

Grundlegende Untersuchungen an Flotationsstoffängern in der Papierindustrie*

Prof. Dr. Dipl.-Ing. F. Wultsch und Dr. Dipl.-Phys. H. Hogenkamp

a) Einleitung

Seit etwa 70 Jahren stützt sich die Metallurgie nicht mehr ausschließlich auf die klassischen Aufbereitungsverfahren für Erze. Beginnend mit dem Jahre 1877 trat für arme Erze an die Stelle der klassischen Verfahren das dem DRP 42 der Gebrüder Bessel entnommene Flotationsverfahren (Schwimm-aufbereitung)¹.

Der Gedanke war dabei folgender: In armen Erzen sind die nutzbaren Bestandteile nur noch als kleine Partikel eingesprengt. Dadurch wurde es erforderlich, eine weitgehende Zerkleinerung des Roherzes durchzuführen, um die wertvollen von den wertlosen Anteilen, der Gangart, zu trennen. Bei der hierzu notwendigen Mahlung auf 0,2 bis 0,005 mm versagten aber die bis dahin angewandten Aufbereitungsverfahren, die auf der Trennung nach Glanz und Farbe, auf der mechanischen Aufbereitung und auf der Magnetscheidung beruhten. Bei solch feiner Zerkleinerung aber treten die spezifischen Eigenschaften der Materie ganz in den Hintergrund gegenüber den Eigenschaften der sehr großen Oberfläche feiner Stäube.

Das Verfahren der Gebrüder Bessel macht sich gerade die Eigenschaften der Materienoberfläche und ihre willkürliche Beeinflussung zunutze. Es beruht im wesentlichen darauf, daß fein gemahlene Mineralien in wässriger Suspension durch Adsorption bestimmter Chemikalien, der Sammler, schwer benetzbar werden, sich infolgedessen leicht an Gasblasen heften, mit ihnen an die Oberfläche der Trübe steigen und dort als Schaum abgestrichen werden können. Ein Zusatz oberflächenaktiver Substanzen, der Schäumer, bewirkt die Bildung stabiler Schäume und gleichzeitig eine feine

* Diese Arbeit gibt im Auszug die Dissertationsarbeit des Dr. Dipl. Phys. H. Hogenkamp wieder. Die Arbeit wurde begonnen am Institut für Papierfabrikation, Darmstadt, unter Prof. Brecht und fortgesetzt an der Abteilung für Papier- und Zellstofftechnik an der Techn. Hochschule Graz. Die Untersuchungen wurden ausgedehnt auf die Betriebe Arland, Biberist, Brigl & Bergmeister, Isola di Liri u. a. Den vorgenannten Instituten und Betrieben sei hier für die Unterstützung dieser Arbeit bestens gedankt.

Verteilung der Gasblasen, die eine starke Vergrößerung ihrer tragfähigen Oberfläche zur Folge hat.

Passivierende und aktivierende Zusätze verhindern, bzw. fördern die Adsorption des Sammlers. Vorbereitende Reagentien, welche z. B. die H-Ionenkonzentration steuern oder störende Ionen beseitigen, dienen zur Schaffung besonders günstiger Umweltbedingungen.

Seit einer Reihe von Jahren werden nach diesem Verfahren, das jahrzehntelang nur der Aufbereitung von Metallerzen vorbehalten war, auch nichtmetallische Erze in großem Maßstabe aufbereitet.

Auch die Gewinnung verwertbarer Produkte aus den Abgängen der Industrie nahm mehr und mehr an Bedeutung zu, so auch die hier interessierende Rückgewinnung von Zellstoffasern, Holz- und Füllstoffen.

Von der auf das Maschinensieb gelangenden Suspension (Wasser + feste Papierstoffe) wird nicht nur das Wasser abgetrennt, sondern es geht ein beträchtlicher Teil der Feststoffe ebenfalls durch die Sieböffnungen hindurch (Siebwasser).

Noch vor etwa 30 Jahren glaubte man allgemein, den in diesem Siebwasser enthaltenen Stoff nicht mehr verwenden zu können, ohne die Qualität des erzeugten Papiers herabzusetzen. Heute ist diese Vorstellung überholt, man hat die unbedingte Notwendigkeit erkannt, möglichst viel von dem sonst verlorengehenden Feststoff zurückzugewinnen.

Die einfachste Art, den Feststoff vom Wasser zu trennen, stellt das Sedimentationsverfahren dar. Man läßt den Feststoff in einer mehr oder weniger langen Zeit meist in einem Trichter sich absetzen.

Rotierende Siebe und Vakuumfilter stellen weitere Grundelemente für bekannte Stoffrückgewinnungsanlagen dar.

Die Ausbeute in derartigen Anlagen hängt in der Hauptsache von dem verwendeten Papierstoff und der Durchsatzgeschwindigkeit ab. Sie haben sich besonders dort eingebürgert, wo das Sortenprogramm gar nicht oder nur selten geändert wird. In Papierfabriken, in denen ein häufig wechselndes Sortenprogramm zu bewältigen ist, haben sich fast ausschließlich die verschiedenen Flotationsstoffängertypen einen festen Platz erobert.

Die geschichtliche Entwicklung bewies, daß die Theorie der Flotation von Mineralien brauchbare Ansätze für die Flotation von Papierstoffen zeigte, so daß diese im wesentlichen übernommen werden konnte und überhaupt den Weg wies, Papierstoffe zu flotieren. Darum sollen im folgenden die theoretischen Grundzüge der Mineralienflotation dargelegt werden.

Bis vor wenigen Jahren war man der Ansicht, daß einer Reihe von Mineralien, der Kohle, den Metallsulfiden u. a. eine natürliche Hydrophobie

zukomme, während die oxydischen Erze und die Mineralien der Gangart (Kieselsäure, Silikate, Carbonate) von Wasser leicht benetzbar seien. Diesem Unterschiede in der Benetzbarkeit sollte auch eine größere oder geringere „natürliche Schwimmfähigkeit“ entsprechen. Man glaubte, die Mineralien in eine Reihe ordnen zu können, an deren einem Ende Kohle als am leichtesten flotierbares Mineral stehen sollte.

Diese Voraussetzung einer natürlichen Hydrophobie wurde von I. W. Wark²⁴ als unzutreffend nachgewiesen. Man fand, daß unter Wasser entstandene frische Oberflächen, sogar solcher Mineralien, deren schwere Benetzbarkeit außer Zweifel schien, vollkommen benetzbar sind, wenn sie unter Wasser geschliffen wurden.

Da zur technischen Durchführung der Flotation die Mineralien fast ausnahmslos unter Wasser zerkleinert werden, so liegen sie in der Trübe ebenfalls als hydrophile Substanzen vor. Um sie zu hydrophobieren, müssen ihnen heteropolare Molekeln oder Ionen zugeführt werden, deren polare Gruppe adsorptionsfähige Atome oder Atomgruppen (S, CSNH, COOH, NH₂ etc.) enthält und deren unpolarer Anteil aus einer schwer benetzbaren Kohlenwasserstoffkette besteht.

Die Diskussion darüber, ob es sich bei der Anlagerung dieser Sammler an die Mineraloberfläche um eine chemische Reaktion handelt, die sich unter Austausch von Ionen vollzieht und dem Massewirkungsgesetz folgt, oder um die Adsorption von Ionen unter Vermittlung von Restvalenzen dürfte heute zugunsten der chemisch-physikalischen Auffassung entschieden sein.

Im Innern eines Kristalls sind die Ladungen der am Gitteraufbau beteiligter Atome und Ionen gegenseitig ausgeglichen. In seinen Begrenzungsflächen, besonders an Störungs- oder Lockerstellen, an Ecken und Kanten liegende Bausteine dagegen sind nur teilweise nach dem Inneren hin gebunden und können nach außen hin gerichteten Restvalenzen entgegengesetzt geladene Ionen anziehen.

Bringt man einen Kristall in Lösung, die auf ihn ansprechende Ionen enthält, so reichern sich diese in der Grenzfläche fest/flüssig an. Ist ihre Konzentration in der Lösung nur gering, so lagern sie sich horizontal über die Grenzfläche verstreut an. Bei wachsender Konzentration und damit dichter werdender Ansammlung an der Grenzfläche richten sie sich aber mehr und mehr auf und bilden schließlich einen kondensierten Adsorptionsfilm, der aus steil zur Grenzfläche aufgerichteten, parallel zueinander liegenden Ionen besteht. Von diesen nimmt jedes, wenn es sich um geradkettige C_nH_{2n+1}-Homologe handelt, eine Fläche von 21 Å² ein.

Ist auf diese Weise der auf jeden Fall hydrophile Stoff hydrophob gemacht worden, wird Gas für den Auftrieb dieser Teilchen benötigt. Die Teilchen sollen sich in stabilen Schäumen ansammeln, und darum werden außer den Sammlern weitere Chemikalien zugegeben, die zur Bildung und Regelung des Schaumes dienen.

A. F. Taggart, T. C. Taylor und C. R. Ince²³ haben einen Apparat angegeben, mit dem man die Aktivität von Sammlern bestimmen kann.

Prinzipiell können diese Überlegungen auf die Flotation von Papierstoffen übertragen werden, doch ergeben sich einige ganz wesentliche Unterschiede, die eine spezielle Behandlung erforderlich machen. So ist z. B. bei der Flotation von Mineralien die große Gesamtoberfläche der Teilchen allein entscheidend; dies gilt für die Papierstoffe nicht mehr, da die einzelnen Teilchen zu groß sind und ihren Stoffcharakter im allgemeinen bewahren. Der Stoffcharakter kann vom Grundstoff selbst und von der vorausgegangenen Behandlung abhängen. Vergleicht man so z. B. einen Sulfat- gegenüber einem Sulfitzellstoff, dann kommt man zu folgenden, für die Flotation interessanten Unterschieden (Sulfat- gegenüber Sulfitzellstoff):

- 1) zeigt höhere Mahlresistenz;
- 2) geringere Azidität;
- 3) geringeres Ionenbindevermögen;
- 4) bei Leimung einen geringeren Harzverbrauch;
- 5) Quellwert in Wasser bei gleichem Ligningehalt niedriger;
- 6) enthält geringere Mengen hochquellender Hemizellulose;
- 7) ist schwerer bleichbar.

Berücksichtigt man jetzt noch, daß Zell- und Holzstoffe, also die Fasergrundstoffe der Papierfabrikation, aus den verschiedensten Hölzern, Gräsern etc. gewonnen werden, dann sieht man, daß von seiten des Stoffes beträchtliche Schwierigkeiten bei der Flotation auftreten können, wie dies die Praxis ja auch beweist.

Die Füllstoffe scheinen eher wie Erze zu behandeln zu sein, da ihre Korngröße (etwa 10 bis 100) eine genügend große Oberfläche verbürgt.

Durch die verschiedene Herkunft (mit Herstellungsverfahren) der Papiergrundstoffe sind auch die kapillarelektischen Erscheinungen von bedeutend größerem Gewicht als bei der Mineralienflotation. Zu den Grenzflächenpotentialen, die ja auch dort eine Rolle spielen, müssen hier die den einzelnen Stoffen anhaftenden Restvalenzen einer genauen Betrachtung unterzogen werden.

Auch die Frage der Sammler (Flotationsmittel) bedarf einer besonderen Klärung, denn das angegebene Verfahren zur Bestimmung der Güte der Sammler kann hier aus verschiedenen Gründen keine Anwendung finden.

