

HANDBUCH
der
chemisch-technischen Apparate
maschinellen Hilfsmittel und Werkstoffe

Ein lexikalisches Nachschlagewerk
für Chemiker und Ingenieure

Herausgegeben von

Dr. A. J. KIESER

Unter Mitarbeit von

Dr.-Ing. Ernst Krause, Ziv.-Ing. Theodor Möhrle VDI, Dipl.-
Ing. Ferdinand Moser VDI, Ziv.-Ing. Carl Naske VDI, Dr. Erich
Rabald, Dr. Hans Riesenberg, Ing. Gerhard Rothe VDI,
Ob.-Ing. Ekkehard Schaufele VDI, Dr.-Ing. Dr. phil. Hanns
Schmidt, Ziv.-Ing. Hugo Schröder VDI, Dr.-Ing. Dr. phil. Felix
Singer, Dr.-Ing. Kurt Thormann VDI

Zweiter Band: Fi—Kr

Mit 720 Abbildungen



Berlin
Verlag von Julius Springer

1937

ISBN-13: 978-3-642-89941-6
DOI: 10.1007/978-3-642-91798-1

e-ISBN-13: 978-3-642-91798-1

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.
Copyright 1937 by Julius Springer in Berlin.
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1937

Filter (Filtrierapparate; s. auch Anschwemmfilter, Atemschutzgeräte, Dekantierapparate, Elektrofilter, Elektroosmosevorrichtungen, Gas- und Luftreiniger, Keramische Werkstoffe, Klassierer, Metallfilter, Pressen, Stoffgasfilter, Zentrifugen).

Inhaltsübersicht

Allgemeines.

- I. Einteilung der Filter nach Verwendungsart.
- II. Einteilung der Filter nach Bauart und Arbeitsweise.
- III. Bau- und Filterstoffe.
 - a) Baustoffe.
 - b) Filterstoffe.
 - c) Filterhilfsmittel.
- IV. Filtrationsbedingungen.
 - a) Schichtdicke.
 - b) Filtrationsdruck.
 - c) Filtrationsgesetze.
 - d) Reinigung der Filter.

Filterkonstruktionen.

- I. Absatzweise arbeitende Filter.
 - a) Filterflächen vorwiegend waagrecht.
 1. Sandfilter.
 - Grubensandfilter.
 - Offene Sandfilter.
 - Sandsäulenfilter.
 - Druckfilter.
 - Trommelfilter.
 - Filter mit Siebeinsätzen.
 - Stufen-Sandfilter.
 - Filtersand-Waschmaschinen.
 2. Filter mit gepreßtem Filtermittel.
 - Schraubenfilter.
 - Essigfilter.
 - Steinzeugfilter.
 3. Nutschen.
 - Offene Nutschen.
 - Nutschen mit Bodenverstärkung.
 - Nutschen mit Zustreichvorrichtung.
 - Nutschenanlagen.

- Mechanisch entleerbare Nutschen.
 - Etagnenutschen.
 - Schwingnutschen.
 - Strömungsnutschen.
4. Beutelfilter.
 5. Chemische Filter.
 - Filteranlagen mit chemischer Vorbehandlung.
 - Permutitfilter.
 - Reinigungsfilter.
 - Enteisungsfilter.
 - Adsorptiv-Knochenkohlen- oder Aktivkohlenfilter.
 - b) Filterflächen vorwiegend senkrecht.
 1. Taschen- oder Rahmenfilter.
 2. Faltentuchfilter.
 3. Blattfilter.
 - c) Filter mit fester Filterschicht.
 1. Filter mit Filtersteinen und Filterkerzen.
 2. Weichgummifilter.
 3. Tauchfilter.
 4. Druckfilter.
 5. Metafilter.
 6. Stromlinienfilter.
 7. Zentripetalfilter.
 - d) Membranfilter (Ultrafilter, Entkeimungsfilter).
- II. Stetig arbeitende Filter.
 - a) Trommelfilter.
 1. Einheitsdrehfilter.
 2. Abwaschfilter.
 3. Abwasserzellenfilter.
 4. Doppelfilter.
 5. Auftrag-Außenfilter.
 6. Saugzellenfilter.
 7. Hohe Aufstellung eines Trommelfilters.
 8. Trommelfilter bei beschränkter Raumhöhe.
 9. Trommelfilter von Wangner.
 10. Füllner-Filter.
 - b) Siebbandfilter.
 - c) Stetig wirkende Druckfilter.
 - d) Siebflächenfilter.

- e) Planfilter.
- f) Innenfilter.
- g) Scheibenfilter.
- h) Rotierende Elektrosmosefilter.

III. Filterpressen.

- a) Kammerpressen.
- b) Rahmenpressen.

- c) Ausführung der Filterpressen.
- d) Membranfilterpressen.
- e) Filterpressen für Extraktionszwecke.
- f) Schichtenfilter.
- g) Filterpressen mit Filtersteinen.
- h) Kesselfilter.

Allgemeines. Zur Trennung fester Stoffe von Flüssigkeiten, in denen sie aufgeschlämmt sind, kommen folgende Arbeitsweisen in Anwendung: Filtrieren, Absetzen, Dekantieren, Zentrifugieren und, seltener, Trennung durch Elektrosmose und Ultrafiltration.

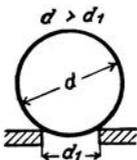


Abb. 569. Schema eines Filters oder Seihers. d : Größe (Durchmess.) des Filtergutes; d_1 : Durchgangsquerchnitt des Filters.

Filter dienen im engeren Sinne dazu, feste ungelöste Stoffe von Flüssigkeiten zu trennen. Die Scheidung wird meist dadurch erreicht, daß das Filter ähnlich einem Sieb die festen Teile des Filtergutes als Rückstand zurückhält (Abb. 569), während die Flüssigkeit (das Filtrat) möglichst klar nach unten abfließt. Hat man große Flüssigkeitsmengen von geringen Niederschlagsanteilen zu trennen, so ist die umgekehrte Filtration zu empfehlen, bei der ein Filterkörper von oben her absaugt.

Im weiteren Sinne zählt zur Filtration die Trennung durch Adsorption, die darauf beruht, daß durch besondere anziehende Kräfte des Filtermittels die festen Anteile auf diesem verdichtet werden. Teilchen unter $1,1 \mu$, die sich in Brownscher Bewegung befinden, werden vorwiegend durch adsorptive Beeinflussung, auch durch Elektrocappillareffekt, auf den Filtern festgehalten (Abb. 570). — „Unter Adsorption versteht man die Konzentrationsverschiebung (Anreicherung) disperser Phasen eines heterogenen Systems an den Grenzflächen. Die Konzentration an den Grenzflächen fester Körper ist verändert gegen die Konzentration des gelösten Stoffes in der Lösung. Diese ist kleiner, wenn der gelöste Stoff die Grenzflächen­spannung erhöht, hingegen erheblich größer, wenn er die Grenzflächen­spannung herabdrückt.“ (I. W. Gibbs, Thermodyn. Studien, S. 321. Leipzig 1892.) — Die Folge der Adsorption ist, daß die Oberflächeneigenschaft (die Benetzbarkeit) des Filters weitgehend beeinflusst wird. Das Ausmaß einer solchen Adsorptionshaut (Film) ist sehr dünn, nach Untersuchungen von Langmuir nicht mehr als eine Moleküllage (J. Amer. chem. Soc. 1915, S. 2238; 1918, S. 1387). In diesen Adsorptionshäutchen sind die Moleküle in bestimmter Lage geordnet. (Langmuir, J. Amer. chem. Soc. 1917, S. 1848; Harkin, J. Amer. Soc. 1917, S. 354; 1920, S. 700).



Abb. 570. Adsorptive Wirkung des Filters.

Immer ist mit der Sieb- auch die Adsorptionswirkung verbunden. Letztere kann durch Veränderung der kolloidchemischen Verhältnisse weitgehend beeinflusst werden. Wie Spring (R. Zsigmondy, Kolloidchemie, 5. Aufl., Bd. II, S. 175, Verlag Otto Spamer, Leipzig 1927) zeigt, kann man in Wasser fein verteilten, fettfrei gemachten Kienruß auf einem Papierfilter zurückhalten. Nach Umkehren des Filters vermag man den Ruß nicht mit Wasser abzuspülen. Sobald man Seifen-

lösung auf das Filter bringt, geht der Ruß mit durch. Diese Erscheinung ist damit zu erklären, daß die Kohlentelchen vom Filter zurückgehalten werden, obwohl sie kleiner sind als die Weite der Capillaren, und zwar infolge der Adsorption. Erst nachdem die Adsorption durch die Seifenlösung aufgehoben ist, gehen die Teilchen mit durch.

Eine weitere Art der Trennung ist das Niederschlagen von Rauch oder Nebel aus Gasen an den Wandungen von Capillaren. Die einzelnen Teilchen stoßen auf dem Wege durch das Filtermaterial infolge ihrer starken Eigenbewegungen an die Flächen der Durchlaßkanälchen des Filtermittels und werden hier festgehalten (Abb. 571). S. auch Gas- und Luftreiniger.

Die festen Körper in der Lösung verkleinern durch Adsorption an das Filtermittel dessen Hohlräume und verkitten im weiteren Verlaufe der Filtration durch Adsorption und Siebwirkung von folgenden Einzelteilen aus der Trübe das Filter bis zur völligen Undurchlässigkeit.

Teilchengröße. Für die Filtration ist die Größe der suspendierten Teilchen und ihre Variation von allergrößter Bedeutung, da die Porenweite des zu wählenden Filters dadurch bestimmt wird. Die Porenweite ist bei einem gewöhnlichen Filter $70-3,5 \mu$, bei einem Barytfilter $2,0-0,5 \mu$, bei Filtern aus keramischem Material $48-0,2 \mu$ (für Trinkwasserfiltration). Tränkt man Papierfilter mit einer mehr oder weniger konzentrierten Kollodiumlösung, so verkleinert man die Poren in beliebiger Weise bis zu $0,01 \mu$ und erhält auf diese Art die Ultrafilter; enger sind die Poren von Pergamentpapier oder Tierblase, noch feiner die osmotischen Membranen, z. B. auf Tonfilter niedergeschlagenes Kupferferrocyanid.

Gewöhnliche Filterstoffe bzw. Filterpapiere filtern Lösungen mit groben Bestandteilen klar, lassen jedoch kolloide Lösungen ungehindert durch, abgesehen von der anfangs eintretenden Adsorption. Barytfilter mit $2-0,5 \mu$ halten noch feinere Bestandteile zurück. Ultrafilter trennen dagegen kolloide Lösungen mit ihren feinsten Teilen, Pergamentfilter lassen keine Kolloide mehr durch, hingegen alle Körper in gelöstem Zustande (Trennung von Kolloiden und Salzlösungen, Dialyse). Niederschlagsmembranen (Kupferferrocyanid) trennen wirklich gelöste Stoffe mit großen Molekülen von dem Lösungsmittel, das ebenso wie verschiedene Salze mit kleinen Molekülen diffundiert (Trennung von Wasser aus Lösungen mit großen Molekülen *van 't Hoff*).

Für die Durchführung der Filtration finden nachfolgende Filterarten Verwendung. Die Wahl der einzelnen Apparate erfolgt nach den besonderen Bedürfnissen und Erfahrungen.

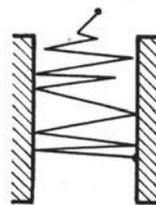


Abb. 571.
Capillarwirkung
des Filters.

I. Einteilung der Filter nach Verwendungsart.

Gut filtrierende Gemische (grobkörnige Feststoffe).

Filtrationsgeschwindigkeit im allgemeinen 100 μ /sek und mehr (≥ 360 l/m² · std).

wenig Festes	viel Flüssiges	Womöglich Verbesserung der Filterleistung durch Dekantation	in	viel Festes	wenig Flüssiges
--------------	----------------	---	----	-------------	-----------------

Trennung durch:

Absatzweise arbeitende Filter:
 bei geringem Durchsatz (höhere Löhne!)
 Nutschen, mit natürlichem Gefälle oder Vakuum arbeitend
 „ ohne oder mit Glattstreichwerk
 „ mit säurefesten Filtersteinen für angreifende Flüssigkeiten
 Rahmenfilterpressen in den verschiedenen Ausführungsarten, u. U. mit säurefesten Filtersteinen für angreifende Flüssigkeiten
 Druckkammerfilter (Kelly, Easifilt, Sweetland)
 Beutelfilter (für kleine Mengen)

Stetig arbeitende Filter:
 für großen, stetig anfallenden Durchsatz
 Siebbandfilter
 Planzellenfilter
 Innenfilter
 Saugzellenfilter
 Ringzellenfilter
 Trommelfilter
 Scheibenfilter, für gleichmäßiges Feinkorn

meist mit Vakuum arbeitend;
 wenn nur Entwässerung: ohne Vakuum

Auswaschen und u. U. Nachtrocknung mit (vorgewärmter) Luft.

Zum Trennen kommen ferner in Betracht } Siebe, u. U. stetig arbeitende Klassierapparate, Zentrifugen, (s. auch unter Stichwort): } selbsttätige Zentrifugen.

Schlecht filtrierende Gemische (feine Schlämme).

Filtrationsgeschwindigkeit im allgemeinen 100 μ /sek und weniger (≤ 360 l/m² · std), u. U. Erhöhung der Filterleistung durch kolloide oder chemische Beeinflussung, Verschiebung der p_H -Konzentration, Erhöhung der Temperatur, Veränderung des meist geringen Filterdruckes oder Zusatz von Filterhilfsmitteln.

wenig Festes	viel Flüssiges	Womöglich Verbesserung der Filterleistung durch Dekantation (im Gegenstrom) verbunden mit Tauch- oder	in	viel Festes	wenig Flüssiges
--------------	----------------	---	----	-------------	-----------------

Kerzenfiltern (schlecht sedimentierend) oder stetig arbeitendes Eindicken (gut sedimentierend).

Trennung durch:

Absatzweise arbeitende Filter:
 bei geringem Durchsatz (höhere Löhne!)
 Nutschen, mit natürlichem Gefälle, mit Druck oder Vakuum arbeitend
 „ ohne oder mit Glattstreichwerk
 „ mit säurefesten Filtersteinen für angreifende Flüssigkeiten
 Kammerfilterpressen, bis 12 at verwendbar
 Druckkammerfilter (Kelly, Easifilt, Sweet-Beutelfilter (Daněk) [land]
 Kerzenfilter und Tauchfilter
 Vakuumfilter (Butters)
 Klärfilter (meist für Wasseraufbereitung)
 Sandfilter (mit oder ohne Rückspülung)
 Grubenfilter (u. U. mit Klärbecken)
 Chemische Filter; Anschwemmfilter
 Lamellenfilter; Membranfilter

Stetig arbeitende Filter:
 für großen, stetig anfallenden Durchsatz
 Planfilter
 Innenfilter, für heiße Flüssigkeiten
 Siebbandfilter

Trommelfilter } bei gleichem Korn und
 Scheibenfilter } gleichzeitig. Auswaschen

Elektroosmose

Auswaschen auf Filter u. U. Wiederanschlämmen (Anreichern des Waschwassers) oder durch Verdrängung.

Im Gegenstrom: Festes ist wertvoll — viel Waschflüssigkeit, Flüssiges ist wertvoll — wenig Waschflüssigkeit.

Zum Trennen kommen ferner in Betracht: Spindel- oder hydraulische Pressen (s. d.) in den verschiedensten Betriebsanordnungen, absatzweise oder bis selbsttätig arbeitend; Klärzentrifugen oder Schneckenpressen, selbsttätig arbeitende Zentrifugen (s. d.).

II. Einteilung der Filter nach Bauart und Arbeitsweise.

Absatzweise arbeitende Filter.

Filterflächen vorwiegend waagrecht.

Beutelfilter (s. d.).

Nutschen, offen für freien Ablauf oder Vakuum, auch geschlossen für Überdruck oder flüchtige Substanzen; Nutschen mit Filtersteinen.

Sandfilter, offen oder geschlossen.

Grubenfilter (Reisert, Halvor-Breda).

Chemische Filter mit basenaustauschenden Zeolithen (Permutit) oder chemischen Fällungsmitteln, Knochenkohlenfilter (Masch.-Fabr. Buckau), Aktivkohlenfilter (Lurgi).

Filterflächen vorwiegend senkrecht.

Filter mit Filterelementen in Blattform

für Vakuum oder geringen Druck, offen oder geschlossen: Vakuumfilter (Butters), Anschwemmfilter (s. d.; Seitz, Scheibler), mit Filterbeuteln (Daněk, Scheibler, Masch.-Fabr. Buckau);

für hohen Druck oder Vakuum (geschlossene Druckkammer): Filter von Sweetland, Kelly, Easifilt.

Filter mit Filterkerzen (Berkefeld, Sauerbrey-Jung, Schlick, Schuler, Hansa-Filterwerke, Masch.-Fabr. Buckau, Dorr & Co., Schumacher, Wolf, Filterwerk Meißen), als Tauchfilter (Schumacher, Schuler).

Filter mit Siebeinsätzen.

Filter aus Lamellen oder Streifen (Metafilter, Stromlinienfilter, Plauson).

Membranfilter (Ultrafilter, Bechhold, Membranfilter G. m. b. H.).

Filterpressen.

Kammerfilterpressen	} Auslauf offen oder geschlossen	} mit Auslaugung ohne Auslaugung	} einfache Auslaugung vollkommene Auslaugung
Rahmenfilterpressen			

Stetig arbeitende Filter.

	Weg des Filtrats vorwiegend	Lage des Speisetropfes	
Siebbandfilter . . .	von unten nach oben	unten	} Bamag, Geiger Dorr, Gröppel Humboldt, Linke-Hofmann Masch.-Fabr. Buckau, Masch.-Fabr. Imperial Elektro-Osmose- G. m. b. H.
Trommelfilter . . .	von unten nach oben	unten	
Scheibenfilter . . .	seitlich eintretend von unten nach oben	unten	
Ringzellenfilter . .	waagrecht (von oben nach unten)	seitlich	
Saugzellenfilter . .	waagrecht	seitlich	
Innenfilter	von oben nach unten	seitlich	
Planzellenfilter (rotierende Nutschen)	von oben nach unten	oben	
Rotierende Elektro- osmosefilter	von unten nach oben	unten	

III. Bau- und Filterstoffe.

a) Baustoffe. An erster Stelle steht Eisen, dann folgen Kupfer, Nickel, Edelstähle, Aluminium, Silumin, Ferrosilicium, Bronzen oder Überzüge aus Blei, Zinn oder Hartgummi, Celluloid, ferner Zement, Steinzeug, Porzellan, Emaille, Glas und Quarzglas. Kunstprodukte, wie Bakelite, Haveg oder gehärtete Bakeliteüberzüge leisten bei Säuren oft gute Dienste. Die Materialien werden entsprechend ihrer Beanspruchung gewählt, s. auch die Baustoffe unter

den entsprechenden Stichworten. Es ist zweckmäßig, die Baustoffe auf ihre chemische Widerstandsfähigkeit mit Hilfe von Probeplättchen längere Zeit zu untersuchen. Man verlasse sich in Zweifelsfällen nicht auf seine Materialkenntnisse.

b) Die Filterstoffe können nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt werden: entweder nach der Herstellungsart in solche mit lose geschütteter, gewebter, keramisch gebundener, verfilzter, angeschwemmter Filterschicht oder nach der Größe der Zwischenräume in weitmaschige, engmaschige, engporige, Membran- und Ultrafilter. Bedingung ist für alle Materialien, daß sie weder vom Filtrat noch vom Rückstand angegriffen werden und sich vom Filtrat benetzen lassen, da, falls dies nicht möglich ist, die Oberflächenspannung der Flüssigkeit einen großen Widerstand verursacht. Die verschiedenen Filterstoffe werden außer nach der Maschenweite nach dem Ursprung in organische (pflanzliche oder tierische) und anorganische eingeteilt.

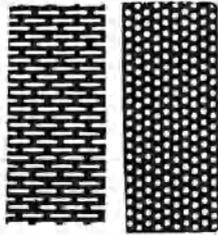


Abb. 572.
Langlochfilter (links)
und Rundlochfilter
(rechts).

Pflanzliche Filterstoffe sind: Baumwolle, Papier, Jute, Leinen, Hanf, Zellstoff, Holzwolle, Bast, Kunstseide, Nitrotücher auf Baumwoll- oder Kunstseidenbasis, Weich- oder Hartgummi, Kork, Adsorptionskohle, Bakelite (Schumachersche Fabrik G. m. b. H., Bietigheim, Wttbg.).

Tierischen Ursprungs sind: Wolle, Kamel-, Ziegen- und Roßhaare, Kuh-, Kälberhaare, Seide, Nitrotücher auf Seidenbasis, Adsorptionskohle.

Anorganische Filterstoffe sind: Gewebe aus Metallen und deren Legierungen, Asbest und Glaswolle (gesponnen oder gewebt), Hochofenschlacke, keramisch gebundenes Material, Schamotte, Kies, Sand, Koks, Glas gefrittet (Schott & Gen., Jena) und Porzellan (Staatl. Porzellanmanufaktur Berlin u. a.).



Abb. 573. Spaltsiebfilter
(L. Herrmann, Dresden).

Unter Filterfläche versteht man die freie Durchgangsfläche derjenigen Teile der Apparatur, die für die Anlagerung der Feststoffe vorgesehen sind. Die Porengröße derselben muß, falls klare Filtrate verlangt werden, in der Regel kleiner sein als die zurückzuhaltenden Teile (Abb. 569). Mit Verkleinerung der Poren sinkt die Leistung des Filters

erheblich, wofern nicht der Arbeitsdruck gesteigert wird. Ein Bild davon geben z. B. nachstehende Leistungszahlen von Brandfilterplatten.

Nr. 5: Porengröße 0,0077 mm, Filtrat 5 m³/std, Filtrationsdruck: 1 at;

Nr. 120: Porengröße 0,31 mm, Filtrat 370 m³/std; Filtrationsdruck: 0,2 at.

Weitmaschige Filter (freier Durchgang der einzelnen Öffnung größer als 1 mm²). Die Öffnungen werden beliebig geformt: als Rund-, Lang- oder Schlitzlöcher (Abb. 572), meist nach unten konisch erweitert, um Verstopfungen zu vermeiden. Die Größe der Öffnungen ist durch die festen Teile bedingt; oftmals ist es nicht erforderlich, die allerfeinsten Teile zurückzuhalten. Die Öffnungen wählt man so dicht nebeneinander, wie es die Festigkeit des verwendeten Werkstoffs zuläßt. Für weitmaschige Filter verwendet man entweder die verschiedensten Metalle, plattierte, galvanisch mit anderen Metallen, auch

mit Kunststoffen oder Gummi überzogene gelochte Bleche, schwere Gewebe aus Kamel-, Roß-, Ziegen- und Menschenhaaren (Salzmann & Co., Kassel; Masch.-Fabr. Imperial, Meißen, Abb. 575), Spaltsiebe (Abb. 573), Holzroste oder gelochte Filtersteine aus keramischem Material (Abb. 574).

Engmaschige Filter (freier Durchgang der einzelnen Öffnung kleiner als 1 mm^2). An erster Stelle stehen gewebte Stoffe (Textilien) aus Baumwolle, Wolle, Jute, Hanf, Leinen, Natur- und Kunstseide; Asbest wird für sich oder mit anderen Stoffen gemischt verwebt. Andere Filterstoffe aus Textilien sind Nitrotücher aus Baumwolle (I. G. Farbenindustrie A.-G., Frankfurt a. M.) und Nitrotücher aus Seide (H. Gradl, München). Die zur Verwendung gelangenden Filterstoffe müssen der chemischen Zusammen-

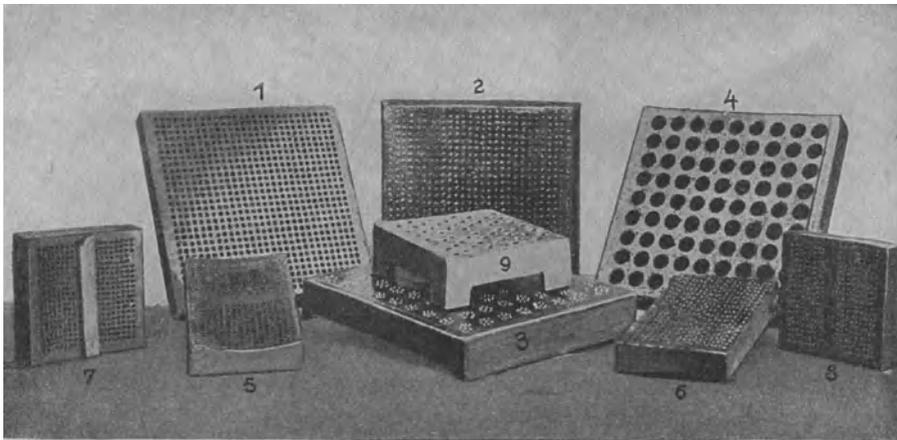


Abb. 574. Verschiedene Filterformen aus keramischem Material (W. Schuler, Grünstadt).

setzung und der physikalischen Eigenschaft der zu filtrierenden Masse angepaßt sein, und zwar sind besonders zu beachten: chemischer Zustand (alkalisch oder sauer), Temperatur, Filtrierdauer, ob langsam oder rasch (Durchjagen), Druck, Oberflächenspannung und Netzfähigkeit der zu filtrierenden Masse, Adsorptionswiderstand (wie Seifenlösungen), Unterstützung des Filtrationsvorganges durch Anlagerung von Festem aus der Pülpe oder von Filterhilfsstoffen auf dem Filtertuch, Anwendung verschiedener Tuchqualitäten (dicht und lose gewebt) bei mehrmaligem Filtrationsgang.

Einige beachtenswerte Hinweise für Textilien: Die Temperatur soll bei chemisch beanspruchten Tüchern möglichst niedrig gewählt werden. Baumwolle wird am meisten verwendet, sie hält noch 8proz. Schwefelsäure oder 5proz. freies Alkali aus. Wolle ist für kalte Säuren bis 15–20proz. Salz- oder Schwefelsäure, Kamelhaar für 30proz. Schwefelsäure und 10proz. Salzsäure geeignet. Am billigsten sind Jutetücher, die viel zur Filtration geringwertiger Niederschläge verwendet werden und auch schwache Alkalibehandlung aushalten. Asbest widersteht konzentrierten Säuren und Alkalien, hat jedoch geringe mechanische Festigkeit. Man bestimmt durch Versuche die Webart, und zwar ob eine glatte oder geköperte, fein- oder weitmaschige Ober-

fläche mit dünnem oder starkem Faden die richtige ist. Filtertücher aus Kunstseide oder Stapelfaser (Gradl, München) werden durch Einwirkung von 1- bis 15proz. Salzsäure, Salpeter- und Schwefelsäure nicht wesentlich beeinflusst. Gegen Ammoniak und Natriumbisulfat ist Kunstseide beständig. Natronlauge, 5—10%, läßt die Fasern quellen, hierfür kann besonders präparierte Baumwolle (Gradl, München) mit 4—5facher Haltbarkeit verwendet werden. Nitrofilter (Stickstoffgehalt 12,5% N) sind beständig gegen die stärksten Säuren, wie 45proz. Phosphorsäure bei 90°, Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure, Milchsäure und andere organische Säuren, ferner gegen saure Eisensulfat-, saure Zinkchlorid- und Hypochloritlösungen u. a. Neben Filtern aus Textilien, Kunstseide, Stapelfasern usw. ist die Verwendung von Filter-



Abb. 575. Dickes Filtertuch, 40 fach vergr. (Masch.-Fabr. Imperial).

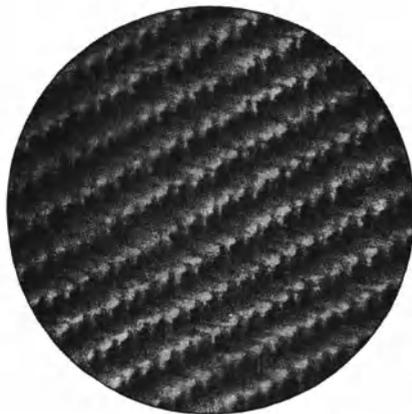


Abb. 576. Dünnes Filtertuch, 40 fach vergr. (Masch.-Fabr. Imperial).

papieren zwecks Einschränkung des ausländischen Rohstoffbedarfs beachtenswert. Zu den engmaschigen Filtern gehören auch die Metallgewebe, die als Körper-, Treffzen- oder Tressengewebe und als Tuche bis zu den feinsten Gewebearten (Masch.-Fabr. Imperial, Meißen, Abb. 575, 576) ausgeführt werden, und kombinierte Metalltuchfilter (Vitex, Herrmann, Dresden). Gummifiltertücher aus porösem Weich- oder Hartgummi werden für starke Säuren und Laugen bevorzugt (erstere von Dartex A.-G., Frankfurt a. M., letztere von Clouth, Köln).

Engporige Filter. Hierzu gehören Filter in Form lose geschichteter Körnungen, welche auf ein engmaschiges Sieb mit einer Unterlage mit großer Maschenweite aufgebaut sind, poröse Filtersteine mit keramischer Bindung (7—50 μ mittlerer Porendurchmesser von Schuler, Hansa, Berkefeld-Filter-Ges., Filterwerk Meißen) oder solche mit Kunststoffen gebunden (Brandol, Schumachersche Fabrik G. m. b. H., Bietigheim, Wttbg.), ferner gefrittete Glasfilter in 7 Sorten von 500—1,5 μ mittlerem Porendurchmesser (Schott & Gen., Jena) und besonders feinporige Porzellanfilter (Staatl. Porzellan-Manufaktur Berlin). Außerdem gibt es keramisch gebundene Platten mit grober Unterlage und feinporiger Oberschicht (Schuler u. a.). Filtersteine aus Quarz oder Schamotte werden zur Filtration von sauren Flüssigkeiten und solche aus Kohle

als Grundstoff für heiße und kalte Laugen verwendet. Zur Herstellung der an erster Stelle erwähnten lose geschichteten Filter dienen außer Quarz, Schamotte, Kies, Sand, Koks, Adsorptionskohle, Sägemehl Stoffe in Faserform, wie Asbest, Bast, Leinen, Wolle, Baumwolle, Filterpapierschnitzel, Nitrocellulose, Glas-, Schlacken- und Holzwolle.

Zur Trennung von schwer filtrierbaren und auch zur Trennung von ultramikroskopisch feinen Stoffen werden Membranfilter (Chem. Fabrik E. de Haën) aus Nitrocellulose mit garantierter Porengröße gefertigt (Abb. 577).

Der Relativwert der Porengröße wird aus der Filtrationsgeschwindigkeit von 100 cm³ reinem, destilliertem Wasser bei einem Druck von 70 cm Quecksilbersäule bestimmt. Die Filtrationszeit, d. h. die Anzahl Sekunden, welche 100 cm³ zum Durchgang einer Fläche von 100 cm² benötigen, dient als Einteilung für die verschiedenen Membranfilterarten. (Über die Bestimmung des Durchmessers der größten Filterporen und der mittleren Porengröße nach den Methoden von *Einstein* und *Bechhold* S. 496 und Chem. Fabrik 1928, S. 645.)

Sekundenzahlen von Membranfilterarten: grobporig 1–5, mittelporig 10–30, feinporig 35–100, Membran-Ultrafilter 300–800. Die vollkommen glatte Oberfläche der Membranfilter gestattet ein sauberes Arbeiten und leichtes Abheben des Niederschlages, von dem nichts in das Filter eindringt.

Zur Trennung der Kolloide aus ihren Lösungen setzt man diese auf besonders präparierten Filtern (Ultrafiltern) unter Überdruck; die Kolloide bleiben dann auf dem Filter zurück. Durch Verwendung und Auswahl von Gallerten von verschiedener Konzentration für die Herstellung des Ultrafilters lassen sich Kolloide von verschiedener Teilchengröße trennen (fraktionierte Ultrafiltration), und zwar bis zu einem Durchmesser von 1–2 μ .

Die Elektroultrafiltration nach *Bechhold* besteht in einer Verbindung von Ultrafiltration und Elektrodialyse. Bei der Durchführung der Filtration werden die Ultrafilter auf der Filterseite mit einem porösen Metallüberzug (Silber, Nickel, Platin) versehen; an diesen Überzug wird die Kathode angelegt und in die zu filtrierende Lösung, die sich z. B. in einer Nutsche befindet, die Anode eingetaucht. Unter einer Gleichstromspannung von etwa 100 V saugt man mit Vakuum ab. Die Elektroosmose fördert so die Ultrafiltration, gleichzeitig wird die Entfernung der Elektrolyten aus den Solen beschleunigt.

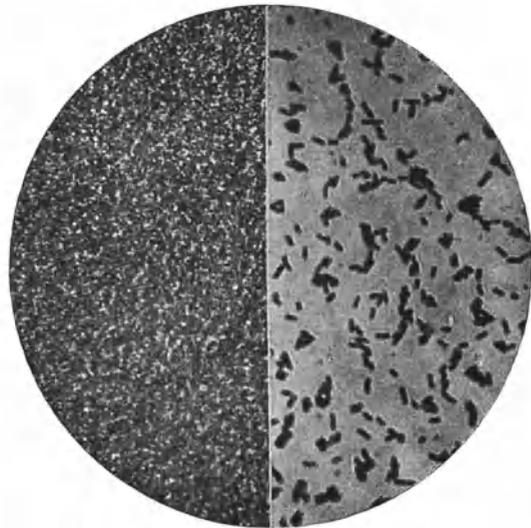


Abb. 577. Membranfilter (links) mit Typhusbacillen (rechts) (de Haën).



Abb. 578. Filtertuch, stark vergrößert
(Fritz Scheibler, Elberfeld).

chen besteht (Abb. 579), porös und leicht ist und die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Filtrats nicht beeinflusst.

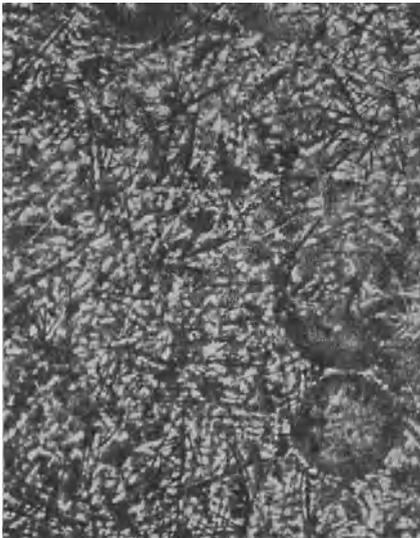


Abb. 579. Feinfilter aus Asbest oder
Kieselgur (Fritz Scheibler, Elberfeld).

c) Filterhilfsmittel (Anschwemmmaterialien). Filtrationen, die nur zum Klären einer mit feinsten, gallertartigen Verunreinigungen suspendierten Flüssigkeit dienen, stoßen oft unter Zuhilfenahme gewöhnlicher Tuch-, Sand- oder Preßfilter auf unüberwindliche Schwierigkeiten, da die kolloiden oder schleimigen Teilchen ganz oder teilweise durch die verhältnismäßig großen Öffnungen des Filterstoffes austreten (Abb. 578), wobei der anhaftende Rest die Poren der Filter verschmiert und in kurzer Zeit der Flüssigkeit den Durchgang versperrt, so daß von einem Filterkuchen nicht die Rede sein kann. In solchen Fällen und vor allen Dingen dann, wenn auf die weitere Verwendung des Rückstandes verzichtet werden kann, empfiehlt sich die Anwendung eines Filterhilfsmittels, das aus ganz feinen Teil-

Als Grundlage benötigen alle Filterhilfsmittel einen zurückhaltenden Filterkörper, an dem sie leicht haften können. Vor dem eigentlichen Filtrieren wird am besten ein reiner Filterhilfsmittelbelag angeschwemmt, d. h. ein in reiner Flüssigkeit gut aufgerührtes Filterhilfsmittel wird solange durch das gereinigte Filter gepumpt, bis sich eine feste, aber poröse Hilfsmittelschicht auf dem Filtertuch abgesetzt hat, dann wird die in der Zwischenzeit mit Filterhilfsmitteln gut angerührte Trübe in den Filtrationsgang eingeschaltet, und zwar so, daß, um ein Abrutschen der Schicht zu vermeiden, keine Arbeitspause beim Durchfließen im Filter entsteht. Die mit Filterhilfsmitteln umgebenen feinen Trübeileichen werden schon durch die Adsorptionswirkung an das Hilfsmittel angeheftet und setzen sich als poröser Kuchen auf das Filter (Abb. 580), so daß sie nach der Filtra-

tion ohne abzufallen gut ausgewaschen werden können. Den Filtrationsvorgang mit einer typischen Flüssigkeit zeigt Abb. 581 unter Verwendung von Filterhilfsmitteln (Supercel, Filtercel) und ohne Filterhilfsmittel. Die Menge der beigemischten Filterhilfsmittel ist in allen Fällen die gleiche.

Filtrationshilfsstoffe bestehen aus Stoffen, die angeschwemmt ein Filter mit großer Oberfläche bilden, das adsorptiv die kolloiden Teilchen aus der Trübe festhält und an weiterem Vordringen hindert. Falls die Hilfsstoffe der Trübe vor dem Filtern zugesetzt werden, erhöhen sie die Porosität des Filterkuchens und lassen die Filtration von Schlämmen (z. B. von Eiweißstoffen) zu, die sonst kaum zu filtern wären. Bei sehr feinen Niederschlägen erreicht man klare Filtrate, wenn das Filter durch die zu filtrierenden Suspensionen auf die entsprechende Porenfeinheit eingestellt wird. Man gibt den trüben Vorlauf zu diesem

Zweck wieder zurück oder bringt durch Absitzenlassen einen Niederschlag auf das Filter. Als solche Filtrations- oder Auflockerungsmittel mit adsorbierender Wirkung werden verwendet: Asbest, Kieselgur, Reinigungserde, aktive Kohle, Cellulose, auch Gerüste organischen Ursprungs, frisch gefällte Hydroxyde von Aluminium, Eisen, Calcium usw. Ferner können besondere Präparate in Form von sehr fein aufgespaltenen Asbestfasern gemischt mit Cellulose (Seitzwerke, Kreuznach) und präparierter Kieselgur (Celite, F. Scheibler, Elberfeld) in Anwendung gebracht werden, letztere je nach Art der Klärungsfiltration in verschiedenen Sorten: Hyflo- und Standard-Supercel und Filtercel. Filter, deren Filterschicht im Betriebe selbst durch Anschwemmen von Filterhilfsstoffen auf Drahtgewebe hergestellt werden, s. Anschwemmfilter.

Die Aufbereitung von solchen Filtrationsfilzen erfolgt nach den Anweisungen der Hersteller durch Auftragen auf Drahtgewebe oder in besonderen Pressen. Neuerdings kommen auch fertig gepreßte Filter in den Handel (Theorit, Seitzwerke). Solche Filter werden in der Gärungs- und Zuckerindustrie vielfach verwendet und dort zur Verhütung von Infektion vor dem Gebrauch sterilisiert. Der Eisengehalt des Filtermittels ist, falls er stört, durch Säurebehandlung zu entfernen.

In solchen Fällen, wo der Zusatz von Filterhilfsstoffen und die Variation der gewählten Filter (Porengröße, Filterstoff) sowie die Anordnung der Filter

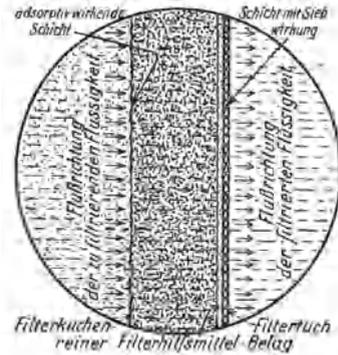


Abb. 580. Filtration mittels Filterhilfsmitteln (Scheibler).

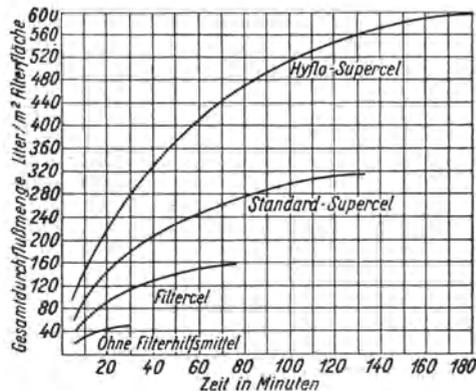


Abb. 581. Einfluß verschiedener Filterhilfsmittel auf den Filtrationsvorgang (Scheibler).

und Änderung der physikalischen Verhältnisse (Temperatur, Konzentration) noch keine befriedigenden Filtrate liefern, ist man gezwungen, die Entstehung bzw. den Zustand der Niederschläge (Kolloide, Krystalle) chemisch, physikalisch-chemisch oder kolloid-chemisch zu beeinflussen. (*O. Bartsch*, Kolloidchem. Beihefte 1925, H. 20, S. 50.)

IV. Filtrationsbedingungen.

Die Ermittlung der günstigsten Filtrationsbedingungen erfolgt durch Versuche, am sichersten durch solche von längerer Dauer; orientierende Filtrationsversuche werden unter Umständen in den Versuchsanstalten der Apparatebaufirmen zwecks Offertabgabe ausgeführt, mitunter werden auch Versuchsapparate zur Verfügung gestellt. Bei den Versuchen sind alle Einzelheiten weitgehend zu ermitteln, insbesondere die Filtrationsgeschwindigkeit bei den günstigsten Temperatur-, Druck- und Konzentrationsverhältnissen (s. *W. Wense*, Z. angew. Chem. 1923, S. 310). Die Filtrierarbeit wird durch Einhalten bestimmter Konzentrationen, Krystallisations-, Abkühl- und Erhitzungszeiten wesentlich beeinflusst. Bei stark verschiedener Teilchengröße erreicht man durch vorhergehende Sondernung des Niederschlags in verschiedene Korngrößen beschleunigte Filtrierarbeit, indem man die einzelnen Fraktionen für sich aufarbeitet. Oftmals ist es möglich, durch Absitzenlassen und Abtrennen des klaren Anteils durch ein nachgeschaltetes Filter oder in besonderen Behältern die Arbeit zu erleichtern. Die Scheidung kann in diesen Fällen u. U. durch Schlämm-, Klassier-, Dekantier- oder Verdrängungsapparate (s. d.) unterteilt werden. Falls ein Niederschlag auf dem Filter nicht genügend sauber ausgewaschen werden kann, bringt man ihn in ein Rührwerk und wäscht ihn unter Anreicherung der Waschwässer, das letzte Wasser womöglich zu neuen Ansätzen verwendend. Die Wässer selbst werden in der üblichen Weise durch Filtern oder Pressen entfernt. Heiß gesättigte Lösungen sollen nicht unter Vakuum filtriert werden, da ein Nachverdampfen eintritt; die Folge davon wäre ein Ausfallen von Krystallen und Störungen im Filter. Das Verdrängen birgt die Gefahr einer nicht gleichmäßigen Durchdringung durch Auftreten von Konzentrationsdifferenzen, z. B. bei fetthaltigem Material oder auch bei Vorhandensein von Flüssigkeiten von verschiedener Netzfähigkeit (u. U. Ausgleich durch Netzmittel, wie Nekal u. dgl.).

a) Schichtdicke (Kuchenstärke). Es ist anzustreben, diese so dick wie möglich werden zu lassen, um an Arbeits- und Apparatkosten zu sparen; ferner ist darauf zu achten, daß die Kuchen gleichmäßig trocken gepreßt anfallen, keinesfalls dürfen im Innern unausgepreßte Stellen sein. Beim Abnutschen bilden sich, besonders bei Niederschlägen mit wenig Flüssigem, das Vakuum oder den Überdruck störende Risse; diese müssen von Hand aus oder durch Rührer beseitigt werden. Letztere können auch dazu benutzt werden, die Bildung ungleich durchlässiger Niederschläge zu verhindern und nach vollendeter Filtration das Filtergut auszutragen. Die Stärke, bis zu der man den Kuchen sich bilden läßt, hängt hauptsächlich von der rationellen Arbeitsweise des Filters ab, deren Beurteilung an Hand von Versuchen möglich ist. Zu Beginn eines Arbeitsganges mit neuem oder gereinigtem Filtermaterial und bei gleichbleibendem Druck läuft das Filtrat gleichmäßig durch, während beim Zunehmen des Filterbelages die Durchflußmenge abnimmt. Es wird nun ein Zeitpunkt eintreten, bei dem die Leistung der Filter so gering wird, daß es rationeller ist, die Filtration zu unterbrechen, den Kuchen zu waschen

und zu entfernen und nach Reinigung des Filterstoffs von neuem zu beginnen (s. Geschwindigkeit der Kuchenbildung, S. 497). Bei kristallinischem Filterkuchen tritt die Verminderung der Filterleistung meist bei einer Kuchenstärke von 50 mm und mehr auf, während bei kolloidem Kuchen schon eine geringe Stärke (von 5—12 mm) ausreicht, um die Filterleistung beträchtlich herabzusetzen.

Bei den stetig arbeitenden Filtern sind diese Ausführungen einzuschränken. Die Leistung wird um so höher, je öfter man den Filtrationsvorgang unterbricht, den gebildeten Kuchen entfernt und die Filterfläche zur neuen Filtration bereitstellt. Diese Forderung, Filtration in dünnen Schichten und Abnahme der dünnen Kuchen, steigert die Leistung und die Wirtschaftlichkeit der stetig arbeitenden Filter (Saugzellenfilter) mit Schaber- oder Schnurabnahme (Abb. 582). Die Kuchenbildung ist von ausschlaggebender Bedeutung für die Dauer der Filtration und für das Auswaschen des Filterrückstandes. Ist der Widerstand durch ungleichmäßige Kuchenbildung auf der Gesamtläche verschieden, so wird die Waschflüssigkeit stets den Weg des geringsten Widerstandes suchen. Ohne Unterschied, ob das Filtrat oder der Rückstand des Filters verwendet werden soll, ist ein Auswaschen des Kuchens in den meisten Fällen auch schon deshalb erforderlich, weil je nach seiner Beschaffenheit das 0,3—10fache seines Gesamtgewichtes an Flüssigkeit zurückgehalten wird. Die Kuchenbildung muß eine regelmäßige sein, da nicht zuviel Zeit und Waschflüssigkeit dafür aufgewandt werden soll.

b) Filtrationsdruck. Soll eine Filtration stattfinden, so muß die Flüssigkeit mit Druckgefälle durch das Filter laufen. Dieser Druck kann unter Ausnutzung des natürlichen Gefälles von höherliegenden offenen oder geschlossenen Zulaufbehältern in tieferliegende Sammelbehälter oder künstlich durch Hilfsmaschinen erzeugt werden. Wenn beide Behälter mit der Luft in Berührung sind, so spricht man von offenen Filtern, wenn sie von der Luft abgeschlossen sind, von geschlossenen Filtern. Der künstliche Druck wird durch Hilfsmaschinen (Kolben-, Membran- oder am besten Zentrifugalpumpen) erzeugt; auch sind Druckfässer mit Druckluft oder Dampf hierfür geeignet (gegebenenfalls mit Rührwerk zur Verhinderung von Ablagerungen). Nach oben sind dem Drucke bestimmte Grenzen gesetzt. Im günstigsten Falle kann er 20—30 at erreichen. Bei Vakuumfiltern dienen zur Erzeugung des Druckgefälles Trocken- oder Naßluftpumpen. Vakuum erzeugt ungefähr einen Druckunterschied von 800—900 g/cm². Zu hohes Vakuum verursacht mehr Kosten, als durch eine etwaige Mehrleistung des Filters eingespart werden können.

Der Filtrationsdruck ist von großem Einfluß auf den günstigen Verlauf einer Filtration. Er soll gleichmäßig sein; schnelle Schwankungen, wie sie z. B. bei einfach wirkenden Kolbenpumpen ohne Windkessel auftreten, sind zu vermeiden.

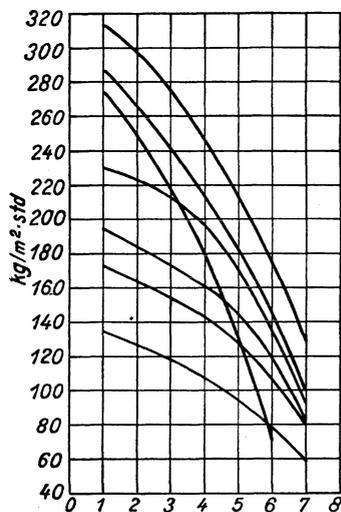


Abb. 582. Leistungsabnahme bei wachsender Kuchenstärke. Abszisse: Kuchenstärke in mm; Ordinate: Leistung in kg/m² · std. (Maschinenfabrik Imperial, Meißen.)

Die Steigerung des Filtrationsdruckes soll langsam und stetig erfolgen. Ein zu hoher Filterdruck (über 5—12 at) erzeugt bei feinen (kolloiden) Niederschlägen eine sehr dichte Filterschicht, welche den Flüssigkeitsdurchgang bremst; außerdem wird durch die mit Gewalt vorgetriebenen feinen Teilchen das Filter bald unwirksam. Die Energiekosten für die Druckerzeugung, der Verbrauch an Filtertüchern und der Verschleiß an Dichtungsmaterial sind bei niedrigem Arbeitsdruck selbstverständlich geringer. Auch der Zusammensetzung der zulaufenden Trübe ist Beachtung zu schenken; es muß vermieden werden, daß sich der Filterkuchen, wenn ausgewaschen werden muß, aus Schichten von verschiedener Porosität bildet und folglich eine ungleichmäßige Durchlässigkeit besitzt. Bei fast allen mit Unterbrechung arbeitenden Filtern, deren Filterflächen senkrecht stehen, sind die Kuchen unten durchlässiger als oben, ein Übelstand, der sich beim Auswaschen der Kuchen besonders nachteilig bemerkbar macht. Dies wird durch Rühren in den Aufgäbebehältern oder besser in den Filtertrögen selbst, z. B. bei stetig arbeitenden Trommelfiltern, verhindert. Bei einem bestimmten Arbeitsdruck ergibt sich eine günstigste Filtrationsgeschwindigkeit, welche für den Verlauf der Filtration wichtig ist. Je feiner der Niederschlag ist, um so langsamer muß filtriert werden und um so vorsichtiger wird man mit der Anwendung hoher Drücke sein; bei schleimigen, kolloiden Emulsionen führt nur langsames Arbeiten mit geringem Druck (meist 0,5—2 at) zum Erfolg, wofern nicht die Trennung durch Dekantation oder geeignete Zentrifugen (s. d.) vorteilhafter ist. Kolloide Niederschläge legen sich als mikroskopisch feines Netzwerk auf das Grundfilter (Gewebe), die Poren werden immer enger, schließlich sind die Durchgänge verschlossen, die Filtration hört auf. Bei Anwendung von Überdruck wird das schwammartige Netzwerk noch stärker zusammengedrückt und ist das Filter noch schneller verstopft. Bei zu großem Überdruck wird das oben erwähnte Netzwerk durch das Grundfilter gepreßt und läuft das Filter trübe, d. h. die Filtration wird durch einen Fließvorgang ersetzt.

Druckreglung. Wenn die Druckkammer oder der Füllraum, z. B. bei Filterpressen, gefüllt ist, steigt der hydraulische Druck sehr rasch an, weil das Filtrat nicht mehr genügend schnell abfließen kann; infolgedessen tritt die überschüssige Flüssigkeit unter Entlastung des Sicherheitsventils aus, was einen unnötig hohen Kraftbedarf zur Folge hat. Dieser Übelstand wird durch selbsttätige Druckbegrenzung mittels Federdruckreglers beseitigt, der bei Überschreiten eines einstellbaren Höchstdruckes die Förderleistung der Pumpe solange herabsetzt, bis der Druck wieder gesunken ist. Dieser Regelvorgang kann auch hydraulisch oder auf elektrischem Wege vor sich gehen (Askaniaregler der Askaniawerke A.-G., Berlin-Friedenau; G. S. T.-Regler der Gesellschaft für selbsttätige Temperatur-Regulierung, Berlin-Wilmersdorf; Reiserter Regler, s. S. 509, u. a.).

c) Filtrationsgesetze. Bei der Filtration mit Filtern, gleich welcher Konstruktion oder Herkunft, bleibt die Filtrationsgeschwindigkeit in keinem Falle konstant (*G. F. Hüttig* und *M. Nette*, *Z. anal. Chem.* 1925, S. 65; *Keram. Rdsch.* 1925, S. 33; *A. Simon* und *W. Neth*, *Z. anorg. allg. Chem.* 1927, S. 168; Dissertation *W. Neth*, Stuttgart 1927), vielmehr nimmt die Filtrationszeit ohne Rücksicht auf die Viskosität oder die Art des Filtergutes bei einer und derselben Flüssigkeit ständig zu, und zwar bis das Filter völlig undurchlässig ist. Dagegen wird die anfängliche Filtrations-

geschwindigkeit wieder verbessert, wenn man frisch vorfiltrierte Flüssigkeit durch das Filter gibt; folglich wird die Filtrationsverzögerung durch Verwendung vorfiltrierter Flüssigkeit verringert. Zur Regeneration von undurchlässigen Filtern ist auch, wenn es der Werkstoff, aus dem sie bestehen, erlaubt, vorfiltrierte, konzentrierte Salzsäure allgemein zu empfehlen. Eine Erklärung hierfür durch elektrokinetische Vorgänge führt zu keinem eindeutigen Ergebnis (*G. H. Bishop, F. Urban und H. L. White, J. physic. Chem.* 1931, S. 35; *F. Erbe, Kolloid-Z.* 1932, S. 32; *P. H. Prausnitz, Glas- und keramische Filter* [Leipzig 1933, Akad. Verlagsgesellsch.], s. auch „Lyosorption“ (*Wo. Ostwald und W. Haller, Kolloidch. Beih.* 1929, S. 29; *D. Talmund, Z. physik. Chem. [Abt. A]* 1930, S. 146; *H. Freundlich und W. Sachs, Z. physik. Chem. [Abt. A]* 1929, S. 145).

Die mathematischen Grundlagen des Filtrationsvorganges sind von *Underwood* in *J. A. Pickard, Filtration and Filters*, S. 87 (London 1929, Ernest Benn Ltd.) und *Euken, Mechanische Materialtrennung*, S. 194 (Leipzig 1933, Akad. Verlagsgesellsch.) behandelt.

Weitere Lit. über die mathematischen Grundlagen des Filtrationsvorganges: *Schaum, Kolloid-Z.* 1924, S. 1. — *Wollny, Forsch.-Geb. Agrikulur Phys.* 1891, S. 1. — *Freundlich, Kapillarchemie* S. 1085. — *Forchheimer, Z. VDI* 1901, S. 1736. — *Philipp, Chem. Fabr.* 1928, S. 152. — *W. L. Howe, C. J. Hudson, J. Amer. ceram. Soc.* 1927, S. 443. — *Einstein und Mühsam, Dtsch. med. Wschr.* 1923, S. 1012. — *Steiner, Kolloid-Z.* 1922, S. 204. — *Bigelow, J. Amer. chem. Soc.* 1907, S. 1675. — *Brunhès, Recherches expérimentales sur la Filtration*, 1879. — *King, Nineteenth A. R. U.S. Geol. Survey*, 1897 bis 1898, S. 59. — *Luedecke, Kulturtechniker*, 1909, S. 119. — *Sperry, Chem. metallurg. Engng.* 1916, S. 198; 1917, S. 161. — *Alliot, J. Soc. chem. Ind.* 1920, S. 261 T. — *Hinchley, Ure und Clarke, Trans. Amer. Inst. Chem. Engr.* 1925, S. 24. — *Hatschek, J. Soc. chem. Ind.* 1908, S. 538. — *Pickard, Trans. Amer. Inst. Chem. Engr.* 1926, S. 38. — *Underwood, Trans. Amer. Inst. Chem. Engr.* 1926, S. 19. — *Almy und Lewis, J. Ind. Engng. Chem.* 1912, S. 528. — *Slichter, Nineteenth A. R. U.S. Geol. Survey*, 1897/1898, II, S. 295. — *Bechhold, Z. physik. Chem.* 1908, S. 328. — *Bogue, Colloidal Behaviour* II, S. 813. — *Simon und Neth, Z. anorg. allg. Chem.* 1927, S. 168, 221. — *Walker, Lewis und McAdams, Principles of Chemical Engineering.* — *Donald und Hunnemann, Trans. Amer. Inst. Chem. Engr.* 1923, S. 97. — *Weber und Hershey, J. Ind. Engng. Chem.* 1926, S. 341. — *Waterman und van Gilse, Rec. Trav. chim. Pays-Bas* 1924, S. 757. — *Underwood, J. Soc. chem. Ind.* 1928, S. 325 T. — *Sperry, J. Ind. Engng. Chem.* 1921, S. 1163. — *Baker, J. Ind. Engng. Chem.* 1921, S. 610.

Obgleich die rein analytischen Methoden durch die Konstanten, die von Fall zu Fall wechseln, umständlich und unsicher sind, ist die Betrachtung der Ansätze dennoch lehrreich und wertvoll, denn sie geben eine Vorstellung über die Richtung, in der sich der Einfluß der Hauptumstände geltend macht, wenn auch aus den Ansätzen zur Zeit noch keine quantitativ gültigen Vorausagen gemacht werden können. Um einen Einblick in die mathematische Behandlung der Filtergesetze zu geben, sollen die grundlegenden Ansätze besprochen werden. Die allgemeine Grundgleichung besagt, daß die Filtrations-

geschwindigkeit $v = f(P)$ ist, wobei P das Filtrationsgefälle, oder $v = f\left(\frac{\Delta p}{l}\right)$,

wobei Δp die Druckabnahme auf der Wegstrecke l bedeutet. *Ehrenberger* hat eingehende Versuche darüber angestellt, in welchen Grenzen bei einer Flüssigkeit vom spezifischen Gewicht γ das *Darcysche* Gesetz der Filtrations-

geschwindigkeit durch eine Füllkörperschüttung $v = \frac{kP}{\gamma} = \frac{k}{\gamma} \frac{\Delta p}{l}$ allgemein-

gültig sei. Falls keine Ablagerungen aus der Flüssigkeit eintreten, gilt das *Darcy*-sche Gesetz in weiten Grenzen, deren Kenntnis von *P. Nemény* in seiner wasserbaulichen Strömungslehre vertieft worden ist. Voraussetzung ist, daß in jeder Pore eine *Poiseuillesche* Strömung herrscht, deren Gleichung für die Ausflußmenge V lautet: $V = \frac{p r_0^4 \pi}{8 \eta l}$; hierin bedeuten l Länge der Röhre, r_0 Radius der Röhre, η Zähigkeit der Flüssigkeit.

Über den Wert k von *Darcy* kann man bei reiner Poiseuille-Strömung folgendes aussagen: 1. daß bei Vergrößerung oder Verkleinerung des Korngefüges die Durchlässigkeit im quadratischen Verhältnis vergrößert oder verkleinert wird, 2. eine Abhängigkeit von der Zähigkeit und im Zusammenhang damit von der Temperatur des Filtergutes besteht. Höhere Temperatur und geringere Zähigkeit fördern also die Durchlässigkeit.

Eine andere Formulierung von *H. Bechhold* (Z. physik. Chem. 1908, Bd. 64, S. 328) zeigt folgender Ansatz für die Durchlässigkeit der Filter nach dem *Poiseuilleschen* Gesetz:

$$Q = K S \frac{D^2}{L},$$

wobei Q Flüssigkeitsdurchgang (cm^3/sek), K die für die betreffende Suspension spezifische Konstante, S der Filterdruck in Atm. Überdruck, D der Querschnitt der Capillare in μ^2 , L deren Länge in mm ist. Der Ansatz von *E. Manegold* (*E. Manegold*, *R. Hofmann* und *K. Solf*, Kolloid-Z. 1931, S. 23, 267) bezieht sich auf die Prüfung von Glas- und keramischen Filtern mit reinen Flüssigkeiten:

$$r = \sqrt[3]{8 D_H \eta_s \frac{3d}{W}},$$

wobei r der Porenradius in μ , D_H die hydrostatische Wasserdurchlässigkeit, d die Dicke des Filters in cm, W das Porenvolumen (bzw. der Flüssigkeitsinhalt) je cm^3 , η_s die Viscositätskonstante in $\text{cm}/\text{g} \cdot \text{sek}$ ist.

Bestimmung der Porengröße von Filtern (s. *Freundlich*, Capillarchemie 1930, 4. Aufl., Bd. 1, S. 32 [Akad. Verlagsgesellsch. Leipzig] und Kolloid-Z. 1934, Heft 1). Die capillare Steighöhe einer Flüssigkeit vom spezifischen Gewicht s (Wasser = 1) in einem Röhrenchen mit dem Radius r

$$r^2 \pi h s$$

wird der nach oben wirkenden Oberflächenspannung

$$2 r \pi \sigma$$

gleichgesetzt, wobei σ den Wert der Oberflächenspannung (Wasser/Luft) bedeutet; hieraus berechnet sich der Porendurchmesser

$$2 r = \frac{4 \sigma}{h s}.$$

Versuchsordnung zur Ermittlung der günstigsten Filtrationsbedingungen. h ist der aufzuwendende, zu messende Druck in mm WS, der nötig ist, um das in den Capillaren des Filters stehende Wasser durch Luft zu verdrängen; h in die Gleichung eingesetzt, ergibt den Porendurchmesser $D = 2r$. Das zu prüfende, völlig mit Wasser getränkte Filter wird waagrecht in einen Rahmen gespannt und mit wenig Wasser übergossen. Alsdann wird Luft von unten durch das Filter gedrückt. Beim Auftreten der ersten Luftblasen wird der zugehörige Luftdruck mittels Quecksilber- oder Wassermanometer gemessen und in die obige Gleichung eingesetzt. Der er-

rechnete Wert gibt den größten Porendurchmesser des Filters an. Wird der Luftdruck gesteigert, so beginnen die kleineren Poren zu „gasen“ und ermöglichen auf die gleiche Art ihre Auswertung. Die Methode erlaubt also, die Filter weitest gehend auf die Dimension der Poren und ihre Gleichmäßigkeit zu prüfen. Es ist zu beachten, daß bei der fabrikatorischen Herstellung der Filter die mathematisch kreisrunde Form der Poren, welche der Gleichung zugrunde liegt, nicht erfüllt ist. Es handelt sich mehr um ein Netz von Kanälen, infolgedessen sind die Versuchsergebnisse nur als annähernd zu betrachten. (Mitteilung aus dem Dartex-Laboratorium, Frankfurt a. M.)

Alle mathematischen Entwicklungen sind mit so vielen Beiwerten behaftet — ändern doch organische Niederschläge durch chemische Umwandlung (Gärung, Reifung) ihre kolloide oder krystallinische Struktur oft innerhalb weniger Stunden —, daß man die Filtergesetze am einfachsten an Filterversuchen feststellt, deren schematischen Verlauf man graphisch auswertet; aus den Kurven läßt sich dann die Gesetzmäßigkeit des untersuchten Falles leicht erkennen. Über

eine apparative Anleitung (W. Wense, Z. angew. Chem. 1923, S. 310) für graphisch-analytische Untersuchungen des Filtrationsvorganges und die Verwertung der damit vorgenommenen Bestimmungen von Niveau- und Volumenkurven sowie die Verwertung der Messungen durch graphische Differentiation zur Gewinnung von Geschwindigkeitskurven, ferner Einfluß der Filterschichtdicke auf den Filtrationsvorgang, des Druckes auf die Filtrierzeit, des zu- und abnehmenden Druckes auf die Filtriergeschwindigkeit, Einfluß der Konzentration des Dispersums und der inneren Reibung auf die Filtrierzeit, Filtration unter Rückspülung s. K. Schaum, A. Möller, Th. Marx, Kolloid-Z. 1924, S. 1. In derselben Abhandlung ist die Beseitigung von Filtrierhemmungen und die Beschleunigung der Filtration durch nachfolgende Maßnahmen graphisch-analytisch behandelt: 1. Rühren, 2. Filtrieren nach erfolgter Sedimentation, 3. Filtration mit Eintauchfilter, 4. Abtragen des Kuchens während der Filtration durch Schabvorrichtungen, 5. Rückspülung.

Im folgenden seien noch einige graphische Darstellungen über Geschwindigkeit der Kuchenbildung als Funktion der Zeit und über Auswaschen der Filterkuchen wiedergegeben. Die Kurven sind an Cyanidfiltern von Charles Butters & Co. Ltd., London, festgestellt worden (Abb. 583). Man sieht an dem parabolischen Verlauf der Kurve die große Anfangsgeschwindigkeit der Kuchenbildung gegenüber der Endgeschwindigkeit. Je schneller der Kuchen zunimmt, um so mehr nimmt die Durchflußmenge ab; trotz gleichbleibendem Druck verstärkt sich der Kuchen nur mit einem geringen Prozentsatz der Anfangsgeschwindigkeit.

