit formstabilen flächigen oder kerzenförmigen Filterschichten finden vielfache Anwendung in der Lebensmittel- und Getränketechnologie.

Abb. 4 zeigt exemplarisch für die Gruppe der Schichtenfilter den typischen Aufbau eines diskontinuierlich arbeitenden Filters mit flächigen Filterschichten, wie es in der Getränkefiltration eingesetzt wird.

Die hier gezeigte Doppelfiltration ermöglicht es, zunächst etwas gröbere Verunreinigungen aus der Flüssigkeit zu entfernen und in einer zweiten Feinfilterstufe dann vollständige Klärung zu erreichen. Die Filterschichten sind nicht regenerierbar und müssen nach Erschöpfung ihrer Schmutzaufnahmekapazität ausgetauscht werden. Schichtenfilter lassen sich je nach Anforderungen auch unter sterilen Bedingungen betreiben. Abb. 5 zeigt dies am Beispiel eines modular aufgebauten Tiefenfilters in einem hermetisch abgeschlossenen Gehäuse, das mit Dampf oder chemisch sterilisiert werden kann. Durch die Beimischung von Zusatzstoffen kann dem Filtermaterial ein positives Zetapotenzial aufgeprägt werden, sodass die Abscheidung der in der Regel negativ geladenen Trubpartikel durch elektrokinetische Effekte zusätzlich verbessert wird. Das Filtermaterial hält je nach Filterfeinheit Bakterien, Kolloide, Pyrogene und andere Submikronpartikel zurück. Derartige Filter

Die Verfahren der Tiefenfiltration sind dadurch gekennzeichnet, dass die abzuscheidenden Partikel nicht an der Oberfläche, sondern im Inneren eines porösen Filtermediums abgeschieden werden.

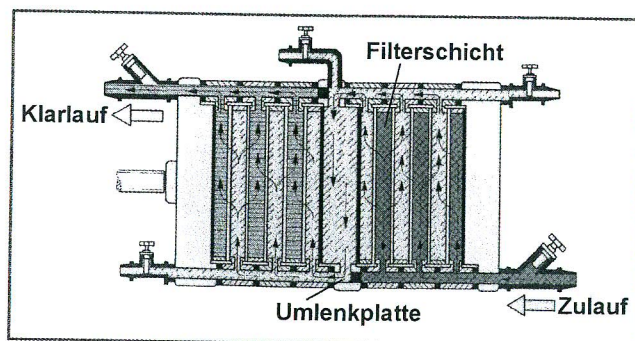


Abbildung 4. Schichtenfilter mit Doppelfiltration (Strassburger Filter GmbH, Westhofen, D).

kommen häufig als Vorfilter zum Schutz von nachgeschalteten Membranfiltern zum Einsatz.

Tiefenfilter werden zur Sicherstellung absoluter Abscheidegrenzen auch mit mikroporösen Membranen kombiniert. Derartige Filter werden häufig in Kerzenform konfektioniert und der diskontinuierliche Betrieb dieser Membrankerzen wird im Gegensatz zur dynamischen Querstromfiltration als „dead-end“ Filtration bezeichnet. Abb. 6 gibt ein Beispiel für eine Variante dieses Filtertyps. Die Faltung (Plissierung) der Filterschicht vergrößert die Filterfläche und damit den Durchsatz im Vergleich zur rein zylindrischen Anordnung. Eine asymmetrische Porenstruktur der Filterschicht mit in Flussrichtung abnehmender Porengröße steigert die Schmutzaufnahmekapazität der Filterkerze.

Eine weitere und häufig in der Lebensmitteltechnologie eingesetzte Variante ist die Anschwemm-, Hilfsschicht- oder Precoat-Filtration, bei der die Tiefenfilterschicht zunächst in Form eines Filterkuchens gebildet und dann mit der zu trennenden Suspension beaufschlagt wird. In den letzten Jahren zeichnet sich für Anschwemmschichten ein deutlicher Trend weg von mineralischen Stoffen, wie Kieselgur und hin zu organischen Substanzen aus nachwachsenden Rohstoffen, wie Zellulose ab. Hervorragende Abscheideeigenschaften, geringes Gewicht, wenig Asche und immer kostengünstigere Produkte sind einige der Gründe hierfür.

In Abb. 7 ist eine klassische Variante dieses Apparatetyps dargestellt, wie er z. B. zur diskontinuierlichen Tiefenfiltration und von Würze und Bier eingesetzt wird.

