

# **EVOLUTION IN DER TRENNTÉCHNIK**

## **TECHNISCHE ENTWICKLUNG DURCH MUTATION UND SELEKTION**

Harald Anlauf

Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Mechanical Process Engineering  
and Mechanics (MVM), Straße am Forum 8, D-76131 Karlsruhe, Germany  
Email: harald.anlauf@kit.edu

### **KURZFASSUNG**

Die Abtrennung von Partikeln aus Flüssigkeiten ist eine Querschnittstechnologie, die nahezu jeden Bereich der industriellen Produktion, unseres täglichen Lebens und der Umwelt berührt. Zur Lösung der vielfältigen Fest/Flüssig-Trennaufgaben in solch unterschiedlichen Anwendungsgebieten sind eine sehr große Zahl unterschiedlicher Trennprinzipien bzw. hochspezialisierter Trennapparate erforderlich. Eine Betrachtung der trenntechnischen Entwicklungsgeschichte zeigt vielerlei interessante Analogien zu evolutionären Entwicklungsprozessen in der Biologie. Motivation für die Entwicklung neuer und verbesserter Trenntechniken ist in der Regel ein dringender Bedarf zur Lösung eines aktuellen Trennproblems und der Druck, am Markt erfolgreich zu sein. Um erfolgreich zu sein, muss ein neues Konzept Vorteile im Vergleich zum Stand der Technik aufweisen. Im Unterschied zu natürlich ablaufenden Prozessen machen der kreative Genius des Ingenieurs in Verbindung mit umfassendem Fachwissen technische Entwicklungen schneller und zielgerichteter. Es werden einige evolutionäre Aspekte aus dem Gebiet der Trenntechnik am Beispiel von Filtern und Zentrifugen erläutert. In Anlehnung an aktuelle Trends werden neue Entwicklungen beschrieben und einige Ausblicke in die Zukunft diskutiert.

### **1. Einführung**

Die Abtrennung von Partikeln aus Flüssigkeiten ist eine Querschnittstechnologie, die nahezu jeden Bereich der industriellen Produktion, unseres täglichen Lebens und der Umwelt berührt. Fest/Flüssig-Trennung kann auf ganz unterschiedliche Ziele ausgerichtet sein, wie etwa Flüssigkeitsklärung, Feststoffeindickung, -entfeuchtung, Partikelreinigung, -waschung, -fraktionierung, -sortierung, -extraktion u.a. Trennprozesse müssen für eine extreme Bandbreite unterschiedlicher Randbedingungen beherrscht werden. Dies umfasst die Partikelgröße, -verteilung, -form und -konzentration, die spez. Dichte von Feststoff und Flüssigkeit, die chemische Zusammensetzung und Rheologie der Suspension, Volumenströme, Prozessbedingungen und schließlich die spezifischen Anforderungen an das Trennergebnis. Es ist offensichtlich, dass für derart vielfältige Randbedingungen sehr unterschiedliche Trennprinzipien und eine Vielzahl hoch spezialisierter Trennapparate für optimale Problemlösungen erforderlich sind. Eine Betrachtung der trenntechnischen Entwicklungsgeschichte zeigt vielerlei interessante Analogien zu evolutionären Entwicklungsprozessen in der Biologie. Entsprechend den Anforderungen durch die Umgebungsbedingungen entwickelten sich immer besser angepasste und spezialisierte Arten und verschwanden wieder, wenn sie sich nicht erfolgreich gegenüber Konkurrenten durchsetzen konnten oder die äußeren Bedingungen des Lebens sich änderten. Das natürliche Prinzip der Fortentwicklung durch Mutation und Selektion weist Ähnlichkeiten zu technischen Prozessen und damit auch zur Trenntechnik auf. Motivation und treibende Kraft für neue Entwicklungen ist ein

reales und vorzugsweise dringendes Bedürfnis zur Lösung einer aktuellen Problemstellung und der Druck, am Markt erfolgreich zu sein. Wenn dann - in den meisten Fällen auf der Basis vertieften Hintergrundwissens auf dem Gebiet der Trenntechnik - eine "zündende" und innovative Idee entsteht, hat ein verbessertes oder sogar neues Verfahren die Chance auf Realisierung und Eroberung eines bestimmten Marktsegmentes. Selbstverständlich müssen hierfür einige grundlegende Randbedingungen, wie technische und ökonomische Machbarkeit in ausreichendem Maße gegeben sein. Um erfolgreich zu sein, muss das neue Konzept spezifische Vorteile gegenüber vergleichbaren Produkten besitzen, weil es sonst wieder verschwinden wird. Im Unterschied zur Natur macht der kreative "Genius" des Ingenieurs in Verbindung mit einer auf Grundlagenuntersuchungen basierenden fundierten Wissensbasis neue technische Entwicklungen zielgerichteter und schneller. Heute wird dies durch verbesserte Messmethoden und leistungsfähige numerische Simulationswerkzeuge zusätzlich unterstützt. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit gewinnt immer größere Bedeutung, weil die Trennaufgaben immer komplexer werden. Dennoch sind systematische Methoden zur Unterstützung kreativer Ideenfindungsprozesse, wie das Denken in Analogien, Brainstorming, morphologische Kästen u.a. unverzichtbar für die Entwicklung innovativer Produkte. Insbesondere das Denken in Analogien zur Findung neuer Problemlösungen regt die Fantasie durch die Übertragung von Bildern in völlig andere Zusammenhänge an und soll an verschiedenen Beispielen erläutert werden. Weiterhin sollen einige evolutionäre Aspekte der Trenntechnik am Beispiel von Filtern und Zentrifugen diskutiert werden. Angelehnt an aktuelle Entwicklungstrends, wie Steigerung der Energieeffizienz oder der Prozessintensivierung werden neue Entwicklungen vorgestellt und einige Ausblicke auf eventuelle künftige Entwicklungen gegeben

## 2. Übertragung von Bildern aus der Natur auf die Trenntechnik

Die Methode des Denkens in Analogien soll zunächst an einigen Beispielen illustriert werden. Wie Abb.1 zeigt, lässt sich ähnlich zur Biologie auch für die Trenntechnik ein Stammbaum der Entwicklung aufstellen.