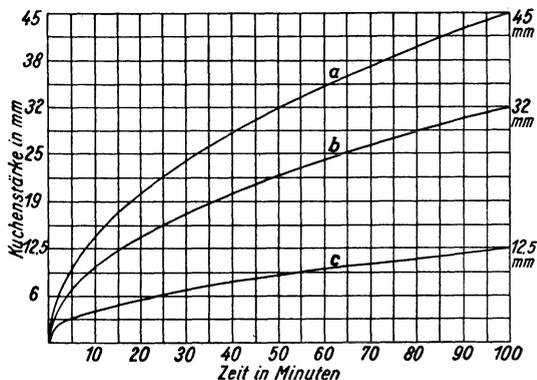


Abb. 583. Kuchenbildung (Durchfluß) in Abhängigkeit von der Zeit bei konstantem Druck (Butters).

Kurve *a*: Bei einer Gesamtkuchenstärke von 45 mm in 100 Minuten ist der Belag auf das gereinigte Filter in den ersten 10 Minuten 13 mm stark und verstärkt sich in den letzten 10 Minuten, nach stetiger Verzögerung der Absetzgeschwindigkeit, von 42 auf 45 mm (Zunahme nur 3 mm). Kurve *c*: Bei 12,5 mm Gesamtstärke in 100 Minuten ist die Zunahme $\delta = 10$ mm von 0 bis 50 Minuten, der Rest von 2,5 mm von 50—100 Minuten. Die vorliegenden Beispiele, die selbstverständlich nicht allgemeine Gültigkeit haben, zeigen, daß es zweckmäßiger ist, den Arbeitsverlauf bei geringerer Kuchenstärke abzubrechen.

Ferner ist zu erwähnen, daß das spezifische Gewicht des Filterkuchens vom Preßdruck abhängig ist; so war dasselbe z. B. im Verlauf einer Erzschlammfiltration bei einem Vakuumfilter = 0,60—1,0, bei einer Filterpresse (3—4 at Arbeitsdruck) = 1,15—1,85, d. h. Filterpressen liefern mit kolloidem Schlamm meist dichte, Vakuumfilter poröse und leicht auswaschbare Kuchen.

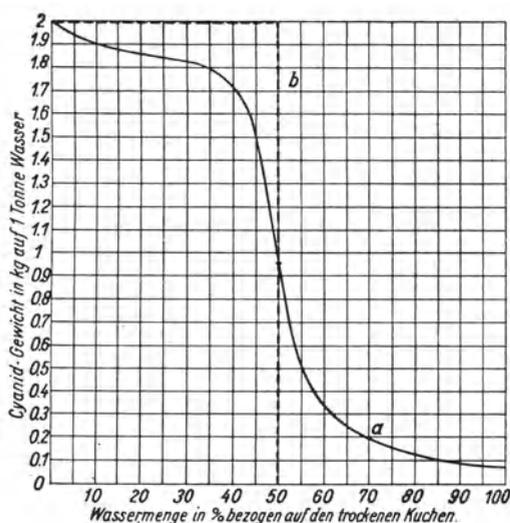


Abb. 584. Auswaschkurven von Filtern (Butters).

Abb. 584 zeigt als Beispiel zwei Auswaschkurven; die Kurve *a* zeigt für ein Butterfilter den Abfall der Konzentration (spezifisches Gewicht) als Funktion der Waschwassermenge, die Kurve *b* dagegen den bestmöglichen Verlauf einer Auswaschung. Bei der Kurve *b* ist angenommen, daß die Vorschubgeschwindigkeit des Waschwassers konstant und die Stärke und Porosität des Kuchens gleichmäßig ist, was zur Folge hat, daß die Konzentration plötzlich von der Anfangskonzentration 2 auf 0 abfällt; an einem Beispiel soll der Verlauf der Kurve *b* weiter erläutert werden. Beim Auswaschen eines Filterkuchens mit 50 Proz. Feuchtigkeitsvolumen, einer Fläche von 1 m² und einer Stärke von 50 mm sei die Vorschubgeschwindigkeit des Waschwassers 1 mm/min. Nach 50 Minuten verdrängt das Waschwasser den letzten Teil der im Kuchen enthaltenen Flüssigkeit, was den Endpunkt des Waschens bedeutet. Folglich ist der Wasserverbrauch theoretisch gleich dem ursprünglichen Flüssigkeitsgehalt in dem Kuchen, also 25 l. Praktisch steigert sich derselbe durch unerwünschte, den geordneten Verlauf hemmende Diffusionserscheinungen während der Auswaschung und verläuft in Wirklichkeit nach Kurve *a*, weil der Kuchen durch Schichtenbildung nicht an allen Stellen gleich porös ist und deshalb an diesen Stellen Abweichungen von der normalen Durchflußgeschwindigkeit zeigt. Diese Mängel der Schichtenbildung durch Entmischung treten z. B. bei Filterpreßkuchen verstärkt hervor, weshalb die Auswaschkurven bei diesen noch bedeutend ungünstiger verlaufen, d. h. die Waschwassermenge wird noch wesentlich höher als bei Kurve *a*. Diese Betrachtungen

zeigen auch, daß bei stetig arbeitenden Filtern, bei denen der Niederschlag mit Brausen ausgewaschen wird, das Waschen nur unvollkommen und mit einem großen Überschuß von Waschwasser vollziehbar ist. Es bedarf wohl keines besonderen Hinweises, daß die Feuchtigkeit aus den Preßkuchen soweit als möglich zu entfernen ist, gegebenenfalls durch Nachpressen auf hydraulischen Pressen. Die Trocknung der Preßkuchen durch Auspressen ist billiger als die thermische Trocknung.

Lit. über die Kuchenbildung: *F. Müller*, Papierfabrik und deren Maschinen, II, S. 96 (Biberach a. d. Riss 1928, Güntter-Staib). — *v. Lassberg*, Wärmewirtschaft in der Zellstoff- u. Papier-Industrie, 2. Auflage, S. 85 (Berlin 1926, Springer).

Die Leistungskontrolle der Filter wird vorgenommen durch Berechnung der Trockensubstanz, Kontrolle der Chargen und des Druckes an Hand von selbstschreibenden Manometern und durch Wägen des Rückstandes und Messen des Filtrates. Die Trockensubstanz in der Trübe wird nach folgendem Ansatz errechnet:

$$F = \frac{100 \gamma_f (\gamma_t - \gamma_w)}{\gamma_t (\gamma_f - \gamma_w)} \text{ in Proz.,}$$

wobei γ_t das spezifische Gewicht der Trübe, F das Gewicht der Feststoffe, γ_f das spezifische Gewicht der Feststoffe und γ_w das spezifische Gewicht der reinen Flüssigkeit (Wasser = 1) ist.

d) Reinigung der Filter. Die Reinigung muß vorgenommen werden, solange die abgesetzte Schmutzschicht noch feucht ist, denn eingetrockneter Ansatz läßt sich nur schwer oder gar nicht entfernen. Die Zeit bis zur Verschmutzung und Reinigung wird durch die Lage der Filterflächen beeinflusst. Von senkrecht angeordneten Filterflächen fällt der Schmutz leichter ab als von waagrechten Filterflächen, weshalb die Reinigung im letzten Falle in kürzeren Zeitabschnitten vorzunehmen ist. Wenn die Filtration nicht unterbrochen werden soll, sind ein oder mehrere Reservefilter, allenfalls in Form von Vor- und Nachfiltern, zum wechselweisen Betrieb anzuordnen. Ist ein Filter verstopft, so wird durch Umschalten von Hähnen das neue Filter zu- und das erschöpfte abgeschaltet und durch Rückspülen mit Wasser, Preßluft, Dampf oder auch auf chemischem Wege von Schmutz gereinigt; sofern dies nicht genügt, werden die Filterflächen erneuert. Zusammengebaute Filter werden in diesem Falle durch Auseinandernehmen der Kerzen, Stäbe, Platten oder sonstiger Einbauten gereinigt, Filterkerzen oder -steine bei lose anhängendem Schmutz durch Abreiben mit einem Luffaschwamm. Verstopfte Filtersteine können, wenn alle Mittel versagen, durch Abbürsten der undurchlässigen Oberfläche mit Stahldrahtbürsten wieder durchlässig gemacht werden.

Behandlung der Filtertücher. Diese sind gegen hohe Temperaturen und chemische Einflüsse, die insbesondere beim Ausdämpfen der Niederschläge entstehen, ferner gegen starken Zug und Druck empfindlich. Nach längerer Benützungsdauer sollen die Tücher gewaschen werden, bei großen Anlagen zweckmäßig in besonderen Waschmaschinen (vgl. S. 588). Die Waschwässer gehen bei wertvollem Material in den Betrieb zurück. Vor längeren Arbeitspausen müssen die Filterstoffe pfleglich behandelt werden, z. B. sind Gummütücher durch Wässern vor dem Austrocknen zu schützen, Tücher zu waschen und zu trocknen, Filter aus Eisendrähnen einzufetten oder mit Schmierseife zu behandeln, sofern man es nicht vorzieht, Gewebe aus nichtrostenden Metallen, wie Nickel- oder VA-Stahldraht, zu verwenden.

Filterkonstruktionen. Nach Einteilung der Filter nach Bau und Arbeitsweise unterscheidet man in der Hauptsache absatzweise und stetig arbeitende Filter, je nachdem, ob die Beseitigung des Filterkuchens und die Reinigung des Filters mit oder ohne Unterbrechung des Filterns bewerkstelligt werden.

I. Absatzweise arbeitende Filter.

a) Filterflächen vorwiegend waagrecht.

1. Sandfilter (Kornfilter). Anwendungsgebiete sind hauptsächlich Klären und Reinigen von Flüssigkeiten, wenn deren Gehalt an festen Teilen gering, die Menge der durchfließenden Flüssigkeit jedoch beträchtlich ist. Im größten Umfange macht man von diesen Filtern bei der Reinigung von Frisch-, Ab- und Fabrikwässern Gebrauch, bei Trinkwasser auch zur Entfernung von Bakterien, ferner zur Reinigung von Lösungen aller Art, aus denen verhältnismäßig geringe Mengen von Feststoffen abzuscheiden sind, z. B. in der Zuckerfabrikation.

Vorteile: Einfacher Aufbau, leicht zugängliche Filterflächen, unbegrenzte Haltbarkeit, geringe Kosten, Unempfindlichkeit der Filterstoffe gegen Chemikalien, niedrige Anlagekosten, insbesondere für kleine Leistungen in offener Bauart. **Nachteile:** Durch die horizontale Anordnung der Filterfläche sind für große Filterleistungen der Bedarf an Grundfläche und deshalb die Anlagekosten beträchtlich. Die gleichmäßige Flüssigkeitsverteilung ist bei Großfiltern schwierig, weshalb die Reglung besondere Schwimmer- und Schützenanlagen erfordert.

Aufbau: In der einfachsten Ausführung wird der Boden eines beliebigen (vorhandenen) Behälters oder einer Grube mit einem Rost versehen, auf dem das Filtermittel (Sand, Kies) 0,5—1,5 m hoch aufgeschüttet wird. Meist verwendet man gewaschenen Sand oder Kies von bestimmter Körnung (0,4—1 mm); Zusammenstellungen mit mehreren Korngrößen sind in der Weise üblich, daß man auf einen Rost eine gröbere Unterlage (12—20 mm) auflegt, welche die Tragschicht für die feineren Körnungen bildet. In manchen Fällen hat man versucht, den Sand durch zerkleinerte oder unzerkleinerte Holzwolle oder auch durch Korkschröt zu ersetzen, wobei durch Auflegesiebe das Filtermittel gegen Abschwimmen zu sichern ist. Damit das Filtergut nicht verunreinigt wird, muß das Filtermittel mit geeigneten Chemikalien vorbehandelt und mit Wasser nachgewaschen werden. Die Reinigung im Betrieb erfolgt je nach der Verunreinigung der Holzwolle oder des Korkschröts mit Lauge oder Säure. Der Rost muß genügend stark berechnet werden, um die Belastung von Filtermittel und Flüssigkeit aufzunehmen, wozu bei geschlossenen Druck- oder bei Vakuumfiltern noch der Filtrationsdruck als zusätzliche Beanspruchung berücksichtigt werden muß. Um den Betrieb gleichmäßig zu gestalten, unterteilt man bei größeren Anlagen die Filterflächen in mehrere Behälter oder Zellen, so daß bei Verschmutzung eines Teiles der Rest ungestört weiterarbeitet. Die Zuleitungen (Röhren, Kanäle) werden so angelegt, daß Zulauf, Entleerung und Spülung durch die Absperrorgane (Ventile, Schützen) erfolgen können, ohne den Betrieb zu stören. Bei kleinen Filtern ist eine Flüssigkeitsverteilung meist nicht nötig, jedoch ist darauf zu achten, daß der Zulauf mit geringer Geschwindigkeit erfolgt, damit die gleichmäßige Verteilung der Filterschicht erhalten bleibt. Größere Filter erhalten zu diesem Zwecke besondere Zulaufkanäle oder -rohre, um die Filterschicht nicht zu verlagern und sie gleichmäßig aus-

zunützen. Diese Verteilung ist auch mit Rücksicht auf die Ablagerung der Feststoffe nötig, die vorzugsweise an den Einläufen stattfindet und dort zuerst die Filtrationsgeschwindigkeit herabsetzt. Bei stark schlammführenden Flüssigkeiten verwendet man zur Entlastung der Hauptfilter ein oder mehrere, meist stetig arbeitende Vorfilter (s. *P. Ziegler*, Schnellfilter, ihr Bau und Betrieb, S. 63—90 [Leipzig 1918, Spamer]) oder Vorkläranlagen.

Wenn die Leistung des Filters ungenügend geworden ist und $5\text{--}10\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{std}$ bei Schnellfiltern oder rund $0,2\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{std}$ bei langsam arbeitenden Filtern (Bakterienfiltern) nicht mehr erreicht, so muß die Filterfläche gereinigt werden. Im einfachsten Falle geschieht das Abheben der oberen verschmutzten Filterschicht mittels Handarbeit. Bei kleineren Anlagen reinigt man den im Filter belassenen Sand von Hand aus mit mechanischen Rührwerken oder bewirkt die Durchmischung in drehbaren Trommelfiltern unter Rückspülen (s. auch

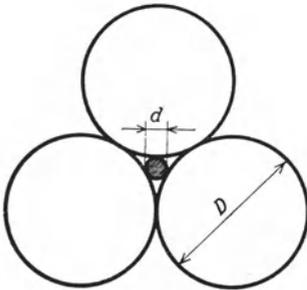


Abb. 585. Korngröße bei Sandfiltern.

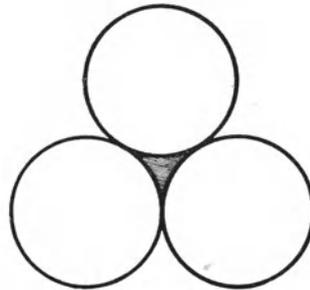


Abb. 586. Freibleibender Flächenanteil bei Sandfiltern.

S. 521 bei Filtersand-Waschmaschinen); bei größeren Filteranlagen wird das energische Durcharbeiten und Waschen des Filtersandes in den Filtern selbst unter Einleiten von Luft oder Dampf im Rückstrom vorgenommen; diese Luft- und Starkstromwaschung hat die Leistung der Filter bedeutend erhöht und ist bei Großfilteranlagen (Wasserversorgungen usw.) allgemein eingeführt (s. *P. Ziegler*, Schnellfilter, S. 92—140).

Arbeitsweise. Um eine gleichmäßige Beanspruchung der Filterfläche zu erreichen, muß bei der Inbetriebnahme des Filters die Luft aus diesem entfernt werden. Hierzu wird unter die Filterschicht Flüssigkeit eingeleitet, die dann die Luft von unten nach oben verdrängt. Nach dieser Vorbereitung kann mit der eigentlichen Filtration (in der Regel von oben nach unten) begonnen werden. Die Formierung des Filters dauert dann noch einige Zeit, während deren man das noch unreine Filtrat solange zurückführt, bis dieses den gestellten Anforderungen entspricht, dann schaltet man auf die Filtrat-abflußleitung um. Die Filterleistung wird durch den auf der Filterdecke abgesetzten Schlamm mit der Zeit immer geringer, wobei das Wasserpolster über dem Filter steigt und eine Reinigung des Filtersandes durch Rückspülen nötig macht. Die Regelung des Zu- und Ablaufs für Filtration und Spülung wird bei größeren Anlagen meist von einer Station aus bewerkstelligt, bei der die Betätigungsvorrichtungen für die vier Leitungen (1. Zufluß, 2. Filtrat-abfluß, 3. Zufluß des Spülwassers, 4. Abfluß des Schmutzwassers) übersichtlich angeordnet sind.

Kontrolle. Die Druckzunahme während der Filtration läßt die Durchlässigkeit der Filterschicht erkennen und bestimmt auch den Zeitpunkt der erforderlichen Reinigung. Zur Kontrolle dienen Meß- und Reguliervorrichtungen (allenfalls unter sich verbunden und die Zulaufmengen einstellend, s. *P. Ziegler*, Schnellfilter, S. 135—145).

Berechnung von Sandfiltern. Besäße bei dem Filtersand das Korn genaue Kugelform vom Durchmesser D , so wäre der Durchmesser d einer in den Hohlraum eingelagerten Kugel:

$$d = D \left(\frac{2}{3} \sqrt[3]{3} - 1 \right) = 0,1545 D$$

(s. Abb. 585). Daraus ergibt sich folgende Zahlentafel:

D in mm	d in mm	D in mm	d in mm
0,01	0,0016	0,35	0,0542
0,02	0,0031	—	—
0,03	0,0046	0,45	0,0696
0,04	0,0062	—	—
0,05	0,0077	0,60	0,0924
0,10	0,0155	0,70	0,1078
0,15	0,0232	0,80	0,1232
0,20	0,0308	0,90	0,1386
0,25	0,0388	1,00	0,1547

Bedeutet ferner (nach Hütte, Bd. I) l die Dicke und F den Querschnitt der Filterschicht, so folgt

Anzahl der Kugeln im Querschnitt F : $\frac{1,15 F}{D^2}$,

kleinster für den Durchfluß freibleibender Flächenanteil: $0,1 F$ (Abb. 586),

Anzahl der Kugeln im Raume Fl : $\frac{1,41 Fl}{D^3}$,

Anzahl der Kugellagen auf der Strecke l : $\frac{l\sqrt{3}}{D\sqrt{2}}$,

Oberfläche aller Kugeln im Raume Fl : $\frac{4,44 Fl}{D}$,

Summe der Zwischenräume im Raume Fl je nach Lagerung $0,26$ — $0,47 Fl$.

Die Hohlräume zwischen den Körnern von $d = 0,54$ — $3,8$ mm fand *Kröber* zu $0,39$ — $0,41 Fl$; bei gewöhnlichem Sande mit Körnern von $D = 0,1$ — $0,8$ mm fand *H. Lang* $0,36 Fl$.

Es bedeute weiter:

Q die durchfließende Wassermenge für 1 m^2 Filterfläche,

d den mittleren Korndurchmesser in mm,

l die Dicke der Filterschicht,

H die für den Durchfluß beanspruchte Druckhöhe in m,

m den Anteil des Rauminhalts des Filters, den die Hohlräume einnehmen,

k_1 den Wert der Durchlässigkeit.

Nach *Slichter* gilt für ganz reinen Sand von gleichmäßigem Korn bei 10° :

$$Q = k_1 d^2 H : l \text{ in m}^3/\text{std, wobei}$$

für $m = 0,26 \ 0,28 \ 0,30 \ 0,32 \ 0,34 \ 0,36 \ 0,38 \ 0,40 \ 0,42 \ 0,44 \ 0,46 \ 0,47$

$k_1 = 3,32 \ 4,25 \ 5,33 \ 6,60 \ 8,07 \ 9,73 \ 11,6 \ 13,8 \ 15,2 \ 18,9 \ 21,8 \ 23,7$

(Im Einklang mit Versuchen *Darcys*, 1856, mit feinem Filtersand; s. *Smreker*, *J. Gasbel. Wasserv.* 1915, S. 452.)

Bei Grobsanden, Kies und Schotter gilt obige Gleichung nicht mehr, sondern die Gesetze für laminare und turbulente Strömungen; hierbei nimmt k_1 mit wachsendem $H:l$ ab (s. Kröber, Z. VDI 1884, S. 593).

Versuche der Königl. Kanal-Kommission in Münster 1892 ergaben für Flußsand, weder gesiebt noch gewaschen, Filteroberfläche = 1 m^2 :

$$H \text{ bis } 5 \text{ m, } l_{\max} = 1 \text{ m.}$$

$$Q \text{ in m}^3/\text{std} = k_1 \frac{H}{l}, \text{ worin für}$$

$$\text{Sand, } 0,1\text{--}0,8 \text{ mm Korn} \dots \dots \dots k_1 = 32,$$

$$\text{Sand, } 0,1\text{--}0,3 \text{ mm Korn} \dots \dots \dots k_1 = 9,$$

$$\text{Sand mit Spuren von Lehm} \dots \dots \dots k_1 = 3.$$

Versuche von *Welitschkowsky* ergaben für Kies und Sand, gesiebt und gewaschen, Filteroberfläche = 20 cm^2 :

$$H \text{ bis } 2 \text{ m, } l \text{ bis } 1 \text{ m.}$$

$$Q \text{ in m}^3/\text{std} = k_1 \frac{H}{l}, \text{ worin für}$$

$$\text{Mittelkies, } 4,0\text{--}7,0 \text{ mm Korn} \dots \dots \dots k_1 = 126,$$

$$\text{Feinkies, } 2,0\text{--}4,0 \text{ mm Korn} \dots \dots \dots k_1 = 108,$$

$$\text{Grobsand, } 1,0\text{--}2,0 \text{ mm Korn} \dots \dots \dots k_1 = 19,$$

$$\text{Mittelsand, } 0,3\text{--}1,0 \text{ mm Korn} \dots \dots \dots k_1 = 1,8.$$

Bei übereinanderliegenden Schichten von verschiedenem Korn ist die mit kleinstem Korn für Q maßgebend, selbst wenn diese Schicht nur wenige Zentimeter hoch ist. Bei Mischungen von verschiedenem Korn wird die größte Dichtigkeit erreicht, wenn das kleinere Korn sich in die Zwischenräume des größeren einzulegen vermag; dann ist für Q angenähert das kleinere Korn maßgebend. Die Filterung im Feinsand (Zurückhaltung von Algenteilen und Bakterien) vollzieht sich nicht nach dem Maß des übrigbleibenden Durchflußquerschnittes, sondern nach dem Maß der mit Schleim überzogenen Oberfläche, die beim Feinfilter größer ist als beim Vorfilter mit größerem Sandkorn. Die Schleimschicht hält die Bakterien und Pflanzensporen so lange fest, bis die Oberschicht übersättigt ist; nach ihrer Beseitigung filtriert die neue Oberschicht.

Lit.: Hütte I (24. Aufl., Berlin 1923, Ernst & Sohn), S. 393. — *Schiller*, Z. angew. Math. Mech. 1922, S. 96. — *Th. v. Karman*, Z. angew. Math. Mech. 1921, S. 233. — *Blasius*, Forschungsarbeiten, Heft 131, S. 267. — *Forchheimer*, Hydraulik, S. 449 (Leipzig 1914, Teubner); Z. VDI 1901, S. 1376. — Enzyklopädie der math. Wissenschaften, Abschnitt Hydraulik (Leipzig 1906, Teubner).

Grubensandfilter. Unmittelbar über den Abflußkanälen des Filtrats befinden sich grobe Steine, darauf folgt ein grober Kies von 6—3 cm Durchmesser, dann Mittelkies von 3—2 cm, dann Feinkies von 2—1 cm, darauf grober Sand von 4—5 mm Durchmesser. Jede dieser Schichten erhält eine

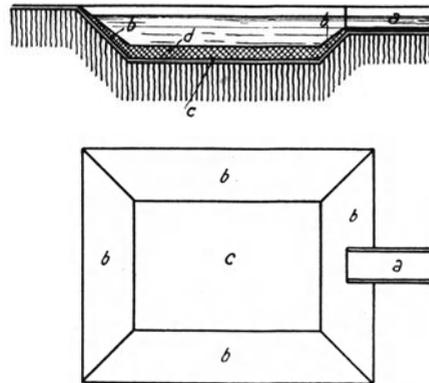


Abb. 587. Grubensandfilter mit schrägen (filternden) Wänden. (Nach *Bühler-Jänecke*, Filtern und Pressen.)

Stärke von ungefähr 10 cm. Auf den Grobsand folgt zuletzt eine 60—120 cm starke Schicht Sand von $\frac{1}{2}$ —1 mm Korngröße. Kies und Sand müssen durch Waschen von anhängendem Ton befreit worden sein. Wenn der Untergrund und das Gelände genügend durchlässig sind und eine Verunreinigung der um-

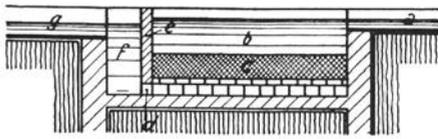


Abb. 588. Grubensandfilter mit lotrechten (nichtfilternden) Wänden. (Nach Bühler-Jänecke, Filtern und Pressen.)

gebenden Wände nicht zu befürchten ist, kann das Filtrat, wenn es nicht brauchbar ist, in den Boden versickern; in Abb. 587 ist eine solche Filtergrube dargestellt. Das Gemenge fließt, falls es dünnflüssig genug ist, durch eine Rinne *a* in die Grube, die festen Stoffe sinken an den Wänden *b* nieder und bedecken den Boden *c*.

Das Filtrat selbst versickert durch die Filterschicht *d*. Diese einfachste Art der Filtration wird mitunter zur Klärung von Abwässern angewendet, bedingt aber einen erheblichen Aufwand an Grundfläche. Die Wirkung des Filters läßt mit der zunehmenden Durchsetzung des Untergrundes mit eingeschwemmten Fremdkörpern allmählich nach und hört schließlich auf. Die festen Bestandteile werden zweckmäßig durch Ausstechen oder Baggern herausgeschafft.

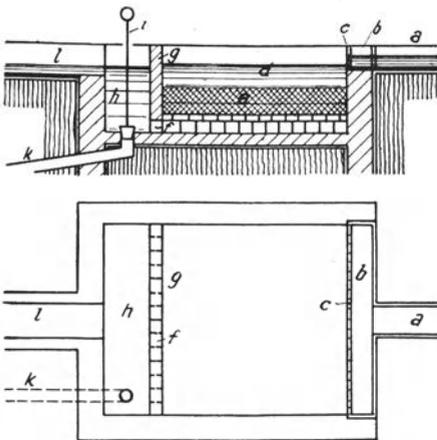


Abb. 589. Grubensandfilter als Senkgrube. (Nach Bühler-Jänecke, Filtern und Pressen.)

Um die Übelstände des allmählichen Nachlassens der Filterwirkung zu vermeiden, verzichtet man meistens auf die Mitwirkung der Wände und nützt nur die Bodenfläche selbst aus. Diese wird mit einem geeigneten Filtermittel bedeckt, das erneuert oder gereinigt werden kann, falls die Filterwirkung nachläßt. Wände und Boden der Filtergrube können wasserdicht hergestellt werden. In den meisten Fällen ist dies unbedingt notwendig. In der einfachsten Form zeigt Abb. 588 die Anordnung eines solchen Grubenfilters. Das Gemenge tritt bei *a* in die Filtergrube *b* ein. Die Flüssigkeit durchsinkt die Filterschicht *c* und steigt durch die Öffnungen *d* der Trennwand *e* in den Schacht *f*, um alsdann bei *g* abzufließen. Bei Filtergruben kleineren Umfangs ist eine gleichmäßige Verteilung des Gemenges über die Filterschicht meistens nicht notwendig. Größere Anlagen zeigen fast immer größere Verteilungseinrichtungen, um die Filterschicht gleichmäßig zu belasten. Man hat dabei zu rechnen, daß die Filtergruben nicht allein als Filter, sondern auch als Sinkgruben wirken, weil in der Flüssigkeit schwebende Stoffe infolge Geschwindigkeits- und Richtungsänderung sich selbsttätig absetzen. Dieses Absetzen erfolgt am schnellsten in der Nähe des Eintritts bzw. dort, wo sich die größten Geschwindigkeitsunterschiede zeigen. An diesen Ablagerungsstellen wird die Filterschicht naturgemäß durch Überlagerung mit Sinkstoffen am schnellsten unwirksam. Abb. 589 zeigt eine für gewerbliche Zwecke oft gewählte ein-

wand *e* in den Schacht *f*, um alsdann bei *g* abzufließen. Bei Filtergruben kleineren Umfangs ist eine gleichmäßige Verteilung des Gemenges über die Filterschicht meistens nicht notwendig. Größere Anlagen zeigen fast immer größere Verteilungseinrichtungen, um die Filterschicht gleichmäßig zu belasten. Man hat dabei zu rechnen, daß die Filtergruben nicht allein als Filter, sondern auch als Sinkgruben wirken, weil in der Flüssigkeit schwebende Stoffe infolge Geschwindigkeits- und Richtungsänderung sich selbsttätig absetzen. Dieses Absetzen erfolgt am schnellsten in der Nähe des Eintritts bzw. dort, wo sich die größten Geschwindigkeitsunterschiede zeigen. An diesen Ablagerungsstellen wird die Filterschicht naturgemäß durch Überlagerung mit Sinkstoffen am schnellsten unwirksam. Abb. 589 zeigt eine für gewerbliche Zwecke oft gewählte ein-

fache Ausführung. Das Gemenge tritt bei *a* in eine Verteilungsrinne *b* ein, die durch eine Anzahl nach der Durchflußgeschwindigkeit abgestufter Öffnungen oder Kämme *c* mit dem Becken *d* verbunden ist. Die Flüssigkeit durchdringt die Filterschicht *e*, sammelt sich über dem Boden der Grube, strömt durch Öffnungen *f* unter der trennenden Wand *g* hinweg in den Raum *h* und fließt bei *l* ab. Zur Spülung und Entleerung der Filtergrube dient eine Abflußleitung *k*, die durch das Absperrorgan *i* geöffnet werden kann. Größere Filterflächen lassen sich durch Unterteilung in einzelne Gruben gleichmäßig beschicken. Auch sind doppelte Grubenlagen oder Vereinigung mehrerer Filtergruben mit zweckentsprechenden Einrichtungen in vielen Fällen am Platze.

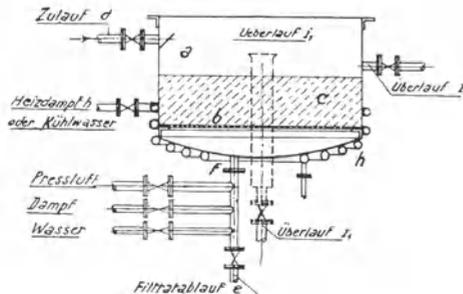


Abb. 590. Offenes Sandfilter (Grundform).

Offene Sandfilter (Abb. 590). In einem offenen Behälter *a* aus beliebigem Baustoff (Eisen, Kupfer, plattiert oder gummiert, Holz, Beton usw.), der mit Rücksicht auf die zu verarbeitende Flüssigkeit gewählt wird, liegt der Siebboden *b* aus gelochtem Metall oder Holz mit darüberliegendem Drahtgewebe, allenfalls auch Filtertuch, das die Filterschicht *c* trägt. Die Filterflüssigkeit fließt bei *d* zu, das Filtrat bei *e* ab. Ist die Filterschicht so stark verschmutzt, daß sie gereinigt werden muß, dann werden die Ventile *e* und *d* geschlossen und durch den Anschluß *f* Wasser und nach Bedarf Dampf oder Luft zum Reinigen durch Rückspülen eingeleitet. Das Schmutzwasser verläßt das Filter durch

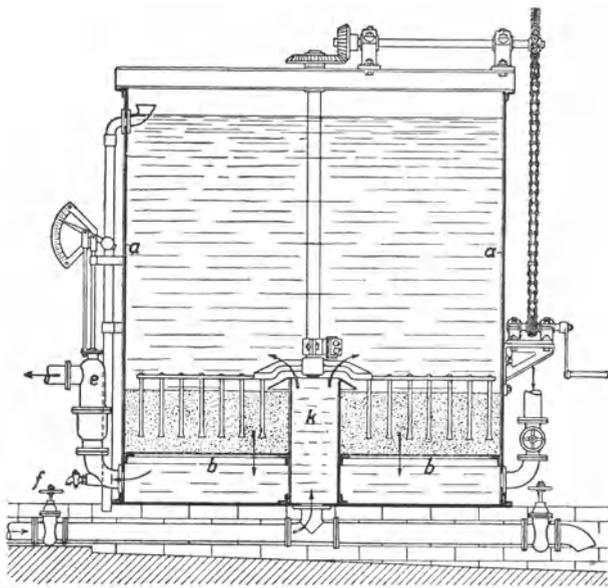


Abb. 591. Offenes Sandfilter mit Leistungsregler und Rührwerk (Halvor Breda).

den Stützen *i*, der entweder über der Filterschicht oder, wie punktiert angedeutet, in der Mitte von unten bis über die Filterschicht angeordnet sein kann. Mit letzterer Anordnung erzielt man beim Rückspülen eine gleichmäßige Ableitung des Schmutzwassers. Falls bei höherer oder niedriger Temperatur gefiltert werden soll, isoliert man den Mantel und unterhält die

gewünschte Temperatur, wenn nötig, durch eine angelegte Heiz- oder Kühltangente h . Die beschriebene Grundform eines offenen Sandfilters kann, wenn geschlossen gearbeitet werden soll und die Wandstärken genügend stark gewählt sind, durch Anbringen eines Deckels zum Arbeiten unter Druck weiter ausgestaltet werden. Zur Unterstützung bei der Sandreinigung kann noch ein langsam laufendes Rührwerk ($n = 4-8$ U/min) eingebaut werden (Abb. 591). Bei dieser Ausführung von Halvor Breda A.-G., Berlin, befindet sich in dem zylindrischen, oben offenen Behälter a der mit einem Drahtgewebe bespannte Siebboden b , auf dem die filtrierende Schicht liegt. Das trübe Wasser steigt durch das Ventil f und das Rohr k in den oberen Teil des Filters, verbreitet sich über die Filterschicht, durchdringt diese, die Unreinigkeiten auf der Oberfläche zurücklassend, und fließt durch den Leistungsregler e ab (Beschreibung eines Leistungsreglers s. S. 509 und Abb. 598).

In der Erdölindustrie sind Sandfilter zur Abscheidung des Säureharzes in Anwendung (Walther, Chem. Fabrik 1933, S. 274), und zwar wird, wie aus

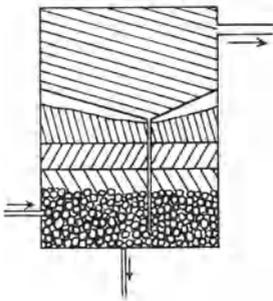


Abb. 592. Sandfilter für Erdöl zur Abscheidung von Säureharz.

Abb. 592 ersichtlich ist, das mit Schwefelsäure behandelte Öl von unten nach oben durch mehrere Gesteinskörnerschichten geleitet, wobei die unteren Schichten grobkörnig sind und die obere feinkörnige Schicht immerhin noch etwa 5 mm Korngröße besitzt. Auf dem Wege durch die Körnerschichten scheidet sich das Säureharz ab und sinkt nach abwärts; ebenso kann es aus den höheren Schichten (z. B. zwischen den beiden oberen Schichten) durch eingesetzte Rohre in den unteren Teil des Filters geleitet werden. Die Filtration und das Wegführen des Säureharzes geschieht auf die beschriebene Art so sauber, daß derartige Filter für die Reinigung verschiedener Benzine zwei Jahre ununterbrochen und ohne jede Reinigung in Betrieb waren.

Offenes Sandfilter von Scheibler (Abb. 593). Der Filtersand liegt in einem kastenähnlichen Gefäß mit rechteckigem Querschnitt, das bis zur Höhe R durch eine Zwischenwand in zwei Behälter eingeteilt ist, von denen jeder einen konischen Unterteil L besitzt. Die trübe Flüssigkeit tritt durch ein Rohr mit Schwimmerventil $D-c$ über der mittleren Trennwand auf die Filterschicht F — der Flüssigkeitsspiegel und folglich auch der Filtrationsdruck ist stets der gleiche — und dann durch eingebaute Entwässerungsröhre in den Sammelkanal. Das Auswaschen des Filtermittels geschieht auf dieselbe Art wie bei der Filtration (von oben nach unten); die Reinigung des Sandes wird durch in die Konusse der beiden Behälter eingebaute Wasserstrahlpumpen vorgenommen, die den Sand von dem einen in den andern Behälter solange überpumpen, bis das Spülwasser klar durch das über der Trennwand angebrachte Abfallrohr abfließt. Nach der richtigen Einbettung des Sandes ist das Filter wieder betriebsfertig.

Offenes Sandfilter mit Luft-Wasser-Rückspülung. Das Schnellfilter der Hans Reisert G. m. b. H., Köln, Braunsfeld, das als Beispiel einer großen Anzahl ähnlicher Konstruktionen näher beschrieben sei und sowohl offen als auch geschlossen sein kann, zeigt Abb. 594 und 595. In einem Filterbehälter liegt das Filtermittel F auf einem Siebboden f aus 5 mm gelochtem Blech (Lochdurchmesser 15 mm, Teilung etwa 30 mm, bei Drahtgeflecht 22 Maschen auf 1 Zoll). Das trübe Wasser

fließt durch das Ventil *A* ein, durchdringt die Filterschicht (meistens feiner gleichmäßiger Perlkies von 1–3 mm Durchmesser) und fließt geklärt bei *B* ab. Läßt die Filterleistung nach, dann wird das Filter gereinigt. Das Ventil *A*

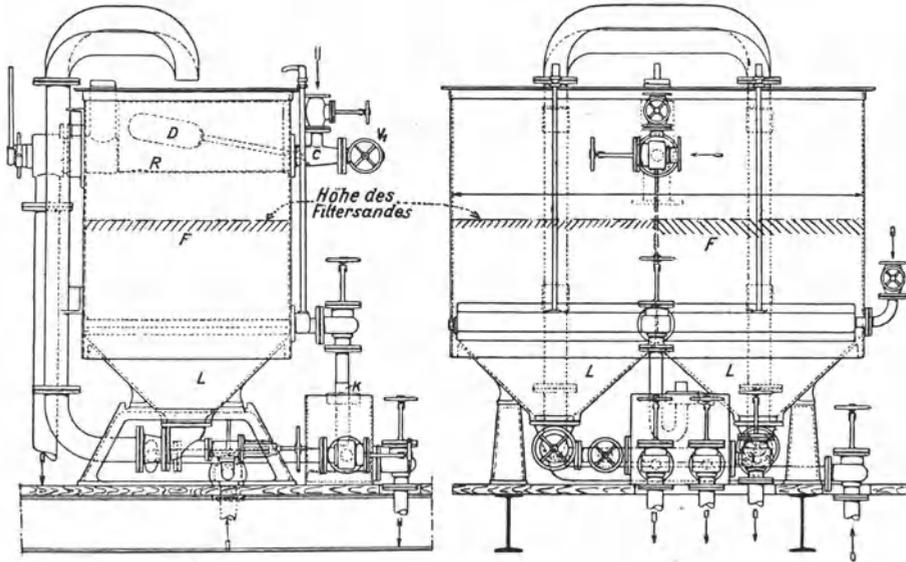


Abb. 593. Offenes Sandfilter von Scheibler.

wird geschlossen, dagegen das Schlammbabflußventil geöffnet. Nachdem das Ventil *C* geöffnet worden ist, läßt man durch das Ventil *D* Dampf in den Injektor *L* eintreten. Dieser saugt Luft an und drückt sie in das Rohrsystem *R*.

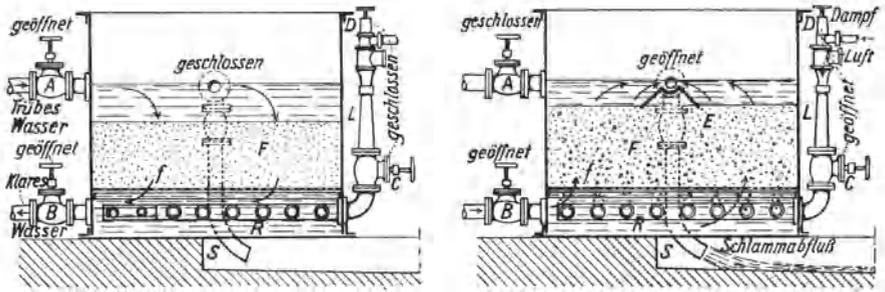


Abb. 594 und 595. Offenes Sandfilter mit Luft-Wasser-Rückspülung (Reisert).

Der Luftbedarf von $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ kann auch durch ein Kapselgebläse erzeugt werden. Die Preßluft strömt aus dem Rohr *R* durch eine große Anzahl feiner Bohrungen von 2 mm Durchmesser in etwa 350 mm Abstand durch den Siebboden *f* in die Filterschicht *F*, wühlt sie auf und gibt so dem durch *B* eintretenden Reinigungswasser Gelegenheit, die Filtermasse gründlich zu waschen. Der Schlamm wird losgerissen und fließt durch den Überlauf *E* nach *S* ab, während

die Luft nach oben entweicht. Nach 6—10 Minuten stellt man die Preßluft ab und läßt das Wasser noch 2—3 Minuten rückströmen, damit alle Luft aus dem Filtermittel entfernt und dieses völlig gereinigt wird. Die durchschnittliche Leistung eines solchen Filters ergibt $3,5\text{--}8\text{ m}^3/\text{std}\cdot\text{m}^2$ Filterfläche.

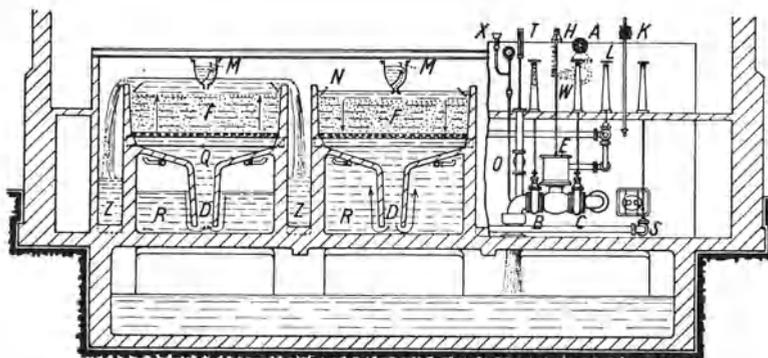


Abb. 596. Reiser'sche Filteranlage (Längsschnitt).

Bauart. Die Sandfilter werden sowohl in Eisen als auch in Beton ausgeführt; jene sind in der Regel rund, diese rechteckig. Eine Reiser-Filteranlage für größere Leistung in Betonausführung, bestehend aus 3 Filterkammern, ist in Abb. 596 dargestellt und zeigt in senkrechtem Längsschnitt das linke Element

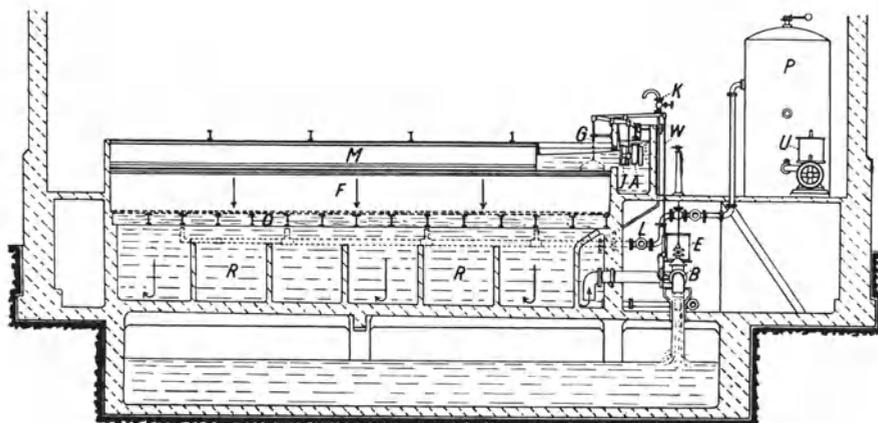


Abb. 597. Reiser'sche Filteranlage (Querschnitt).

im Zustande des Auswaschens, das mittlere während des Betriebes und das rechte in Ansicht von der Stirnseite. Abb. 597 zeigt im Querschnitt eine Filterkammer und den Windkessel, der für mehrere Filterkammern genügt, nebst Kompressor. Ist das Filter in Betrieb, so fließt das Rohwasser aus dem für alle Filterkammern gemeinsamen und an deren Stirnseite befindlichen Rohwasserzuführungskanal durch den geöffneten Absperrschieber *A* und die Drosselklappe *J* in die Verteilungsrinne *M*; von hier

über und durch das auf einem aus gelochten Blechen mit zwischengelegter Metallgaze bestehenden Filterboden Q ruhende Filtermittel F und durch

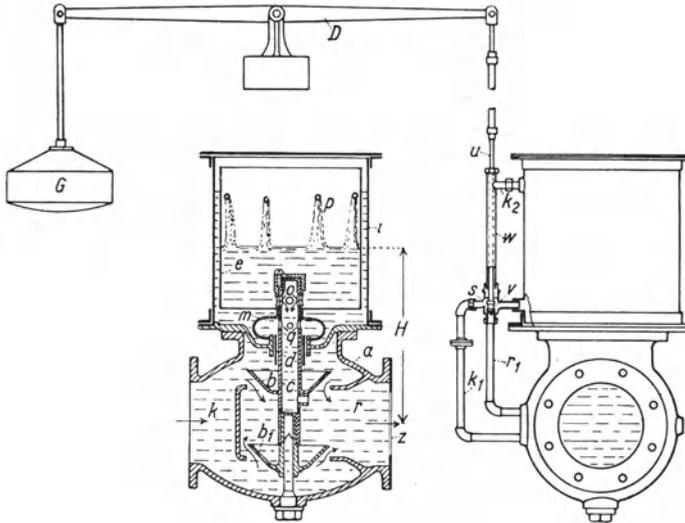


Abb. 598. Einrichtung eines Leistungsreglers (Reisert).

den Schacht D (Abb. 596) in den Raum R , wo sich Wasser zum Auswaschen des Filters sammelt. Das aus B austretende filtrierte Wasser wird durch den

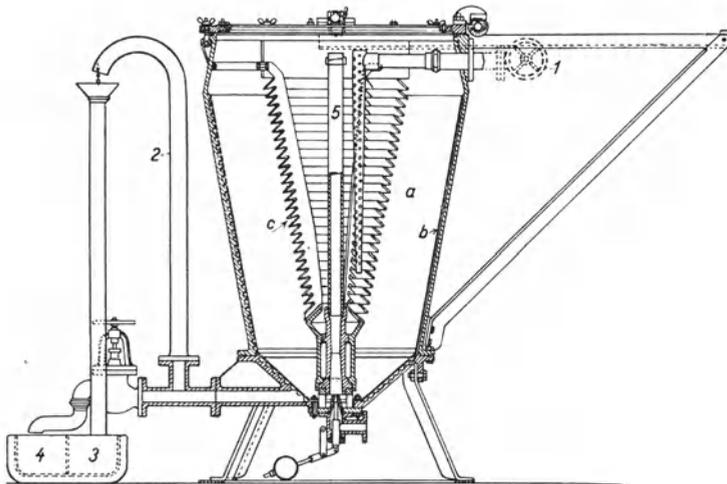


Abb. 599. Sandsäulenfilter Sangerhausen
(Einrichtung und Arbeitsweise beim Filtern).

Geschwindigkeitsregler E in der Weise geregelt, daß die durch ihn eingestellte Geschwindigkeit unter allen Umständen unabhängig vom Filterdruck gewahrt bleibt. Ist die Zeit zum Auswaschen gekommen, was man an dem Verschlam-

mungsanzeiger (Filterwiderstand) *X* (Abb. 596) ablesen kann, so öffnet man nach Schließung des Rohwasserschiebers *A* und des Reinwasserschiebers *C* die Luftleitung *L*. Die Preßluft verdrängt das unter dem Filter im Raum *R* angesammelte Reinwasser so stark durch den Schacht *D* nach oben und durch das Filtermittel *F*, daß zuerst das ganze Filtermittel sich hebt. Dieses fällt nach und nach durch das allmählich langsamer nachströmende Waschwasser zurück, welches mit dem mitgerissenen Schlamm in die Schächte *Z* und von da durch eine Öffnung unten in den Hauptschlammkanal abfließt. Nach dem Auswaschen wird das Luftventil geschlossen und der Rohwasser- und Reinwasserabfluß wieder geöffnet. Die Handhabung ist so einfach und der Vorgang so schnell, daß insgesamt nicht mehr als 1—1½ Minuten dazu beansprucht werden. Die Verdrängungsluft entweicht langsam während der Filtration durch das Entlüftungsventilchen *K*. An deren Stelle sammelt sich neues Waschwasser im Raum *R* an. Der Schwimmer *G* regelt den Rohwasser-

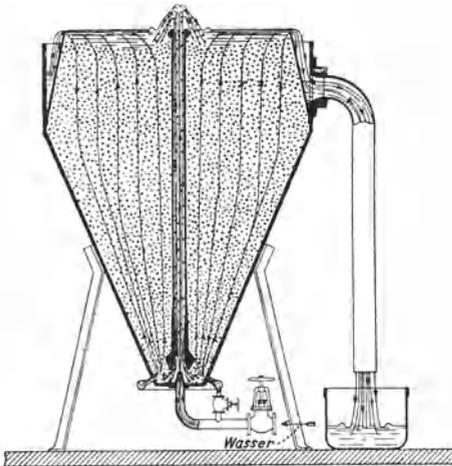


Abb. 600. Sandsäulenfilter Sangerhausen
(Waschen des Sandes).

Wasserspiegels unter die Filteroberfläche zu verhüten. Der Schieber *S* dient zur Entleerung des Filters. Der im Reinwasserabflußrohr eingebaute Geschwindigkeitsregler *E* regelt den Wasserdurchfluß unabhängig vom Filterdruck, so daß die Wassergeschwindigkeit vom Anfang nach dem Auswaschen des Filters bis zu dessen Verschlammung immer gleich groß ist. Auch wird durch die auf die Drosselklappe *J* übertragene Bewegung des Schwimmers *G* eine durchaus gleichmäßige Wasserverteilung auf die einzelnen Filterkammern bewirkt.

Die Wirkungsweise des in Abb. 598 abgebildeten Reglers ist folgende. Das von dem Filter kommende Wasser tritt in der Pfeilrichtung in den Raum *k* ein. Durch das Eigengewicht des Schwimmers *e* und der Ventilkegel ist der Regler geschlossen, denn im Schwimmergehäuse *i* befindet sich im Anfang noch kein Wasser. Ist der Raum *k* aber mit Druckwasser angefüllt, so tritt es durch das Rohr *k*₁, das Ventil *s* und das Rohr *w* in den Schwimmerbehälter *i* und hebt allmählich den Schwimmer *e* an, so daß sich das Reglerventil zu öffnen beginnt. Das Wasser tritt jetzt in den Raum *r* und steigt infolge der Schieber-

zulauf entsprechend dem durch den Regler *E* genau eingestellten Reinwasserabfluß und der durch den Schieber *B* eingestellten Filtergeschwindigkeit, die man auf einer Skala am Spindelständer ablesen kann. Der Windkessel füllt sich durch eine mittels eines Elektromotors angetriebene Luftpumpe *U*, die, nachdem der erforderliche Druck erreicht ist, sich selbst wieder abstellt. Alle Armaturen werden von dem vor der Stirnwand befindlichen Flur aus bedient. Die Skala *T* dient zum Ablesen des Waschwasserstandes im Raum *R*. Der Schwimmerhebel *H* sperrt durch die Stange *W* den Regler *E* ab, wenn der Rohwasserzufluß sich verringert oder ganz aufhört, um ein Sinken des

bzw. Scheibendrosselung durch die hohle Ventilspindel c in das Innere des Schwimmers e empor, wodurch dieser belastet wird. Bald ist das Wasser in dem Gefäße i so hoch gestiegen, daß es die Öffnungen p erreicht und durch diese in das Innere des Schwimmers fließt. In der Höhe dieser Öffnungen verhart der Wasserspiegel in dem Gefäße i , während er in dem Schwimmer nur so weit steigen kann, als der Druck im Raum r es zuläßt. Dieser Druck in r stellt sich so ein, daß das Gesamtgewicht des Schwimmers und der Auftrieb sich das Gleichgewicht halten. Die Folge ist somit, daß der Druck im Raum r nicht größer und kleiner sein kann, als der Wassersäule H von der waagrechten Mittellinie des Reglerventils bis zum Wasserspiegel im Schwimmer entspricht. Die Durchflußmenge des Wassers innerhalb einer gegebenen Zeit wird durch das Drosselorgan B bzw. C eingestellt. Die Durchflußmenge bleibt unabhängig

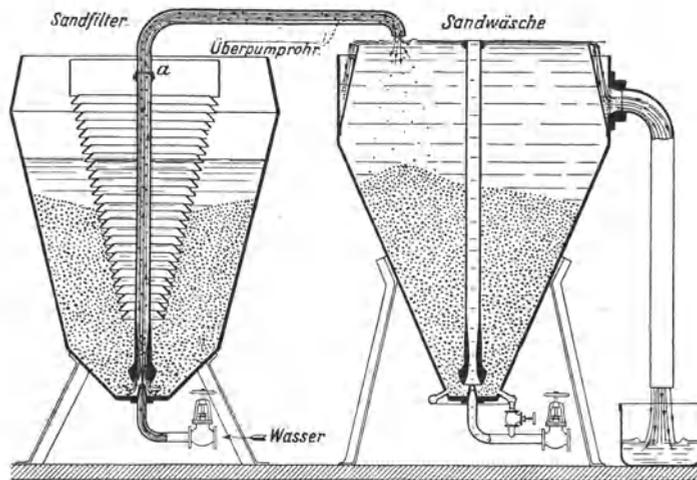


Abb. 601. Sandsäulenfilter Sangerhausen (Überpumpen des gewaschenen Sandes).

von dem Druck im Raum k immer gleich. Angenommen, es erhöhte sich der Druck im Raum k ein wenig, so würde der Wasserspiegel innerhalb des Schwimmers e steigen und diesen beschweren, so daß er sinkt und die Ventile $b b_1$ entsprechend enger stellt. Umgekehrt wird durch das Sinken des Druckes im Raum r infolge verminderter Wassergeschwindigkeit wegen Abnahme des Druckes im Raum k eine entsprechend größere Öffnung der Ventile $b b_1$ eintreten, weil dann aus dem Schwimmer Wasser ausfließt und diesen erleichtert. Die Abdichtung zwischen der Druckseite k und dem Schwimmergefäß i durch die Membran verhindert, daß infolge des Leerlaufens des Schwimmergefäßes der Regler sich schließt, wenn der Filterdruck unter den Einlaufstutzen k_2 gesunken ist. Dadurch bleibt der Regler bis zum letzten Filterdruck geöffnet, um diesen auszunützen. Andererseits muß der Regler geschlossen oder gedrosselt werden, wenn der Wasserzufluß zu dem Filtermittel zu gering wird bzw. aufhört, um zu verhüten, daß der Wasserspiegel unter die Filtermitteloberfläche sinkt. Sinkt dieser Wasserspiegel nur um ein geringes, so wird die Bewegung des Schwimmers G durch den Hebel D und die Ventilstange u auf den Doppelsitzventilkegel v übertragen. Dieser unterbricht die Rohrverbindung k_1 mit

dem Rohr w und dem Stutzen k_2 , dagegen stellt er die Verbindung r_1 mit dem unteren Teil des Schwimmergefäßes her. Infolgedessen kann sich dessen Wasserinhalt nach dem Niederdruckraum r entleeren. Der Schwimmer e sinkt und der Regler schließt sich. Steigt der Wasserspiegel auf dem Filterbett wieder, dann steuert das Ventilchen um und öffnet sich der Regler langsam wieder.

Sandsäulenfilter (Abb. 599—604). Das Sandsäulenfilter der Maschinenfabrik Sangerhausen findet hauptsächlich Anwendung in der Zuckerindustrie zur Nachfiltration von Schlammsäften, ferner zur Filtration von Zuckerlösungen. Ein nach unten konisch sich verengernder Behälter a mit Schiebedeckel

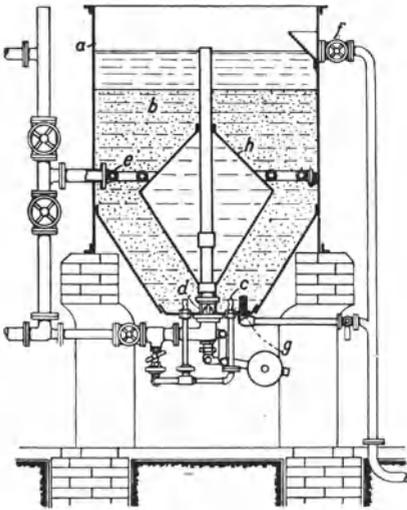


Abb. 602.

Sandsäulenfilter von Schumann & Co.

(Abb. 599), der an der Innenseite gerippt und mit einem feinen Sieb b belegt ist, nimmt im Innern des Behälters in einem größeren Abstand vom Boden ein mit dem Behälterkonus parallel laufendes System schräg übereinander angeordneter, konischer Ringe c auf. Der freie Raum zwischen dem äußeren Mantelsieb und dem Ringeinbau wird mit Filtersand ausgefüllt. Am kurzen oberen Teil des Filters befindet sich der Eintrittsstutzen 1 für die trübe Flüssigkeit, der in einem Verteilerrohr im Innern der konischen Ringe endet. Von hier durchläuft die Trübe den Sand mit stetig abnehmender Geschwindigkeit radial nach außen, tritt durch das Sieb und die am Mantel befindlichen Kanäle in den unteren Auslaufstutzen und wird als Filtrat durch das Übersteigrohr 2 zur Ablaufrinne $3-4$ geleitet. Wenn der Sand verschmutzt ist, wodurch eine langsamere Filtration und eine Steigerung des Filtrationsdruckes erfolgt, so wird er mittels einer im unteren Teil des Behälters angeordneten Wasserstrahlpumpe, die sich bei Wassermangel selbsttätig abschaltet, durch ein auf den Teil a (Abb. 601) aufgesetztes Überpumprohr in den Sandwäscher gebracht. Dieser besteht ebenfalls aus einem nach unten konischen Behälter mit einer doppelten Überlaufzarge für das Washwasser und einem am Boden eingebauten Wasserstrahlapparat. Der Sand setzt sich in dem Sandwäscher ab, während das überschüssige Wasser über den Rand der oberen Zarge abläuft. Nachdem der Sand völlig in den Wäscher gespült ist, wird er mit der Wasserstrahlpumpe im Kreislauf unter Zusatz von Washwasser umgewälzt (Abb. 600); das trübe Wasser fließt oben ab, während der Sand zu Boden sinkt, worauf der Kreislauf von neuem beginnt. Etwa von dem Washwasser mitgerissener Sand wird in einem Sandfänger zurückgehalten. Nach der Reinigung wird der Sand mit der Wasserstrahlpumpe über einen Verteilungsteller in das Sandfilter zurückgebracht.

Ähnlich ist das Sandsäulenfilter der Firma Schumann & Co., Leipzig (Abb. 602). Die trübe Flüssigkeit wird auf die Oberfläche einer im Gefäß a untergebrachten

Kiesschicht *b* geleitet, durchdringt die den Verhältnissen entsprechend angeordnete Filterschicht und verläßt durch eingebaute Sammelrohre *c* gereinigt das Filter. Der von dem Sand zurückgehaltene Schlamm behindert mit der Zeit den Filtrationsvorgang, so daß er durch Rückspülung und Sandreinigung entfernt werden muß. Zu diesem Zwecke wird durch Frischwasserzuleitung durch die Sammelrohre *c* die Schlammschicht aufgelockert. Nun wird mittels der am Boden des Filters befindlichen Strahlpumpe *d* der Kies angesaugt und durch ein in der Mitte angebrachtes Rohr emporgeschleudert. Dabei wird durch Reibung der einzelnen Sandkörnchen aneinander der Schlamm restlos entfernt und mit dem durch Spülrohre *e* eingetretenen Wasser durch den Spülwasserabfluß *f* abgeleitet. Der Sand fällt über den konisch ausgebildeten Verdrängungskörper *h* in seine ursprüngliche Lage zurück, womit das Filter wieder betriebsfertig ist. Zur völligen Entleerung und Reinigung des Filters ist am Boden ein Stutzen angebracht. — Eine ähnliche Konstruktion, aber in geschlossener Ausführung, ist das Bollmann-Filter (Georg Bollmann, Hamburg), Abb. 603.

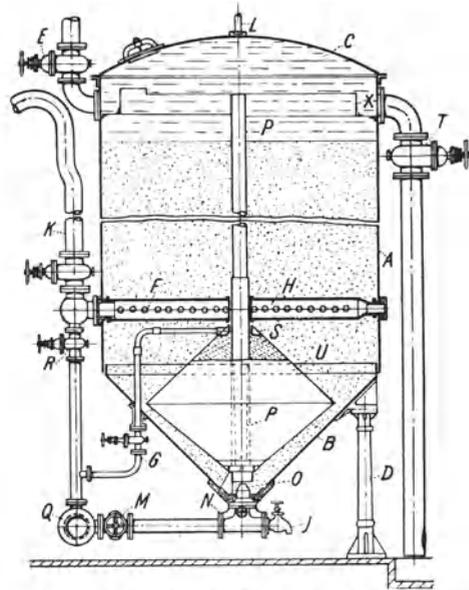


Abb. 603. Sandsäulenfilter von Bollmann.

- | | |
|---|------------------------------------|
| A Behälter | N T-Stück |
| B Behälterkonus | O Düse (Strahlapparat) |
| C Behälterdeckel | P Druckrohr (Strahlapparat) |
| D Füße | Q Waschwasserleitung |
| E Zulaufventil f. Trübe | R Schieber f. Nebenspülung |
| F Ablautrohre (Siebrohr) | S Konusspülung |
| G Schieber f. Konusspülung | T Schieber f. Waschwasserableitung |
| H Sammelrohr | U Lenkkörper |
| J Entleerungshahn | X Ringförmige Zulauf-
rinne |
| K Filtratableitung | |
| L Entlüftung | |
| M Schieber f. Wasch-
wasserzuleitung | |

Ein siebloses Sandfilter der Cochrane Corporation, Philadelphia, zeigt Abb. 604. Dieses ebenfalls geschlossene Filter besteht aus einem nach oben konisch erweiterten Behälter, in den mehrere Schichten Kies 1—4 mit verschiedenen Korngrößen eingeschüttet werden. In der untersten Kiesschicht liegt ein unten offener Kegelstumpf, in dem das Ablaufrohr 5 angebracht ist. Die trübe Flüssigkeit wird bei 6 zugeführt und über eine Prallplatte, um das Aufwühlen der obersten Filterschicht zu verhindern, in das Filter eingeleitet. Die Flüssigkeit muß durch die Filterschichten wandern, um in dem Kegelstumpf in das Auslaufrohr zu gelangen und dann durch das Ventil 7 und die Leitung 5 gereinigt abgeleitet zu werden. Sobald die Filterschicht verschmutzt

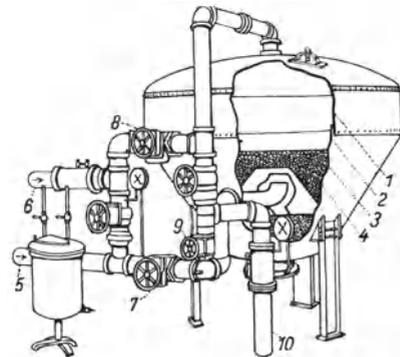


Abb. 604. Siebloses Filter der Cochrane Corporation.

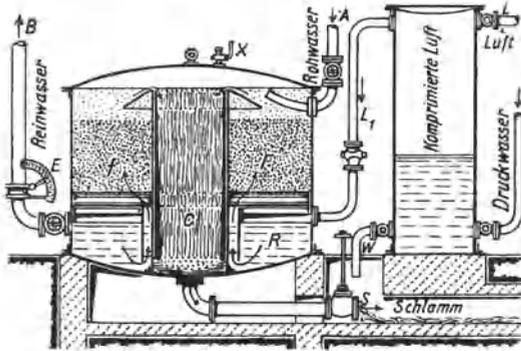


Abb. 605. Reiserts Druckfilter.

ist, wird sie ausgewaschen. Dies geschieht, indem das Ventil 8 geschlossen und das Ventil 9 geöffnet wird. Das Auswaschwasser tritt durch das Ventil 7 ein, durchläuft die Filterschichten in umgekehrter Richtung von unten nach oben und verläßt das Filter durch die Leitung 10. Die Geschwindigkeit des Waschwassers ist im unteren engen Teil des Behälters am größten, so daß die richtige Schichtung gewahrt bleibt

und die feinsten Sandteilchen immer nach aufwärts gespült werden.