2.4 Verstopfungsfiltration

Bei den zuvor dargestellten Varianten der Tiefenfiltration für sehr gering konzentrierte Suspensionen mit sehr kleinen Partikeln stellte in aller Regel die Flüssigkeit das Wertprodukt dar, weil sich Tiefenfilterschicht und eingelagerte Partikel nur sehr schwer oder nicht wieder voneinander trennen lassen. Wenn nun entweder der Feststoff das Wertprodukt ist oder die Suspensionskonzentration zu groß wird, um ein oberflächliches Verstopfen der Tiefenfilterschicht zu vermeiden, kann gemäß Abb. 8 eine kontinuierliche Precoat-Filtration auf der Basis von Vakuumentrommelfiltern eingesetzt werden. Derartige Filter dienen neben der Flüssigkeitsklärung auch der Gewinnung von schwerstfiltrierbaren Feststoffen, wie etwa Backhefe.

In diesem Fall wird als Precoat-Material Stärke eingesetzt. Während der Filtration verstop-

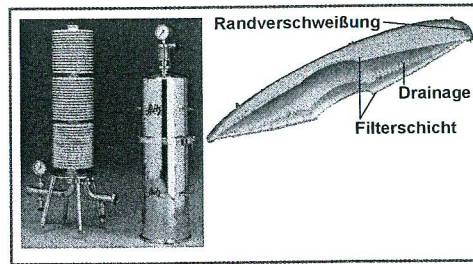


Abbildung 5. Geschlossenes Modul-Schichtenfilter (Seitz-Filter-Werke, Bad Kreuznach, D).

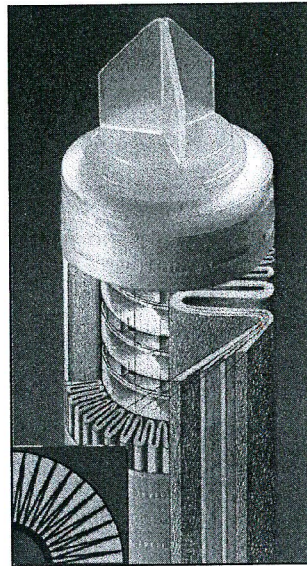


Abbildung 6. Großflächen-Membranfilterkerzen (Pall GmbH, Dreieich, D).

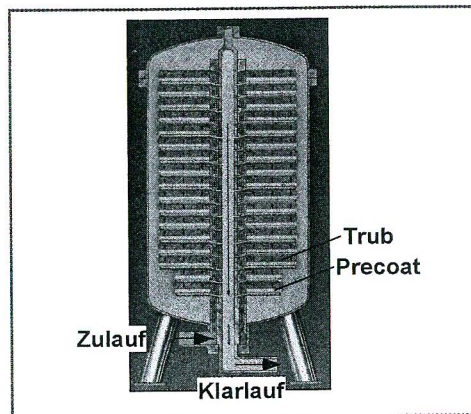


Abbildung 7. Anschwemmfilter zur Tiefenfiltration (Schenk Filterbau, Waldstetten, D).

fen die abzutrennenden Partikel die obersten Schichten des etwa 10 cm dicken Precoats und es bildet sich ein sehr dünner Filterkuchen. Um das System filtrierfähig zu halten, muss die verstopfte Precoat-Schicht mitsamt des Filterkuchens nach jeder Trommelumdrehung mit einem scharfen und langsam vorrückenden Messer abgeschnitten werden. Auf diese Weise taucht jeweils wieder frische Hilfsschichtoberfläche in die Suspension ein. Bei der hier dargestellten modernen Ausführung kann der Messervorschub bis auf 25 µm pro Trommelumdrehung justiert werden, was die

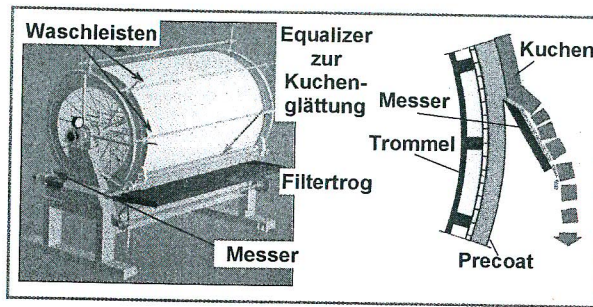


Abbildung 8. Vakuumtrommelfilter in Precoatausführung (BO-KELA GmbH, Karlsruhe, D).