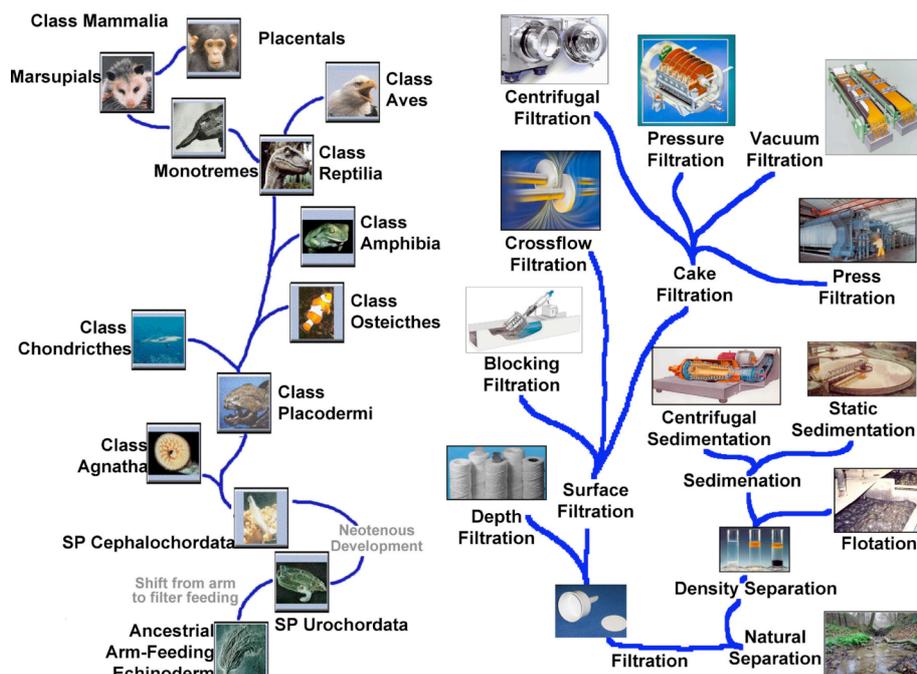


Abb.1: Stammbäume des Tierreiches und der Trenntechnik

Ausgehend von einem natürlichen Bach, in dem Tiefen-, Kuchen-, Querstromfiltration und Partikelsedimentation gleichzeitig stattfinden, haben sich im Laufe der Geschichte sehr hoch entwickelte und spezialisierte Filtrations- und Sedimentationsverfahren entwickelt (Anlauf, 2003). In ähnlicher Weise kann man der evolutionären Entwicklung in der Tierwelt von vorzeitlichen Stachelhäutern zu hoch entwickelten Spezies, wie Vögeln, Reptilien oder Säugetieren folgen.

Ein weiteres Beispiel für Analogien zwischen Natur und Technik wäre die Anpassung der Arten an ihre Umgebung. Wie in Abb.2 zu sehen ist, haben sich Braun- und Eisbär an ihren jeweiligen Lebensraum angepasst.



Abb.2: Anpassung in Natur und Technik an die Umgebungsbedingungen

Auch Schälzentrifugen sind an die jeweiligen Umgebungsbedingungen anzupassen, unter denen sie betrieben werden. Eine Schälzentrifuge für Chemikalien oder Mineralien muss keine hygienischen Standards erfüllen, wie etwa eine in der Pharmazie betriebene Maschine. Im ersten Fall kann ein Rotationssiphon installiert werden, mit dessen Hilfe die in der Maschine verbleibende Partikelgrundsicht sehr effizient regeneriert und der Filtrationsdruck durch ein zusätzliches Vakuum verstärkt werden kann. Dies ist bei pharmazeutischen Anwendungen nicht erlaubt, weil der geschlossene Filtratsammelraum hinter dem Filtermedium bei der Siphonmaschine sehr schlecht zugänglich und damit nicht ausreichend reinigbar ist. Außerdem muss meist die Grundsicht jeder Charge komplett auf pneumatische Weise aus der Trommel entfernt werden, um Kreuzkontamination der Chargen zu vermeiden.

Abb.3 zeigt exemplarisch Bilder, welche direkt aus der Natur in die Technik übersetzt werden können.

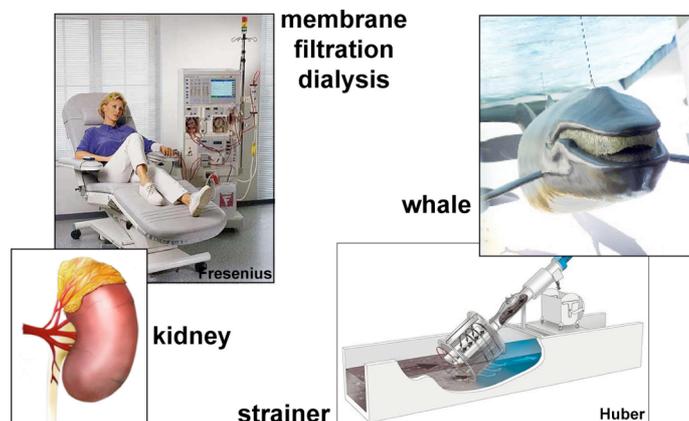


Abb.3: Lernen von der Natur

Künstliche Nieren für die Blutwäsche können durch Querstrom-Membranfilter realisiert werden. Siebfilter zur Abtrennung von Überkorn wären ein Analogon zu den Barten eines Walfisches zur Filtration von Krill aus dem Seewasser.

Ein viertes Beispiel für Analogien zwischen Natur und Trenntechnik wäre entsprechend Abb.4 die Notwendigkeit eines Systemwechsels beim Erreichen spezifischer Grenzen.

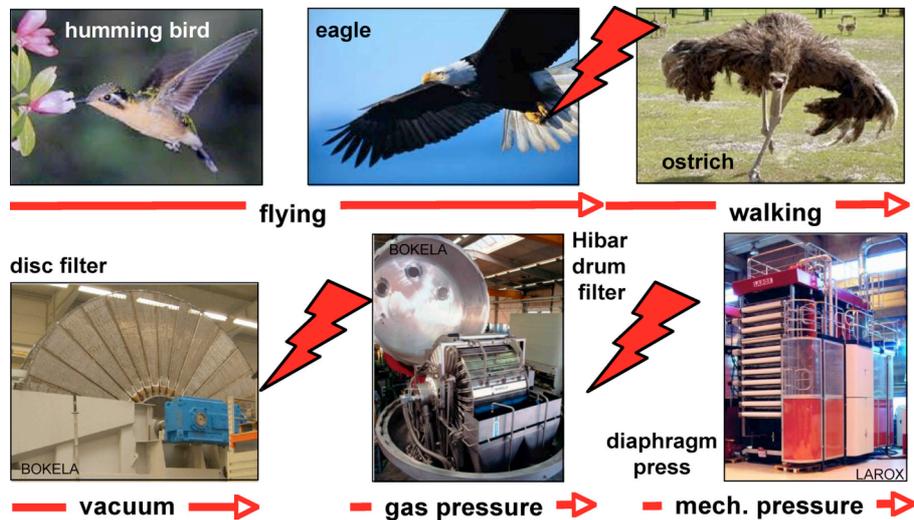


Abb.4: Systemwechsel beim Erreichen von Begrenzungen

Die Art der Fortbewegung bei Vögeln hängt von ihrer Größe und ihrem Gewicht ab. Im Normalfall kann ein Vogel fliegen, doch wird bei einer fortlaufenden Vergrößerung des Tieres ein kritischer Punkt erreicht, ab dem der Flug nicht mehr möglich ist und der Vogel, wie etwa ein Strauß, sich nur noch laufend fortbewegen kann.