Die Kontrolle des Filtrationsvorganges geschieht durch ein Differentialmanometer, das den Druckabfall zwischen Flüssigkeitsein- und -austritt angibt.

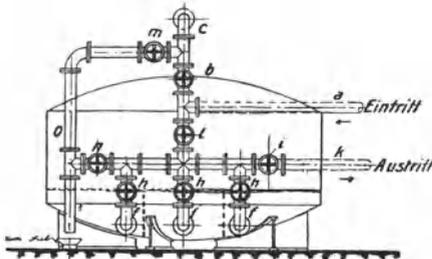
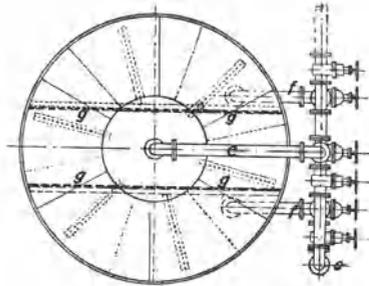
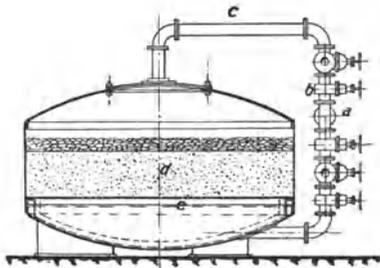


Abb. 606. Gutmanns Druckfilter.

Druckfilter. Eine verbesserte Ausführung eines Druckfilters (Reisert'sches Druckfilter) ist in Abb. 605 im Schnitt, und zwar beim Auswaschen des Schlammes gezeichnet. Es enthält den Siebboden *f* zum Auflagern des Filtermittels *F*, darunter aber noch einen festen Boden, von dem ein zentrales Rohr mit weitem Querschnitt nach abwärts geht. Ein zweites engeres Rohr *C*, das auf dem Boden des Filterkörpers dicht aufgenietet ist, geht durch das weitere Rohr und die Filterschicht bis unter den Deckel des Filters hindurch und mündet in einem solchen Abstand unter diesem, daß der Querschnitt der Einlauffläche dem Rohrquerschnitt gleichkommt. Auch das weite Rohr läßt über dem Boden eine ringförmige Einlauffläche frei, die dem Rohrquerschnitt *C* gleich ist. Beim Auswaschen öffnet man das Ventil *S* und das Lufthähnen *X* und schließt die Ventile in den Roh- und Reinwasserleitungen *A* und *B*. Nach kurzer Zeit strömt aus *S* kein Wasser mehr, dann öffnet man den Hahn des Rohres *L*₁. Aus dem Windkessel, der mit Preßluft gefüllt ist, strömt die Luft unter den festen Boden in den Raum *R* und verdrängt das

dort befindliche Wasser mit so großer Geschwindigkeit in der Pfeilrichtung durch den Siebboden und das Filtermaterial, daß dieses gehoben wird und dann durch reines nachströmendes Wasser hindurch zurückfällt, während das Schlammwasser ebenso schnell in das Rohr *C* entweicht und bei *S* abfließen kann. Das Filter wird in betriebsfertigen Zustand gebracht, indem man *A* und *B* öffnet, dagegen *S* und *X* schließt. Die in *R* enthaltene Luft wird durch *L*₁ in den Luftbehälter zurückbefördert. Verloren gegangene Preßluft kann man ersetzen, indem man aus *W* einen Teil des Druckwassers ausfließen läßt, nachdem *L*₁ und die Druckwasserleitung geschlossen, *L* dagegen geöffnet ist. Für eine beliebige Anzahl nebeneinandergestellter geschlossener Filter genügt ein Druckwasserbehälter wie eben beschrieben.

Neuerdings wird von der Hans Reiser G. m. b. H., Köln-Braunsfeld, und anderen auch ein Starkstromfilter gebaut, bei dem das Spülwasser mittels korrosionssicherer Düsen zwecks Reinigung unter den Filterstoff geleitet wird. Hierbei werden allerdings im Gegensatz zu der oben beschriebenen Anlage größere Spülwassermengen benötigt. Soll dagegen das Spülwasser auch bei dieser Konstruktion auf geringste Mengen gebracht werden, so kann zusätzlich noch Luft unter den Filterstoff geführt werden.

Für größere Leistungen dient das Druckfilter der

Alfred Gutmann A.-G., Altona, Abb. 606. Das Rohwasser tritt durch das Rohr *a*, den Schieber *b* und das Rohr *c* in das Filter ein, durchsinkt die Filterschicht *d*, die je nach Bedarf aus einer oder mehreren Lagen über dem Siebboden *e* aufgebaut sein kann, und tritt durch drei Rohre *f* aus, die das Filtrat aus drei durch Scheidewände *g* voneinander getrennten Abteilungen abführen. Nach Durchgang durch die Schieber *h* und *i* läuft das geklärte Wasser bei *k* ab. Die Schieber *l*, *m* und *n* sind hierbei geschlossen. Das Reinigen der Filterschicht wird in der wiederholt beschriebenen Weise vorgenommen, wobei das Ablaufrohr *o* in Wirksamkeit tritt.

Zur Erhöhung der Leistung durch Vergrößerung der Filtriergeschwindigkeit werden geschlossene Sandfilter mit Rührwerk angewandt und wird die Filtration unter Druck durchgeführt (L. & C. Steinmüller in Gummersbach, Schumann in Leipzig-Plagwitz, Bühring A.-G. in Landsberg a. W.). Die Ausführung eines solchen Filters ist in Abb. 607 dargestellt. Ist eine

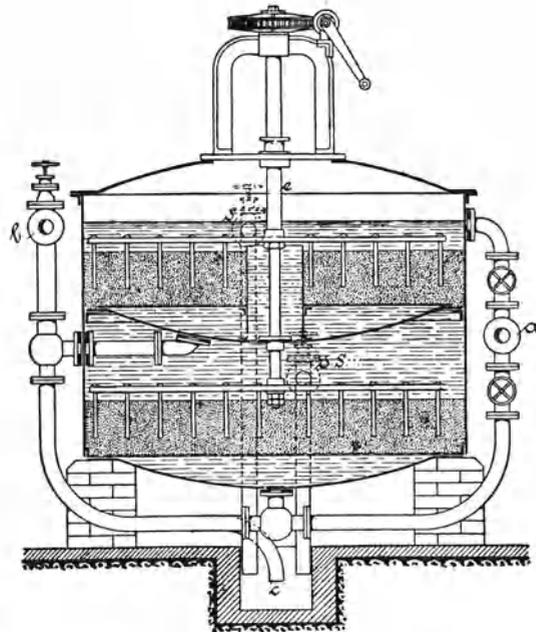


Abb. 607.
Geschlossenes Sanddruckfilter (Steinmüller).

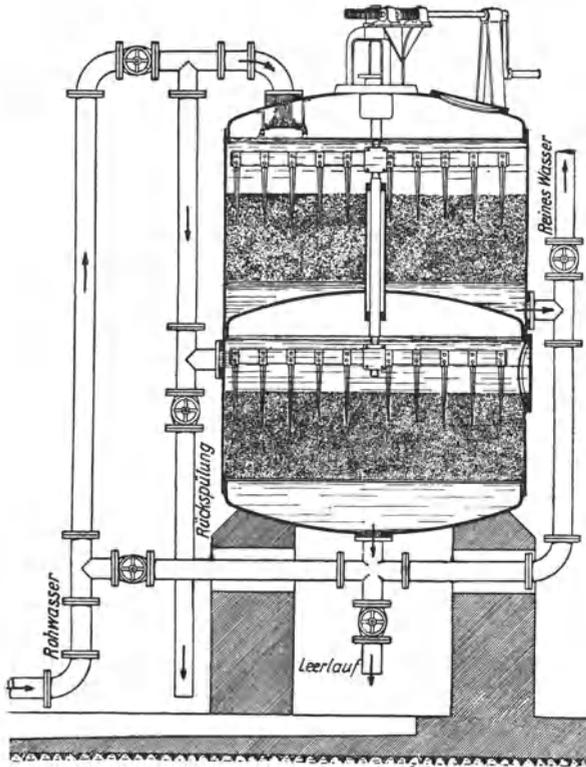


Abb. 608. Geschlossenes Sanddruckfilter (Bühning).

größere Filterfläche nötig, so können die einzelnen Filterschichten übereinander angeordnet werden, wodurch an Grundfläche gespart wird (Abb. 608). Der Arbeitsgang eines solchen Filters ist folgender: Die Trübe tritt bei *a* über der Kiesschicht des oberen Filterabteils ein und füllt allmählich alle einzelnen Filter, tritt durch die Filterschicht hindurch und verläßt gereinigt durch den Stutzen *b* das Filter. Die Reinigung des Sandes wird ebenfalls durch Rückspülung vorgenommen, wobei das Spülwasser durch den Stutzen *b* eingeleitet wird, während das den Schmutz mitführende Wasser durch über der Kiesschicht angeordnete Abfallrohre *S*, *S* usw. abgeführt wird.

Hierbei unterstützt das eingebaute Rührwerk auf der mittels Handkurbel und Schneckenradübersetzung angetriebenen Achse *e* das Auswaschen beträchtlich und sorgt auch für das richtige Einlagern des gewaschenen Sandes.

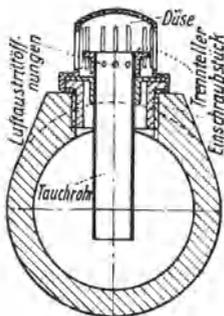


Abb. 609. Reinwasserrohr einer Filteranlage mit aufgeschraubter Düse und Tauchrohr. (Z. VDI 1933, S. 485.)

Filterböden mit Düsen. Eine neue Art der Filterböden für Sandfilter ist die in Abb. 609 gezeigte, wo an Stelle eingelegter Siebe auf dem Boden des Filters Rohre mit aufgesetzten Düsen angewandt werden. Jede Düse besteht aus einer Düsenkappe, einem Einschraubstück, zwei Trenntellern und bei Luft- oder Wasserspülung noch aus einem Tauchrohr. Das Filtrat tritt durch die in der Kappe seitlich angeordneten Schlitzze durch Rückspülung gereinigt. Eine weitere Neuerung zeigt Abb. 610, die in ihrer Ausführung schon wesentlich einfacher gehalten ist. Durch den Schüttwinkel des Sandes ist eine Verlagerung des Zwischenraumes der Aufschraubdüse und ein Eintreten des Sandes in das Filtratablaufrohr unmöglich. Ähnlich dem letzteren Prinzip, jedoch noch weiter vereinfacht,

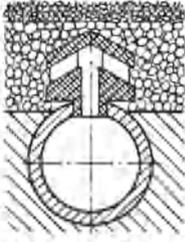


Abb. 610. Düse mit aufwärts gerichteten Löchern. (Z.VDI 1933, S. 485.)

ist der Filterboden mit durchgehenden, von Winkeleisen überdachten Schlitten (Abb. 611). Die einzelnen Glieder des Filterbodens von etwa 200 mm Breite werden durch Punktschweißung hergestellt. Soll das Filter rückgespült werden, so sind die Dachwinkel an ihren Kantengelocht, und zwar sind der Durchmesser und die Anzahl der Löcher so bemessen, daß die Luft durch dieselben fortgeleitet werden kann. (Z. VDI 1933, S. 485.)

Trommelfilter. Ein Druckfilter mit geschlossenem Filterraum und besonderer Einrichtung zur bequemen Reinigung der Filterschicht ist das Trommelfilter (Abb. 612). Dieses drehbare Filter wird in verschiedenen Größen von 1—50 m³/std Leistung hergestellt; dies ist so zu verstehen, daß je Quadratmeter und Stunde die Filtergeschwindigkeit 5 m beträgt. Das Wasser tritt bei *a* durch den hohlen Zapfen in das Filter ein, verteilt sich dann in vier Radialkanälen *b* und gelangt in den kreisförmigen Kanal *c*. In diesen münden auch die geschlitzten Messingrohre *d*, so daß das Wasser auch hierin eintreten kann. Das Wasser fließt in die Filterschicht (Sand) und durchdringt diese. Um die Achse des Filterkörpers herum sind einige Sammelrohre *e* angeordnet, das sind ebenfalls geschlitzte Messingrohre, die das filtrierte Wasser sammeln. Es fließt von hier aus in den Raum *f* und durch die Bohrung *g* der Achse ab. Die Rohre *d* und *e* sind leicht zugänglich, wenn man die Deckel der Kammern *c* und *f* löst. Nach einer gewissen Betriebszeit hat sich so viel Schlamm in dem Filter angesammelt, daß die Leistung beträchtlich zurückgeht. Der Wasserstrom wird nunmehr umgekehrt. Das Wasser tritt dann bei *g* ein, durchfließt den Raum *f*, die Rohre *e*, den Sand und tritt durch die Rohre *d*, den Raum *c*, die Kanäle *b* und die Bohrung *a* der Achse aus. Da dieser Gegenstrom allein nicht immer für eine vollkommene Reinigung genügt, wird durch Drehen des Filterkörpers die Wirkung unterstützt. Die Drehung erfolgt um die

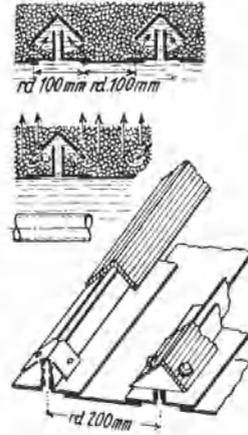


Abb. 611. Filterboden mit überdachten Schlitzdüsen. (Z.VDI 1933, S. 485.)

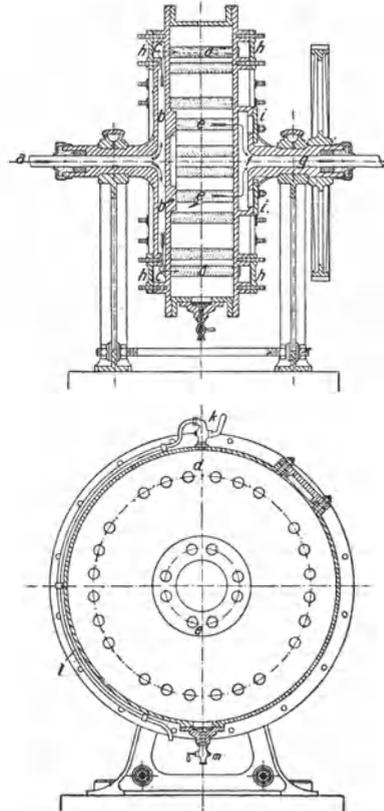


Abb. 612. Trommelfilter. (Nach Bühler-Jänecke, Filtern und Pressen.)

beiden festgelagerten Zapfen mit Hilfe einer Kurbel, die ein Zahnradgetriebe betätigt. Bei der Drehung kommt das lose geschichtete Filtermaterial in Bewegung, die Teilchen rutschen und die Körner reiben sich untereinander, wobei der Schlamm abgestoßen und vom Spülwasser mitgenommen wird.

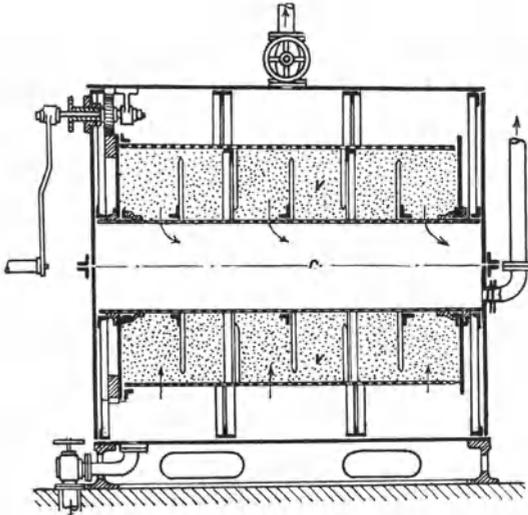


Abb. 613. Trommelfilter von *Bruch* und *Schlee*.

Die Reinigung des Filters kann durch Einblasen von Luft oder Dampf unterstützt werden. Für den Austritt der Luft ist oben ein Hahn *k* angebracht. Durch den Hahn *m* kann das Filter entleert werden. Die kleinen Filter besitzen gußeiserne Gehäuse, die großen Filter schmiedeiserne Zylinder mit Rollenlagerung. Ähnlich ist das drehbare Filter von *Kröhnke* (*Z. angew. Chem.* 1900, 1153) ausgeführt.

Das Filter von *Bruch* und *Schlee* (Abb. 613) arbeitet in folgender Weise: Das trübe Wasser tritt aus dem feststehenden Zylindermantel durch den drehbaren Filtereinsatz *v* gereinigt nach *c*. Zur Reinigung wird das Filter langsam gedreht und der Auslauf nach der Entleerungsleitung umgeschaltet. Beim Rückspülen unterstützen die eingebauten Rührer die Reinigung des Sandes.

Das Filter von *Missong* (*J. Gasbel. u. Wasserv.* 1912, S. 254, 445, 705) besteht aus mehreren drehbar angeordneten Kammern, welche in Arbeits-

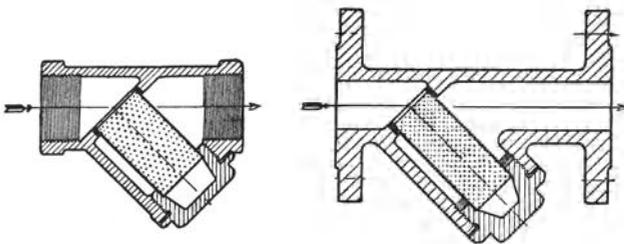


Abb. 614. Filter mit Siebeinsätzen (*Samson*).

stellung von oben nach unten durchflossen werden. Die Reinigung erfolgt durch Drehen, wobei der Sand beim Auswaschen geschüttelt wird; der Wasserzufluß wird stoßweise durch einen außerhalb liegenden Muschelschieber nach je

4 Umdrehungen geöffnet und geschlossen, wodurch die Reinigung des Sandes unterstützt wird.

Filter mit Siebeinsätzen zum Einbau in Leitungen dienen vor allem dazu, kleinere Verunreinigungen aus bewegten Flüssigkeiten zu entfernen. Abb. 614 (*Samson* in Frankfurt a. M.) zeigt eine Armatur, die einen schräg eingebauten Siebkörper besitzt, der alle von der Flüssigkeit mitgerissenen Festkörper zurückhält. Die Siebspannung wird genau wie nach Abb. 615 und 616

(Gebr. Böhling in Hamburg, R. Heiss in Augsburg) den auftretenden Teilchengrößen der Fremdstoffe angepaßt. Bei den Filtern nach Abb. 615 und 616 handelt es sich um eine Vorrichtung, die selbst für große Leistungen hergestellt, und bei der die Filterkörbe senkrecht von oben eingesetzt werden. Die Reinigung

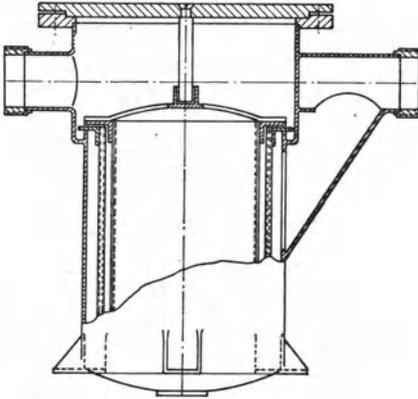


Abb. 615. Böhling-Filter.

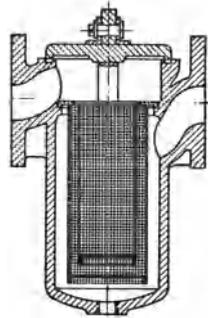
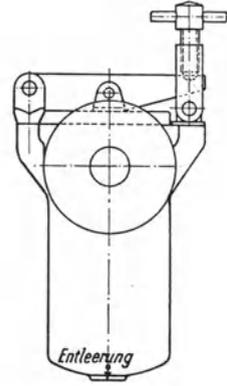


Abb. 616. Heiss-Filter.



der genannten Filter wird durch Herausnehmen der verschmutzten Filterkörbe vorgenommen, deren Einbau nach Entfernen der Filterrückstände leicht geschehen kann.

Stufen-Sandfilter. Die konstruktive Ausführung eines Filters, das Dekantation- und Filterwirkung in sich vereinigt, zeigt das Stufen-Sandfilter (Reichling & Co. in Königshof, Krefeld) Abb. 617. Es besteht aus 2, 3, 4 oder mehreren übereinander angeordneten, durch je eine Flüssigkeitssäule getrennten Filtern. Diese sind gelochte Platten, die in der Regel mit Kies, der von unten nach oben fortschreitend feiner genommen wird, belegt sind. Die Arbeitsweise des Filters ist folgende. Die zu reinigende Flüssigkeit tritt durch ein zentrales Zulaufrohr, das nach unten konisch erweitert ist, in das Filter und durchfließt von unten nach oben die einzelnen Filterschichten, um oben gereinigt das Filter zu verlassen. Der untere Raum *a* dient zur Beruhigung der Flüssigkeit, so daß hier die schwereren Schlämmtelchen durch Dekantation langsam zu Boden sinken. Die Unterseite der Schicht *b* hält durch Adsorption und Filterwirkung die größeren Teilchen zurück, die sich dann zusammenschichten und ebenfalls auf den Boden des Raumes *a* sinken, wobei sie einen großen Teil der aufsteigenden Schwebestoffe mit nach abwärts reißen. Die durch die Filterschicht *b* (15—25 mm Korngröße) hindurchgehenden Teilchen werden zum Teil von der Unterfläche der Schicht *c* (8—15 mm Korngröße) festgehalten und sinken, falls sie durch Anhäufung schwerer geworden sind, auf die Oberfläche der Schicht *b*.

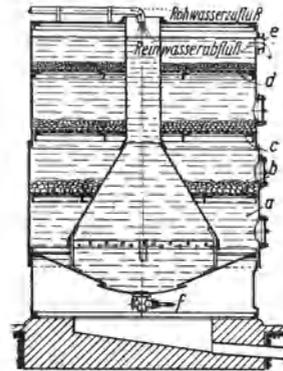


Abb. 617. Stufen-Sandfilter von Reichling.

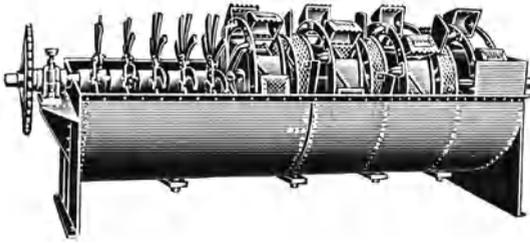


Abb. 618. Filtersand-Waschmaschine der Excelsior (Ansicht).

die letzte Schicht *d* die Flüssigkeit vollkommen gereinigt aus dem Stutzen *e* austritt. Die auf den Oberflächen der unteren Schicht *b* und *c* abgelagerten Schlamnteilchen bilden wie bei den anderen Sandfiltern eine für die Feinfiltration notwendige Schicht und bewirken außerdem durch das leichte Schweben im Flüssigkeitsraum zwischen den Schichten ein Zusammen-

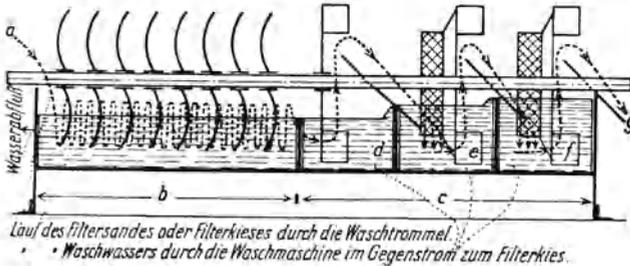


Abb. 619. Filtersand-Waschmaschine der Excelsior (Längsschnitt).

ballen der neu hinzukommenden Teilchen, um diese vor dem Durchdringen der folgenden Schicht zurückzuhalten. Ein Aufwirbeln des Schlammes ist bei passender Größenbestimmung ausgeschlossen, ebenso ein Verstopfen der Schichten, da die Teilchen nicht in diese eindringen, sondern sich nur als Filterschicht auf denselben ablagern. Die Filter bleiben länger betriebsfähig als gewöhnliche, die den Schlamm auf einmal zurückhalten müssen; im letzteren Falle muß das Filtermittel von vornherein feiner gewählt werden. Die Reinigung erfolgt in langen Zeitabständen; es genügt dabei, die Haupt-

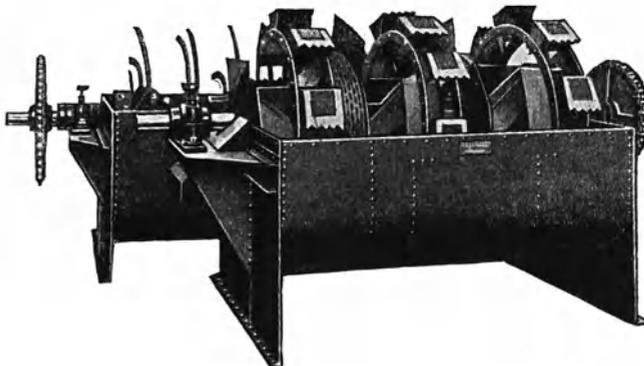


Abb. 620. Filtersand-Waschmaschine der Excelsior für stark verunreinigten Filtersand.

Ebenso verhalten sich die feinen Schlammteilchen, die, von der obersten Schicht *d* zurückgehalten, auf die Schicht *c* sinken.

Wie eingangs bereits erwähnt, richtet sich die Anzahl der Filterschichten nach dem Grad der Verschmutzung der Flüssigkeit, so daß nach dem Durchgang durch

die letzte Schicht *d* die Flüssigkeit vollkommen gereinigt aus dem Stutzen *e* austritt. Die auf den Oberflächen der unteren Schicht *b* und *c* abgelagerten Schlamnteilchen bilden wie bei den anderen Sandfiltern eine für die Feinfiltration notwendige Schicht und bewirken außerdem durch das leichte Schweben im Flüssigkeitsraum zwischen den Schichten ein Zusammen-

ballen der neu hinzukommenden Teilchen, um diese vor dem Durchdringen der folgenden Schicht zurückzuhalten. Ein Aufwirbeln des Schlammes ist bei passender

Größenbestimmung ausgeschlossen, ebenso ein Verstopfen der Schichten,

da die Teilchen nicht in diese eindringen, sondern sich nur als Filterschicht auf denselben ablagern. Die Filter bleiben länger betriebsfähig als gewöhnliche, die den Schlamm auf einmal zurückhalten müssen; im letzteren Falle muß das Filtermittel von vornherein feiner gewählt werden. Die Reinigung erfolgt in langen Zeitabständen; es genügt dabei, die Haupt-

schlammengen zu beseitigen. Zu diesem Zwecke wird auf das oberste Filter Waschflüssigkeit gegeben, die in entgegengesetzter Richtung wie bei der Filtration die Schichten durchfließt und den Schlamm nach abwärts spült. Jede Abteilung des Filters ist durch ein

besonderes Mannloch zugänglich, so daß die Reinigung des Sandes durch Rühren unterstützt werden kann. Der im unteren Raum *a* befindliche Schlamm wird durch einen Hahn *f* aus dem Filter abgelassen.

Filtersand-Waschmaschinen (Excelsior-Maschinenbau-Ges., Stuttgart). Der verschmutzte Filterkies oder Filtersand wird erfahrungsgemäß am besten anschließend an das Austragen aus den Filtern gewaschen und bis zur Wiederverwendung gelagert, da sich der Schmutz leichter abwäscht; zudem belüftet sich der Sand in gewaschenem Zustande während der Lagerung. Abb. 618 zeigt eine Filtersand-Waschmaschine in der Ansicht, Abb. 619 eine schematische Erläuterung des Arbeitsvorganges. Der Filterkies läuft im Gegenstrom zum Waschwasser durch die Maschine und tritt bei *a* in den ersten Teil *b*

und wird hier durch die auf einer Welle sitzenden Rührschweller stark durchwühlt, wobei der Schmutz von der Oberfläche des Sandes abgescheuert und von dem Waschwasser entfernt wird. Im zweiten Teil *c* wird der Sand durch Becherräder im Gegenstrom ausgewaschen, die in den durch Zwischenwände voneinander getrennten Trögen *d*, *e*, *f* eingebaut sind. Die Zwischenwände sind nach der Wassereintrittseite *g* zu kaskadenartig höher gebaut und verhindern dadurch, daß schmutziges Wasser rückwärts fließt. Die Becherräder sorgen für ein gründliches Auswaschen des Sandes, werfen diesen über die Zwischenwände hinweg von *d* nach *e*, von hier nach *f* und schließlich den entwässerten Sand über das Ausfallblech *g* aus der Maschine. Abb. 618 zeigt eine Waschmaschine für normale Verhältnisse (Tabelle 1), Abb. 620 eine solche für sehr stark durch Lehm, Tonschlamm, Eisen od. dgl. verunreinigten Filtersand. Die Waschmaschine nach Abb. 620

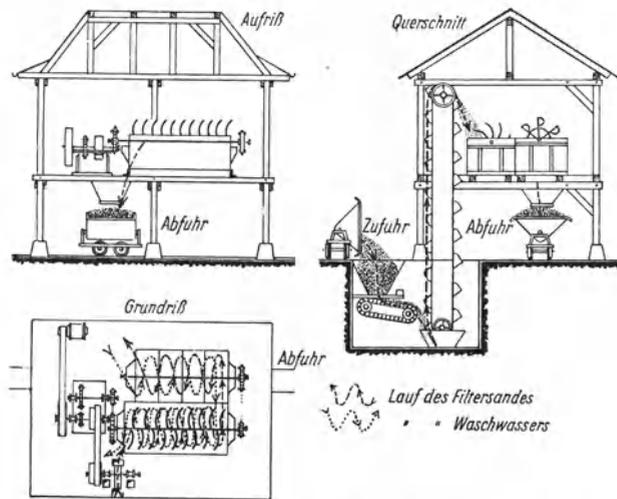


Abb. 621. Selbsttätige Filtersandwäsche der Excelsior.

rückwärts fließt. Die Becherräder sorgen für ein gründliches Auswaschen des Sandes, werfen diesen über die Zwischenwände hinweg von *d* nach *e*, von hier nach *f* und schließlich den entwässerten Sand über das Ausfallblech *g* aus der Maschine. Abb. 618 zeigt eine Waschmaschine für normale Verhältnisse (Tabelle 1), Abb. 620 eine solche für sehr stark durch Lehm, Tonschlamm, Eisen od. dgl. verunreinigten Filtersand. Die Waschmaschine nach Abb. 620

Tabelle 1.

Typ	Leistung	Tagesleistung	Außenmaße (m)			Gewicht kg	Betriebs- gewicht Tonnen	Kraft PS
	m ³ /std	m ³ /8std	Länge	Breite	Höhe			
C 1	1/2	4	2,15	0,90	1,10	600	1,7	1/2
C 2	1	8	2,30	1,10	1,20	900	2,5	3/4
C 3	2	16	2,60	1,25	1,35	1300	3,0	1
C 4	4	32	3,30	1,40	1,55	1900	4,5	2
C 5	6	48	3,40	1,60	1,75	2500	6,0	3
C 6	8	64	3,50	1,80	1,90	3100	7,5	4

unterscheidet sich von der gewöhnlichen Ausführung dadurch, daß an Stelle des einen Troges die Reinigungsmechanismen in zwei nebeneinanderliegenden Trögen eingebaut sind. Die Leistung und Größe der letztgenannten Wäscher ist in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2.

Typ	Leistung m ² /std	Tagesleistung m ² /8std	Außenmaße (m)			Gewicht kg	Betriebs- gewicht Tonnen	Kraft PS
			Länge	Breite	Höhe			
G 1	1/2	4	1,70	1,80	1,10	900	2,6	1/2
G 2	1	8	2,30	2,15	1,30	1700	4,2	1/2
G 3	2	16	2,70	2,50	1,50	2500	6,0	1
G 4	4	32	2,90	2,90	1,80	3300	7,6	2
G 5	6	48	2,90	3,20	1,85	4200	8,5	3
G 6	8	64	3,30	3,60	1,95	5100	11,0	4

Waschanlagen mit einer Tagesleistung von mehr als 20 m³ Filtersand werden in der Regel selbsttätig, wie Abb. 621, ausgeführt, wobei für die Zu- und Abfuhr des Filtersandes nur eine Bedienungsperson notwendig ist.

2. Filter mit gepreßtem Filtermittel.

Schraubenfilter (Abb. 622). Das druckfeste Gefäß *a* umschließt den Siebkorb *b*, der das aufbereitete

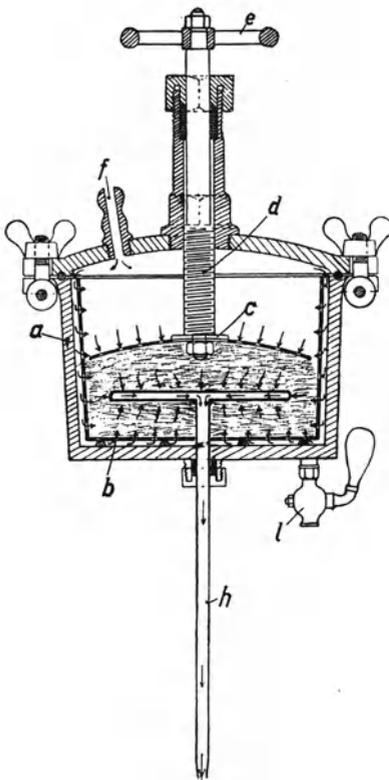


Abb. 622.) Schraubenfilter.

Filtermittel *c* (Papier, Wollfaser, Asbest oder ähnliches) aufnimmt. Durch eine von außen mittels Handrad *e* zu bedienende Schraubenspindel *d* wird das Filtermittel so stark zusammengepreßt, wie es die Umstände erfordern. Es wird also die Pressung des Filtermittels der Feinheit der Trübe angepaßt, indem die Schraubenspindel allmählich solange angezogen wird, bis das Filtrat klar abläuft. Nach dem Entlüften des Filters wird die Flüssigkeit von oben durch den Stutzen *f* in das Gefäß aufgegeben, dringt konzentrisch von außen zu dem in der Mitte der Filterschicht eingebetteten durchlässigen Filterkern *c* und wird durch ein Auslaufrohr *h* aus dem Filter geleitet. Da die Trübeilchen auf der Oberfläche des Filtermittels zurückgehalten werden, ist die Reinigung des Filters leicht in der Weise vorzunehmen, daß der Siebkorb herausgenommen, abgebürstet und abgewaschen wird. *l* ist ein Schlammablaßhahn. Das Filter, das unter Luftabschluß arbeitet, findet zur Filtration von Fruchtsäften, Fluidextrakten, Tinkturen usw. Verwendung.

Essigfilter (Deutsche Steinzeugwarenfabrik, Mannheim - Friedrichsfeld). Als Durchlauffilter oder auch als Druckfilter für geringen Druck wird meist das in

Abb. 623 gezeigte Filter zur Essigfiltration verwendet (Tabelle 3). In einem Steinzeuggefäß liegt über dem Boden eine mit einem Filtertuch bespannte Siebplatte, auf die das Filtermittel (Cellulose-Asbestwolle) aufgeschüttet wird. Gegen das Aufschwemmen und zum Zusammenpressen des Filtermittels wird dieses mit einem gelochten Deckel beschwert. Die zu filtrierende Flüssigkeit läuft durch den Stutzen in der Mitte des Deckels zu, durchsickert die Filterschicht und läuft klar am tiefsten Bodenstutzen ab.

Tabelle 3.

Nr.	A mm	B mm	C mm	Ungefähre Leistung Tagesliter (8 Std)	Nötiges Filtermittel (g)
1	350	195	90	1200— 1500	200
2	450	215	110	2500— 3000	400
3	600	255	150	4000— 5000	700
4	800	290	180	8000—10000	1000
5	1000	315	210	13000—15000	1600

Steinzeugfilter (Seitz, Kreuznach). Infolge seines Baustoffes (Abb. 624), Steinzeug, ist das Filter für Säuren in jeder Konzentration geeignet. Als Filterstoff wird eine durch Auswaschen wieder verwendbar zu machende

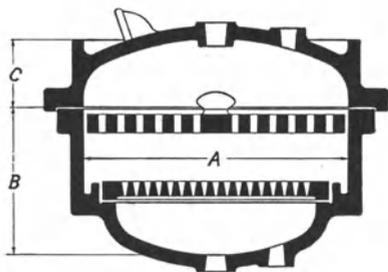


Abb. 623. Essigfilter aus Steinzeug
(Deutsche Steinzeugwarenfabrik).

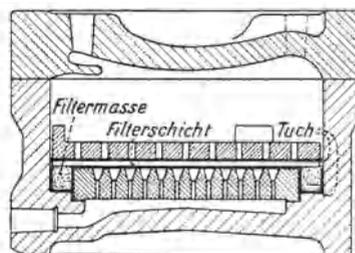


Abb. 624. Steinzeugfilter „Terra“
(Seitz).

Masse (Terra) benutzt. Die kleinen Modelle arbeiten mit Falldruck, während die großen Modelle unter Verwendung eines Druckfasses auch mit einer Pumpe bedient werden können.

Größe	I	II	III	IX
Tagesleistung in Liter	300—600	800—1600	2000—4000	4500—9000
Durchmesser in cm	35	55	70	100
Höhe in cm	100	100	100	100
Gewicht in kg	40	105	175	328

3. Nutschen* dienen zur Trennung von großen Niederschlagsmengen aus wenig Flüssigkeit. Die Ausführung der Nutschen kann offen, geschlossen, mit und

*) Dieser Abschnitt ist in Anlehnung an das grundlegende Werk *F. A. Bühler, Filtern und Pressen*, 2. Auflage, bearbeitet von *E. Jänecke* (Leipzig 1921, Otto Spamer), verfaßt, dem auch eine Anzahl von Abbildungen unter Benutzung des zugehörigen beschreibenden Textes entnommen wurde.

ohne Rührwerk sein und das Arbeiten mit Unter- oder Überdruck stattfinden. Da beim Bau keine empfindlichen Teile zur Verwendung kommen, sind die Nutschfilter billig, leicht zu bedienen und ohne Schwierigkeiten säurefest herzustellen. (Über Rißbildung s. unten.)

Offene Nutschen sind runde oder eckige Behälter ohne Deckel aus Metall, Holz, Steinzeug usw. und mit festem Boden aus porösen Platten oder aus durchlässigen Platten mit einem Überzug aus Filtertuch. Die Nutschen arbeiten mit Flüssigkeitsdruck, auch mit Anwendung von Unterdruck unter dem Filterboden oder mit Anwendung von Überdruck über dem Filterboden. In Abb. 625 bis 627 sind einfache Ausführungen von Nutschen dargestellt. Auf dem gelochten Boden *a* (Abb. 625) aus widerstandsfähigem Material liegt das Filtertuch *b*. Ein zylindrischer oder eckiger Aufsatz (Zarge) *c* ist gegen den

Filterboden fest abgedichtet. In Abb. 626 bildet das Filtertuch zugleich die Abdichtung der Fuge. Bei der in Abb. 627 dargestellten offenen Nutsche entweicht die Flüssigkeit in eine Grube o. dgl. Will man die abfiltrierte Flüssigkeit sammeln, so bringt man unter dem Siebboden *a* ein geschlossenes Gefäß *d* mit Ablauf *e* an (Abb. 626).

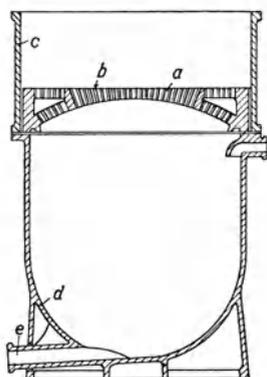


Abb. 625. Offene einfache Nutsche aus Steinzeug (Deutsche Steinzeugwarenfabrik).

Nutschen mit Bodenverstärkung. Bei größerem Durchmesser ist der Siebboden zu unterstützen, um die aufliegende Last aufzunehmen. Bei Vakuumnutschen ist eine statische Berechnung der Stützen erforderlich, da diese namhafte Drücke auszuhalten haben, bei Vollvakuum (1 Atm. Unterdruck) 10000 kg/m^2 . In einfachen Fällen genügt eine Unterstützung durch Unterzüge, wie in Abb. 628 dargestellt. Die Flacheisen *f* und *g* werden an die Wandung *d* angenietet und gewähren dem Siebboden *a* eine zuverlässige Auflage. Die Unterstützung kann auch so erfolgen, daß man Schemel aus

starken eisernen Ringen *f*, *g*, *h* (Abb. 629) mit Füßen *i*, *k*, *l* unter den Siebboden stellt. Die Füße stemmen sich gegen den Boden *m* und übertragen die Last auf diesen; sie können viel kürzer sein, als in Abb. 629 dargestellt ist. Bei den beschriebenen Ausführungen, mit Ausnahme der beiden Nutschen nach Abb. 628 und 629 kann die Filtration durch Vakuum beschleunigt werden. Dafür ist nur nötig, den Raum unter dem Siebboden mit einem luftverdünnten Raum zu verbinden, dessen Hülle der Beanspruchung durch Vakuum gewachsen sein muß. Die über dem Siebblech lagernde Schicht des Filterguts bildet einen ziemlich luftdichten Abschluß. Die Flüssigkeit geht unter dem atmosphärischen Überdruck durch das Filtergut hindurch. Falls die Luft einen nachteiligen Einfluß auf die Niederschläge ausübt, ist sie durch Schutzgase zu ersetzen.

Nutschen mit Zustreichvorrichtung. Bei den gewöhnlichen Nutschen können sich in dem trockener werdenden Materialkuchen durch das Schwinden der Masse Risse bilden (Abb. 630), durch welche die Luft wirkungslos einströmt. Da die Luft die Aufgabe hat, die in den capillaren Zwischenräumen des Filterguts befindliche Flüssigkeit zu verdrängen, dürfen die Teilchen des Filterguts nicht zu groß sein, da sonst die Luft freie Querschnitte findet,

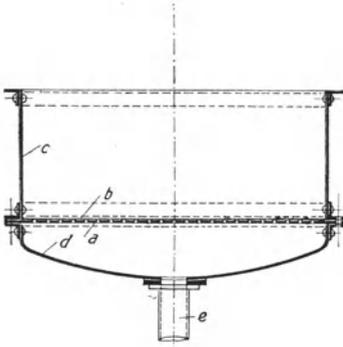


Abb. 626. Offene einfache Nutsche aus Metall mit Abflußrohr.
(Nach Bühler.)

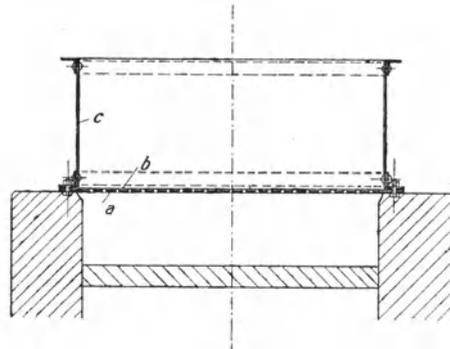


Abb. 627. Offene einfache Nutsche aus Metall mit Ablauf in eine Grube.
(Nach Bühler.)

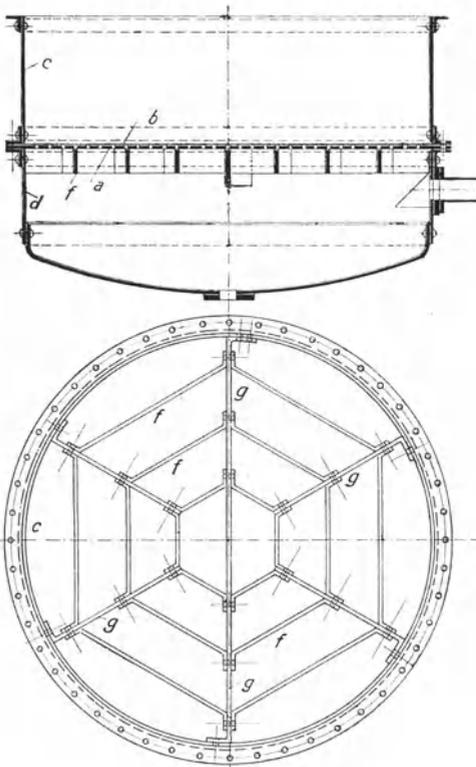


Abb. 628. Nutsche mit verstärktem Boden.
(Nach Bühler.)

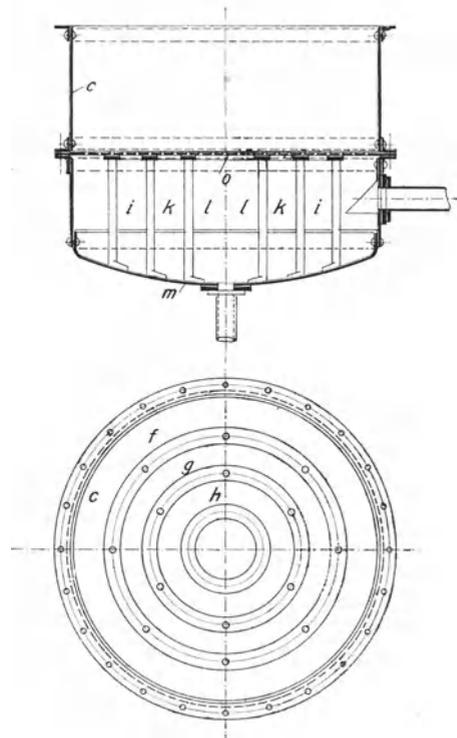


Abb. 629. Nutsche mit verstärktem Boden.
(Nach Bühler.)

durch die sie, dem Weg des kleinsten Widerstandes folgend, entweichen kann. Diesem Übelstand kann man durch Glattstreichen der Oberfläche vorbeugen. Da die Handarbeit zu teuer ist, verwendet man mechanisch

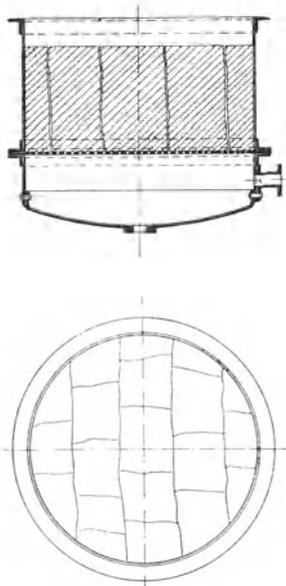


Abb. 630. Feinlernarte Arbeitsweise (Risse) der einfachen Nutsche. (Nach Bühler.)

betriebene Streichapparate (Abb. 631), die sich sehr gut bewährt haben. Auf dem Rande der Nutsche *a* läuft ein Wagen *b*, der den in der Höhe verstellbaren Streicher *c* trägt und mittels zweier endlosen Ketten hin und her gezogen wird. Hierzu dienen offene und gekreuzte Riemen, die durch Anschläge am Wagen *b* bzw. an einer

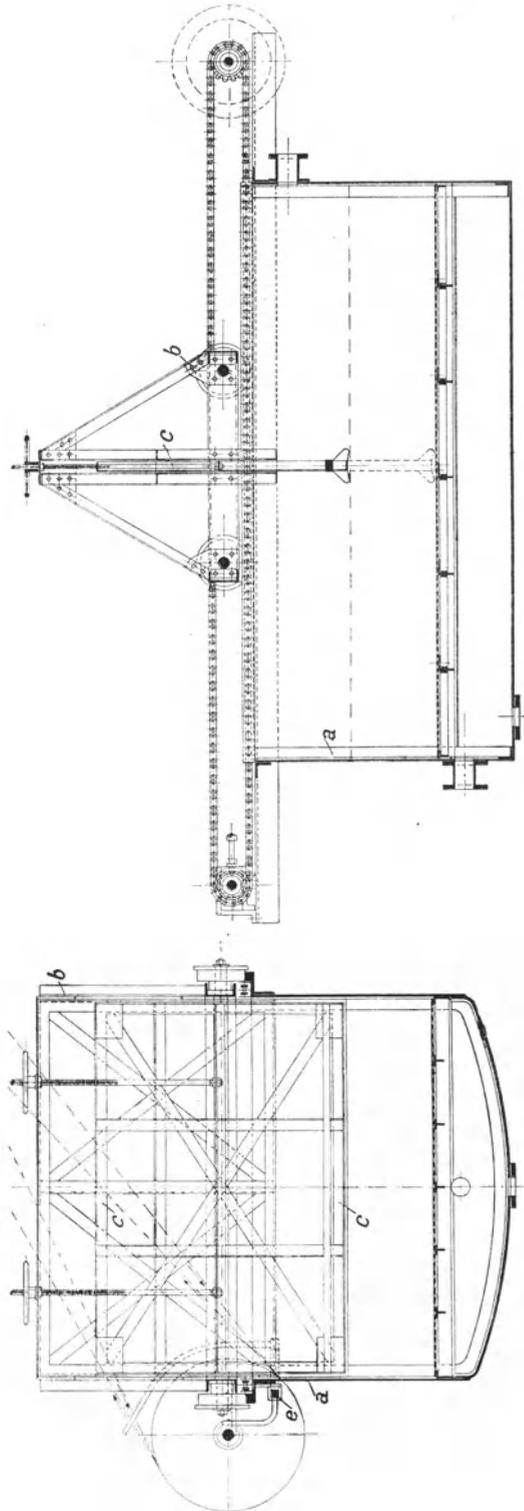


Abb. 631. Nutsche mit Zustreichvorrichtung. (Nach Bühler.)

Zugstange *e* umgesteuert werden. Eine ähnliche Ausführung, jedoch in zylindrischer geschlossener Anordnung, ist in Abb. 632 dargestellt. An dem zylindrischen Kessel ist außerdem zum Aussüßen und Ausdämpfen eine ge- lochte Schlange für Flüssigkeit, Dampf oder Luft angebracht. Massen, die sich sonst nur sehr schwer oder ungenügend abnutschen lassen, wie kohlen- saurer Kalk, gefällter Gips, lassen sich auf der mechanisch betriebenen Nutsche gut verarbeiten.

Nutschenanlagen mit mehreren Nutschen. Gewöhnlich sind mehrere Nutschen zu einer Batterie vereinigt und haben eine gemeinschaftliche Luft- pumpe, deren Auspuff für geringere Luftpressungen auch als Fördermittel zur Fortbewegung der Flüssigkeit dienen kann. Abb. 633 zeigt die Auf- stellung einer Anzahl solcher Nutschen. Die Nut- schen *I* bis *VI* sind mit ihren Abflußrohren *a* an eine gemeinschaftliche Sammel- leitung *b* angeschlossen. Die Rohre *a*, die zweck- mäßig noch ein Schauglas erhalten, können durch den Hahn *c* abgesperrt werden; von *b* aus gehen 2 An- schlußrohre *d* mit Hähnen oder Schiebern *e* nach den beiden tiefliegenden Sam- melbehältern *f*, in denen sich die durch die Vakuum- pumpe angesaugte Flüssig- keit sammelt. Zwischen den Behältern *f* und der Pumpe *n* ist ein Zwischen- gefäß *m* eingeschaltet, das

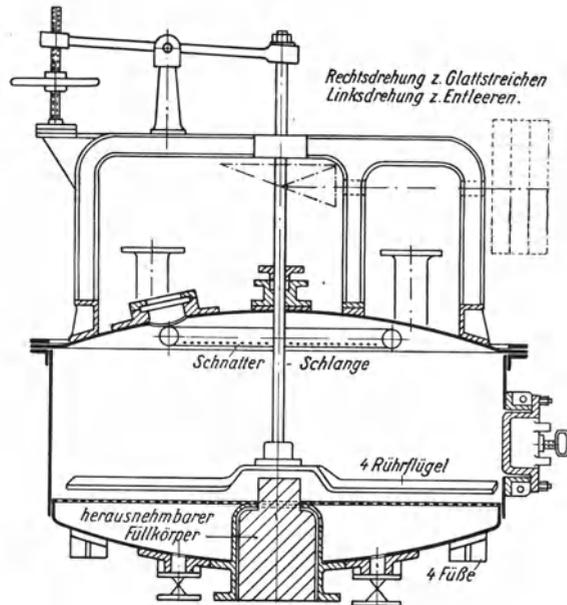
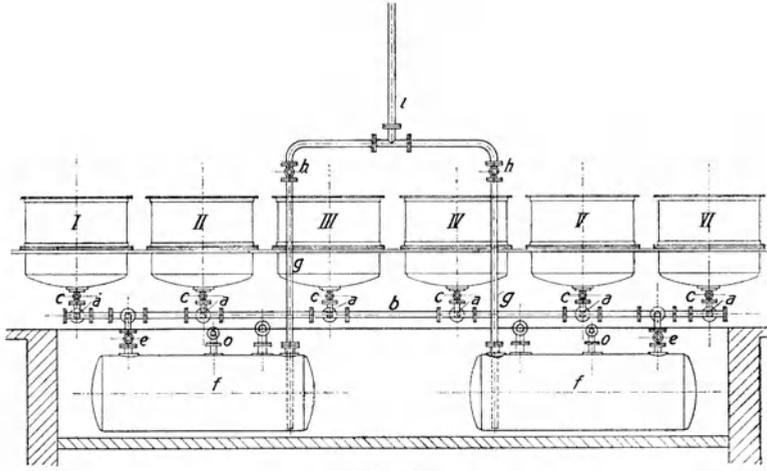
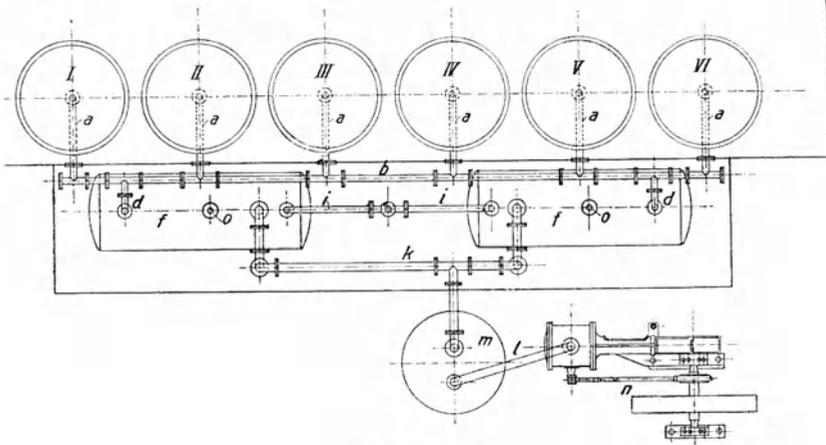


Abb. 632. Nutsche mit kreisender Zustreichvorrichtung.

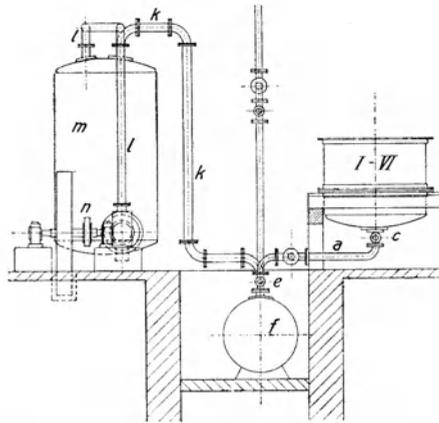
durch ein Rohr *k* mit *f* verbunden ist. Die Pumpe *n* entleert zuerst das Zwischengefäß *m*, das im Bedarfsfalle mit einem geeigneten Reagens für Alkali beschickt sein kann, und weiterhin durch *k* auch *f*. Falls die Reinigung durch das Zwischengefäß *m* nicht ausreicht, schaltet man zur Entfernung der letzten Dämpfe vor *m* und die Pumpe *n* weitere Schutzvorlagen, etwa einen Ströder- wascher (s. Schleuderwascher), mit einem geeigneten Absorptionsmittel ein. Die Entleerung der Vorlagen *f* erfolgt nach Ausschaltung von *m* und der Nut- schen dadurch, daß man bei *o* Preßluft eintreten läßt, welche die in *f* befind- liche Flüssigkeit durch das Rohr *g* und den Hahn *h* nach *i* drückt. Solange *f* unter Vakuum steht, ist *h* geschlossen. — Eine andere Anordnung einer Nutschenanlage ist in Abb. 634 angedeutet. Auf den kräftigen Sammelrohren *b* sitzen die Nutschen *a*, die zu je 10 bzw. 20 Stück an die Sammelgefäße *c* angeschlossen sind. Eine kräftige Vakuumpumpe *d* bringt das erforderliche Druckgefälle hervor. Die Lufthähne *e* sind beim Nutschen geschlossen. Ist das Abnutschen beendet, so werden die Ventile *f* geschlossen und die



Aufriß.



Grundriß.



Querschnitt.

Abb. 633. Nutschenanlage für mehrere Nutschen. (Nach Bühler.)

Hähne *e* geöffnet. Zur Entleerung der Sammelgefäße *c* dienen besondere Ventile.

Das Entleeren der beschriebenen Nutschen muß von Hand aus erfolgen. Dies bedingt Zeitverlust und Unkosten. Oft nimmt das Nutschen an sich so viel Zeit (zuweilen bis zu mehreren Tagen) in Anspruch, daß der Zeitaufwand für das Entleeren nicht allzu sehr ins Gewicht fällt. Oft dauert jedoch das Abnutschen nur kurze Zeit (z. B. bei grob kristallinischem Gut), so daß die Entleerung der meist geräumigen Nutschen unverhältnismäßig viel Zeitverlust

und Lohn verursachen würde. In gewöhnlichen Fällen rechnet man bei 200 mm hohem Auffüllrahmen etwa 20 Minuten einschließlich Füllen und Entleeren; es kommt aber auch auf den Durchmesser der Nutsche an. Die Nutschkuchenstärke ist hierbei mit rd. 90 mm angenommen, kann jedoch durch Wahl eines höheren Auffüllrahmens größer werden. Die Größe der Luftpumpe ist nach dem Material zu bemessen, weil grobes Filtergut die Flüssigkeit leichter, feineres schwerer durchläßt. Man rechnet gewöhnlich für 1 m² Nutschfläche eine Luftpumpenleistung von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ m³/min.

Mechanisch entleerbare Nutschen. Um die Handarbeit auszuschalten, sind die Nutschen um eine unter oder im Schwerpunkt liegende Achse drehbar, so daß bei der Drehung um 180° der gesamte Inhalt herausfällt. Solche Nutschen werden in großem Maßstab in der Kaliindustrie und in solchen Betrieben verwendet, in denen es sich um die Bewältigung großer Mengen nicht

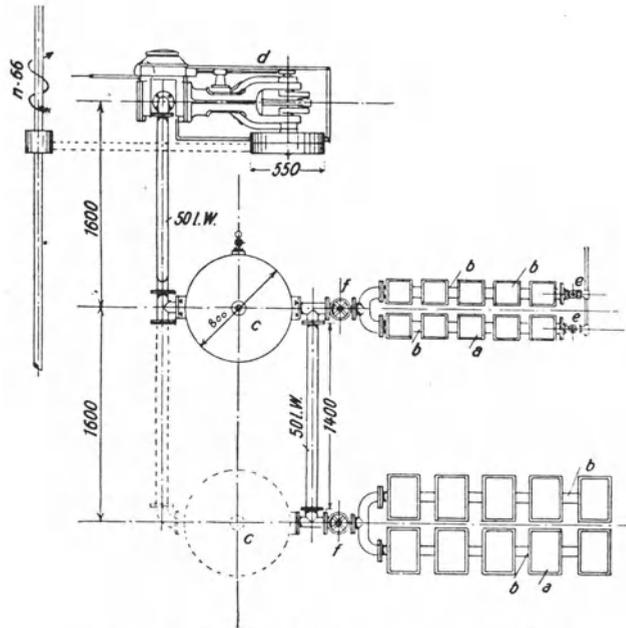


Abb. 634. Große Nutschenanlage (Grundriß).
(Nach Bühler.)

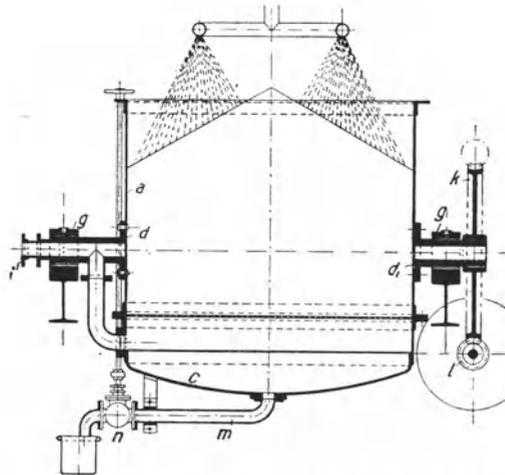


Abb. 635. Kippbare Nutsche mit Handbetrieb.
(Nach Bühler.)

schmierender, klebender oder backender Rückstände handelt. Im Mantel *a* der Nutsche (Abb. 635) sind 2 Zapfen angenietet, von denen der Zapfen *d* hohl sein muß und durch eine Rohrleitung mit dem Nutschenunterteil zwecks Evakuierung des Raumes unter dem Siebboden in Verbindung steht. Die

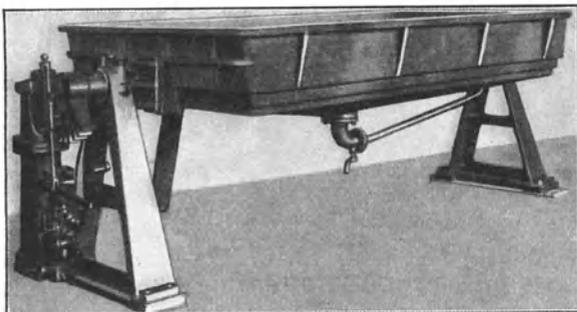


Abb. 636. Kippbare Nutsche mit Druckwasserbetrieb in Arbeitsstellung (Sangerhausen).

Vakuumleitung *i* ist durch eine Stopfbüchse an *d* angeschlossen. Die Zapfen ruhen in gewöhnlichen Lagern *g*. Der Zapfen *d*₁ trägt ein Schneckenrad *k*, das durch eine Schnecke *l* in Drehung versetzt werden kann. Wenn man den Nutschenunterteil gedrängter ausführt, so kann man die Nutsche bei oben geschlossenem Raum auch stetig dreh-

bar machen und in ihr die verschiedenen Operationen wie nach Abb. 632 vornehmen. Die ausgeschiedene Flüssigkeit kann durch ein Ablaufrohr *m* mit Hahn *n* entfernt werden. Die Hauptmenge der Flüssigkeit fließt durch den Flüssigkeitsdruck ab; der Hahn wird alsdann geschlossen, worauf sich

die unter Mitwirkung des Luftdruckes abgeschiedene Flüssigkeit in dem Raume unter dem Siebboden sammelt. Bevor die Nutsche gedreht wird, ist der Hahn *n* wieder zu öffnen. Bei stetig sich drehenden Nutschen wird die Leitung *n* durch einen der Drehzapfen herausgeführt. — Eine Einrichtung, bei der das Kippen nicht mehr von Hand aus, sondern hydraulisch betätigt wird, zeigen Abb. 636 und 637. Durch einen Steuer-

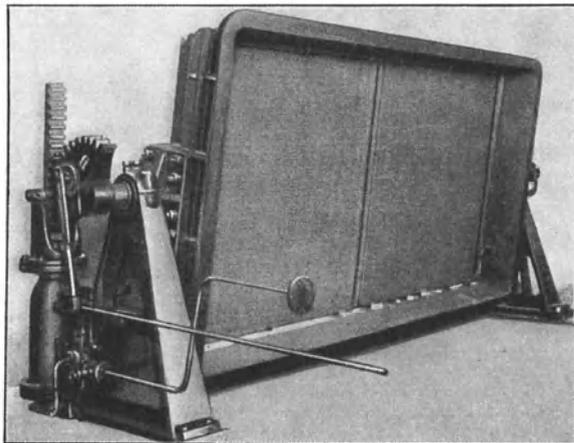


Abb. 637. Kippbare Nutsche mit Druckwasserbetrieb in Entleerungsstellung (Sangerhausen).

hebel wird die Druckwasserzufuhr eingeleitet und dadurch die Nutsche soweit gekippt, daß der Inhalt leicht herausfällt (Sangerhäuser Maschinenfabrik).