Bei der Querstromfiltration wird die zu trennende Suspension im Filtermodul unter Druck parallel zu einem flächigen oder zylindrischen Membranfiltermedium geführt.

unterbrechungsfreie Filtration über einen ganzen Arbeitstag ohne weiteres möglich macht.

2.5 Querstrom-Mikro- und -Ultrafiltration

Bei der Querstromfiltration wird die zu trennende Suspension im Filtermodul unter Druck parallel zu einem flächigen oder zylindrischen Membranfiltermedium geführt. Infolge des Druckunterschiedes zwischen Ober- und Unterseite der Membran (Transmembrandruck) wird Filtrat (Permeat) abgezogen. Abb. 9 veranschaulicht dies am Beispiel von keramischen Mehrkanalmodulen.

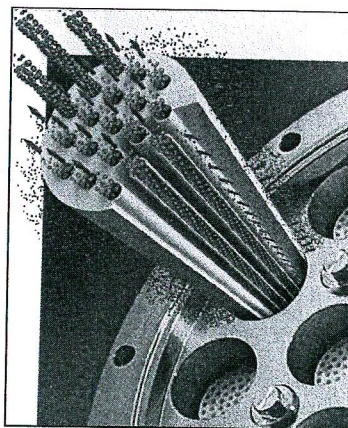


Abbildung 9. Keramik-Mehrkanalmodule (Westfalia Separator Membraflow, Essingen, D).

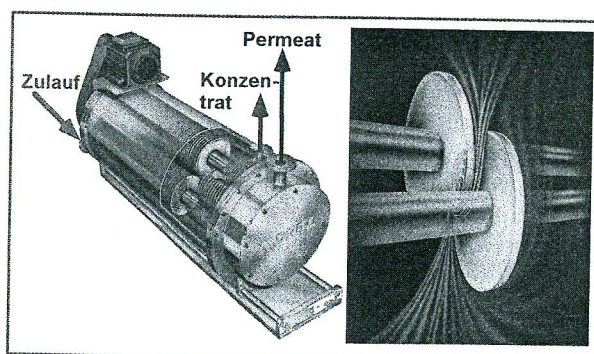


Abbildung 10. Scherspaltfilter (Andritz AG, Graz, Au).

Die auf der Membran zurückgehaltenen Partikel können keinen Filterkuchen bilden, sondern werden durch die Querströmung von der Membranoberfläche wieder abgelöst. Auf diese Weise wird das Konzentrat mit den zurückgehaltenen Stoffen immer mehr angereichert. Die Freihaltung der Membran von Partikeln gelingt in der Regel nicht vollständig, sodass man die Ausbildung einer stationären Grundschicht auf der Membran anstrebt und akzeptieren muss. Membranen müssen periodisch durch Rückspülung oder durch chemische Reinigung regeneriert und gegebenenfalls sterilisiert werden. Die Querstromfiltration mit mikroporösen Membranen aus Polymeren oder Keramik wurde in den letzten Jahrzehnten in der Lebensmitteltechnik erfolgreich eingeführt und erlebt eine stetige Ausweitung ihrer Anwendung. Besonders attraktiv ist diese Verfahrensgruppe infolge der Vermeidung von Filterhilfsmitteln, wie sie bei den Tiefen- und Precoat-Filterverfahren benötigt werden, wegen der sehr genau definierbaren Trennschnitte (Entkeimungs-, Sterilfiltration) und wegen der Möglichkeit, mechanisch bis in den molekularen Bereich hinein zu trennen. So wird die Membranfiltration zur Klärung von Essig, Wein, Bier und Säften, zur Entkeimungsfiltration von Milch oder Molke, zur Aufkonzentrierung von Flüssigkeitsinhaltsstoffen, wie etwa die Konzentrierung des Milchproteingehaltes vor der Käseherstellung, zur Entalkoholisierung von Bier u. a. m. eingesetzt. Während Mikrofilter Porenweiten von ca. $10 \div 0.1 \mu\text{m}$ aufweisen, trennen Ultrafilter von etwa $100 \div 5 \text{ nm}$. Daran schließen sich nach unten porenlose Diffusionsmembranen für die Nanofiltration und Umkehrosmose an, die z. B. zur Meerwasserentsalzung genutzt wird oder zur Abtrennung anderer kleiner Moleküle, wie Ethanol.