Eine gewisse Vereinfachung ergibt sich für die Papierstoffflotation dadurch, daß man hier bestrebt ist, möglichst alles zurückzugewinnen, während die Mineralienflotation stets mehr oder weniger selektiv ist.

b) Theorie

Wie man erkennt, ist das Flotationsproblem physikalisch-chemischer Natur.

Es ist bekannt, daß die suspendierten Papierstoffteilchen (nach der Coehn'schen Regel) in Wasser gegen dieses elektrisch negativ aufgeladen sind. Die Größe der Ladung und damit auch die erzeugte Spannung (ζ -Potential) sind verschieden groß. Die Größe des ζ -Potentials bei den verschiedenen Papierstoffen wurde u. a. von R. T. Hukki und Risto Rinne¹⁵ gemessen, und es wurde gefunden, daß zwei Teilchen prinzipiell ausflocken können, wenn das ζ -Potential den Wert $\geq + 20$ mV erreicht hat. Die Größe des ζ -Potentials kann durch Messen der Wanderungsgeschwindigkeit v der Teilchen gegen die Elektroden (Elektrophorese) nach folgender Formel bestimmt werden:

$$\zeta = \frac{4 \cdot \pi \cdot \eta \cdot v}{x \cdot \epsilon}$$

ζ = Potential in Volt.

v = Geschwindigkeit in cm . sec⁻¹.

x = Pot.-Gradient in Volt . cm⁻¹.

ϵ = Dielektrizitätskonstante des Lösungsmittels in cgs-Einh.

η = Viskosität des Lösungsmittels in Poise.

Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, daß S. G. Mason¹⁴ ζ genauer bestimmt und in seine Betrachtungen einen sogenannten Porenfaktor ξ einbezieht, der seiner Meinung nach eine große Rolle für die Bestimmung des absoluten „Quants“ ζ spielt.

Trotzdem soll auf die obige Arbeit von Hukki und Rinne als für die Praxis ausreichend hingewiesen werden.

Nach diesen Untersuchungen ergeben sich etwa folgende Kurvenbilder für das ζ -Potential:

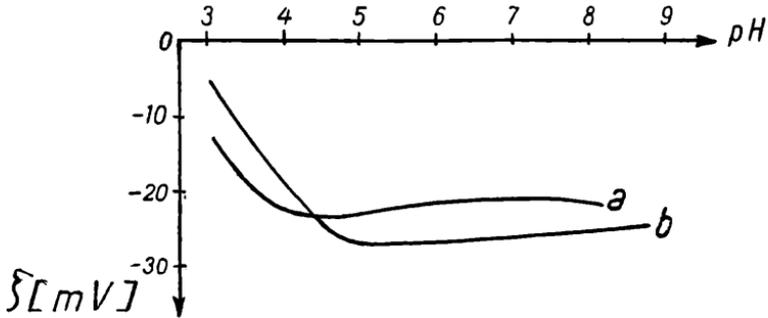


Diagramm 1.

Holzschliff: a) ungemahlen; b) gemahlen

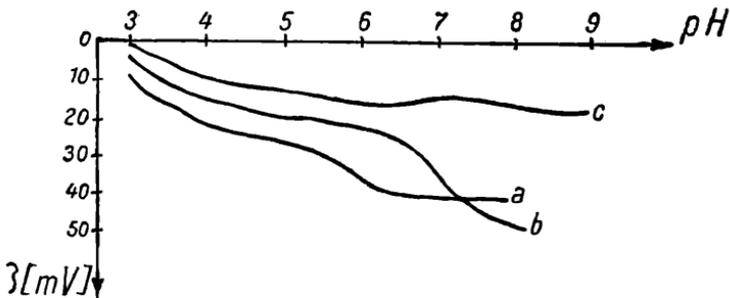


Diagramm 2.

Füllstoffe: a) Kaolin; b) Titanweiß; c) Talkum

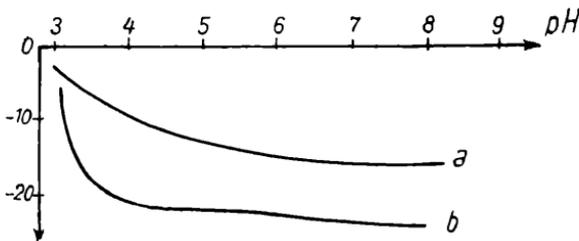


Diagramm 3.

Zellstoff: a) gebleichte Sulfitzellulose;
b) ungebleichte Sulfitzellulose

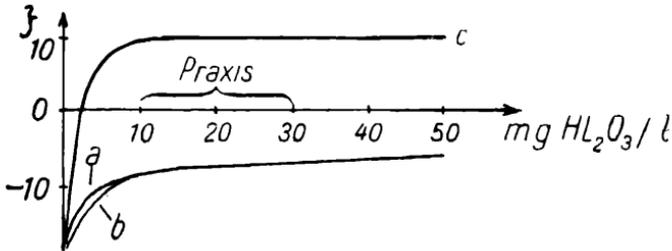


Diagramm 4.

Einfluß von Al^{+++} auf das ζ -Potential von

a) Kaolin (1 Stunde Reaktionszeit);

b) Zellulose;

c) Kaolin nach einer Minute Reaktionszeit

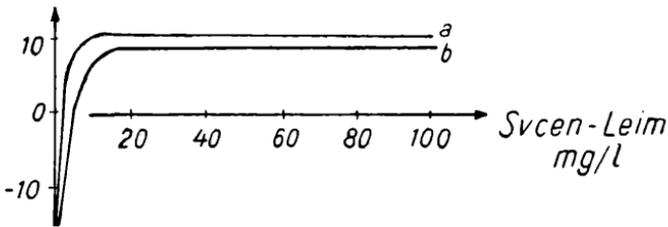


Diagramm 5.

Einfluß von Sveen-Leim auf das ζ -Potential von

a) Kaolin; b) Zellulose

Nun ist es aber im allgemeinen so, daß die durch bloße Zugabe von Kationen erreichte absolute Verminderung des ζ -Potentials keine genügende Ausflockung bringt, im Gegensatz zu den Erscheinungen in der Kolloidchemie, wo beispielsweise intensive Koagulation eines Goldsols durch bloße Zugabe von Kationen erreicht werden kann. Dazu ist aber festzuhalten, daß die Teilchen in einem Sol viel kleiner und bedeutend dichter gepackt sind als in einer groben Papierstoffsuspension. Im ersten Fall sind v. d. Waals'sche Kräfte wirksam, im Falle der Suspension dagegen können sie nicht mehr genügend wirksam sein. So ergibt sich, daß intensive Ausflockung erst nach Zugabe eines wirksamen Flockungsmittels, das hier zugleich Flotiermittel sein muß, erreicht werden kann.

Arbeitet man mit irgendeinem der bekannten käuflichen Flotationsmittel, so stellt man fest, daß manche Papierstoffe sich gut, andere weniger gut und wieder andere sich fast gar nicht flotieren lassen. Dieser

Umstand bringt in der Praxis große Schwierigkeiten. Bei einer besonders großen Gruppe von Stoffen ist es oft so, daß sich ein Teil schnell an die Oberfläche begibt, während ein großer Anteil als sogenannter Schwebestoff fast ohne Aufwärtsbewegung bleibt.

Auf Anregung von Herrn Prof. Dr. Brecht, Darmstadt, wurde ein Laborgerät konstruiert, welches ein weiteres Aufsteigen dieser Schwebestoffteilchen, die im allgemeinen beim technischen Flotationsprozeß verlorengehen, ermöglichen sollte.

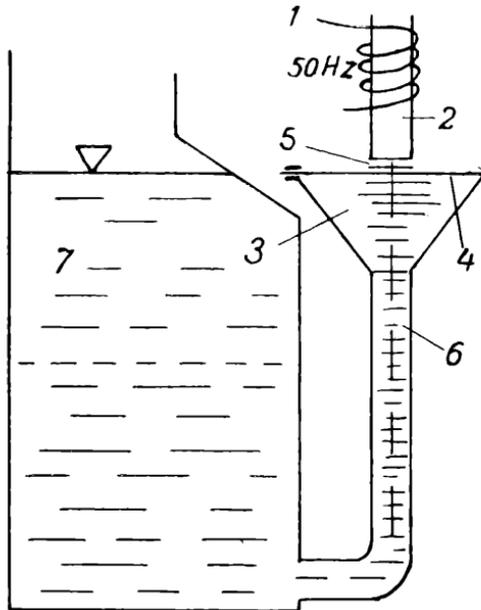


Abb. 1.

Laborgerät nach Prof. Dr. Brecht

Durch die Spule 1 wird ein Wechselstrom von 50 Hz geschickt, den innerhalb der Spule befindlichen Eisenkern 2 magnetisiert. Im Trichter 3 ist eine Gummimembran \pm fest eingespannt, an der ein Eisenplättchen 5 befestigt ist. Dadurch wird nun die Membran mit einer Frequenz von 50 Hz auf- und abbewegt und so eine Schallwelle von gleicher Frequenz auf die darunterstehende Wassersäule 6 weitergegeben. Diese pflanzt sich in das eigentliche Flotiergerät 7 fort, und man konnte beobachten,

daß ein Teil der Schwebeteilchen langsam nach oben stieg. Leider war der Gesamteffekt aber so gering, daß dem ganzen keine technische Bedeutung zukommt.

Wie man sieht, genügt im allgemeinen die Zugabe von Kationen allein nicht, um eine genügende Ausflockung in einer Papierstoffsuspension zu erreichen, und weiter erfüllen die Flotationsmittel in vielen Fällen die an sie gestellten Erwartungen nicht. Grundsätzlich hat das Flotationsmittel mindestens zwei Hauptfunktionen zu erfüllen:

- 1) soll es den in wässriger Suspension mehr oder weniger stark hydrophilen Stoff hydrophobieren und
- 2) muß es in der Lage sein, die Koagulation der hydrophobierten Teilchen mitzubewirken.

Kann ein Flotationsmittel diese beiden Forderungen für alle Papierstoffe erfüllen, ist es, flotationstechnisch gesehen, absolut brauchbar. Die Praxis verlangt aber noch einige weitere Eigenschaften, wie z. B.: Ein Flotationsmittel darf nicht zuviel Schaum erzeugen, es soll möglichst keinen Schleim bilden, darf die Leimung nicht beeinträchtigen etc. Ist es gelungen, nach den im vorigen gemachten Ausführungen eine Flocke zu bilden und zu hydrophobieren, kann an diese Flocke feinverteilte Luft (feine Luftbläschen, die oft vorher unter einem mehr oder weniger großen Druckgefälle in Lösung waren) angelagert werden. Ist diese Flocke dann in der Lage, soviel Luft an sich zu binden, daß das Gesamtgebilde Flocke + Luft leichter als Wasser wird, kann sie nach oben steigen und dort zurückgewonnen werden (Flotation, Schwimmaufbereitung).

Diesen dann rein technischen Vorgang erledigen die sogenannten Flotationsstofffänger.

c) Untersuchungen und Auswertung

Im Verlaufe der vorliegenden Arbeit, die nur als Auszug hier wiedergegeben werden kann, wurden folgende Fragen, die für die Flotation von Papierstoffen entscheidend schienen, eingehend untersucht:

- 1) der Einfluß der verschiedenen Flotationsmittel auf die einzelnen Papierstoffe nebst Flotationseigenschaften,
- 2) theoretische Untersuchungen über Flotationsmittel,
- 3) Aufsuchen eines nahezu „idealen“ Flotationsmittels,
- 4) die kapillarelektischen Erscheinungen,
- 5) der Einfluß des pH-Wertes,
- 6) der Einfluß von Kationen,

- 7) die Flockungserscheinungen,
- 8) das Anlagern von Luft (Gas) und Auftrieb,
- 9) die strömungstechnischen Bedingungen,
- 10) der Einfluß der verschiedenen Flotationsstoffängertypen,
- 11) die Anwendung in der Praxis.