Häufig wird das Sieb bzw. das Filtertuch durch ein besonderes Decktuch geschützt, das zwischen die Flanschen des Nutschen-Ober- und -Unterteils geschraubt wird. Die Auswechslung der Tücher ist zeitraubend. Die gekippte Nutsche (Abb. 637) läßt besondere Druckrahmen erkennen, die durch Knag-

gen festgehalten werden. Aber die Rahmen und Knaggen gewährleisten kein dauernd gutes Abdichten des Filtertuchs und erschweren auch die Entleerung. Die Sangerhäuser Maschinenfabrik erzielt nun eine Verbesserung dadurch, daß ein besonderer Winkeleisenrahmen durch Exzenterbügel auf das Filtertuch aufgedrückt wird (Abb. 638). Auf dem Rande des Nutschenkörpers *a* ruht das entsprechend versteifte Tragsieb *c*; darauf liegt das Filtertuch *d*, das durch den Winkelrahmen *e* festgehalten wird. Dieser Filterrahmen wird durch den Verschuß nach abwärts gedrückt. Der Verschuß ist am Rand *b* der Nutsche befestigt. Dieser besteht aus einer Platte *f*, die mit dem einen vorspringenden Rand *g* auf den Rahmen *e* drückt und sich andererseits mit dem Vorsprung *h* auf den Flansch *h* stützt. Durch Herunterziehen des Hebels *i* drückt das Exzenter *k* mittels der Spannschraube *l* die Platte *f* herunter und hält das Filtertuch *d* fest.

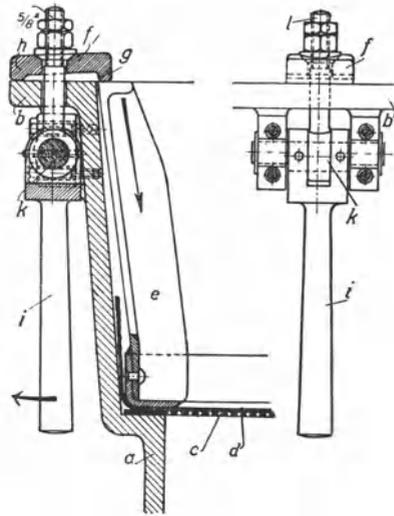


Abb. 638. Entleerungsvorrichtung (Sangerhausen).

Ein Nachteil der gewöhnlichen Nutschen besteht darin, daß man hohes Vakuum nicht anwenden kann und das Auswaschen und Spülen mit anderen unter Druck stehenden Flüssigkeiten sowie das Abdecken mit Dampf Schwierigkeiten bereitet; ebenso ist das Entleeren solcher Nutschen und das Auswechseln alter verstopfter Filtrierrahmen, auch das Einsetzen neuer Filtertücher zeitraubend und bedarf großer Sorgfalt. Diese Nachteile sind in der unten entleerbaren Nutsche nach Abb. 639 (Feld & Vorstmann, Bendorf a. Rh.) behoben; sie erlaubt schnelles Arbeiten, ermöglicht das Auswaschen mit gespanntem Dampf und gepreßter Luft unter Druck, so daß das Waschen nicht nur vollkommen, sondern auch schnell stattfindet. Das Auswechseln der Filterrahmen ist eine kleine Arbeit, die keines besonderen Geschickes bedarf. Das Einlegen der Filterrahmen geschieht so, daß der Rahmen über dem Filter luftdicht abschließt; hierdurch ist ein hohes Vakuum gesichert, das dem Filtern zugute kommt, ferner ist ein bequemes Entleeren in kurzer Zeit möglich. Der Inhalt fällt über die geneigte

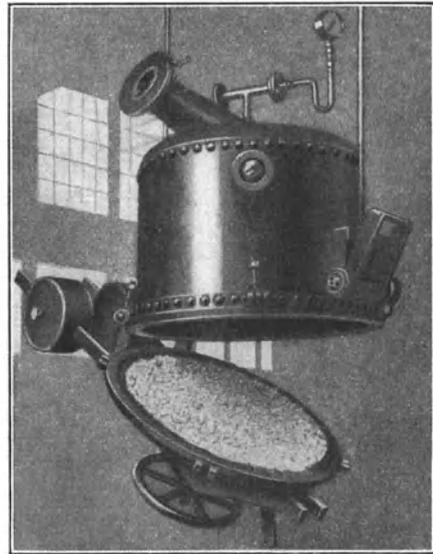


Abb. 639. Unten entleerbare Nutsche (Feld & Vorstmann).

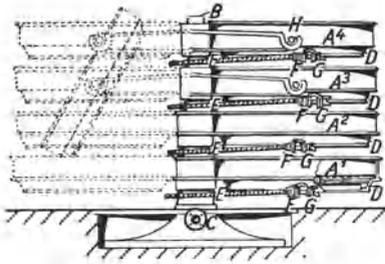


Abb. 640.

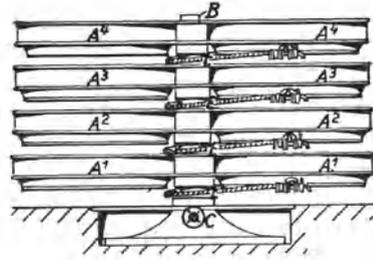


Abb. 641.

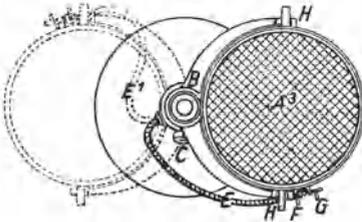


Abb. 642.

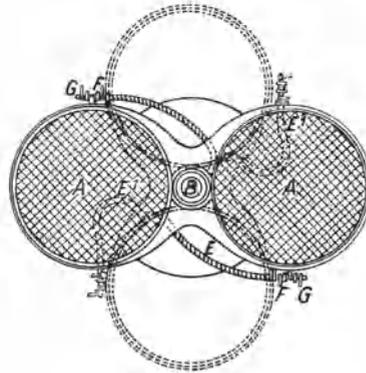


Abb. 643.

Abb. 640—643. Etagenmutsche (Fesca).

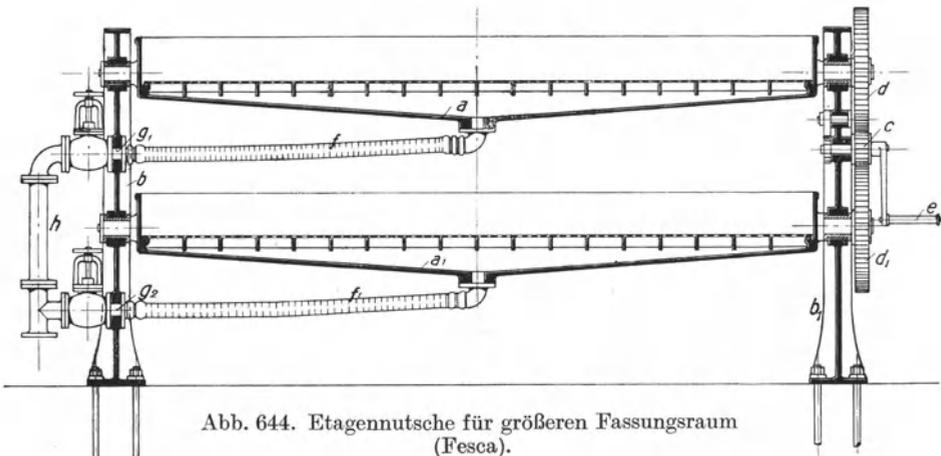


Abb. 644. Etagenmutsche für größeren Fassungsraum (Fesca).

Ebene des Nutschenbodens abwärts zur weiteren Verwendung. Vorbeschriebene Nutschen können auch batterieweise geschaltet und angeschlossen werden und gestatten je nach den gestellten Filtrationsanforderungen Drücke von 0 bis 10 at (Dampf, Druckluft oder Wasser), und zwar in beliebiger Richtung, d. h. man kann die Druckflüssigkeit von unten nach oben oder

von oben nach unten durch das Filter drücken. Ein gutes Anwendungsgebiet dieser Nutschen bilden die Vakuumeindampfapparate, weil durch sie die abgeschiedenen Salze ohne Störung des Vakuums entfernt werden können.

Etagennutschen. Zur Erzielung möglichst großer Ersparnisse an Grundfläche und Handarbeit dienen die Etagennutschen von A. Fesca & Co., Berlin. Wie aus den Abb. 640—643 ersichtlich ist, nehmen 4 Nutschen beim Beschicken und Entleeren die Grundfläche von 2, und 8 Nutschen diejenige von 4 Apparaten ein. Die Nutschen A_1 — A_4 sind um eine Säule B drehbar angeordnet, die zugleich das Absaugrohr bildet. Die Unterteile D der Nutschen sind mit B durch Schläuche E verbunden, durch die das Absaugen stattfindet. Die nach der Luftpumpe oder dem entleerten Zwischengefäß führende Saugleitung schließt sich bei C an. Die Ablasshähne G sind zur Entfernung der in D befindlichen abgenutzten Flüssigkeit bestimmt. Wenn eine Nutsche

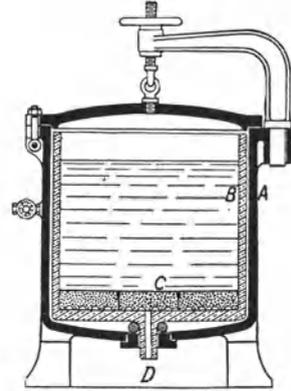


Abb. 645. Säurefestes Druckfilter mit Filterplatten.
(Nach Bühler.)

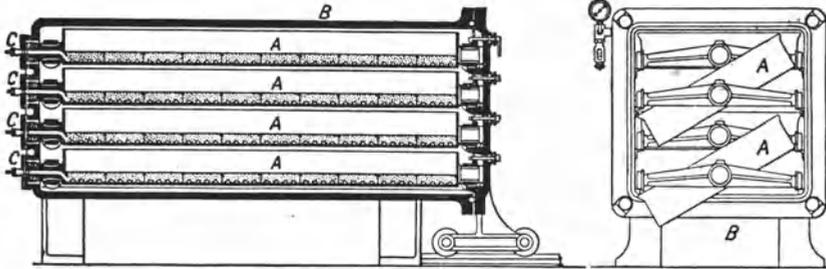


Abb. 646. Säurefestes Druckfilter mit mehreren Schalen (Bornett, Berlin).

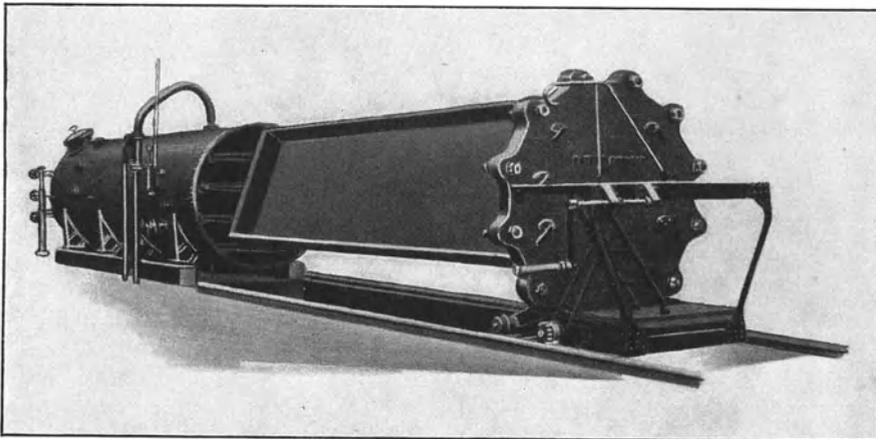


Abb. 647. Gesamtansicht des Bornettschen säurefesten Druckfilters mit mehreren Schalen.

entleert werden soll, wird sie in die punktiert gezeichnete Stellung gebracht und um die Zapfen H gekippt und entleert, um bequem wieder gefüllt werden zu können. Bei der Anordnung von 8 Nutschen auf einer Säule werden je zwei zusammen drehbar eingerichtet. Bei größerem Fassungsvermögen ist die Lagerung an einer Säule nicht mehr zweckmäßig. Man beschränkt sich auf 2 Etagen und lagert die Nutsche mittels 2 Zapfen drehbar. Die Konstruktion ergibt sich aus der Abb. 644. Die Nutschen a, a_1 sind in 2 Ständern b, b_1 drehbar. Die Drehung erfolgt vermittels des Zahnradgetriebes c, d, d_1 durch Drehen der Kurbel e . Von den Böden der Nutschen führen 2 biegsame Schläuche f, f_1 nach den am Gestell b angebrachten festen Rohranschlüssen g_1, g_2 , die

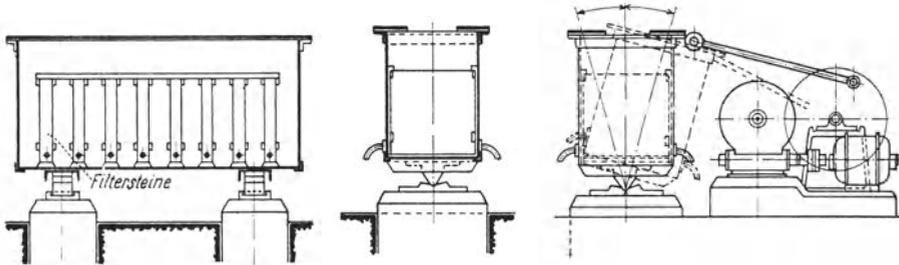
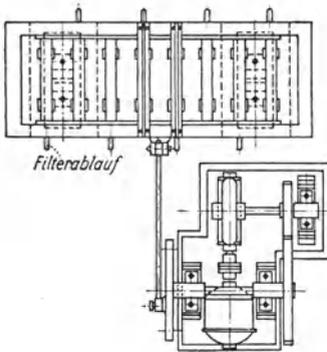


Abb. 648. Schwingnutsche (Schuler).



durch ein nach der Vorlage führendes Rohr h verbunden sind (s. auch hydraulische Kippvorrichtungen, Abb. 635 und 636).

Abb. 645 zeigt ein säurefestes Druckfilter mit Filterplatten. In einem druckfesten Behälter A , der entweder säurefest eingemauert ist oder einen chemisch widerstandsfähigen Einsatz B erhält, sind auf dem Boden die Filterplatten C eingesetzt. Das Filtrat fließt bei D ab. Die Filterschale B , die mit der Flüssigkeit in Berührung kommt, kann entsprechend den gestellten Anforderungen aus Steinzeug, Holz, Emaille, Aluminium usw. sein. Da

infolge des Druckausgleichs, selbst bei Drücken bis zu 100 at, keine mechanische Beanspruchung auftritt, können Materialien mit geringer mechanischer Festigkeit verwendet werden. Für größere Leistungen werden mehrere Schalen in einem Außenbehälter angeordnet (Abb. 646 u. 647). Die Auslaufkanäle münden jedoch im Gegensatz zur Einzelschale nicht in ein senkrecht gerichtetes, sondern in ein seitliches Auslaufrohr C . Die Schalen sind zwecks leichten Entleerens auf Schienen auszieh- und kippbar. Die Beobachtung der Füllung erfolgt durch druckfeste Schaugläser.

Schwingnutschen und Strömungsnutschen (Schuler, Grünstadt) werden dort angewandt, wo verhindert werden soll, daß sich auf den Filterflächen die Schmutzhaut von kolloiden Schlämmen absetzt oder anhaftet, weil diese Haut infolge ihres schleimigen, schmierigen Charakters die Filterfläche vollkommen abschließt. Es verstopft sich also nicht das Filtermittel, sondern die schleimige Haut der kolloiden, faserigen Verunreinigungen verhin-

dert jede Filtration. Sogenannte Filterhohlsteine werden senkrecht hintereinander in gewissem Abstand in einen Behälter gestellt. An einer unteren Ecke befindet sich die Öffnung, durch welche das im Innern des Steines gesammelte Filtrat abläuft. Bei der Schwingnutsche (Abb. 648) wird der mit dem zu reinigenden Produkt gefüllte Behälter in eine nach beiden Seiten ausschlagende Bewegung gebracht; bei der Strömungsnutsche (Abb. 649) wird das zu reinigende Produkt mittels einer Flotationspumpe in den Behälter gepumpt und im Innern zwischen entsprechend angeordneten Filterhohlsteinen einer zwangsläufigen raschen Strömung unterworfen. Die Geschwindigkeit der in Strömung oder in Schwingbewegung befindlichen Flüssig-

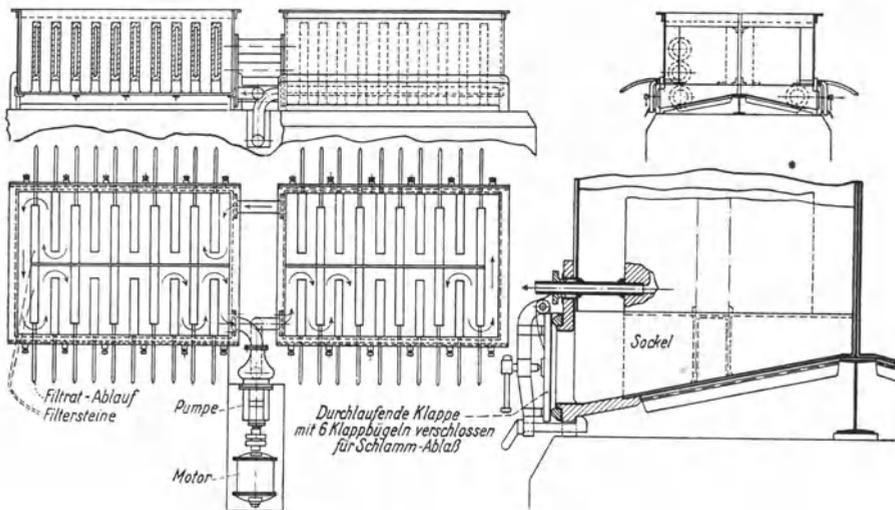


Abb. 649. Strömungsnutsche (Schuler).

keit muß unbedingt größer als die Einwirkung des Vakuums sein. In vielen Fällen wird kein Vakuum angewandt, sondern lediglich mit dem Druck der im Behälter befindlichen Flüssigkeit filtriert.

Lit. über Nutschen: *Bühler-Jänecke*, Filtern und Pressen, 2. Auflage (Leipzig 1921, Otto Spamer).

4. Beutelfilter (s. d.).

5. Chemische Filter.

Eine Abart der Gruben- und Sandfilter sind die chemischen Filter, die insbesondere zur Enthärtung und Aufbereitung des Wassers in Anwendung sind.

Filteranlagen mit chemischer Vorbehandlung (adsorptiven Fällungsmitteln). Flußwässer führen bei Hochwasser oft erhebliche Mengen Schlamm mit sich, der, aus lehmigem oder tonigem Untergrund herrührend, so feinkörniger Natur ist, daß eine einfache Filtration nicht ausreicht, um ihn aus dem Wasser zu entfernen. Hier muß eine chemische Vorbehandlung, z. B. durch schwefelsaure Tonerde, vorgenommen werden. Diese wird durch Alkali als voluminöses Aluminiumhydroxyd ausgeflockt, das die trübenden Bestandteile adsorptiv bindet und mit diesen leicht von dem gereinigten

Wasser getrennt werden kann. Da die chemische Umsetzung der Tonerde eine gewisse Zeit benötigt, ist es notwendig, einen Zwischenbehälter zu schaffen, in dem das Wasser nach dem Zusetzen der Tonerde sich 2—4 std. aufhält, ehe es auf die Filter gelangt. Abb. 650 zeigt eine solche Anlage in Eisenbeton. Das alkalische oder alkalisch aufbereitete, aus *a* zufließende Rohwasser wird zunächst in der Station *c* mit der nötigen Menge schwefelsaurer Tonerde oder Eisensulfat (meistens genügen 40 g/m^3) vermengt und dann in die Klärbecken geleitet, wo sich schon ein großer Teil der Niederschläge, beladen mit den

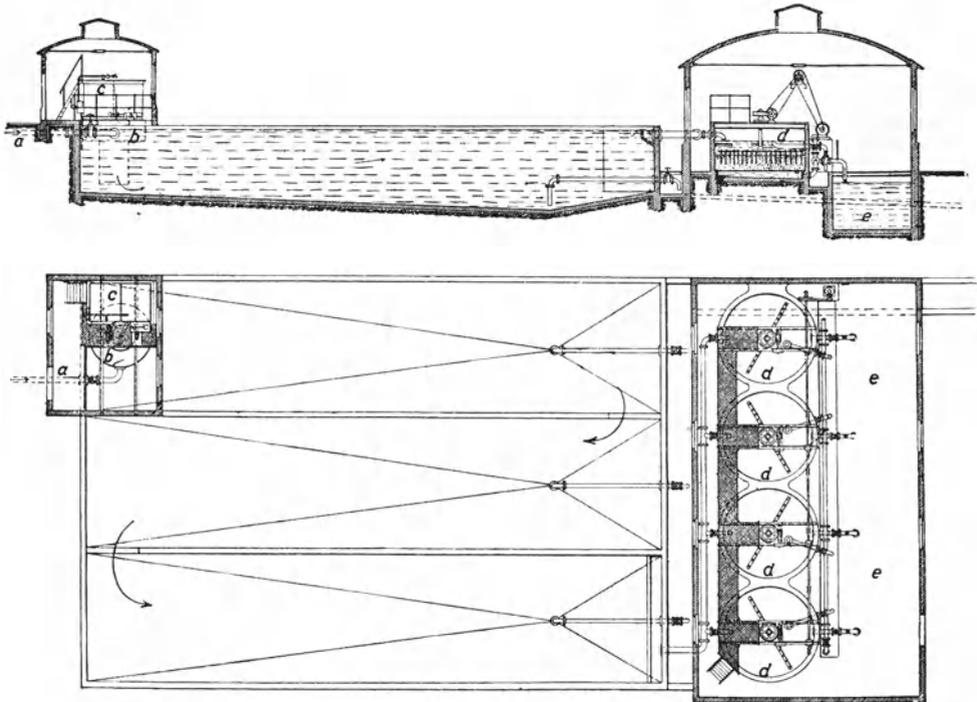


Abb. 650. Filteranlage mit chemischer Vorbehandlung (Halvor Breda).

fein suspendierten Verunreinigungen (Bakterien usw.), ablagert. Danach geht das Wasser durch die Filter *d*, um hinter diesen, in einem Behälter *e*, von den Metallhydroxyden gereinigt, gesammelt zu werden.

Permutitfilter bewirken durch ihre Zeolith-Filterschicht außer der Filtration gleichzeitig eine chemische Reinigung (Enthärtung) des Wassers. Die Permutite (künstliche Zeolithe) sind besonders Natriumaluminatsilicate mit der Fähigkeit, Natrium gegen Calcium oder Magnesium (in Salzlösungen) auszutauschen und so das Wasser zu enthärten.

Reinigungsfilter (Sterilisationsfilter). Diese sind für Nutzwasser unter Verwendung von Chemikalien, wie Chlor und Brom, Wasserstoffsperoxyd, Kaliumpermanganat, Kupferchlorür, Cersalzen oder aktiver Kohle, oder für Trinkwasser unter Verwendung von Katadynapparaten (Silber-Ionen-Sterilisation von Siemens) bestimmt. Zur Reinigung von Kesselspeisewasser sind

die chemischen Verfahren mit Kalk-Soda-Baryt oder Trinatriumphosphat, die physikalischen Verfahren mittels elektrischen Stromes von geringer Spannung, welche der Filtration vorausgehen, zu erwähnen (Antiskal A.-G., Glarus, Schweiz) oder das Cumberlandverfahren von Siemens sowie die Ausfällung der Kesselsteinbildner durch Wärmebehandlung (Entfernung der temporären Härte) in Anwendung (s. Bühler-Jänecke, Filtern und Pressen). Zur weitgehenden Reinigung bzw. Gewinnung von destilliertem Wasser dienen die stationären elektroosmotischen Wasserreinigungsanlagen (Siemens, s. Z. VDI 1933, S. 132, und S. 413 des vorliegenden Werkes).

Enteisungsfilter. Eisenhaltiges Wasser zeigt, sobald es mit der Luft in Berührung kommt, trübes Aussehen, unangenehmen Geschmack, bewirkt einen rostfarbigen Überzug aller Gegenstände und beim Fortleiten eine Verschlammung der Rohrleitungen. Die Verwendung solcher Wässer für Genuß- und Fabrikationszwecke bedingt in den meisten Fällen eine Reinigung, die in zwei Arbeitsgänge zerfällt, einen chemischen nach der summarischen Gleichung $2 \text{FeCO}_3 + 3 \text{O} + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2(\text{OH})_6 + 2 \text{CO}_3$ und einen physikalischen. Diese beiden Vorgänge treten schon beim längeren Stehen von eisenhaltigem Wasser in Berührung mit Luft von selbst auf, jedoch ist die Reinigung unvollkommen und erfordert allzulange Zeit. Zur Beschleunigung der Ausscheidung des Eisens wird die Luft in dem Wasser entweder durch freien Fall, feine Zerstäubung mittels Düsen (Abb. 651), Mischluftpumpen, Schleierührer, Waschtürme u. ä. fein verteilt. In den letztgenannten rieselt das Wasser von

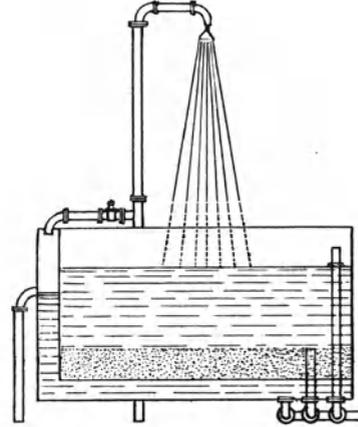


Abb. 651. Enteisungsfilter mit Zerstäubungsdüse.

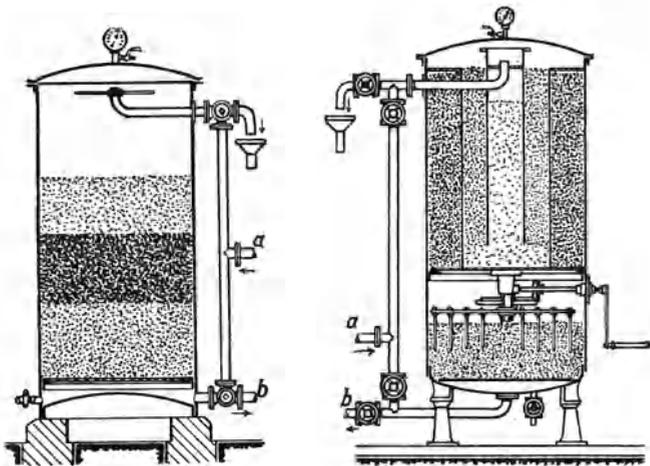


Abb. 652 und 653. Enteisungsfilter von Schumann.

oben nach unten durch Körnerhäufwerk (Koks), das auf Siebe geschüttet ist, und wird beim Abtropfen von den Sieben mit Luft behandelt. Diese Behandlung wird so oft wiederholt, bis das gelöste Eisen völlig ausgeflockt ist.

Der Sauerstoff der Luft bewirkt die Bildung eines löslichen Hydrosols, das bei weiterem Einfluß des Sauerstoffs als unlösliches Eisenoxydhydrat

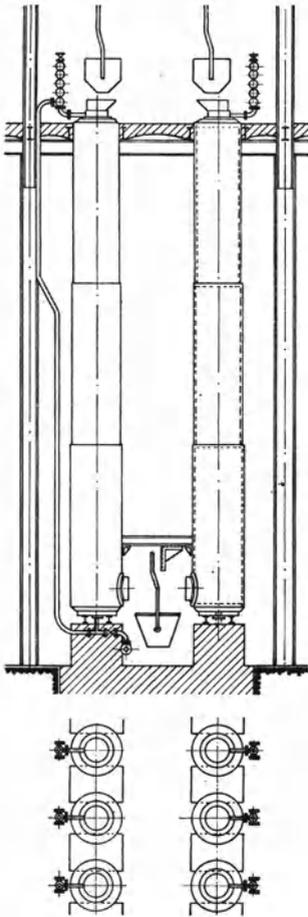


Abb. 654. Knochenkohlenfilter (Grevenbroich).

ausflockt; dieses scheidet sich an den Grobflächen (Sand, Kies u. dgl.) oder an dem schon ausgeflockten Eisenniederschlag ab. Die Enteisung erfolgt am leichtesten bei kohlensauren, schwerer bei schwefelsauren und am schwersten bei humusauren Eisenverbindungen, die besonders bei Wasser in Braunkohlengebieten zu finden sind. Die nun im Wasser schwebenden Trübeilchen werden in einem Kiesfilter entfernt. Meist ist die Körnerschüttung für die Behandlung mit Luft und das Kiesfilter in einem Behälter untergebracht, wie in Abb. 652 und 653 dargestellt ist. Hier tritt das Rohwasser beim Stutzen *a* in den oberen Teil des Filters, durchläuft die einzelnen Filterschichten und tritt durch den Stutzen *b* gereinigt aus.

Adsorptiv-Knochenkohlenfilter (Abb. 654) der Maschinenfabrik Grevenbroich A.-G., Magdeburg (s. auch „Die Gasmasken“, Zeitschr. f. Atemschutz, 1935, Heft 2). Für die Filtration und Entfärbung mit Knochenkohle verwendet man vorzugsweise hohe zylindrische Gefäße, deren Verhältnis von Durchmesser zu Höhe ungefähr 1:7 bis 1:12 ist, so daß der Weg der zu filtrierenden Flüssigkeit möglichst groß ist und die Knochenkohle gut ausgenutzt wird. Je kleiner der Querschnitt des Filterbehälters ist, um so besser ist ein Auswaschen der Kohle möglich. Die Gefäße erhalten über dem Boden einen gelochten Einsatz, der zum Zurückhalten feiner Teilchen mit einem Filtertuch überspannt ist. Am Deckel befindet sich der Anschluß für den Zulauf der Trübe, die durch ein Verteilerrohr auf die Filterfläche gegeben wird, ferner ein Mannloch für das Einfüllen der Knochenkohle sowie der Anschluß für Spülwasser und Dampf und ein Entlüftungshahn. Über dem gelochten Boden ist ebenfalls ein Mannloch angebracht, um die erschöpfte Knochenkohle entfernen zu können, damit sie nach Wiederbelebung wieder zur Filtration Verwendung finden kann. Am Boden des Behälters befindet sich der Ablauf für das Filtrat. Das Einfüllen der Knochenkohle geschieht

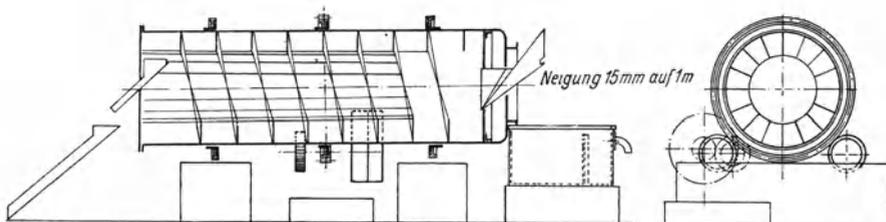


Abb. 655. Knochenkohlenwäsche (Grevenbroich).

am zweckmäßigsten in der Weise, daß der Behälter bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt und die Kohle eingeschüttet wird, so daß eine gleichmäßige und feste Lagerung derselben gewährleistet ist. Das Wasser wird dann abgelassen und die Kohle von oben so lange mit Dampf entlüftet, bis dieser am unteren Ausgang austritt. Beim Filtrieren, das heißt beim Zulaufen der Trübe, wird am Anfang die Luft so lange abgelassen, bis das Filter voll ist, und dann das Ventil für den Filteraustritt geöffnet. Zu Beginn der Filtration läuft das Filtrat

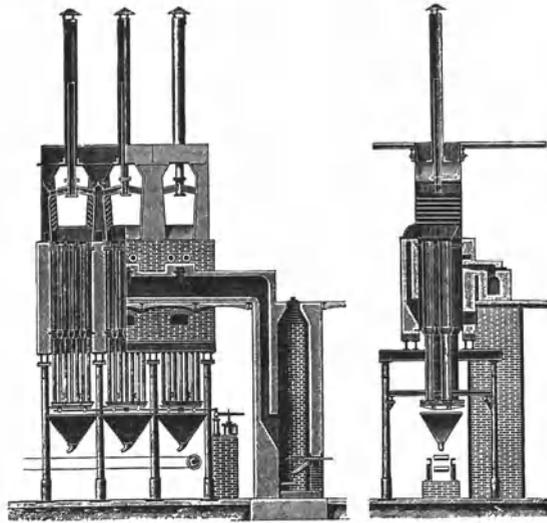


Abb. 656. Wiederbelebungssofen für Knochenkohle (Grevembroich).

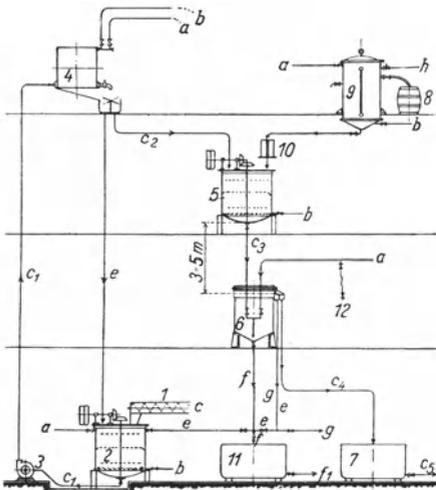


Abb. 657. Entfärbungsanlage für Einrührverfahren mit Beutelfiltern (Lurgi).

- | | | |
|---|---------------------------------------|---------|
| 1 Transportschnecke | a Wasser | b Dampf |
| 2 Auflösepfanne | c Zucker, | |
| 3 Pumpe (presse) | c ₁ Kläre | |
| 4 Vorfiltration (Filter-) | c ₂ Kläre vorfiltriert | |
| 5 Mischgefäß (Kläre-) | c ₃ Kläre vorfiltriert mit | |
| | E-Kohle vermischt | |
| 6 Entfärbungsfilter (Beutelfilter) | c ₄ entfärbte Kläre | |
| 7 Sammelbehälter für entfärbte Kläre | c ₅ zur Verkochung | |
| 8 Kohlenbehält. (Faß od. Sack) | d Kohlen- | |
| 9 Anrührgefäß (Sack) | e Vorlauf | |
| 10 Dosiergefäß | f gebrauchte Kohle | |
| 11 Sammelkasten für gebrauchte Entfärbungskohle | f ₁ zur II. Kläre | |
| 12 Spritzschlauch | oder Saturation | |
| | oder zum Kanal | |
| | g Absüßwasser | |
| | h Luftleere | |

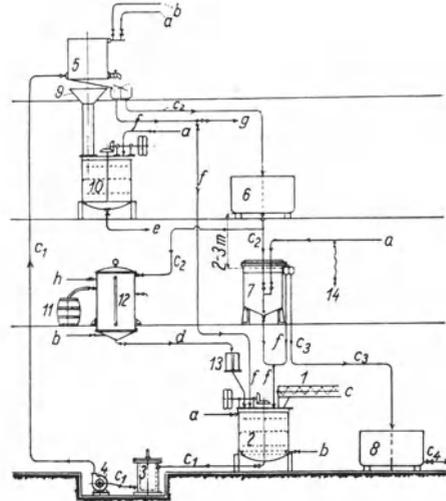


Abb. 658. Entfärbungsanlage für Einrührverfahren mit Filterpressen (Lurgi).

- | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 Transportschnecke | a Wasser | b Dampf |
| 2 Lösepfanne | c Zucker | |
| 3 Steinfänger | 4 Pumpe | c ₁ Kläre mit Kohle ver- |
| 5 Entfärbungskohlefil- | c ₂ Kläre entfärbt [setzt | |
| tration (Filterpresse) | c ₃ Kläre entfärbt und | |
| 6 Druckkasten | c ₄ zur Verkochung | |
| 7 Nachfiltration (Beutelfilter) | d Kohlen- | |
| 8 Sammelkasten für entfärbte Kläre | e 1 × gebrauchte Kohle | |
| 9 Füllgosse | nach der II. Kläre | |
| 10 Kohlenbreitgefäß | oder Saturation | |
| 11 Kohlenbehält. (Faß od. Sack) | f Vorlauf | |
| 12 Anrührgefäß | g Absüßwasser | |
| 13 Dosiergefäß | h Luftleere | |
| 14 Spritzschlauch | | |

meist etwas trübe; deshalb muß der Vorlauf so lange über das Filter zurückgeführt werden, bis er vollkommen klar ist; alsdann nimmt die Filtration ihren regelmäßigen Verlauf. Die verschmutzte Filterkohle kann nicht rückgespült werden, sondern muß unter Zusatz von Chemikalien in der Filtrationsrichtung ausgewaschen oder, wenn dies unmöglich ist, aus dem Filter entfernt werden. Die Methoden der Kohlenreinigung sind je nach der Verunreinigung verschieden.

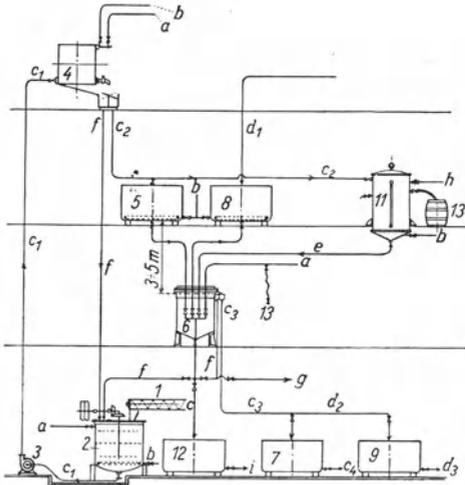


Abb. 659. Entfärbungsanlage für Schichtverfahren (Lurgi).

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1 Transportschnecke | a Wasser |
| 2 Auflösepfanne für I. Kläre | b Dampf |
| 3 Pumpe | c Zucker |
| 4 Vorfiltration (Filterpresse) | c ₁ Kläre I |
| 5 Druckkasten für I. Kläre | c ₂ Kläre I vorfiltriert |
| 6 Entfärbungskohlefilter (Beutelfilter) | c ₃ Kläre I entfärbt |
| 7 Sammelkasten für entfärbte I. Kläre | c ₁ zur Verkochung |
| 8 Druckkasten für vorfiltrierte II. Kläre | d ₁ Kläre II vorfiltriert |
| 9 Sammelkasten für entfärbte II. Kläre | d ₂ Kläre II entfärbt |
| 10 Entfärbungskohlenbehälter (Faß oder Sack) | d ₃ zur Verkochung |
| 11 Anrührgefäß | e Entfärbungskohlenaufschlämmung |
| 12 Sammelkasten für erschöpfte Kohle | f Vorlauf |
| 13 Spritzschlauch | g Absüßwasser |
| | h Luftleere |
| | i zur Saturation oder zum Kanal |

Die Regenerierung der Kohle erfolgt in besonderen Wasch-, Dämpf- und Glühanlagen (Abb. 655 und 656, Maschinenf. Grevenbroich). Ähnliche Regenerierungsanlagen bauen auch Maschinenf. Buckau R. Wolf A.-G., Lurgi, Frankfurt a. M. (Entfärbungskohle).

Zur Filtration und Entfärbung von trüben Lösungen und Flüssigkeiten dienen außer dem beschriebenen Knochenkohlenfilter auch solche mit Aktivkohle, z. B. Norit, Carboraffin, Esbit (Lurgi). Die angewandte Aktivkohle ist vegetabilischen Ursprungs und erhält nach ihrer Verkohlung durch das Aktivieren zahllose ultramikroskopisch feine Poren und folglich eine große innere Oberfläche, die adsorptiv auf die zu entfernenden Stoffe einwirkt, weshalb sie sich zur Reinigung chemischer Produkte, zur Trinkwasserreinigung und besonders zur Entfärbung eignet. Es sind für den Arbeitsvorgang zwei Verfahren in Anwendung: das Einrührverfahren und das Schichtverfahren. — Das Einrührverfahren (Abb. 657 und 658). Hier wird die Aktivkohle in die durch ein Vorfilter (Filterpresse) von den gröberen Verunreinigungen befreite Flüssig-

keit je nach der erforderlichen Berührungszeit mit der Kohle eingerührt und dann über Rahmenfilterpressen, Beutelfilter oder Sweetland-Filter usw. abfiltriert. Da die Filter anfangs alle etwas trübe laufen, ist der Vorlauf immer wieder zum Ausgangsbehälter zurückzuleiten. Bei der Arbeit mit Beutelfiltern ist die mit Kohle angerührte Flüssigkeit mit einem statischen Druck von 3—5 m WS dem Filter zuzuführen, da sonst bei stoßweiser Zugabe die an den Filtern haftende Kohlenmasse leicht abfallen kann und ein Trüblaufen damit verbunden wäre. Die an den Filtern abgesetzte Kohlenmasse trägt ihrerseits wieder zur Entfärbung bei, weshalb das Einrührverfahren auch

die Vorteile eines geringen Verbrauchs an Aktivkohle bietet. — Das Schichtverfahren (Abb. 659 und 660) wird zweckmäßig angewandt, wenn eine hohe Entfärbung verlangt wird und mehrere Lösungen entfärbt werden sollen. Hierzu eignet sich besonders das Carboraffin, das gegenüber den anderen Aktiv-

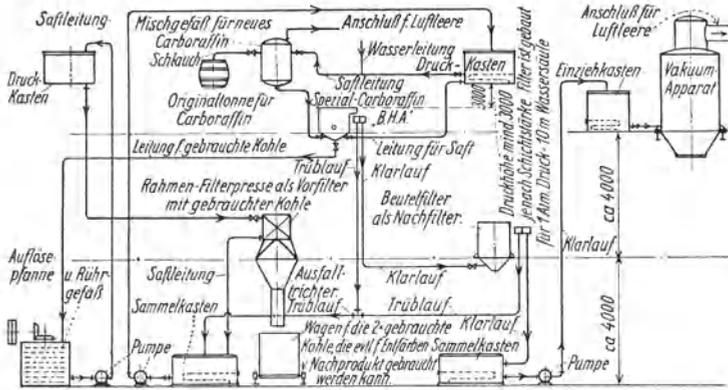


Abb. 660. Entfärbungsanlage mittels Carboraffin (Lurgi).

kohlen eine wesentlich höhere Entfärbungskraft besitzt und deshalb schon nach kurzer Berührung mit der zu klärenden Flüssigkeit gute Ergebnisse liefert. Die mit klarer Flüssigkeit oder Wasser angerührte Aktivkohle wird auf ein geeignetes Beutefilter oder auf die Filterfläche einer Rahmenfilter-

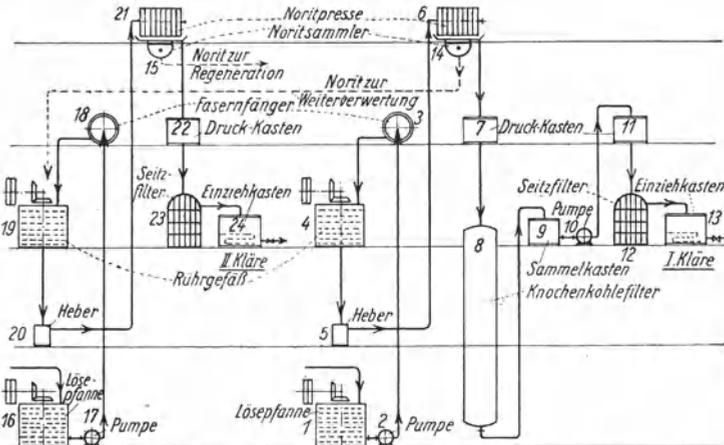


Abb. 661. Kombinierte Entfärbungsanlage (Norit mit Kohlenfilter; Lurgi).

presse 10 mm oder stärker aufgeschwemmt, dann wird die zu entfärbende Flüssigkeit, die einer Vorfiltration unterzogen werden muß, langsam durchgeleitet. Die Filtrationsleistung beträgt bei dem Schichtverfahren 80 bis 100 l/m² · std, die möglichst nicht überschritten werden soll, da die zu klärende Flüssigkeit eine gewisse Zeit mit der Aktivkohle in Berührung sein muß und auch die angeschwemmte Kohlenschicht nicht zerstört werden darf. Die er-

schöpfte Kohle kann durch Umschalten zum Vorklären einer trüben Lösung verwendet werden und scheidet erst bei völliger Unbrauchbarkeit aus. Dann kann sie durch chemische oder thermische Regeneration wieder verwendbar gemacht werden. — Bei den höchsten Anforderungen hinsichtlich Farblosigkeit kann man die beiden Arbeitsweisen, das Einrührverfahren und das Schichtverfahren, vereinigen; ebenso ist eine Verbindung der Arbeit mit Entfärbungskohlen- und Knochenkohlenfiltern möglich (Abb. 661).

b) Filterflächen vorwiegend senkrecht.

1. **Taschen- oder Rahmenfilter** bringen möglichst viel Filterfläche auf engstem Raum unter; sie bilden den Übergang zu den Filterpressen. Die Flüssigkeit

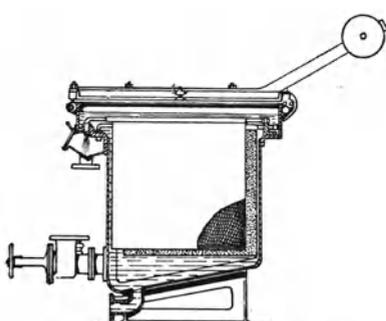


Abb. 662. Rahmenfilter, Bauart Daněk-Rasmus. (Querschnitt, nach Bühler-Jänecke, Filtern und Pressen).

tritt der Schwerkraftwirkung folgend durch die Filterrahmen (Daněk-Rasmus, Delos, Scheibler in Elberfeld, Anschwemmfilter von Seitz und ähnliche), im andern Falle stehen die Filtertaschen unter Vakuum (Buttersfilter in der Cyanidlaugerei) oder

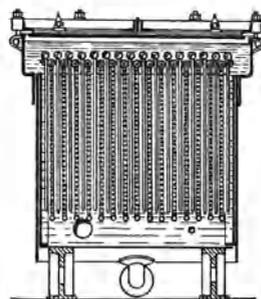


Abb. 663. Rahmenfilter, Bauart Daněk-Rasmus. (Längsschnitt, nach Bühler-Jänecke, Filt. u. Pressen.)

wird die Flüssigkeit aus dem das Filter umschließenden Drucktopf durch die Filterelemente gepreßt (Kelly- und Easifilt-Sweetland-Pressen, Druckkammerpressen von Ehrenstein (Neidig in Mannheim), letztere zur Ölfiltration bei Turbinenregulatoren oder zur Filtration von Kunstseidenspinnlösungen). Die wirksame Filterfläche bei diesen Filtern wird als Wellblech oder Eisenrahmen ausgebildet, der mit Drahtspiralen oder auch von

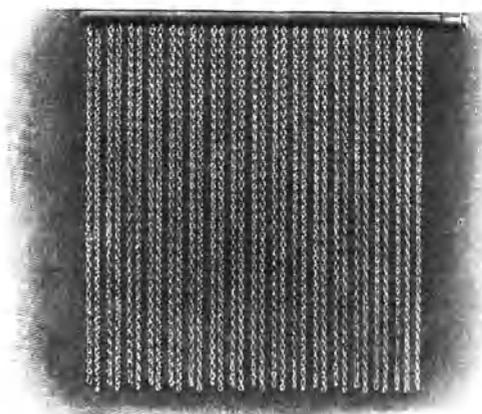


Abb. 664. Scheibler-Filter mit losen Ketten.

lose hängenden Ketten ausgefüllt ist. Ein entsprechend geformter Filterbeutel ist über das Gerippe gezogen, welches durch Metallkonen einen dichten Abschluß an der einen oberen, als Abfluß ausgebildeten Ecke hat. Die Elemente sind an dem Abflußrohr in den Kasten eingehängt oder münden, wie in Abb. 662, mit ihren umgebogenen Enden in einen besonderen Auslaufkanal. Abb. 663 zeigt den Längsschnitt dieses Filters, das als Daněk-Rasmus-Filter bezeichnet wird.

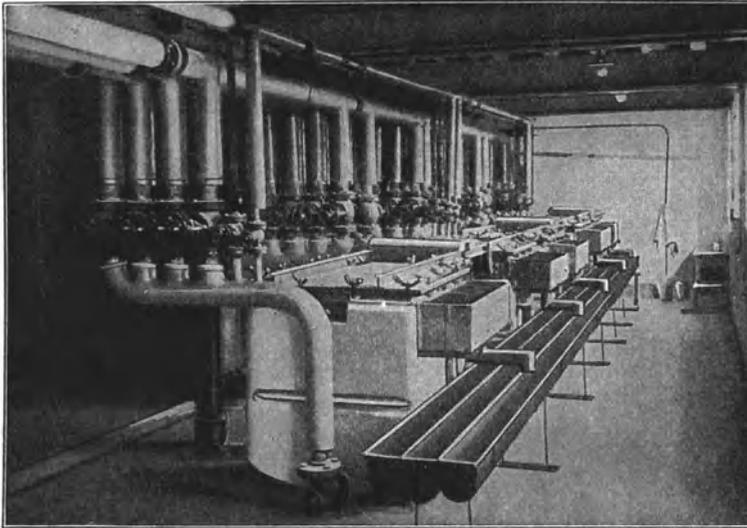


Abb. 665. Scheiblersche Filteranlage.

2. Faltentuchfilter (Scheibler). Eine ältere Ausführung mit unstarren Kettenelementen zeigt die Abb. 664, das frühere Scheibler-Kathol-Filter, das durch lose in einem Filtersack hängende Ketten gekennzeichnet ist, und den Nachteil hat, daß von unten eintretende und nach oben drückende Filtrationsflüssigkeiten ein Hochschwemmen der Filterbeutel verursachen, wodurch ein Teil der Filterfläche unbenutzt bleibt oder schon beim Einführen des losen Kettenelementes in den Faltenbeutel ein Verknoten oder Bündeln der einzelnen Kettenstränge stattfindet und die Ketten als Filtratkanäle ungeordnet nur an einzelnen Stellen in Wirksamkeit treten. Diese Nachteile beseitigt das neue Faltentuchfilter, welches aus halbstarren Stabkettenelementen besteht und die Beutel spannt, die dadurch während des ganzen Filtrationsvorganges in ihrer Lage festgehalten sind. Der Filterbeutel ist mit einem schmalen Ärmelansatz versehen zum Einführen der Elemente in den Beutel, der nachher zugebunden wird. Die Abdichtung der Elemente in dem Kasten erfolgt mit Metallkonen (Abb. 666). Das Element besteht aus einem zu einem flachen Stab zusammenklappbaren rechteckigen Rahmen (Abb. 667 und 668); zwischen den Elementen sind von oben nach unten in engem Abstand die großmuscheligen Ketten befestigt. Das zusammengeklappte Filter wird in den Hals eines allseitig zugenähten Filterbeutels (Abb. 669) gesteckt und in diesem wieder in seine rechteckige Form gebracht; sodann wird der Filterbeutel, der die 3,5fache Länge des Elementes besitzt, in gleichmäßigen Falten über das Element gezogen (Abb. 670). Der Einbau der Elemente in das Filter, die Abdich-

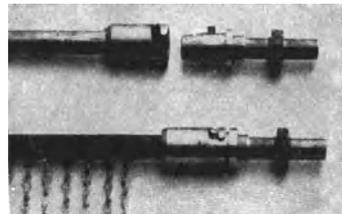


Abb. 666.
Metallkonen zum Abdichten der
Filterelemente (Scheibler).

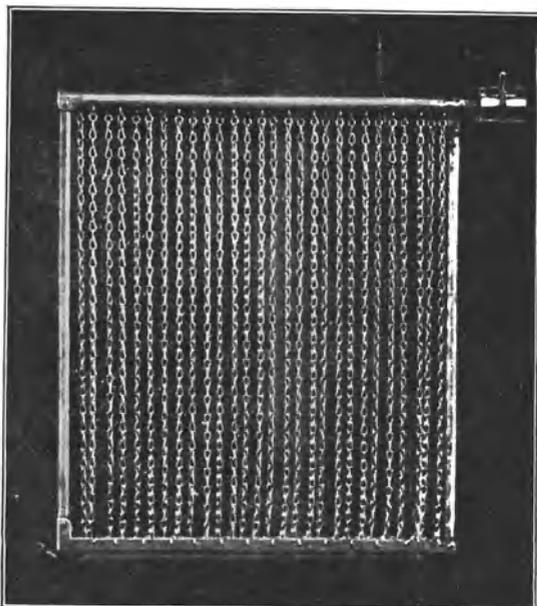


Abb. 667. Faltentuchfilter mit halbstarrem Kettenrahmen (Scheibler).

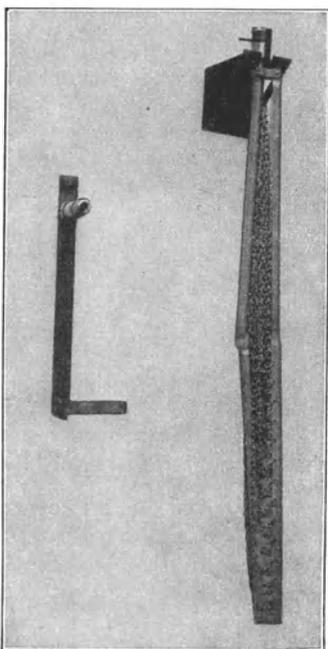


Abb. 668. Zusammengeklappter Filterrahmen (Scheibler).

tung mit Metallkonen (Abb. 666), sowie die Arbeitsweise ist die gleiche wie bei dem Scheibler-Filter mit losen Ketten, jedoch ist die Leistung des einzelnen Elementes wegen der größeren Filterfläche wesentlich höher. Falls zur Reinigung einer Trübe die gewöhnliche Tuchfiltration nicht ausreicht, kann das Scheibler-Filter auch als Anschwemmfilter verwendet werden, und zwar derart, daß sowohl faserige als auch körnigpulvrige Anschwemm Massen benutzt werden. Diese benötigen mitunter je nach ihrer Beschaffenheit zum besseren Anhaften dichte oder weniger dichte Gewebe, was beim Scheibler-Filter durch Auswechseln der Beutel rasch und mit geringen

Kosten ausgeführt werden kann. Filtermittel ist dann nicht der Faltenbeutel, sondern die auf diesem angelagerte Anschwemme (s. auch Anschwemmfilter). Die Arbeitsweise bleibt auch in diesem Falle die gleiche.

Faltenfilter eignen sich besonders auch für die Feinfiltration in der Kunstseidenindustrie, wo man zuweilen heute noch Sulfitaugen, Seifenlösungen, Spinnbäder und Säuren durch offene Filtersäcke filtriert. In letztere tritt die Trübe mit starkem Strahl ein, so daß der einmal niedergeschlagene Rückstand stets wieder von neuem aufgewirbelt wird und mithin eine vollkommene Klarfiltration unmöglich macht. Bei Verwendung von besonders dichtem Filterstoff sinkt die Filterleistung erheblich, so daß eine größere Anzahl von Filtersäcken vorgesehen werden muß. Diese Mißstände werden durch Verwendung des Scheiblerschen Faltenfilters behoben, das bei geringem Platzbedarf die Unterbringung großer Filterflächen ermöglicht, und bei dem die Flüssigkeitshöhe der Trübe im Filterbehälter immer die gleiche bleibt; infolgedessen werden Strömungen, die der

Schmutzschichtbildung am Filtertuch hinderlich sind, vermieden. Die Filter werden aus den verschiedensten Metallen, unter Umständen mit Überzügen angefertigt, so daß sie für alle Zwecke verwendet werden können.

3. Blattfilter. Das für große Durchsatzleistungen bestimmte Butters-Filter besteht in der Hauptsache aus einzelnen blattförmigen Filtern (Abb. 671 und 672). Das Gerippe ist aus Rohren zusammengefügt und mit Geflecht ausgekleidet, auf dem beiderseitig das Filtertuch aufliegt. Das untere Rohr ist geschlitzt und führt das Filtrat zu den oben seitlich angeordneten Auslaufstutzen, die mit beweglichen Verbindungsstücken (Abb. 673) an die Hauptsammelleitung angeschlossen sind. Die einzelnen Filterelemente richten sich in Größe und Anzahl nach der verlangten Leistung und sind in Spitzbehältern untergebracht (Abb. 674). Die unten zugepumpte Trübe bewirkt gleichzeitig ein stetiges Aufrühren des abgesetzten Schlammes. Während der Filtration lagert sich der Schlamm außen auf den Filtertüchern ab, das Filtrat wird mittels Vakuums in die Sammelleitung abgesaugt. Nach Erreichen der gewünschten Kuchenstärke wird durch Umschalten an der Schaltanlage mehrmals mit Wasser im Gegenstrom nachgewaschen. Der Schlamm wird nach dem Trocknen durch Vakuum oder, falls er wertlos ist, im Spülversatz weggespült; bei wertvollem Schlamm können die Filterelemente mit einem Laufkran aus dem Behälter gehoben und mittels Preßluft über einem Schlammbehälter vom Belag befreit werden. Von hier wird der Schlamm mittels Transportschnecken oder eines ähnlichen Fördermittels seiner weiteren Verwendung zugeführt. Abb. 675 zeigt eine Großanlage für Goldgewinnung, welche unter Ausnutzung von natürlichem Gefälle arbeitet. Das Butters-Filter ist aus dem Moore-Filter, das ähnlich gebaut ist, hervorgegangen.

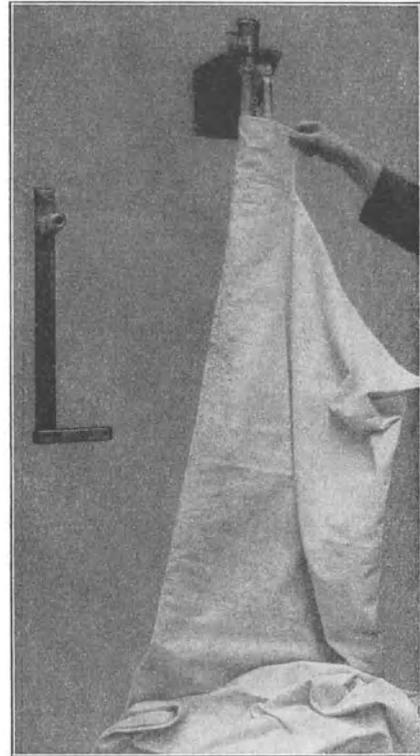


Abb. 669. Einstecken des zusammengeklappten Rahmens in den Filterbeutel (Scheibler).

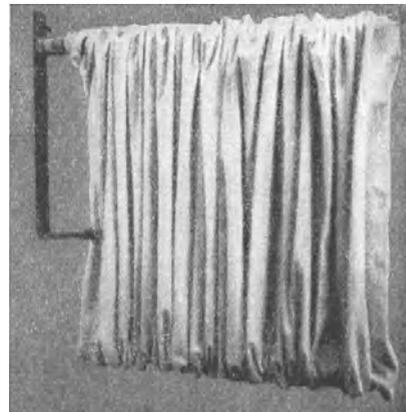


Abb. 670. Faltentuchfilter in Bereitschaft (Scheibler).

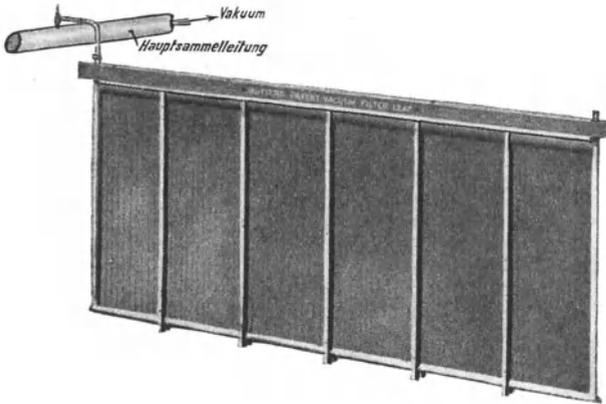


Abb. 671. Filterblatt eines Butters-Filters.

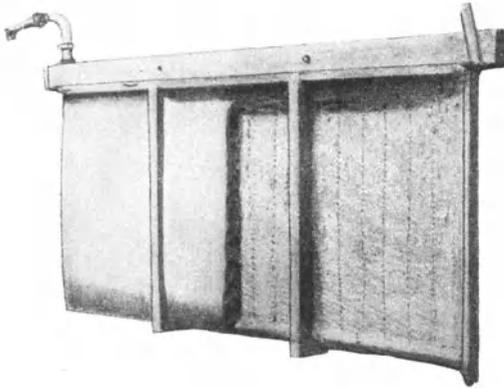


Abb. 672. Filterelement eines Butters-Filters mit 30 mm starkem Belag.

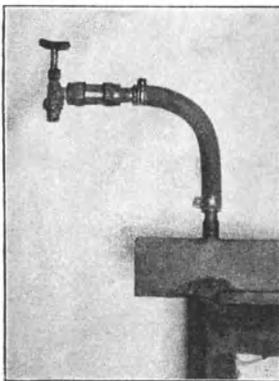


Abb. 673. Auslaufstutzen eines Filterblattes (Butters).

Die älteste Konstruktion eines Blattfilters in einer für Überdruck geeigneten Kammer ist das Kelly-Filter. Dasselbe gestattet, das Filtrat unter beliebig hohem Druck durch die in einer bestimmten Anzahl vereinigten Filterbeutelhindurchzupressen (Abb. 676—679). Das Filter besteht aus einem geeigneten zylindrischen Kessel und einem am tiefer liegenden

Ende befindlichen Deckel mit zentralem Schnellverschluß, mit dem das Anpressen und Lüften des Deckels erfolgt. Im Innern des Zylinders befindet sich ein mit dem Deckel verbundenes Fahrgerüst, in das die Filterrahmen eingebaut sind, aus denen unten durch die Rahmenanschlußstücke das Filtrat in ein gemeinsames Sammelrohr abfließen kann, das mit Umstellventilen und Probennehmer ausgerüstet ist. Das Einfahren des Wagens mit dem eingebauten Filterrahmen ge-

schieht mittels einer von Hand betätigten Windvorrichtung. Unterhalb des Zylinders liegt ein Schlammtrichter zum Abführen der mittels Preßluft abgestoßenen Filterkuchen. Zum Wegschaffen des Schlammes dient gewöhnlich eine Transportschnecke. Der Betrieb gestaltet sich folgendermaßen. Nachdem die Presse abgeschlossen ist, wird der Druckzylinder mittels einer Schlammpumpe gefüllt, wobei die Luft im Zylinder, auf etwa 0,2 at gespannt, entweicht. Ein am obersten Teil des Zylinders angebrachtes Schwimmerventil schließt bei völliger Füllung selbsttätig ab, so daß der zum Filtrieren nötige Überdruck durch die Pumpe erzeugt werden kann. Das klare Filtrat fließt durch die eingehängten Rahmen in das Sammelrohr und von hier zur weiteren Verwendung

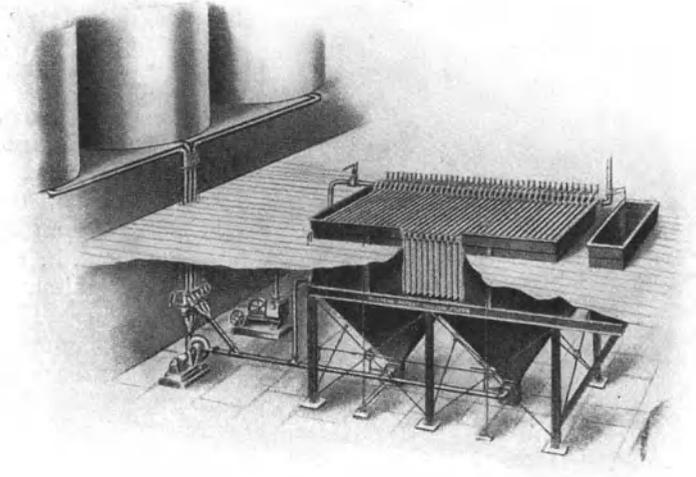


Abb. 674. Kleine Butters-Filteranlage.

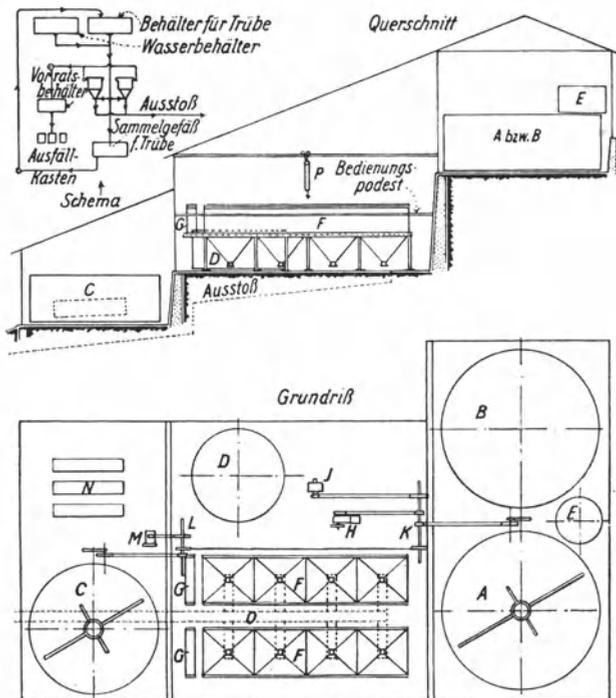


Abb. 675. Großfilteranlage für Goldgewinnung
(Chas. Butters & Co. Ltd., London).

