
Die Bildung von Schrumpfrissen in Filterkuchen bei der Entwässerung feinkörniger Erze

The formation of shrinkage cracks in filter cakes during dewatering of fine sized ores

774)

La formation de fissures dans les tourteaux

Nur zum persönlichen Gebrauch

Vom Verfasser überreicht

El agrietamiento de la torta

Dipl.-Ing. H. Anlauf, Dipl.-Ing. R. Bott, Prof. Dr.-Ing. W. Stahl, Dipl.-Ing. A. Krebber, Karlsruhe*)

Zusammenfassung

Die Bildung von Schrumpfrissen in luftdurchströmten Filterkuchen ist eine filtrationseinschränkende Erscheinung, die bei der Aufbereitung sehr feinkörniger mineralischer Rohstoffe häufig beobachtet werden kann. Durch die Rißbildung kann der Filtrationsprozeß in seiner Wirtschaftlichkeit entscheidend beeinträchtigt oder verfahrenstechnisch unmöglich werden. Die bis heute bekannten Maßnahmen zur Beeinflussung der Rißbildung sind nur unzureichend. Aus theoretischen und experimentellen Grundlagenarbeiten ist eine Reihe spezifischer Einflußgrößen auf die in teilentfeuchteten Haufwerken entstehenden Zugspannungen zu erhalten. Unter Beibehaltung aller physikalischen und chemischen Eigenschaften von Feststoff und Flüssigkeit und des verfahrenstechnischen Filtrationsablaufes konnte in der vorliegenden Arbeit nachgewiesen werden, daß sich die Neigung von Filterkuchen zur Schrumpfrißbildung durch gezielte Wahl der Filtrationseinstellgrößen und der Filterflächenengröße beeinflussen läßt. Durch praxisnahe Filtrationsversuche im Labor- und halbtechnischen Maßstab wurde gezeigt, daß eine Rißbildung auf diese Weise vermieden werden kann.

Résumé

Dans la filtration de minerais très fin, à passage d'air, la formation de fissures dans le tourteau est un phénomène commun qui a une influence défavorable sur la rentabilité du processus de séparation et qui peut même rendre ce dernier techniquement impossible. Actuellement, des mesures suffisantes permettant d'influer sur la formation de fissures ne sont pas connues.

En partant de recherches théoriques et expérimentales, on connaît certains paramètres spécifiques qui déterminent l'effort de traction du tourteau semi-sec. C'est en maintenant les propriétés physiques et chimiques du solide, du liquide et du processus de filtration que l'on a pu démontrer dans la présente étude qu'un choix adéquat des paramètres du processus et de la taille du filtre permet d'influer sur la formation de fissures. Des essais réalisés à l'échelle de laboratoire et à l'échelle semi-industrielle ont démontré que de cette manière la formation de fissures peut être évitée.

Summary

The formation of shrinkage cracks in dewatered filter cakes is for the beneficiation of very fine raw materials an often occurring filtrational restriction. The economically restrictive crack formation can in adverse cases even render the filtration process to be impossible. The until today known measures beneficially influencing the formation of cracks are insufficient.

From the basic theoretical and experimental research work, a series of specific parameters can be gained which influence the tensile stresses within the partly dewatered cake. In this presented paper it has been proven that the tendency of the filter cake to form shrinkage cracks can be influenced by the suitable choice of filtration parameters under preservation of all the physical and chemical liquid and solid characteristics. With the aid of industrial similar filter experiments in bench and semi technical scale, it has been shown that crack formation can be avoided.

Outlines of the phenomenon and its influence upon filter operation

In pressure and vacuum filtration of fine particle suspensions, the undesirable cracking of the filter cake is a phenomenon often to be observed.

Providing that the pressure difference applied at a dewatering process is large enough to overcome the capillary forces of the filter cake, water is drawn off from a porous system. Shortly after the cake forming phase the cake splits into a number of fragments and the numerous cracks propagate from the cake surface into the cake itself, whereupon a branching of the cracks into a characteristic crack formation can usually be observed.

The cracks are usually formed at inhomogenities within the filter cake and spread through the depth of it down to the filter cloth, whereby the finer the suspension particles and thus the compressibility of the bulk, the sooner the shrinkage cracks form during dewatering. Fig. 1 illustrates these observations with the example of a cake, formed and dewatered on a vacuum hand filter plate. This effect is by all accounts detrimental to the filtration results and compell in adverse cases to the choice of more expensive dewatering processes.

Cake cracking means that the gas flow rate, necessary for sustaining the dewatering pressure difference, rises considerably due to the increase of the free flow area in the filter cake. In the simplest case a higher compressed air consumption results, increasing the running costs.

*) Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik der Universität Karlsruhe (TH), 7500 Karlsruhe.

Resumen

En la filtración de minerales finísimos con paso de aire el agrietamiento de la torta es un fenómeno muy común que aminora la rentabilidad del proceso de separación o lo imposibilita técnicamente. Hasta hoy no se conocen medidas suficientes para influir el agrietamiento.

Partiendo de investigaciones teóricas y experimentales se conocen algunos parámetros específicos que determinan la tensión por tracción del la torta semiseca. Sin alterar las propiedades físicas y químicas del sólido, del líquido y del proceso de filtración en este trabajo se demuestra que con la elección de los parámetros del proceso y del tamaño del filtro es posible influir en el agrietamiento. Experimentos a escala de laboratorio y semindustrial demostraron que teniendo esto en cuenta el agrietamiento es evitable.

Beschreibung des Phänomens und Auswirkung auf den Filterbetrieb

Die Bildung von Schrumpfrissen in luftdurchströmten Filterkuchen ist bei der Vakuum/Druckfiltration feinkörniger Suspensionen ein ebenso häufig auftretender wie unerwünschter Effekt.

Sofern der Entfeuchtungsdifferenzdruck ausreicht, einem Haufwerk durch Überwindung der Kapillarkräfte Flüssigkeit zu entziehen, bricht der Filterkuchen bereits kurz nach dem Auftauchen aus der Trübe auf, und die zahlreich entstehenden Risse breiten sich, von der Kuchenoberfläche ausgehend, über der Filterfläche aus. Im allgemeinen kann eine Verzweigung von Rissen beobachtet werden, und es ergibt sich ein charakteristisches Rißmuster. Die Risse gehen meist von Inhomogenitäten im Filterkuchen aus und erstrecken sich über die gesamte Kuchenhöhe bis zum Filtertuch. Bild 1 verdeutlicht diese Beobachtungen am Beispiel eines auf einer Vakuumhandfilterplatte gebildeten und entfeuchteten Filterkuchens. Je feinkörniger die in der Trübe suspendierten Partikel sind und je ausgeprägter in der Regel das entstehende Haufwerk zur Kompressibilität neigt, desto eher bilden sich Schrumpfrisse während der Entfeuchtung des Kuchens aus.

Die beschriebenen Erscheinungen wirken sich in jedem Fall negativ auf das Filtrationsergebnis aus und zwingen in besonders ungünstigen Fällen sogar zum Übergang auf ein anderes, u. U. aufwendigeres Entwässerungsverfahren.

Der zur Aufrechterhaltung des Entfeuchtungsdifferenzdruckes erforderliche Gasvolumenstrom erhöht sich bei einer Vergrößerung des freien Durchströmungsquerschnittes durch Risse im Kuchen gravierend. Im einfachsten Fall führt dies zu einer Erhöhung der Betriebskosten durch die Verdichtung der vermehrt benötigten Entfeuchtungsluft. Oft reicht jedoch die installierte Verdichterkapazität nicht aus, und der Filtrationsdruck fällt ab. Die Verminderung des treibenden Druckgefälles wiederum verringert auf der einen Seite die Menge des anfiltrierten Feststoffes und verschlechtert auf der anderen Seite das Entfeuchtungsergebnis. Wenn der Filterkuchen zur weitgehenden Entfernung von Mutterfiltrat einem zusätzlichen Waschvorgang unterzogen wird, so wird die Wascheffektivität durch Risse im Kuchen z. T. erheblich vermindert. Die angebotene Waschflüssigkeit strömt bevorzugt durch die aufgebrochenen Risse als Orte des geringsten Durchströmungswiderstandes. Dadurch wird sowohl die Verdrängung von Mutterfiltrat als auch der Stoffübergang durch Diffusion verringert.