Zu 1): Untersucht man die für die Papierfabrikation in Frage kommenden Papierstoffe (es sind etwa 60 bis 70) auf ihre Flotierbarkeit mit den verschiedensten bekannten Flotationsmitteln, so bemerkt man deutliche Unterschiede, und grob gesehen könnte man diese Stoffe in eine Reihe einordnen, an deren linkem Ende die gut flotierbaren Stoffe (einige Holzstoffe, Sulfatzellstoff etc.) stehen und rechts die so gut wie unflotierbaren (Füllstoffe etc.).

Die meisten bekannten Flotationsmittel sind auf Tierleim-, Harz- oder Türkischrotölbasis aufgebaut, und so kommt es, daß sie sich bezüglich ihrer Flotiereigenschaften oft nicht allzusehr unterscheiden. Eine Ausnahme bilden jene Mittel, die aus Gemischen von Türkischrotöl und Leim bestehen, denn das Türkischrotöl hat einen ganz bestimmten Bereich in obiger Reihe, den es flotiert und der Leim (z. B. Sveen-Leim) einen anderen. Beide Wirkungen addieren sich weitgehend, so daß ein viel größerer Ausschnitt aus der Reihe beherrscht wird; hierzu gehört dann in vielen Fällen auch Kaolin.

Neben diesen bekannten Flotationsmitteln, die unter den verschiedensten Handelsnamen auf dem Markte sind, wurden auch andere oberflächenaktive Substanzen untersucht, von denen angenommen werden könnte, daß sie sich für die Flotation eignen. So z. B. Ajax, Latex 512 K, Na-Laurylsulfat u. a. m.

Die Flotationsversuche, die den Zweck hatten, die Wirksamkeit der einzelnen Flotationsmittel zu prüfen, wurden zuerst in einem speziellen Flotiergerät von etwa 4 Liter Inhalt durchgeführt, doch zeigte sich bald, daß für derartige Versuche die bequemste und einfachste Vorrichtung doch ein einfacher gläserner Standzylinder ist. Man kann in ihm gut alle Forderungen erfüllen, die für eine einwandfreie Flotation gestellt werden: Zugabe und genügende Mischung von Chemikalien und Luft. Letzteres läßt sich leicht durch kräftiges Schütteln des Zylinders erreichen.

Auf diese Art wurden die verschiedensten Papierstoffe für sich und dann auch Mischungen untereinander mit den verschiedensten Flotationsmitteln untersucht. Der Mahlgrad wurde in weitesten Grenzen (z. B. von 20 bis 90° SR) variiert.

Gemessen wurden: der pH, die zugegebene Flotationsmittelmenge und

die ungefähre Steigzeit (Zeit vom Absetzen des Zylinders nach dem Schüteln bis zum Stillstand der Steigbewegung der Teilchen).

Allgemeine Ergebnisse: Der pH war für die einzelnen Suspensionen verschieden, da jeweils verschieden große Mengen an Alaun zugegeben werden mußten. Der Mahlgrad macht sich insofern bemerkbar, als bei vielen Stoffen bei sehr hohem Mahlgrad schlechtere Flotationsergebnisse erzielt werden. An Flotationsmitteln muß im Standzylinder immer ein Vielfaches von dem zugegeben werden, was für die gleiche Menge Suspension im praktischen Betrieb benötigt würde. Die Steigzeiten schwanken zwischen 40 und 360 sec. (Für die Praxis als Faustformel: Bis 120 sec ist im allgemeinen gut.) Manche Stoffe, z. B. TiO_2 , Talkum etc., ließen sich überhaupt nicht auflocken, und bei vielen Stoffen hörte nach kurzer Zeit das Steigen auf: Schwebestoffe. Gemische von einzelnen Stoffen bringen keine neuen Gesichtspunkte, höchstens diesen: Ist der Anteil der nur schwer- oder nichtflotierbaren Komponente relativ klein (besonders bei Füllstoffen!), dann hat es äußerlich den Anschein, als ob sich diese Stoffe jetzt flotieren ließen. In Wirklichkeit hat sich einfach ein Teil mechanisch an den gut flotierbaren Stoff angelagert und wird auf diese Weise mit nach oben an die Oberfläche genommen.

Zu 2): Es würde zu weit führen, hier alle theoretischen Überlegungen wiederzugeben, die man über den Aufbau von Flotationsmitteln anstellen kann.

Bekannt ist die Tatsache, daß prinzipiell ein heteropolares Molekül vorliegen muß, dessen polarer Anteil sich an das Adsorbens anlagert, während der unpolare Anteil, eine Kohlenwasserstoffkette, sich gegen das Wasser richtet und so das hydrophile Adsorbens hydrophobiert.

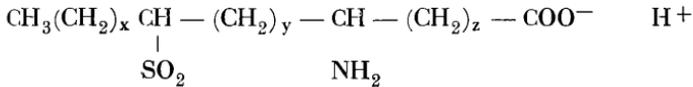
Um zu zeigen, daß solche Gebilde gleichzeitig Flockungsmittel sein müssen, wurden Flotationsversuche z. B. mit Pyridin, Triäthanolamin, Harnstoff u. a. durchgeführt. Erfolg: Es wurde sehr gute Ausflockung, jedoch keine Flotation erreicht. Diese konnte auch wegen der zum Teil nur ganz kurzen Kohlenwasserstoffketten gar nicht erwartet werden.

Dagegen war es überraschend, daß die Kernseife z. B. keine Flotation brachte. Ihrer Konstitutionsformel



nach schien sie ohne weiteres dazu befähigt, doch wurde auch hiemit nur Ausflockung erreicht, und man kann ganz allgemein sagen, daß der prinzipielle Aufbau eines Flotationsmittelmoleküls zwar bekannt ist, daß man aber aus der chemischen Formel allein keine endgültigen Schlüsse ziehen kann. Auch die Frage, ob ein Flotationsmittelmolekül ionaktiv sein muß oder nicht, kann nicht eindeutig beantwortet werden.

Zu 3): Durch die verschiedenen Bauformen der Moleküle, mit denen ähnliche oder verschiedenartige Effekte erzielt wurden, angeregt, konnte ein makroskopisches mechanisches Modell eines Moleküls entwickelt werden, auf Grund dessen ein Flotationsmittel gefunden wurde, das nach der allgemeinen Form



aufgebaut ist. Der Handelsname dieser Chemikalie ist Supernatin. Es wurde gefunden, daß man damit tatsächlich jeden Stoff (auch Metalle etc.) flotieren kann.

Zu 4): Diese Erscheinungen wurden bereits teilweise behandelt, und es sei an dieser Stelle auf die ausgezeichnete Arbeit von R. T. Hukka und Risto Rinne verwiesen.

Zu 5): Aus der bisherigen Behandlung des Problems ist zu ersehen, daß zum Erreichen eines Flotationseffekts Alaun zugegeben werden muß. Bei der Hydrolyse des 3-wertigen $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6$ werden H-Ionen abgespalten, deren Konzentration gemessen wird. Wird demnach der pH in einer mit Alaun durchsetzten Suspension angegeben, ist dieser pH-Wert stets ein Maß für die vorhandene Al-Ionenkonzentration. Letztere allein ist auch für den Flotationsvorgang entscheidend, der pH-Wert ist lediglich eine Begleiterscheinung. Dies ist sehr wichtig, denn oft gibt es Angaben wie: Flotation wird bei pH = 6 erreicht o. ä. Diese Angaben haben streng speziellen Charakter für genau gleiche Randbedingungen, sind aber für alle anderen Fälle nicht mehr gültig. Klar wird dies durch folgendes einfaches Beispiel: In einer Fabrik wird gute Flotation bei einem pH von 6 erreicht, das Frischwasser hat einen pH von 7,5. Um die gemessene Ansäuerung von 7,5 nach 6 zu erreichen, mußte eine gewisse Alaunmenge zugeführt werden, die im vorliegenden Fall zum Ausflocken ausreichte. In einer anderen Fabrik mit einem Frischwasser von pH 6 wird genau das gleiche Papier hergestellt. Es ist klar, daß hier ein Flotationseffekt bei pH = 6 (also ohne Alaun) gar nicht erzielt werden kann. Man muß also Al-Ionen in gewisser Konzentration zuführen und nicht H-Ionen, diese bilden eine rein zufällige Nebenerscheinung und können in ein und demselben Betrieb nach genügender Erfahrung als Maß für die Al-Ionenkonzentration genommen werden!

Doch gibt es auch zwei Grenzfälle, in denen der reine pH-Wert die Flotation von sich aus bestimmt: Unterhalb pH = 4 ist im allgemeinen keine Flotation mehr möglich (Ausnahmen bis 3,7), und oberhalb pH = 7 ebenfalls nicht im üblichen Sinne. Hier fällt das neutrale $\text{Al}_2(\text{OH})_3$ als

grobe Flocke aus, die Wirkung als Kation geht verloren. (Doch gibt es auch Fälle bei der Flotation, wo man diesen Effekt herbeiführen muß, um zu einer Klärung zu kommen.)

Zu 6): Hier wurde gezeigt, daß nicht nur Al^{+++} als Kation für die Flotation in Frage kommen kann, sondern jedes beliebige Kation. Nach der Schultze'schen Wertigkeitsregel verhalten sich die zur Flockung gerade ausreichenden Konzentrationen von 1wertigen zu 2wertigen zu 3wertigen Ionen wie 1 1/50 1/1000. Man würde also von den 1- und 2wertigen Kationen, z. B. K^+ und Na^{++} zu große Mengen brauchen. Es wurden Versuche mit 4-wertigem Zinn gemacht, die bei einer Konzentration von etwa einem Viertel von jener des Al^{+++} genau den gleichen Flockungseffekt brachte wie letzteres. Trotzdem ist die Verwendung von Al^{+++} wirtschaftlich (preislich) günstiger.

Zu 7): Man muß zwischen sich langsam und sich schnell bildenden Flocken unterscheiden. Erstere kann man in jeder beliebigen Papierstoffsuspension beobachten (rein mechanisches Anhaften von sich streifenden oder sonstwie berührenden Teilchen). Für eine gute Flotation wird sehr schnelle Ausflockung benötigt. Diese wird durch ein gutes Flockungsmittel nach Zugabe von Kationen erreicht.

Zu 8): Das feste Adsorbens, das in den Papierstoffsuspensionen flotiert werden soll, muß, nachdem es hydrophobiert worden ist, an seine Oberfläche Gasbläschen heften können, die es an die Oberfläche der Suspension tragen.

Bei der Anlagerung von Gas an das von Wasser umgebene feste Adsorbens sind 3 Größen zu beachten:

σ_{fs} = Grenzflächenspannung zwischen Feststoff und Flüssigkeit,

σ_{sg} = Grenzflächenspannung zwischen Feststoff und Gas,

σ_{gf} = Grenzflächenspannung zwischen Gas und Flüssigkeit.

Von diesen drei Größen kann lediglich σ_{fg} experimentell bestimmt werden (für Papierstoffe nur sehr schwierig).

Die theoretische Bedingung für das Haften der Gasblasen ist:

$$\sigma_{sg} < \sigma_{sf} + \sigma_{fg}$$

Praktisch lief es wegen der auftretenden Schwierigkeiten bei den Papierstoffen darauf hinaus, daß diese Bedingung durch reine Beobachtung bestätigt werden mußte, einfach ausgedrückt: wenn ein Stoff in nützlicher Zeit so schnell nach oben stieg, daß man von einer einwandfreien Flotation sprechen konnte, konnte man die Bedingung als erfüllt ansehen.