Wenn Partikeln abnehmender Größe separiert werden müssen, ist für relativ große Partikeln von mehr als 10µm Durchmesser ein Vakuumscheibenfilter denkbar. Wenn die Partikeln kleiner werden, steigen der Filterkuchenwiderstand und der Kapillardruck im Kuchen an und wegen der physikalischen Begrenzung des Vakuums liefert das Filter ab einem bestimmten Punkt nicht mehr genügende Durchsätze und der Filterkuchen bleibt zu feucht. Jetzt ist ein Systemwechsel erforderlich und ein Gasüberdruckfilter könnte befriedigende Trennergebnisse erzeugen. Wenn die Partikeldurchmesser weiter auf 1µm und weniger abfallen, ändert sich die Kuchenstruktur von spröde und inkompressibel zu weich, pastös und kompressibel. Eine Untersättigung führt in solchen Fällen meist zur Schrumpfrissbildung im Kuchen und der Kompressor kann den Druck nicht aufrecht erhalten. Es wird wiederum ein Systemwechsel notwendig und die Trenaufgabe wäre mit einem Pressfilter, wie etwa eine Membranfilterpresse, erfolgreich zu lösen.

### 3. Evolution von Trennprinzipien

#### 3.1 Dekantierzentrifugen

Die erste Dekantierzentrifuge wurde im Jahr 1902 patentiert (Stahl, 2004). Wie Abb.5 exemplarisch für die „Jahn-Zentrifuge“ (1907) zeigt, besaßen die ersten Dekanter eine vollkonische Trommel. Sie veränderten sich im Laufe der Zeit auf der Grundlage vertiefter Grundlagenkenntnisse zur Sedimentation zur schlankeren und zylindrisch/konischen Form, wie sie ebenfalls in Abb.5 für das Beispiel eines modernen Gegenstromdekanters dargestellt ist. Die Feststoffe werden mittels einer Schnecke zur rechten Seite über den Konus zum Auswurf transportiert, während die Flüssigkeit

den zylindrischen Teil der Trommel im Gegenstrom auf der linken Seite über ein Wehr verlässt. Während der evolutionären Entwicklung wurde das konstruktive Grundprinzip des Dekanters diversifiziert, um unterschiedliche Trenaufgaben lösen zu können. Abb.5 zeigt hierzu eine kleine Auswahl von Varianten.

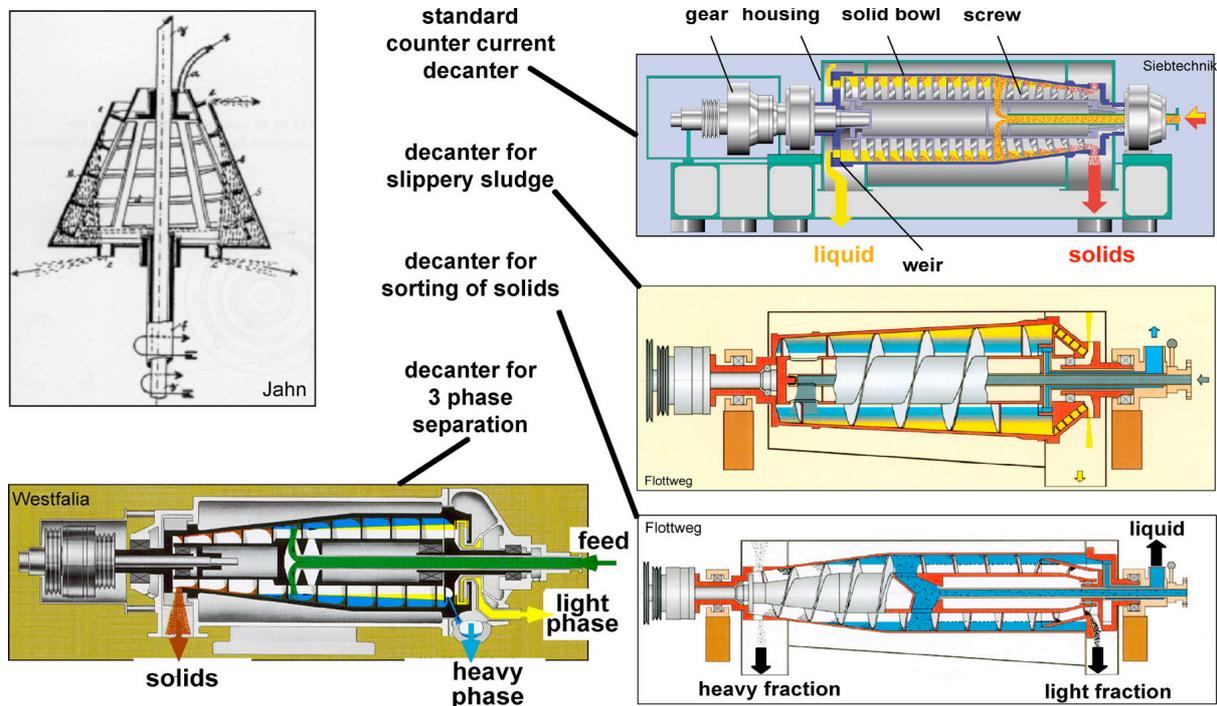


Abb.5: Dekantierzentrifugen

Für sehr schwierig zu trennende, kleine und leichte Partikeln, die ein weiches und leicht fließendes Sediment formen, ist ein spezielles Gleichstromkonzept entwickelt worden, welches unter dem Namen „Sedikanter“ bekannt geworden ist. Gleichstromführung von Feststoff und Flüssigkeit reduziert hier die Gefahr einer Wiederaufwirbelung von bereits abgesetzten Partikeln und der durch hydrostatischen Druck unterstützte Transport des Schlammes unter einer Trennscheibe hindurch garantiert einen sicheren Austrag. Ein anderer Dekantertyp ist darauf spezialisiert, Partikeln unterschiedlicher Dichte zu sortieren. Sie sedimentieren bzw. flotieren in der Flüssigkeit und werden durch eine speziell konfigurierte Transportschnecke am jeweils entgegengesetzten Ende des Dekanters ausgetragen. Eine weitere konstruktive Variante erlaubt es, einen Feststoff und zwei nicht mischbare Fluide, wie etwa Öl und Wasser, voneinander zu trennen. Es existieren zahlreiche weitere Spezialkonstruktionen zur Partikelklassierung, zur Extraktion, zur intensiven Partikelwaschung u.a. Die Dekantierzentrifuge stellt also ein leistungsfähiges Basisprinzip dar, welches in unterschiedlichen Varianten für sehr unterschiedliche Trenaufgaben eingesetzt werden kann. Der maximale Zentrifugalwert (Froude-Zahl) für Dekanter liegt bei etwa 8000. Versuche in der Vergangenheit, diesen Wert auf über 10000 zu steigern, waren wegen nicht beherrschbarer dynamischer Probleme nicht erfolgreich. Dies führt wieder zurück auf das in Abb.4 erläuterte Prinzip der Notwendigkeit eines Systemwechsels, wenn Grenzen erreicht werden. Im hier vorliegenden Fall wäre der Übergang zu einem Tellerseparator mit Zentrifugalwerten bis etwa 15000 eine geeignete Alternative (Kopf, 2008). Wenn man sich den Feststoffaustrag des Sedikanter (vgl. Abb.5) noch einmal näher betrachtet, dann ist die in Abb.6 größer herausgezeichnete Trennscheibe das entscheidende Element zur Realisierung des hydraulisch unterstützten Schlammaustrages.