Hilfsmaßnahmen zur Unterdrückung von Schrumpfrissen

Die bis heute noch sehr unzureichende Kenntnis der physikalischen Ursachen und Beeinflussungsmöglichkeiten der Rißbildung hat zur Folge, daß Risse in der industriellen Filtration weitgehend in Kauf genommen werden müssen.

Ungeachtet dieser Tatsache sind jedoch einige Ansätze bekannt geworden, durch zusätzliche apparative Maßnahmen die Auswirkungen der Rißbildung zu vermindern. In Bild 2 werden einige dieser Methoden exemplarisch darge-

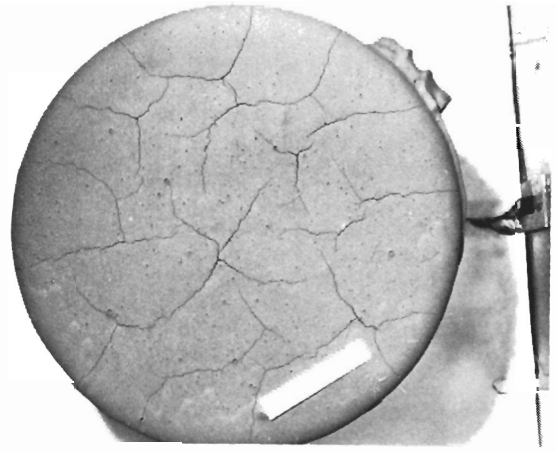


Bild 1: Rißbildung bei der Vakuumfiltration
A = 300 cm², h_K = 10 mm, Δp = 0,8 bar, PbS

Fig. 1: Filter cake cracking during vacuum filtration

In other cases the installed compressor capacity is often unable to cope with this increase of air consumption and the filtration pressure difference decreases accordingly. The decrease of the dewatering potential means, that on the one hand a drop in solids throughput and on the other hand a poorer quality of dewatered cake results.

If the filter cake is subjected to an additional washing process, the effectiveness is considerably decreased due to fissures, through which the wash liquid primarily flows; these being the localities of lowest flow resistance.

Precaution for suppression of shrinkage cracks

Until today insufficient knowledge of the physical causes and the possibilities of influencing the crack formation, has lead to the fact that the detrimental cracks have had to be tolerated in industrial filtration.

Nevertheless, several attempts have been made to obviate the effects of cake cracks using additional constructive measures, Fig. 2 illustrating a few of them.

With the assistance of a) rollers, b) specially designed spindles incorporating flattening elements and pressure tapes c) the cracks can be pressed or smeared together and indeed partly suppressed.

The first two methods only present, as in the case of the smooth spreading of the cracks formed in discontinuous pressure filters with stirrers, to be merely superficial measures, because either just the surface of the filter cake is closed or the whole cake splits open again.

The suppression of the cracks with the aid of a pressure tape c) is firstly constructively more expensive and secondly decreases the dewatering area of a rotary filter.

The latter disadvantage can be reduced by using tapes of a porous woven material, in which case a supplementary construction is necessary in order to remove the clogging particles.

Attempts to close the cracks by additional suspension feed d) are ineffective due to the facts that on the one hand the partly dewatered filter cake is again moistened and that on the other hand such "double filtered" cakes include zones of inhomogeneous permeability causing the cracks to reappear. It is to be pointed out here, that the addition of fibrel-like filter aids to the suspension leads to a higher tensile

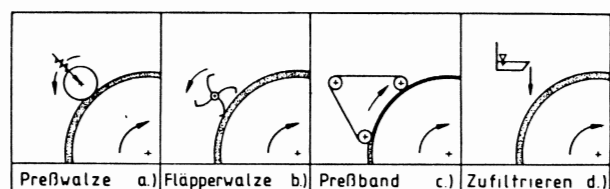


Bild 2: Apparative Möglichkeiten zur Rißunterdrückung

Fig. 2: Constructive measures for suppression of crack formation

stellt. Mittels Preßrollen (a), Fläpperwalzen (b) oder Preßbändern (c) lassen sich bereits aufgebrochene Risse zudrücken, zuschmieren und z.T. verhindern. Die beiden erstgenannten Möglichkeiten stellen letztendlich, wie auch z.B. das Glattstreichen von Rissen in Rührwerksdrucknutschen, eine kosmetische Maßnahme dar, denn der Filterkuchen wird entweder nur oberflächlich geschlossen oder er reißt wieder auf.

Die Unterdrückung von Rissen mit Hilfe eines Preßbandes (c) ist einerseits mit einem relativ hohen apparativen Aufwand verbunden und vermindert zudem die Entfeuchtungszone eines Drehfilters. Der letztgenannte Nachteil kann allerdings durch die Ausführung des Bandes als durchlässiges Gewebe vermindert werden. In diesem Falle muß jedoch eine Vorrichtung zur Reinigung des Preßbandes von anhaftendem Feststoff vorgesehen werden. Als untauglich muß auch der Versuch bewertet werden, Risse nach ihrer Entstehung wieder zuzufiltrieren (d). Zum einen wird der schon teilentwässerte Filterkuchen wieder befeuchtet, andererseits weisen diese nachfiltrierten Kuchenpartien in der Regel eine andere Permeabilität auf als der übrige Filterkuchen; schließlich bilden sich meist erneute Risse.

Um die Folgen einer Reißbildung im Filterkuchen nicht erst im Nachhinein bekämpfen zu müssen und um gezielte Maßnahmen zur Vermeidung von Rissen von vornherein ergreifen zu können, ist zunächst ein physikalisches Verständnis dieser Vorgänge erforderlich.

Einflußgrößen auf die Entstehung von Schrumpfrissen

Untersuchungen zu dieser Problematik sind vor allem aus dem Bereich der Bodenkunde und der mechanischen Verfahrenstechnik bekannt. Neben grundlegenden theoretischen Arbeiten zur Erforschung der in teilentfeuchteten porösen Systemen auftretenden Kräfte wird vielfach über den Einfluß ausgewählter Parameter auf die Reißbildung berichtet.

Der Vorgang der Reißentstehung läßt sich nur auf der Grundlage der für die Entfeuchtung eines Haufwerkes fundamentalen Kapillarkräfte verstehen. Wird einem Haufwerk Flüssigkeit entzogen, so bilden sich zwischen den Feststoffteilchen Flüssigkeitsbrücken aus, wie in Bild 3 schematisch verdeutlicht wird. Sofern der sich an der Dreiphasengrenzlinie (fest, flüssig, gas) ausbildende Benetzungswinkel $\delta < 90^\circ$ ist, herrscht in der Flüssigkeitsbrücke ein kapillarer Unterdruck, und es entstehen Zugspannungen zwischen den Partikeln. Eine Analyse der Haftkräfte zwischen Feststoffteilchen aufgrund der Wirkung von Flüssigkeitsbrücken führt zu einem Zusammenhang zwischen dem Betrag der entstehenden Zugspannungen und dem Sättigungsgrad eines Filterkuchens^{1,2,3,4)}.

Wie aus Bild 4 hervorgeht, erreichen die Zugspannungen im Haufwerk im Sättigungsbereich von 0,8–0,9 ein Maximum. In dem Moment, wo die Zugspannung zwischen zwei oder mehreren Teilchen nicht mehr übertragen werden kann, brechen die Flüssigkeitsbrücken, und ein Reiß entsteht unter Abbau der anliegenden Spannungen. Wie in Bild 3 angedeutet ist, müssen die Partikel in einem Haufwerk durchaus nicht festkörperlich aufeinanderstehen. Vielmehr können sie aufgrund elektrostatischer Kräfte einen gewissen Abstand zueinander aufweisen. Diese Tatsache und ein gewisses Vermögen der Partikel, sich bewegen zu können, bilden den Hintergrund für die Fähigkeit eines teilentfeuchteten Haufwerkes zu schrumpfen.