Daß die anzulagernde Luft (kommt praktisch als einziges Gas für die

Flotation in Frage) sehr fein verteilt sein muß, wurde mit der in Abbildung 2 dargestellten Anlage gezeigt.

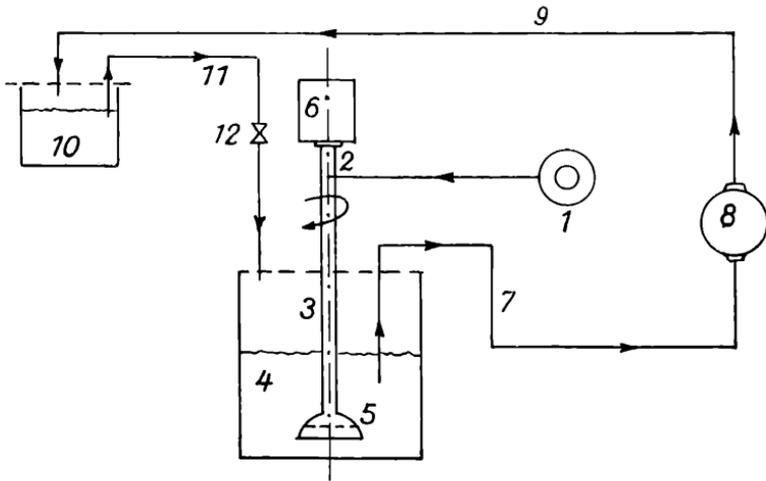


Abb. 2.

Die Luft wird vom Ventilator 1 geliefert und tritt an der Stelle 2 durch eine Hohlwelle 3 in den Behälter 4 ein, in dem sich ein Teil der Suspension befindet. Durch einen sehr feinmaschigen Siebkäfig 5 tritt die Luft in die Suspension ein. Der Siebkäfig 5 rotiert mit einer Drehzahl von 1000/min, die von dem Motor 6 über die Hohlwelle 3 erzeugt wird. Mit Hilfe der Leitung 7 saugt die Pumpe 8 die Suspension aus dem Behälter 4 und fördert sie über die Leitung 9 in den Glasbehälter 10, aus dem durch die Glasleitung 11 soviel Suspension wieder herausgesaugt wird, wie laufend hinzukommt. An einem Schlauchstück der Leitung 11 befindet sich ein Ventil 12. Auf etwa 12 Liter Suspension wurden jeweils 75 Liter Luft zugeführt (großer Überschuss, da der größte Anteil, ohne sich an eine Flocke zu heften, direkt an die Oberfläche steigt), dann wurde die Pumpe abgestellt und das Ventil 12 gedrosselt. Vorher waren der Suspension geringe Mengen an Alaun und Supernatin zugegeben worden. Im Glasbehälter 10 konnte man jeweils eine sehr schnelle Flotation beobachten.

Nach Schließen des Ventils 12 kam die vorher strömende Suspension zum Stillstand, kurz vorher setzte die Ausflockung ein. Ganz feine Luftbläschen stiegen nach oben, die größeren von ihnen schneller, die kleineren langsamer, und letztere waren es auch in der Hauptsache, die von den

Flocken aufgefangen wurden. Die zuerst absinkende Flocke kam nach Anlagerung einer größeren Menge feiner Luftbläschen zum Stehen, und nach weiterer Anlagerung wurde sie nach oben getragen. Es ließ sich hier auch zeigen, daß die Schnelligkeit der Flockenbildung für die Anlagerung der Luft eine Rolle spielt, denn steigen schon die Luftbläschen nach oben, wenn sich noch keine Flocken gebildet haben, steigt eine große Anzahl von Bläschen, die sich sonst an eine Flocke geheftet hätten, an den Fasern vorbei nach oben.

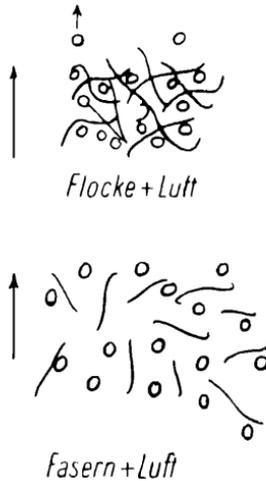
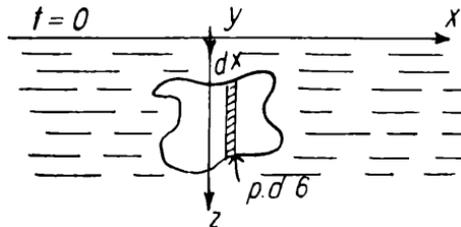


Abb. 3.

Der Auftrieb eines Teilchens ist als Resultante aller an ihm angreifenden Druckkräfte definiert.



Es ist

$$R = \gamma \int z \cdot dx \cdot dy = \gamma \cdot V$$

Dies gilt für Gleichgewicht. Durch die Anlagerung von Luft wird V stark vergrößert, bzw. γ_f herabgedrückt, wenn man Flocke + Luft als feste Einheit auffaßt. Allgemein ist:

$\gamma_f V_f > \gamma_w V_w$, d. h. das Festteilchen sinkt ab,

$\gamma_f V_f = \gamma_w V_w$, d. h. das Festteilchen schwebt,

$\gamma_f V_f < \gamma_w V_w$, d. h. das Festteilchen steigt nach oben.

Es muß also für einen Auftrieb immer soviel Luft angelagert werden, daß ist

$$\gamma_f V_f + \gamma_L \cdot V_L < \gamma_w \cdot V_w$$

f = fest; L = Luft; W = Wasser.

Eine ähnliche Betrachtungsweise ergibt sich für den Auftrieb, wenn man folgende Sedimentationsformel betrachtet:

$$V_s = \frac{\left(\frac{\gamma_f}{\gamma_w} - 1\right) \cdot g \cdot d^2}{18 \nu}$$

Hier sind nur d und γ_f variabel, d. h. im wesentlichen kann man nur γ_f durch Anlagerung von Luft an die fest aufzufassende Flocke verändern.

Zu 9): Bei den im vorigen Abschnitt gemachten Untersuchungen über die Anlagerung von Luft zeigte sich auch, daß die einzelnen Papierstoffteilchen nur zusammenflocken können, wenn die der Suspension aufgezwungene Geschwindigkeit dies zuläßt. Dies ist nun eine recht allgemeine Aussage, und solange man die numerische Größe der Flockungskräfte nicht kennt, kann man keine gesetzmäßige Aussage machen, die praktische Bedeutung hätte. Hinzukommt, daß die Flockungsintensität und damit auch die Flockungskräfte bei den verschiedenen Papierstoffen (und auch bei Anlagerung verschiedener Flotationsmittel) offensichtlich verschieden groß sind. Bei den durchgeführten Versuchen zeigte sich aber doch immerhin ein Anhaltspunkt insofern, als höhere Teilchengeschwindigkeiten als etwa $3 - 5 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ als für die Flockung ungünstig bezeichnet werden müssen. Das ist aber lediglich ein Richtwert, der in speziellen Fällen überschritten werden kann.

Bewegt sich eine Teilchensuspension mit dieser Geschwindigkeit in einem Leitungssystem, dann kann angenommen werden, daß die auf jedes Teil-

chen wirkende Kraft in Leitungsrichtung nur so groß ist, daß zwei Teilchen auf einem Wegstück ds zusammenflocken können.

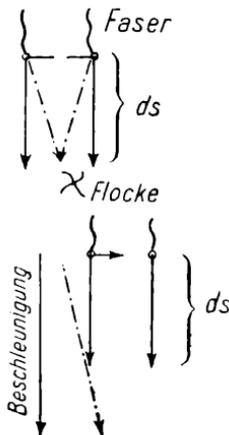


Abb. 5.

Plötzlich auftretende größere Beschleunigungen stören dagegen die Flockenbildung und können darüber hinaus Flocken, die sich bereits gebildet haben, wieder zerstören.

Solange die zu klärende Suspension noch nicht im eigentlichen Flotiergerät ist, brauchen ihre Teilchen auch noch nicht ausgeflockt zu sein. Doch dann, nach Einsetzen des Flotationsvorganges, sollte die Suspensionsgeschwindigkeit innerhalb der oben angegebenen Grenzen gehalten und unnötige Beschleunigungen vermieden werden, d. h. die zu klärende Suspension soll mit möglichst gleichmäßiger Geschwindigkeit durch das Flotationsgerät durchgesetzt werden.

Zu 10) und 11): In den Abschnitten 1) bis 9) wurde versucht, die zum Verständnis des Flotationsvorganges wichtigsten Erkenntnisse ganz kurz zu schildern. Mit diesem Rüstzeug versehen, soll das eigentliche Ziel dieser Niederschrift angestrebt werden, nämlich die praktische Seite des Problems, die wirtschaftlich so wichtig ist, zu beleuchten.

Der Papierindustrie stehen heute vier Flotationsstoffängertypen zur Verfügung, zwischen denen sie wählen kann:

- a) Adka-Stofffänger (neuerdings auch mit Flotator),
- b) Sveen-Pedersen-Stofffänger (und der mit diesem systemgleiche Krofta-Stofffänger),

- c) Savalla-Stofffänger,
d) Krofta-Flotator.

Alle vier Systeme wurden in umfangreichen Arbeiten in den Papierfabriken Biberist/Schweiz, Arland/Graz, Niklasdorf/Osterreich, Isola del Liri/Italien u. a. eingehend untersucht.

a) Der Adka-Flotationsstofffänger (kurz: Adka)

Der Adka arbeitet vom Atmosphärendruck aus gegen einen Unterdruck im Innern des Gerätes von etwa 2,5 m WS. Das bedingt, daß der Flotier- teil des Gerätes luftdicht verschlossen sein muß.

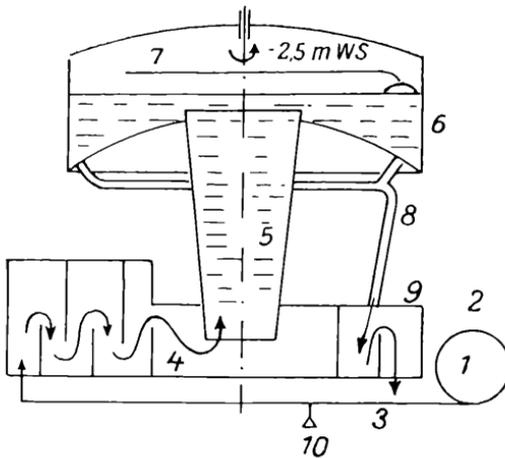


Abb. 6. Adka-Flotationsstofffänger

Das zu klärende Siebwasser wird von der Pumpe 1, wo durch den Stutzen 2 Luft angesaugt werden kann, durch die Leitung 3 in den Kasten 4 gepumpt, wo die Suspension in der skizzierten Weise in das Steigrohr 5 gelangt. Aus diesem Steigrohr kommend, verteilt sich die Suspension in den mehrere Meter Durchmesser umfassenden Eisenzylinder 6. Die an die Oberfläche flotierenden Teilchen werden durch ein langsam rotierendes Rohr 7 kontinuierlich abgezogen. Das Klarwasser fließt durch die Rohre 8 in den Kasten 9, von wo es zwecks Wiederverwendung weggepumpt wird oder in den Kanal (Bach, Fluß) fließt. An dem Rohr 3 ist oftmals ein Ejektor 10 montiert, der die zum Flotieren nötige Luft ansaugt, wodurch das Ansaugen an der Pumpe überflüssig wird. Wird ein nicht besonders wirksames Flotationsmittel verwendet, ist der Adka in der Lage, einen

großen Teil der anfallenden Schwebeteilchen zu retten. Wenn die Suspension aus dem Steigrohr 5 austritt, ist für sie der Flotationsprozeß bereits weitgehend abgeschlossen, und die mit Luft versehenen Flocken haben sozusagen weiter nichts zu tun als dafür zu sorgen, daß die durch das Steigrohr zwangsläufig erreichte Höhe im Flotiergerät nicht verlorengeht, wenn sie mit der seitlichen Strömung nach außen hin gerissen werden. Sie müssen also nur noch einen solch großen Auftrieb haben, daß die Komponente z (z = Geschwindigkeitskomponente durch das nach unten abströmende Klarwasser) kompensiert wird, d. h. sich entlang Pfeil x bewegen. Es gehen hier also nur noch die Teilchen verloren, die längs Pfeil y gleiten

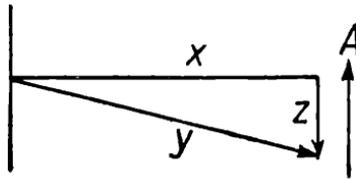


Abb. 7.

