

Backe, backe Kuchen

Abscheiden feinkörniger Feststoffe aus Suspensionen mittels Naßfiltration erhöht Prozeßautomatisierung

Die weitere Verbesserung von Filterapparaten hat in den letzten Jahren zu einer wesentlichen Prozeßautomatisierung bei Aufgaben der Fest-Flüssig-Trennung geführt. Auch die energetisch günstigere Arbeitsweise hat die Verfahren der Naßfiltration gegenüber den thermischen Trocknungsverfahren mehr in den Vordergrund gerückt. Neuerdings gewinnt auch die Druckfiltration als Verfahrensvariante mehr an Bedeutung.

Harald Anlauf und Reinhard Bott

MM Die mechanischen Verfahren der kuchenbildenden Filtration zum Abscheiden von feinkörnigen Feststoffen aus Suspensionen haben in allen Bereichen der von Fest-Flüssig-Trennaufgaben berührten Industriezweige eine große Bedeutung erlangt. Eine Vielzahl von Apparateverbesserungen, die verstärkten Bemühungen bei der Prozeßautomatisierung und eine Reihe neuer Maschinen haben diese Bedeutung weiter gefestigt und erweitert. Die Kenntnis von den Vorgängen beim Bilden und Entfeuchten des Filterkuchens ist wichtig zum Verständnis der maschinellen

Dr.-Ing. Harald Anlauf ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik der Universität Karlsruhe (TH) (Institutsleitung: Prof. Dr. rer. nat. Hans Bugjisch, Prof. Dr.-Ing. Friedrich Löffler, Prof. Dr.-Ing. Werner Stahl (Sprecher) und Dr.-Ing. Reinhard Bott) ist Geschäftsführer einer Ingenieurgesellschaft für Mechanische Verfahrenstechnik in Karlsruhe.

Aspekte und apparatetechnischen Umsetzung.

Bei der Bildung des zu entfeuchtenden porösen Haufwerkes tritt die Suspensionsflüssigkeit aufgrund eines von außen angelegten Druckgefälles durch ein meist textiles Filtermedium hindurch. Die abzuschleppenden Feststoffteilchen werden von diesem zurückgehalten und ergeben einen mehr oder weniger kompressiblen Filterkuchen.

Die treibende Druckdifferenz wird entweder durch ein Vakuum hinter dem Filtermedium, durch einen Überdruck in oder auf der Suspension oder durch beides erzeugt. Der Filterkuchenbildung schließt sich zur Entfernung von Mutterfiltrat häufig ein Waschvorgang an. Anschließend kann durch ein Verdrängen der Porenflüssigkeit mit Gas (meist Luft) eine weitgehende Entfeuchtung des Haufwerkes erzielt werden. Die sich dabei durch bereits entleerte Kuchenporen hindurch einstellende Gasströmung verursacht einen wesentlichen Teil der Betriebskosten eines Filters.

Um überhaupt einen Teil der in diesen Poren eingeschlossenen Flüssigkeit durch Gas verdrängen zu können, muß die von außen angelegte Druckdifferenz größer als der in den Kuchenporen wirksame Kapillardruck sein (Bild 1).

Je feinkörniger der entstehende Filterkuchen wird, desto größer werden die kapillaren Haltekraft und desto höher muß demzufolge das treibende Druckpotential gewählt werden, um Flüssigkeit verdrängen zu können.

Darin liegt eine wesentliche Ursache für die oft unzureichenden Entfeuchtungsergebnisse feinkörniger Filterkuchen bei der konventionellen Vakuumfiltration. Durch die Pumpenkennlinien der be-

währten Vakuumerzeuger (zum Beispiel Wasserringpumpen) begrenzt, lassen sich bei Vakuumfiltern nur Druckdifferenzen bis etwa 0,8 bar realisieren. Durch einen unzulänglichen Betriebszustand der Vakuumpumpen (zum Beispiel Verkalkung), Undichtigkeiten im Filterrohrsystem, Schrumpfbildung im Filterkuchen oder andere Fehlgasströme verursacht, liegt diese Druckdifferenz im Betriebsfall sehr oft noch darunter ($\Delta p = 0,2$ bis $0,6$ bar).