Das Schrumpfverhalten diskret disperser, poröser Systeme ist eingehend am Beispiel bindiger Böden im Bereich der Boden- und Felsmechanik beobachtet und beschrieben worden⁵⁾. Danach haben Bodenproben bei konventioneller, thermischer Oberflächentrocknung das Bestreben, in allen drei Achsrichtungen zu schrumpfen. In der Regel wird die Schrumpfung am Boden der Probe durch die Verhaftung mit einer Unterlage, z.B. einem Filtermedium, unterbunden.

resistance of the filter cake. This must be considered an exception, however, as such aids are usually undesirable in the resulting cake.

The best method to eliminate the necessity to remedy the effects arising from cake cracks is, of course, to prevent the cake from cracking at all, whereby the clarification of the physical process is necessary.

Influencing parameters of the formation of shrinkage cracks

Investigations in this field are mainly known from soil science and mechanical process engineering. Besides basic theoretical research of the forces arising within partly dewatered porous systems, a number of reports have been published over the effects of selected parameters upon the formation of cracks.

The crack formation process can only be understood by considering the capillary forces arising during dewatering within a porous system, whereupon fluid bridges are formed between the particles as fluid is drawn off. This is schematically illustrated by Fig. 3. Providing the moistened surface angle δ along the three phase boundary solid-liquid-gas is smaller than 90° , a capillary suction is built up in the liquid bridge, the tensile forces are thus generated between the particles.

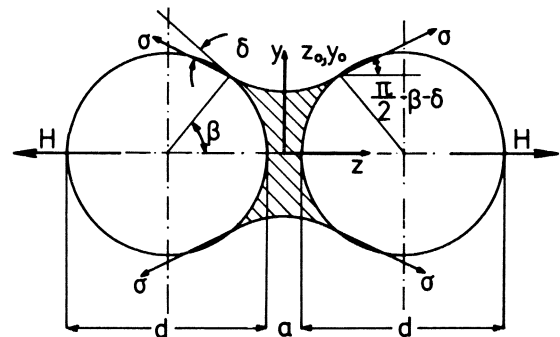


Bild 3: Schematische Darstellung einer Flüssigkeitsbrücke

Fig. 3: Schematic illustration of a liquid bridge

The analysis of the tensile forces between the particles due to such liquid bridges shows that the absolute values of the arising forces are connected to the cake saturation level^{1,2,3,4)}.

As Fig. 4 shows, the tensile stresses within a wetted bulk reach a maximum at a saturation level of 0.8–0.9.

At the instant, where the tensile stress between two or more particles can be no longer withstood, the liquid bridge breaks under stress reduction.

As already indicated in Fig. 3, the particles in a bulk do not necessarily have to be in close contact with each other. On the contrary, there can due to electrostatic forces be a small distance between them. This, and the fact that the particles have a limited ability to move, causes cake shrinkage.

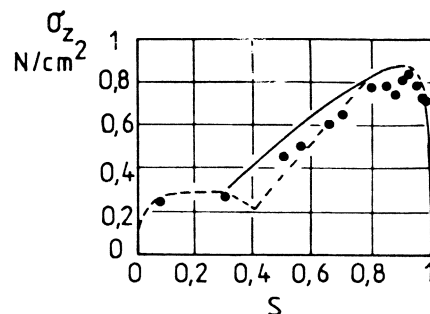


Bild 4: Zugspannungen in Abhängigkeit von der Haufwerkssättigung⁸⁾

Fig. 4: Tensile stress over cake saturation⁸⁾

Im folgenden werden weitere, das Rißbildungsverhalten beeinflussende Größen zusammengestellt, um zu erwartende Effekte und Verhalten abschätzen zu können.

Es läßt sich zeigen, daß die Flüssigkeitsbrücken-Haftkräfte zwischen Kugeln unterschiedlichen Durchmessers wesentlich größer sind als die zwischen gleichgroßen Partikeln⁶⁾. Dies hat zur Konsequenz, daß Haufwerke mit breiter Kornverteilung größere Zugkräfte übertragen können als Gleichkornpackungen. Zusätzlich kommt hierbei noch begünstigend hinzu, daß sich bei breiten Kornverteilungen auch die Zahl der Kontaktstellen zwischen den Partikeln vergrößert, da sich kleinere Teilchen in die von größeren Teilchen gebildeten Hohlräume einlagern können⁷⁾. Weiterhin nimmt die Haftkraft zwischen zwei Partikeln mit sich verringerndem Korndurchmesser ab.

In der gleichen Richtung wirken sich eine abnehmende Oberflächenspannung der Flüssigkeit und die Zunahme des Randwinkels an der Dreiphasengrenzlinie aus. Je schlechter die Benetzung zwischen Flüssigkeit und Feststoff also ist, desto geringer werden die Haftkräfte zwischen den Teilchen.

Die Fähigkeit eines Filterkuchens zu schrumpfen, hängt mit davon ab, wie weit sich die Feststoffteilchen einander nähern können. Die Stärke der abstoßenden elektrostatischen Kräfte zwischen den Partikeln wird durch die um sie herum wirkende diffuse elektrische Doppelschicht beeinflusst, die durch die sog. Debye-Länge charakterisiert wird. Die gezielte Veränderung der Ionenkonzentration in der Trübe durch Zugabe von Salzen kann hier zu einer Komprimierung der diffusen Doppelschicht und damit zu einer Erhöhung der Haftkräfte führen. In der Literatur wird beispielsweise darüber berichtet, daß mit Salzwasser befeuchtete Sande eine wesentlich höhere Scherfestigkeit aufweisen als Süßwassersande⁶⁾.

Weitere phänomenologische Beobachtungen aus der Filtrationspraxis besagen, daß bei konstanter Kuchenhöhe eine Rißbildung im Filterkuchen an einen kritischen Sättigungsgrad gekoppelt ist. Je weiter ein Haufwerk verdichtet wird, desto mehr sinkt der Wert der kritischen Restfeuchte gemäß Bild 5 ab, während der kritische Sättigungsgrad konstant im Bereich der höchsten auftretenden Zugspannungen von etwa 0,76–0,9 bleibt⁸⁾.

Erfahrungen bei der Filtration verschiedenartiger Suspensionen deuten darauf hin, daß die Gefahr einer Rißbildung bei der Entfeuchtung von Partikeln mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 50–100 µm und größer kaum noch beobachtet wird und sich eine nadelige bzw. faserige Partikelform, wie schon weiter oben erwähnt, stabilisierend auf den Filterkuchen auswirkt⁹⁾.

Filterkuchen sind nur selten homogen aufgebaut und beinhalten meist Fehlstellen in Form von Luftblasen, Verunreinigungen o. ä. Nach eigenen Beobachtungen gehen Risse bevorzugt von solchen Schwachstellen aus und dringen dann in homogen aufgebaute Kuchenbereiche ein.

Wie sich zeigt, wird die Rißbildung in Filterkuchen durch eine Vielzahl von Größen beeinflusst. Eine exakte Vorhersage der kritischen Spannungsverhältnisse mit Hilfe von

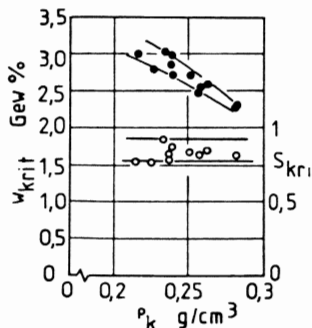


Bild 5: Einfluß der Kuchenporosität auf die kritische Restfeuchte⁸⁾

Fig. 5: Influence of cake porosity on the critical moisture content⁸⁾

The shrinkage characteristics of discrete disperse porous systems has been described in detail from the fields of soil and rock sciences for clay soils⁵⁾, whereby soil samples were observed to shrink in all three axes due to common convective thermal surface drying.

Further influencing factors of crack characteristics are compiled in the following, in order to be able to estimate the effects and behaviour which have to be expected.

It can be shown that the adhesive forces of liquid bridges between spheres of different diameters are essentially larger than those existing between particles of equal size⁶⁾. Consequently, a bulk consisting of particles of a wide size distribution can withstand higher tensile forces than a bulk of equal size particles.