Ein fest mit dem Saugrohr 7 verbundener Schaber sammelt aus der ganzen Kreisfläche den flotierten Feststoff auf einem der Breite des Saugschuhs entsprechenden schmälern Kreisring, wo der rotierende Sauger den Feststoff absaugt. Hier liegt nun der kritische Punkt am Adka, auf den näher eingegangen werden soll.

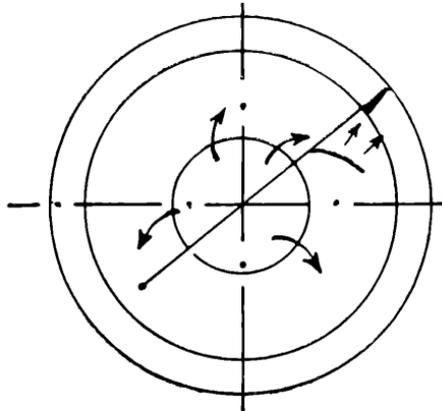


Abb. 8.

Der Sauger ist eingerichtet, eine konstante Menge an Dickstoffwasser abzusaugen. An einem der praktisch untersuchten Adka waren dies 300 l/min bei einer Zulaufmenge von 1500 l/min. Diese 300 Liter sind in jeder Minute (Umlaufzahl des Saugers: 1/min) in einem Kreisring von der Breite des Saugschuhs aufzubringen. Die Schichtdicke, die dabei abgesaugt wird, sei s . Das heißt, daß sich in dem Kreisring

$$V = d_m \cdot \pi \cdot b \cdot s$$

der gesamte pro Minute zu klärende Feststoff ansammeln soll.

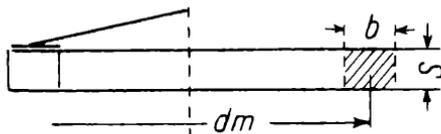


Abb. 9.

Hat sich der Stoff dort nicht angesammelt, werden auch 300 Liter abgesaugt, aber entsprechend dünner.

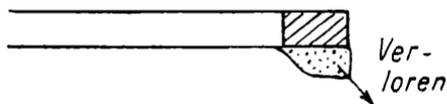


Abb. 10.

Kritisch wird es ganz besonders, wenn der Stoff zwar gut flотиert, aber eine so große Schichtdicke x einnimmt, daß der Feststoff sich normalerweise gar nicht mehr in den Litern ansammeln kann, so daß der Sauger statt der 300 Liter z. B. jetzt 400 Liter absaugen müßte. Diese überschüssigen 100 Liter müssen jetzt mit dem Klarwasser hinunter, obschon sie eigentlich gut flотиert waren.

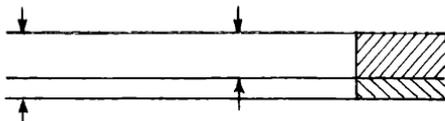


Abb. 11.

Das prinzipielle Arbeiten an einem Adka möge an einem Beispiel aus der Praxis näher beleuchtet werden.

Auf einer Papiermaschine wurde Rotationstiefdruck mit 22 % Asche hergestellt. Zur Klärung im Adka wurden dem SW 2 — etwa 2000 l/min mit 2,5 g Feststoff/l — große Mengen (etwa 5—6 kg/h) reinen Flotiermittels auf Leim- und Türkischrotölbasis zugegeben. Der Adka war vor mehr als 20 Jahren installiert worden, als die Papiermaschine eine Tagesproduktion von 12 bis 15 t Papier brachte. Heute werden auf der inzwischen modernisierten Maschine 30 bis 40 t/Tag hergestellt, der Adka ist aber immer noch der gleiche.

Schickte man etwa 1000 bis 1200 l/min des anfallenden SW 2 in den Adka, wurde eine recht gute Klärung (50 bis 100 mg/l Feststoff) erreicht. 800 bis 1000 l/min mit 2,5 g/l gingen direkt in den Kanal, waren also von vornherein verloren. In den Ejektor, der die zum Auftrieb notwendige Luft ansaugt, wurde, da die Wasserführung es hier kaum anders zuließ, eine 1 prozentige Supernatinlösung zugegeben. Es wurde fast vollständige Klärung mit nur 3 mg Feststoff/l im Abwasser erreicht.

Nun wurde versucht, dem Adka von den verlorengehenden Siebwassermengen zuzuführen, was bei entsprechend erhöhter Zugabe von Supernatin gelang, so daß kein Siebwasser direkt mehr verloren ging und die gesamten 2000 l/min in dem zu kleinen Adka geklärt werden konnten.

Hier war es also gelungen, die Dickstoffschicht im Adka soweit durch intensivere Flotation zusammenzupressen, daß in der kontinuierlich abgesaugten Schicht fast die doppelte Menge an Papierstoffteilchen Platz fand und somit abgesaugt werden konnte.

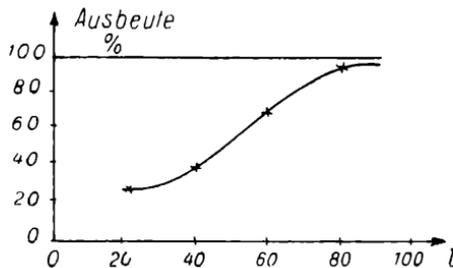


Diagramm 6.

Für diesen speziellen Fall wurde eine Supernatinlösung mit doppelter Konzentration, also 2 prozentig, angesetzt. Der pH-Wert der Suspension war 4,5.

b) Der Sveen-Pedersen-Flotationsstofffänger (kurz: Sveen)

Der Sveen arbeitet bei Atmosphärendruck, d. h. die zu klärende Suspension wird unter Druck in das Gerät gepumpt, um sich hier auf 1 atü zu entspannen.

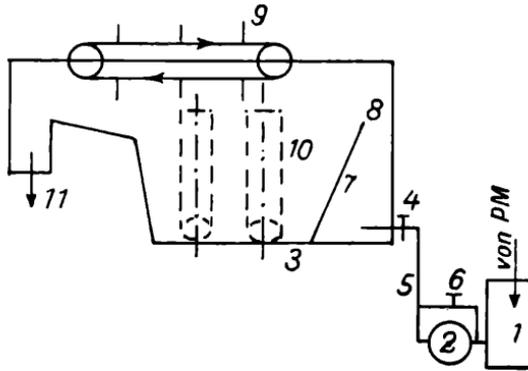


Abb. 12.

Sveen-Pedersen-Flotationsstofffänger

Im Kasten 1 sammelt sich das zu reinigende Siebwasser von der Papiermaschine her und wird von der Pumpe 2 in das Flotiergerät 3 gepumpt. Der Druck in der Leitung 5 wird mittels Reduzierventil 4 eingestellt (zwischen 1,5 und 3 atü). An der Stelle 6 wird die zum Auftrieb nötige Luft von der Pumpe angesaugt. Die Suspension prallt gegen die schräg-stehende Wand 7 und verteilt sich auf die volle Breite des Sveen und strömt über die Kante 8 in den Flotierpart des Gerätes. Der Dickstoff steigt nach oben und wird von den Schabern 9 kontinuierlich abgeschabt, während das Klarwasser durch die seitlich herausragenden Rohre 10 abläuft. Die Oberkante dieser Rohre ist in der Höhe verstellbar, womit auch die Höhe der Suspensionsoberfläche im Sveen verstellbar wird. An der Stelle 11 fließt der zurückgewonnene Dickstoff zurück zur Papiermaschine.

Da ein Gerät in technischer Ausführung den Strömungsvorgang (dieser allein ist ja bei allen Flotiergeräten von Interesse, denn die Flotation bewerkstelligen können diese Geräte nicht, sie müssen nur so gebaut sein, daß sie den Flotationsvorgang nicht stören) im Innern nicht verfolgen läßt, wurde ein Modell aus Plexiglas gebaut,

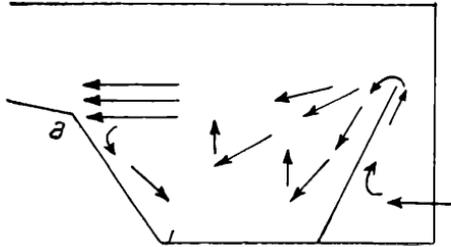


Abb. 13.

Die Suspension strömt längs der schrägen Wand nach unten, wodurch ein Großteil der Papierstoffteilchen einen sehr langen Flotationsweg zu durchlaufen hat und zudem Gefahr läuft, gleich mit dem Klarwasser abzufließen.

An der Kante a werden flotierte Feststoffteilchen zurückgedrängt. Diese Gefahr kann man beseitigen, und in den Fällen, in denen viele Schwebeteilchen vorhanden sind, stark vermindern, dadurch, daß der Suspensionspiegel etwas gehoben wird. Statt der schrägen Überlaufwand wurde eine gerade eingebaut (unabhängig von diesen Versuchen auch von der Fa. Fließberg A. B., Stockholm, eingeführt), wodurch das Strömungsbild das Aussehen wie in Abbildung 14 dargestellt hatte. Jetzt gelangten viel weniger Teilchen bis nach unten.

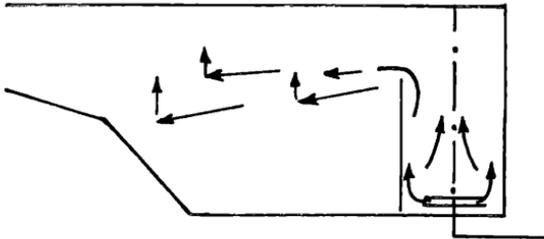


Abb. 14

Das Aufrichten der schrägen Wand brachte einen Nachteil mit sich: An der Überlaufkante wurde die Strömungsgeschwindigkeit ungleichmäßiger. Daran änderte auch nichts das neuerdings eingeführte Teller-ventil an der Einströmstelle, mit dem außerdem der Druck eingestellt werden soll,

Die beiden Strömungsbilder Abbildung 15 und Abbildung 16 veranschaulichen dies deutlich.