- | | | |
|------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| A Tank für Trübe | F Filter, jedes 120 Einsätze | M Schlamm-Zentrifugalpumpe |
| B Ausweichbehälter (Wasser) | G Säure-Waschbehälter | N Goldausfällkasten |
| C Ausweichbehälter (Schlamm) | H Vakuumpumpe | O Schlammablaßkanal |
| D Behälter für Filtergut | I Elektromotor | P Laufkran (Hebezeug) |
| E Meßgefäß für Wasser | K-L Vorgelege | |

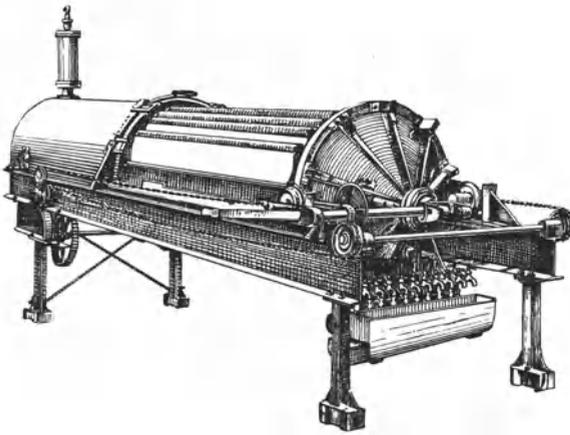


Abb. 676. Handbetätigtes Kelly-Filter (Oliver United Filters Inc., New-York).

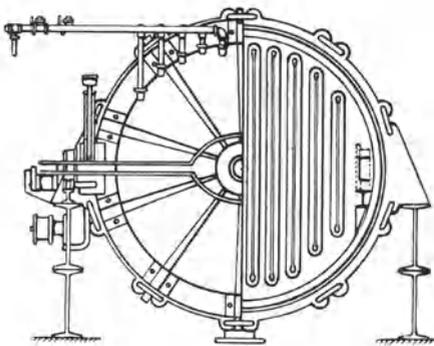


Abb. 677. Endansicht eines Kelly-Filters (teilweise im Schnitt).

Ausführung sind ungenaue Kontrolle der Filterkuchen, ungleichmäßige Filterkuchenbildung und die Möglichkeit der Entmischung mit Bildung eines Sumpfes am Boden, der sich der Filtration entzieht.

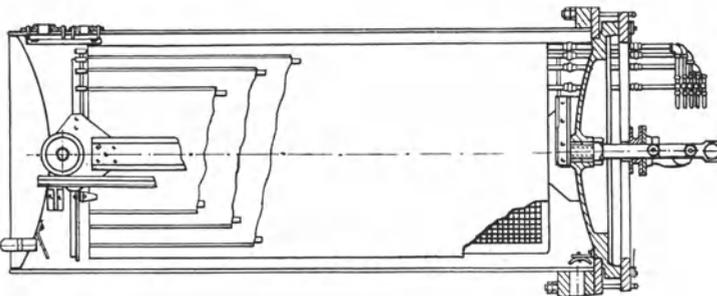


Abb. 678. Längsschnitt eines Kelly-Filters.

ab. Durch eine Überlaufleitung fließt während der Filtration etwas Schlamm wieder in den Zulaufbehälter der Pumpe zurück, um dem Schlamm durch stetigen Umlauf im Kessel keine Zeit zum Absetzen zu lassen, d. h. mit Hilfe der Durchmischung eine gleichmäßige Kuchenbildung zu bewerkstelligen. Eine wesentliche Verbesserung gegenüber den Filterpressen ist die Verminderung der vielen Dichtungsflächen auf nur eine Verbindung zwischen dem

Deckel und dem Druckzylinder. Weitere Vorteile sind gute Auslaugung der Kuchen mit sehr geringen Wassermengen und geringer Tuchverbrauch, da die Filterbeutel lose auf den Filterrahmen hängen. Das Filter eignet sich zur Bewältigung großer Filtermengen unter der Bedingung, daß die Niederschläge auf dem Filtertuch gut haften bleiben und der Kuchen beim Auswaschen nicht abfällt. Die Nachteile der geschlossenen

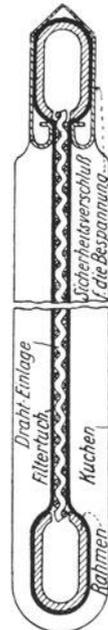


Abb. 679. Querschnitt durch ein Kelly-Filterblatt mit Filterkuchen.

Sweetland-Press (Maschinenfabrik Sangerhausen, Abb. 680 und 681). Die zylindrische Druckkammer ist bei dieser Presse in der Längsrichtung in zwei Halbschalen S geteilt, von denen die untere um Scharniere a schwenkbar und mit Gewichten ausbalanciert ist. Die Oberschale trägt die Filtrerrahmen, die Exzenterverschlußvorrichtung b, c, d sowie die fest montierten Zuläufe i und die Abläufe. Die Filtrerrahmen sind kreisrunde Scheiben T , die je nach der Verwendung der Presse in zwei verschiedenen Arten ausgeführt werden können. Soll der Filtrerrückstand nicht ausgewaschen werden, so besteht der Rahmen aus Eisen und Drahtgewebe mit einem oben angeordneten Auslauf; soll dagegen der Filtrerrückstand ausgewaschen werden, so ist in der Mitte im Innern des Rahmens ein Steigrohr U angebracht, um dem Filtrat eine Strömung von oben nach unten durch das mittlere Steigrohr zum Auslauf zu geben, damit eine gleichmäßige Auswaschung stattfindet. Die Filtrerrahmen werden beiderseitig mit Tuch überzogen, das ebenfalls in Scheibenform um die Rahmen genäht wird. Das Einsetzen der Rahmen geschieht, indem das Auslaufrohr V in die Bohrung mit Mutter und Dichtung eingezogen wird. Die Auslaufrohre sind mit einem Schauglas h und einem Hahn g an die Sammelleitung angeschlossen. Um die Filter zu reinigen, ist ein mit Düsen versehenes bewegliches Spülrohr e für etwa 4 at Wasserdruck vorgesehen. Die Arbeitsweise der Sweetland-Press ist folgende. Die beiden Schalen werden durch den Exzenterverschluß gegenseitig abgedichtet; das Filtergut wird in die Druckkammer gepreßt. Das Filtrat fließt durch die oberen Schaugläser h in das Sammelrohr i . Die Dauer der Filtration wird wie bei der Kelly-Press durch

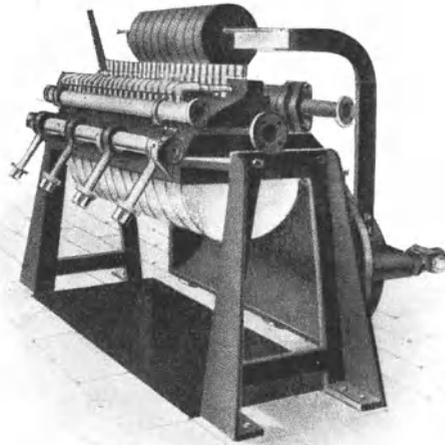


Abb. 680. Die Sweetland-Press (Ansicht; Sangerhausen).

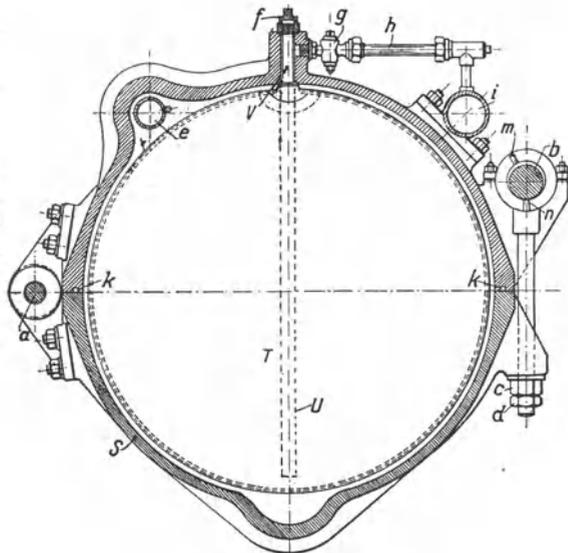


Abb. 681. Innere Einrichtung der Sweetland-Press (Sangerhausen).

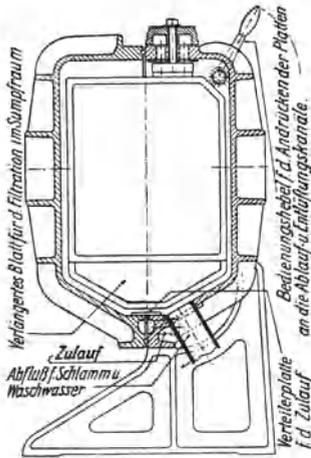


Abb. 682. Das Easifilt-Vertikalflächen-Filter mit Schleusenvorrichtung

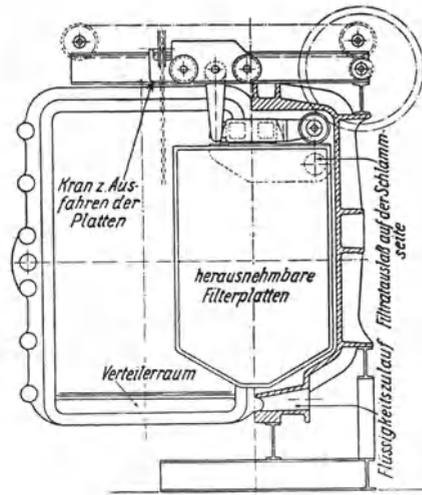


Abb. 683. Ausfahrvorrichtung für die Filterblätter.

Versuche festgestellt, da die Kontrolle der Kuchenbildung nicht möglich ist. Es ist darauf zu achten, daß die Filterkuchen nicht zusammenwachsen, da sonst das Auswaschen nicht mehr gleichmäßig stattfindet. Dieses kann mit reinem Wasser einfach oder doppelt vorgenommen werden, indem man zuerst mit verdünnter Lauge und anschließend mit reinem Wasser wäscht. Das Wasser wird durch Luft verdrängt, der Kuchen wird trocken geblasen und mittels Luft oder Dampf bei geöffneter Presse abgehoben; Überreste werden mit einem Spatel entfernt. Das von Zeit zu Zeit erforderliche Waschen der Rahmen wird durch Abspritzen mit Preßwasser besorgt. Die Sweetland-Presse

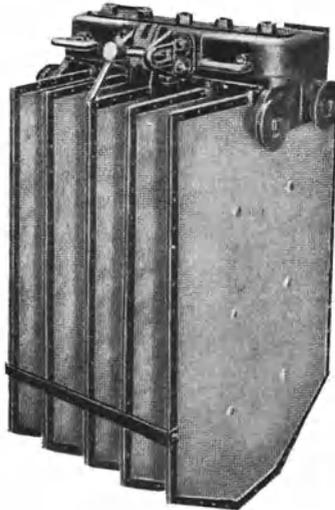


Abb. 684. Filterbatterie.

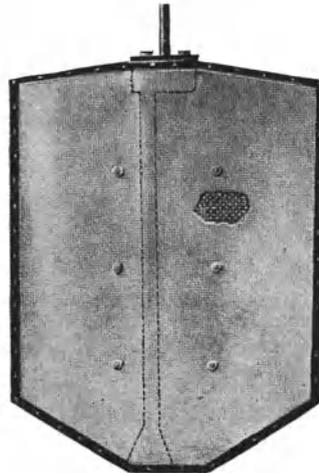


Abb. 685. Filterblatt mit Kuchenbelag.

erlaubt mit sehr geringen Wassermengen gut auszuwaschen. Die Kuchenstärke kann durch Herausnehmen von zwischenliegenden Filterrahmen vergrößert werden. Der schädliche Bodenraum, der ein Entmischen der Trübe begünstigt, ist bedeutend geringer als bei der Kelly-Press. Mit einer Düsenwaschvorrichtung ist man in der Lage, den Kuchen, falls er wertlos ist, durch Spülversatz zu entfernen, ohne die Presse zu öffnen.

Das „Easifilt“-Vertikalflächenfilter (Manlove, Alliot & Co., Nottingham) ist ein Filter, dessen Filterflächen blattförmig ausgebildet und in einem kassenschrankähnlichen Kasten untergebracht sind.

Nach dem Öffnen der Türe werden die einzelnen Filterblätter auf einem Tragarm aus dem Kasten gefahren und können bequem gereinigt oder hergerichtet werden. Nach der Reinigung und dem Einfahren der Filterblätter ist das Filter wieder betriebsfertig. Die Arbeitsweise und die Konstruktion des Easifiltfilters ist ohne weiteres aus den Abb. 682—685 zu ersehen. Der Aufbau der Filterblätter erinnert an die Konstruktion der Buttersfilter. Zur Ausführung von Laboratoriumsfiltrationen liefert die Firma ein kleines Laboratoriumsfilter mit Handpumpe, das bis zu 7 at verwendbar ist.

Druckkammerfilter von Ehrenstein (Neidig, Mannheim). Bei diesem Filter (Abb. 686 bis 688) sitzt in einem zylindrischen druckfesten Behälter *A*, der mit dem Deckel *B* luftdicht verschlossen ist, der Filterkörper, der aus gelochten, mit Baumwollstoff überzogenen Filterkammern *e* gebildet wird. Durch

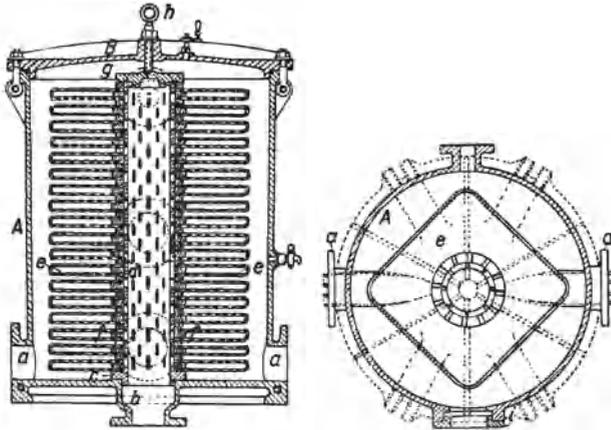


Abb. 686. Druckkammerfilter von Ehrenstein (Neidig).
Querschnitt und Draufsicht.

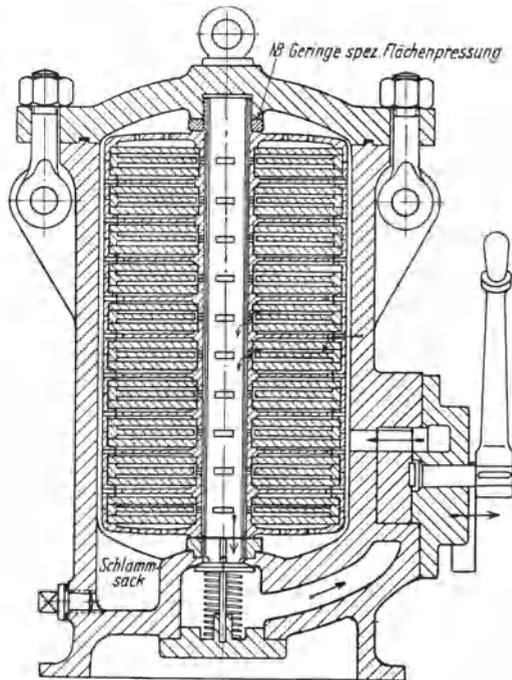


Abb. 687. Konstruktive Darstellung des Druckkammerfilters von Ehrenstein (Neidig).

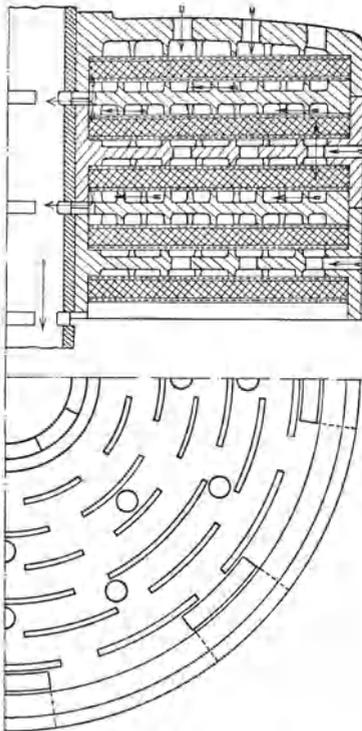


Abb. 688. Konstruktive Darstellung der Filterkammern.

die Kammern *e* geht ein gelochtes Rohr *d*, das mittels des Flansches *c* auf dem Ablauf *b* aufgeschraubt ist. Zur Abdichtung des Rohres dient der aufgeschraubte Deckel *g*. Zwischen je 2 Kammern liegen Distanzringe *f*. Die Flüssigkeit tritt bei *a* ein. Das Filter hat den Übelstand, daß es bei Störungen ganz auseinander genommen werden muß; die Filterbeutel sind nicht leicht auszuwechseln, weshalb es nur zu Klärzwecken, z. B. für Kunstseidenspinnlösungen und zur Ölsreinigung, Verwendung gefunden hat. Ein Vorteil ist, daß der Filterdruck sehr hoch (100 at und darüber) gewählt werden kann. Die Firma Neidig hat das Filter konstruktiv wesentlich verbessert.

c) Filter mit fester Filterschicht.

Unter den Begriff „feste Filterschicht“ fallen die porösen, säure- und laugenbeständigen Filtersteine (Schuler in Grünstadt, Hansa-Werke in Haiger, Schumacher in Bietigheim usw.). S. auch Allgemeines über Filter.

1. Filter mit Filtersteinen und Filterkerzen. Man unterscheidet einfach poröse und doppelt poröse Filtersteine. Die einfach porösen Filtersteine besitzen in ihrer ganzen Stärke eine stets gleichbleibende Porosität, während die doppelt porösen Filtersteine etwa auf einem Drittel der Steinstärke oder noch weniger die normale zur Filtration notwendige Porosität aufweisen, der restliche Teil jedoch aus einer möglichst durchlässigen Schicht besteht, die nur

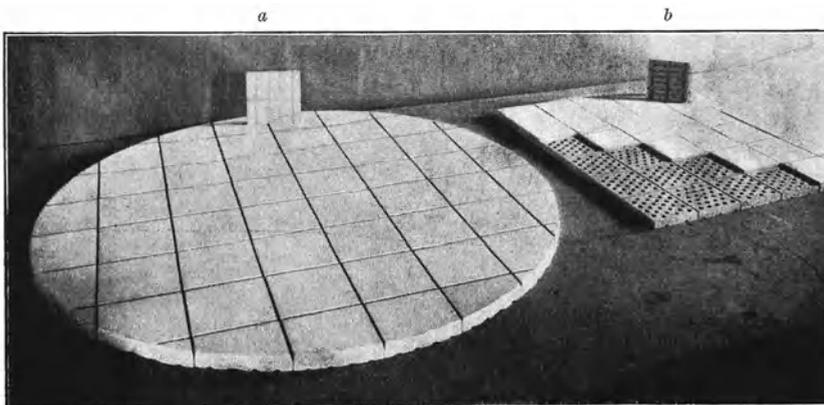


Abb. 689. Belag aus doppelporösen Filterplatten.

als Träger des eigentlichen Filtermittels dient. Neuerdings werden auch Filtersteine mit einem hauchdünnen, feinporigen und mechanisch sehr festen Überzug auf einer sehr grobporigen und durchlässigen Porositätsschicht hergestellt (Superfix, Schuler, Abb. 689a), die trotz größter Porenfeinheit eine verhältnismäßig große Filterleistung besitzen, wobei auch die Gefahr der Porenverstopfung bedeutend herabgemindert ist. Eine andere Art des Filtersteinbelages ist in Abb. 689b dargestellt, wo auf dicht gebrannten Steinzeugplatten mit großen Filtratablauflöchern Filtersteine in Form von dünnen, 10 oder 15 mm starken Platten verlegt werden. Auch hier wird durch die geringe



Abb. 690. Filtersteine mit Ablaufrillen auf der Unterseite und Abdichtung durch Säurekitt (a) (Schuler).

Stärke der Filtersteine eine höhere Leistung erzielt und werden besonders Produkte mit hoher Konzentration und einer gewissen Zähflüssigkeit vorteilhaft filtriert. An Stelle der Filtersteine in Form von Platten werden vielfach auch Filterzylinder oder Filterkerzen verwendet, die auf geringer Grundfläche die Unterbringung großer Filterflächen gestatten. Filtriert wird von außen nach innen, die Reinigung erfolgt mittels Druckluft oder Druckwasser von innen nach außen. Die Filterzylinder werden in allen Größen von 30—450 mm Durchmesser und in Längen von 100—2000 mm einseitig geschlossen oder beiderseitig offen hergestellt. Die Filtersteine werden a) unmittelbar auf den Boden des zum Filter auszubauenden Behälters verlegt und erhalten in diesem Falle

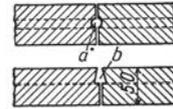


Abb. 691. Abdichtung der Filtersteine mittelst Asbestschnur (a) oder Säurekitt (b) (Schuler).

auf ihrer Unterseite Ablaufrillen (Abb. 690), die das durch den Stein gedrungene Filtrat sammeln und ablaufen lassen, b) auf einem Unterlagsrost verlegt, der aus kreuz und quer oder nur längs verlegten, etwa 15 mm starken und 30—40 mm breiten Bleistäben bestehen kann (in diesem Falle sind die Steine auch auf der Unterseite völlig glatt geschliffen), c) auf einem gelochten Blech verlegt, das zur Unterstützung im Behälter auf einem Rost aufliegen muß, d) in Filterpressen (s. S. 613) eingebaut.



Abb. 692. Abdichtung der Filtersteine mittelst Asbestschnur (a) und Säurekitt (b); c: Unterlagsriegel (Schuler).

Die Fugen zwischen den Steinen werden je nach dem Produkt mit säurefestem oder alkalibeständigem, elastischem Kitt, Asbestschnur oder Bleiwolle abgedichtet. Die Oberkanten der Steine erhalten zu diesem Zwecke Abschrägungen oder Profile angeschliffen (Abb. 691). Oft werden die Steine auch ohne Kittfalz verlegt, und zwar dann, wenn zwischen zwei aufeinanderfolgenden Steinen eine Fuge von 7—10 mm bestehen bleibt, deren unterer Teil mit Asbestschnur ausgestemmt wird, worauf dann dickflüssiger Säurekitt (Stellakitt, Höchster Säurekitt, Prodoritkitt, Abb. 692) gegossen wird.

Filter mit Filterkerzen (Abb. 693) aus porösem Stein können auch als Anschwemmfilter verwendet werden, wobei sie dann nur zum säure- und laugenbeständigen Träger für das eigentliche Filtermittel dienen.

Filter mit fester Filterschicht aus Papier oder Zellstoff finden besonders für die Bakterienfiltration Anwendung und sind unter „Membran- und Ent-

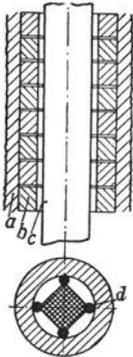


Abb. 693. Filterkerze (Sauerbrey-Jung) a: Filterkuchen; b: Filterring; c: Filtersäule; d: Gummiwulst (Schuler).

keimungsfilter“ näher beschrieben (s. S. 564); diejenigen aus porösem Weich- oder Hartgummi können so ziemlich für alle Filterapparate verwendet werden, erstere jedoch meist nur für Filterpressen. Die Hartgummiplatten werden für Filterpressen, Rotationsfilter und Zentrifugen, als Zylinder und als Ringe für stetig arbeitende Filter (s. S. 568) geliefert, sie besitzen jedoch wie die Weichgummifilter eine geringe Widerstandsfähigkeit gegen heiße Säuren und Laugen und auch eine geringe Bruch- und Druckfestigkeit.

2. Weichgummifilter (Dartex) sind elastische Platten aus porösem Kautschuk in einer Stärke von etwa 4 mm. Infolge ihrer besonderen Festigkeit gegen chemische und mechanische Angriffe — sie sind säure- und alkalifest — haben sie bereits großen Anklang gefunden. Die Filterporen der Platten sind mikroskopisch klein und netzartig ausgebildet, so daß sie zwar dem Filtrat den Durchgang ohne weiteres gestatten, das Eindringen des festen Niederschlages dagegen praktisch verhindern. Der Filtrerrückstand bleibt auf der Oberfläche sitzen, ohne die Poren zu verstopfen oder deren freien Querschnitt zu verringern. Die Weichgummifilter erlauben daher ein sauberes Ablösen des Filterkuchens vom Filter und, da nur die Oberfläche mit dem Niederschlag in Berührung gekommen ist, ein sauberes

und müheloses Reinigen. Durch die Verwendbarkeit der Weichgummifilter als

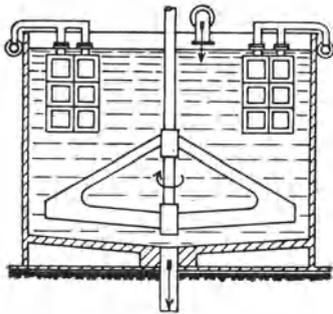


Abb. 694. Tauchfilter (Schumacher).

Bespannung für Filterpressen ist der Vorteil der leichten Reinigung besonders zu beachten. Die Nachteile dieser Filter sind: Empfindlichkeit gegen stark oxydierende Stoffe, gegen Öle, Fette und Harze und gegen organische Lösungsmittel, soweit diese

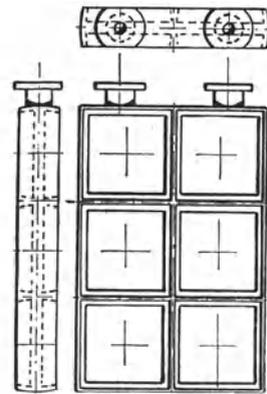


Abb. 695. Tauchfilterrahmen von Schumacher.

Leistungstabelle von Weichgummi-Filtertüchern (Dartex).

Typ	Wasserdurchlaß in der Filterpresse		Druckwert in mm Wassersäule	Porendurchmesser in μ
	0,5 at / m ² · std	2 at / m ² · std		
A _{1e} bzw. B _{1e}	13000	23000	200	200
A ₁ „ B ₁	10000	18000	300	100
A ₂ „ B ₂	7000	9000	600	60
A ₃ „ B ₃	3000	5000	900	40
A ₄ „ B ₄	700	2000	1200	20
A ₅ „ B ₅	200	400	1800	10

Kautschuklöser sind. Die Weichgummifilter sind außerdem dehnbar, so daß die Porengröße nicht immer konstant ist. Weichgummifiltertücher werden bis zu 2,80 m Länge und 1,20 m Breite geliefert, können aber durch Zusammenkleben oder Zusammenvulkanisieren einzelner Abschnitte auch in größeren Ausmaßen angefertigt werden.

3. Tauchfilter. Zur Erhöhung der Leistung werden den Zellenfiltern, Filterpressen usw. Tauchfilter (Abb. 694–699) vorgeschaltet, durch welche die überschüssige Flüssigkeit von dem Filtergut abgesaugt wird. Als Tauchfilter können Saugkörbe mit oder ohne Überzug von Metallsieben oder Filterstoffen sowie Filterkerzen und Filterrahmen mit Filtersteinen und Überzügen Verwendung finden. Um eine häufige Entfernung des Filterkuchens und folglich eine Unterbrechung des Absaugens zu vermeiden, werden die Tauchfilter meist erst nach dem Absetzen der Feststoffe in der Flüssigkeit angewandt. Abb. 695 und 696 zeigen Tauchfilterrahmen, die mit porösen Filtersteinen ausgelegt und in dem beschriebenen Sinne anwendbar sind. Abb. 697 stellt einen Behälter dar, der mit Hilfe der Tauchfilterrahmen als

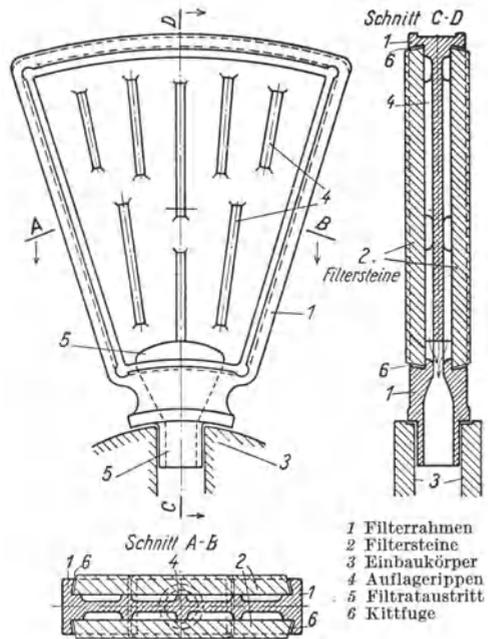


Abb. 696. Tuchloses Scheibenfilter und Sektor mit Steineinsätzen (Schuler).

Strömungsfilters ausgelegt und in dem beschriebenen Sinne anwendbar sind. Abb. 697 stellt einen Behälter dar, der mit Hilfe der Tauchfilterrahmen als

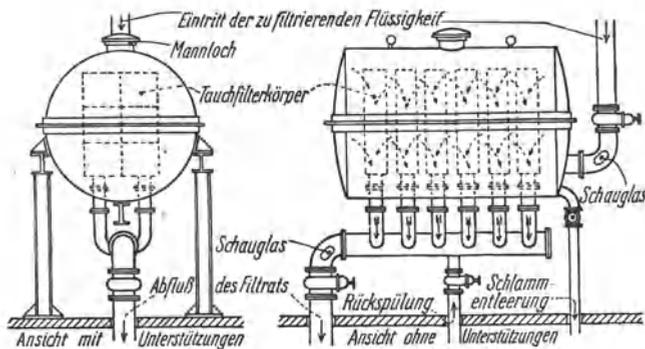


Abb. 697. Strömungsfiter von Schumacher.

Strömungsfiter ausgebaut ist; in Abb. 698 und 699 ist die schematische Anordnung von in Säureleitungen eingebauten Tauchfiltern zu sehen.

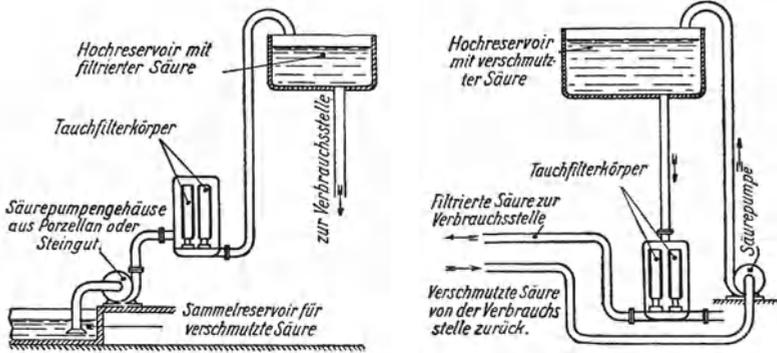


Abb. 698 und 699. Tauchfilter, in Säureleitungen eingebaut (Schumacher).

4. Druckfilter. Zum Entfernen von mechanischen Verunreinigungen aus Flüssigkeiten dient auch das in Abb. 700 dargestellte Filter von Schumacher. In dieses tritt die trübe Flüssigkeit durch einen Stutzen *a* und den

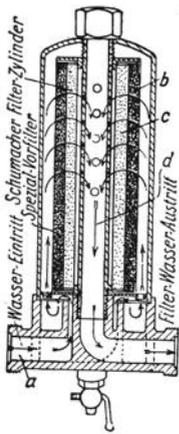


Abb. 700. Druckfilter (Schumacher).

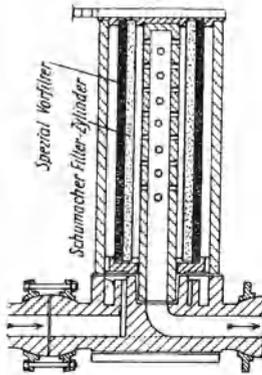


Abb. 701. Druckfilter aus säurefestem Steinzeug (Schumacher).



Abb. 702. Berkefeld-Filter.

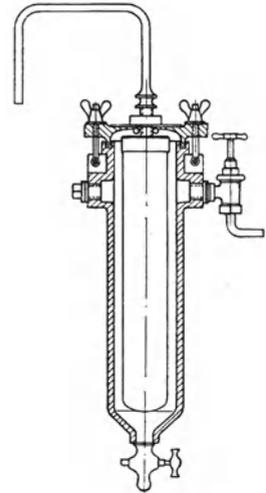


Abb. 703. Berkefeld-Filter mit Anschluß an die Rohrleitung.

Verteilungsring zentral ein, verteilt sich gleichmäßig und beschlägt die Oberfläche des Vorfilters *b*, an dem die gröberen Fremdstoffe haften bleiben, während die Flüssigkeit nach dem Durchdringen des nachfolgenden Filterzylinders *c* vollkommen gereinigt in das zentrale Abflußrohr *d* einmündet und von hier zur Verwendung weitergeleitet wird. Die Reinigung des Filters ist durch Ausbau der Filterzylinder und sauberes Abbürsten und Auswaschen vorzunehmen. Die Filter werden für Drücke bis zu 20 at und aus allen Metallen und Legierungen hergestellt. Zur Filtration von Säuren (kalt bis mittlere Temperaturen), die mit Metallen nicht in Berührung kommen sollen, wird das Filter aus säure-

festem Steinzeug (Abb. 701) hergestellt, das mit einem Druck von 5 at geprüft in den Handel kommt.

Filter mit Filterkerzen (Berkefeld, Schuler, Isny usw., vgl. S. 553). Zur Erzielung bakterienfreien Wassers und zur Beseitigung der feinsten Trübungen desselben werden starkwandige Filterkerzen angewandt, die aus hochporöser Infusorienerde hergestellt und durch geeignete Zusätze beim Brennen besonders hart angefertigt werden. Die einzelnen Filterkerzen sind je nach verlangter Leistung in entsprechender Anzahl in einem leicht zugänglichen Gefäß (Abb. 702 und 703) untergebracht. Das Rohwasser wird in das Gefäß eingeleitet, tritt

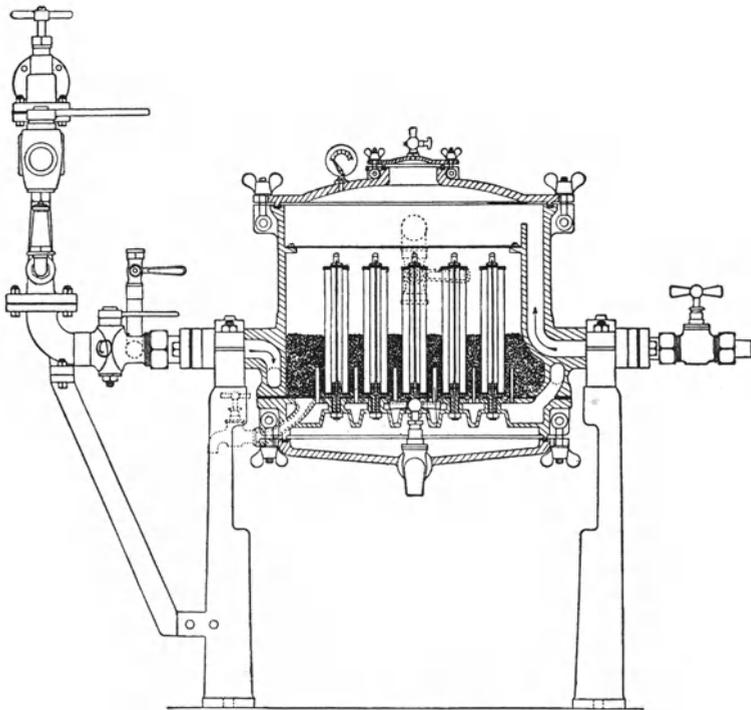


Abb. 704. Berkefeld-Filteranlage.

durch die Wandungen der hohlen Filterkerzen und durch deren Bohrung in eine Sammelkammer, von wo es zur Verwendung weitergeleitet wird. Der Schlamm bleibt auf der Oberfläche der Filterkerzen haften und wird, falls die Leistung des Filters nachläßt, nach Öffnen des Filters abgewaschen. Für Filter mit größeren Leistungen, bei denen ein Öffnen des Gefäßes zu umständlich wäre, sind, wie in Abb. 704 ersichtlich ist, die Filterkerzen von einem körnigen Reinigungsmittel umgeben. Ist das Filter durch Unreinigkeiten verstopft, so wird durch Umschalten die Reinigung des Filters vorgenommen. Mittels Druckluft wird das Reinigungsmittel in wirbelnde Bewegung versetzt und dadurch der Schmutz abgeseuert, der gleichzeitig durch zuströmendes Rohwasser herausgeschwemmt wird. Nach 5—10 Minuten ist das Filter wieder gebrauchsfertig.

Das Schuler-Filter (Abb. 705), mit keramischem Filtereinsatz, verwendbar als Druck- bzw. Vakuumfilter mit Rückspülung und Heizung oder Kühlung, ist gekennzeichnet durch einen eingebauten Filterzylinder aus poröser

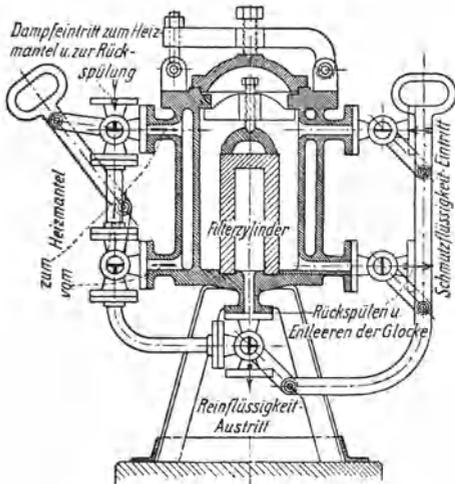


Abb. 705. Schuler-Filter.

Filtersteinmasse. Für feinste Klarfiltration wird bei Beginn der Filtration auf die Kerze eine feine Schicht von Asbest o. dgl. aufgeschwemmt, die bei nachlassender Leistung durch Rückspülung entfernt und durch eine neue ersetzt wird. Die Wirkungsweise geht aus Abb. 705 hervor; das Umstellen von Filtration auf Spülung erfolgt durch Hebelbetätigung, die Rückspülung nach Bedürfnis unter Zuhilfenahme von Heizdampf. Für besonders hohen Filterdruck hat die Firma Hechtenberg, Düren, das in Abb. 706 gezeigte Filter konstruiert, das durch entsprechende Auswahl des Filtermaterials für alle Arten von Filtrationen in Anwendung gebracht werden kann.

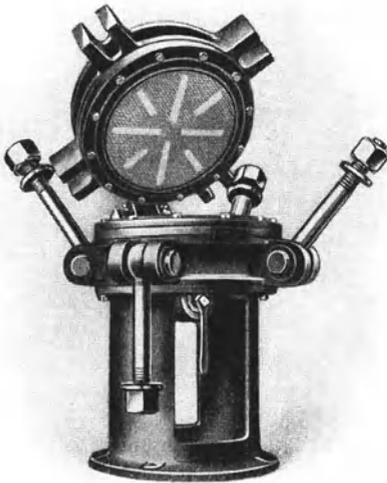


Abb. 706. Filter für hohen Filterdruck (Hechtenberg).

Bei dem Druckfilter von *Sauerbrey-Jung* (Abb. 707—709) hängen in einem zylindrischen Gefäß 1, das mit einem abklappbaren oder fest verschraubten Boden 2, einem oberen Deckel 3 und einem darunter befindlichen mit parallelen Kanälen 6 ausgebildeten Zwischenboden 4 versehen ist, in Reihen mit den Kanälen 6 in Verbindung stehende Filterkerzen. Der Zwischenboden besitzt ferner symmetrisch zu den Filterkerzen angeordnete Durchströmlöcher. Unter den Filterkerzen am Boden des zylindrischen Behälters befindet sich eine mit entsprechenden Löchern versehene Verteilerplatte 8, die eine gleichmäßige Kuchenbildung 14 auf den Filterkerzen bewirkt, ebenso eine einwandfreie Porenreinigung an der Kerzenoberfläche ermöglicht. Je nach der Art der zu filtrierenden Flüssigkeiten werden Filterkörper 5 aus starren, porösen

Kunstmassen verwendet. Dieselben bestehen aus einzelnen Ringen 9, die zur Erhöhung ihrer Zerreißfestigkeit armiert und auf einem starkwandigen Rohr 12 fest aufgereiht sind. Der Vorgang der Filtration ist folgender. Aus einem Aufgabebehälter, in dem die Trübe durch ein Rührwerk ständig in Bewegung

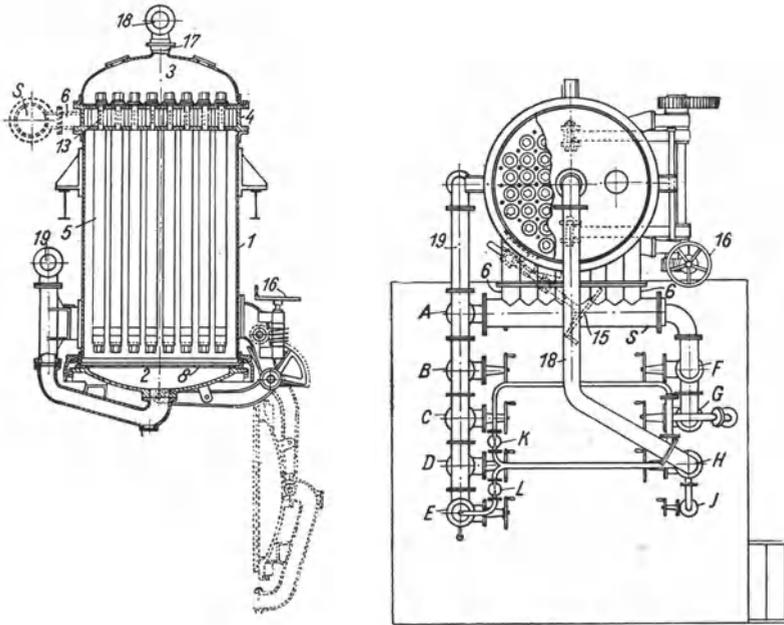


Abb. 707 und 708. Druckfilter von *Sauerbrey-Jung* (Längsschnitt und Grundriß).

gehalten ist, wird das zu filtrierende Gemisch mittels einer saugenden Kreiselpumpe durch das Ventil *A* unten bei *2* in das Filter eingedrückt. Unter allmählich ansteigendem Druck füllt sich der zylindrische Behälter; das Filtrat fließt durch die Filterringe *9* über *10* und *11* in das Innere der Rohre *12* und gelangt aufsteigend durch die Löcher *13* und die Kanäle *6* drucklos in das Sammelrohr *S* und von hier durch das Ventil *F* ins Freie. Zur Vermeidung einer Entmischung strömt ständig ein geringer Teil der Rohflüssigkeit aufwärts durch die Löcher des Zwischenbodens *4* und gelangt durch den Stutzen *17*, die Leitung *18* und das einstellbare Drosselventil *J* in den Aufgabebehälter zurück. Der auf den Filterringen *9* zurückgebliebene Schlamm wächst zu einem Kuchen bis zu einer bestimmten Stärke (höchstens 25 mm) an, was das Ende der Filtration bedeutet. Die noch im Filter befindliche Rohflüssigkeit wird mittels Preßluft von *K* und *B* durch die Leitung *19* nach dem Aufgabebehälter zurückgedrückt. Das Auswaschen des Filterkuchens geschieht auf demselben Wege; hierfür sind die Ventile *D* und *E* vorgesehen, von wo die Waschflüssigkeiten durch die Leitung *19* in das Filter treten. Für eine etwaige Nachbehandlung ist ein Ventil *K* angeordnet, das die Flüssigkeit durch die Leitung *18* von oben in das Filter leitet. Soll der Filterkuchen trocken gewonnen werden,

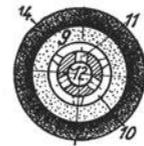


Abb. 709. Querschnitt durch eine Filterkerze.

so wird der abklappbare Boden 2 geöffnet und durch das Ventil *G* stoßweise Druckluft in das Innere der Kerzen geleitet. Hierdurch hebt sich der Kuchen von ihnen ab und fällt auf die unter dem Filter aufgestellten Fördermittel. Wird jedoch auf die Gewinnung trockener Kuchen kein Wert gelegt, so wird das mit einem fest verschraubten Boden ausgeführte Filter mit einer geeigneten Flüssigkeit gefüllt, in die die Kuchen, wie oben

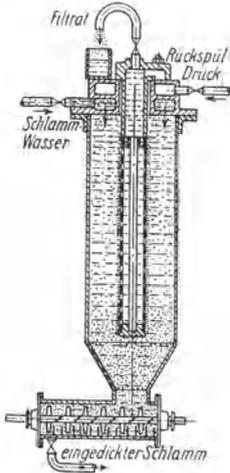


Abb. 710. Patronendruckfilter (Buckau).

beschrieben, mittels Druckluft abgeworfen werden. Durch das Ventil *L* wird nun Druckluft, die durch die Leitung 18 und das Ventil *H* entweicht, von unten durch die gelochte Verteilerplatte 8 in das Flüssigkeits-Schlammgemisch geleitet, wodurch dieses etwa während 1 Minute in starker Wirbelbewegung gehalten wird und dann leicht mittels von oben wirkender Preßluft durch den zentralen Stutzen des Bodens 2 und das Ventil *C* aus dem Filter herausgedrückt werden kann. Das Filter kann aus allen Metallen und Legierungen und für Betriebsdrücke bis zu 8 at ausgeführt werden.

Das Patronendruckfilter der Maschinenfabrik Buckau besteht aus einem Druckbehälter mit einer Anzahl eingehängter Filterkerzen (gelochten Rohren), die je nach den gestellten Anforderungen mit Faserstoff- oder Metallgeweben, Filzstrümpfen, Filtersteinen oder auch mit porösem Hartgummi überzogen sind, und einer unteren Austragschnecke mit Mischwerk (Abb. 710). Das trübe Gemisch läuft zu Beginn der Filtration mit langsam bis zu seinem Höchstwert selbsttätig gesteigertem

Filtrationsdruck zu, wodurch am Anfang der Feststoff eine sehr poröse Schicht als Grundlage auf den Filterkerzen bildet. Dies ist für die weitere Filtration von Bedeutung. Das Filtrat tritt in die Filterkerzen ein und fließt von hier frei durch das Sammelrohr ab. Sobald die Filtration nachläßt, muß der Filterkuchen, der dann die größte Stärke erreicht hat, abgestoßen werden. Dies geschieht ebenfalls selbsttätig, indem der Trübezu- und Filtrat-abfluß abgesperrt und der Kuchen mit dem im Filter befindlichen Filtrat durch kräftige und stoßweise Rückspülung von den Filterkerzen abgedrückt wird. Der Filterkuchen fällt zu Boden, wird hier von dem Mischwerk erfaßt und zerschlagen und als eingedickter Schlamm

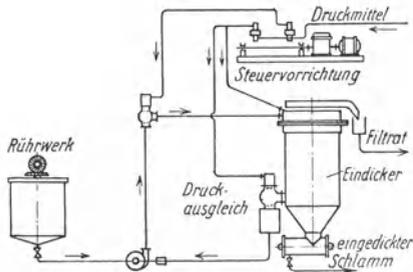


Abb. 711. Stetig arbeitende Patronendruckeindicker-Anlage (Buckau).

abgeführt. Die selbsttätige Steuerung (Abb. 711) des Filtervorganges kann je nach den gegebenen Verhältnissen in weiten Grenzen verändert werden, so daß eine Fließarbeit ohne Bedienung gewährleistet ist. Das Patronendruckfilter kann sowohl für normale Filtration oder zur Voreindickung als auch zum Nachklären von dekantierten oder filtrierten Flüssigkeiten verwendet werden, im letzteren Falle, um die noch vorhandenen Schwebstoffe zu entfernen. Bei schlammigen Flüssigkeiten, deren Rückstand als stichfester

Filterkuchen anfällt, wird das Druckfilter mit unterem Klappdeckel verwendet, so daß der abgestoßene Kuchen nach unten in Kippwagen oder Förderschnecken zur Weiterbeförderung fällt. Ein Filter ähnlicher Konstruktion ist das Dorr-Kerzenfilter (Abb. 712, Dorr-Oliver G. m. b. H., Berlin).

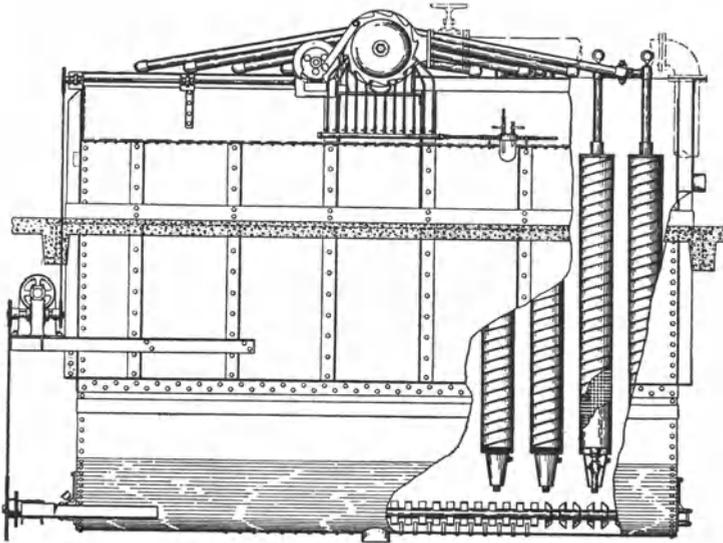


Abb. 712. Dorr-Kerzenfilter.

5. Metafilter (Hounslow-Werke, Middlesex, Abb. 713—715). Diese verwenden übereinandergeschichtete Filterelemente nach Abb. 714 und 715, die sowohl durch Oberflächen- als auch durch Siebwirkung arbeiten und für die verschiedensten Zwecke anwendbar sind. Abb. 714 zeigt eine perspektivische Darstellung eines Filtereinbaues, der als rechteckige Platten wie auch als Ringe angeordnet wird. Je nach der Verwendungsart kann der Aufbau des Filters auf dreierlei Weise beeinflusst werden:

1. durch die Höhe der Rippe, die den freien Durchgang der einzelnen Platten bestimmt, in der Regel 0,075—0,0125 mm,

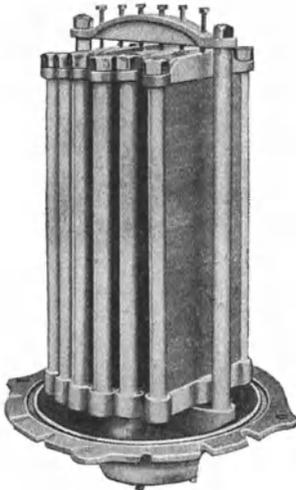


Abb. 713. Metafilter
(Hounslow-Werke).

Kieser, Handbuch.

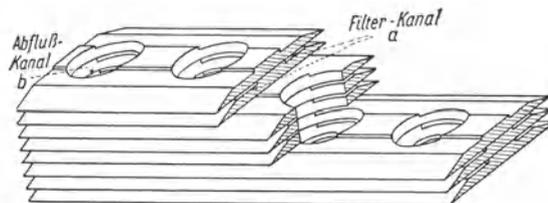


Abb. 714.
Filterplatten des Metafilters.

2. durch die Länge der Schräge, welche die Tiefe der Filterschicht bestimmt,
3. durch die Gesamtdicke und Länge der Filterelemente, welche die Gesamtfilterfläche bestimmen.

Durch die Abschragung der Kanten erhalten die Filterelemente keilförmige Kanäle *a* (Abb. 715), die in die runden Abflußkanäle *b* münden; von diesen

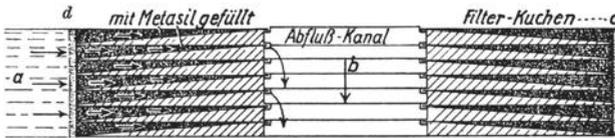


Abb. 715. Querschnitt durch das Metafilter.

wird das Filtrat abgeleitet. Für Klärzwecke und Bakterienfiltration, bei denen die Spaltweite des gewöhnlichen Filters noch zu groß ist, wird in die keilförmigen Filterkanäle eine poröse Anschwemmasse *d*, z. B. Kieselgur, Metasil (Abb. 715), eingeschwemmt (wie bei den Anschwemmfiltern), auf der sich dann der Filterkuchen *c* ablagert. Die Filterelemente sind in einem druckfesten Gefäß untergebracht, in das der Zu-
lauf der Trübe erfolgt, und das zur Reinigung der Elemente leicht abgenommen werden kann. Die Verwendung des Metafilters ist von den physikalischen Bedingungen und von der chemischen Natur des Filtrats abhängig. Der Baustoff des Einbaues ist je nach der zu filtrierenden Flüssigkeit verschieden und kann z. B. Eisen, Edelstahl, Blei, Aluminium, Celluloid, Ebonit, Bronze, Monelmetall, Zinn oder Zink sein.

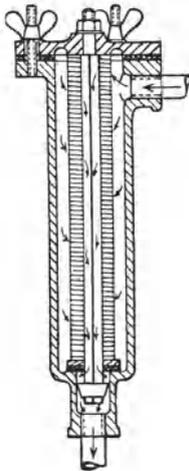


Abb. 716. Stromlinien-Haushaltfilter.

6. **Stromlinienfilter.** Bei diesem Filter (Hele Shaw, London, D.R.P. Nr. 337731, Abb. 716, 717) bestehen die Filterelemente aus einem Stapel zusammengepreßter, an sich undurchlässiger Platten oder Blätter mit unebener Oberfläche. Der Aufbau dieser mit Bohrungen versehenen Filterelemente ist dem des Metafilters ähnlich, die Wirkung beruht jedoch auf dem Electrocapillareffekt (nach *Coehn*, s. Abb. 718). Die einzelnen Filterelemente sind je nach der verlangten Leistung in entsprechend großer Anzahl in einem Behälter eingebaut, und zwar so, daß das durch die Mitte der Elemente austretende Filtrat in einem abgetrennten Raume des Behälters aufgefangen wird. Der Filtrvorgang ist folgender. Aus einem Druckbehälter fließt die Rohflüssigkeit in den Filterbehälter, tritt hier durch die Zwischenräume der Platten des Filterelements und läßt den Schlamm an den äußeren Kanten der Platten zurück. Das Filtrat fließt durch die innere Bohrung der Platten in den Sammelraum und von hier aus dem Filter aus. Der beim Filtrieren ankommende Flüssigkeitsstrom wird durch

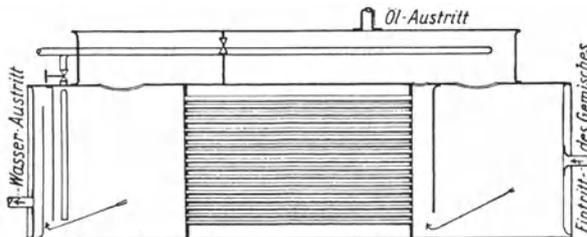


Abb. 717. Der Stromlinienabscheider (Separator).

die apparative Anordnung des Filters in geordnete Flüssigkeitsfäden unterteilt und so der Filterfläche zugeführt, daher die Bezeichnung „Stromlinienfilter“. Die abgesetzten Teilchen, die sich vor der Mantelfläche der Filterelemente aufbauen, sowie die Plattenkanten beladen sich gleichsinnig mit Ablösungselektrizität, so daß bei der Reinigung durch von innen auftretende Preßluftstöße der absinkende Filterbelag zerrissen wird. Dieser Schlamm kann unten aus dem Filter entfernt werden.

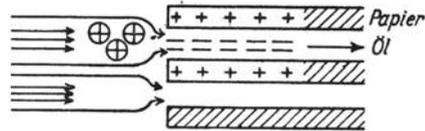


Abb. 718. Darstellung des Elektrocapillareffekts nach Coehn.

7. Zentripetalfilter (Gustav Schlick, Dresden). Gekennzeichnet ist das Filter durch sinnngemäße Ausnutzung der in einer kreisenden Flüssigkeit entstehenden Zentrifugal- und Zentripetalkräfte. Durch Leitapparate für Ein- und Austritt der Flüssigkeit entstehen parallel gerichtete Strömungen um ihre reibungslose Achse mit nach innen abnehmender Geschwindigkeit, wodurch die in der Flüssigkeit verteilten Festkörper der Mitte zustreben und unter dem Einfluß der gleichzeitig wirkenden Kreiselkraft verdichtet oder zusammengeballt werden; durch diese Anordnung ist es möglich, Schweb- und Sinkstoffe dauernd von dem Siebfilter abzuhalten und in einem Absetzraum zur Ruhe kommen zu lassen. An Hand der Abb. 719 erklärt die nachfolgende Beschreibung den Filtrationsvorgang. Durch den schlitzförmigen, tangential gerichteten Ein- und Austritt *E* bzw. *A* der Flüssigkeit entstehen, wie oben erwähnt, Stromlinien um die Mittelachse, wodurch die in der Flüssigkeit verteilten Fremdkörper der Mitte zustreben und unter dem Einfluß der auftretenden Kreiselkraft verdichtet (ausgeflockt) werden. Durch die hierbei einwirkende Zentripetalkraft werden die vorhandenen Fremdkörper von den Filterflächen *s* dauernd abgehalten und kommen im Absetzraum zur Ausscheidung und Ruhe. Für besondere Fälle können auch Abstreifvorrichtungen vorgesehen werden. Durch Absperrern des Zulauf- und augenblickliches Öffnen des Abschlußhahnes wird infolge hydraulischen Rückstoßes (Spülversatzes) die Siebfläche selbsttätig gereinigt und die Absonderung gleichzeitig aus dem Filter entfernt. Der Filterabfluß muß so beschaffen sein, daß die Filterflächen dauernd unter Flüssigkeit stehen, damit sie nicht eintrocknen.

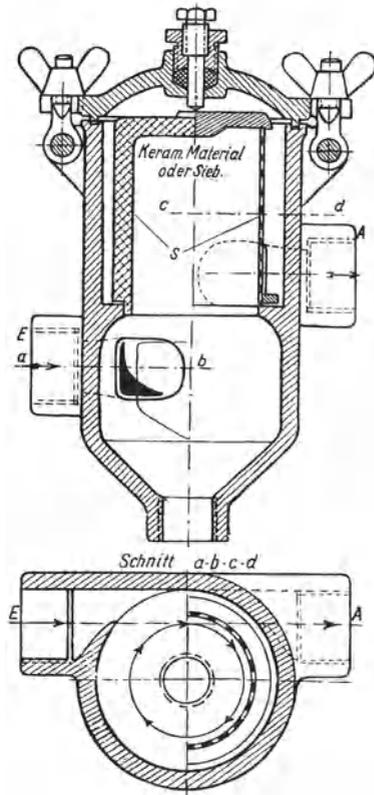


Abb. 719. Zentripetalfilter (Schlick).

Die Reinigung der Filterflächen durch Rückspülung bei gleichzeitiger Ausschleusung der im Absetzraum befindlichen Sinkstoffe erfolgt normal von der

Filtratseite aus. Sie kann aber auch in besonderen Fällen durch andere zur Verfügung stehende Mittel (Dampf, Preßluft, Preßwasser) erfolgen. Die Konstruktion des Filters ist einfach; es besteht aus einem Gefäß mit Trübezu- und Filtratablauf, unterem Abfluß und einem leicht einzubauenden Filterkörper, der durch eine Druckschraube am Deckel auf eine Dichtungsfläche gepreßt wird. Die Filterkörper können aus Sieben von grober Lochung bis zu den feinsten Geweben, ferner aus keramischem Material mit einer Porenzahl von 50000—1000000 auf 1 cm² bestehen, ferner können an Stelle des eingepreßten Filterkörpers mehrere Filterkerzen eingebaut werden. Der Einbau des Filters ist in eine Rohrleitung mit geringer Höhendifferenz möglich.

d) Membranfilter (Ultrafilter, Entkeimungsfilter).

Um aus Flüssigkeiten sehr kleine Stoffe, die unterhalb der mikroskopischen Sichtbarkeit liegen, zu entfernen, verwendet man die von den Erfindern

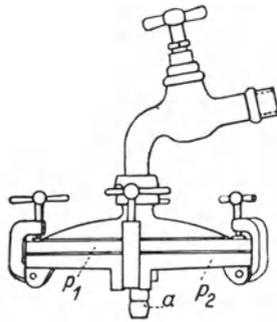


Abb. 720. Membranfilter nach Zsigmondy.

Zsigmondy und Bachmann als Ultra- oder Membranfilter bezeichneten Filtermittel. Das Membranfilter nach Zsigmondy (Abb. 720, vgl. auch Abb. 577, S. 489) wird aus organischen Lösungen der Nitrocellulose nach besonderen Verfahren (Cron, Mannheim-Industriehafen; Membranfilter G. m. b. H., Göttingen) hergestellt, hat eine völlig glatte und glänzende Oberfläche und einen celluloidähnlichen Charakter. Die Festigkeit der Membranfilter ist eine ungewöhnlich hohe, infolgedessen benötigen sie keinerlei Stützsubstanz oder Stützgewebe. Die Membranfilter eignen sich für Filtrationen im Laboratorium genau so wie im Fabrikationsbetrieb und können in allen Filterapparaten Verwendung finden, bei denen ihnen eine Siebplatte als Träger zur Verfügung steht, und die auch gestatten, die Membranfilter flüssigkeitsdicht einzuspannen oder einzuflanschen (Abb. 721 und 722; Membranfilter G. m. b. H., Göttingen).

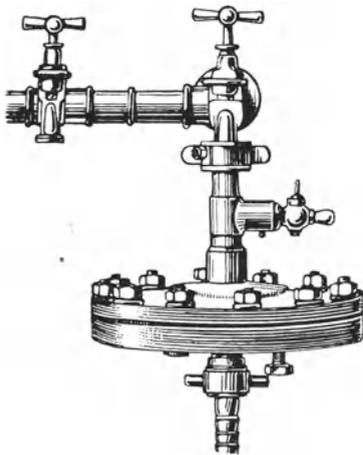


Abb. 721. Membranfilter im Gebrauchszustand.

Ihre Porenweite kann innerhalb weiter Grenzen dem jeweils vorliegenden Bedürfnis angepaßt werden. Die glatte Oberfläche der Membranfilter ermöglicht ein müheloses und einwandfreies Abheben oder Abspülen der auf dem Filter

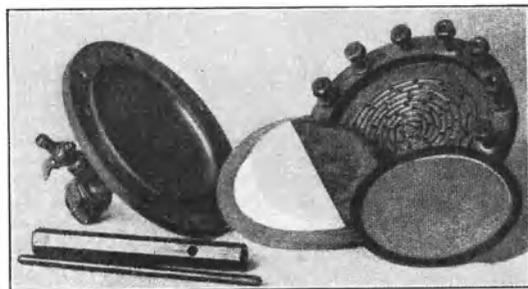


Abb. 722. Membranfilter, zerlegt.

zurückgebliebenen Niederschläge, da bei der richtigen Wahl der Porenweite ein Eindringen der Trübeileichen in das Filtermittel nicht möglich ist.

Unter Verwendung der Membranfilter, die wegen ihrer unbedingten Porengleichheit auch von Bakterien nicht durchwachsen werden können, ist das in Abb. 723 dargestellte Entkeimungsfilter entstanden. Die Bakterien bleiben nach der Filtration auf der Oberfläche der Filtereinlage zurück und können beim Reinigen des Filters leicht entfernt werden. Die Filterwirkung ist eine vollkommen sichere, da die Poren kleiner sind als die Bakterien und folglich letztere mit allen sonstigen Beimengungen, wie Eisen und anderen Schwebestoffen, zurückgehalten werden. Die Leistung der Entkeimungsfilter richtet sich nach dem Verschmutzungsgrad der zu filtrierenden Flüssigkeiten und den zugrunde gelegten Druckverhältnissen. Der Übersicht wegen seien nachstehend einige Daten über die Leistung der Entkeimungsfilter angegeben.



Abb. 723. Entkeimungsfilter Cron.