Additionally, the beneficial effect exists, that wide particle distributions gives rise to a higher number of contact points between the particles, because the smaller ones can lodge themselves in the hollow spaces between the larger ones⁷⁾. Furthermore, the adhesive force between two particles decreases with decreasing particle diameter; a similar effect is created by a decreasing liquid surface tension, or an increase of the boundary angle along the three phase boundary line.

Therefore, the more poorly the particles are wetted by a liquid, the smaller are the adhesion forces between them.

The ability of a cake to shrink depends, among other things, upon how near the particles are able to approach one another. The strength of the repelling electrostatic forces between the particles is affected by the surrounding diffuse electric double layer itself being characterised by the so-called Debye-length.

The alteration of the ion concentration in the suspension by adding salts increases the adhesional forces by compressing this diffuse double layer.

It has, for example, been published that sand wetted with a saline solution showed a distinct higher shear stress resistance as sand wetted with pure water⁶⁾.

Further observation from filter practice shows that crack formation appears at a certain critical saturation for a given cake height.

The further a filter cake is compressed, the smaller is the value of the critical residual moisture (see Fig. 5) whereupon the highest occurring tensile stresses appear at the critical saturation of approx. 0.76–0.9⁸⁾.

Experience in filtration of different types of suspensions indicate that the danger of crack formation during the dewatering of a cake of average particle diameter of 50–100 µm and larger seldom occurs and that needle or fibre-like particles stabilise the filter cake⁹⁾.

Filter cakes are seldom homogeneous and often include faults in the form of air bubbles inclusions, impurities etc. Own observations have shown, that cracks are generated at such weak spots and then propagate into homogenous cake zones.

It is obvious that the crack formation in a filter cake is influenced by a large number of variables. An exact prediction of the crucial stress with the aid of mathematical models¹⁰⁾, including necessary simplifications, does not seem to be practical and are not further pursued within the scope of this report.

Own investigations have already shown, that the choice of filtration conditions have a large influence upon the crack formation. Therefore, emphasis has been laid upon the systematic investigation of these operational conditions by which the crack formation can be avoided.

Experimental procedure

Object of the investigations

The experiments were carried out on the basis of practical operation in order to ensure that the experimental results were not only of theoretical nature, but also of practical importance. For this purpose, mineral suspensions originating

Modellrechnungen¹⁰⁾, die notwendigerweise gewissen Vereinfachungen unterliegen, erscheint von daher vorerst nicht praktikabel und sie werden in diesem Rahmen nicht weiterverfolgt. Da sich bei eigenen Untersuchungen eine relativ weitgehende Beeinflussung der Rißbildung schon durch die Wahl der Filtrationsbedingungen ergab, soll hier der Schwerpunkt auf eine systematische Untersuchung der Betriebsbedingungen gelegt werden, bei denen sich eine Rißbildung vermeiden läßt.

Experimentelle Vorgehensweise

Zielsetzung der Untersuchungen

Zur Gewährleistung realitätsbezogener Ergebnisse sollten praxisnahe Filtrationsexperimente mit mineralischen Aufbereitungssuspensionen durchgeführt werden, von denen bekannt ist, daß bei ihrer Filtration in der Regel mit Rißbildung im Filterkuchen zu rechnen ist.

Zunächst war das Kuchenbildungs- und Entfeuchtungsverhalten dieser Suspensionen unter systematischer Variation der Filtrationseinstellgrößen zu erfassen, um die Gebiete auftretender Rißbildung eingrenzen zu können. Dabei traten als veränderliche Parameter die Kuchenhöhe h_K , die Filtrationsdruckdifferenz Δp , die Filterfläche A , die Filterflächengeometrie und das Filtermedium auf. Für die jeweiligen Filtrationsbedingungen lag ein besonderer Schwerpunkt auf der Bestimmung der Filterkuchenschumpfung und der kritischen Restfeuchte, bei der Risse im Kuchen auftraten. Nicht zu vermeidende Inhomogenitäten im Gefügebau der anfiltrierten Haufwerke ergaben einen nur durch statistische Auswertung mehrerer Wiederholungsversuche erfaßbaren Übergang von Betriebsbedingungen mit zu solchen ohne Rißbildung. Dies erforderte eine Untersuchung der Wahrscheinlichkeit für ein Reißen des Filterkuchens bei spezifischen Filtrationsbedingungen.

Versuchsprodukte

Für die Filtrationsexperimente standen zwei selektiv flotrierte NE-Konzentrate zur Verfügung. Dabei handelt es sich im einen Fall um ein sulfidisches Zinkerz der Grube Meggen im Sauerland und im anderen Fall um eine Mischerz mit Bleisulfid als Hauptbestandteil, welches vom Rammelsberg im Harz stammt. Charakteristische Merkmale dieser Feststoffe sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

TABELLE 1 — Table 1
Produkt
Solids specifications

Produkt Product	x_{30} μm	x_{50} μm	x_{100} μm	ρ_s g/cm^3	S_v (Blaine) cm^{-1}
Zn S	10	25	300	4,22	11160
Pb S	10	18	100	5,20	10170

Die Feststoffvolumenkonzentration der in Wasser (17° deutscher Härte) suspendierten Feststoffe wurde auf $c_v = 25 \text{ Vol.}\%$ eingestellt, um in jedem Fall Klassiereffekte in der Trübe durch Sedimentation zu vermeiden. Die Trübetemperatur lag bei 20°C.

Als Filtermedium kam ein kalandriertes, monofiles Polypropylengewebe zum Einsatz.

Filtrationsapparaturen

Die Filtrationsversuche erfolgten sowohl im Labor- als auch im halbtechnischen Maßstab.

Für die Laborversuche wurde eine konventionelle Vakuumbandfilterplatte eingesetzt¹¹⁾. Für diese Apparatur standen Filterplatten unterschiedlicher Abmessungen bis zu einer Filterfläche von 300 cm² zur Verfügung.

Kernstück der halbtechnischen Anlage ist ein Vakuumbromelfilter mit einer Filterfläche von 0,7 m², das in einem Druckkessel installiert ist. Auf diese Weise können Drehfilterversuche im Bereich der Vakuum-, der Druck- (bis 4 bar) und der kombinierten Druck/Vakuumbromelfiltration (hyperbare Vakuumbromelfiltration) ausgeführt werden¹²⁾.

from beneficiation plants were used, from which it is known that cake cracking during filtration is usually to be expected.

Primarily, the cake formation and dewatering characteristics of these suspensions were determined in order to isolate the fields by which cake cracking occurs. The variable parameters were: cake height h_K , filter area geometry, filter pressure difference Δp , filter area A , and the filter medium. Emphasis was laid upon the determination of the shrinkage of the filter cake and the critical residual moisture content at which crack formed.

The inhomogenities in the filter cake necessitated a large number of repeated experiments, in order to statistically establish the operational conditions with and without crack formation, wherefrom an investigation into the probability of the cracking of the filter cake resulted.

Investigated suspensions

Two selective non-ferrous suspensions were disposed of, namely a zinc sulfide ore from the Meggen mine in Sauerland (FRG) and a mixed ore, mainly of lead sulfide from Rammelsberg in Harz (FRG).

The particle characteristics of these solids are given in Table 1. The concentration of solids by volume, suspended in water (17° D. H.) were held at $c_v = 25 \text{ vol.}\%$ in order to avoid sedimentational grading. The temperature of the suspensions was held at 20°C.

A calandered monofile woven polypropylene filter cloth was employed.

Filter apparatus

The filter experiments were carried out on bench-scale and semi-industrial size equipment.

A conventional vacuum hand filter plate was used for the bench-scale experiments¹¹⁾, for which purpose filter plates of various areas up to 300 cm² were used.

The main part of the semi-industrial plant is a drum filter with a filter area of 0.7 m² installed in a pressure vessel, so that filter experiments in vacuum, in pressure (up to 4 bar) and in combined pressure/vacuum filtration (hyperbaric vacuum filtration) can be performed¹²⁾.