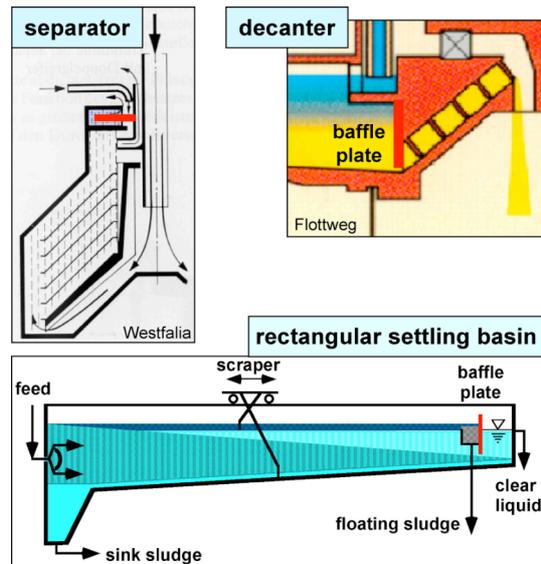


Abb.6: Unterschiedliche Funktionen einer Trennscheibe

Im Rückgriff auf die Methode des Denkens in Analogien zum Auffinden neuer Lösungen kann die Frage gestellt werden, wofür eine Trennscheibe bei einer Übertragung dieses Bildes in andere Anwendungsbereiche noch verwendet werden könnte. In Abb.6 werden hierfür drei Beispiele gegeben. Neben der bereits diskutierten Installation zum Schlammaustrag in Dekantierzentrifugen kann eine Trennscheibe in einer mitrotierenden und mit Flüssigkeit (Wasser) gefüllten Kammer am Kopf eines Tellerseparators eingesetzt werden. Die Trennscheibe steht still und ist von der rotierenden Flüssigkeit umgeben. Die Zentrifugalkraft hält die Flüssigkeit in der Kammer fest und man hat eine sog. „hydrohermetische Dichtung“ realisiert. Eine dritte Anwendung für eine Trennplatte wäre die Trennung von Sink- und Schwimmschlamm in einem statischen Sedimentationsbecken. Die geklärte Flüssigkeit muss unter der Trennplatte hindurchtauchen, um zur Abflussöffnung zu gelangen. Der Schwimmschlamm ist hierzu nicht in der Lage.

### 3.2 Kontinuierliche Vakuum- und Druck-Trommelfilter

Das erste Vakuum-Trommelfilter wurde 1872 patentiert und das Prinzip des kontinuierlich arbeitenden Drehfilters hat sich im Laufe der Jahrzehnte evolutionär durch Variation, Modifikation und Intensivierung weiterentwickelt. Eine Variation der Filterflächenanordnung, wie Abb.7 für Trommel-, Scheiben-, Band und Planfilter zeigt, hat großen Einfluss auf die Filtereigenschaften.

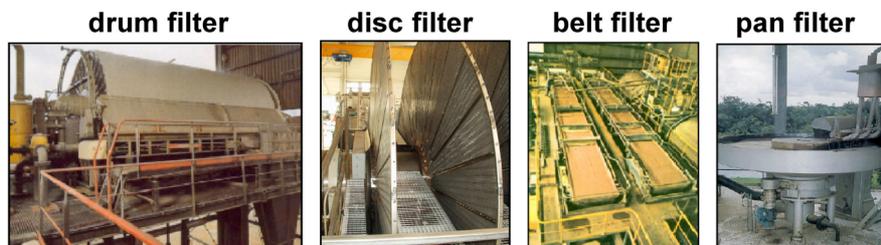


Abb.7: Variation von Vakuum-Drehfiltern

Das Trommelfilter ist die flexibelste Variante. Das Scheibenfilter bietet den größten Durchsatz bei geringsten Kosten. Das Bandfilter ist exzellent für intensive Kuchenwäsche geeignet und das Planfilter kann auch sehr grobe und schnell sedimentierende Partikeln verarbeiten.

Wie aus Abb.8 hervorgeht, sind Trommelfilter hinsichtlich unterschiedlicher Möglichkeiten für die Kuchenabnahme modifiziert worden, was deren Einsatz zur Trennung von Suspensionen sehr unterschiedlichen Trennverhaltens ermöglicht.

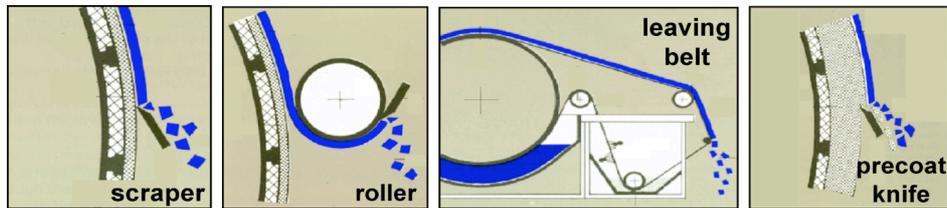


Abb.8: Modifizierung der Filterkuchenabnahme bei Trommelfiltern

Die druckluftunterstützte Schaberabnahme stellt die Standardmodifikation für gut untersättigte, spröde brechende Filterkuchen dar. Sehr dünne, pastöse und klebrige Filterkuchen lassen sich perfekt mittels einer Walze abnehmen, die das feuchte Material von der Trommel übernimmt. Von der Walze wiederum wird der Kuchen mit einem meist kammartig gezahnten Messer entfernt. Wenn die Suspension dazu neigt, ein Filtertuch schnell zu verblocken, muss dieses intensiv gewaschen werden können. Diese Möglichkeit wird mit einem von der Filtertrommel ablaufenden Tuch geschaffen. Wenn schließlich extrem feinkörnige und gering konzentrierte Suspensionen zu trennen sind, wäre es naheliegend, ein Tiefen- oder Querstromfilter bzw. einen Tellerseparator in Erwägung zu ziehen. Die oft beste Alternative wäre aber ein Trommelfilter mit Anschwemmschicht (Precoat), was ein wiederum modifiziertes Kuchenabnahmesystem erfordert. Die nach jedem Durchlauf der Trommel durch die Suspension verstopfte oberste Schicht des Precoats muss durch ein entsprechend nachrückendes scharfes Messer abgeschnitten werden (min. Schichtdicke modernster Filter heute ca. 50µm).