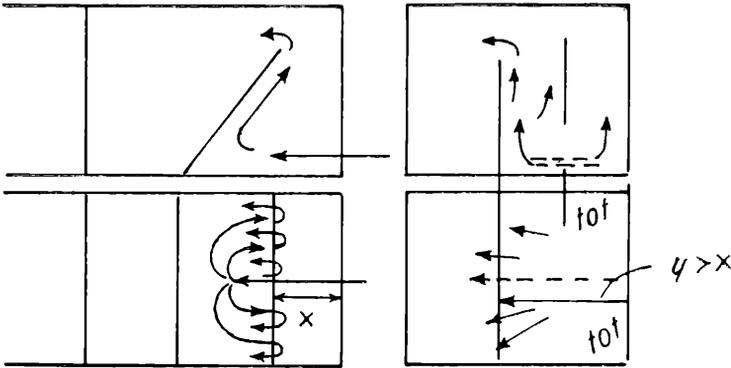


Abb. 15.

Abb. 16.

Es schien darum vorerst das beste, beide Formen zusammenzufassen.

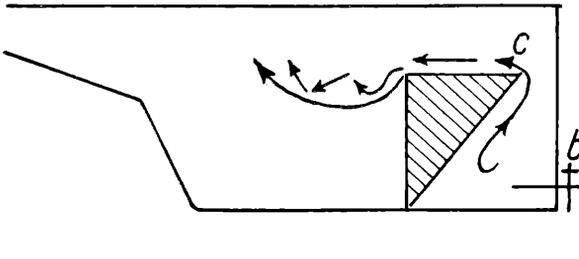


Abb. 17.

Die Entspannung der Suspension an der Stelle b zeigt auch, ob die an der Pumpe angesaugte Luft genügend fein in der Suspension verteilt wurde. Ist dies nicht der Fall, zeigen sich bei c dicke Luftblasen und viel Schaum, der keinen Stoff trägt. Es zeigte sich auch, daß genügend Luft, und diese in recht guter Feinverteilung, in die Suspension kommt (Querschnitt des Ventils muß variabel sein!), wenn an der Pumpe ein Ejektor montiert wird, dessen eines Leitungsende an die Überdruck-, das andere an die Saug-

leitung angeschlossen wird. Ein kleiner Suspensionsstrom fließt so dauernd in Pfeilrichtung mit großer Geschwindigkeit und kleinem Strömungsdruck durch die Pumpe und trägt so dem Hauptsuspensionsstrom kontinuierlich Luft zu.

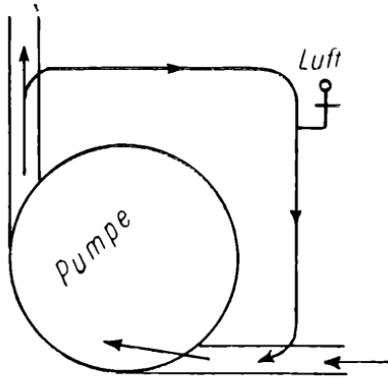


Abb. 18.

Die Zeit bis zur vollständigen Ausflockung der Papierstoffteilchen ist bei den verschiedenen Papierstoffen verschieden groß und ist u. a. eine eindeutige Funktion von der Durchmischung der zugegebenen Flotationschemikalien mit der Suspension. Im praktischen Betrieb kommen nun oft Verluste vor, die lediglich darauf zurückzuführen sind, daß den Teilchen keine Gelegenheit zum Ausflocken gegeben werden konnte. An Papiermaschinen, auf denen ein großes Sortenprogramm verarbeitet wird, wo also die Wahrscheinlichkeit, daß neben schnellausflockenden Papierstoffen auch solche verarbeitet werden, die weniger gut flocken, groß ist, hat sich die Zugabe von Flotationschemikalien vor der Pumpe bestens bewährt. Nach der im Verlaufe dieser Arbeit angegebenen Reihenfolge der Anlagerung der verschiedenen Flotationshilfsmittel an das Flotationsgut ist dies auch nur logisch, denn es war doch so, daß zuerst Kationen angelagert werden (meist schon bei der Stoffaufbereitung im Holländer etc.), dann Flockungsmittel und erst an die Flocke die zum Auftrieb nötige Luft.

Abbildung 19 zeigt die schematische Darstellung der Zugabe von Flotationshilfsmitteln an fünf verschiedenen Papiermaschinen, an denen ein Großteil der grundlegenden Arbeiten durchgeführt wurde.

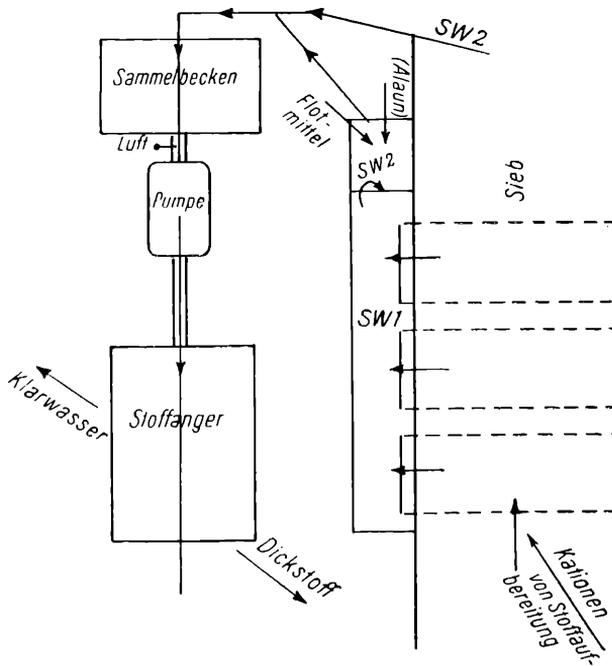


Abb. 19.

Arbeitsbeispiel aus der Praxis: Bibeldruckpapier mit 34 % Asche (6 % TiO_2).

Für die sehr großen Mengen Füllstoff, die für dieses Papier Verwendung fanden, reichte die bei der Aufbereitung des Stoffes zugegebene Alaumenge nicht aus für die Flotation. Da dies auch bei anderen Papieren schon beobachtet worden war, wurde eine Alaunleitung seitlich an die Papiermaschine geführt, und zwar dorthin, wo das Flotationsmittel zugegeben wird. So konnte, ohne die Säure des Papiers stark zu erhöhen, das für die Flotation fehlende Quantum an Alaun in den Stofffängerkreislauf gebracht werden. Trotz dieser Zugabe (neben Supernatin) blieb das „Klarwasser“ trübe, d. h. es sah aus wie Milch, die auch im Standzylinder trotz eifriger Bemühungen erhalten blieb. Hier zeigte sich nun etwas, das

im Labor vorher nie beobachtet worden war: Es lag eine kolloidal feine Suspension an Titanweiß vor.

Eggert gibt an, daß TiO_2 in kolloidaler Verteilung in Wasser elektrisch positiv gegen dieses geladen ist. Dies erklärte denn auch sogleich, warum bei Zugabe von Kationen keine Ausflockung erreicht werden konnte, denn dadurch wurden die elektrischen Abstoßungskräfte nur noch größer, und die „Milch“ wurde immer stabiler. Auf Anregung des Forschungschemikers der Papierfabrik Biberist, Herrn Dr. J. C. Ulrich, wurde folgender Weg eingeschlagen, dieses Kolloid auszuflocken und mit Supernatin zu flotieren: Dem Kolloid werden etwas Alaun und irgendeine Lauge zugegeben, wodurch ab $\text{pH} = 6,5$ eine kräftige Ausflockung von Al-Hydroxyd entsteht. Bei dieser Ausfällung wird die kolloidale Verteilung des TiO_2 zerstört und die feinen Teilchen lagern sich an die Ausfällung an. Gibt man nun ein gutes Flotationsmittel zu, erhält man durch Flotation ein vollständig klares Abwasser. So wurde denn parallel zur Alaunleitung noch eine für Lauge gelegt, und es kann in solchen Fällen immer vollständige Klärung erreicht werden. Betont sei hierbei noch, daß TiO_2 , wenn es nicht kolloidal fein vorliegt, ganz normal flотиert werden kann.

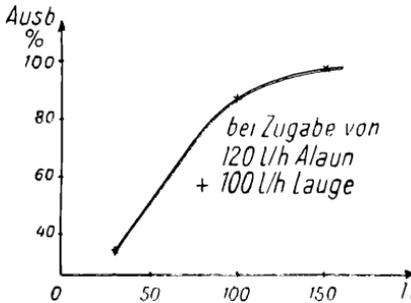


Diagramm 7

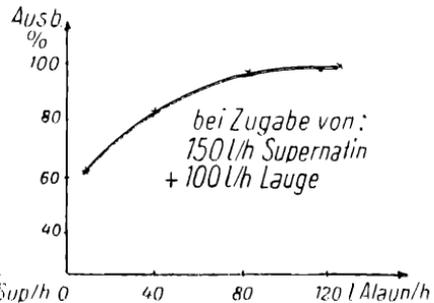


Diagramm 8

c) Der Savalla-Flotationsstofffänger (kurz: Savalla)

Der Savalla ist der zweite wichtige Repräsentant der Vakuumstofffänger. Er ist aus dem Adka entwickelt worden.

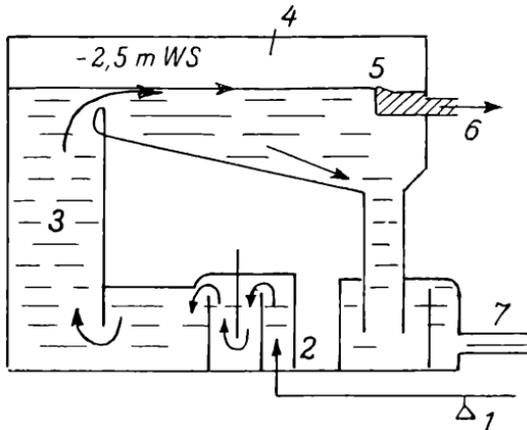


Abb. 20. Savalla-Flotationsstofffänger

Das zu klärende Siebwasser kommt über einen Ejektor 1, in welchem es mit Flotationsmittel und Luft gut gemischt wird, in den Zulauf 2 und gelangt von dort in der skizzierten Weise in das Steigrohr 3, wo es durch das herrschende Vakuum von 2,5 m WS gehoben wird. Im Oberkasten 4 weitet sich der Querschnitt, und die Teilung von Dickstoff- und Klarwasser geschieht an der Überlaufkante 5, über welche der Dickstoff überläuft und bei 6 zur Papiermaschine zurückgepumpt wird, während das Klarwasser in den Kasten 7 fließt und von dort mittels Pumpe zur Wiederverwendung, bzw. in den Kanal außerhalb der Fabrik.

Wie beim Adka wickelt sich der eigentliche Flotiervorgang hauptsächlich im Steigrohr ab. Bis hierher sind die beiden Systeme einander auch ähnlich geblieben, und erst im Oberkasten zeigen sich entscheidende Unterschiede. Hier wird der Dickstoff nicht abgesaugt, sondern strömt einfach frei der Überlaufkante zu, womit eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Sveen erreicht wird. Abgesehen davon, daß keine Schaber in Tätigkeit sind, die den Dickstoff abstreifen, sind die Dickstoffgeschwindigkeiten um eine ganze Größenordnung verschieden. Der Sveen hat Schabergeschwindigkeiten von etwa 1 m/min, während im Savalla Geschwindigkeiten von 10 bis 20 m/min normal sind.