Experimental results

As already mentioned above, it can be taken that cake cracking occurs mainly at a cake saturation in the region of $S = 0.8$. This is verified by the results of the bench-scale experiments shown in Fig. 6 for filter pressure differences of $\Delta p = 0.8 \text{ bar}$, whereupon cake cracking occurred, independent of the cake height, at a saturation of $S = 0.8$. The plotted points each represent a mean value of a number of experiments.

The higher the investigated filter cake the longer it took for the critical saturation to be reached and a crack to form due to the higher total flow resistance. The crack formation began at approximately the same time as the first air break through occurred. This primary dewatering phase to the

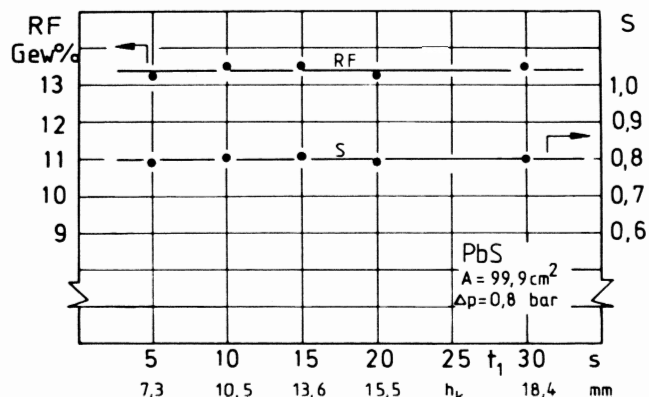


Bild 6: Kritischer Sättigungsgrad für die Rißbildung

Fig. 6: Critical cake cracking saturation

Versuchsergebnisse

Wie schon erläutert wurde, kann es als weitgehend abgesichert gelten, daß die Rißbildung schwerpunktmäßig in einem Sättigungsbereich um $S = 0,8$ herum auftritt, da sich hier die größten Zugspannungen im Haufwerk ergeben. Die in Bild 6 dargestellten Laborfilterergebnisse für eine Filtrationsdruckdifferenz $\Delta p = 0,8$ bar bestätigen diese Aussage wiederum.

Unabhängig von der Höhe der anfiltrierten Kuchen trat Rißbildung bei einem Sättigungsgrad von $S = 0,8$ ein. Die eingezeichneten Punkte repräsentieren jeweils einen Mittelwert mehrerer Messungen.

Je höher der untersuchte Filterkuchen war, desto länger dauerte es aufgrund des erhöhten Gesamtdurchströmungswiderstandes, bis die kritische Sättigung erreicht wurde und sich ein Riß ausbildete. Dabei fiel der Beginn der Rißbildung relativ genau mit demjenigen Zeitpunkt zusammen, zu dem die erste Luft durch den Filterkuchen hindurchbrach.

Dieser erste Entfeuchtungsabschnitt bis zum Luftdurchbruchpunkt beinhaltet auch den größten Teil der beobachtbaren Filterkuchenschumpfung. Parallel zu dem noch sehr starken Flüssigkeitsentzug vermindert der Filterkuchen sein Volumen und nähert sich mit immer schwächer werdendem Sättigungsgradienten und mit fortschreitender räumlicher Annäherung der Feststoffteilchen dann bald der Schumpfgrenze.

Die bis jetzt dokumentierten Ergebnisse könnten zu dem Schluß führen, daß die Kuchenhöhe die Entstehung von Rissen nicht beeinflusst. In Bild 7 wird für eine Variation von Kuchenhöhe, Filterfläche und Geometrie der Fläche gezeigt, daß die Abmessungen des zu entfeuchtenden Haufwerkes entscheidenden Einfluß auf die Rißbildung besitzen können. Bei dieser Versuchsserie wurden rechteckige () und runde (○) Handfilterplatten mit jeweils unterschiedlicher Filterfläche A eingesetzt.

Zu jeder Versuchseinstellung wurden einheitlich zehn Experimente durchgeführt. In Bild 7 ist jeweils die Anzahl n der Versuche eingetragen, die davon eine Rißbildung aufwiesen. Anhand dreier Beispiele sollen exemplarisch die hier dargestellten Ergebnisse erläutert werden.

Die Rißbildung wird von der Filterfläche beeinflusst. Die kreisförmige Filterfläche (D) mit $A = 300$ cm² weist für sämtliche Kuchenhöhen 100% Rißbildung auf. Die Filterkuchen auf der rechteckigen Filterfläche (C) mit $A = 48,4$ cm² reißen nur in 20–30% der untersuchten Fälle. Dabei steigt die Rißwahrscheinlichkeit zu höheren Filterkuchen hin leicht an.

In umgekehrter Tendenz präsentieren sich die Ergebnisse mit der kreisförmigen Filterfläche (G) mit $A = 49$ cm². Je höher der anfiltrierte Filterkuchen wird, desto weniger Risse bilden sich bei der Entfeuchtung aus. Während bei einer Kuchenhöhe von $h_K = 6$ mm noch 90% aller gebildeten Kuchen reißen, kann bei $h_K = 16$ mm keinerlei Rißbildung mehr beobachtet werden.

point of air break through included the largest part of the visible filter cake shrinkage.

Simultaneous to the still incessant fluid extraction the particles are progressively drawn together and with decreasing saturation gradient the cake approaches its shrink limit.

The hitherto recorded results could lead to the conclusion that the cake height does not influence the crack formation. Fig. 7 shows for a variety of cake heights filter areas and filter area geometries that the dimensions of the filter cake to be dewatered, can indeed have a considerable affect upon the crack formation.

These experiments were performed with circular (○) and rectangular () hand filter plates each of various areas. For each experimental parameter change, ten experiments were carried out; the number of cases n , where cake cracking arose being given in Fig. 7.

The illustrated results are exemplary given for three different filter areas. The crack formation is influenced by the filter area (size and geometry). With the circular filter plate (D) with of $A = 300$ cm², 100% cracking occurred for all cake heights. The filter cakes upon the rectangular filter areas (C) with $A = 48.4$ cm² however cracked only in 20–30% of the investigated cases, whereupon the crack probability rises slightly with higher cakes.

A contrary tendency was found to exist from the results of the circular filter area (G) with $A = 49$ cm²; the higher the cake was, the lesser was the crack formation during dewatering. It was seen that 90% of the cakes cracked with a cake height $h_K = 6$ mm and absolutely no cracking could be observed with cake heights $h_K = 16$ mm.

A more thorough statistical evaluation, and also the possibility of employing higher filtration pressure differences, were given with the continuous operating pressure filter plant.

With this installation 50 single filter cakes were investigated for each experimental adjustment. The rectangular area of the cells was 400 cm². The filtration results for both of the suspensions used are illustrated in Figs. 8 and 9, whereby an increase of the crack formation tendency can be observed with rising cake height.

For a particular crack formation probability RB, the applied pressure difference can be seen to have a nearly linear connection to the cake height.

For a constant cake height the crack formation probability decreases with increasing filtration pressure difference.

All combinations of pressure and cake height which are to be found to the left of the 0% line allow crack-free operation.

The results from the hyperbaric and the pure pressure filtration are practically identical, so that the way in which the absolute filtration pressure difference is created appears to have no affect upon the cracking of the cake.