Bei der einfachen druckgetriebenen Membranüberströmung hängen Zulaufdruck, Überströmgeschwindigkeit und Transmembrandruck miteinander zusammen. Um die Scherkräfte an der Membran unabhängig von den Zulaufbedingungen vergrößern zu können, müssen sich Membranoberfläche und Flüssigkeit separat relativ zueinander bewegen können. Dies ist bei den sog. Scherspaltfiltern möglich. Abb. 10 zeigt hierfür ein Beispiel mit sich gegenläufig drehenden und überlappenden Membranscheiben.

Im Überlappungsbereich werden hohe und von der Scheibendrehzahl abhängige Scherspannungen an der Membranoberfläche erzeugt. Die Art der Überlappung erzeugt gleichgroße Scherung im gesamten Überlappungsbereich.

2.6 Kuchenfiltration

Die Kuchenfiltration ist dadurch gekennzeichnet, dass sich die abzuscheidenden Partikel als poröses Haufwerk auf dem Filtermedium ablagern, während die Flüssigkeit durch die bereits gebildete Partikelschicht und das Filtermedium hindurch abgeführt werden muss. Dies setzt eine gewisse Mindestkonzentration der Suspension voraus, damit sich über den Poren des Filtermediums Partikelbrücken aufbauen und auf diesen der weitere Kuchen aufwachsen kann. Weiterhin muss der Filterkuchen eine ausreichende Permeabilität besitzen, um einen wirtschaftlichen Betrieb des Filters zu ermöglichen. Der große Vorzug dieses Filtrationsverfahrens besteht darin, dass der abgeschiedene Feststoff intensiv nachgewaschen und vor allem mechanisch weitestgehend entfeuchtet werden kann. Für die Kuchenfiltration steht eine sehr breite Palette unterschiedlicher Möglichkeiten in Form von Zentrifugen, Vakuum-, Druck- und Pressfiltern zur Verfügung, welche diskontinuierlich oder kontinuierlich betrieben werden können. Um optimale Prozessergebnisse zu erzielen, gilt wie für alle Filtrationsvarianten auch für die Kuchenfiltration, dass Apparatekonstruktion, Betriebsparameter und Filtermedium sorgfältig aufeinander abgestimmt werden müssen [18].

Als Beispiel für die Familie der diskontinuierlich arbeitenden Filterzentrifugen gibt die in Abb. 11 dargestellte Hängependelzentrifuge zur Abtrennung von Kristallzucker.

Die gesättigte Zuckersuspension wird absatzweise in die Filtertrommel geleitet. Ein dichtender Konus am unten offenen Ende der Trommel verhindert Füllspritzer in den Feststoffaustragsschacht. Der gebildete Filterkuchen wird durch Untersättigung weitgehend entfeuchtet und anschließend mit Hilfe eines Schälmessers aus der rotierenden Trommel ausgeschält. Der Konus muss dazu natürlich nach unten verschoben werden, um die Austragsöffnung freizugeben. Durch Aufdüsen von Waschflüssigkeit kann der Filterkuchen nach seiner Bildung gegebenenfalls noch gereinigt werden.

Schwerer filtrierbare Suspensionen, wie etwa Stärke, können zwar auch mit diskontinuierlichen Filterzentrifugen abgetrennt werden, doch haben sich hier neben der weit verbreiteten Zentrifugalsedimentation in Tellerseparatoren mit Düsenaustrag (vgl. Abschnitt 2.2) kontinuierliche Drucktrommelfilter gemäß Abb. 12 bewährt.

Diese Technik beruht auf der Installation des kompletten Filters in einem für Wartungsarbeiten begehbaren Druckbehälter. Es können

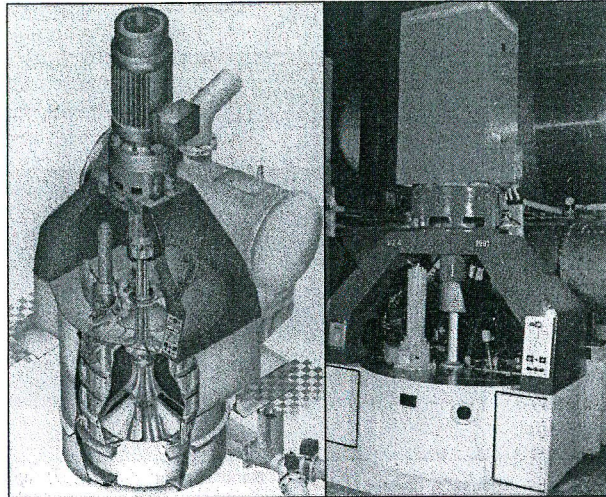


Abbildung 11. Hängependelzentrifuge (BWS Technologie GmbH, Grevenbroich, D).