Diese Geschwindigkeiten werden als zu hoch angesehen, denn wie gezeigt wurde, soll die Flockengeschwindigkeit nicht höher als etwa 3—5 cm . sec⁻¹ sein, dagegen schreibt der Savalla solche von 15 bis 35 cm . sec⁻¹ vor.. Bei diesen Geschwindigkeiten wird der Flockenverband zerstört, und der Hauptgrund, daß in der Praxis doch in manchen Fällen relativ gute

Ausbeuten erreicht werden können, liegt darin, daß die durch die Geschwindigkeit zerstörte Flocke sich nur wenige Sekunden auf der erreichten Höhe zu halten braucht und durch die hohe Geschwindigkeit große Dickstoffwassermengen (also geringe Eindickung) gewonnen werden. Bei einer Länge des Oberkastens von 4 m benötigt eine Flocke bis zur rettenden Kante bei einer Geschwindigkeit von 20 m/min 12 Sekunden. Für ein Teilchen von 0,05 cm Durchmesser ergäbe sich eine Sedimentationsgeschwindigkeit von etwa $2,5 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$. Bei Zerstören des Flockenverbandes wird diese Geschwindigkeit kleiner, da die Teilchen ebenfalls kleiner werden. Legt man aber nur eine solche von nur $0,1 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ zugrunde, dann ergeben sich folgende Verhältnisse:

Ein Teilchen, das von der Oberfläche aus (bis 15 mm über Überlaufkante) mit dieser Geschwindigkeit sedimentiert, gelangt nach einer Laufzeit von 12 Sekunden noch 3 mm über der Überlaufkante mit dem Dickstoffwasser auf die Papiermaschine. Nun sind aber natürlich nicht alle

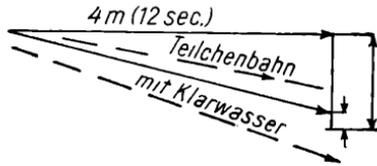


Abb. 21.

Teilchen nur auf der Oberfläche versammelt, sondern es gibt ja auch eine Schichtdicke, und ist das gleiche Teilchen, das eben betrachtet wurde, bei seinem Start nur 4 mm unter der Oberfläche, muß es mit dem Klarwasser verlorengehen.

Diese Betrachtungen gelten grundsätzlich, aber die Praxis bringt die verschiedensten Abwässer zur Klärung. So sind ja auch ohne weiteres Stoffmengen nicht nur denkbar, sondern kommen auch vor, die tatsächlich nur soviel Teilchen zur Klärung enthalten, daß sie sich, um bei obigem Beispiel zu bleiben, grundsätzlich beim Start innerhalb der oberen 3-mm-Schicht befinden (vorausgesetzt, daß das Flotationsmittel in der Lage war, die Teilchen auszuflocken) und so eine recht gute Klärung erreicht werden kann.

d) Der Krofta-Flotator (kurz: Krofta)

In neuerer Zeit ist zu den bekannten Systemen ein völlig neuartiges hinzugekommen: Der Krofta-Flotator. Das Funktionieren dieses Apparates

in der Praxis wurde in Isola del Liri in der Papierfabrik Meridionali untersucht.

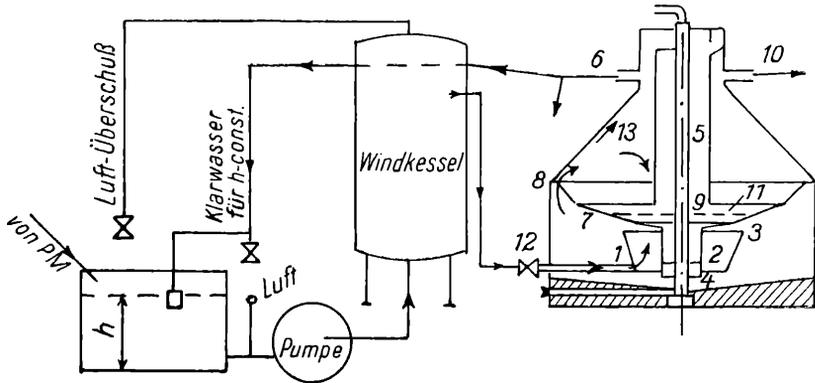


Abb. 22. Krofta-Flotator

Die zu klärende Suspension tritt bei 1 ein, wo sie von einem kegel-förmigen Einsatz 2 aufgenommen und über die Kanten 3 geleitet wird. Hier ist bereits der Flotationsprozeß im Gang und es findet eine Trennung in dickeren Stoff und Klarwasser statt. Letzteres geht bei 4 in das Rohr 5 und steigt nach oben, um bei 6 abzufließen. Der bereits eingedickte Stoff strömt den Blechboden 7 entlang durch die kreisringförmige Öffnung 8 in den konischen Teil des Gerätes. Dabei findet bei weiterer Flotation eine noch intensivere Eindickung statt. Das sich hier abtrennende Klarwasser kommt bei 9 in das Rohr 5 und fließt ebenfalls bei 6 ab. Das Verhältnis der Teilströme bei 4 kann durch Verstellen von Schiebern reguliert werden. Der Dickstoff strömt (durch Schieber gestaut) bei 10 ab. Die eingelegten perforierten Bleche 11 sollen ein gleichmäßiges Abfließen des Klarwassers gestatten.

Wie man sieht, befinden sich im Gerät keine für den Flotationsprozeß bewegten Teile. Der Druck am Reduzierventil 12 wird auf etwa 2 atü eingestellt.

Strömungstechnisch gesehen steht hier einem geordneten Flotations-ablauf gar nichts im Wege, man muß immerhin darauf achten, daß die Teilströme mit den Schiebern richtig eingestellt werden. Die Versuche zeigten, daß bei manchen Stoffen selbst ohne Flotationsmittel Resultate erzielt wurden, die bei anderen Systemen vielleicht nicht zustande gekommen wären.

Geleimtes Schreibpapier mit etwa 15 % Asche:

- a) ohne Flotationsmittel
- | | |
|-------------|----------|
| Eintritt: | 1,1 g/l |
| Klarwasser: | 120 mg/l |
| Dickstoff: | 9,8 g/l |
- b) mit Flotationsmittel
- | | |
|-------------|----------|
| Eintritt: | 1,1 g/l |
| Klarwasser: | 20 mg/l |
| Dickstoff: | 39,4 g/l |

Für solche Eindickungen muß jedoch verlangt werden, daß ein gutes Flotationsmittel zur Anwendung kommt.

Bei der Besprechung der einzelnen Flotationsstoffängertypen wurden die wichtigsten Betriebsmerkmale untersucht.

Läßt man diese Erkenntnisse jedoch einmal beiseite (die Praxis bringt für jeden Spezialfall neue kleinere und größere Schwierigkeiten, die überwunden sein wollen), so muß man doch auf die Kernfrage stoßen, ob die Laborversuche, die in allen Fällen günstig verliefen, sich in jedem Falle im Großbetrieb anwenden und beweisen ließen, denn die Praxis bringt erschwerte Verhältnisse und manchmal Überraschungen, die sich im Labor kaum übersehen lassen.

Eine wichtige Frage, der im Labor vorerst keine Beachtung geschenkt wurde, war die, welchen Einfluß die verschiedenen Wässer, die zur Papierherstellung in den verschiedensten Fabriken zur Verfügung stehen, auf die Güte des Flotationseffekts haben. Sogleich tauchte auch die Frage nach der Wassertemperatur auf.

Beim Arbeiten in fünf verschiedenen Fabriken, deren Wasserhärten zwischen 0,4 und 30⁰ DH, und deren Temperaturen zwischen 10 und 26⁰ C schwankten, konnte ein Einfluß in irgendeiner Richtung nicht festgestellt werden. Die natürlichen pH-Werte dieser Wässer lagen zwischen 5,5 und 8,0.

Im Labor wurden dann Versuche mit Wasser zwischen 0 und 50⁰ DH und 5 bis 50⁰ C durchgeführt, doch auch nun zeigte sich kein merkbarer Einfluß.

Dann interessierte aber doch am meisten die Frage, ob die drei Flotationshilfsmittel: Kationen (Alaun), Flotationsmittel (Flockungsmittel) und feinverteilte Luft auch in der Praxis genügen, in jedem Falle eine einwandfreie Flotation wie im Standzylinder zu erzeugen. Die Frage kann nach mehr als drei Jahren praktischer Untersuchungen mit einem klaren Ja — mit zwei Einschränkungen — beantwortet werden.

Die beiden Einschränkungen sind:

Das Flotationsgerät muß durch seine Konstruktion und Abmessungen einen Flotationsvorgang zulassen und

Kolloidal feine Titanweiß-Suspensionen müssen zusätzlich behandelt werden (wie bereits gezeigt).

Die Praxis zeigte, daß der im Labor verwendete Standzylinder ein gutes Flotationsgerät ist, aus welchem der Flotationsvorgang im Betrieb dirigiert werden kann.

Allgemein kann gesagt werden, daß Form und Aussehen eines Flotationsgerätes grundsätzlich keine Rolle zu spielen brauchen, aber es muß von einem solchen Gerät verlangt werden, daß es den Flotationsvorgang nicht stört, d. h. hauptsächlich, daß es der zu klärenden Suspension genügend Zeit läßt, auszuflocken, keine Flockengeschwindigkeiten vorschreibt, die den Flockenverband zerstören und in der Lage ist, Dickstoff- und Klarwasser zu trennen.

Werden diese Forderungen von einem Flotationsstofffänger erfüllt, dann dreht sich alles nur um die richtige Dosierung von Alaun, einem wirksamen Flotationsmittel und Luft, die die wirklich primär entscheidenden Flotationselemente bleiben.

d) Zusammenfassung und Schlußbetrachtung

Das Flotationsverfahren in der Papierindustrie ist ein Ausbeuteverfahren, das durch Anwendung von chemischen und physikalischen Hilfsmitteln eine Rückgewinnung von wertvollen Papierstoffteilchen zum Ziele hat.

Es zeigte sich, daß die eigentliche Kernfrage lautet: Wieviel brauchbarer Papierstoff geht trotz Flotation dem Betrieb unwiederbringlich verloren, und was kann man tun, diese Verluste möglichst zum Verschwinden zu bringen?

Nach Abschluß der Arbeiten und ihrer vollständigen Bestätigung im praktischen Betrieb, ergibt sich für die Flotation von Papierstoffteilchen folgendes Gesamtbild:

1) Eine kationfreie Papierstoffsuspension kann im allgemeinen nicht flotiert werden. Es gibt jedoch Fälle, in denen dies — manchmal auch nur teilweise — gelingt:

a) wenn gröbere, nur schwach hydrophile Papierstoffteilchen vorliegen, bei denen sich wegen ihrer Größe hauptsächlich die elektrischen Abstößungskräfte nur wenig bemerkbar machen. In solchen Fällen genügt manchmal (z. B. bei manchen Holzstoffen) lediglich Zugabe von feinverteilter Luft.

b) wenn weniger grobe Teilchen der Kategorie a) vorliegen und diesen ein kationaktives Flotationsmittel zugegeben wird (also ein solches, das nach den Untersuchungen von Hukki und Rinne das ζ -Potential von sich aus erhöht).

Normalerweise aber werden zur Flotation von Papierstoffen Kationen benötigt, die sich an das elektrisch negativ geladene Teilchen anlagern und so einen Ladungsausgleich gegen den Isoelektrischen Punkt hin herbeiführen. In der Praxis werden meist Al-Ionen (Alaun) zugegeben, die meist schon wegen eines Leimungsprozesses, Färbung etc. in die Papierstoffmasse gebracht werden. Die Zugabe dieser Ionen richtet sich aber nach diesen Prozessen, ohne den Flotationsvorgang zu berücksichtigen. So kann es vorkommen, daß für diesen Al-Ionen fehlen, die man dann am besten im Stofffängerkreislauf zuführt.