If, due to product characteristics and realizable operational conditions, one is unable to filter without cake cracking (to

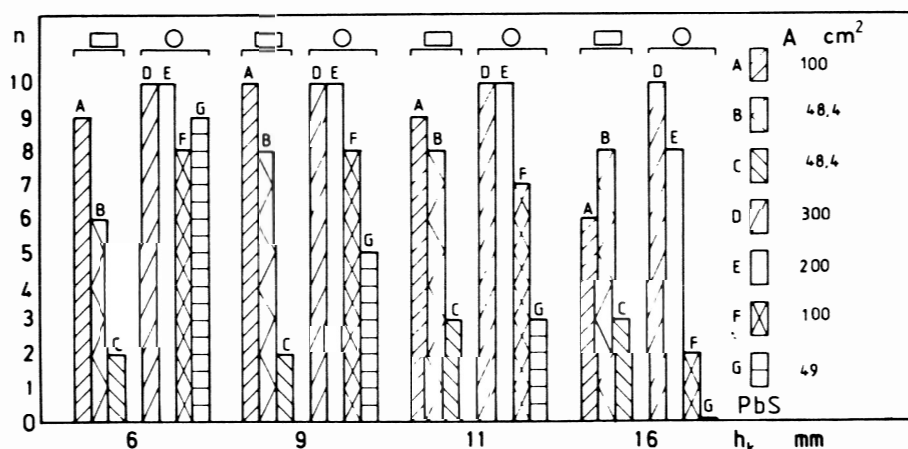


Bild 7: Rißbildungswahrscheinlichkeiten

Fig. 7: Cake cracking probabilities

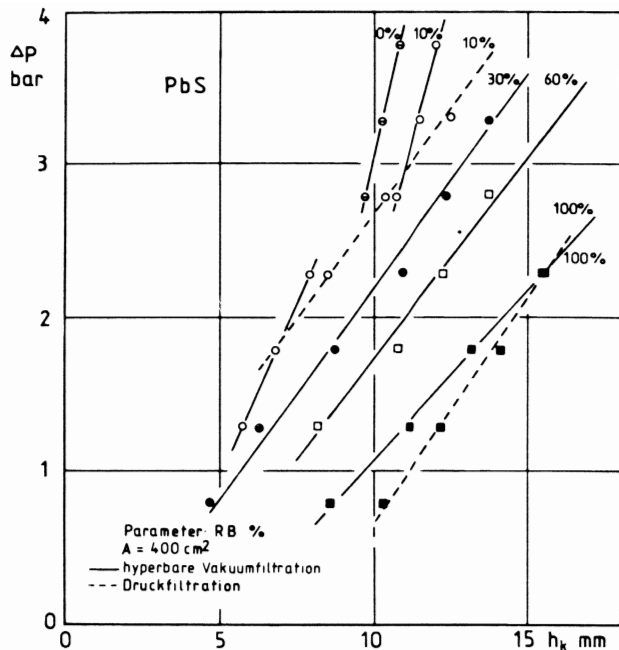


Bild 8: Rißbildung bei der Druck- und hyperbaren Vakuumfiltration von PbS-Erz

Fig. 8: Cake cracking during pressure- and hyperbaric vacuum filtration of PbS-ore

Eine wesentlich weitergehende statistische Auswertung und auch den Übergang zu höheren Filtrationsdruckdifferenzen ermöglichten Experimente an der kontinuierlich arbeitenden Trommelfilteranlage. Zu jeder Versuchseinstellung wurden hier 50 einzelne Zellen des Filters untersucht. Die rechteckig ausgeführten Filterzellen besaßen eine Fläche von $A = 400 \text{ cm}^2$. Die Filtrationsergebnisse für die beiden eingesetzten Konzentrate sind in Bild 8 und Bild 9 zusammengefaßt. Übereinstimmend ergibt sich eine Zunahme der Rißbildungsneigung mit wachsender Kuchenhöhe.

Für eine bestimmte Rißbildungswahrscheinlichkeit RB ist der Zusammenhang zwischen anliegender Druckdifferenz und gebildeter Filterkuchenhöhe nahezu linear.

Bei konstanter Kuchenhöhe nimmt die Rißbildungswahrscheinlichkeit mit wachsender Filtrationsdruckdifferenz ab.

Sämtliche Kombinationen von Druck und Kuchenhöhe, die links von der 0%-Linie liegen, ermöglichen rißfreien Betrieb.

Die Ergebnisse für die reine Druck- und hyperbare Vakuumfiltration unterscheiden sich praktisch nicht, so daß es für die Rißbildung unerheblich erscheint, auf welche Weise der Betrag des Differenzdruckes erzeugt wird.

Ist man aufgrund der Produkteigenschaften und der realisierbaren Betriebsbedingungen nicht mehr in der Lage, rißfrei zu filtrieren, so kann durch eine Veränderung der Filter-

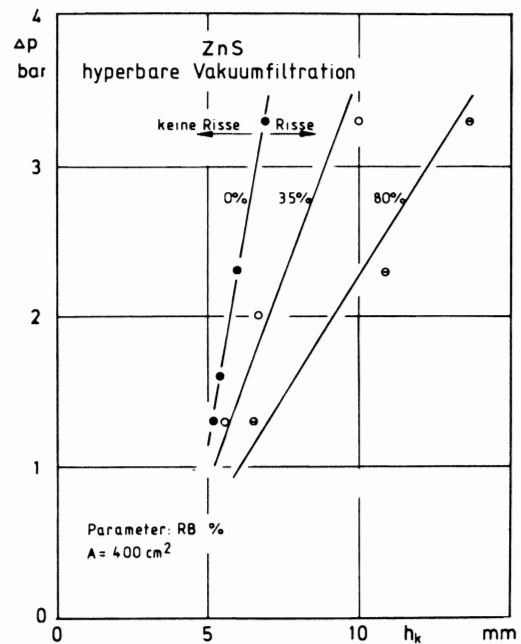


Bild 9: Rißbildung bei der hyperbaren Vakuumfiltration von ZnS-Erz

Fig. 9: Cake cracking during hyperbaric vacuum filtration of ZnS-ore

the right of the 0% line), then an improvement can be accomplished by changing the filter area geometry.

This necessitates a divisioning of the filter medium in each filter cell. In the case of the drum filter, this was accomplished by a special sealing technique, so that quadratic sub-filter elements each of a filter area of $A_{\text{red}} = 49 \text{ cm}^2$ resulted. The results of this experiment are shown in Fig. 10.

A significant decrease of crack formation probability can be recognized with pressure differences.

Furthermore, a maximum of crack formation probability arose, tending towards larger cake heights, by increasing the filtration pressure.

The second rise of crack formation probability at higher pressure differences and smaller cake heights can be interpreted as being caused by inhomogenities due to incomplete cake removal under such filtration conditions.

Conclusions

The experimental investigations show, that the possibility exists to influence cake shrinkage crack formation, or, at best, even prevent it by the choice of suitable cake formation and dewatering conditions, or by the correct filter area geometry dimensioning.

The cracks occur primarily at a saturation of $S \approx 0.8$ at which the tensile stresses are highest.

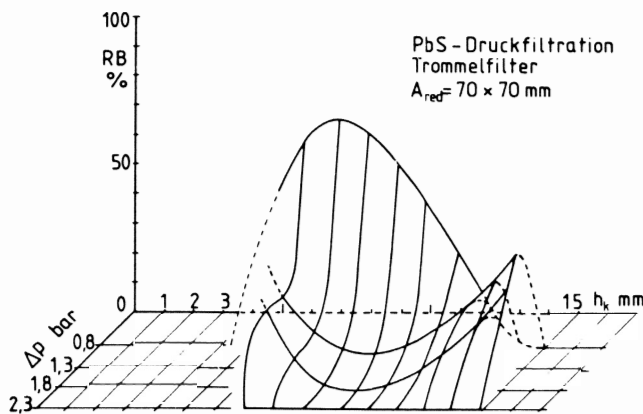


Bild 10: Rißbildungswahrscheinlichkeit bei unterteilter Filterfläche

Fig. 10: Cake cracking probability with sub-divided filter area

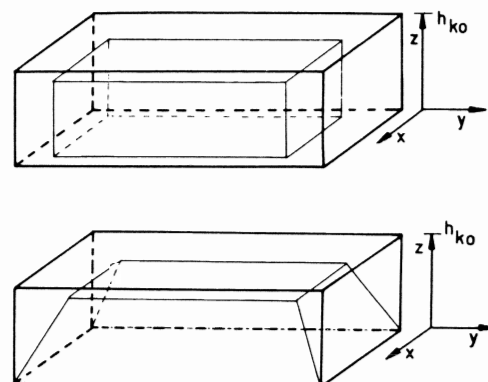


Bild 11: Uneingeschränkte und behinderte Schrumpfung eines Filterkuchens

Fig. 11: Confined and non-confined shrinkage of a filter cake

flächenabmessungen Abhilfe geschaffen werden. Dies erfordert eine Aufteilung des Filtermediums pro Filterzelle, die beim Trommelfilter durch Abkleben des Filtertuchs realisiert wurde. Es entstanden dabei quadratische Filterflächenelemente mit einer Fläche von $A_{\text{red}} = 49 \text{ cm}^2$. Die hiermit erzielten Ergebnisse werden in Bild 10 zusammengefaßt.