Die physikalischen Vorgänge während der Filterkuchenbildung, der





Werkbild: Universität Karlsruhe (TH)

Restfeuchteabsenkung und der Durchströmung des teilentfeuchteten Haufwerkes mit Gas können als weitgehend erforscht und bekannt angesehen werden [1]. Nichtsdestoweniger ist eine einfache Berechnung beziehungsweise sichere Vorhersage der Ergebnisse dieser Vorgänge zum Beispiel aus den Daten einer Partikelgrößenverteilung als äußerst fragwürdig anzusehen.

Die außerordentlich komplexe Natur der vielen sich gegenseitig beeinflussenden Parameter einer Suspension und die komplizierten geometri-

schénen Verhältnisse einer realen Filterkuchenstruktur ziehen sich jeder realistischen Möglichkeit einer genauen theoretischen Berechnung.

Aus diesem Grunde wird es zur Auslegung von Filterapparaten immer notwendig sein, Materialfunktionen der interessierenden Systeme, wie etwa die spezifische Kuchen durchlässigkeit oder die Kapillardruckverteilung durch Messung unter möglichst praxisnahen Bedingungen zu ermitteln.

Zum Erfassen von Maschinenparametern, wie dem Rührwerksein-

fluß im Suspensionstrog kontinuierlicher Filter oder der sicheren Kuchenabnahme vom Filtertuch, ist meist auch ein Pilotversuch in halbertechnischem Maßstab unumgänglich. Aus diesen Gründen hat sich während der letzten Jahre in der Forschung das Augenmerk verstärkt darauf gerichtet, unter Ausnutzung des Wissens über die physikalischen Grundvorgänge, Auslegungsmethoden zu entwickeln, die möglichst weitgehende und sichere Vorhersagen bei möglichst geringem experimentellem Meßaufwand erlauben [2 und 3].

Für die Lösung eines speziellen Filtrationsproblems spielt weiterhin die Verfügbarkeit des ganzen verfahrenstechnischen Wissens aus dem Bereich der Fest-Flüssig-Trenntechnik eine wesentliche Rolle.

Eine der interessantesten Entwicklungen auf dem Gebiet der Erfassung von Lösungsmöglichkeiten für verfahrenstechnische Grundoperationen mit den zugehörigen Apparaten und Maschinen in systematischen Informationsspeichern stellen die sogenannten Expertensysteme dar. Expertensysteme sind Programme, die nicht nur Daten, sondern vor allem Wissen verarbeiten [4]. Auch auf dem Gebiet der kuchenbildenden Filtration wird intensiv an diesen Systemen künstlicher Intelligenz gearbeitet, und die Vorstellung der jeweils neuesten Ergebnisse ist von den größeren verfahrenstechnischen Fachtagungen nicht mehr wegzudenken [5].

Mehr Anwendungen für Filterapparate

Die „Individualität“ der Filtrierbarkeit fein- und feinstkörniger Suspensionen und die unterschiedlichen Anforderungen an das Ergebnis der Trennoperation hinsichtlich Durchsatz, zu erreichender Kuchenrestfeuchte, Filtratklarheit, Waschwasserbedarf oder Auswaschgrad hat zu einer weiteren Diversifizierung der großen Anzahl unterschiedlicher Filtergeräte geführt [6]. Dieses Apparatespektrum kann sowohl nach der Art der Differenzdruckerzeugung in Vakuum- und Druckfilter als auch nach seiner Arbeitsweise in diskontinuierlich und kontinuierlich arbeitende Filter eingeteilt werden.