2) Der eigentlichen Flotation muß eine intensive Ausflockung der einzelnen Teilchen vorausgehen. Diese wird bei den relativ groben Papierstoffsuspensionen nicht bei den Kolloiden dadurch erreicht, daß man Kationen bis zum Isoelektrischen Punkt zusetzt, worauf v. d. Waals'sche Kräfte die Teilchen koagulieren lassen. Man benötigt zur Überbrückung der größeren Abstände ein spezielles Flockungsmittel, das aber so aufgebaut sein muß, daß es gleichzeitig als Flotationsmittel wirkt, d. h. es muß neben einer hydrophilen „Kopf“ noch einen langen CH-Rest besitzen, der in der Lage ist, sich senkrecht zum Adsorbens auf diesem aufzurichten, dadurch eine wasserabstoßende Zone schafft, in welche feinverteilte Luft eindringen kann.

Von solchen Flotationsmitteln sind eine ganze Reihe bekannt, doch hatten sie bei näherer Untersuchung alle den Nachteil, daß sie nur selektiv flotieren, d. h. manche Stoffe gut, andere weniger gut und manche gar nicht. Das hatte zur Folge, daß zwar Fabriken, die zufällig mit Stoffen arbeiteten, die gut flotierbar sind, kein eigentliches Flotationsproblem kennen, die anderen jedoch dafür um so mehr.

Auf Grund dieser Tatsache wurde ein Flotationsmittel entwickelt, das alle Papierstoffe flotiert. Zudem bringt es keine Schleimbildung und Gefährdung der Leimung.

3) An die hydrophobierte Flocke müssen feine Luftbläschen angelagert werden, die dieser mechanischen Auftrieb geben und so an die Flüssigkeitsoberfläche bringen. In der Praxis wird diese Luft von der zu klärenden Suspension selber beschafft (Saugstutzen an der Pumpe etc.).

4) Der pH-Wert darf normalerweise, ohne einen Einfluß auf den Flotationseffekt zu nehmen, zwischen 4 und 7 schwanken, wenn er vom Wasser selbst oder anderen Zugaben als Alaun herkommt. Bei immer gleichen

Wasserverhältnissen ist der pH-Wert (in diesen Grenzen) lediglich ein Maß dafür, ob genügend Al-Ionen zugegeben wurden.

5) Ist ein Stoff infolge richtiger Zugabe von Kationen, Flotationsmittel und Luft grundsätzlich in der Lage, einwandfrei zu flotieren (z. B. im Standzylinder), muß er dies im Betrieb auch tun.

Störungen können auftreten durch:

- a) zu kurze Auflockerungszeit;
- b) zu kleine Abmessungen des Stoffängers;
- c) Zerstörung der sich bildenden Flocken durch zu hohe Geschwindigkeiten und Beschleunigungen;
- d) vorübergehende Störungen.

Zu a): Das Flockungsmittel muß weit genug vor dem Flotationsgerät zugegeben werden, damit es sich intensiv mit der Suspension mischen kann und genügend Zeit hat, selbst die am langsamsten ausflockenden Teilchen noch zu sammeln.

Zu b): Sind die Abmessungen eines Stoffängers zu klein, werden aus der sich bildenden Dickstoffsicht Teile von dem abströmenden Klarwasser mitgerissen.

Zu c) Als Normalgeschwindigkeit für Flocken, ohne daß diese zerstört werden, wurden 3 bis 5 cm . sec⁻¹ gefunden. Schnellere Bewegungen können zur Zerstörung der Flocke und dann zur Sedimentation der einzelnen Teilchen führen.

Zu d): Hierunter fallen alle Störungen wie: Zu tiefer Wasserstand im Sveen (Krofta-Stofffänger), Schaumbildung im Adka etc.

6) Kolloidal reines TiO₂ muß zusätzlich durch Ausfällen von Al-Hydroxyd behandelt werden.

7) Der Flotationsvorgang im Stofffänger kann durch Standzylinderversuche gesteuert werden.

8) Ein Klarwasser wird erfahrungsgemäß als klar bezeichnet (und dann sind auch die Stoffverluste absolut tragbar), wenn im Klarwasser höchstens 20 mg Feststoff pro Liter abfließen. Grundsätzlich steht nichts im Wege, diesen Wert gegen Null gehen zu lassen, doch zeigte sich in der Praxis, daß dies nicht immer vorteilhaft ist, denn oftmals braucht man zum Flotieren der letzten 10 bis 20 mg/l unverhältnismäßig viel Flotationsmittel. Die klarsten Abwässer ergaben sich im allgemeinen bei stark beschwerten Papieren, da der Füllstoff sehr intensiv ausflockt und dadurch feinste Teilchen mitreißen kann.

9) Aus betrieblichen Gründen kann die Wahl auf diesen oder jenen Stoffängertyp fallen. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme wurden erläutert.

10) Härte und Temperatur des Betriebswassers haben auf die Güte des Flotationseffekts keinen Einfluß.

Literaturhinweis:

- ¹ Ullmanns Encyclopädie der techn. Chemie, Bd. 1, 666 ff, 1951.
- ² J. P. Casey, Pulp and Paper, Bd. 1, 442 ff, 1952.
- ³ Brecht, Eberstadt und Kilpper, Der Papierfabrikant 33, 404, 1935.
- ⁴ K. Lindvosky, Der Papierfabrikant 45, 429, 1937.
- ⁵ E. N. Poor und H. A. Whitenight, Paper Trade Journal 114, Nr. 9, 101—104, Febr. 26, 1942.
- ⁶ H. R. Clodfelter, Pulp and Paper 21, Nr. 10, 54—58, Sept. 1947.
- ⁷ W. D. Harrison, Paper Trade Journal 109, Nr. 7, 67—72, Aug. 17, 1939.
- ⁸ P. Easton und R. Baum, Tappi 33, Nr. 6, 301—304, Juni 1950.
- ⁹ R. T. Sheen, Paper Trade Journal 126, Nr. 9, 117—121, Febr. 26, 1948.
- ¹⁰ O. F. Hutchinson, Paper Trade Journal 127, Nr. 23, 44—49, Dec. 2, 1948.
- ¹¹ W. Brecht und K. Scheufelen, Der Papierfabrikant 46, 121—129 u. 136—140, 1938.
- ¹² G. Schmidt, Das Papier 7, 190—195, 1953.
- ¹³ A. Chwala, Textil-Rundschau 1947, 5, 147 ff.
- ¹⁴ S. G. Mason, Tappi 33, Nr. 8, 1950.
- ¹⁵ R. T. Hukki und R. Rinne, Paperi ja Puu 36, Nr. 4 a, 129—140, 1954.
- ¹⁶ E. N. Poor, Paper Trade Journal 110, Nr. 10, 143—144, März 7, 1940.
- ¹⁷ B. Niberger und R. E. Bodette, Tappi 32, Nr. 12, 574—576, Dec. 1949.
- ¹⁸ Loddengard, Paper Trade Journal 105, Nr. 9, 1937.
- ¹⁹ Brecht und Rausch, Der Papierfabrikant 48, 449, 1937.
- ²⁰ G. I. Hoover, Chem. Zbl., 1935, 106, I Nr. 19, p. 3074.
- ²¹ F. Meincik, Der Papierfabrikant, 1935, 33, Nr. 49, 416—420.
- ²² A. H. Weddington u. R. Clark, Chem. Zbl., 1935, 106, II Nr. 20, p. 3140.
- ²³ A. F. Taggart, T. C. Taylor und C. R. Ince, Amer. Inst. min. metallurg. Engr., Techn. Publ. 204, 1929.
- ²⁴ I. W. Wark, Engng. Min. Inst. 137, 641, 1936.
- ²⁵ G. Jayme und A. v. Koeppen, Das Papier 4, 373—378, 415—420, 455—462, 1950.
- ²⁶ Ruben v. Konow, Paperi ja Puu, 5, 35, 220, 1953.
- ²⁷ J. Eggert, Lehrbuch der Physikalischen Chemie, 5. Aufl., 1941, p. 559 ff.
- ²⁸ S. Mattson, *Inl. Phys. Chem.* 32, 1532—1552, 1928.
- ²⁹ A. M. Gandin und S. C. Sun, *Trans. Aime*, 169, 347—367, 1946.
- ³⁰ S. C. Sun, *Sc. D. Thesis*, Massachusetts Inst. of Techn., 1945.
- ³¹ L. Graetz, *Handbuch Elektr. Magn.* 7, 383, 1921.
- ³² D. C. Henry, *Cell. Inl. Chem. Soc. London*, 997—999, 1938.

DISKUSSION

Suida :

Wird das Flotationsmaterial wiedergewonnen? Es bleibt doch zunächst bei den Fasern und die Fasern gehen an die Papiermaschine. Stört weiters das Flotationsmaterial die Papierbildung?

Hogenkamp :

Flotationsmittelmoleküle bleiben am Papierstoff, und nach Rückführung des zurückgewonnenen Anteils auf die Papiermaschine, bleiben sie im Papier. Event. Überschüsse an Flotationsmittel gehen mit dem Klarwasser ab. Bei einem guten Flotationsmittel wird die Papierbildung nicht gestört und auch die Eigenschaften des Papiers werden nicht negativ beeinflusst. Es gibt jedoch Flotationsmittel, die z. B. die Leimung beeinträchtigen; solche dürfen in nicht zu großer Menge zugesetzt werden.

Kisser :

Ist diese Rückgewinnung des Papierstoffes an und für sich wirtschaftlich oder erfolgt sie nur aus abwassertechnischen Gründen?

Hogenkamp :

Die Rückgewinnung des Papierstoffes ist in erster Linie eine wirtschaftliche Angelegenheit. In den Flotationsstoffängern können 10 bis 30 Prozent des gesamthaft anfallenden Papierstoffes gegeben werden. Überlegt man sich, daß es Maschinen gibt, auf denen täglich mehrere hundert Tonnen Papier hergestellt werden, ahnt man die wirtschaftliche Bedeutung. Schon in einem mittleren Betrieb machen die zurückgewonnenen Papierstoffmengen mehrere Tausend Tonnen aus. Gleichzeitig sollen jedoch auch die abwassertechnischen Fragen und Forderungen befriedigt werden, d. h. es soll angestrebt werden, das Klarwasser mit nicht mehr als 20 mg/l Feststoffgehalt weglaufen zu lassen. Technisch ist dies heute zu erreichen.

Liepolt :

Flotieren Fichtenzellstofffasern anders als jene der Buchen?

Hogenkamp :

Fichtenzellstofffasern flotieren grundsätzlich anders als Buchenzellstofffasern, doch kann heute nach der grundlegenden Klärung der flotationstechnischen Fragen gesagt werden, daß bei Verwendung eines entsprechenden Flotationsmittels beide Fasern gleich gut flотиert werden können.

Ziegelmeier :

Es wurde in dem Vortrag von der Entwicklung eines neuen Flotationsmittels mitgeteilt. Da über die genaue Zusammensetzung keine Angaben gemacht wurden, wäre es für den Praktiker interessant zu wissen, ob dieses Flotationsmittel im Handel erhältlich ist?

Hogenkamp :

Das von mir entwickelte Flotationsmittel ist im Handel frei erhältlich, es ist jedoch relativ teuer. Andererseits aber sollte man auch bedenken, daß ein Flotationsmittel niemals so teuer sein kann, daß sein Einsatz nicht lohnen würde.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wasser und Abwasser](#)

Jahr/Year: 1957

Band/Volume: [1957](#)

Autor(en)/Author(s): Wulsch F., Hogenkamp H.

Artikel/Article: [Grundlegende Untersuchungen an Flotationsstoffängern in der Papierindustrie 218-253](#)