	Durchmesser		Höhe		Gewicht in kg		Durchmesser der Filteranlage in mm	std-Leistung bei Wasser rd. l	std-Leistung bei Gärungsprodukten rd. l
	in mm	in mm	netto	brutto	in mm	in mm			
Modell Nr. 00 .	380	1100	50	70	300	500—600	150		
Modell Nr. 0 .	600	1100	95	125	510	1200—1500	300		

Das Entkeimungsfilter von Seitz, Kreuznach (Abb. 724), dessen Filterschicht aus dünnen, weichen und unzerbrechlichen Filterplatten besteht, gewährleistet ebenso wie das vorherbeschriebene Filter eine vollkommene Entkeimung. Die etwa 3 mm starken Filterplatten werden zwischen je 2 Kammern eingelegt und dienen beim Zusammenpressen der letzteren zugleich als Dichtungsmittel, so daß der Durchtritt von unfiltrierten Lösungen unmöglich ist. Bei der Feinporigkeit der Filterplatten ist es natürlich, daß die dem Entkeimungsfilter zugeführten Lösungen vorher einer Trennung von größerem Schmutz im gewöhnlichen Filter unterzogen werden, damit die Leistung nicht zu rasch gemindert wird. Je nach der Größe und der verlangten Leistung des Filters werden 12, 20, 40, 60 oder 80 Filterschichten zu einer Beschickung benötigt, was sich nicht auf den Grad der Entkeimung auswirkt, sondern nur eine Vergrößerung der Filterschicht und damit der Filterleistung bedeutet. Nachstehende Tabelle *a* zeigt die im Handel erscheinenden Größen und Leistungen. Die Filter dienen zur Entkeimung von Trink- und Fabrikationswässern, Obstsaften, zur fabrikmäßigen Serumgewinnung usw.

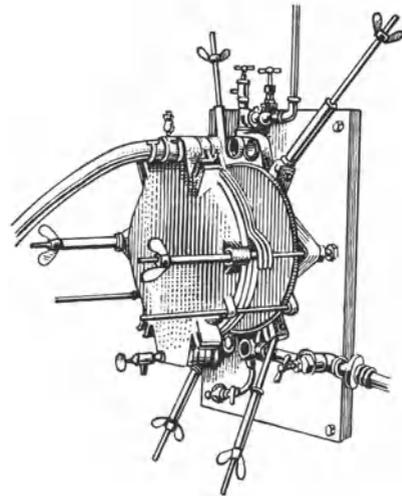


Abb. 724. Entkeimungsfilter Seitz, geöffnet. Eine Entkeimungsschicht „Seitz E.K.“ ist herausgehoben.

Besonders für letzteren Zweck sei nachstehende Tabelle *b* gezeigt, aus der die Größe und Leistung der Entkeimungfilter zu ersehen ist.

Tabelle *a*

Größe	Zahl der Schichten	Ungefähre Stundenleistung in l	Ungefähre Gesamtleistung für 1 Ansatz in l	Abmessung in cm		Gewicht in kg
				Grundfläche	Höhe	
30/12	12	300—350	900—1000	88 × 57	132	119
30/20	20	500—600	1500—1800	116 × 57	132	132
30/40	40	1000—1200	3000—3600	140 × 57	132	170
30/60	60	1500—1800	4500—5500	} 168 × 57	132	211
30/80	80	2000—2400	6000—7500		132	244

Tabelle *b*

Größe	Tagesleistung etwa	
22/2	3,5—5 Liter	} unverdünntes Serum
22/4	7,5—10	
30/4	15—20	
30/8	40	
30/12	60	
30/20	100	
30/40	200	
30/60	300	
30/80	400	

Die Größenbezeichnung gibt in der zweiten Zahl an, wieviel E.K.-Schichten der Größe 22 bzw. 30 für eine Filterpackung erforderlich sind.

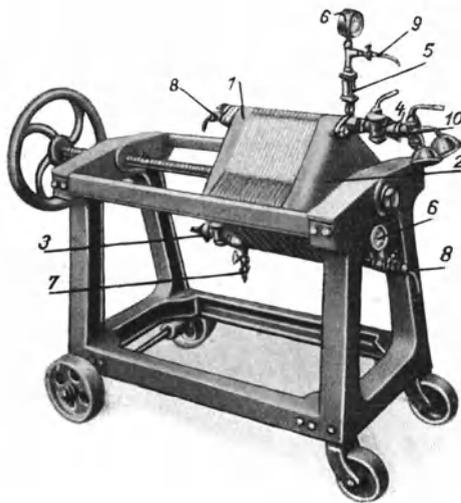


Abb. 725. Keimabscheider (Enzinger-Union-Werke).

1 Eingangsendstück, 2 Ausgangsendstück, 3 Eingangshahn, 4 Ausgangshahn, 5 Schaulaterne für Filtrat, 6 Manometer zur Messung des Eingangs- bzw. Ausgangsdruckes, 7 Entleerungshahn für Kondenswasser mit gerader Schlauchhülse, 8 Entleerungs- bzw. Probeentnahmehahn mit Schlauchkrümmer, 9 Probeentnahmehähnen, 10 Flaschenabfüllhahn.

Keimabscheider (Enzinger-Union-Werke A.-G., Pfeddersheim, Abb. 725 und Abb. 726). Der Keimabscheider (DRP. 605378) hat den Zweck, keimhaltige Flüssigkeiten auf kaltem Wege von schädlichen Organismen zu befreien (Kaltsterilisation). Um eine genügende Leistung und daher ein wirtschaftliches Arbeiten mit den Entkeimungsschichten zu erzielen, ist es erforderlich, daß vor der entkeimenden Filtration blank filtriert ist; der Keimabscheider soll nämlich mit seinen Schichten kein Filter ersetzen, sondern lediglich das Pasteurisieren entbehrlich machen. Fermentierte oder geschönte Flüssigkeit muß also nach Bedarf vorfiltriert, jedenfalls aber ganz klar nachfiltriert werden, damit sie den Keimabscheider gut passieren kann. Neben den Entkeimungsschichten kann auch mit durchlässigeren Klärschichten ge-

arbeitet werden. Diese dienen zur klärenden Filtration von Weinen, Säften usw. Abb. 725 zeigt den betriebsfertigen Keimabscheider. Wie ersichtlich ist, liegt die Eingangsarmatur und damit der Eingangskanal unten, die Ausgangsarmatur bzw. der Ausgangskanal oben. Es gibt zwei Arten von Rosten: einen Eingangsrost (Abb. 726 II), bei dem die zu filtrierende Flüssigkeit führenden Rippen nach unten zum Einlaufkanal durchgeführt sind, und einen Auslaufrost (Abb. 726 I), bei dem die das Filtrat führenden Rippen nach oben durchlaufen. Das Eingangsendstück 1 und das Ausgangsendstück 2 (Abb. 725) haben entsprechend gleiche Anordnung der Rippen. Im Keimabscheider muß auf das Eingangsendstück 1 (Spindelseite) ein Auslaufrost nach Abb. 726 I folgen, dann ein Einlaufrost nach Abb. 726 II usw. abwechselnd bis zum Ausgangsendstück 2. Es muß also immer eine gerade Anzahl abwechselnd angeordneter Roste vorhanden sein.

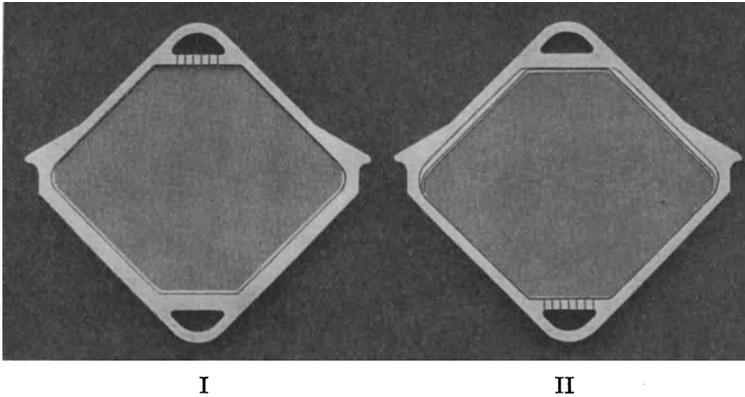


Abb. 726. Ein Eingangsrost (II) und ein Auslaufrost (I) des Keimabscheiders.

Die zum Entkeimen verwendeten Blattschichten müssen so stehen, daß die rauhe, stark genarbte Fläche gegen einen Einlaufrost nach Abb. 726 II gekehrt ist, die glatte fein genarbte Fläche gegen einen Auslaufrost nach Abb. 726 I. Es ist ferner darauf zu achten, daß die Außenkanten der Roste und Schichten sich möglichst genau decken. Vor Inbetriebnahme wird der Apparat in trockenem Zustande fest zugespindelt, dann durch Dampf sterilisiert, wozu ein Druck von etwa 0,5 at genügt. Der sterile Apparat ist durch gewöhnliches Leitungswasser bei langsamem Durchfluß vom Einlauf her rückzukühlen, was in ungefähr 15 Minuten erledigt ist. Im Kühlwasser etwa enthaltene Keime werden durch die Blattschichten aufgehalten, so daß die Auslaufseite des Keimabscheiders tatsächlich steril bleibt. Beim Dämpfen und Kühlen ist der Auslaufhahn nur soweit zu öffnen, wie es für den Austritt des Dampfes bzw. des Wassers nötig ist. Es soll dadurch vermieden werden, daß Keime von außen her eindringen. Nach Beendigung der Rückkühlung sind Ein- und Auslaufhahn zu schließen, worauf der Apparat fertig vorbereitet ist. Der Druckunterschied beim Arbeiten darf bis zu 2 at betragen. Bei Wasserfiltration ist also darauf zu achten, daß nicht der volle Druck der Wasserleitung auf dem Filter steht, sondern nur der zulässige Druck von 2,5 at. Sind die Blattschichten verstopft, so können sie wie bei

jedem Massefilter vom Ausgangshahn her zuerst mit kaltem und dann mit heißem Wasser rückgespült werden. Der Apparat muß dann neu gedämpft und abgekühlt werden. Verbrauchte Blattschichten sind stark mit Keimen behaftet; es ist daher besser, sie nicht aufzubewahren, sondern zu vernichten.

Lit. über Membranfilter (Ultrafilter, Entkeimungsfiler): *W. Hoffmann*, Über die Verwendung von Membranfiltern bei der chem. Bodenanalyse (Z. angew. Chem. 1927, S. 1053). — *G. Jander* u. *J. Zakowski*, Membran-, Cella- und Ultrafilter (Leipzig 1929, Akadem. Verlagsges.) — *H. Hart*, Zement 1927, Nr. 13 u. 27. — *H. Citron*, Über den Nachweis von Tuberkelbacillen im Urin (Dtsch. med. Wschr. 1919, S. 323; ref. Chem. Zbl. 1919, S. 654). — *Strerath*, Inaug.-Diss. Hannover 1927. — *H. Meiringh*, Über Bakterienfiltration mit Zsigmondy-Bachmann-Filtern (Z. Hyg. 1922, S. 116; Klin. Wschr., 1. Jahrg., Nr. 20; ref. Chem. Zbl. 1923 II, S. 313). — *M. Ficker*, Über ein Toxin des aus Gasbrandfällen isolierten *Bacillus oedematis maligni* (Med. Klin. 1917, S. 5). — *R. Kolkwitz*, Plankton-Membranfilter (Ber. dtsh. bot. Ges. 1924, S. 205). — *Zsigmondy* u. *Bachmann*, Über neue Filter (Z. anorg. allg. Chem. 1918, S. 103, 119; ref. Chem. Zbl. 1918, S. 430). — *G. Jander*, Über die beim Arbeiten mit Membranfiltern verwendete Filterapparatur (Z. angew. Chem. 1922, S. 721). — *Strerath*, Die Bedeutung der Membranfilter nach *R. Zsigmondy* für die bakteriologische Diagnose der Tuberkulose (Inaug.-Diss. Hannover 1927). — *R. Zsigmondy*, Über die Filtration von Wasser mit Membranfiltern (Z. Hyg. 1924, S. 97; ref. Chem. Zbl. 1924 II, S. 524; Fa. Cron, Mannheim-Industrieafen). — *Schwenke*, Pharm. Ztg. 1931, S. 30. — *Seitz*, Mitt. Verb. Obst- u. Beerenwein-Kelt. 1932, S. 5; Dtsch. Weinb. — *Uhlenhuth*, Mitteilung über neue Filtriereinrichtung (9. Tag. der Deutschen Vereinigung für Mikrobiologie 1922; Zbl. Bakt. 1. Abt. Originale Bd. 89, Beiheft S. 204). — *Seifert*, Neue Untersuchungen über den Charakter des d'Herelleschen Phänomens (Z. Hyg. Bd. 98; Z. Immunitätsforschung Bd. 37; Med. Klin. 1923). — *Gildemeister* u. *Herzberg*, Über das d'Herellesche Phänomen (Aus der Bakteriologie-Abt. des Reichsgesundheitsamts in Berlin; Zbl. Bakt. 1. Abt. Originale, Bd. 91, Heft 3—4). — *Kister*, Das Seitzsche Wasser-Entkeimungsfiler (Aus dem staatl. Hygien. Institut in Hamburg; Gesundh.-Ing. 1918, Nr. 17). — *Spitta*, Weitere Untersuchungen über Wasserfilter (Arbeiten aus dem Reichsgesundheitsamte, Bd. LI, Heft 3, 1919). — *Larkum*, A Comparison of Seitz and Mandler Filters (Am. J. Public Health & Nation Health Vol. XIX, Number 6, 1929). — *Manteufel*, Demonstration eines neuen Seitzfilters für Laboratoriumszwecke (10. Tagung der Deutschen Vereinigung für Mikrobiologie 1924; Zbl. Bakt. 1. Abt. Originale Bd. 93, Beiheft S. 259). — *W. Tron*, Die Verwendung des Seitzschen Entkeimungsfilters zur Entkeimung von Rotlaufserum (Aus der staatl. Hessisch. Rotlauf-Impfanstalt Gießen; Zbl. Bakt. 1. Abt. Originale Bd. 93, 1924, Heft 5).

II. Stetig arbeitende Filter.

Die seit über 100 Jahren im chemischen Großbetrieb vorherrschende Filterpresse ist in den letzten Jahren teilweise durch Zentrifugen (s. d.) und Vakuumdrehfilter ersetzt worden. Wenn es sich um Filtration von kolloiden Schlämmen handelt, ist die billigere und betriebssichere Filterpresse noch nicht auszuschalten trotz ihrer Nachteile, die in einem starken Filtertuchverbrauch, unterbrochenen Betrieb und in der mindestens 2 Mann erfordernden Bedienung bestehen. Die Zentrifugen sind hauptsächlich dort vorteilhaft anzuwenden, wo es sich um krystalline Materialien handelt, die möglichst weitgehend zu entwässern sind. Jedoch ist das Anwendungsgebiet der Zentrifuge nicht scharf von dem der Vakuumfilter zu trennen. In Zweifelsfällen muß eine genaue Rentabilitätsberechnung entscheiden.

Die Vakuumfilter werden in 3 Typen hergestellt, und zwar als Trommelfilter (2—25 m²), Innenfilter (2—10 m²) und Planfilter bzw. Mam-

mutnutschen ($2\text{--}25\text{ m}^2$). Der Kraftbedarf ist gering und beträgt z. B. zum Antrieb einer 4-m^2 -Trommel ungefähr 1 PS. Nicht zu vernachlässigen ist die Vakuumpumpenarbeit. Man rechnet bei körnigem Material etwa 100 m^3 angesaugte Luft für 1 m^2 Filterfläche je Stunde und 70 m^3 bei weniger durchlässigem Material. Der Kraftbedarf einer Schiebersaugluftpumpe beträgt beim Anfahren für 100 m^3 angesaugte Luft etwas mehr und im Betriebe etwas weniger als 2 PS, an der Pumpe gemessen. In manchen Betrieben bevorzugt man Elmo-Pumpen mit Wasserring, die jedoch einen höheren Kraftbedarf haben. Die Leistung der Filter richtet sich nach dem zu verarbeitenden Material; bei Kohlschlamm z. B. kann man mit einer Leistung von etwa 1000 kg für 1 m^2 Filterfläche je Stunde rechnen. Die Leistungsziffern sind aus den Prospekten der Hersteller zu entnehmen, außerdem werden in den Versuchsanlagen der Apparatebauunternehmen im Bedarfsfalle kostenlos Leistungsversuche angestellt. Bei Planfiltern erhöhen sich die Leistungen auf mehrere $1000\text{ kg/m}^2\cdot\text{std}$, wenn grobkristalline Schlämme gefiltert

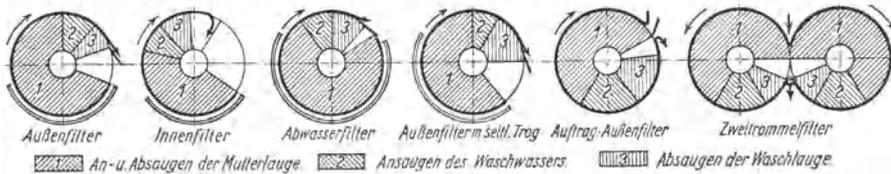


Abb. 727. Schematische Darstellung der Wirkungsweise der Vakuumfilter.

werden. Mit dem Innenfilter kann man bei Verarbeitung von spezifisch schweren, aber körnigen Stoffen, wie Mineralien, eine Leistung von etwa $800\text{ kg/m}^2\cdot\text{std}$ und bei Schlammern, deren Feststoffe z. T. körnig, z. T. kolloid sind, eine Leistung von etwa $200\text{--}500\text{ kg/m}^2\cdot\text{std}$ erzielen. Oft ist eine Kombination mit Dekantierapparaten (Dorr-Eindicker) und Saugfilteranlage zu empfehlen, da die Leistung dieser Filter mit starker Eindickung steigt; zweckmäßig ermittelt man durch Vorversuche das günstigste Verhältnis.

Die Wirkungsweise der Vakuumfilter ist folgende (Abb. 727). Der Schlamm wird meist einem Vorratsbehälter entnommen, in dem ein Rührwerk ein Absetzen verhindert. Die festen Stoffe legen sich, durch das Vakuum angezogen, in einer gleichmäßig dicken Schicht auf die Filterfläche und werden bei weiterem Vorschub durch die angesaugte Luft immer mehr von Flüssigkeit befreit. Luft und Wasser trennen sich in einem Vakuumkessel; kurz vor der Aufgabestelle hebt ein genau einstellbares Messer den entwässerten Stoff ab, worauf der Arbeitsvorgang von neuem beginnt. Im Innern der Trommel liegen die Steuerorgane, die den folgerichtigen Verlauf der einzelnen Arbeitsgänge steuern.

a) Trommelfilter verwendet man zur Entwässerung von homogenen, feinkristallinen Schlammern, wie Kalischlamm, Braunkohlschlamm aus Brikettfabriken, Schlammern aus der Kohlen- und Erzaufbereitung, schlammige Produkte der chemischen Industrie, der Nahrungs- und Genussmittelwerke, der Stärke-, Farben-, Zellstofffabriken, der Kreide-Kalkwerke usw.

Das Schema einer Trommelfilteranlage (Maschinenfabrik Gröppel, Bochum), ist in Abb. 728 dargestellt. Der Schlamm wird in den Filtertrog geleitet, in dem ein Schwenkrührwerk (Abb. 729) ein Festsetzen der Feststoffe am Boden des Troges verhindert. In dem Trog rotiert die in Zellen unterteilte Trommel. Unter Vakuum

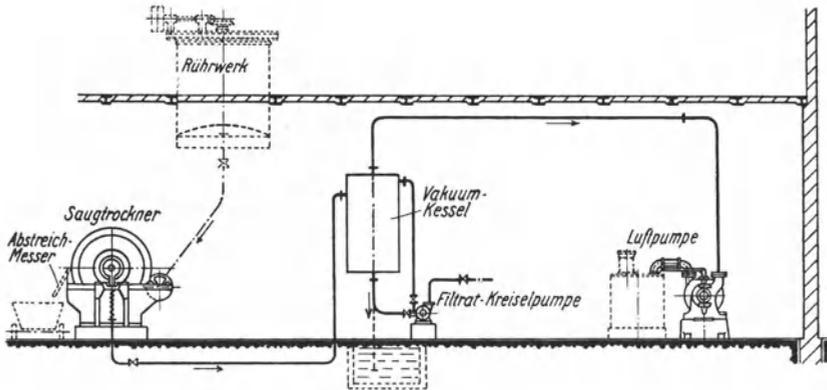


Abb. 728. Trommelfilteranlage (Gröppel).

gesetzt, saugt der eingetauchte Teil des Trommelumfangs den Schlamm aus der im Trog befindlichen Trübe an. Die Feststoffe setzen sich auf der Filterfläche in einer gleichmäßig dicken Schicht ab und werden bei der weiteren Drehung der Trommel — nach dem Austausch aus dem Trog — durch die nunmehr

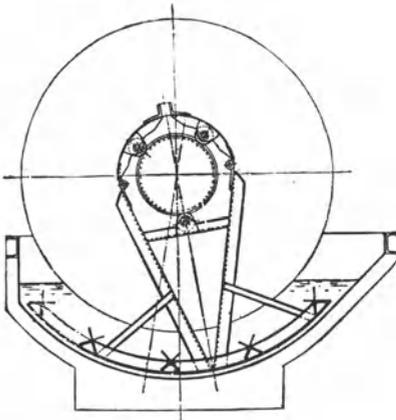


Abb. 729. Schwenkrührwerk (Gröppel).

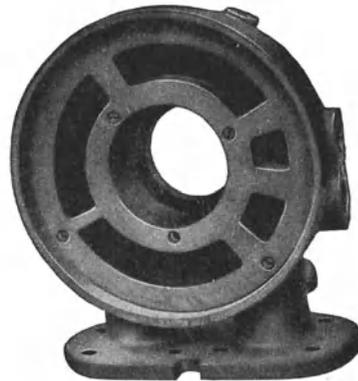


Abb. 730. Steuerkopf (Gröppel).

eingesaugte Luft immer mehr vom Wasser befreit. Luft und Wasser gelangen in das Innere der Trommel und von dort durch den Steuerkopf (Abb. 730) in den Vakuumkessel. Kurz vor der Eintauchstelle, nimmt ein genau einstellbares Messer *c* (Abb. 731) die entwässerten Feststoffe von der rotierenden Trommel ab. Die abgesaugte Flüssigkeit wird von einer Filtratpumpe aus dem Vakuumkessel abgeführt oder fließt bei genügender Fallhöhe

von selbst ab. Die Luft wird von der Luftpumpe aus dem Vakuumkessel abgesaugt. Mit dem Trommelfilter ist es auch möglich, die in den abgesaugten Feststoffen noch enthaltenen wertvollen Bestandteile durch ein Deck- oder Auswaschmittel auszuwaschen und getrennt abzuführen, weil das Urfiltrat abgeführt werden kann, ehe das Waschfiltrat in die Kammern eindringt. Jedes Filtrat wird einzeln durch einen besonderen Sektor im Steuerkopf abgezogen. Die Bauart der Filtertrommel zeigt Abb. 732. Sie ist durch radial verlaufende Wandungen in Zellen eingeteilt, deren Ausläufe durch einen ebenfalls in Zellen geteilten Lagerzapfen in den Steuerkopf münden. Die Oberfläche der Trommel besteht in der Regel aus gelochtem Eisen- oder Metallblech, auf dem die Filterbespannung aus Drahtgewebe oder Stoff aufgezogen ist. In besonderen Fällen werden an Stelle der Bleche auch poröse Filtersteine ohne Filterbespannung verwendet. Für besondere Zwecke der chemischen Industrie ist ein Schutz des Apparates gegen Säureeinwirkung vorgesehen. An der Stirnseite des Lagerzapfens schleift der dreh-schieberartig wirkende Steuerkopf (Abb. 730). Dieser hat in der Regel drei, als Waschapparat jedoch mehr Kammern, an denen die Mündungen der Filterzellen nacheinander vorbeistreichen. Die Kammern stehen mit der Vakuumleitung in Verbindung und wirken auf die eingetauchte und mit Feststoffen behaftete Filterfläche bis zur Abnahmestelle. Zwei kleinere Kammern bewirken in Verbindung mit einer Druckluft- oder Dampfleitung die Ausblasung der Filterfläche zwischen Materialabnahme und Eintauchstelle, ferner das Anlüften und Abdrücken des Filterkuchens oberhalb des Abnehmemeßers.

Zufolge der Möglichkeit des Abdrückens des Filterkuchens und der Reinigung der Filterbespannung im stetigen Betrieb kann der Filtrvorgang den

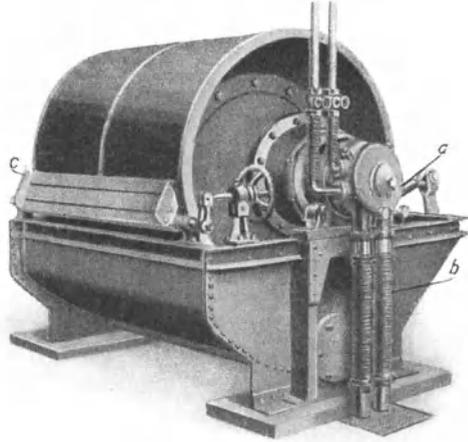


Abb. 731. Gesamtansicht des Gröppelschen Trommelfilters.



Abb. 732. Filtertrommel (Gröppel).

Eigenschaften der verschiedenen Materialien angepaßt und die Leistung bedeutend gesteigert werden. Feste Regeln für das Ausspülen oder Ausblasen der Bespannung lassen sich nicht geben, da viele Schlämme gar kein Ausblasen,

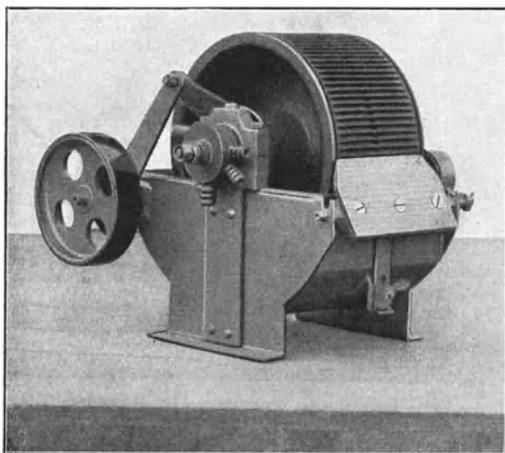


Abb. 733. Laborfilter (Gröppel).

andere ein andauerndes schwaches oder auch nur zeitweiliges Ausblasen erfordern. Das abgezogene Filtrat kann durch Schaugläser am Steuerkopf beobachtet werden. Die in den Schlämmen enthaltenen Feststoffe sind in manchen Fällen mengenmäßig zu gering, um eine gute Leistung des Trommelfilters zu ermöglichen, weil die von einer großen Filtratmenge getragenen Feststoffteilchen in die Poren des Filters hineingerissen werden und diese verstopfen, während bei stärker eingedickten Schlämmen die Feststoffe sich bereits vor dem Filtertuch überbrücken und

dadurch das Filter porös bleibt. Es empfiehlt sich daher, die Schlämme vorher in stetig arbeitenden Eindickern zu verdicken.

Bei Projektierung neuer Anlagen kann die Eignung von Trommelfiltern nicht durch Filterversuche auf dem bekannten Büchner-Trichter festgestellt

werden, weil bei diesem das Filtergemisch von oben in einen Trichter gegeben wird, während die Filtertrommel das Gemisch von unten her aus einem Troge ansaugt. Gröppel hat zu diesem Zweck Laborfilter (Abb. 733) geschaffen, die bei einer kleinen Filterfläche nach demselben Grundsatz wie die großen Trommelfilter arbeiten. Auf die Leistung und den Trockenheitsgrad des abgenommenen Gutes kann man durch Veränderung der Tourenzahl zwischen $\frac{1}{5}$ und 4 U/min, durch Senkung oder Hebung des Schlammspiegels im Trog, durch Auswahl eines dichteren oder dünneren Filtergewebes und durch Veränderung des Feststoffgehaltes im Schlamm einwirken.

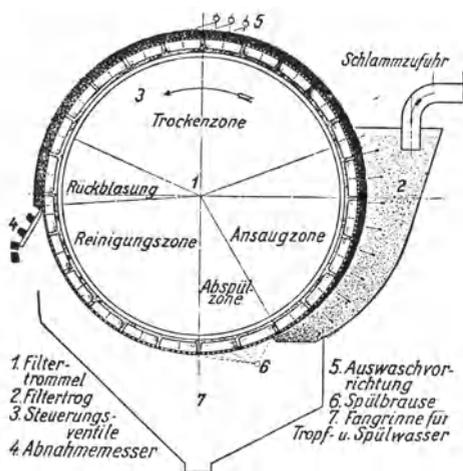


Abb. 734. Einheitsdrehfilter (Schüchtermann & Kremer-Baum; Querschnitt.)

1. Einheitsdrehfilter (Schüchtermann & Kremer-Baum, Dortmund). Bei den üblichen Trommelfiltern taucht die Trommel von oben in den Trog ein, um den Feststoff entgegen der Schwerkraft von unten nach oben anzusaugen.

Bei Schlämmen mit höherem spezifischen Gewicht und grober Struktur ist auf diese Weise eine Kuchenbildung schwer zu erreichen. Bei dem Einheitsdrehfilter (Abb. 734 und 735) liegt der Schlammtrug seitlich, so daß die großen und schweren Feststoffe auf den Boden des Troges sinken und von hier als Unterlage für die feineren Schlamnteile an das Sieb gesaugt werden. Die Steuerung des Arbeitsvorganges geschieht nicht mit dem sonst üblichen Steuerkopf, sondern jede einzelne Zelle hat für die Evakuierung und den Filtratablauf sowie für die Preßluft am Trommelumfang angebrachte Ventile. Luft und Flüssigkeit trennen sich nach dem Austritt aus der Zelle im Hohlraum des Steuerorgans, so daß besondere Vakuumkessel nicht nötig sind.

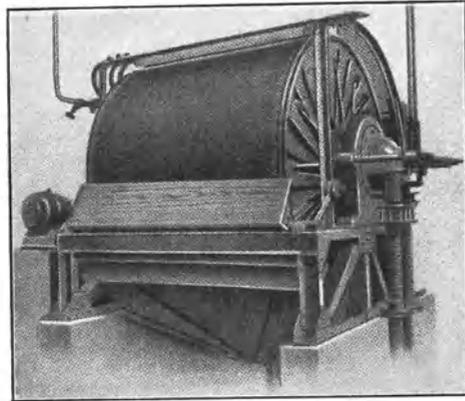


Abb. 735. Einheitsdrehfilter (Schüchtermann & Kremer-Baum; Ansicht.)

2. Abwaschfilter. Eine Sonderbauart für die Zellstoffentwässerung und das Filtern der Papiermaschinenabwässer ist das Abwaschfilter (Abb. 736) von R. Wolf, Magdeburg-Buckau, das infolge der besonders hohen Trogausführung ermöglicht, daß etwa 80 Proz. des Trommelumfangs in das Filtergut eintauchen und eine wesentlich höhere Leistung erzielt wird. Die Bespannung der Siebtrommel wird durch seitliche Ringe gehalten oder ist an den Rändern aufgelötet, so daß die bei Trommelfiltern übliche Drahtbewindlung entfallen kann. Hierdurch ist es möglich, daß auch hauchdünne Filterschichten infolge der Adhäsionswirkung einer Gummwalze restlos entfernt werden können. Die Filterfläche kann von außen und innen gründlich gereinigt werden, wodurch für den Dauerbetrieb eine hohe Leistung gesichert ist. Die Filter werden mit einer Filterfläche von 0,5—10 m² und einem Trommeldurchmesser von 1200—1750 mm gebaut.

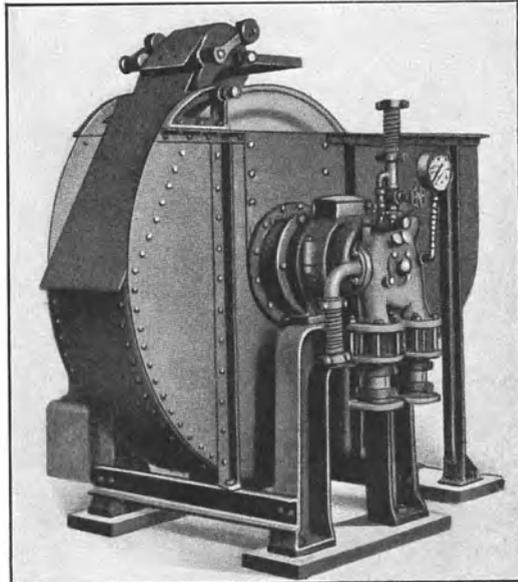


Abb. 736. Abwaschfilter (Wolf).

3. Abwasserzellenfilter. Abb. 737 zeigt die Aufstellung einer Abwasserzellenfilteranlage, bei der die zur Erzeugung des Vakuums übliche

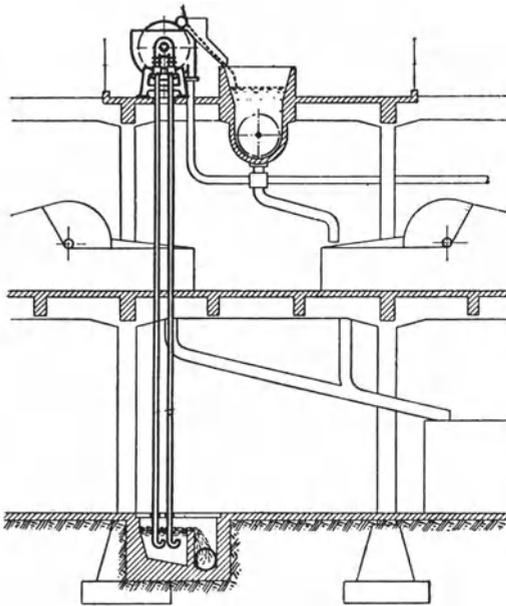


Abb. 737. Abwasserzellenfilteranlage mit Fallrohrsaugern (Starke & Hoffmann, Hirschberg i. Schl.).

Doppelfilters, während nach der Aufmischung außen zum zweitenmal entwässert wird.

5. Das **Auftrag-Außenfilter** (Abb. 739, Eisenwerk Gerlach, G. m. b. H., Nordhausen a. H., Humboldt-Deutzmotoren A.-G., Köln-Deutz) dient zur Filtration von Schlammtrüben, die selbst in Rührwerkströgen noch die Neigung zum Absetzen haben. Der Zulauf der Trübe erfolgt vor einer Aufgabewand auf der oberen Seite der Trommel kurz hinter der Abnahmestelle des Filterkuchens. Die absinkenden Feststoffteilchen setzen sich unmittelbar auf dem Filtertuch ab und bilden für die nachfolgenden feineren Trübeteilchen eine für die Entwässerung günstige gröbere Unterlage. Das Auswaschen des Filterkuchens geschieht derart, daß die Trommel an ihrer tiefsten Stelle in einen mit der Waschflüssigkeit gefüllten Trog eintaucht, so daß das auf den Trommelzellen stehende Vakuum die Waschflüssigkeit durch den Kuchen

Luftpumpe entfällt und durch erhöhte Aufstellung des Filters (7—10 m) und Ausnutzung der ablaufenden großen Wassermengen ein genügender Unterdruck mittels eines barometrischen Fallrohrs erzielt werden kann.

4. Das **Doppelfilter** (Abb. 738, R. Wolf, Magdeburg-Buckau; Humboldt-Deutzmotoren A.-G., Köln-Deutz) ist eine Vereinigung von Außen- und Innenfilter, besitzt also eine äußere und innere Filterfläche und arbeitet nach dem sog. Tandemverfahren. Hier wird eine restlose Trennung von Flüssigem und Festem dadurch erreicht, daß der bereits gefilterte und in einer Waschflüssigkeit wieder angemischte Feststoff nochmals gefiltert wird. Vorgefiltert wird auf der Innenseite des

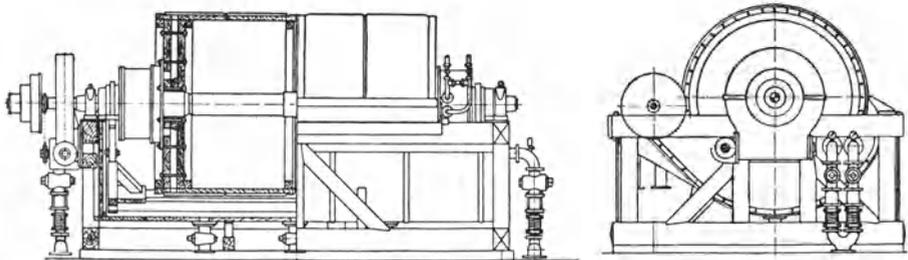


Abb. 738. Doppelfilter (Wolf, Humboldt-Deutz.)

saugt und die letzten Reste der Mutterlauge verdrängt. Der trockene Filterkuchen wird wie bei den anderen Filtern durch kurze Einwirkung von Preßluft vom Filter gehoben und durch Schabmesser restlos entfernt. Für größere Leistungen werden 2 Filter unmittelbar nebeneinander gesetzt (Abb. 740), so daß der obere Zwischenraum als Trog ausgebildet werden kann. Beide Trommeln sind miteinander gekuppelt und drehen sich entgegengesetzt.

6. Saugzellenfilter. Abb. 741 zeigt ein Saugzellenfilter, Bauart *Fuchs*, bei dem die zu filtrierende Flüssigkeit seitlich auf die Saugtrommel aufgetragen und nicht entgegen der Schwerkraft angesaugt wird. Der Auftrag erfolgt aus einem Sammelbehälter *c*, dessen Zulauf zwangsläufig durch den verstellbaren Zuteiler *a* gesteuert wird; falls die Saugwalze das Filtergut nicht vollständig verarbeiten kann, wird es durch einen Überlauf *s* (Abb. 743) in den Zulauf zurückgeführt. Der feste Kuchen wird durch einen Abnehmer von der Trommel abgehoben und das Filter durch Nachspülen mittels Spülrohren gereinigt. Die Aufstellung einer solchen Anlage ist aus Abb. 742 ersichtlich.

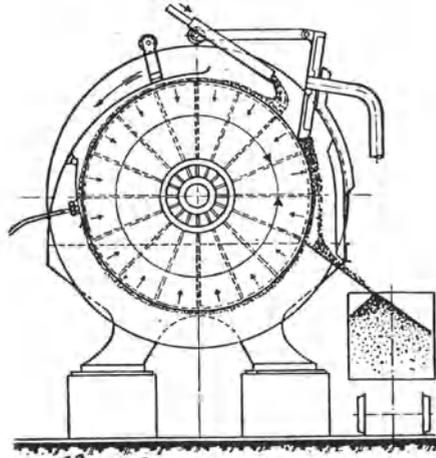


Abb. 739. Auftrag-Außenfilter (Gerlach, Humboldt-Deutz).

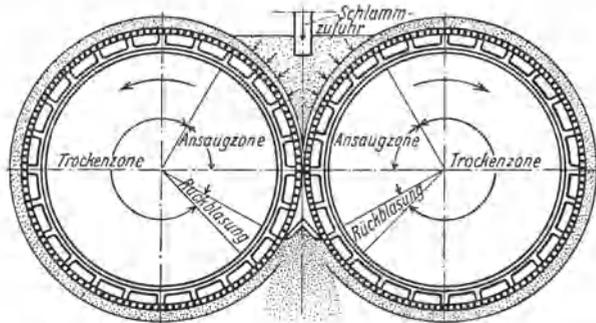


Abb. 740. Auftrag-Außenfilter in doppelter Ausführung.

Saugzellenfilter mit Schnurabnahme (Abb. 744—754, Maschinenfabrik Imperial, Meißen) bestehen im wesentlichen aus dem Filtertrog, der Filtertrommel und der Schnurabnahme für den Filterkuchen. Der Filtertrog enthält das Filtergut. Die drehbar gelagerte Filtertrommel taucht mit einem Teil ihrer Oberfläche in die Trübe ein. Der Trommelmantel ist in einzelne Zellen eingeteilt, die mit Filtertuch bespannt sind. Die Zellen sind durch Absaugrohre mit einem Steuerorgan verbunden und werden beim Eintauchen in den zu filternden Stoff unter Vakuum gesetzt. Durch das Vakuum werden die flüssigen Bestandteile (das Filtrat) angesaugt. Die festen Bestandteile werden auf dem Filtertuch zurückgehalten und bilden den Filterkuchen, der nach Austausch aus dem Filtertrog auf der oberen Trommelhälfte weiter entwässert wird. An einer bestimmten Stelle wird der Filterkuchen durch die Schnurabnahme abgehoben, hierauf beginnt der Filtervorgang von neuem. Auf dem Trommelmantel sind 10—12 mm hohe Ring- und Längsleisten auf-

gebracht, die die einzelnen Zellen umgrenzen (Abb. 745). Im Zellenhohlraum liegt ein flaches Spiraldraht- oder Peddigrohrgeflecht, das auf dem Trommelmantel befestigt ist. Diese Geflechte haben einen großen Durch-

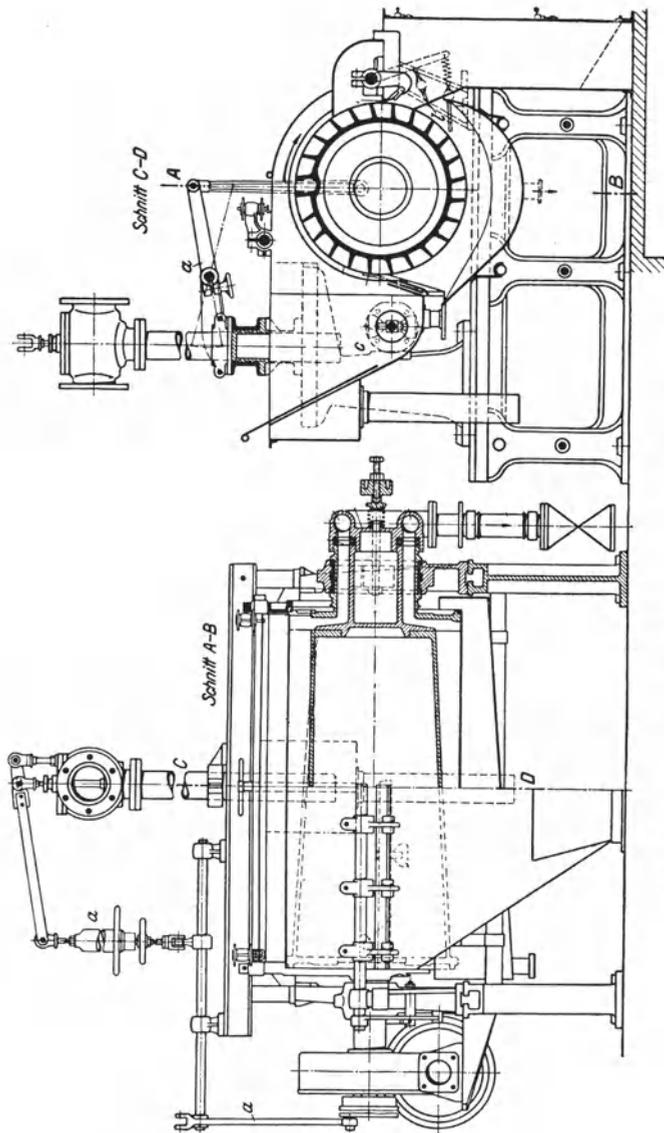


Abb. 741. Saugzellenfilter, Bauart Fuchs (Starke & Hoffmann).

flußquerschnitt und stützen das Filtertuch auf der ganzen Fläche. Das feine Filtertuch wird durch ein grobes Padduckgewebe unterpolstert, das in die Keilnuten der Trennleisten mit einer starken Schnur eingeklinkt wird (Abb. 746). Das Filtertuch wird dann in einem einzigen Stück um die

Trommel gespannt und mit dem Paddock zusammen in die beiden Ringleisten am Trommelumfang und einmal an der Stoßstelle in eine Längsleiste eingeklinkt (Abb. 747). Dadurch wird die Filterfläche voll erhalten, eine gleichmäßige, geschlossene Kuchendecke erzielt und das Aufspannen des Filtertuchs vereinfacht. An jeder Zelle sind je nach der Länge der Filtertrommel und der Filtratmenge einzelne oder mehrere Absaugstutzen vorgesehen, die in ein Sammelrohr münden. Alle Sammelrohre sind an einen gemeinsamen Steuerkern angeschlossen, der für jedes Rohr eine radiale Öffnung am äußeren Umfang besitzt. Diese Mündungen der Absaugkanäle werden durch einen

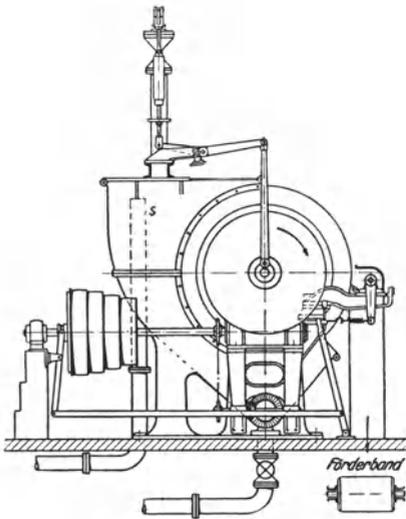


Abb. 742.
Saugzellenfilter zu Abb. 741.

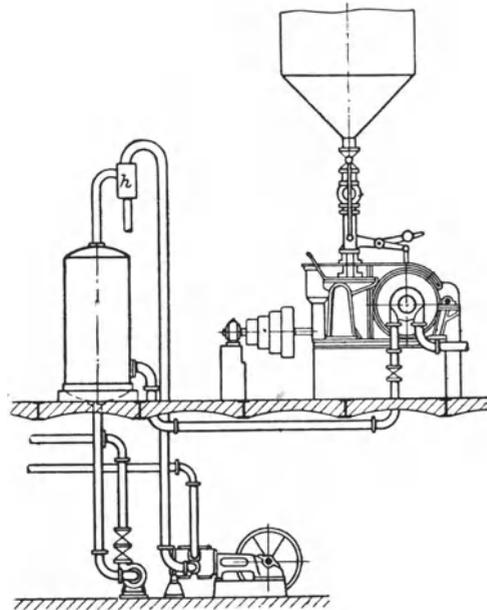


Abb. 743. Aufstellung der Filteranlage,
Bauart Fuchs.

steuernden Ring gruppenweise in Zonen zusammengefaßt. Steuerkern und Trommel sind mit der Filterwelle verbunden und drehen sich, während der Steuerring feststeht und als Schaltorgan für die Filterzellen wirkt. Man unterscheidet Filterzone, Entwässerungszone, Abnahmezone, gegebenenfalls noch Waschzone. Die luftdichte Trennung der Zonen im Steuerring erfolgt beim Saugzellenfilter durch auswechselbare und nachstellbare Pockholzstopfen, die auf dem Steuerkern mit leichtem Druck aufsitzen. Die seitliche Abdichtung des Steuerringes auf dem Steuerkern geschieht mittels Stopfbüchsen. Die genaue Einteilung und Anordnung der Zonen wird auf Grund der Versuchsergebnisse vorgenommen. Die Schnurabnahme des Saugzellenfilters besteht aus einzelnen, endlosen, im Abstand von 6—25 mm parallel nebeneinanderlaufenden Schnüren, die um die Trommel herumlaufen. Sie liegen unmittelbar auf dem Filtertuch und werden bei der Drehung mitgenommen. Auf dem Wege durch den Trog setzt sich der Filterkuchen auf dem Filtertuch ab und schließt die Schnüre als Verstärkungsorgan ein.

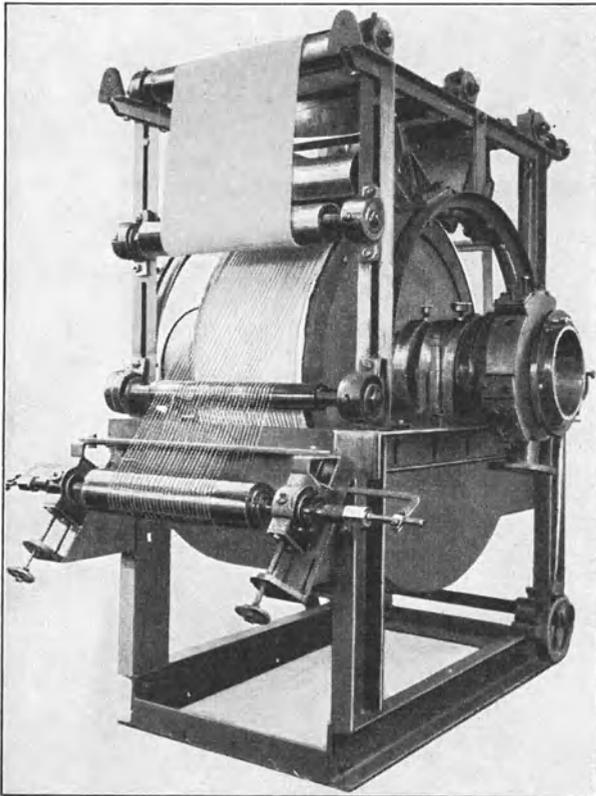


Abb. 744. 1,5 m²-Imperial-Versuchfilter mit Schnurabnahme, Spezialsteuerkopf, verstellbarem Filtertrog.

Schnurbandes abfallen. Hinter der Abnehmwalze laufen die Schnüre durch einen Kamm, der sie in gleichem Abstand führt und die letzten Materialreste abstreift. Über eine dicht am Trommelumfang gelagerte Einführungswalze werden die gereinigten Schnüre auf die Trommel zurückgeleitet. Kuchenverstärkungs- und Abnehmband können auch einzelne Ketten, Drahtgewebe, Spiraldrahtgeflechte

Nach Durchwandern der Entwässerungszone gelangt der Kuchen mit den eingebetteten Schnüren in die Abnahmezone. Diese Zone steht durch eine Öffnung im Steuerkopf mit der Außenluft in Verbindung. Durch die eintretende Außenluft wird der Unterdruck in der Zelle aufgehoben. Der Kuchen ist nicht mehr an der Oberfläche der Trommel festgesaugt und wird nun durch die tangential ablaufenden Schnüre langsam und vorsichtig abgehoben. Die Schnüre übernehmen ihre Aufgabe als Verstärkungsmittel des Kuchens und tragen ihn in geschlossener Bahn bis zur Abnehmwalze. In den weitaus meisten Fällen wird hier der Kuchen durch das Umlenken des

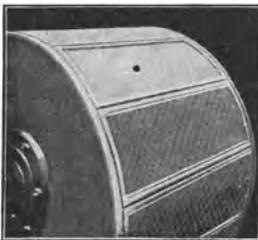


Abb. 745. Filtertrommel mit Saugzellen (Imperial).

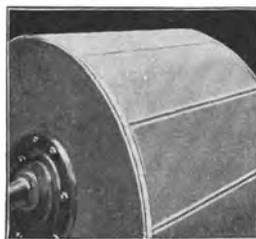


Abb. 746. Unterpolsterung der Saugzellen mittels eines Paddockewebes (Imperial).

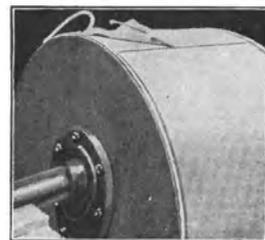


Abb. 747. Bespannung der Filtertrommel mit dem Filtertuch (Imperial).

und andere geeignete Transportmittel sein. Mit den Schnur-, Ketten- oder Siebabnahmen ist es möglich, Filterkuchen von 1 mm Stärke ebensogut wie dicke Filterkuchen restlos und sauber als geschlossene Kuchendecke von der Filtertrommel abzuheben. Ferner fällt die Beanspruchung des Filtertuches durch die sonst üblichen Schaber weg, so daß dünne Filtertücher ohne Verstopfungsmöglichkeit verwendet werden können. Durch saubere und restlose Kuchenabnahme wird das Tuch dauernd auf der ganzen Fläche gleichmäßig offen und durchlässig gehalten. Die Anwendung eines Überdruckes zur Entfernung des Filterkuchens ist überflüssig und somit auch die bei den mit Preßluft arbeitenden Filtern nötige Drahtumwicklung des Filtertuches. Wie aus Abb. 748 ersichtlich ist, bläht sich bei den mit Preßluft arbeitenden Filtern das Filtertuch auf, das sich dadurch ausdehnt und öfters nachgespannt werden muß. Ferner wird das in den Zellen und am Tuch haftende Restwasser wieder in den abzunehmenden Filterkuchen zurückgeblasen. Die Zellenhöhe beträgt, wie eingangs erwähnt, nur

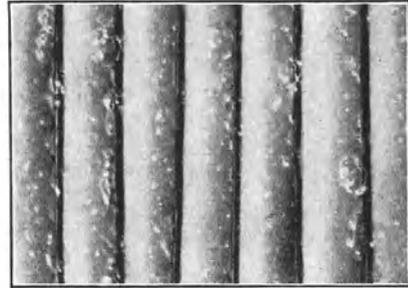


Abb. 748. Aufblähen des Filtertuchs durch Preßluft (Imperial).

10—12 mm, so daß sich für ein 20 m²-Filter für alle Zellen zusammen ein Rauminhalt von nur 0,2—0,24 m³ gegenüber dem sonst üblichen 20- bis 30fachen Volumen ergibt. Da der Rauminhalt der Zellen bei jeder Umdrehung evakuiert werden muß, sinkt der Luftverbrauch bei solch kleinen Zellen wesentlich. Das endlose Preßband (Abb. 749) wird durch geeignete Führungs- und Spannwalzen so geleitet, daß es den Kuchen in der Entwässerungszone bedeckt. Es wird durch das Vakuum angesaugt und von der Filtertrommel mitgenommen. Das Preßband dient zur besseren Entwässerung des Filterkuchens und wird in seiner Wirkung durch mehrere Druckrollen unterstützt. Dadurch werden die Risse, die sich oft beim Trockensaugen im Kuchen bilden, nicht nur oberflächlich zugeschmiert, sondern vollkommen geschlossen. Auch wird eine gleichmäßige Entwässerung bei geringstem Luftverbrauch erzielt. Die Durchlässigkeit des Preßbandes, das aus grobem, festem Gewebe oder Gummi besteht, wird dem Filtergut angepaßt.

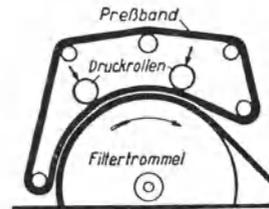


Abb. 749. Entwässerung des Filterkuchens durch ein Preßband (Imperial).

Lit. über Entwässerung des Filterkuchens s. S. 495.

Bei den üblichen Auswaschvorrichtungen wird das Waschwasser durch Düsen unmittelbar auf den Filterkuchen gespritzt. Ein Abspülen des Filterkuchens ist dabei oft unvermeidlich. Beim Entwässern und Trockensaugen entstehen Risse, durch die das Waschwasser ohne jeden Wascheffekt hindurchgerissen wird. Die Überschneidung der Düsenkegel bedingt eine ungleichmäßige Wasserverteilung. Dieser Übelstand wird durch das leichte Zusetzen der Düsen noch verschlimmert. Überschüssiges Waschwasser

rinnt an der Filtertrommel herunter, wäscht Rinnen in den Filterkuchen und verdünnt den Filtertroginhalt. Eine scharfe Trennung der Waschlagen durch Ineinanderfließen der Waschzonen unmöglich. Das Ergebnis ist eine ungleichmäßige Auswaschung mit sog. unausgewaschenen Nestern im Filterkuchen. Durch Anwendung eines endlosen Waschbandes (Abb. 750) aus saugfähigem Gewebe, luftdurchlässigem Gewebe, Filz, Pad-duck o. dgl., werden beim Saugzellenfilter „Imperial“ diese Mißstände behoben. Das Preßband kann in dem Augenblick auf den Filterkuchen auflaufen, wo dieser aus der Trogflüssigkeit austaucht. Die pressende Wirkung des Waschbandes, verstärkt durch die Druckrollen, verhindert Rissebildung. Das Washwasser läuft in genau regulierbaren Mengen aus einem

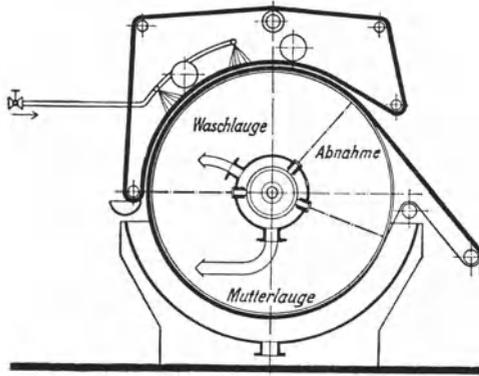


Abb. 750. Auswaschen des Filterkuchens mittels Waschbandes (Imperial).

oder mehreren Rohren, die in gleichen Abständen Öffnungen haben, auf das Waschband und verteilt sich gleichmäßig in dem saugfähigen Gewebe, so daß jeder Stelle des Filterkuchens dieselbe Waschwassermenge zugeleitet wird. Die

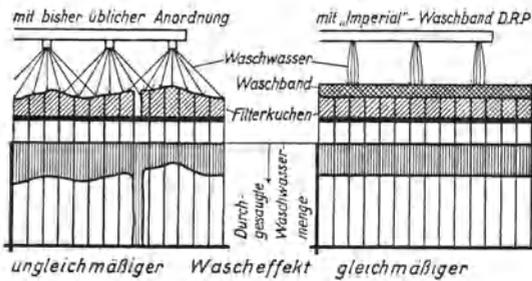


Abb. 751. Vergleichende Darstellung des Wascheffekts.

Die Waschflüssigkeit wird von dem Gewebe auf der gesamten Waschzone festgehalten, so daß auch die nach unten geneigte Fläche der Filtertrommel als Waschzone wirksam arbeitet. Der Überschuß an Waschwasser wird am tiefsten Punkt des Waschbandes durch eine Rinne aufgefangen

und zurückgeleitet. Eine Verdünnung des Filtertroginhaltes durch Hineinlaufen der Waschflüssigkeit in den Trog wird hierbei ausgeschaltet (Abb. 751).

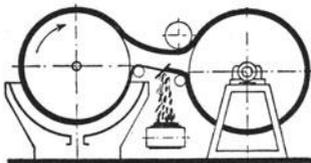


Abb. 752. Trocknen des Filterrückstandes am laufenden Band (Imperial).

Für den Fall, daß die von den stetig arbeitenden Filtern anfallenden Rückstände nicht genügend trocken sind, hat die Maschinenfabrik Imperial verschiedene Konstruktionen entworfen, bei denen das Filtergut am laufenden Band getrocknet wird. Abb. 752 zeigt die Trocknung dünner Filterkuchen, die nach Abnahme durch das Schnurband um einen Trockenzylinder geleitet werden. Dieser wird nicht angetrieben, sondern einfach vom Schnurband mitgenommen.

Abb. 753 ist eine Konstruktion, die dann Anwendung findet, wenn niedrigere Endwassergehalte und dickere Filterkuchen vorliegen oder höhere Leistungen

verlangt werden. Dieser nachgeschaltete Laufbandtrockner erlaubt, daß das Trockenmittel beide Seiten der dünnen Materialschicht bespült, und gewährleistet eine staubfreie, gleichmäßige Trocknung. Abb. 754 veranschaulicht den Trockenvorgang von pastenförmig anfallendem Material jeder

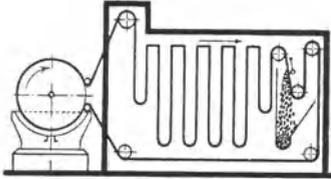


Abb. 753. Der Laufbandtrockner für beidseitige Trocknung (Imperial).

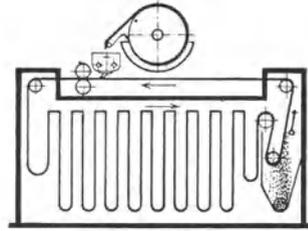


Abb. 754. Der Laufbandtrockner für pastenförmige Filterrückstände (Imperial).

Konsistenz, das durch Walzen oder eine Dünnschichtpresse in dünne gleichstarke Schichten aufgeteilt und im Laufbandtrockner getrocknet wird.

Lit. über Trocknung s. S. 495.

Bemerkenswert sind einige Einzelheiten, wie z. B. die Ausgestaltung der Rührwerke. Abb. 755 zeigt einen Aufgabetrog mit einem Paddelrührwerk (R. Wolf), dessen nach außen durchgeführtes Ende durch eine Kette

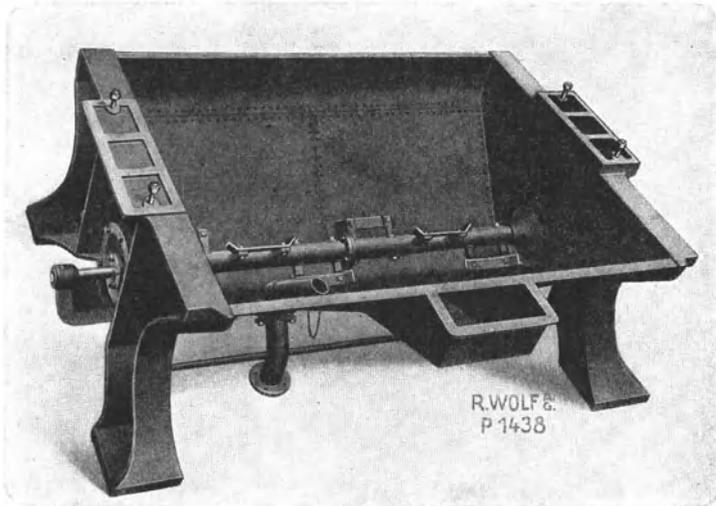


Abb. 755. Paddelrührwerk (Wolf).

angetrieben wird. Abb. 756 zeigt ein Schwenkrührwerk (R. Wolf), das um die Lagerhülse der Trommel pendelt. Der Exzenterantrieb ist aus der Abb. 757 (R. Wolf) ersichtlich. — Abb. 758 zeigt eine Gummiabnehmwalze mit Abstreichschaber (R. Wolf) für weiche, kolloide Filterkuchen, die wegen ihrer

Beschaffenheit von den gewöhnlichen Schabern unvollkommen abgenommen werden. — Wenn die Filtration unter Anwendung von Schutzgasen erforderlich wird, sei es zur Herbeiführung oder zur Ver-

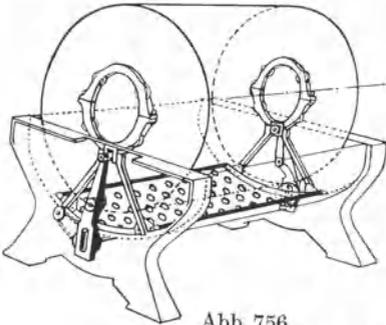


Abb. 756.
Schwenkrührwerk (Wolf).

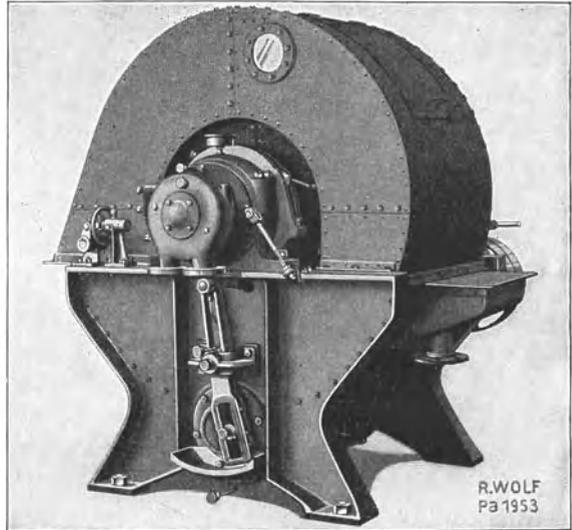


Abb. 757. Exzenterantrieb für das Schwenkrührwerk (Wolf).

hütung chemischer Veränderungen, wie Oxydation oder Selbstentzündung, so werden die Filter mit Hauben versehen. Diese Einkapselung erlaubt, auch Warmluft für stärkere Trocknung heranzuziehen oder die Bedienung,

falls das Filtergut übelriechende oder giftige Gase ausströmt, gegen deren Einwirkung zu schützen.

Eine Drucktuchvorrichtung (Gröppel, Abb. 759) wird an Trommelfiltern dann angebracht, wenn der Filterkuchen zur Reißbildung neigt, was schlechtes Vakuum und ungenügende Trocknung zur Folge hat. Beim Rotieren der Trommel wird das Drucktuch durch den atmosphärischen Druck auf den Filterkuchen gepreßt; hierdurch wird der Kuchen verdichtet, eine zu große Reißbildung vermieden und eine bessere Trocknung erzielt. Der atmo-

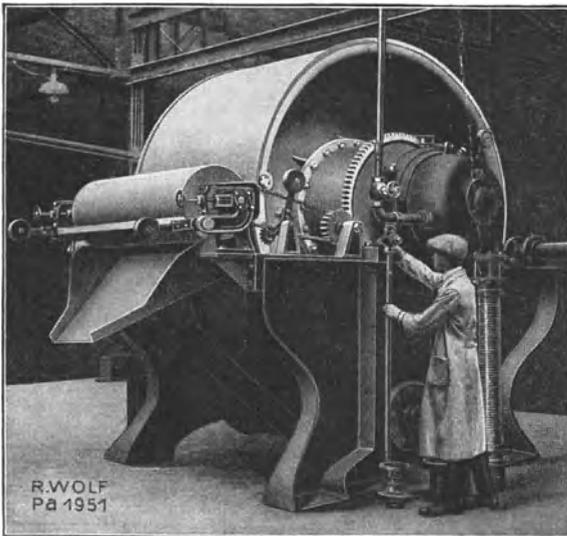


Abb. 758. Gummiabnehmwalze mit Abstreichschaber (Wolf).

sphärische Druck kann nach Belieben durch besondere Druckwalzen unterstützt werden.