Nach der Variation und Modifikation des Prinzipes „Trommelfilter“ soll auch dessen Intensivierung als dritte Route erfolgreicher evolutionärer Entwicklung diskutiert werden. Der Filtrationsdruck eines Vakuumfilters ist durch den Dampfdruck der Flüssigkeit begrenzt. Um diese Begrenzung zu überwinden, ist ein Systemwechsel zur Druckerzeugung erforderlich (vgl. Abb.4). In Druckkesseln installierte Trommelfilter (vgl. Abb.9) können bis zu Filterdrücken von ca. 10bar arbeiten.

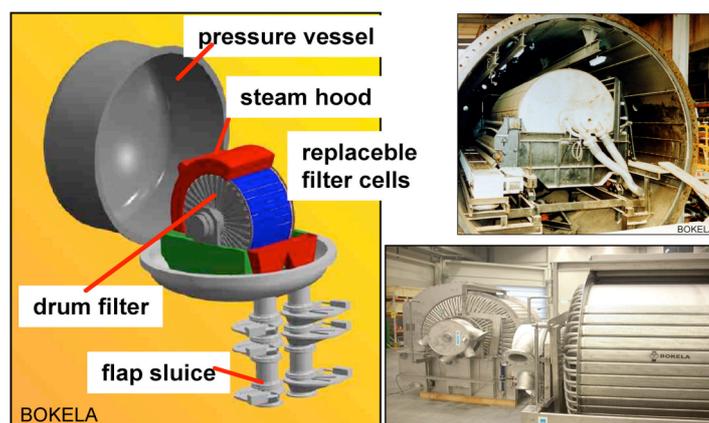


Abb.9: Druck- und Dampfdruckfiltration mit Trommelfiltern

Um dieses Prinzip noch weiter zu intensivieren, kann hier eine Hybridisierung zwischen mechanischer und thermischer Kuchenentfeuchtung realisiert werden (Bott, 2002). Die Druckluft im Kessel kann durch Dampf gleichen Druckes ersetzt werden, der über eine spezielle Dampfhaube zugeführt wird. Der Dampf durchdringt den kalten Filterkuchen in fast ideal kolbenförmiger Weise und verdrängt das Filtrat aus

den Poren. Gleichzeitig entsteht etwas Kondensat an der kühlen Kuchenoberfläche, welches ein perfektes Waschmedium darstellt. Um maximalen Vorteil aus diesen Phänomenen zu ziehen, musste auch die Filterkonstruktion weiter entwickelt werden. In jüngerer Zeit wurde hierzu das gesamte Rohrleitungssystem im Filter hydraulisch optimiert und die Filterzellenanzahl deutlich vergrößert. Mehr Filterzellen erlauben eine schärfere Trennung von Mutter- und Waschlösung, was in diesem Fall sogar eine effiziente Gegenstromwäsche auch auf einem Trommelfilter erlaubt.

In Kapitel 3.1 wurde die Methode des Denkens in Analogien zur Findung neuer Lösungen am Beispiel der Trennplatte diskutiert. Nun soll diese Methode im Bereich der Vakuums-Trommelfilter angewendet werden. Wie können etwa die Kräfte, wie sie durch das fallende Wasser in dem in Abb.10 wiedergegebenen Wasserkraftwerk entstehen, zur Verbesserung von Vakuums-Trommelfiltern eingesetzt werden?

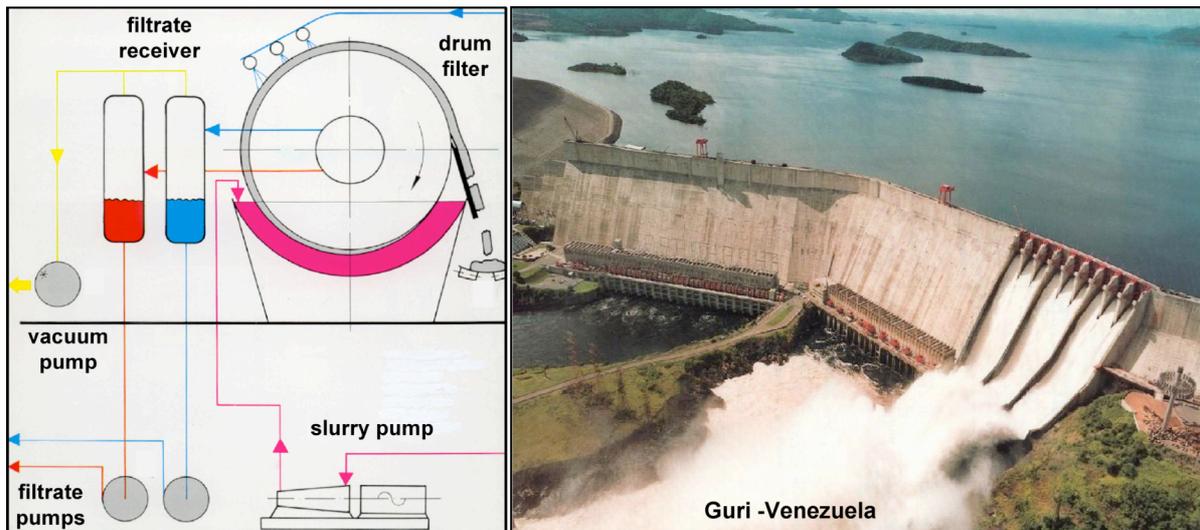


Abb.10: Vakuums-Trommelfilteranlage und Wasserkraftwerk

Gemäß Abb.10 benötigt eine Vakuumsfilteranlage im Normalfall Pumpen zur Vakuumerzeugung und zur Ausschleusung des Filtrates aus dem System. Wie Abb.11 zeigt, entsteht ein hydrostatischer Saugzug bzw. ein Siphoneffekt, wenn das Filtrat durch ein Rohr abwärts fließen kann.