Gasdifferenzdrücke bis ca. 0,8 MPa realisiert werden. Je nach Provenienz und pflanzlichem Ursprung besitzt Stärke ein unterschiedliches Kornspektrum und damit ein unterschiedliches Filtrationsverhalten. Werden die Partikel immer kleiner, werden die gebildeten Filterkuchen immer kompressibler und tendieren bei der Untersättigung zur Schrumpfrissbildung. Eine Gasdifferenzdruckfiltration stößt dann an ihre physikalischen und wirtschaftlichen Grenzen. Eine geeignete Alternative zum Hyperbarfilter kann dann eine Membranpressfiltration mit einem Pressfilterautomaten sein (vgl. Abb. 13).

Hier kann der Filterkuchen nach seiner Bildung gewaschen und flächig mit einer hydraulisch angespressten Membran entfeuchtet werden.

Stark kompressible aber dennoch relativ gut filtrierende Stoffe, wie sie bei der Obst- und Gemüseverarbeitung (Kernobst, Karotten, ...) als Maische anfallen, können effektiv und produktschonend mittels kontinuierlich arbeiten-

Die Kuchenfiltration ist dadurch gekennzeichnet, dass sich die abzuscheidenden Partikel als poröses Haufwerk auf dem Filtermedium ablagern, während die Flüssigkeit durch die bereits gebildete Partikelschicht und das Filtermedium hindurch abgeführt werden muss.

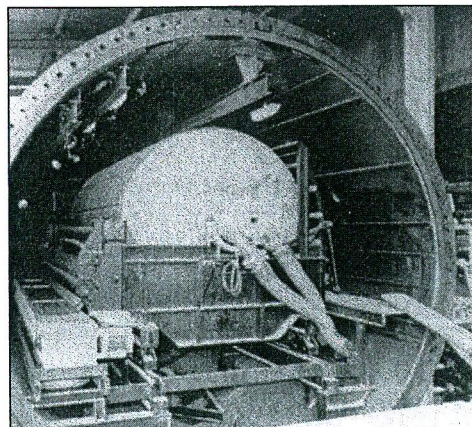


Abbildung 12. Hyperbar-Trommelfilter (BOKELA GmbH, Karlsruhe, D).

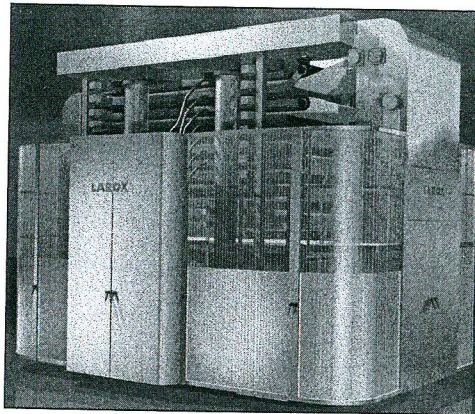


Abbildung 13. Turmfilterpresse (Larox Oy, Lappeenranta, FIN).

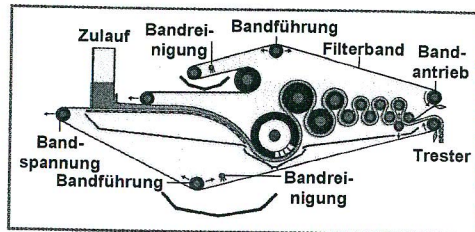


Abbildung 14. Doppelbandpresse (Flottweg GmbH, Vilsbiburg, D).

durch tauchen sowohl die große Profilwalze als auch die Bänder permanent in die Reinigungslösung ein. Gleichzeitig werden die Bänder über Düsenrohre besprüht. Nach ca. 30 min wird mit Frischwasser nachgespült und die Reinigung ist beendet.

3 Verfahrensalternativen und Apparatekombinationen

Wie am Beispiel der Stärkeabtrennung gezeigt wurde, finden sich für ein einziges Stoffsystem oft mehrere trenntechnische Alternativen und die letztlich Entscheidung für einen speziellen Apparat muss durch eine Detailanalyse der Prozessbedingungen und der Anforderungen an das Prozessergebnis getroffen werden. Für die relativ gut abtrennbare Stärke wären das demnach Kuchenfilter, wie Schälzentrifugen, Vakuum- und Druckdrehfilter oder Sedimentationszentrifugen, wie Tellerseparatoren oder Dekanter.

der Doppelbandpressen getrennt werden. Abb. 14 gibt hierfür ein maschinelles Beispiel.