Zu den diskontinuierlichen, also absatzweise arbeitenden Geräten, zählen alle Arten von Nutschen-, Kerzen-, Teller- und Blattfiltern sowie die Filterpressen. Den kontinuierlichen Apparaten können die Band-, Schei-

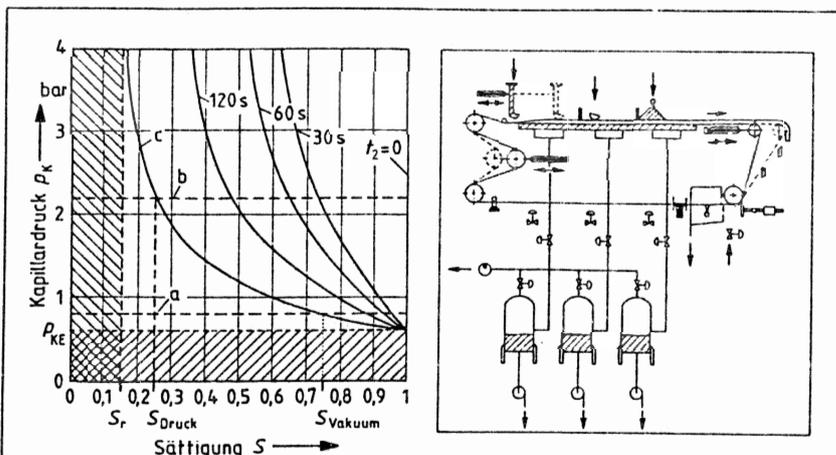


Bild 1: Kapillardruck p_K und Sättigung S im Filterkuchen bei verschiedenen Entfeuchtungszeiten t mit p_{KE} als Eintrittskapillardruck und S_r als mechanischer Entfeuchtungs-grenze
a Vakuumfiltration, b Druckfiltration, c Gleichgewicht

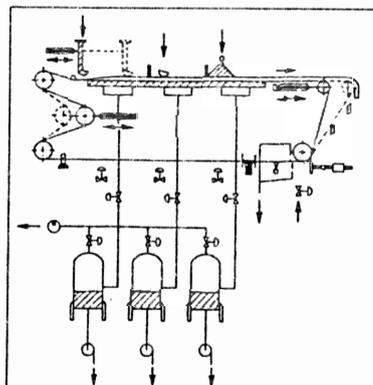


Bild 2: Vakuumbandfilter mit der Filtration in Schwerkraft-richtung und guter Auswaschmöglichkeit des Filterkuchens

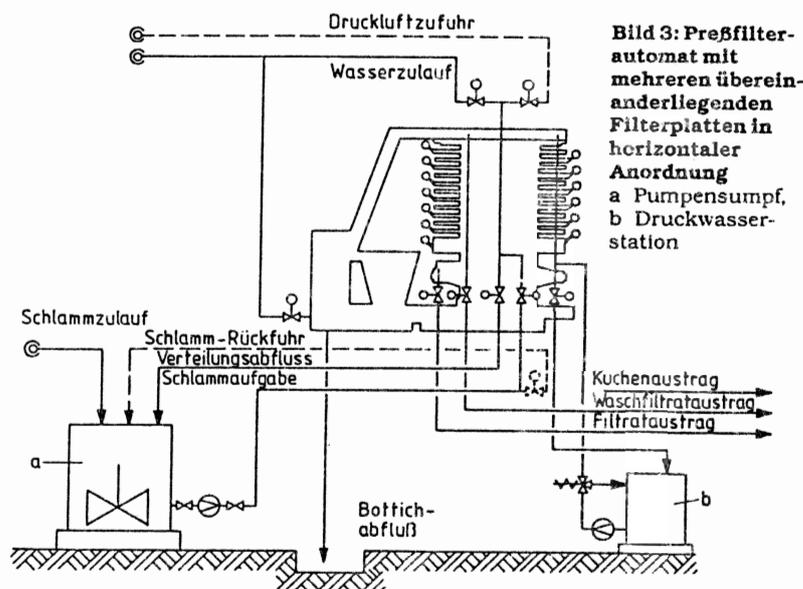


Bild 3: Preßfilter-automat mit mehreren übereinanderliegenden Filterplatten in horizontaler Anordnung
a Pumpensumpf, b Druckwasserstation