Es ergibt sich wiederum ein starker Abfall der Reißbildungswahrscheinlichkeit zu höheren Differenzdrücken hin. Weiterhin stellt sich ein Reißbildungsmaximum ein, das in Richtung höherer Drücke zu größeren Kuchenhöhen hin verschoben wird. Der zu beobachtende Wiederanstieg der Reißbildungswahrscheinlichkeit bei höheren Druckdifferenzen im Bereich kleiner Filterkuchenhöhen wird als Einfluß von Inhomogenitäten interpretiert, die durch unvollständige Kuchenabnahme in diesem Betriebsbereich entstanden sind.

Schlußfolgerungen

Die experimentellen Untersuchungen lassen erkennen, daß eine Beeinflussung und im Idealfall eine Verhinderung der Schrumpfrißentstehung in Filterkuchen durch eine gezielte Wahl der Kuchenbildungs- und Entfeuchtungsbedingungen bzw. durch eine geeignete Abmessung der Filterfläche möglich ist.

Die Risse treten bevorzugt in einem Sättigungsbereich um $S = 0,8$ herum auf. Dies liegt im Gebiet der größten auftretenden Zugspannungen. Aufgrund von Inhomogenitäten im Filterkuchen gibt es keine scharfe Trennung der Gebiete ohne und mit Reißbildung, sondern es existiert ein Übergangsbereich mit sich verändernder Reißwahrscheinlichkeit.

Die bei der Entfeuchtung des Filterkuchens entstehenden Zugspannungen zwischen den Feststoffteilchen können z. T. durch eine Schrumpfung des Haufwerkes kompensiert werden. Dabei schrumpft der Kuchen nicht in allen Richtungen gleichmäßig, da er am Filtertuch keine Möglichkeit zur Bewegung in Querrichtung besitzt. Die beiden denkbaren Fälle werden schematisch in Bild 11 dargestellt. Infolge der formschlüssigen Verbindung zwischen dem Filterkuchen und dem nicht schrumpfenden Filtermedium ergibt sich zur Filterkuchenoberseite hin ein Gradient der Schrumpflänge.

Die vom Filterkuchen ohne Reißbildung übertragbaren Zugspannungen wachsen in dem Maße, wie die von außen aufgeprägte Vorspannung als Folge der Filtrationsdruckdifferenz vergrößert wird. Je höher der Entfeuchtungsdruck eingestellt wird, desto weniger neigt ein Filterkuchen zur Reißbildung. Für jede Druckdifferenz existiert eine von der Filterfläche unabhängige maximale Kuchenhöhe, bis zu der keine Reißbildung im Filterkuchen auftritt, weil die aufgeprägte Vorspannung ausreicht, um das Feststoffgerüst zu stabilisieren. In der Praxis kann diese Kuchenhöhe jedoch unterhalb des technisch realisierbaren Bereiches liegen, in dem der Filterkuchen noch zuverlässig abgenommen werden kann, so daß zunächst eine Reißbildung unvermeidbar erscheint.

Hier ist jedoch eine Lösung des Problems durch Unterteilung einer großen Filterfläche in mehrere kleine Flächen möglich. (Diese Technik ist zum rechtlichen Schutz angemeldet.) Für eine theoretisch unendlich kleine Filterfläche kann das zu entwässernde Haufwerk beliebig hoch werden, da die in horizontaler Richtung wirkenden Zugspannungen sich durch ungehindertes Schrumpfen völlig abbauen können. Vergrößert man die Filterfläche, so ergibt es zunächst, wie schon erläutert, einen Kuchenhöhenbereich, in dem die auftretenden Zugspannungen durch die Vorspannung des Haufwerkes kompensiert werden können. Verläßt man diesen Bereich in Richtung größerer Kuchenhöhen, so tritt Reißbildung ein, wenn die Zugspannungen nicht mehr durch genügende Schrumpfung aufgefangen werden können. Mit wachsender Kuchenhöhe und damit geringer werdendem Einfluß der Fixierung des Haufwerkes am Tuch können die Zugspannungen durch verstärkte Schrumpfung ausgeglichen werden. Je nach Schrumpffähigkeit des Filterkuchens wird eine Kuchenhöhe erreicht, bei der keine Reißbildung mehr erfolgt. Die dafür erforderliche Kombination aus Schrumpffähigkeit, Kuchenhöhe und Vorspannung ist bei

Due to inhomogenities within the filter cake a definite separation of the areas with cake cracking and those without is non existent, but regions of changing crack probability.

The tensile stresses between the particles caused by cake dewatering, can be partly compensated by cake shrinkage, whereby the cake cannot shrink to the same extent in all directions due to the fact that movement is restricted at the cake/cloth interface. The two existing possibilities are schematically given in Fig. 11.

Because of the fixing of the shrinking cake to the non-shrinking filter medium, a shrinkage gradient exists over the cake height.

The tensile stresses, which can be withstood by the cake before it cracks, increase with an increase of the applied pre-stress over the cake due to filtration pressure difference. Thus, the higher the filtration pressure the lesser is the tendency for the cake to crack.

For each pressure difference, there exists a maximal cake height independent of the filter area up to which no cracking in the cake occurs, as the pre-stress is large enough to stabilize the particle structure.

In practice however, this cake height can be lower than that which is technically necessary in order to remove it completely from the cloth, so that crack formation does not seem to be able to be prevented.

This problem can nevertheless be solved by subdividing the filter area into several smaller filter elements (this technique is notified for legal protection).

One has to consider a theoretically infinitely small filter area with a deposition to be dewatered.

The cake can be infinitely high, as the horizontal tensile stresses can be totally reduced by an unrestricted shrinkage.

Is the filter area enlarged, then, as already explained, a maximum cake height exists at which the arising tensile stresses can just be compensated by the bulk pre-stress.

If the cake height is increased, then crack formation occurs due to the tensile stresses which can be no longer compensated by the cake shrinkage.

With increasing cake height and therefore decreasing effect of cake/cloth interface the tensile stresses can, due to a higher possible shrinkage, again be compensated.

Depending upon the ability of the cake to shrink, a cake height is reached at which no more cracking occurs.

The necessary combination of the cake height, its ability to shrink and the pre-stress is however usually not able to be realised with the common industrial filter areas.

If the complete filter area is then sub-divided into a number of smaller elements, then attention must be paid that the individual filter cakes do not grow together over the separation zones, as these overlapping regions immediately break open again as can be seen in Fig. 12.

In the considered case of the lead sulfide concentrate filtration a minimal separation zone width of 15 mm is necessary for a cake height of 10 mm.

For the reduction of the drum filter cell area to filter elements of $70 \times 70 \text{ mm}$, a filtration area loss of 20 % resulted.

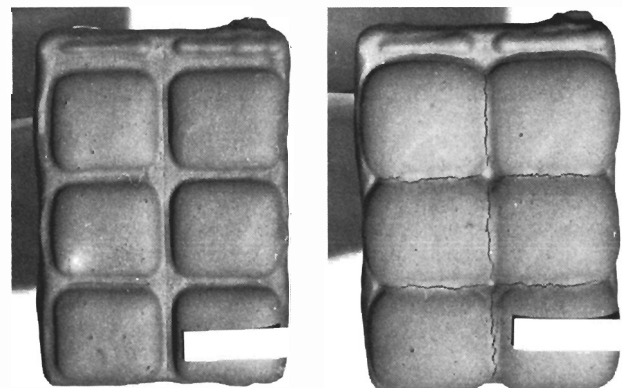


Bild 12: Filterkuchen auf einem unterteilten Filtertuch
Fig. 12: Filter cake on a sub-divided filter medium

den üblicherweise bei der industriellen Filtration eingesetzten Filterflächen nicht zu realisieren.

Vermindert man nun die Gesamtfläche einer Filterzelle durch Aufteilung in mehrere Flächenelemente, so muß darauf geachtet werden, daß die einzelnen Filterkuchen über die Trennstege nicht wieder zusammenwachsen, da diese Überlappungsbereiche ansonsten sofort aufreißen, wie Bild 12 verdeutlicht.