7. Hohe Aufstellung eines Trommelfilters mit barometrischem Fallrohr (R. Wolf, Abb. 760 u. 761). Die Gemischpumpe *FgP* (Abb. 760) fördert aus dem Vorratsbehälter *R* durch die Leitung *Fgl* in den Trog des Filters *ZS* ein wenig mehr, als die Trommel ansaugt. Der Überschuß kehrt durch die Überlaufleitung *FgUe* nach *R* zurück. Die Trogfüllung und damit die Tauchtiefe der Trommel bleiben unverändert, solange der Inhalt des Behälters *R* vorhält. Dadurch wird ohne Aufsicht eine dauernd gleichmäßige Filterleistung erreicht. Das Filtrat nebst der durchgesaugten verdünnten Luft gelangt durch die Saugleitung *Sl* in die Vorlage *Vk*. Die Flüssigkeit tritt durch das Fallrohr *W*, den Tauchtopf *TT* und den Überlauf *Ue* aus, wogegen die Luft durch die Vakuumleitung *Ll* mittels der Luftpumpe *LP* abgesaugt wird. Das Gebläse *Gb* liefert durch die Leitung *Bl* den Wind zum Abwerfen des Kuchens. Das Schema Abb. 761 ist eine Variante des vorigen. Der Vorratsbehälter *R* steht über dem Zellenfilter. Für etwa ablaufendes Gemisch und den bei einer Entleerung des Filtertroges abfließenden Inhalt müssen besondere (in der Zeichnung weggelassene) Ableitungen oder Auffanggeräte vorgesehen werden. Sollen die Trogfüllung und damit die Filterleistung ohne ständige Aufsicht gleich bleiben, so ist am Eintritt der Gemischleitung *Fgl* im Trog ein Schwimmerventil anzuordnen. Zur Aufnahme des Schwimmerventils muß der Trog seitlich erweitert werden. Die Vorlage ist auf gleichem Boden wie das Filter gezeichnet. Hieraus ergibt sich ein Ansteigen der Saugleitung *Sl* nach dem Rezipienten hin. Die hierdurch bedingte Verminderung des Unterdruckes am Filter ist in vielen Fällen belanglos. Wird jedoch ein möglichst hohes Vakuum verlangt, oder ist heiße Flüssigkeit abzusaugen, so ordnet man den Kessel besser unterhalb des Filters an, gemäß Abb. 760 oder 762.

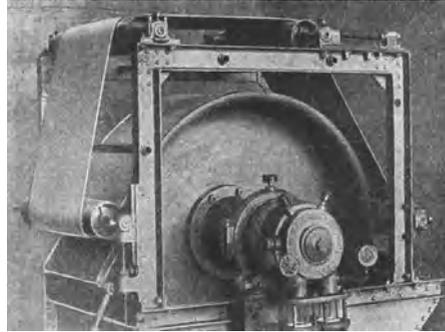


Abb. 759. Drucktuchvorrichtung (Gröppel).

Die hierdurch bedingte Verminderung des Unterdruckes am Filter ist in vielen Fällen belanglos. Wird jedoch ein möglichst hohes Vakuum verlangt, oder ist heiße Flüssigkeit abzusaugen, so ordnet man den Kessel besser unterhalb des Filters an, gemäß Abb. 760 oder 762.

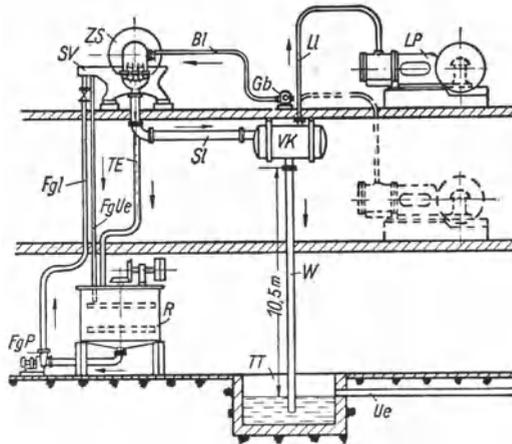


Abb. 760. Hohe Aufstellung eines Trommelfilters (Wolf).

Die hierdurch bedingte Verminderung des Unterdruckes am Filter ist in vielen Fällen belanglos. Wird jedoch ein möglichst hohes Vakuum verlangt, oder ist heiße Flüssigkeit abzusaugen, so ordnet man den Kessel besser unterhalb des Filters an, gemäß Abb. 760 oder 762.

8. Aufstellung eines Trommelfilters bei beschränkter Raumhöhe (R. Wolf, Abb. 762 u. 763). Für barometrischen Auslauf des Filtrats liegt die Vorlage *Vk* (Abb. 762) zu tief. Deshalb wird das Filtrat durch die Kreiselpumpe *FgP* abgezogen, welche es nach Erfordernis gleichzeitig auf beliebige Höhe und Ent-

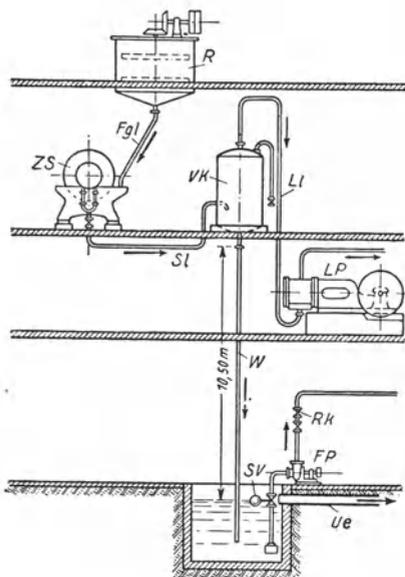


Abb. 761. Hohe Aufstellung eines Trommelfilters (Wolf).

Rohrleitung. — Eine andere Ausführungsart zeigt Abb. 763. Wie bei Abb. 761 steht der Behälter *R* über dem Filter und die Vorlage *VK* auf gleicher Höhe wie das Filter. Das bei Abb. 761 Gesagte ist entsprechend zu beachten. Unter Umständen muß die Filtratpumpe *FP* unter Flur kommen, um das nötige Gefälle zum Ansaugen zu erzielen. Wo der Raum eine liegende Anordnung der Vorlage gestattet, ist diese wegen besserer Scheidung von Luft und Flüssigkeit

fernung drücken kann. Die Pumpe muß das Filtrat selbsttätig gegen den in der Vorlage bestehenden Unterdruck ansaugen. Damit dies sicher erfolgt, sind die Rückschlagklappe *RK* und die Ausgleichleitung *Vi* anzuordnen und der Stopfbüchse der Pumpe Frischwasser oder Filtrat aus der Druckleitung als Sperrflüssigkeit zuzuführen. Ein Gefälle von über 1 m zwischen dem Rezipienten und der Flüssigkeitspumpe *FgP* ist bei heißem Filtrat unerlässlich, erhöht aber auch bei kaltem Filtrat die Sicherheit des Ansaugens. Zum Schutz der Trockenluftpumpe *LP* dient der hochliegende, unter Umständen frei über Dach angeordnete Wasserabscheider *WA* mit barometrischem Fallrohr *W*, das ausreichend weit zu bemessen ist. Wird eine Wasserringluftpumpe gewählt, so fällt der Wasserabscheider weg, in vielen Fällen auch die Vorlage nebst der Kreiselpumpe (Filtratpumpe) und der dazugehörigen

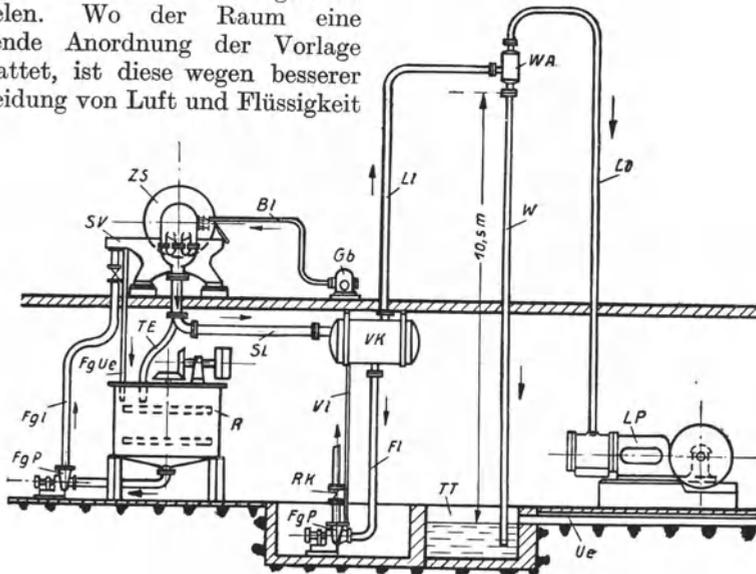


Abb. 762. Aufstellung eines Trommelfilters bei beschränkter Raumhöhe (Wolf).

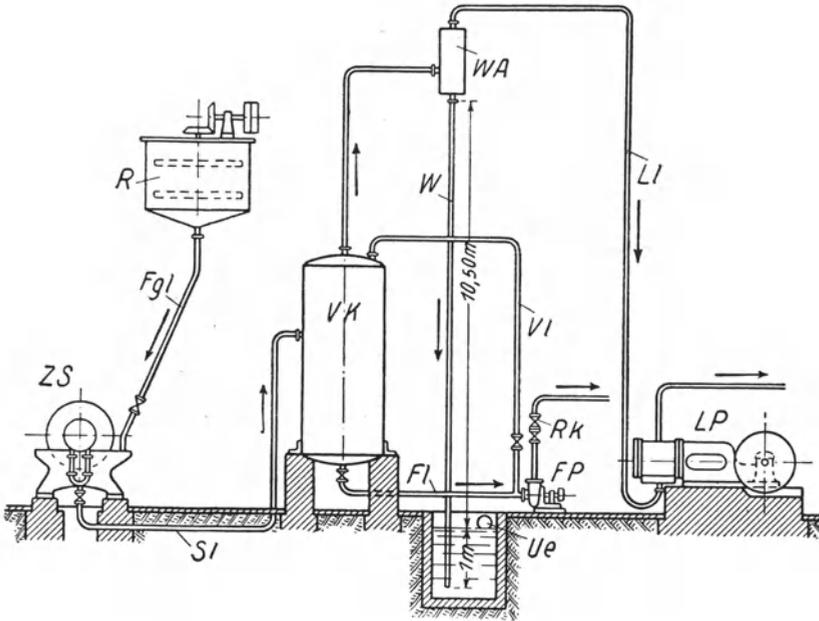


Abb. 763. Aufstellung eines Trommelfilters bei beschränkter Raumhöhe (Wolf).

vorzuziehen, insbesondere wenn letztere zum Schäumen neigt. Stark schäumende Flüssigkeiten bedingen besonders ausgeführte Vorlagen.

9. Trommelfilter von Wangner, Reutlingen (Abb. 764—767), findet hauptsächlich Verwendung zur Filtration von Roh- und Abwässern, besonders wenn diese stark verschmutzt sind und durch Sand- oder Kiesfilter geleitet werden sollen. Die Filtersiebe, welche am Umfang der Trommel auswechselbar angeordnet sind, bestehen aus widerstandsfähigem Phosphorbronzedraht und besitzen je nach dem geforderten Reinheitsgrad des Wassers 10—10000 Maschen je cm^2 . Die Leistung des Trommelfilters beträgt je nach Größe bis zu $60 \text{ m}^3/\text{min}$. Die Arbeitsweise ist aus den Abb. 765 und 766 ersichtlich. Bei der Ausführung nach Abb. 765 fließt das zu reinigende Wasser durch ein zentral angeordnetes Verteilerrohr in die rotierende Trommel. Bei der in Abb. 766 dargestellten

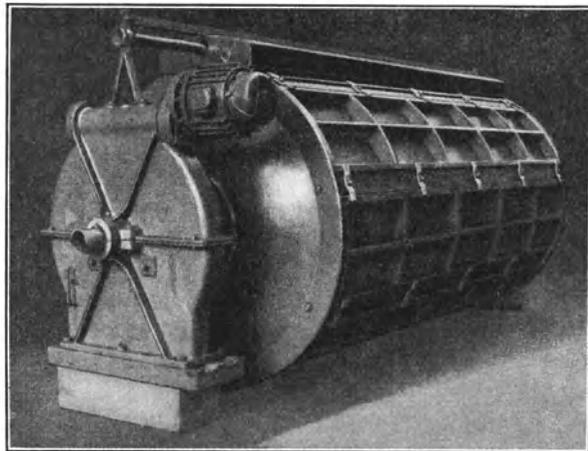


Abb. 764. Trommelfilter (Wangner).

Ausführung ist eine Kopfscheibe des Trommelfilters durchbrochen und erlaubt, nach der Reinwasserseite hin durch ein Gummiband abgedichtet, dem Rohwasser den Zutritt in das Innere der Trommel unmittelbar vom Kanal aus. Bei den Trommelfiltern mit durchbrochener Kopfscheibe verläßt die filtrierte Flüssigkeit das Filter mit nur wenigen Zentimetern Gefällverlust. Die Art der Wasserzuführung ist ohne Einfluß auf die Wirkungsweise des Filters. Die Verunreinigungen bleiben am inneren Umfang zurück

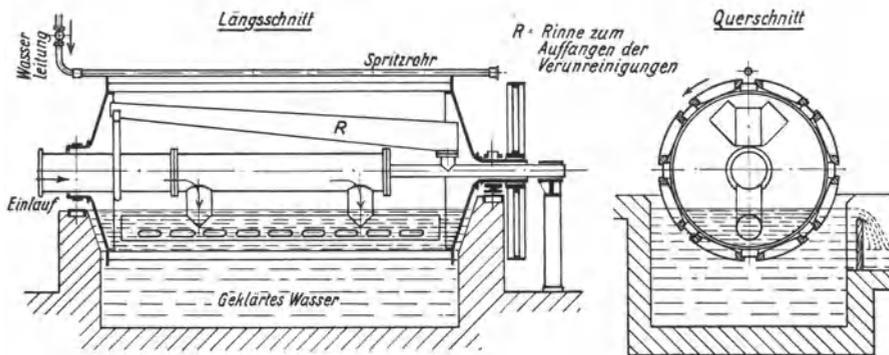


Abb. 765. Trommelfilter mit zentralem Verteilerrohr (Wagner).

und werden, an den Sieben haftend, nach aufwärts mitgenommen. Sand und andere gröbere Teilchen werden mittels schaufelartiger Sandleisten bei der Drehung der Trommel nach oben gebracht. Über der Trommel ist ein

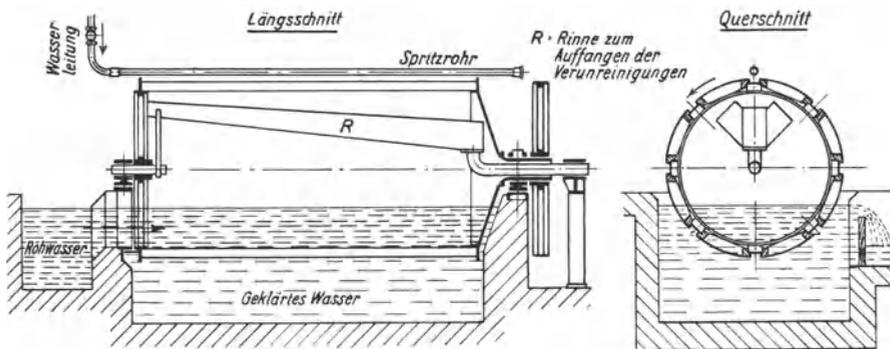


Abb. 766. Trommelfilter mit durchbrochener Kopfscheibe (Wagner).

kräftiges Spritzrohr angeordnet, das die Schmutzteile von außen her, also entgegengesetzt dem Wasserdurchgang beim Filtern, ins Innere der Trommel zurückwirft, wo sie in eine Schmutzwasserrinne und durch den hohlen Zapfen der zweiten Kopfscheibe nach außen abgeführt werden. Die gereinigten Siebe tauchen von neuem in das Rohwasser ein. — Bei größeren Mengen von Feststoffen erhalten die Filter im Innern eine Transport-schnecke, die die Filtrationsrückstände entsprechend der Trommelumdrehung abführt (Abb. 767).

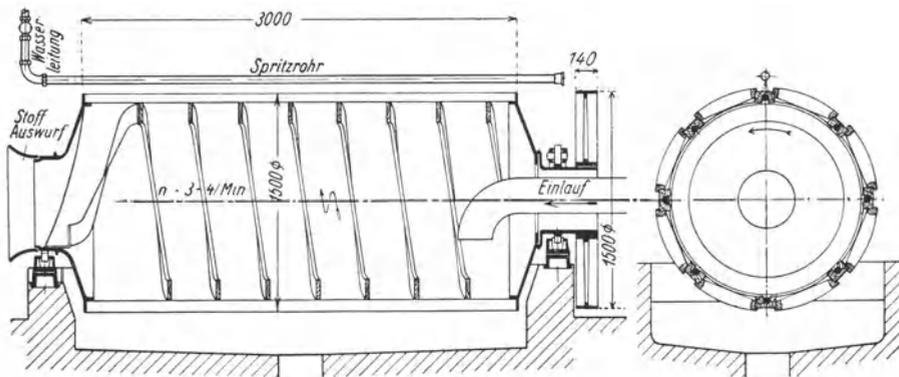


Abb. 767. Trommelfilter mit Schneckeneinbau (Wangner).

10. Füllner-Filter. Falls die Menge der Festbestandteile im Verhältnis zum Flüssigkeitsanteil gering ist, wendet man mit Erfolg auch solche Filter an, bei denen das Feste mittels eines endlosen Tuches abgenommen wird oder die Filtration sich mittels eines umlaufenden, immer wiederkehrenden, endlosen Tuches vollzieht. Diese Art der Filtration wird vielfach zur Wiedergewinnung von Fasern, Farb- und Füllstoffen sowie zur vollkommenen Klärung der Abwässer aus den Papier-, Karton-, Pappen-, Cellulose- und Holzstoffabriken angewandt. Sie haben als *Füllner-Filter* weite Verbreitung gefunden. Das Filter der Linke-Hoffmann-Werke A.-G., Breslau, (Abb. 768) besteht aus einem an beiden Seiten offenen Trog, dem das Filtergut durch einen über die ganze Breite gehenden Kanal am Boden zugeführt wird, und in dem sich die Filtertrommel *d* dreht; diese ist vieleckig ausgeführt, damit sie den Troginhalt aufrühren kann. Das endlose Filtertuch *a* nimmt seinen Weg von der Trommel über die kleinen Führungswalzen *b* zu den größeren Preß- und Abnehmwalzen *b'* an dem Schläger *i* vorbei zurück zur Trommel, deren äußere Kanten gegen die feststehenden Trogstirnwände durch ein breites Dichtungsband abgedichtet sind (Abb. 769). Das Band ist mit Spannring und Schloß fest auf dem Rand der sich drehenden Trommel aufgezo-gen, während die andere Seite auf dem feststehenden Rande des Troges schleift. Auch über diesem Rand liegt ein Spannring, der so eingeteilt wird, daß im Laufen noch eine sichere Abdichtung erzielt wird. Damit sich das Band nicht zwischen die beiden Kränze einschlägt, wird es mit verschraubten Holzklammern gehalten. Das

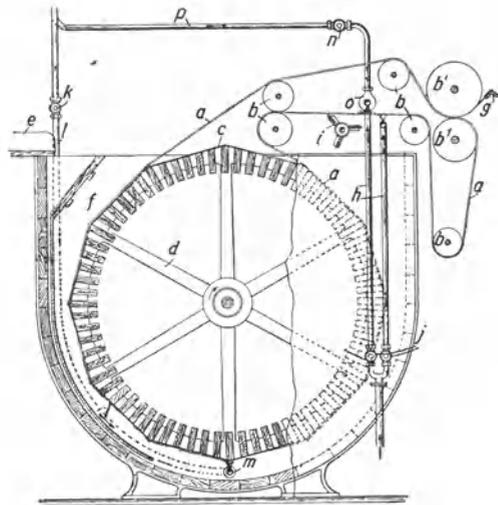


Abb. 768. *Füllner-Filter* mit Tittelscher Filzwäsche (Linke-Hoffmann).

Dichtungsband ist so breit, daß nach seiner Abnahme genügend Platz bleibt, um das Tuch auswechseln zu können. Außerdem wird das Auswechseln des Tuches durch die Anwendung eines Hebeknechtes (Abb. 770) erleichtert. Von der Trommelmitte aus nach beiden Seiten in Links- und Rechtsgewinden laufende Drahtspiralen verhindern die Bildung von Längsfalten im Filtertuch. Das Filtratwasser fließt durch das Tuch in das Innere der Trommel, das Feste wird auf der Oberfläche des Tuches zurückgehalten und den Preßwalzen zugeführt.



Abb. 769. Abdichtung der Filtertrommel mittels Dichtungsbandes (Linke-Hoffmann).

Die untere Walze b' (Abb. 768) ist mit Gummi oder einem Manchon (Filzschlauch) überzogen, die obere mit einem Stahlmesser g versehen, das den von Flüssigkeit ziemlich befreiten Stoff abstreicht, der in einen darunterstehenden Kasten fällt. Der Schaber wird durch Hebeldruck auf die untere Walze angedrückt; eine Entlastung kann durch Anhebespindeln mit Handrädern vorgenommen werden.

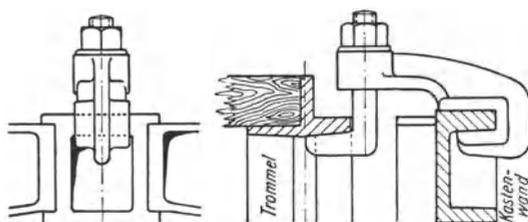


Abb. 770. Auswechseln des Filztuches mittels Hebeknechtes (Linke-Hoffmann).

Die Reinigung des Tuches von Leimb Bestandteilen usw. geschieht in der Tittelschen Filz- oder Tuchwäsche oder in einer Kastentuchwäsche mit Tuchleitwalzen und Tuchsclägern oder, bei besonders schmierigen Stoffen, mit beiden Tuchwäschen.

Tittelsche Tuchwäsche (Abb. 768). Zum Zwecke des Auswaschens wird das Tuch nach Unterbrechung des Abwasserzuflusses und Ablassen des vorhandenen Wassers bei Weiterdrehung der Filtertrommel an seiner Außenseite mit Dampf und sodann mit Wasser, ferner an seiner Innenseite mittels durch Dampf erwärmten Wassers gereinigt. Die Einrichtung besteht in Verbindung mit den beiden Spritzrohren h und den Ventilen j aus einem mit Ventil k versehenen, bis unter die Filtertrommel d geleiteten Dampfrohr l , ferner aus einer vor dem Rohr l abzweigenden Dampfleitung p , die mit einem Ventil n versehen ist und gemeinsam mit dem oberen Spritzrohr in ein Mischventil o mündet. Sobald das Tuch a undurchlässig erscheint, wird der durch die Rinne e geleitete Abwasserzufluß eingestellt und das im Kasten f befindliche Wasser abgelassen. Während die Filtertrommel in steter Bewegung bleibt, werden die Ventile j und n geöffnet und das Waschwasser im Trog durch Aufsetzen eines Staubrettes beim Auslauf auf etwa 30 cm geschwellt, sodann wird das Ventil k geöffnet, wodurch das Wasser im Troge erwärmt wird und die das Tuch versetzenden Stoffe aus diesem ausgewaschen werden. Das Auswaschen wird durch die Wirkung der Mischbrause o , die heißes Wasser

mit großer Heftigkeit an die Innenseite des Tuches spritzt, beschleunigt. Die Pressung zwischen den Walzen b' , b' soll während des Waschens möglichst verringert und erst beim Spülen wieder vergrößert werden.

Die Kastentuchwäsche zur ununterbrochenen Reinigung des Tuches im Filter zeigt Abb. 771; sie findet besonders bei schmierigen Stoffen und stark harzhaltigem Abwasser neben der Tittelschen Tuchwäsche Anwendung. Das Tuch wird durch den Kasten geführt, der mit angewärmtem Wasser unter Beimengung eines Waschmittels, wie Soda o. dgl., gefüllt ist. Das Waschen wird gefördert durch den im Kasten eingebauten Schläger. Nach gründlicher Reinigung des Tuches im Kasten erfolgt eine nochmalige Reinigung mittels Spritzrohr und Schläger, so daß das Tuch wieder vollständig durchlässig und aufnahmefähig in das Filter gelangt.

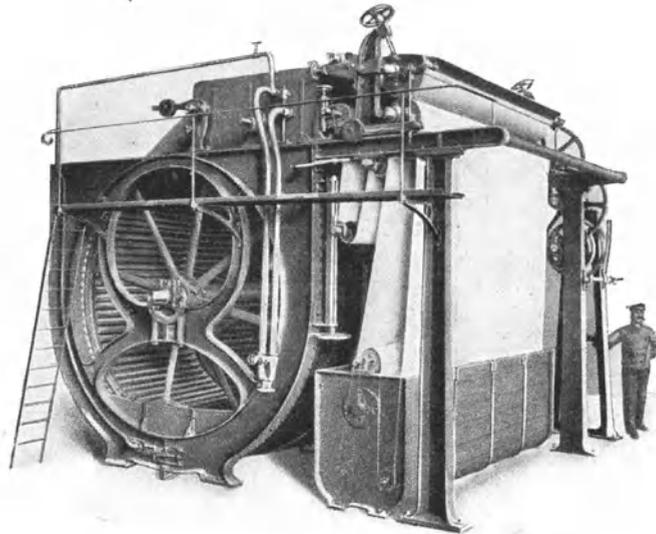


Abb. 771. Kastentuchwäsche (Linke-Hoffmann).

b) Siebbandfilter.

Zur Aufbereitung großer Wassermengen mit groben mechanischen Verunreinigungen, deren Beseitigung aus hygienischen, wirtschaftlichen oder betriebstechnischen Rücksichten erforderlich ist, verwendet man mit Erfolg stetig arbeitende Siebbandfilter (Bamag-Meguïn, Abb. 772) oder auch Siebbandrechen (Bräuer-Werke G. m. b. H., Frankfurt a. M., Abb. 773 und 774) — erstere für feinere, letztere für gröbere Verunreinigungen — entweder mit innerem oder äußerem Eintritt des Wassers. Ein Vorteil dieser Anlagen ist, daß grobe und feine Bestandteile, z. B. Sand, Fasern, Abfälle, Schlamm, Kohlengrus, in stets gleichbleibender sicherer Weise dem Wasser entzogen werden können; als solches sind zu nennen: Fluß-, Brunnen-, Gruben-, Schacht-, Pumpenwasser usw., ferner Kühlwasser von Dampfkraftzentralen. Die Reinigung des Bandes erfolgt durch Abspritzvorrichtungen, die außerhalb des Wassers in Tätigkeit treten. Die gereinigten Siebflächen laufen dem Schmutzwasser wieder entgegen, wobei durch die erfolgte Reinigung der Durchflußquerschnitt stets

gewahrt bleibt. Je nach dem Grade der Verschmutzung laufen die Siebe schneller oder langsamer; die Leistung eines Siebbandfilters beträgt 50 bis 2000 m³/std. Der Kraftbedarf für den Antrieb des Bandes ist gering (1—2 PS).

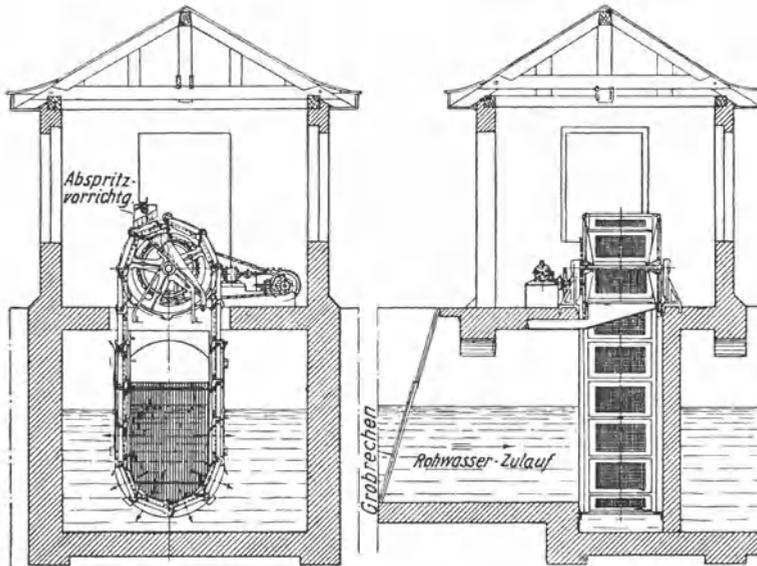


Abb. 772. Siebbandfilter (Bamag-Meguin).

Wegen des langsamen Laufes des Bandes können Reparaturen während des Betriebes vorgenommen werden. Die Reinigungsarbeit ist leicht zu überwachen und erfolgt völlig mechanisch ohne jede Handarbeit, ebenso die Beseitigung der ausgeprägten Verunreinigungen. Ähnliche Filter werden in Zylinderbauart für große und kleinere Leistungen angefertigt, u. a. zur Entfernung der Pülpe aus den Abwässern der Papierfabrikation (Füllner, Babrowski).

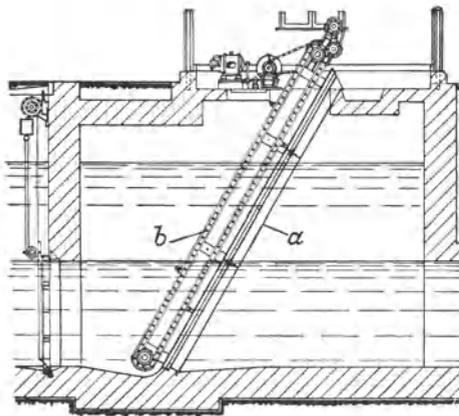


Abb. 773. Feststehender Grob-(Schlitz-)Rechen (Bräuer-Werke).
a) Grobrechen, b) Siebbandrechen.

Sperrige Schwimmstoffe werden von dem Siebbandrechen und jedem anderen nachgeschalteten Filter durch vorgeschaltete Grobrechen (Abb. 773 und 774) zurückgehalten, die von Zeit zu Zeit mit der Hand oder mechanisch gereinigt werden. Sofern man an den Reinheitsgrad des Wassers

noch höhere Anforderungen stellt, kommen Sandschnellfilter mit oder ohne chemische Vorklärung in Verwendung.

c) Stetig wirkende Druckfilter.

Während die stetig arbeitenden Vakuumtrommelfilter nur mit einem Druckgefälle von höchstens 1 at arbeiten können, lassen stetig wirkende Druckfilter weit höhere Arbeitsdrücke (bis zu mehreren Atmosphären) zu (Abb. 775, Jos. Vögele, Mannheim). Das Filtergut wird mit etwa 3 at in ein liegendes Filterrohr gedrückt, das mit Tuch oder Drahtgewebe bespannt ist oder

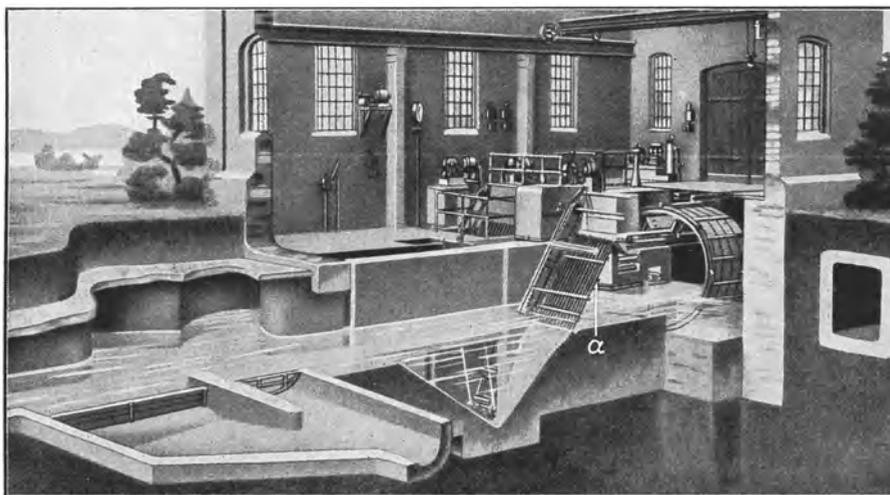


Abb. 774. Abwässer-Reinigungsanlage einer deutschen Stadtgemeinde mittels Siebtrommeln mit vorgeschalteten Grobrechen (Bräuer-Werke).
a) Mechanisch gereinigter Grobrechen.

auch aus Filtersteinen besteht. Der im Rohr sich abscheidende Feststoff wird durch eine Transportschnecke nach dem Austrag befördert, während das Filtrat durch das Filtermittel nach außen abläuft. Wenn er ausgewaschen werden soll,

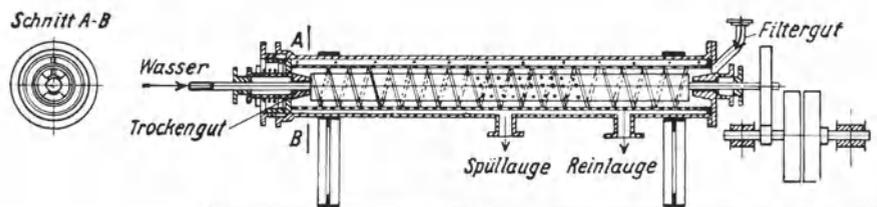


Abb. 775. Stetig wirkendes Druckfilter (Vögele).

wird das Waschwasser durch eine hohle Schneckenwelle, die in der Waschzone mit kleinen Löchern versehen ist, in das Filterrohr gepreßt. Der Feststoff wird beim Passieren dieser Waschzone kräftig durchgespült und in einer dritten Zone wieder getrocknet; das im ersten Falle sich abscheidende Filtrat kann erforderlichenfalls getrennt von dem Waschwasser abgefangen werden. Wenn das Filtermittel nach längerem Betrieb undurchlässig geworden ist, sperrt man die Zufuhr des Filtergutes ab, preßt in den äußeren Mantel Wasser, Dampf oder Preßluft und spült so das Filtermittel im entgegengesetzten

Sinne des Arbeitsvorganges durch. Diese Rückspülung macht das Filter wieder arbeitsfähig, ohne daß es auseinander genommen zu werden braucht. Ein solches Druckfilter vereinigt folgende Eigenschaften: ununterbrochenes Filtrieren, höhere Leistung als bei Vakuumtrommelfiltern, da ein höherer Filterdruck angewandt werden kann, Auswaschen bei Umwälzung des Feststoffes und scharfe Trennung der Mutterlaugen und der Waschflüssigkeit.

d) Siebflächenfilter.

Ein stetig arbeitendes Wassersieb, das Kiwa-Sieb der Kiwa-Gesellschaft für Wärmewirtschaft m. b. H., Essen, zeigen Abb. 776 u. 777. Es besitzt ein geschlossenes Gehäuse mit Anschlußstutzen *D*, *E* zum Einbau in die Rohrleitung (Druckleitung oder Saugleitung der Hauptförderpumpe, unter Umständen auch Überlaufleitung). Im Innern befindet sich die Siebplatte *A*, die in Sektoren unterteilt ist; sie wird durch besonders geformte Messing- oder Bronzebänder gebildet. Vor der Siebplatte rotiert die Spülkammer *B* mit etwa $\frac{1}{2}$ —1 U/min; der Antrieb erfolgt durch einen Elektromotor mit Zwischenschaltung verschiedener Getriebe. Die Siebplatte kann auch horizontal und die Welle senkrecht dazu angeordnet werden. Das unreine Wasser tritt bei *D* ein, das gereinigte Wasser bei *E* aus. Die Unreinigkeiten setzen sich in den Räumen vor der Siebplatte zwischen den Sektorrippen ab. Das Sieb reinigt sich selbst während des Betriebes fortlaufend, und zwar je einen Sektor nach dem andern. Als Spülwasser wird ein Bruchteil des gereinigten Wassers benutzt (höchstens 2—3 Proz.). Bei dem sog. Drucktyp (Einschaltung des Siebes in die Pumpendruckleitung) wird das Spülwasser aus dem Reinwasserraum des Siebes selbst genommen. Die Spülung findet jedesmal statt, wenn die Spülkammer *B* vor der Mitte eines Sektors steht und ihn gerade überdeckt. In diesem Augenblick wird die zwangsläufig gesteuerte Rückschlagklappe *H* am Spülwasseraustritt für kurze Zeit geöffnet; es strömt etwas Wasser (Spülwasser) durch den überdeckten Sektor der Siebplatte zurück, spült diesen durch und tritt dann nebst den ausgeschiedenen Unreinigkeiten durch die Kammer *B*, die Klappe *H* sowie die anschließende Spülwasserabflußleitung aus. Bei dem sog. Saugtyp (Einschaltung in die Pumpensaugleitung) wird das Spülwasser von außen zugeführt, entweder aus der Druckleitung der Hauptpumpe oder durch eine besondere Spülwasserpumpe; hierfür wird auf der Reinwasserseite gegenüber der Kammer *B* und passend zu ihr eine zweite Spülkammer angeordnet, die mit *B* gemeinsam rotiert. Im übrigen ist die Wirkungsweise ähnlich wie beim Drucktyp. Meistens wird dieser gewählt, da die Anordnung und Konstruktion einfacher und der Preis niedriger als beim Saugtyp ist. Der Durchflußwiderstand des Siebes beträgt im allgemeinen 200—300 mm WS und bleibt im Betrieb durch die Selbstreinigung gleich. Der Kraftbedarf ist bei mittleren Leistungen etwa 1—3 PS. Fremdkörper von größerem Umfang,

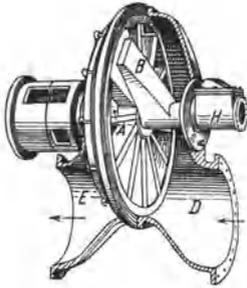


Abb. 776. Kiwa-Sieb
(Innenansicht).

des Betriebes fortlaufend, und zwar je einen Sektor nach dem andern. Als Spülwasser wird ein Bruchteil des gereinigten Wassers benutzt (höchstens 2—3 Proz.). Bei dem sog. Drucktyp (Einschaltung des Siebes in die Pumpendruckleitung) wird das Spülwasser aus dem Reinwasserraum des Siebes selbst genommen. Die Spülung findet jedesmal statt, wenn die Spülkammer *B* vor der Mitte eines Sektors steht und ihn gerade überdeckt. In diesem Augenblick wird die zwangsläufig gesteuerte Rückschlagklappe *H* am Spülwasseraustritt für kurze Zeit geöffnet; es strömt etwas Wasser (Spülwasser) durch den überdeckten Sektor der Siebplatte zurück, spült diesen durch und tritt dann nebst den ausgeschiedenen Unreinigkeiten durch die Kammer *B*, die Klappe *H* sowie die anschließende Spülwasserabflußleitung aus. Bei dem sog. Saugtyp (Einschaltung in die Pumpensaugleitung) wird das Spülwasser von außen zugeführt, entweder aus der Druckleitung der Hauptpumpe oder durch eine besondere Spülwasserpumpe; hierfür wird auf der Reinwasserseite gegenüber der Kammer *B* und passend zu ihr eine zweite Spülkammer angeordnet, die mit *B* gemeinsam rotiert. Im übrigen ist die Wirkungsweise ähnlich wie beim Drucktyp. Meistens wird dieser gewählt, da die Anordnung und Konstruktion einfacher und der Preis niedriger als beim Saugtyp ist. Der Durchflußwiderstand des Siebes beträgt im allgemeinen 200—300 mm WS und bleibt im Betrieb durch die Selbstreinigung gleich. Der Kraftbedarf ist bei mittleren Leistungen etwa 1—3 PS. Fremdkörper von größerem Umfang,

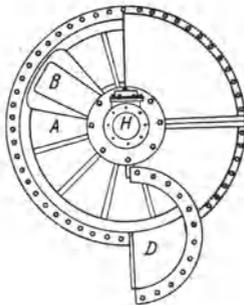


Abb. 777. Kiwa-Sieb
(Seitenansicht).

gegenüber der Kammer *B* und passend zu ihr eine zweite Spülkammer angeordnet, die mit *B* gemeinsam rotiert. Im übrigen ist die Wirkungsweise ähnlich wie beim Drucktyp. Meistens wird dieser gewählt, da die Anordnung und Konstruktion einfacher und der Preis niedriger als beim Saugtyp ist. Der Durchflußwiderstand des Siebes beträgt im allgemeinen 200—300 mm WS und bleibt im Betrieb durch die Selbstreinigung gleich. Der Kraftbedarf ist bei mittleren Leistungen etwa 1—3 PS. Fremdkörper von größerem Umfang,

wie Äste, große Holzstücke usw., sind vor dem Sieb durch ein einfaches Grobgatter aus Flacheisenstäben zurückzuhalten.

Die Filtrationsapparate nach *Martini* arbeiten mit Überdruck, die Flüssigkeit geht von unten nach oben, um durch Dekantation das Filter zu entlasten. Ein Wischer sorgt für besonders leichte Reinigung der Filterfläche, ohne daß das Filter auseinandergenommen zu werden braucht. Diese Filter werden mit feststehendem Unterteil oder auch drehbarem und aufklappbarem Oberteil angefertigt, ferner als Mehrplattenfilter, liegend mit Druckspindel oder hydraulischem Kolben und in Größen bis zu 500 mm Durchmesser. Das Filter selbst ist ein Siebflächenfilter, das mit Tuch, Membran oder Cella als Filtermittel ausgerüstet ist.

Eindickrinne (Humboldt-Deutzmotoren A.-G., Köln-Deutz). Bei der Filtration von Schlämmen mit hohem Flüssigkeitsgehalt auf stetig arbeitenden Filtern müssen letztere wegen der großen Absaugleistung möglichst reichlich

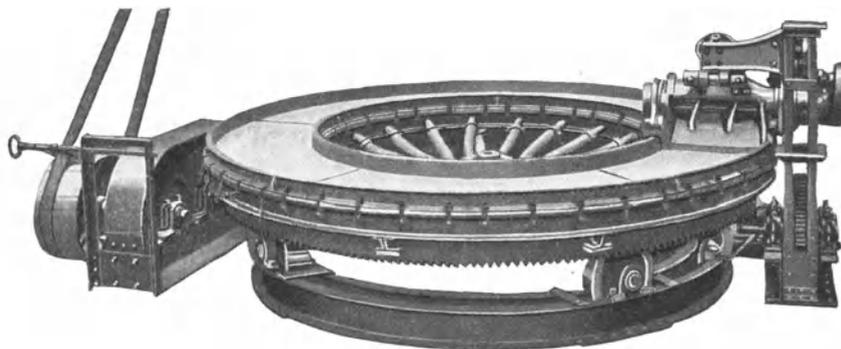


Abb. 778. Planfilter (Gröppel).

bemessen sein. Dies läßt sich vermeiden, wenn die Schlämme auf dem Weg zu den Filtern von einem Teil der mitgeführten Flüssigkeit befreit werden. Zu diesem Zwecke ist die Zulauf Rinne mit einem zweiten (gelochten) Boden versehen, so daß zwischen beiden Böden ein dem Querschnitt der Saugleitung entsprechender Kanal entsteht. Am unteren Boden sind Stutzen angebracht, die in ein Saugrohr münden, welches letzteres in einen Vakuumsessel endet. Ferner besitzt der untere Boden noch einen Rohranschluß für Preßluft. Durch eine Steuerung wird der Raum unter dem gelochten Boden abwechselnd evakuiert und unter Druck gesetzt. Je nach der Beschaffenheit des einzudickenden Stoffes sind diese Saug- und Druckperioden verschieden lang. Der gelochte Boden erhält den gleichen Filterbelag, der auf dem Filter verwendet wird. Durch Nebeneinanderlegen mehrerer Rinnen kann die zur Entfernung der Flüssigkeit nötige Rinnenlänge erzielt werden.

e) Planfilter.

Beim Planfilter von Gröppel (Abb. 778) besteht die Filterfläche aus einem horizontalen Filterring bzw. Filterteller. Die Filterfläche ist gleichfalls in eine Anzahl schmaler Zellen eingeteilt und arbeitet im übrigen nach dem gleichen Grundgedanken wie die Trommelfilter, hat jedoch den Vorteil, daß weder Trog noch Rührwerk benötigt werden und durch Regulierung der Schlammzufuhr die Stärke der auf dem Filter erzeugten Schicht von Fest-

stoffen beliebig eingestellt werden kann. Das Planfilter eignet sich besonders für die Verarbeitung von grobkrystallinen Materialien, deren Ansaugung durch

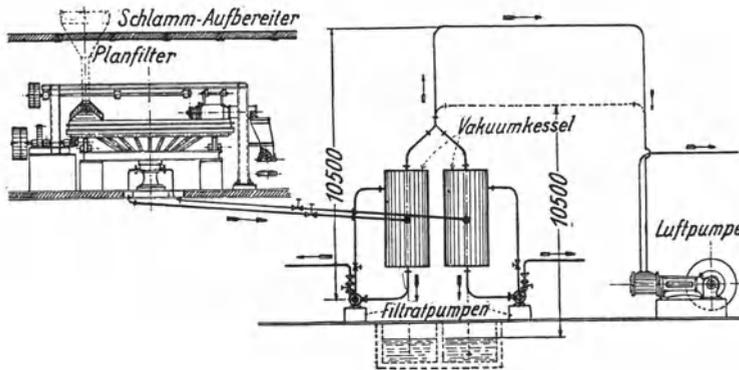


Abb. 779. Filteranlage mit Gröppel-Planfilter.

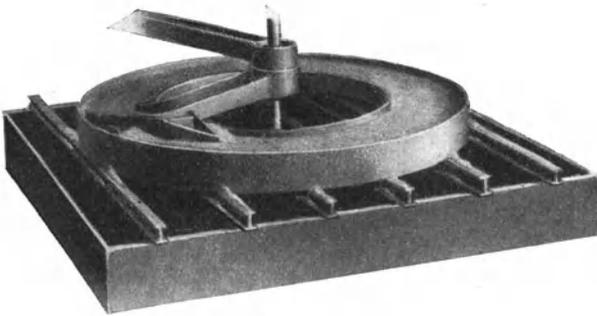


Abb. 780. Mammutnutsche (Borsig).

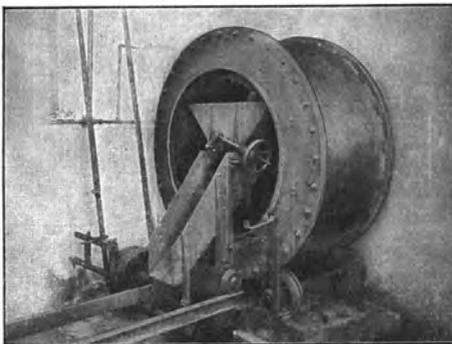


Abb. 781. Innenfilter (Gröppel).

das Trommelfilter entgegen der Schwerkraft von unten nach oben nicht möglich wäre. Ferner eignet es sich sehr gut zur Auswaschung der auf dem Filtermittel abgesetzten Rückstände; es besteht nämlich bei der horizontalen Filterfläche des Ringes nicht die Gefahr wie beim Trommelfilter, daß sich

überschüssige Waschwassermengen auf der Oberfläche des Rückstandes stauen, an den Seiten der Trommel herabrieseln und sich mit dem Filtergut im Trog vermischen. Durch die ringförmige Ausbildung der Filterfläche wird das am inneren Rand der Fläche gelagerte Gut infolge des fast gleichlangen Weges ebenso gründlich ausgewaschen wie das am äußeren Rand befindliche; dies ist ein Vorteil des Ringfilters gegenüber den tellerartigen Planfiltern. Abb. 779 zeigt die schematische Darstellung einer Planfilteranlage. —

Eine andere Art der Planfilter ist die in Abb. 780 dargestellte Mammutnutsche von Borsig, Berlin-Tegel. Eine drehbare Zuführungsrinne erweitert

sich am Auslauf und verteilt das ankommende Gut im Spülstrom auf das ringförmige Filterbett. Auf der Rückseite des erweiterten Auslaufes ist die pflugscharähnliche Austragvorrichtung angebracht, die das gefilterte Material aus der Nutsche entfernt. Die Mammutnutsche hat insbesondere zur Filtration von granulierter Hochofenschlacke Verwendung gefunden.

f) Innenfilter.

Das Innenfilter (Gröppel, Abb. 781) ist eine neuere Konstruktion der stetig arbeitenden Vakuumfilter. Die Filterfläche ist nicht wie beim Trommelfilter am äußeren Umfang der Trommel angebracht, sondern die innere Trommelwand dient mit ihrem siebartig gelochten Blechmantel als Filterfläche. Das Innenfilter besteht daher aus einer Trommel mit doppelwandigem Umfang. Der Zwischenraum zwischen den Doppelwänden ist ebenso wie bei den Trommel- und Planfiltern in eine größere Anzahl von Zellen eingeteilt. Die hintere Wand dieser Hohlstrommel ist dicht geschlossen und enthält die Mündungen der Filterzellen, die an das Steuerorgan angeschlossen sind. An ihrer Außenseite ist im Mittelpunkte das Steuerorgan befestigt. Jede einzelne Zelle ist von außen leicht zugänglich. Der Steuerkopf ist in Kammern unterteilt, so daß an bestimmten Stellen des Umfanges der Trommel Vakuum oder Ausblasedruck zur Wirkung kommen. In die vordere Stirnwand der Trommel, die in

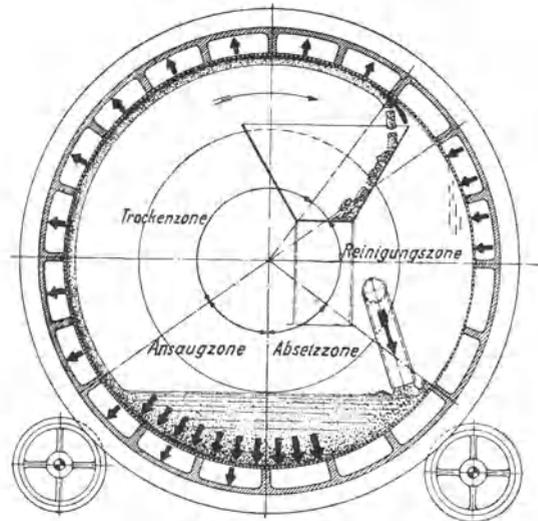


Abb. 782. Darstellung der Arbeitsweise eines Innenfilters (Gröppel).

einem bestimmten Abstände vom Drehmittel aus offen ist, ragt die Abnehmvorrichtung hinein; auch wird hier der Schlamm zugeführt. Am äußeren Umfang hat die Trommel 2 Laufkränze, mittels deren sie auf 4 Rollen gelagert wird. Durch Schneckenvorgelege werden die Laufrollen bewegt und die Trommel in langsame, drehende Bewegung gesetzt. Auf der Abnehmvorrichtung, die als Schurre oder Schnecke ausgebildet wird, ist im Innern ein verstellbares Messer angeordnet. Während die unter Vakuum gesetzte Trommel eine langsame, drehende Bewegung vollführt, fließt der Schlamm durch die Öffnung der Vorderwand in die natürlich gebildete Mulde der Trommel, wobei die groben, schweren Teile zuerst schichtbildend abwärts sinken und mit den darüber gebetteten feineren Schlämmen angesaugt werden. Die Flüssigkeit gelangt in bekannter Weise durch das Filtermittel in die Kammern der Trommel und wird von dort mittels der Rohre durch das Steuerorgan abgeführt. Nach dem Austausch aus dem Schlammspiegel wird die Schicht trocken gesaugt, vom Messer abgenommen und in die Schurre oder Schnecke abgeworfen. Nach der

Abnahme kann nötigenfalls durch Druckluft oder Dampf eine einwandfreie Reinigung des Filtermittels vorgenommen werden. Das Innenfilter ist für die Verarbeitung stark dampfender Flüssigkeit oder solcher Schlämme bestimmt, die sich durch hohes spezifisches Gewicht der Ansaugung der Trommelfilter entgegen der Schwerkraft widersetzen, oder solcher Schlämme, die außer grobkörnigen Bestandteilen einen gewissen Anteil kolloider Feststoffe enthalten. Wie aus Abb. 782 ersichtlich ist, setzen sich die groben Bestandteile zuerst auf der Filterfläche ab und schützen diese vor einer Verstopfung durch die kolloiden Bestandteile, die in die zuerst abgesetzten Feststoffe eingebettet werden. Das Innenfilter ist bei Schlämmen mit verschiedenen Korngrößen

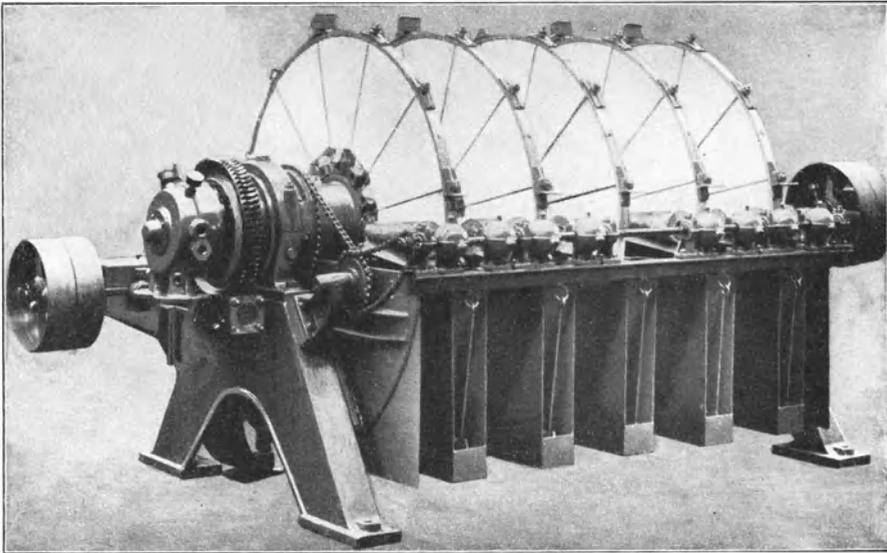


Abb. 783. Scheibenfilter (Westfalia-Dinnendahl-Gröppel; Wolf).

dem Planfilter überlegen, weil die von der Abnehmvorrichtung nicht völlig entfernten Feststoffe in der Reinigungszone abgewälzt werden können, bei der nächsten Umdrehung des Filters an der Oberfläche der neuen Schicht haftenbleiben und von dem Schabmesser abgenommen werden. In manchen Fällen ist bei den Trommel- und Innenfiltern die Anwendung eines Schabmessers nicht erforderlich, sondern das Filtergut wird durch Aufheben des Vakuums in der Zelle über der Abnehmvorrichtung sowie durch Zuführung von Druckluft in diese Zellen abgestoßen. Wie beim Planfilter ist auch beim Innenfilter ein besonderer Trog und ein Rührwerk nicht erforderlich.

g) Scheibenfilter.

Das Scheibenfilter (Westfalia - Dinnendahl - Gröppel A. - G., Bochum; Maschinenfabrik Buckau, R. Wolf A.-G., Magdeburg) kommt dann in Anwendung, wenn schlecht filtrierbare Schlämme, die nur eine dünne Schichtbildung erlauben, stetig filtriert werden sollen. Die Konstruktion ist aus Abb. 783 ersichtlich und vereinigt die größtmögliche Filterfläche auf einem

geringen Raum. Jede der in Sektoren eingeteilten Filterscheiben besitzt an der rohrähnlichen Verjüngung ein Absperrorgan, das erlaubt, daß Einzelscheiben abgeschaltet werden können, ohne daß der Betrieb unterbrochen oder die Funktion der Apparatur beeinträchtigt wird. Der Filtertrog erhält für jede Filterscheibe einen muldenartigen Einsatz, der besonders schmal gehalten ist, und dessen Inhalt durch am Umfang der Scheiben angebrachte Schaufeln stetig durchgerührt wird. Der Betrieb einer Scheibenfilteranlage unterscheidet sich nicht von demjenigen der anderen Filter. Stetig läuft der Schlamm in den Trog des Apparates. Die langsam sich drehenden Filterscheiben saugen mit den eingetauchten Filterkörpern den Schlamm auf beiden Seiten an; nach dem Austausch wird der Schlamm durch die hindurchströmende Luft trockengesaugt und kurz vor dem Wiedereintauchen mit Hilfe von Druckluft über die Schabmesser oder Abnehmwalzen in die seitlichen Einbuchtungen auf Schurren abgeworfen. Die dem angesaugten Schlamm entzogene Flüssigkeit wird durch den Stoffüberzug ins Innere der Scheiben, von dort durch die Hohlachse und das Steuerorgan zum Vakuumkessel gezogen, wo sie von Luft getrennt und durch die Filtratpumpe bzw. durch die Abfallleitung abgezogen wird.

h) Rotierende Elektroosmosefilter s. Elektroosmosevorrichtungen.

Lit. über stetig arbeitende Filter: *K. W. Geisler*, Filter mit ununterbrochener Arbeitsweise (Z. VDI 1925, S. 1437). — *A. F. Taggart*, Handbook of ore dressing (New York 1927, S. 1000). — *Dorr*, A new type of continuous filter (J. Soc. chem. Ind. 1927, S. 875); A new continuous vacuum filter (Engng. Min. Journ. Bd. 124, 1927, S. 480). — *W. Chapman* und *R. A. Mott*, The cleaning of coal (London 1928, S. 470). — *K. W. Geisler*, Neuere ununterbrochen arbeitende Filter für schlammige Massen (Z. VDI 1928, S. 1089); Ununterbrochen arbeitende Filter und Walzentrockner (Z. VDI 1929, S. 1033). — Der kontinuierlich arbeitende Imperial-Saugzellen-Trommelfilter, Bauart „Fein“ (Chem. Fabrik 1930, S. 396). — *F. Prockat*, Die Entwässerung feinkörniger Aufbereitungserzeugnisse und Klärung von Aufbereitungsstrüben durch Filtern (Z. obereschles. berg- u. hüttenm. Ver., Bd. 70 [1931], S. 418). — *E. W. Mayer* und *H. Schranz*, Flotation, Leipzig 1931, Hirzel). — *H. Paul*, Das neuzeitliche Saugzellenfilter (Z. VDI 1935, S. 892). — *Bühler-Jänecke*, Filtern und Pressen (2. Aufl., Leipzig 1921, Spamer).

III. Filterpressen.

Man unterscheidet zwei Arten von Filterpressen: Kammerpressen und Rahmenpressen.

a) Die Kammerpressen eignen sich besonders für schwer filtrierbare Flüssigkeiten. Der Filterkuchen wird in dem Hohlraum zwischen je 2 Kammern, die auf jeder Seite erhöhte Dichtungsränder von halber Kuchenstärke besitzen, gebildet. Beim Öffnen der Kammerpressen bzw. beim Auseinanderschieben der Kammern fällt der Kuchen, falls er nicht aus klebrigen Rückständen besteht, von selbst heraus, weshalb diese Art von Pressen oft als „Pressen mit Selbstentleerung“ bezeichnet werden.

b) Die Rahmenpressen eignen sich besonders für leicht filtrierbare Flüssigkeiten. Die Filterkuchen bilden sich in zwischen je 2 Kammern eingesetzten Hohlrahmen, die beim Öffnen der Presse mit den Kuchen herausgehoben und entleert werden können, wovon auch die Bezeichnung „Pressen zum Herausheben der Kuchen“ herrührt. Bei Rahmenpressen liegen die Dichtungsränder der Filterplatten in derselben Ebene wie die Filtertücher.

Kammer- und Rahmenpressen gehören zu den absatzweise arbeitenden Filtern und stellen die vollkommenste Lösung des Problems dar, eine große Filterfläche in einem kleinen Raum unterzubringen. Ihre Bauart erlaubt, die Filterrückstände (Filterkuchen) in höchstmöglicher Dicke (bei Rahmenpressen bis zu 150 mm) aufzubauen und gründlich auszuwaschen, selbst dann, wenn der Rückstand an sich nicht viel Zusammenhang hat. Die Filterpressen bestehen aus mehreren, der verlangten Leistung angepaßten, quadratischen oder runden Plattenfiltern (bis zu 1,50 m²) mit lotrechten Filterflächen. Die Plattenfilter (Filterplatten, Kammern) besitzen am Umfang einen erhöhten Rand; die hierdurch gebildeten flachen Hohlräume bestimmen die Stärke des Filterkuchens. Die einzelnen Kammern hängen verschiebbar hintereinander auf Gleitstangen, welche die Kopfplatte mit dem Querhaupt verbinden. Jede Kammer ist auf beiden Seiten mit einem Filtertuch bespannt, das als Filtermittel und auch beim Zusammenpressen der Platten mittels Schrauben oder hydraulischer Preßvorrichtung am äußeren Rande als Dichtung gegen Flüssigkeitsaustritt dient. Die zu filtrierende Flüssigkeit wird durch natürliches Druckgefälle mittels Preßluft oder Pumpen in den Hohlraum zwischen die Kammern gedrückt. Die Durchlaufgeschwindigkeit des Filtrats beträgt 0,3—0,7 mm/sek. Die von den Filtertüchern zurückgehaltenen festen Anteile verstärken sich allmählich zu einem Kuchen, während die Flüssigkeit nach beiden Seiten in das Innere der freien Kammern und von da in Seitenkanäle abfließt. Durch Überwachung des Flüssigkeitsaustritts läßt sich die Kuchenbildung und damit die Arbeit der Filterpresse kontrollieren; sobald kein Filtrat aus der Presse tritt, können die zu filtrierenden Flüssigkeiten nicht mehr zugeleitet werden, da der Filterkuchen eine weitere Filtration verhindert. In den meisten Fällen wird ein Nachwaschen oder Trocknen des Filterkuchens erforderlich sein. Zum Waschen dient Wasser oder eine andere Waschflüssigkeit, die solange durch die Presse und durch die Filterkuchen der einzelnen Kammern gepreßt wird, bis der gewünschte Grad des Auswaschens erreicht ist. Man trocknet mittels Luft oder Dampf solange, bis keine Flüssigkeit, sondern nur Luft oder Dampf aus der Presse tritt. Alsdann löst man die Preßvorrichtung, zieht die einzelnen Kammern voneinander und nimmt die fertigen Filterkuchen heraus. Nach der Reinigung und dem wieder erfolgten Zusammenbau beginnt der Arbeitsgang von neuem. Je nach der Ausführung der Filterpressen ist ein offenes oder geschlossenes Arbeiten möglich. Beim offenen Arbeiten ist jede Kammer auf ihre Filterarbeit hin kontrollierbar und erforderlichenfalls auch auszuschalten. Beim geschlossenen Arbeiten läuft das Filtrat durch einen gemeinsamen Kanal und tritt an der Kopfplatte wieder aus, so daß es, ohne mit Luft in Berührung zu kommen, weitergeleitet werden kann.

Die Vorzüge der Filterpressen sind, wie bereits erwähnt, die Unterbringung großer Filterflächen auf geringem Raum, genaue Kontrolle der Abdichtungen, die überall leicht zugänglich sind, rasches Ersetzen der Filtertücher und leichte Entleerung oder Reinigung sowie äußerst einfache Konstruktion, da keine beweglichen Teile vorhanden sind. Die genannten Vorzüge bewirken, daß die Filterpressen in der chemischen und in verwandten Industrien sehr häufig in Anwendung sind und bis heute noch in vielen Fällen durch kein anderes Filtergerät ersetzt werden können. Die Nachteile der Filterpressen sind folgende. Da die verwendeten Filtertücher zwischen den einzelnen Kammern und Rahmen zugleich als Dichtungsmaterial dienen müssen, ist

ein großer Verschleiß an Filtertüchern und eine unliebsame Erhöhung der Betriebskosten nicht zu vermeiden. Das Öffnen und Schließen sowie das Entleeren der Pressen ist zeitraubend und erfordert viel Handarbeit; außerdem ist bei Pressen, deren Preßvorrichtungen mit der Hand betätigt werden, eine Anzahl kräftiger Arbeiter nötig. Beim Filtern von lösungsmittelhaltigen Flüssigkeiten ist der Verlust an Lösungsmitteln sehr erheblich (Schutz s. S. 611).