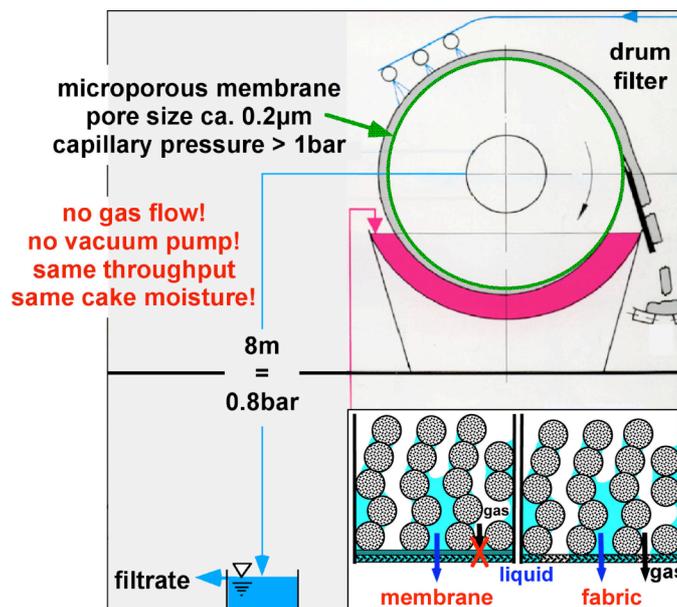


Abb.11: Vakuums-Trommelfilteranlage ohne Vakuumpumpe und Filtratpumpen

Wenn die Vakuumpumpe eine Druckdifferenz von 0.8bar erzeugt, kann das Filtrat aus dem Rohr ohne zusätzliche Pumpe herausfließen, wenn die Flüssigkeitssäule im Rohr 8m hoch wird. Dies ist schon lange Stand der Technik und bekannt unter dem Begriff „barometrischer Fuß“. In dieser Konfiguration ist die Vakuumpumpe aber noch immer erforderlich.

Eine Vision für die Zukunft wäre es, ganz auf Vakuum- und Filtratpumpen verzichten zu können, indem als Filtermedium eine hydrophile mikroporöse Membran mit einem kapillaren Eintrittsdruck von mehr als 0.8bar (Porengröße  $<1\mu\text{m}$ ) verwendet wird. In diesem Fall könnte bei einer Vakuumfiltration kein Gas durch die Membran dringen (Anlauf, 2006). Der Filtrationsdruck würde nun durch den barometrischen Fuß erzeugt und aufrecht erhalten, weil ja wegen der semipermeablen Membran kein Gas nachströmen und die Flüssigkeitssäule unterbrechen kann. Hier wird das Prinzip der wasserundurchlässigen Regenjacke (Analogie!) umgedreht.

Die evolutionäre Weiterentwicklung eines Basisprinzipes beinhaltet in jedem Fall auch den selektiven Aspekt. Ein neuer Prozess hat nur dann eine nachhaltige Chance am Markt, wenn er Vorteile gegenüber dem Stand der Technik aufweist. In Abb.12 ist exemplarisch die Herstellung von Polyterephthalsäure (PTA) dargestellt.

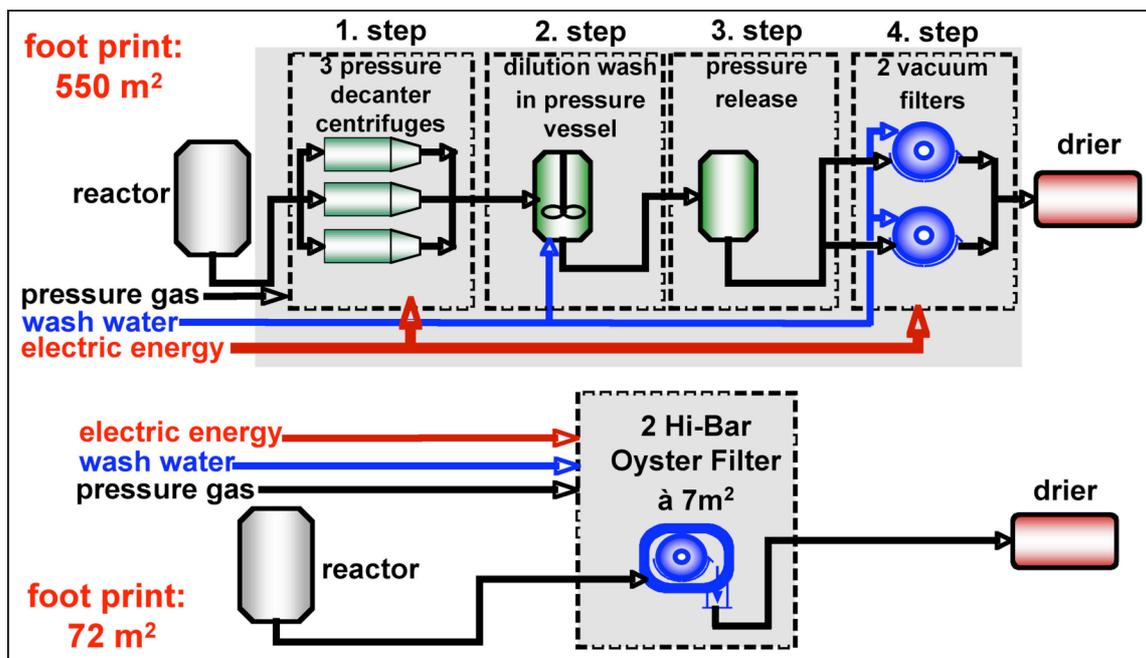


Abb.12: Alternative Prozessketten für die PTA-Produktion (600kt/a)

Im konventionellen Prozess sind vier Prozessstufen zwischen Reaktor und Trockner notwendig, um das Produkt abzutrennen und zu reinigen. Dieser komplexe Prozess kann durch einen einstufigen Prozess mit zwei hoch effizienten Druck-Trommelfiltern stark vereinfacht und verbessert werden. Tabelle.1 vergleicht beide Prozessvarianten unter verschiedenen Aspekten.

	foot print $\text{m}^2$	energy demand $\text{kWh per t PTA (el.)}$	wash water demand $\text{m}^3 \text{ wash water/t PTA}$	rel. invest cost
conventional 4-step	550	13.5	1.75	100
new 1-step	72	1.2	0.9	30-40

Tab.1: Vergleich des konventionellen und des verbesserten PTA-Prozesses

### 3.3 Diskontinuierliche Filterpressen

Als drittes Beispiel für evolutionäre Apparateentwicklung behandelt Filterpressen. Das erste Patent für eine Filterpresse wurde im Jahre 1834 erteilt (Riedel, 1864). Abb.13 zeigt eine historische Filterpresse aus dem Jahr 1900, deren Filterplatten noch aus Holz gefertigt waren.

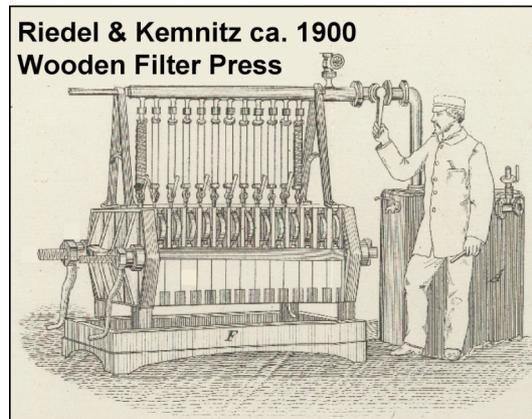


Abb.13: Historische Filterpresse

Entsprechend Abb.14 sind die Filterpressen im Laufe der Zeit von der Rahmen- über die Kammer- hin zur Membranfilterpresse immer weiter verbessert worden.