Die aufbereitete Maische wird über einen Aufgabetrichter gleichmäßig auf dem Unterband verteilt und zwischen die Filterbänder eingezogen. Durch fortlaufende Verringerung der Walzendurchmesser werden die Druck- und Scherkräfte auf den Filterkuchen kontinuierlich erhöht. Eine CIP-Reinigung der Maschine ist möglich. Bei der Maschinenreinigung wird der Abfluss der zentralen Saftsammelwanne verschlossen und die Wanne mit Reinigungsflüssigkeit gefüllt. Da-

Für deutlich schwieriger abzutrennende Stoffe, wie etwa Hefe kämen hier entsprechend Abb. 15 Tellerseparatoren, Precoat-Trommelfilter oder Querstrom-Mikrofilter in Betracht.

Geht man im Partikeldurchmesser noch deutlich weiter herunter und in den kolloidalen oder makromolekularen Bereich hinein, so eröffnet sich durch die Querstrom-Ultrafiltration eine filtrationstechnische Alternative zu Verfahren, wie Eindampfung, Chromatografie, Adsorption oder Fällung.

Bis hierher wurde mechanische Trenntechnik immer am Beispiel einzelner Apparate behandelt. In der Praxis erfordert eine optimale Lösung trenntechnischer Aufgaben aber in der Regel eine Kombinationsschaltung verschiedener Trenngeräte. Wie in Abschnitt 2.5 bereits ausgeführt wurde, haben sich in den letzten Jahren Membranverfahren zur Klärung und Entkeimung von flüssigen Lebensmitteln und Getränken als Alternative zu klassischen Verfahren mit steigender Tendenz verbreitet. Abb. 16 zeigt hierzu schematisch alternative Anlagenschaltungen.

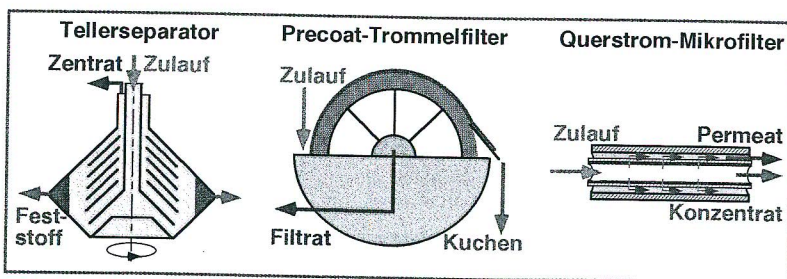


Abbildung 15. Apparative Alternativen zur Hefeabtrennung.

Das Membranfilter ersetzt hier die Pasteurisation als thermisches Verfahren komplett. Auch eine Verringerung der thermischen Produktbelastung durch Kombination aus Membranfiltration und Pasteurisation hat sich bei der Haltbarmachung von Milch (vgl. Abschnitt 1) bewährt.

Wie aus Abb. 16 ersichtlich, wird dem Membranfilter als Schutz ein Tiefenfilter vorgeschaltet. Derartige Schutzmaßnahmen werden z. B. auch bei Tellerseparatoren oder Hydrozyklonen ergriffen, wo durch ein gro-

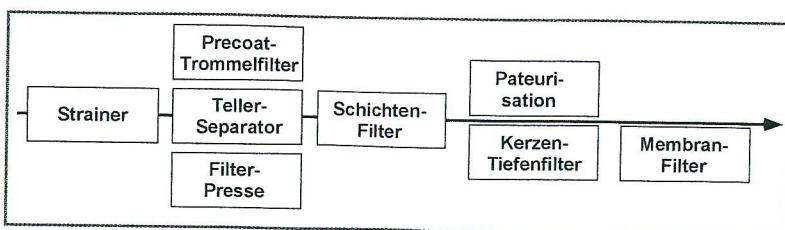


Abbildung 16. Alternative Schaltung von Trennapparaten zur Klärung von Flüssigkeiten.

bes Siebfilter (Strainer) Düsenverstopfungen durch zu große Partikel verhindert werden.