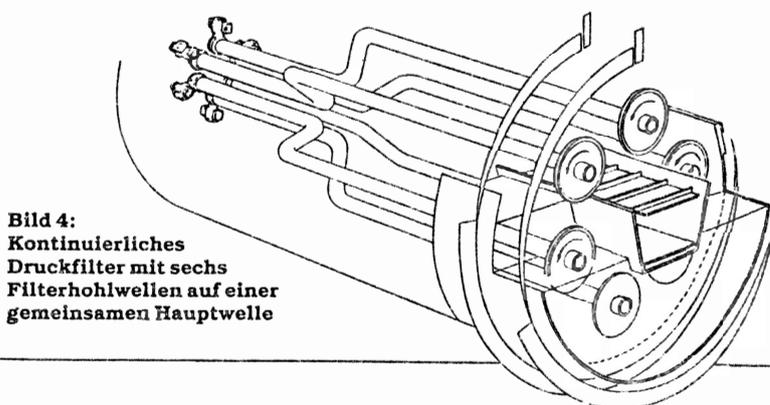


Bild 4: Kontinuierliches Druckfilter mit sechs Filterhohlwellen auf einer gemeinsamen Hauptwelle

ben- und Trommelfilter zugerechnet werden. Diese klassischen Grundtypen sind unter sich wiederum in verschiedenen, zum Teil hoch spezialisierten Varianten anzutreffen. Darüber hinaus gibt es noch einige Sonderbauformen, die sich nur schwer in das allgemeine Schema einpassen lassen.

Alle genannten Filterapparate haben in der jüngeren Vergangenheit eine Ausdehnung ihres Anwendungsbereiches erfahren. Triebfeder für das verstärkte Anwenden mechanischer Trennverfahren war vor allem die große Erhöhung der Energiepreise zu Beginn der siebziger Jahre. In aller Regel sind nämlich die Verfahren der Naßfiltration energetisch kostengünstiger als thermische Trocknungsverfahren. Das Verhältnis liegt zwischen 1 : 7 bis 1 : 10.

Darüber hinaus ist, wie auch einer Studie des englischen Marktforschungsinstitutes Frost & Sullivan zu entnehmen ist, durch die Erschließung neuer Anwendungsgebiete, wie etwa dem Abtrennen von Gips aus der Rauchgasentschwefelung, Fest-Flüssig-Trennaufgaben im Bereich der Biotechnologie, dem Beseitigen der Teichwirtschaft bei der Deponierung von Aufbereitungsabgängen oder anderer Umweltschutzmaßnahmen, mit einem weiteren Wachstum auf diesem Apparatesektor zu rechnen. Die Entwicklungstendenzen in der Filtertechnik haben, außer dem Bewältigen neuer Aufgabenstellungen vor allem das Ziel, die Ergebnisse des Trennprozesses zu verbessern und den in fast allen Bereichen zu verzeichnenden Kostensteigerungen zu begegnen.

Wenn man die verschiedenen aktuellen Entwicklungstendenzen entsprechend ihrer Zielsetzung zu unterscheiden sucht, so können unter anderem folgende Einzelmaßnahmen genannt werden: Konstruktive Maßnahmen zum Reduzieren der Material- und Fertigungskosten. Automatisieren der Filter zum Einsparen von Personalkosten. Verbessern der Trennwirkung, um die Energiekosten zu senken. Anpassen an neue Aufgaben und Erschließen neuer Anwendungsfälle. Entwicklung neuer Technologien beziehungsweise neuer Verfahren und Apparate sowie Weiter- oder Neuentwicklung ergänzender Filterkomponenten wie Filtermedien, Kuchenabnahmearten, Rührsysteme, Filterzellen und Füllstandsmessung. In der Praxis steht in den seltensten Fällen eine dieser Zielgrößen allein im Vordergrund.

sondern es werden mehrere gleichzeitig angesteuert.