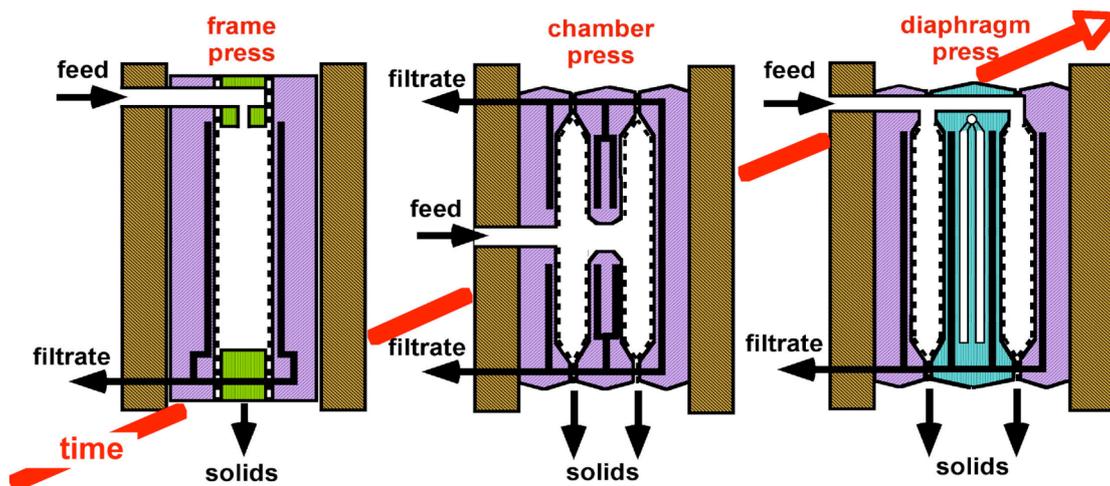


Abb.14: Grundprinzip der Rahmen-, Kammer- und Membranfilterpresse

Die Rahmenfilterpresse weist eine einfache Konstruktion auf, doch besteht einer ihrer Schwachpunkte in einem aufwändigen Kuchenaustrag. Der Kuchen ist im Rahmen fixiert und muss zum Austrag aus diesem herausgebrochen werden. Vorteilhafter ist in dieser Hinsicht die modernere Kammerfilterpresse. Die Filterplatten bilden durch ihre Form die Kammern selbst und wenn die Presse geöffnet wird, sollten die Filterkuchen schwerkraftunterstützt aus den Kammern herausfallen. Eine Schwäche dieses Konzeptes besteht darin, dass die Filterkuchenstruktur, insbesondere bei sehr großen Pressen mit Plattengrößen von 2.5mx2.5m, sehr inhomogen ist. Dies führt zu ineffektiver Kuchenwaschung und relativ hohen Restfeuchtwerten. Weiterhin werden Filterkuchen von mehreren cm Dicke benötigt, um eine genügend hohe Kuchenmasse für den Kuchenaustrag zu erhalten. Dies führt zu sehr hohen Filtrationszeiten von oftmals vielen Stunden. In Rahmen- und Kammerfilterpressen gibt es weiterhin keine Möglichkeit für einen trockenen Kuchenaustrag, wenn die Suspensionszufuhr während der Kuchenbildung ausfällt. Ein Teil des Kammervolumens wird dann suspensionsgefüllt bleiben. Fortschritt unter vielerlei

Gesichtspunkten brachte die Entwicklung der Membranfilterpresse. Nun konnte der Filterkuchen durch eine flächig auf den Filterkuchen pressbare Gummihaut sehr homogen ausgepresst werden. Dies führt im Vergleich zur Kamerfilterpresse deutlich verbesserten Waschergebnissen und verringerter Kuchenrestfeuchte. Weiterhin kann in jedem Fall der Austrag von Suspension aus der Presse vermieden werden. Das Problem nicht garantierbaren kompletten Kuchenausstrages und die Notwendigkeit dicker Filterkuchen wird aber noch nicht gelöst. Um auch diese Schwachpunkte zu überwinden, wurde die in Abb.15 dargestellte vertikale Membranfilterpresse entwickelt.

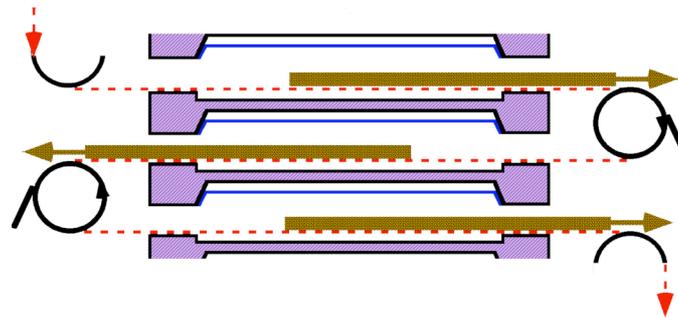


Abb.15: Vollautomatische vertikale Membranfilterpresse.

Zum Kuchenausstrag öffnet sich das Plattenpaket, das endlos umlaufende Filtertuch wird um eine Plattenlänge bewegt und die Kuchen werden aus den Kammern ausgetragen. Bei der scharfen Umlenkung des Tuches um die Führungswalzen lösen sich die kohäsiven Kuchen ab. Ein zusätzlicher Schaber an den Walzen sorgt für absolut sicheren Kuchenausstrag. Homogenes Auspressen des Filterkuchens, ideale Verteilung der Waschflüssigkeit auf dem Kuchen, die Möglichkeit zur Bildung relativ dünner Filterkuchen und der garantiert vollständige Kuchenausstrag sind Charakteristika dieser Konfiguration.

Ein weiterer Entwicklungsast der Filterpressen ist gemäß Abb.16 die Hybridisierung von mechanischer und thermischer Entfeuchtung in Form der sog. „heißen Filterpresse“ (Anlauf, 2009).