4 Hygienische Aspekte

Wie bereits an verschiedenen Beispielen gezeigt wurde, prägt der im Lebensmittelbereich erforderliche hygienische Umgang mit den zu verarbeitenden Produkten auch die Anforderungen an die Apparate- und Prozesstechnik für die mechanische Flüssigkeitsabtrennung. Daher müssen bereits bei der konstruktiven Anpassung der einzusetzenden Trennapparate und der Auswahl der dafür notwendigen Bauelemente die erforderlichen hygienischen Belange berücksichtigt werden. Alle produktberührten Apparateteile müssen grundsätzlich lebensmitteltauglich sein. Die in der Regel aus Edelstahl gefertigten metallischen Apparateteile müssen leicht zu reinigende, ausreichend glatte Oberflächen besitzen. Dichtungen und Verbindungen durch Schweißnähte müssen definierten Anforderungen genügen. Toträume im Verfahrensraum, Blindstutzen, horizontale Flächen und Rohrleitungen sind zu vermeiden. Die reinigungsgerechte Gestaltung verfahrenstechnischer und hier trenntechnischer Anlagen wird unter dem Begriff „Hygienic Design“ zusammengefasst und stellt inzwischen eine eigene systematisierte ingenieurtechnische Teildisziplin dar.

Eine reinigungsgerechte Konstruktion erleichtert die periodisch auszuführende Säuberung der Trennapparate. Als Reinigungsmethode wird das CIP (Cleaning In Place) bevorzugt, welches die Säuberung von Prozesslinien ohne Zerlegung oder Öffnung der einzelnen Apparate ermöglicht. Hierzu werden die Apparate mit Reinigungslösungen geflutet bzw. durch ein geeignet angeordnetes Düsen-system ausgespült. Als Reinigungsflüssigkeit wird neben heißem Wasser oft eine 2 %ige Natronlauge mit einer Temperatur von

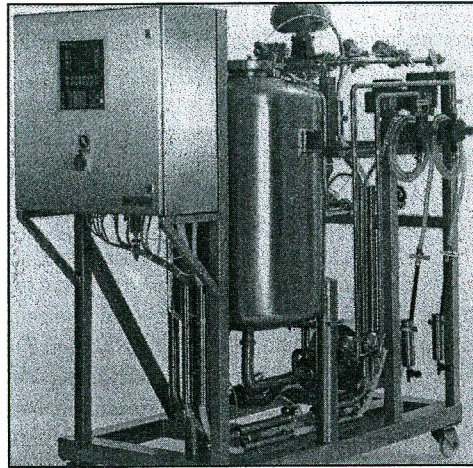


Abbildung 17. Vollautomatisierte CIP-Anlage (Westfalia Separator Industry GmbH, Oelde, D).

80 °C zur Auflösung organischer Ablagerungen verwendet. Für die Entfernung anorganischer Verunreinigungen wird oft eine 0,5 %ige Salpetersäure mit einer Temperatur von ebenfalls bis ca. 80 °C eingesetzt. Ein letzter Spülschritt erfolgt dann mit reinem Wasser. CIP-Anlagen können als vollautomatisierte Einheit eingesetzt werden, wie Abb. 17 an einem Beispiel zeigt.

Ist eine Sterilisation des Apparates erforderlich, wird die SIP (Sterilization In Place) angestrebt. Diese wird mit Heißdampf bei Überdruck und einer Temperatur von über 121 °C vorgenommen. Die Einwirkungs-dauer des Dampfes richtet sich nach der Keimart und der Keimanzahl. Ein steriler Betrieb erfordert, dass die Anlage nach der Dampfsterilisation mit Sterilluft beaufschlagt werden muss.

Die behördlichen Richtlinien (z. B. Richtlinie der amerikanischen Food and Drug Administration (FDA)) bezüglich hygienisch bzw. steril auszuführender Prozesse, die auch für die Lebensmitteltechnik gelten, schreiben eine Validierung des Reinigungserfolges vor. Damit wird der dokumentierte Nachweis geführt, dass ein Prozess oder ein Apparat die vorher





membran filterelement

Das Original

optimiert die Ergebnisse
Ihrer Filterpresse

LENSER Filtration GmbH
89250 Senden / Germany
www.lenser.de

spezifizierten Anforderungen im praktischen Einsatz auch erfüllt. Hierzu haben sich vielfältige Testprozeduren entwickelt, welche die spezifischen Besonderheiten des jeweiligen Anwendungsfalles berücksichtigen.