Konstruktive Maßnahmen betreffen bis auf wenige Ausnahmen nur einzelne Apparateteile, können aber dennoch merklich die Kostensituation verändern. Kennzeichnende Beispiele hierfür sind bei Vakuumtrommelfiltern erarbeitet worden, deren Tröge, Steuerköpfe und Antriebe überarbeitet und neugestaltet wurden [7]. Konstruktive Änderungen von Details können weiterhin zu wesentlichen Verbesserungen des verfahrenstechnischen Trennergebnisses führen. Durch Minimieren der hydraulischen Widerstände beziehungsweise hydraulischer Begrenzungen im Filtratrohrsystem von Scheibenfiltern durch ein Verändern der Konstruktion der Filtersektoren und der Filtratrohre, konnten diese Apparate gegenüber herkömmlichen Ausführungen in ihrer Leistungsfähigkeit gesteigert werden [8].

Konstruktive Maßnahmen betreffen auch den verstärkten Gebrauch von Kunststoffen und Sonderwerkstoffen, wie Titan und Hastelloy, oder Gummierungen im Apparatebau, die den Anwendungsbereich der betreffenden Geräte in neue Produkte hinein erweitert haben. Eine umfangreiche Übersicht über konstruktive Weiterentwicklungen und Verbesserungen von Details verschiedenster Filterapparate ist auf der Achema 1985 in Frankfurt/Main präsentiert worden [9]. Diese Messe hat auch Hinweise auf den in letzter Zeit verstärkt zu beobachtenden Trend zum Gebrauch kontinuierlicher Bandfilter gegeben, die mit einer ganzen Reihe konstruktiver Weiterentwicklungen vorgestellt wurden.

Prozessautomatisierung hält weiter an

Die Vorteile dieses Filters (Bild 2), wie Filtration in Schwerkraftrichtung und besonders gute Auswaschmöglichkeiten für den Filterkuchen, haben diesem Gerät trotz seines hohen Platzbedarfes zu steigender Beliebtheit verholfen.

Mit neuentwickelten Nachpreßvorrichtungen wie einem nachgeschalteten Preßband oder einem aufblasbaren Druckkissen kann der Filterkuchen in gewissen Grenzen in der Restfeuchte noch weiter abgesenkt werden. Die Möglichkeit gasdicht gekapselter Bandfilter rundet das Angebot auf diesem Gebiet ab.

Außer dem Verbessern konstruktiver Details an Filterapparaten ist in den letzten Jahren ein starker Trend

zum Automatisieren der Verfahrensabläufe zu beobachten. Hierbei ist vor allem die Einführung frei programmierbarer Steuerungen zu nennen, mit denen bereits große Fortschritte bei der Automatisierung und vor allem auch der Optimierung des Verfahrensablaufes von Fest-Flüssig-Trennprozessen erzielt werden konnten. Eine Grenze des Fortschrittes in dieser Richtung ist allerdings heute noch vielfach durch einen Mangel an geeigneten Sensoren für die On-line-Messung der den Trennprozeß bestimmenden Produkteigenschaften gegeben. Während bei konstanten Produkteigenschaften ein diskontinuierlicher Trennprozeß einfach mit einer Zeitsteuerung automatisierbar ist, entfällt diese Möglichkeit bei den in der Praxis üblichen Produktschwankungen und den damit verbundenen gravierenden Änderungen des Filtrations-, Wasch- und Entfeuchtungsverhaltens.

Als Neuentwicklung auf dem Automatisierungssektor ist zum Beispiel ein elektrohydraulisch betriebener und nach dem Konzept eines Industrieroboters arbeitender Nutschenträger zu erwähnen. Mit diesem Gerät wird die Handhabung der in vielen Produktbereichen installierten offenen Vakuumnutschen sehr erleichtert, weil diese derzeit meist noch manuell ausgetauscht werden müssen. Besonders hervorzuheben ist der große Fortschritt, der in den letzten Jahren beim Automatisieren der Filterpresse erreicht wurde. Dort haben sich vor allem horizontal und vertikal angeordnete Preßfilterautomaten am Markt eingeführt (Bild 3).