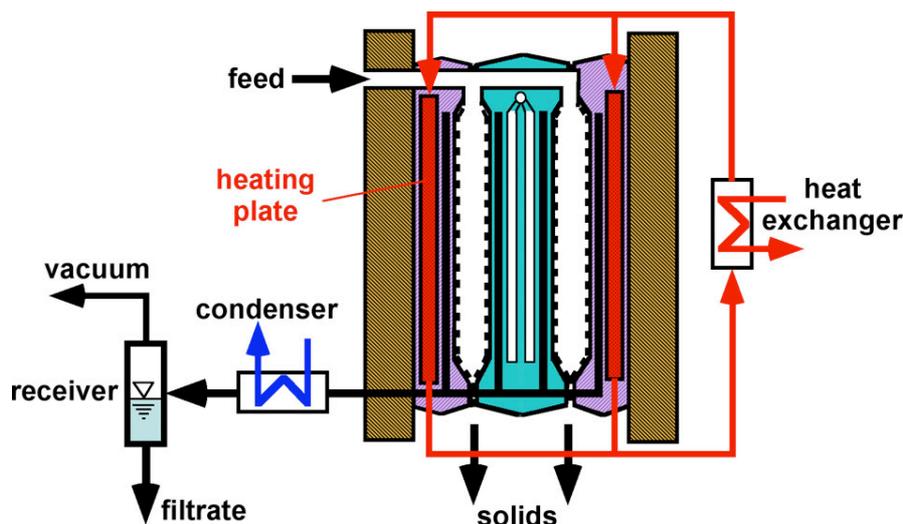


Abb.16: Heiße Filterpresse

Das Prinzip ähnelt demjenigen der schon in Kapitel 3.2 behandelten Dampfdruckfiltration mit Drehfiltern. Nach der Kuchenbildung und der Kuchenkonsolidierung durch Auspressen wird hier eine heiße Flüssigkeit durch speziell konstruierte Heizplatten geleitet, um den Kuchen zu erhitzen. Gleichzeitig

wird an die Filtratauslässe Vakuum angelegt, und durch die Überschreitung des Dampfdruckes der Flüssigkeit wird eine thermische Trocknung des Filterkuchens eingeleitet.

Eine Vision zur hocheffizienten Trennung extrem schwer filtrierbarer Suspensionen macht einen erneuten Systemwechsel von einem diskontinuierlich arbeitenden Pressfilter zurück zu einem Druckdrehtfilter erforderlich. Im Unterschied zur bisher diskutierten Druck-Drehfiltration müsste nun der Prozess gemäß der schematischen Darstellung in Abb.17 modifiziert werden. Wegen des zu erwartenden sehr hohen Filterkuchenwiderstandes werden nur sehr dünne Partikelschichten von weniger als 1mm Dicke entstehen, die wegen sehr hoher kapillarer Eintrittsdrücke nicht untersättigt und daher pastös sein werden.

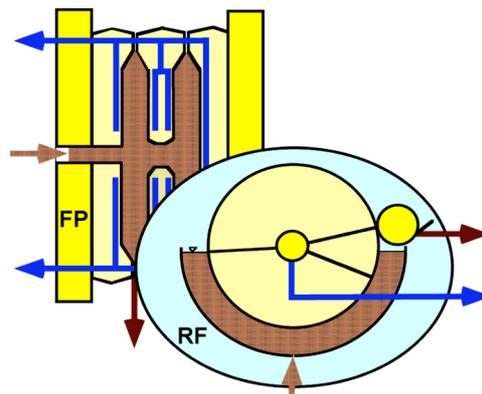


Abb.17: Kontinuierliche Dünnschicht-Druckfiltration

Herausforderungen für die Realisierung eines solchen Prozesses werden die Suche nach einem geeigneten Membranfiltermedium (vgl. Abb.11) und einer geeigneten Methode zur Kuchenabnahme sein. Inzwischen können ausgewählte Hersteller von Filtermedien bereits vielversprechende neue Produkte anbieten, die für einen derartigen Einsatz geeignet sein könnten. Für den Kuchenaustrag könnte eventuell eine spezielle Walzenabnahme zum Erfolg führen. Theoretische Berechnungen auf der Basis experimenteller Daten haben bei vergleichbaren Randbedingungen für das kontinuierliche Druckfilter einen 20-40 mal höheren spez. Durchsatz gegenüber der diskontinuierlichen Filterpresse ergeben (Anlauf, 2010).

#### 4. Zusammenfassung

Es konnte an mehreren Beispielen gezeigt werden, dass der technische Fortschritt im Bereich der Trenntechnik unter verschiedenen Gesichtspunkten mit der evolutionären Entwicklung in der Natur verglichen werden kann. Mutation und Selektion stellen Mechanismen dar, die nicht nur in einem biologischen, sondern auch in einem technischen Kontext beobachtet werden können. Treibende Kräfte für neue Entwicklungen sind reale Bedürfnisse nicht oder nicht befriedigend gelöste Probleme zu überwinden. Der Entwicklungsprozess kann neben solidem Fachwissen und modernen Rechen- und Simulationswerkzeugen insbesondere durch Kreativität und Fantasie beschleunigt werden. Die Methode des Denkens in Analogien, bei der Bilder in andere Zusammenhänge übertragen werden, stellt eine sehr wirkungsvolle Methode zur Findung neuer Lösungen dar. Der Bedarf an neuen und verbesserten Problemlösungen ist für die Trenntechnik nach wie vor unter vielen Gesichtspunkten gegeben. Dies kann die Produktreinheit, -restfeuchte oder -selektivität, die Erhaltung von empfindlichen Produktstrukturen, Aspekte der Energieeffizienz, die Prozessintegration, ganz neue Anwendungen u.a. betreffen.

## 5. Literatur

- Anlauf, H.; Mechanische Fest/Flüssig-Trennung im Wandel der Zeit; Chemie Ingenieur Technik CIT; 2003; 75; No.10, 1460-1463; DOI: 10.1002/cite.200303283
- Anlauf, H.; Recent Developments in Research and Machinery of Solid-Liquid Separation Technology; Drying Technology; 2006; 24; 1235-1241; DOI:10.1080/07373930600838066
- Anlauf, H.; Fest/Flüssig-Trennung auf der ACHEMA – ACHEMA Berichte; Chemie Ingenieur Technik CIT; 2009; 81; No.9, 1350-1357
- Anlauf, H.; Kuchenfiltration jenseits der Möglichkeiten heutiger Pressfiler – kontinuierliche Dünnschichtfiltration; Welt-Handbuch der Filtrations- u. Separationsindustrie; 2010; VDL-Verlag, Rödermark, Germany; ISBN 978-3-00-029751-9; 142-148
- Bott, R.; Continuous steam pressure filtration of mass mineral products; AT/Mineral Processing; 2002; 43 (3); 19-30
- Kopf, M.  
Hamatschek, J.  
Hegnauer, B. Die Zentrifugen heute und morgen: größer, effizienter, spezifischer; Welt-Handbuch der Filtrations- u. Separationsindustrie; 2008; VDL-Verlag, Rödermark, Germany; ISBN 978-3-00-024080-5; 167-172
- Stahl, W.; Industriezentrifugen Band II; 2004; DrM Press, Männedorf, Switzerland; ISBN 3-9522794-0-4; 392-396