5 Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird gezeigt, dass in der Lebensmitteltechnologie eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Aufgabenstellungen für die mechanische Flüssigkeitsabtrennung bestehen. Zur Lösung dieser Trennaufgaben kann auf die ganze Breite der trenntechnischen Möglichkeiten zurückgegriffen werden, welche auch in anderen Branchen Anwendung finden. Im Wesentlichen sind dies Verfahren der Dichtentrennung im Erd- oder Zentrifugalfeld, Tiefenfilterverfahren und die Oberflächenfiltration in Form der Kuchen, Querstrom- oder Verstopfungsfiltration. Die speziellen Eigenschaften der hier zu behandelnden Produkte und die Anforderungen zur Gewährleistung der geforderten Produktqualitäten machen meist eine Anpassung der trenntechnischen Apparate notwendig. Dies betrifft insbesondere den hygienischen Umgang mit den zu trennenden Stoffen. Dies muss durch die konstruktive Gestaltung der Apparate und die Realisierbarkeit validierbarer Reinigungsprozeduren berücksichtigt werden. Ein besonderer Aspekt im Umgang mit Lebensmitteln ist die Sensorik, welche durch den Verarbeitungsprozess nicht negativ beeinflusst werden darf. So dürfen Geschmack, Aussehen und Aktivität der Lebensmittel nicht negativ beeinflusst werden. Apparatetechnisch erobern sich insbesondere zur Abtrennung von Kolloiden und gelösten vorliegenden Makromolekülen mechanische Membrantrennverfahren immer

weitere Anwendungsfelder, welche traditionell thermischen Verfahren vorbehalten waren.

Dr.-Ing. Harald Anlauf

(harald.anlauf@mvm.uka.de),

Prof. Dr.-Ing. Hermann Nirschl,

Universität Karlsruhe (TH), Institut für

Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik,

D-76128 Karlsruhe, Germany.

Literatur

- [1] H. Anlauf, in *Mechanische Verfahrenstechnik* (Ed: M. Bohnet), Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2004.
- [2] H. Anlauf, *Drying Technol.* 2006, 24, 1235. DOI: 10.1080/07373930600838066
- [3] H. Anlauf, *Sep. Purif. Technol.* 2007, 58, 242. DOI: 10.1016/j.seppur.2007.05.012
- [4] H. Anlauf, *Chem. Ing. Tech.* 2006, 78 (10), 1492.
- [5] H. Anlauf, *Aufbereit. Tech.* 2006, 47 (6), 2.
- [6] J. Hofmann, K. Sommer, *Chem. Ing. Tech.* 2006, 78 (11), 1605. DOI: 10.1002/cite.200600089
- [7] S. Ripperger, *F&S Filtr. Sep.* 2004, 18 (6), 272.
- [8] S. Ripperger, *F&S Filtr. Sep.* 2004, 18 (3), 110.
- [9] S. Ripperger, *F&S Filtr. Sep.* 2004, 18 (4), 162.
- [10] S. Ripperger, *F&S Filtr. Sep.* 2004, 18 (5), 218.
- [11] S. Stahl, J. Ruland, H. Nirschl, *Chem. Ing. Tech.* 2007, 79 (11), 1959. DOI: 10.1002/cite.200700134
- [12] S. Ripperger, *F&S Filtr. Sep.* 2006, 20 (6), 282.
- [13] S. Stahl, S. Siggelkow, H. Nirschl, *Eng. Life Sci.* 2007, 7 (2), 136. DOI: 10.1002/elsc.200620183
- [14] V. Kaufmann, U. Kulozik, *Chem. Ing. Tech.* 2006, 78 (11), 1647. DOI: 10.1002/cite.200600094
- [15] S. Ripperger, *F&S Filtr. Sep.* 2007, 21 (5), 278.
- [16] J. Galli et al., *F&S Filtr. Sep.* 2006, 20 (5), 230.
- [17] R. Hofmann, T. Käppler, C. Posten, *Sep. Purif. Technol.* 2006, 51, 303. DOI: 10.1016/j.seppur.01.015
- [18] H. Anlauf, *Chem. Ing. Tech.* 2007, 79 (11), 1821. DOI: 10.1002/cite.200700093

In der Lebensmitteltechnologie wird im Wesentlichen auf Verfahren der Dichttrennung im Erd- oder Zentrifugalfeld, Tiefenfilterverfahren und die Oberflächenfiltration in Form der Kuchen, Querstrom- oder Verstopfungsfiltration zurückgegriffen.