Der Preßfilterautomat in seiner vertikalen Ausführung ist ein Gerät, das die bewährten Eigenschaften der Filterpresse und des horizontalen Bandfilters in sich vereinigt. Er ist durch die horizontale Anordnung von mehreren übereinanderliegenden Filterplatten gekennzeichnet. Das Filter arbeitet in einer kontinuierlichen Folge abgeschlossener Zyklen. Ein Arbeitszyklus umfaßt das Schließen, Füllen, Filtrieren, Abpressen mittels Membranen, Waschen, Nachpressen, Trockenblasen, Öffnen, Kuchenausragen und die Tuchreinigung. Alle diese Vorgänge, von denen der eine oder andere auch übersprungen werden kann, sind individuell programmierbar, so daß der Filtrationsbetrieb in der Regel vollautomatisch abläuft.

Die in den letzten Jahren verstärkt zur Anwendung gelangten Preßfilterautomaten kennzeichnen einen all-

gemeinverstärkten Trend zur Druckfiltration.

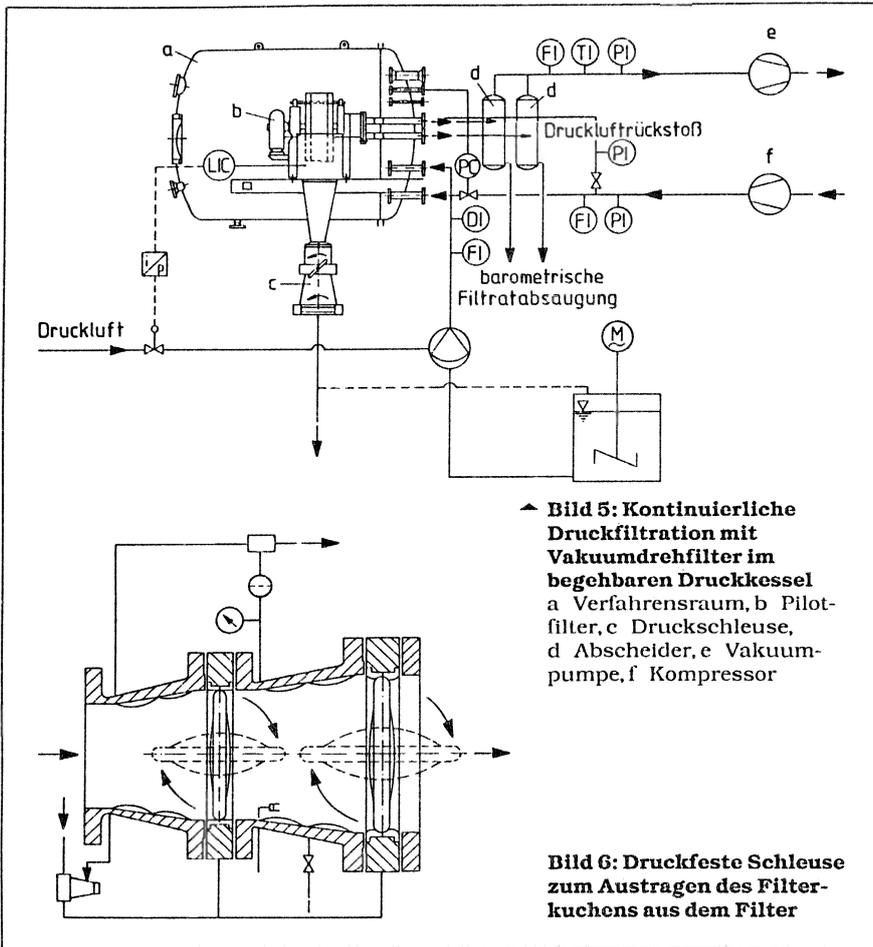
Außer dem Umdenkprozeß in Frage des Energieverbrauches läßt sich in letzter Zeit im Bereich der Produktion von Rohstoffen, Zucker, Stärke, Polymerisaten, Salz, Farbstoffen oder Kunstdünger eine Tendenz in Richtung einer einzigen Produktionslinie für ein Produkt erkennen. So muß, um ein Beispiel zu nennen, bei der Filtration feinstkörniger Aufbereitungssuspensionen in vielen Fällen eine mit ungenügender Kuchenrestfeuchte arbeitende kontinuierliche Vakuumfiltration mit einer energieaufwendigen thermischen Trocknung ergänzt werden. Mit einem Druckfilter können diese beiden Verfahrensstufen oft durch eine einzige ersetzt werden [10].