Im betrachteten Fall der PbS-Konzentratfiltration ergab sich für eine Kuchenhöhe von 10 mm eine Trennstegbreite von 15 mm. Für die auf Flächenelemente von 70×70 mm reduzierte Trommelfilterzellenfläche ergibt sich damit ein Filterflächenverlust von 20 %.

Schrifttum — References

- 1) Rumpf, H., und Pietsch, W.: Haftkraft, Kapillardruck, Flüssigkeitsvolumen und Grenzwinkel einer Flüssigkeitsbrücke zwischen zwei Kugeln, Chem.-Ing. Techn., 39 (1967), 15, S. 885–893.
- 2) Rumpf, H.: Der Zusammenhalt von Feststoffteilchen aufgrund kapillarer Haftkraft. Veröffentlichungen des Instituts für Boden- und Felsmechanik, Universität Karlsruhe (1968), S. 538–540.
- 3) Schubert, H.: Untersuchungen zur Ermittlung von Kapillardruck und Zugfestigkeit von feuchten Haufwerken aus körnigen Stoffen. Dissertation, Karlsruhe (1972).
- 4) Schubert, H.: Kapillarität in porösen Feststoffsystemen. Springer, Berlin-Heidelberg-New York (1982).
- 5) Krabbe, W.: Über die Schrumpfung bindiger Kloden. Mitteilungen des Franzius-Instituts, Hannover, Heft 13 (1958).
- 6) Abel, P. G.: Änderung der Scherfestigkeit eines Haufwerkes als Folge von Kapillarkräften. Veröffentlichungen des Instituts für Boden- und Felsmechanik, Universität Karlsruhe (1968).
- 7) Schmidt, P.: Die dichte Lagerung körniger Stoffe insbesondere im feindispersen Bereich. Aufbereitungs-Technik (1964), Heft 7, S. 355–365.
- 8) Redeker, D., Bender, W., und Esser, U.: Das mechanische Entfeuchten von Filterkuchen. Chem.-Ing.-Techn., 55 (1983), 11, S. 829–839.
- 9) Bender, W.: Das Auswaschen von Filterkuchen. Chem.-Ing.-Techn., 55 (1983), 11, S. 823–829.
- 10) Wakeman, R. J.: The role of internal stresses in filter cake cracking. Filtration and Separation (1974), S. 357–360.

- 11) Stahl, W., Anlauf, H., und Bott, R.: Untersuchungen zur optimalen Flüssigkeitsabtrennung bei der Aufbereitung schwieriger Erze durch kontinuierliche Vakuum-, Druck- und hyperbare Vakuumfiltration. BMFT-FB-T 84-232 (1984).
- 12) Bott, R., Anlauf, H., und Stahl, W.: Kontinuierliche Druckfiltration feinstkörniger Kohlekonzentrate. Aufbereitungs-Technik (1984), Heft 5, S. 245–258.

Verzeichnis der Abkürzungen — List of symbols

A:	Filterfläche filter area	m ²
A _{red} :	reduzierte Filterfläche reduced filter area	m ²
c _v :	Volumenkonzentration volumetric concentration	Vol. %
h _K :	Kuchenhöhe cake thickness	mm
m _l , m _s :	Flüssigkeits-, Feststoffmasse liquid, solid mass	g
n:	Anzahl number	–
Δp:	Druckdifferenz pressure difference	bar
RB:	Rißwahrscheinlichkeit cake cracking probability	%
RF:	Restfeuchte m _l /m _l + m _s moisture content	Gew. %
S _v :	spezifische Oberfläche specific surface	cm ¹
S:	Sättigungsgrad saturation	–
S _{krit} :	kritischer Sättigungsgrad W _k , W _{ge} critical saturation	–
W _{krit} :	kritische Restfeuchte m _l /m _s critical moisture content	–
W _{ges} :	Restfeuchte bei S = 1 moisture content with S = 1	–
x _{30, 50, 100} :	Partikeldurchmesser bei Q = 30, 50, 100 %	μm
δ:	Benetzungswinkel contact angle	°
ρ _s , ρ _K :	Dichte des Feststoffes, Dichte des Kuchens solids, cake density	g/cm ³
σ _z :	Zugspannung tensile stress	N/cm ²
Q:	Volumensummenverteilung cumulative distribution by volume	%

REFERATE

Technische Diagnostik mit Radionukliden an Industrieanlagen

Von G. Hartmann

Neue Bergbautechnik 2 (1984), S. 62–66

Das Grundprinzip, wonach sich unterschiedliche Isotope eines Elementes in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften nicht, bezüglich ihrer kernphysikalischen Eigenschaften jedoch grundsätzlich unterscheiden, kann für verschiedene Anwendungen herangezogen werden. Es sind dies Bestimmungen der Stoffbilanz, die Durchsatzleistung, die Strömungsgeschwindigkeit, die Ortung, die Bestimmung der Verweilzeit, die Bestimmung der Homogenität, die Erfassung von Trennergebnissen, die Untersuchungen an Oberflächen. Die Nachweisempfindlichkeit, mit der viele Radionuklide relativ einfach meßtechnisch erfaßt werden können, macht sie gerade für Messungen geringer Intensität, wie beispielsweise bei der Suche nach Lecks, der Bestimmung der Diffusion und der Erfassung von geringem Verschleiß besonders interessant. Anhand von praktischen Beispielen werden folgende Einsatzfälle beschrieben: Der Kohledurchlauf durch einen Dampferzeuger, der Verschleiß bei der Prallzerkleinerung von Kohle, der Verschleiß und die Korrosion in Rohrleitungen, die Prüfung effektiver Rohrleitungsquerschnitte, die Untersuchungen in Mikrobereichen. Die Leistungsfähigkeit ist in vielen Fällen außerordentlich hoch. Ihre Bedeutung liegt vor allem dort, wie konventionelle Meßverfahren nicht zum Erfolg führen. Die Grenzen liegen hauptsächlich in der geringen Genauigkeit, da die Kernstrahlung auf sehr niedrigen Niveaus erfolgen muß. Der Aufwand zum Schutz des Bedienungspersonals ist ebenfalls relativ hoch und begrenzt die Einsatzmöglichkeiten ebenfalls. Ha.

Die Flotation feinstkornhaltiger Trüben — Teil 2: Untersuchung der Möglichkeiten zur Intensivierung der Flotation feinstkornhaltiger Trüben

Von W. K. Larin, M. Schreiter und A. Neudert

Neue Bergbautechnik 4 (1984), S. 132–136

Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen bestätigen eine starke Abhängigkeit der Flotationsziffern feinstschlammhaltiger Trüben von den rheologischen Eigenschaften der Mineralsuspensionen. Die experimentelle Überprüfung der Empfehlungen zur Intensivierung der Flotation feinstkornhaltiger Trüben, die auf der Grundlage theoretischer Untersuchungen entstanden, bestätigte die Richtigkeit der Vorstellungen über den Charakter der Stoffübergangsprozesse in Medien mit nicht-Newtonschem Verhalten. Die theoretische Begründung und der experimentelle Nachweis der Möglichkeiten zur gezielten Beeinflussung der Flotationsprozesse stark feinstkornhaltiger Trüben durch Änderung der Fließgrenze dieser Mineralsuspensionen kann durch die Erarbeitung und die Einführung spezieller technologischer Verfahren sowie durch den Einsatz entsprechender Reagenzien über die Verbesserung des Fließverhaltens der Trübe erreicht werden. Die erarbeiteten neuen Gesichtspunkte der Problemlösung gestatten es, die Untersuchungen nach neuen Ergebnissen unter anderen Kriterien einzuschätzen. Es ergeben sich daraus technische Möglichkeiten, Trüben mit stark wechselnden rheologischen Eigenschaften, die durch die Lagerstätte oder das Abbauverfahren bedingt sein können, über die rheologischen Parameter „differentielle Viskosität“ oder auch „Fließgrenze“ zu steuern und damit das tatsächliche Ergebnis positiv zu beeinflussen. Ha.