Anforderungen nehmen zu bei der Vakuumfiltration

Weil weltweit ein vermehrter Anfall von Feinstkorn in der Rohstoffaufbereitung zu erwarten ist, werden sich die Probleme für die Vakuumfiltration in der Zukunft noch verschärfen. Bei der Ausbeutung ärmerer Erzlagerstätten besteht der Zwang zu feinerem Aufschluß, um die geforderte Selektivität in Verbindung mit ausreichenden Ausbringungsgraden zu gewährleisten.

Im Bereich der Kohlegewinnung ist durch Verstärken mechanisierter Verfahren beim Abbau der Kohle und durch Verbesserung der Arbeitsbedingungen unter Tage (Erntestaubung) mit vermehrtem Feinstkorn in den Flotationskohlekonzentraten zu rechnen [11]. Dies alles sind Gründe für die in letzter Zeit intensiv vorangetriebene Entwicklung, vor allem auch kontinuierlich arbeitender Druckfiltersysteme. Außer einer Reihe anderer Druckfilter [12] ist ein Druckfiltrationskonzept verfolgt worden, das auf der vollkommenen Neukonstruktion des Filterapparates beruht (Bild 4).

Dieses kontinuierliche Druckfilter besteht aus einem horizontalen zylindrischen Kessel, in dem sechs Filterhohlwellen auf einer gemeinsamen Hauptwelle montiert sind. Jede Filterwelle trägt eine Anzahl von 60 bis 120 scheibenförmigen Filterelementen. Diese filtern beidseitig und rotieren ihrerseits auf der Filterwelle planetenartig um die Hauptwelle. Die Ausschleusung des Filterkuchens aus dem Druckraum, in dem mit bis zu 6 bar Überdruck filtriert wird, erfolgt über ein Fallrohr, in dem eine Produktschüttgutsäule steht.



▲ Bild 5: Kontinuierliche Druckfiltration mit Vakuumdrehfilter im begehbaren Druckkessel
a Verfahrensraum, b Pilotfilter, c Druckschleuse, d Abscheider, e Vakuumpumpe, f Kompressor

Bild 6: Druckfeste Schleuse zum Austragen des Filterkuchens aus dem Filter

Die Kuchensäule wird am Ende des Rohres durch ein konisches Verschlußorgan getragen. Dieses derzeit bis zu 120 m² Filterfläche lieferbare Druckfilter zeichnet sich durch einen ungewöhnlich hohen Stand an Automatisierung und rechnergesteuerter Regelung aus. Die erste großtechnische Anlage wird derzeit in einer Kohlewäsche in Belgien betrieben.

Die neueste Technik der kontinuierlichen Druckfiltration stellt eine am Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik in Karlsruhe entwickelte Variantedar. Dieses Verfahren wurde in den letzten fünf Jahren bis zur Betriebsreife entwickelt (Bild 5).

Das Grundkonzept sieht die Installation eines kompletten Drehfilters in einem begehbaren Druckkessel vor. Als Drehfilter bieten sich vorzugsweise alle Arten von Trommel- und Scheibenfiltern an, wobei prinzipiell auch ebene Filter in Frage kommen. Die Filtereinhausung schließt sämtliche Filterteile, Antriebe und, entgegen früheren Ausführungen,

auch das als Axialsteuerkopf gewählte Steuerventil ein. Der Anlagenbau ist in Anlehnung an bestehende Vakuumfilteranlagen so einfach wie möglich gehalten. Alle Anlagenkomponenten können quasi als Standardbauteile eingesetzt werden.

Filterkuchen fällt ab nach dem Entfeuchten

Nach der Filtration, die bis zu Überdrücken von etwa 4 bis 6 bar vorgesehen ist, strömt das Filtrat und die Entfeuchtungsluft über die gewöhnlichen Filtratrohre und den Steuerkopf in die Abscheider. Der Filterkuchen fällt nach der Kuchenabnahme auf ein Abzugsband beziehungsweise in einen Ausfallschacht, an dem eine Schleuse angeflanscht ist. Zur Lösung der Feststoffausschleusung wurde auch hier ein neues Gerät entwickelt (Bild 6).

Wesentliche Merkmale dieser Doppelklappenschleuse sind der sich konsequent von oben nach unten konisch erweiternde Durchlaßquer-

schnitt, eine pneumatisch nachspannbare und somit leckluftfreie Dichtung an den Drehtellerkanten, eine Vorrichtung zur Verhinderung von dauerhaften Anbackungen auf den Drehtellern und ein differenzdruckfreies Öffnen und Schließen der Kammerverschlüsse.

Das beschriebene Filtersystem kann nicht nur als reines Überdruckfilter, sondern bei der sogenannten „Hyperbaren Vakuumfiltration“ zusätzlich auch mit Vakuum, welches steuerkopfseitig ganz konventionell durch eine Saugpumpe erzeugt wird, arbeiten. Die erste großtechnische Anlage nach dem beschriebenen Prinzip ist auf einer Schachtanlage für Flotationskohle in Betrieb. Diese Druckfilteranlage verwendet Scheibenfilter mit insgesamt 96 m² Filterfläche. Auch von anderen Unternehmen des Apparatebaus wird diese Entwicklung weiter verfolgt.

Schrifttum

- [1] Schubert, H.: Kapillarität in porösen Feststoffsystemen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1982.
- [2] Anlauf, H.: Entfeuchtung von Filterkuchen bei der Vakuum-, Druck- und Druck/Vakuumfiltration. Düsseldorf: VDI-Verlag 1986.
- [3] Bott, R.: Zur kontinuierlichen Druckfiltration. Clausthal-Zellerfeld: GDMB-Verlag 1986.
- [4] Trum P., und N. R. Indica: Expertensysteme – Aufbau und Anwendungsgebiete. Chemie-Ingenieur-Technik 58 (1986) 1, S. 6–9.
- [5] Blaß, E.: Aufgabengerechte Informationssammlung für die Verfahrensentwicklung. Chemie-Ingenieur-Technik 56 (1984) 4, S. 272–278.
- [6] N.N.: Marktübersicht über Filterapparate. Chemie-Ingenieur-Technik 55 (1983) 11, A539–A557.
- [7] Stahl, W., und R. Kern: Neuere apparative Entwicklungen bei kontinuierlichen Vakuumfiltern – Möglichkeiten der Anpassung und Verbesserung älterer Filter. Preprints Filtertechnik VDI-GVC. Düsseldorf: VDI-Verlag 1983.
- [8] Schweigler, N., und W. Stahl: The influence of disc filter design parameters on cake formation, air consumption and residual moisture of filter cakes. Proceedings of the 4th World Filtration Congress, Oostende/Belgium (1986). Published by the Filtration Society, London.
- [9] Esser U., D. Mrotzek und K.H. Steiner: Filterapparate/Achema Berichte. Chemie-Ingenieur-Technik 57 (1985) 12, S. 1035–1045.
- [10] Stahl, W., R. Bott und H. Anlauf: Die kontinuierliche Druckfiltration feiner Komplexerze Scale up, Prozeß- und Anlagengestaltung. Aufbereitungstechnik 26 (1985) 11, S. 625–631.
- [11] Bethé, W.B.: Künftige Anforderungen an die Steinkohlenaufbereitung durch Rohkohlen- und Marktentwicklung. Glückauf 116 (1980) 21, S. 1117–1123.
- [12] Bott, R., H. Anlauf und W. Stahl: Die kontinuierliche Druckfiltration – Stand der Technik, Optimierung des Betriebsergebnisses und Anlagendimensionierung. Jahrestreffen der GVC im VDI Straßburg, 17.–19.9.1986.

Werkbilder: 1 und 5 Verfasser, 2 BHS, 3 Larox, 4 Ama-Filter, 6 IOS