Die Bauart und das Material der Filterpressen richten sich nach der zu verarbeitenden Flüssigkeit. Je nachdem, ob diese sauer, alkalisch oder neutral ist, werden zum Bau der Platten und Rahmen Holz, Bronze, Eisen, Hartblei, Aluminium, Aluminiumlegierungen mit oder ohne Oberflächenveredlung (Eloxierung), Gummi oder andere widerstandsfähige Materialien verwendet. Je nach den Eigenschaften der zu filtrierenden Flüssigkeiten haben die Pressen zentralen oder seitlichen Zulauf. Soll die Filtration unter höherer oder niedrigerer Temperatur vorgenommen werden, so besitzen alle Kammern, bei Rahmenfilterpressen auch die Rahmen, Ein- und Ausstrittskanäle für heißes Wasser oder Dampf bzw. kaltes Wasser oder Kühllösungen (Abb. 784). Diese Einrichtungen finden meist dann Anwendung, wenn bei der Filterarbeit leicht erstarrende oder kristallinische Substanzen vorkommen.

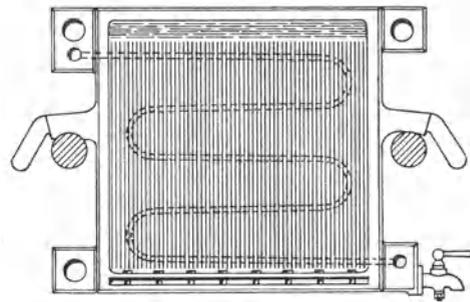


Abb. 784. Filterkammer mit Heiz- oder Kühlvorrichtung und vollkommener Auslaugung (Dehne).

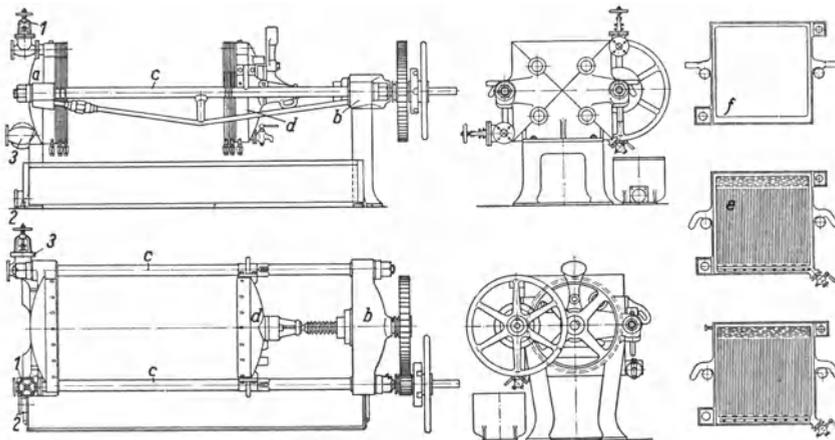


Abb. 785. Allgemeine Anordnung einer Filterpresse.

c) Ausführung der Filterpressen.

Die mit einem zur Montage bestimmten Fuß versehene kräftige Kopfplatte *a* (Abb. 785) besitzt alle Anschlußstutzen für Trübe *1*, Filtrat *2*, Auslaugeflüssigkeit *3*, Wärme- oder Kühlmittel. Sie ist durch die Zugstangen *c* mit dem Querhaupt *b* verbunden, das ebenfalls mittels kräftiger Stützen gelagert

ist und eine Preßvorrichtung besitzt, die zum Anpressen der Fußplatte *d* und zum Abdichten der zwischen der Kopf- und Fußplatte angeordneten Kammern *e* und Rahmen *f* dient. Diese sowie die Fußplatte sind mittels seitlich angelegter oder befestigter Bügel auf den Zugstangen *c* verschiebbar.

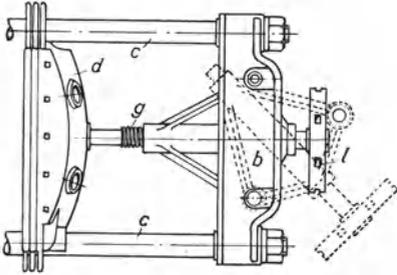


Abb. 786. Zentraler Spindelverschluß mit Schwenkmutter (Sangerhausen; Grundriß).

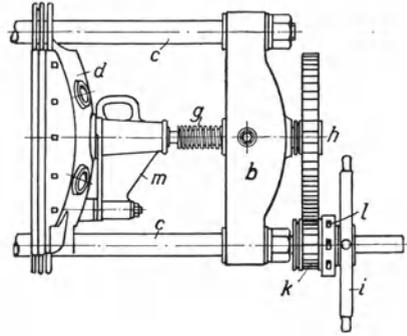


Abb. 787. Zahnradverschluß (Sangerhausen; Grundriß).

Nach Abb. 786 und 787 (Sangerhausen) geschieht das Anpressen in der einfachsten Art durch eine Preßschraube *g*, die bei kleineren Pressen unmittelbar mittels eines Handrades *i*, bei größeren Pressen meist mit Zahnradübersetzung *h—k* betätigt wird. Das Muttergewinde befindet sich im Querhaupt *b*.

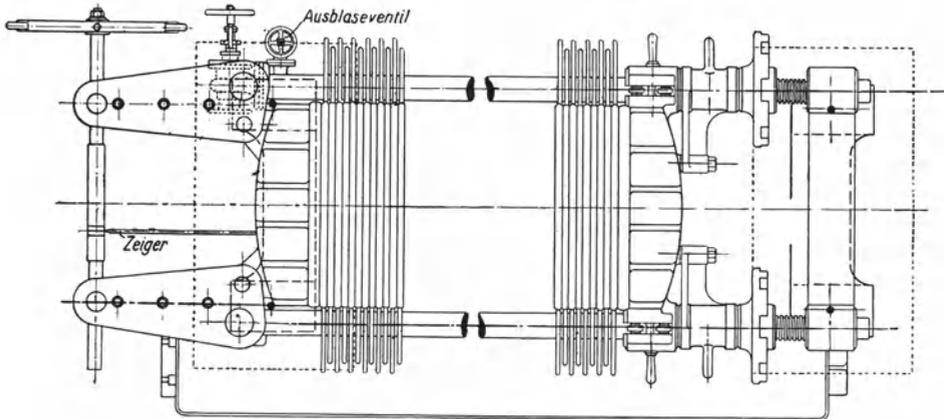


Abb. 788. Filterpresse mit Winkelhebelverschluß (Dehne).

Falls das Handrad zur Erzeugung des Anpreßdruckes nicht ausreicht, kann die Preßschraube mittels eines in die Öffnungen der Scheibe *l* eingesteckten Hebels fest angezogen werden. Um bei Auswechslung schadhafter Platten an Arbeitszeit zu sparen oder mit weniger Platten arbeiten zu können, legt man zwischen das Schraubenende und die Fußplatte ein Paßstück *m* ein. Beim Herausnehmen dieses Paßstückes hat man ausreichenden Platz zum Zurückschieben des beweglichen Fußteiles. Bei größeren Pressen verwendet

man Winkelhebelverschluss (z. B. von A. L. G. Dehne, Halle a. S., Abb. 788) mit 2 Muttern, die mit einem besonderen Schlüssel angezogen werden. Der hydraulische Verschluss (Sangerhausen, Abb. 789) ist zum Schließen und Öffnen großer Pressen sehr zweckmäßig. Auch hier wird zwischen die Druckspindel und die Fußplatte ein Paßstück *m* eingeschwenkt, um Arbeitszeit zu sparen. Hierauf wird von Hand aus die Druckspindel *g* aus dem Preßkolben herausgedreht und mit einer Handpreßpumpe der Presse nötige Preßdruck erzeugt. Werden mehrere Filterpressen mit hydraulischem Verschluss nebeneinander aufgestellt, so empfiehlt sich eine gemeinsame Preßpumpe mit einem Gewichtsakкумуляtor für alle Filterpressen (Bad. Maschinenfabrik Durlach, Abb. 790).

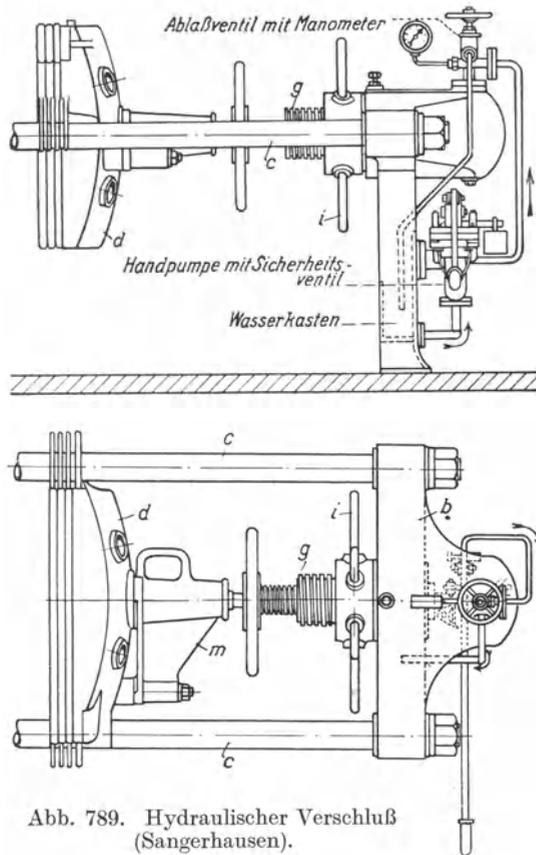


Abb. 789. Hydraulischer Verschluss (Sangerhausen).

Elektrischer Spindelpressenantrieb mit Druckknopfsteuerung (Siemens-Schuckert-Werke). Der elektrische Spindelpressenantrieb (Abb. 791 und 792) besteht aus einem Drehstrom-Kurzschlußläufermotor *M* und einem Schneckengetriebe *G*, auf dessen austreibendem Wellenende ein Ritzel *r* sitzt, das mit dem großen Spindelzahnrad *R* kämmt. Die Drehzahl der großen Spindel beträgt im allgemeinen etwa 6—8 U/min. Bei einem mittleren Übersetzungsverhältnis von 1 : 5 zwischen Zahnrad und Ritzel ergibt sich demnach das Übersetzungsverhältnis des Schneckengetriebes bei Verwendung eines vierpoligen Motors zu etwa 1 : 40 bis 1 : 50. Der bei Spindelpressen angewendete Preßdruck richtet sich nach dem zu bearbeitenden Material. Im allgemeinen kann man mit Enddrücken von 70000—120000 kg bei Preßstempelgrößen von etwa 1 m² rechnen. Statt des freistehenden Schneckengetriebes läßt sich auch ein Schneckengetriebe mit direkt angebautem Motor verwenden. Sofern es sich nicht um Säure- oder Laugenbetriebe handelt, können offene Motoren, unter Umständen mit Sonderisolation, verwendet werden. Die Arbeitsweise des elektrischen Antriebes geht aus der Schaltskizze Abb. 792 hervor. Der Preßvorgang wird eingeleitet durch Niederdrücken des „Vorwärts“-Druckknopfes, wodurch das „Vorwärtsschütz“ eingeschaltet wird und der Motor zu laufen beginnt. Der Preßdruck steigert sich allmählich bis auf die gewünschte

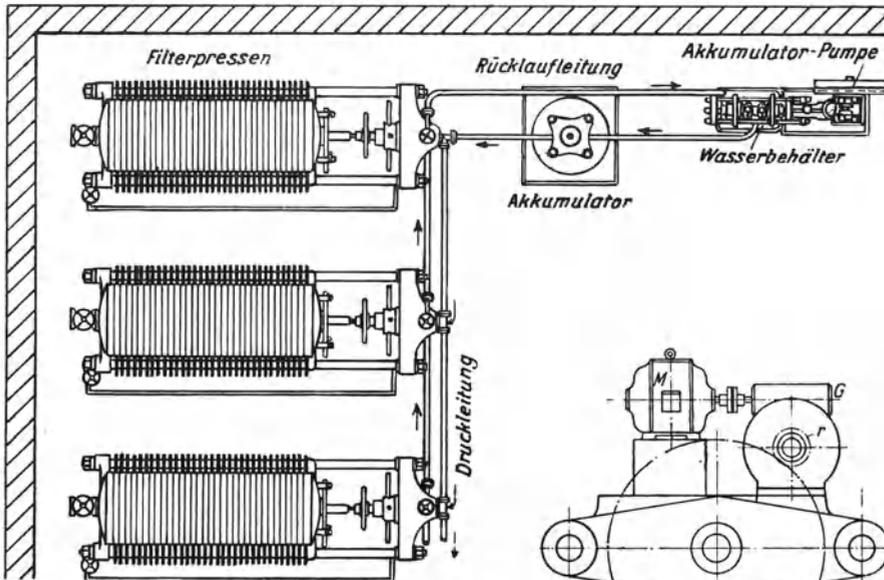
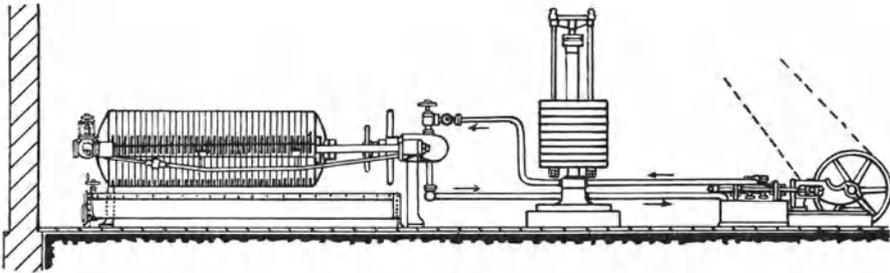


Abb. 790. Filterpressenanlage mit hydraulischem Verschluß.
(Bad. Maschinenfabrik Durlach).

größte Höhe. Dieser Steigerung des Preßdruckes entspricht eine Steigerung der Stromaufnahme des Motors, welche durch ein in einer Phase befindliches Stromrelais überwacht wird. Erreicht der Preßdruck und damit die Stromaufnahme die einmal eingestellte Höhe, so unterbricht das Stromwächterrelais augenblicklich den Haltspulenstromkreis des „Vorwärts“-Schützes und schaltet damit den Motor vom Netz ab. Um das Ansprechen des Stromwächters beim Anlaufen des Motors unwirksam zu machen, werden für die Dauer des

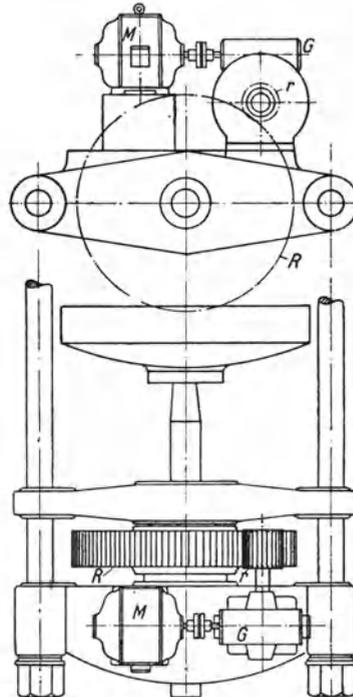


Abb. 791. Elektrischer Spindelpressenantrieb (Siemens-Schuckert).

Anlaufvorganges die Stromwächterkontakte durch einen verzögerten Hilfskontakt am „Vorwärts“-Schütz überbrückt, so daß der Haltespulenstromkreis trotz Ansprechen des Stromwächters geschlossen bleibt. Der verzögerte Hilfskontakt löst die Überbrückung nach einer einstellbaren Zeit von 2—6 Sekunden und gibt damit den Stromwächter für die Abschaltung in Abhängigkeit vom Preßdruck frei. Beim Niederdrücken des „Rückwärts“-Knopfes spricht das „Rückwärts“-Ölschütz an und läßt den Motor bis zum Erreichen der Endlage des Stempels laufen. Die Beendigung des Rücklaufvorganges erfolgt ebenfalls selbsttätig durch einen Endschalter. Um für den Notfall die Presse jederzeit stillsetzen zu können, ist noch ein besonderer „Halt“-Druckknopf vorgesehen.

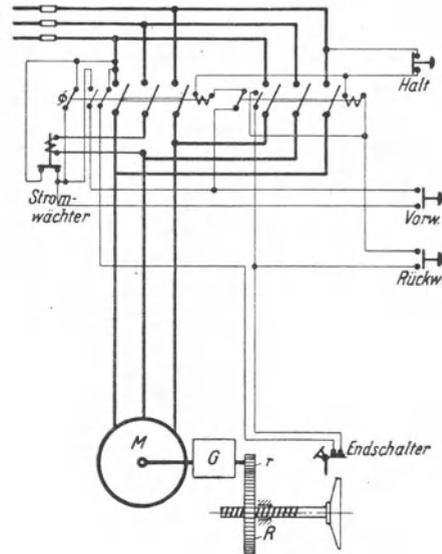


Abb. 792. Schaltungsschema zum Spindelpressenantrieb mit Druckknopfsteuerung (Siemens-Schuckert).

Die Arbeitsweise der Filterpressen kann an Hand der Abb. 793—798 erläutert werden, die ohne Berücksichtigung der wirklichen Lage der Kanäle und der Größenverhältnisse den schematischen Aufbau von Kammern und Rahmen mit zentralem Zulauf zeigen. Abb. 793 zeigt einen Längsschnitt durch eine Anzahl aneinandergereihter Kammern und Rahmen, in den alle in der Presse vorkommenden Kanäle eingezeichnet sind. Abb. 794 zeigt die Ansicht einer Wasserkammer, Abb. 795 diejenige einer Saftkammer und Abb. 796 einen Rahmen; auch hier sind die in Wirklichkeit verdeckten Strichkanäle als sichtbar eingezeichnet. Abb. 797 ist ein Querschnitt durch die Kammern in der Richtung $M-N$, der für beide Kammerarten gleich ist, Abb. 798 ein Querschnitt durch den Rahmen in der Richtung $O-P$. Die Rahmen sind sehr einfach eingerichtet, da nur drei Kanäle durch die Rahmenteile gehen. Der Mittelteil der Kammern ist von oben nach unten möglichst fein gerippt. Die Kanäle zwischen den Rippen münden oben in die Kanäle R bzw. S , unten in die Kanäle U bzw. W . Falls durch zu grob ausgeführte Rippen ein übermäßig großer Verschleiß an Filtertüchern zu befürchten ist, kann dem durch Aufschauben von gelochten Platten auf das

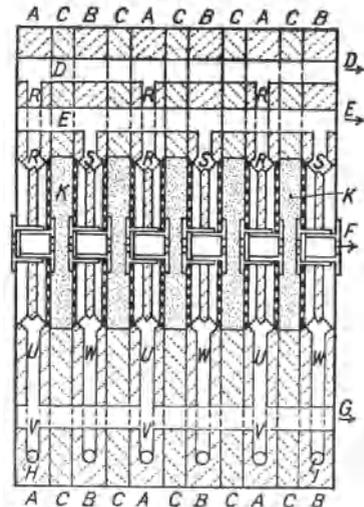


Abb. 793. Längsschnitt durch eine Rahmenpresse.

Mittelfeld der Kammern vorgebeugt werden. Die Filtertücher liegen dann auf den gelochten Platten auf und können durch den Preßdruck nicht in die Rippen eingedrückt werden. Beim Zusammenbau der Filterpresse wird abwechselnd eine Wasserkammer *A* und eine Saftkammer *B* mit zwischengeschalteten Rahmen *C* aneinandergereiht und deren Anzahl nach der verlangten Leistung gewählt. Über die Saft- und Wasserkammern wird jeweils

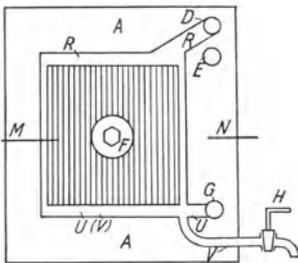


Abb. 794. Wasserkammer (schematische Ansicht).

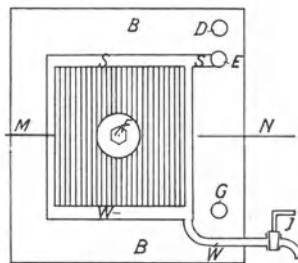


Abb. 795. Saftkammer (schematische Ansicht).

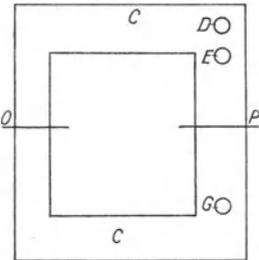


Abb. 796. Rahmen (schematische Ansicht).

ein Filtertuch gezogen. Nach dem Schließen der Presse, d. h. nachdem durch die Anpreßvorrichtung die Abdichtung vom Innern der Presse nach außen hergestellt ist, besitzt die Presse 4 durchgehende Kanäle *D*, *E*, *F* und *G*. Die zu filtrierende Flüssigkeit wird nun durch den Kanal *F* in die Rahmen *C* geleitet (zentraler Zulauf), wo sich die festen Bestandteile ansammeln und den Filterkuchen *K* (Abb. 793) bilden. Das Filtrat fließt durch die Filtertücher hindurch nach unten in die Sammelkanäle der Rippen *U*, *V*, *W* und von hier durch die Hähne *H* und *I* in eine vor die Presse aufgestellte Sammelrinne (Filtratrinne). Um ein gleichmäßiges Füllen der Rahmen zu erreichen, müssen die Hähne *H* und *I* so eingestellt sein, daß der Filtratablauf aus jeder Kammer gleich stark ist. Die Filtration wird, wie eingangs erwähnt, durch die Beobachtung der Filtratablaufmenge sowie durch Messung des Filtrationsdruckes mittels selbstschreibender Plattenfedermanometer kontrolliert und erst dann, wenn der Druck zu hoch steigt oder kein Filtrat mehr austritt, abgebrochen. Die Diagramme der selbstschreibenden Manometer erlauben auch eine Kontrolle des Verlaufs der Filtration, der Preßdauer, der Arbeitspausen sowie aller sonstigen Unregelmäßigkeiten. Der zur Bildung der Kuchen erforderliche Druck richtet sich nach der Filtrationsfähigkeit der Trübe. In normalen Fällen beträgt er bis zu 10 at. Um eine gleichmäßige Kuchenbildung zu erhalten, darf der Druck der zulaufenden Trübe niemals stoßweise sein, sondern es muß alles getan werden, damit er stets gleichmäßig eingehalten wird. Je höher er gewählt wird, um so schneller und trockener fallen im allgemeinen die Kuchen an.

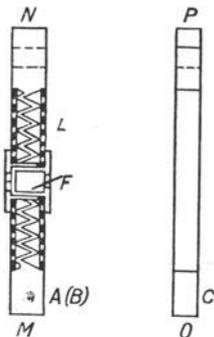


Abb. 797. Querschnitt durch eine Kammer.
Abb. 798. Querschnitt durch einen Rahmen.

Ist die in den Filterkuchen enthaltene Mutterlauge wertlos und für das weitere Verarbeiten der Kuchen nicht hinderlich, so wird die Presse durch Öffnen

entleert; nach der Reinigung der Rahmen und Filtertücher kann das Filtern von neuem begonnen werden. Ist aber ein Auswaschen der Filterkuchen erforderlich, so werden die Hähne *H* und *I* und der Zulaufhahn geschlossen, worauf die noch in dem Zulaufkanal *F* befindliche Trübe entleert wird. Das Ventil des Entlüftungskanals *D* und das Zulaufventil des Kanals *G* für die Waschflüssigkeit, die unter einem bestimmten Druck gehalten wird, werden alsdann geöffnet; die Waschflüssigkeit tritt durch die Kanäle *U* unter die Siebe der Wasserkammern *A* und verdrängt hier die Luft durch *R* und *D*. Tritt aus dem Ventil des Kanals *D* die Waschflüssigkeit aus, so ist die Presse entlüftet; das Ventil wird dann geschlossen. Das Ventil des Laugenkanals *E* wird nun geöffnet, die Waschflüssigkeit geht zwangsläufig durch die Siebe der Kammern *A*, durch die in den Rahmen *C* befindlichen Filterkuchen in die Saftkammern *B* und tritt durch *S* in den Laugenkanal *E*, von wo sie durch ein Kontrollgerät die Presse verläßt. Die Waschflüssigkeit wird nötigenfalls gesondert aufgefangen. Nach Beendigung des Auswaschens wird das Ventil *G* geschlossen und die Presse geöffnet, so daß die Filterkuchen entnommen werden können.

I. Kammer-Filterpressen.

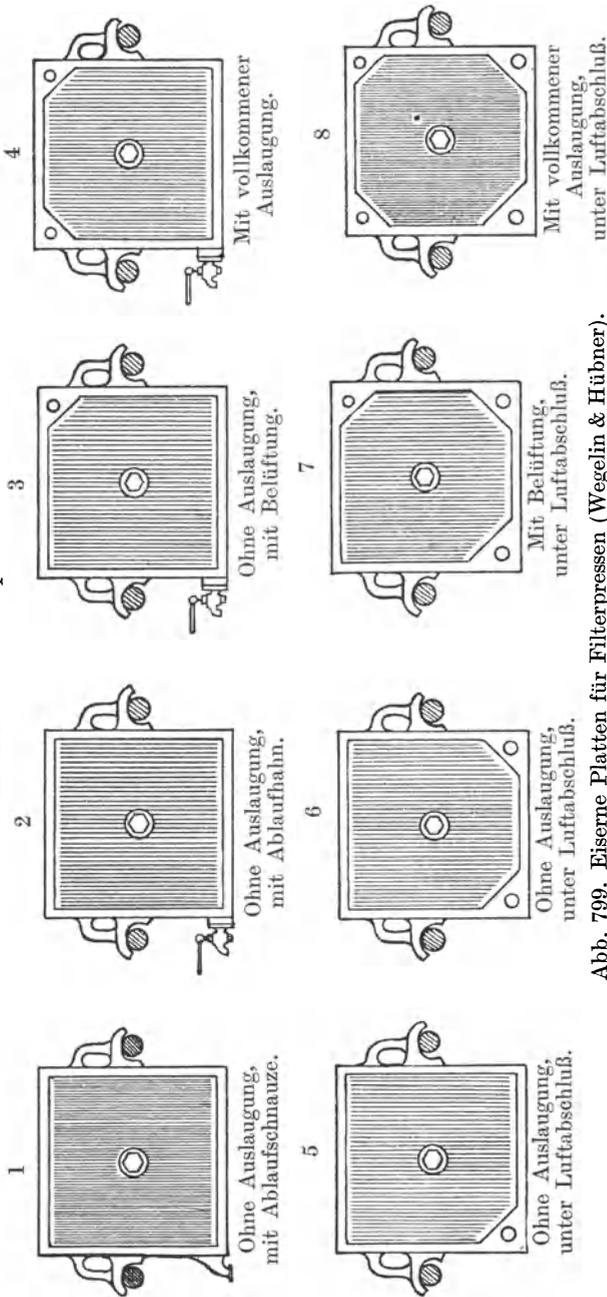


Abb. 799. Eiserne Platten für Filterpressen (Wegelin & Hübner).

II. Rahmen-Filterpressen.

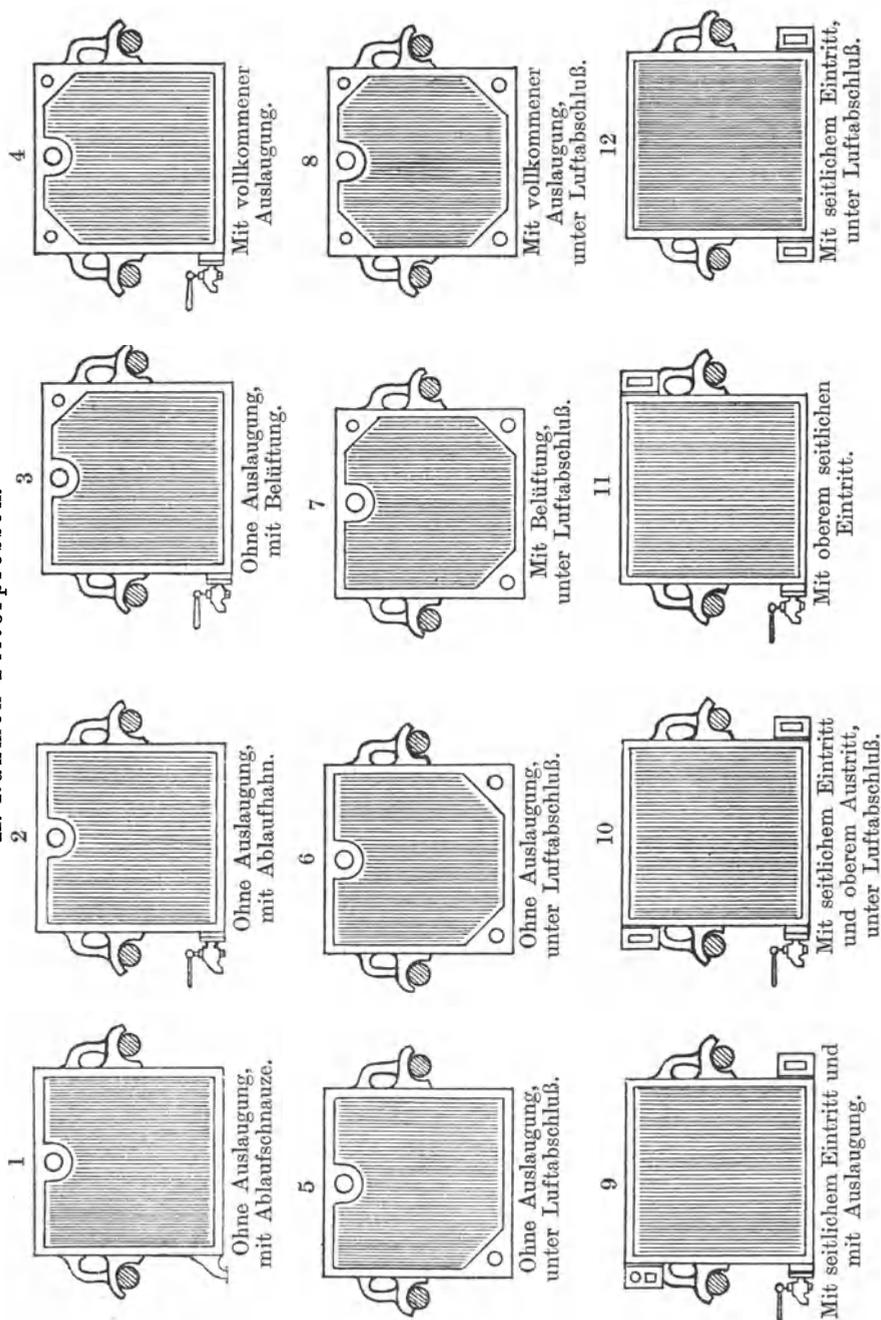


Abb. 800. Eiserne Platten für Filterpressen (Wegelin & Hübner).

Die zentrale Anordnung *F* des Trübezulaufes hat den Vorteil, daß bei der Filtration von Trüben mit groben festen Teilen die Gefahr des Verstopfens geringer ist als bei der seitlichen Anordnung. Auch hier ist stets zu beachten, daß sich die Kammern und Rahmen gleichmäßig füllen und keine Nester (unausgefüllte Zwischenräume) entstehen, um Plattenbrüche zu vermeiden,



Abb. 801.
Kanal-tasche
(Dehne).



Abb. 802.
Kopfstück-tasche
(Dehne).

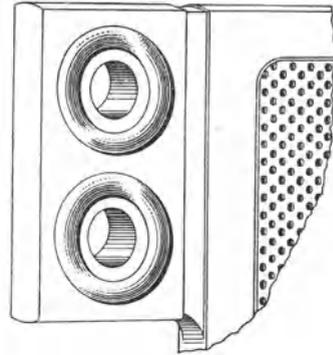


Abb. 803. Abdichtung mittels
Gummiringen (Dehne).

wodurch man unter Umständen auf die Verwendung von Stahlgußplatten angewiesen ist. Bei den Filterpressen mit seitlichem Zulauf, bei denen die Anordnung der Kanäle, wie Abb. 799—800 zeigt, verschieden sein kann, ist die Arbeitsweise die gleiche wie bei den Kammerpressen, doch müssen seitlich vorgebaute Kanaltaschen (Abb. 801, 802) mit Filtertüchern in der gleichen Stärke zum Abdichten überzogen werden. Dies kann dadurch geschehen, daß die Dichtungsflächen mit an die Tücher der Platten angeschnitten oder besondere Taschen zum Überziehen genäht werden; ebenso können Gummiringe, die in eingefrästen Nuten liegen, als Dichtungen dienen (Abb. 803, Dehne). Abb. 804 zeigt eine Platte und Abb. 805 einen Rahmen mit je drei durchlaufenden Bohrungen. Die Platte hat außerdem noch einen Kanal, der quer zu den erwähnten nach außen verläuft. Durch die obere mittlere

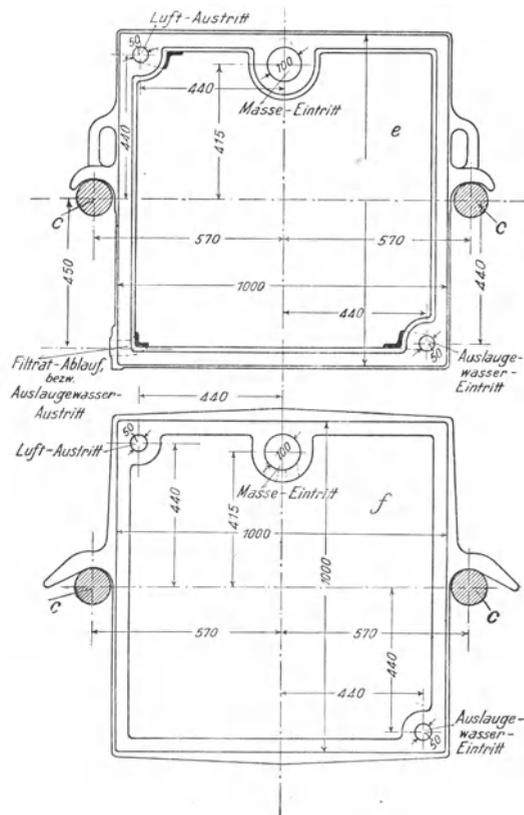


Abb. 804 und 805.
Abb. 804 (oben). Filterplatte (allgem. Anordnung).
Abb. 805 (unten). Filterrahmen (allgem. Anordnung).

Bohrung tritt die Trübe in die Presse und verteilt sich in dem Rahmen von oben auf die ganze Filterfläche. Das Filtrat durchdringt die Filtertücher und fließt seitlich aus der Presse. Nach Beendigung der Filtration kann auch hier, wie früher bereits beschrieben, ein Auswaschen oder Auslaugen des Filterkuchens vorgenommen werden. Die in den Abb. 804 und 805 dargestellten Pressenkammern und Rahmen haben einfache Auslaugung. Eine Kammerpresse mit zentralem Zulauf und vollkommener Auslaugung zeigt Abb. 806 (Dehne).

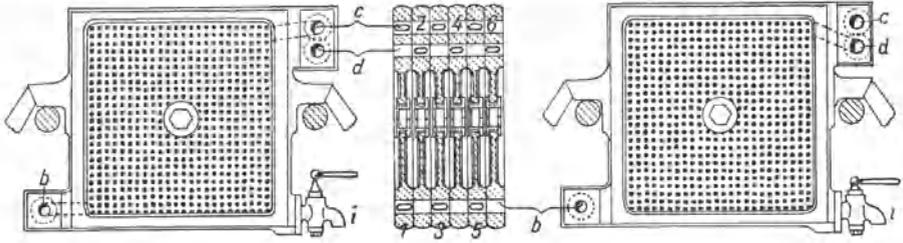


Abb. 806. Kammerpresse mit zentralem Zulauf und vollkommener Auslaugung (Dehne).

Der Vorgang des Auslaugens ist folgender. Die in dem Zulaufkanal befindliche Trübe wird entleert; dann werden das Zulaufventil und alle Ablaufhähne *i* geschlossen. Die an beiden Enden des Entlüftungskanals *c* angebrachten Hähne werden solange geöffnet, bis die durch den Kanal *b* eintretende Waschflüssigkeit durch Austreten aus den Hähnen die Beendigung der Entlüftung anzeigt.

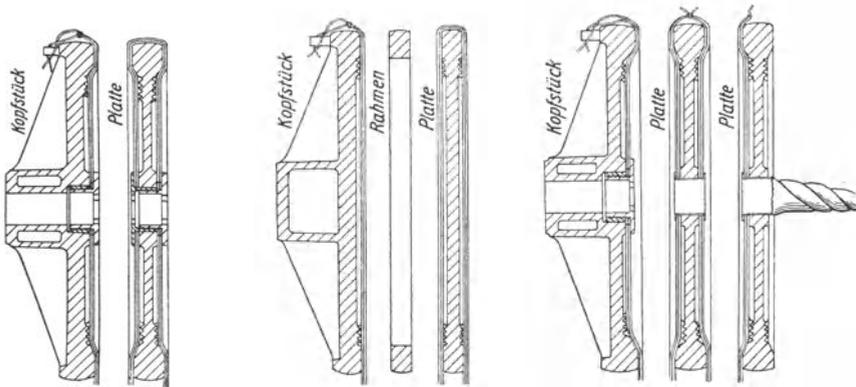


Abb. 807—809. Befestigung der Filtertücher (Dehne).

Nachdem die Hähne des Entlüftungskanals *c* geschlossen sind, wird das Ventil des Sammelkanals *d* geöffnet. Die Waschflüssigkeit geht nun in den Platten *1, 3, 5* durch kleine Kanäle hinter die Filtertücher, durchdringt diese und die Filterkuchen waagrecht und sammelt sich in den Platten *2, 4, 6* hinter den Filtertüchern, um durch kleine Kanäle in den Sammelkanal *d* und von hier nach außen zu gelangen.

Die Befestigung und das Überziehen der Filtertücher über die Kammern und die Endstücke zeigen die Abb. 807—809 (Dehne). Die Kopf- und die Fußplatte erhalten je ein einfaches Filtertuch, das mit Schlingen an

den dafür vorgesehenen Nasen befestigt wird; die Kammern erhalten doppelte Filtertücher, die über beide Seiten gehängt werden und bei Rahmenpressen mit seitlichem Zulauf keiner Befestigung bedürfen, bei Kammerpressen oder Rahmenpressen mit zentralem Zulauf hingegen mittels Verschraubungen gegen das Platteninnere abgedichtet werden müssen. Eine wenig gebräuchliche Art des Tuchüberziehens zeigt Abb. 809, bei der zwei Filtertuchseiten mit einem Filtertuchkanal verbunden sind, der die Verschraubung erspart. Hier muß nach Anlegen der

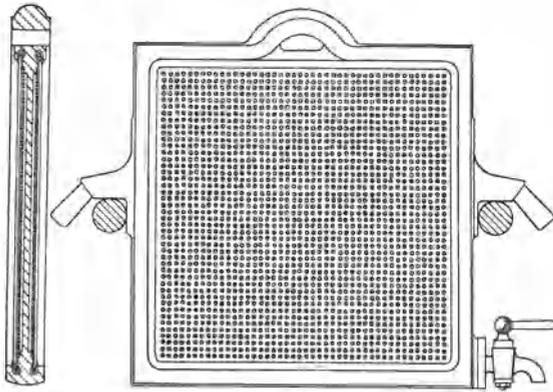


Abb. 810. Filterpressenplatte mit Abdichtung zwischen den Platten (Dehne).

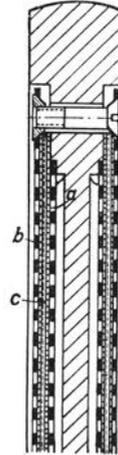


Abb. 811. Abdichtung von Klein, Schanzlin & Becker.

einen Filtertuchseite die zweite Seite durch den zentralen Zulauf gesteckt und auf der zweiten Seite ausgebreitet und befestigt werden. Eine Filterpressenplatte, bei der das Filtertuch nur die Rillen, also nur das Platteninnere bedeckt, zeigt Abb. 810 (Dehne). Hier wird das Filtertuch mit einer Dichtungsschnur in einem Falz der Platte festgehalten und die Abdichtung zwischen den Platten oder Rahmen durch eine auf den Plattenrand passende Dichtung aus geeignetem Material bewerkstelligt. Eine andere Art, die Filtertücher schonend zu behandeln, zeigt die Filterplatte Abb. 811 (Klein, Schanzlin & Becker, Frankenthal). Über den Rillen der Platte liegt ein Siebblech *a*, über welches das Filtertuch *c* ausgebreitet wird. Zwischen dem Filtertuch und dem Siebblech wird gewöhnlich ein Drahtsieb eingelegt. Das Filtertuch und unter Umständen das Drahtsieb werden durch ein zweites Siebblech *b*, das mit Schrauben an der Platte befestigt wird, gehalten. Eine in der Zuckerfabrikation häufig angewandte Filterpressenart ist die Beegsche Filterpresse, die in der Wirkungsweise von den andern Arten nicht abweicht, aber innen- und außenliegende Auslaugkanäle besitzt. Eine besondere Abdichtung der Filtertücher

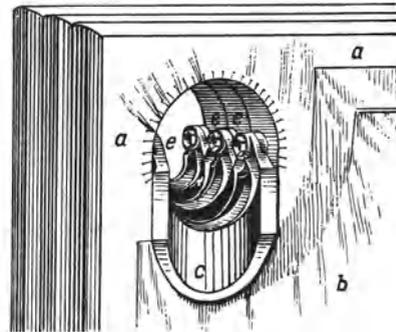


Abb. 812. Abdichtung der Beegschen Filterpresse.

bei diesen Pressen zeigt Abb. 812. Da es eine Kammerpresse ist, muß der Zulaufkanal besonders abgedichtet werden. Der nach dem Innern der Presse führende Dichtungsrand *a* ist eingeschnitten; hier werden in Scharnieren *e* drehbare Bügel *c* eingesetzt, deren Abdichtungsränder mit den Dichtungsflächen der Platten in einer Ebene liegen. Beim Zusammenschrauben der Presse drücken die Bügel die Tücher *b* fest und bewirken einen sicheren Verschuß. Für das Filtern von Substanzen, welche die am meisten gebräuchlichen Filterplatten aus Eisen angreifen oder durch Berührung mit Metallen oder Holz selbst Schaden leiden, ist man dazu übergegangen, Filterplatten und Rahmen sowie die Zu- und Ableitungen der Kopf- und Fußplatte mit Zinn, Blei oder Hartgummi zu überziehen (Abb. 813, Dehne) oder Platten aus Haveg oder anderen Bakelitmassen zu verwenden.

d) Membranfilterpressen.

Filterrückstände aus elastischen Stoffen, wie Fasern von Zellstoff, Papier, Asbest usw., Hülsen von Trebern von Getreide, Früchten und Trauben, auch Mehl von Holz und Gerbstoffen sowie quarkähnliche Stoffe von Käse, Rüben u. ä., besitzen trotz Anwendung eines hohen Preßdruckes immer noch große Mengen von Feuchtigkeit, die selbst mit erwärmter Preßluft oder Dampf nicht entfernt werden können.

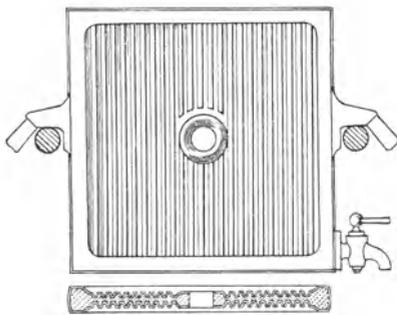


Abb. 813. Filterplatte mit Schutzüberzug (Dehne).

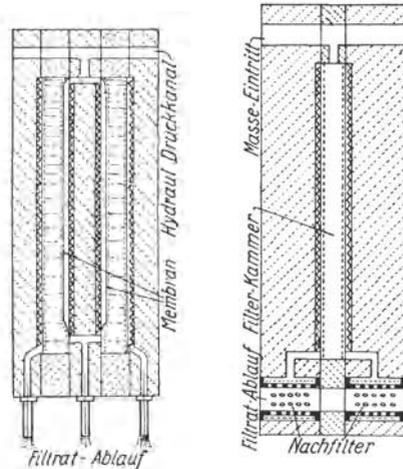


Abb. 814. Filterplatte der Membranfilterpresse (Dehne).

Abb. 815. Filterplatte mit selbsttätiger Absperrung (Dehne).

Die Membranfilterpresse der Firma Dehne ist nun so eingerichtet, daß, wie aus Abb. 814 ersichtlich ist, über den Filtertüchern einer Mittelkammer auf beiden Seiten Membranen angeordnet sind, die durch hydraulischen Druck den Filterkuchen in den Rahmen in der Querrichtung zusammendrücken und das im Kuchen befindliche Filtrat durch besondere Öffnungen auslaufen lassen.

Eine Vorrichtung zum selbsttätigen Absperrn einer trüblaufenden Kammer zeigt Abb. 815 (Dehne). In den Ablaufkanal des Filtrats werden kleine, den Filtertüchern angepaßte Nachfilter eingebaut, welche das Filtrat beim Trübwerden solange filtern, bis sie selbst verstopft sind und die betreffende Kammer außer Betrieb setzen.

e) Filterpressen für Extraktionszwecke.

Die in einer Filterpresse gebildeten Kuchen sollen auf dem Wege der vollkommenen Auswaschung entfettet werden. Es wird solange Lösungsmittel hindurchgepumpt, bis in dem Filtrat kein Öl mehr nachgewiesen werden kann. Die für solche Anlagen benutzten Filterpressen von gewöhnlicher Bauart haben den Nachteil, daß die Filtertücher über die Filterplatten hinausragen. Die Tücher saugen sich mit Lösungsmittel voll, das bei Undichtigkeiten oft in Strahlen aus der Presse tritt. Um diese Lösungsverluste zu verringern, werden solche Filterpressen in eine Blechhaube eingekapselt (Abb. 816).

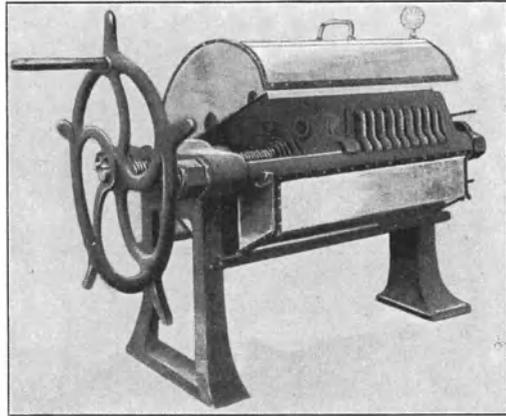


Abb. 816. Filterpresse für Extraktionszwecke mit aufklappbarem Verschlußkasten (Wegelin & Hübner).

Eine Kammerfilterpresse mit abhebbarem Verschlußkasten, der in einer Flüssigkeitsrinne dichtet, zeigt Abb. 817 (Wegelin & Hübner). Diese Konstruktion ist für die Filtration von Lösungsmitteln gedacht, die durch Austritt an den Kanten der Filtertücher für den weiteren Arbeitsvorgang verlorengehen und durch den Verschlußkasten von der Außenluft abgeschlossen sein sollen. Für das Arbeiten mit flüchtigen Lösungsmitteln reicht diese Konstruktion nicht aus und ist deshalb meist die Rundrahmen-Filterpresse von Wegelin & Hübner oder Sangerhausen in Anwendung, die sich durch innerhalb einer besonderen Abdichtung liegende Filtertücher auszeichnet und unter vollständigem Luftabschluß arbeitet (Abb. 818), sonst aber

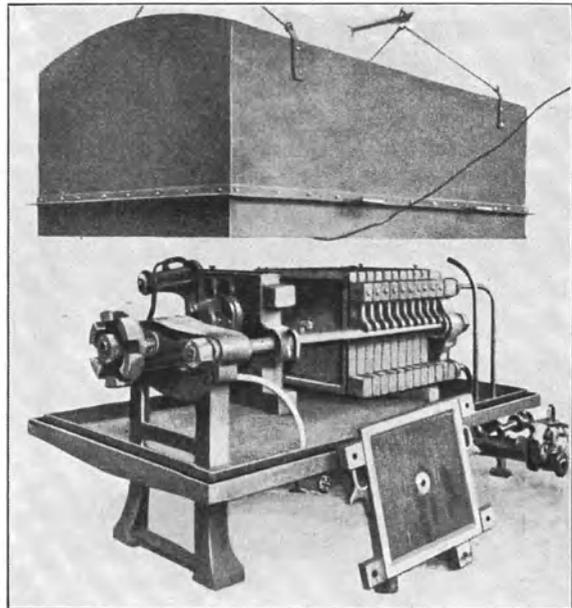


Abb. 817. Kammerfilterpresse mit abhebbarem Verschlußkasten (Wegelin & Hübner).

alle Eigenschaften der gewöhnlichen Filterpressenarten besitzt. Eine Entfettungsanlage, in der diese Spezialpresse zur Verwendung kommt, zeigt Abb. 529 (S. 443).

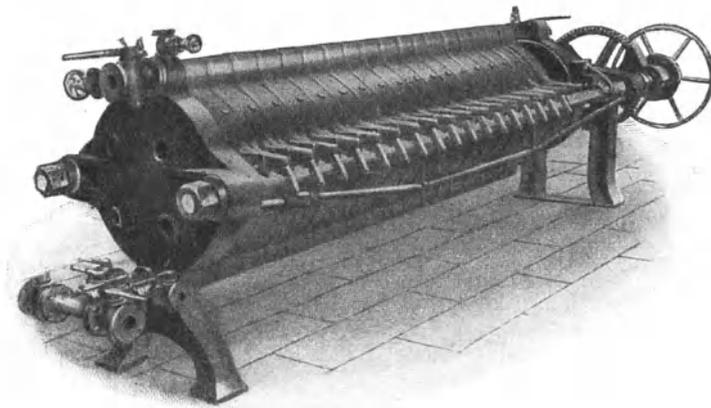


Abb. 818. Filterpresse für flüchtige Lösungsmittel
(Wegelin & Hübner; Sangerhausen).

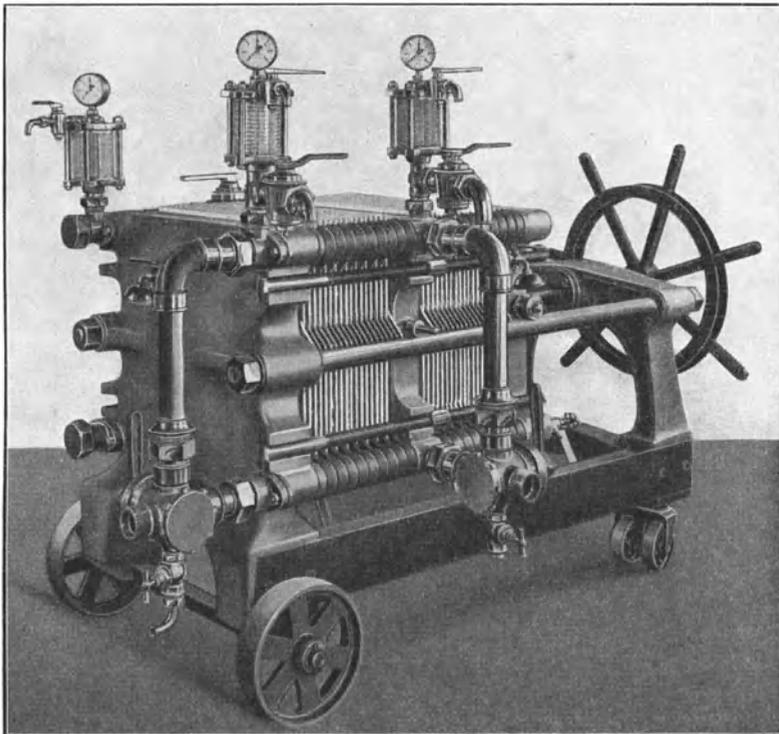


Abb. 819. Schichtenfilter (Seitz).

f) Schichtenfilter (Abb. 819) sind nach Art einer Filterpresse gebaut und werden im Gegensatz zu den gewöhnlichen Filterpressen mit fertigen oder aufgetragenen Filterschichten beschickt, welche in verschiedenen, den Trüben angepaßten Durchlässigkeitsgraden hergestellt werden (Seitz, Enzinger). Das Material der Filterschichten ist vollkommen rein und neutral, liefert beim Filtrieren keinen Vorlauf und kann so zusammengesetzt sein, daß eine vollständige Entkeimung jeder filtrierbaren Flüssigkeit erreicht wird. Ihr Hauptverwendungsgebiet ist die Klärfiltration von Bier und anderen Flüssigkeiten, die kohlenensäurehaltig sind und mit Gegendruck filtriert werden müssen. Daneben werden sie auch in der chemischen Industrie angewandt, und zwar zur Filtration von Lacken, Ölen und Fetten. Mit besonderen Trübenkammern ausgestattet, die zur Aufnahme größerer Rückstandsmengen dienen, kann man die Filter auch zur Filtration von Bleicherde, Aktivkohle usw. verwenden. Beim Abfiltrieren von Bleicherde können die Filterschichten mehrmals verwendet werden, da sich die Bleicherde als fester Kuchen sehr leicht von den Schichten abtrennen läßt. Die Schichtenfilter können in jede Druckleitung eingeschaltet werden und lassen sich vollkommen leer drücken, mit Dampf sterilisieren und rückspülen. Die meist fahrbar angeordneten Filter haben zur Kontrolle des Filtrationsvorganges an den Ablaufstellen und den Luftähnen Schaugläser. Die Schichtenfilter werden in der Regel aus einer Aluminiumlegierung mit besonderer Oberflächenhärtung (Eloxierung) oder Hartgummi hergestellt, jedoch können auch Eisen, Kupfer oder dessen Legierungen verwendet werden.

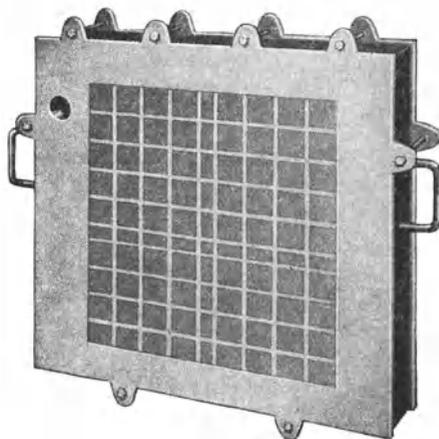


Abb. 820. Filterpresse mit Filtersteinen (Schuler).

g) Die Filterpressen mit Filtersteinen (Wilh. Schuler, Grünstadt) unterscheiden sich von gewöhnlichen Filterpressen nur durch den Einbau von Filtersteinen an Stelle der bereits beschriebenen Umkleidung der Kammern mit Filterstoffen. Besonders konstruierte Stützkammern erhalten beiderseits einen fest eingebauten Belag von 14—18 mm starken Filtersteinen (Abb. 820), die gegen Bruch vollkommen gesichert sind. Die Abdichtung zwischen Kammern und Rahmen erfolgt durch Profildichtungen, die den jeweiligen Anforderungen angepaßt werden können. Die Vorteile dieser Pressenart gegenüber dem Arbeiten mit säureempfindlichen Filtertüchern sind: rasches und erleichtertes Bedienen, eine bessere Kuchenbildung, weil der Ablauf des Filtrats auch bei dem höchsten Enddruck frei bleibt, eine sehr wirksame Auswaschung der Kuchen und eine saubere Loslösung derselben von der völlig glatten Filtersteinfläche. Um das Verstopfen der Filtersteinporen zu verhüten, ist es erforderlich, Versuche über die zu wählende Porengröße anzustellen. Dies kann insofern leicht geschehen, als einige Kammern mit verschiedener Porenweite zu Versuchen in vorhandene Filterpressen eingebaut werden können. Ältere Konstruktionen mit 50—60 mm starken Filtersteinen, die ein inneres Kanalsystem besitzen,

haben, bezogen auf die Gesamtfilterfläche, eine geringe Filtrataustrittsfläche und neigen zum Unterschied von der vorherbeschriebenen Ausführung zu Plattenbrüchen.

h) Kesselfilter „Phönix“ von Holstein & Kappert, Dortmund, ist den Kelly- und Sweetlandfiltern ähnlich gebaut und besteht, wie die Abb. 821 und 822 zeigen, aus einem kesselförmigen Gehäuse *A* mit dem Verschlussdeckel *B*, an dem das Traggestell *D* für die Filterrahmen *C* befestigt ist.

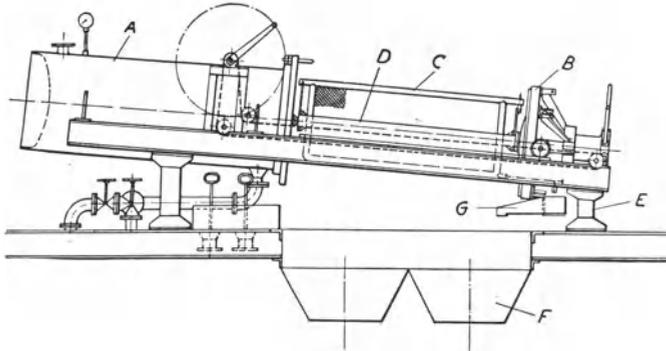


Abb. 821. Kesselfilter „Phönix“ (liegende Anordnung).

Der Verschlussdeckel *B* ist mit einem sicher wirkenden Schnellverschluss versehen. Die am Deckel befestigten Filterelemente werden mittels Ketten- und Kurbeltrieb aus dem Kessel *A* aus- und eingefahren. Die einzelnen

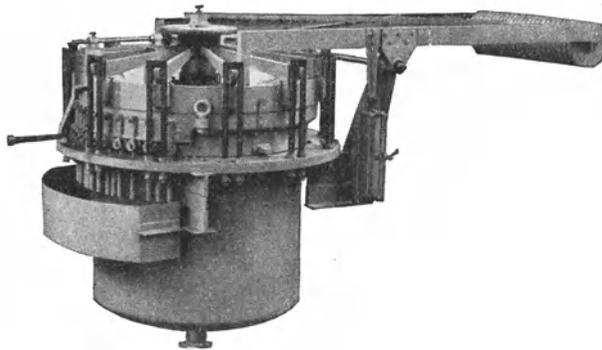


Abb. 822. Kesselfilter „Phönix“ (stehende Anordnung).

Filterrahmen werden von einem allseitig geschlossenen Filtersack umgeben. Nachdem das Filterrahmengestell mit den mit Filtersäcken versehenen Rahmen in den Kessel eingefahren und der Deckel geschlossen ist, wird die zu filtrierende Lösung in das Filtergehäuse eingeleitet, so daß die gesamte Tuchfläche von der Lösung umgeben ist. Die flüssigen Bestandteile filtrieren durch das Tuch hindurch in das Innere des Filterrahmens und werden abgeleitet, während die festen Bestandteile sich als Schlammkuchen am Filtertuch abscheiden. Bei der Außerbetriebsetzung wird der im Gehäuse verbliebene Rest unfiltrierbarer Lösung durch Druckluft entfernt; dabei werden

die im Schlammkuchen verbliebenen Flüssigkeitsreste herausgedrückt. Dann fährt man die mit den Schlammkuchen beladenen Filterrahmen heraus. Durch Einblasen von Druckluft in das Rahmeninnere blähen sich die Filtersäcke auf und fallen die Schlammkuchen ab. Sollen die Schlammkuchen nachgewaschen werden, so wird nach Entfernen des Lösungsrestes Waschflüssigkeit in den Kessel eingeleitet, die den gleichen Weg wie das Filtrat durch den Schlammkuchen nimmt. Hierdurch wird ein gründliches Auswaschen erreicht. Die Reste der Waschflüssigkeit werden wieder mit Druckluft aus dem Kessel und den Schlammkuchen entfernt. Die Reinigung der Filter geschieht in der vorbeschriebenen Weise. Das Kesselfilter kann liegend (Abb. 821) oder stehend (Abb. 822) ausgeführt werden.

Lit.: Siehe die Zusammenstellungen auf S. 495, 499, 503, 535, 568, 597.

Schauffele.

Lit. Chem. Apparatur: *O. Nagel*, Feinfiltration (1914, S. 199); Bemerkungen über Filtration und Auslaugung (1914, S. 293). — *F. Ludwig*, Über Bau und Betrieb von Filterpressen (1916, S. 117, 127). — *E. A. Küppers*, Von der Kelly-Filterpresse (1916, S. 141, 151). — *A. Ernst*, Wasserfiltration (1916, S. 149, 159, 167). — *F. Ludwig*, Die Schleudermaschine (Zentrifuge) als Wettbewerberin der Filterpresse (1919, S. 1). — *L. Stein*, Baumwoll-Filtertücher und ihre Anwendung, Theorie und Praxis (1926, S. 37, 55, 81). — *D. Kolb*, Nutschen oder Saugfilter (1926, S. 89). — *W. Stollenwerk*, Über Widerstandsfähigkeit von Filtersteinen gegen Phosphor- und Schwefelsäure (1926, Beil. Korr., S. 9). — *H. Jungwirt*, Neue Hilfsmittel zur Extraktion feinpulveriger Stoffe (1926, S. 161). — *H. Schillbach*, Erfahrungen beim Filtern von Lösungen der Kaliindustrie (1926, S. 189, 209). — *L. Stein*, Wie läßt sich bei der Beschaffung und Verwendung von Filtertüchern sparen? (1928, S. 242, 280). — *H. Fischer*, Betrachtungen über den Aufbau von Filterschichten (1929, S. 245; 1930, S. 25). — *H. Schmidt*, Das Steinfiler in der Industrie; unter besonderer Berücksichtigung der Kunstfaserindustrie (1931, S. 222, 233). — *M. Dolch*, Neue Wege der Filtrierteknik im chemischen Betriebe (1932, S. 4 [Allgemeines über den Filtriervorgang], S. 16 [Die Betriebsweise zwecks Filterhautbildung auf Filtern], S. 27 [Die Herstellung starrer Filtermassen], S. 39 [Die Filterkerzen für die Großtechnik]). — *L. Stein*, Über Filtertücher für die Filtration von Fetten, Ölen, Mineralölen und zugehörigen Stoffen (1932, S. 89); Einiges über Preßtücher für Warmpressen (1932, S. 102); Einiges über den Einfluß von Emulsion auf die Filtrierwirkung der Filtertücher (1932, S. 133). — *E. Wurtz*, Der Lösevorgang und die Filtration bei der Herstellung von Kupferseide (1932, S. 123). — *H. Meyer*, Ölraffination (1934, S. 2, 13).

Filtergeräte, s. Atemschutzgeräte, Filter.

Filterkerzen, s. Filter, Kunstfasererzeuger, Spinnndüsen.

Filterpressen, s. Filter.

Fittings, s. Rohrleitungen.

Flammrohre (*s. auch Dampfkessel, Feuerungsanlagen*). Um eine günstige Wärmeübertragung zur Erhitzung von Flüssigkeiten in einem feuerbeheizten Kessel oder Apparat, beispielsweise einer großen Destillierblase, zu erhalten, kann man ein Rohr waagrecht oder schräg zwischen die Wandungen oder Böden einbauen und in diesem Rohr unmittelbar die Feuerung vorsehen. Der höchste Punkt dieses Rohres oder bei waagerechter Lage die Scheitellinie dieses Rohres muß unter dem niedrigsten Flüssigkeitsspiegel liegen.

Da die Flammen der Feuerung mit großer Geschwindigkeit durch das Rohr strömen und die Strahlung des glühenden Brennstoffs und der Flammen unmittelbar auf die Rohrfläche in voller Höhe wirken können, ergibt sich ein guter Wärmeübergang. — Die für den Rost der Feuerung zur Verfügung stehende Fläche im Flammrohr ist beschränkt. Die Feuerung wird daher bisweilen auch vor das Flammrohr gesetzt.

Das Flammrohr wird entweder glatt oder gewellt (Wellrohr) oder mit anderen Versteifungen ausgeführt. Glatte Flammrohre erhalten meist Durchmesser von 500—900 mm. Gewellte Flammrohre verwendet man mit 750—1400 mm Durchmesser. — Zur Verbindung des Flammrohres mit den Kesselböden versieht man diese mit Aushalsungen, in die das Flammrohr eingesetzt wird. Sind die Wandungsteile, an denen das Flammrohr zu befestigen ist, eben, so können Winkelringe zur Verbindung zwischen den Blechen und dem Flammrohr dienen. Die Aushalsungen oder Winkelringe vereinigt man mit dem Flammrohr durch Niete. Um die Heizfläche des

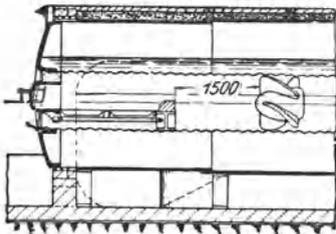


Abb. 823. Drallstein eingebaut.

Flammrohres zu vergrößern und gleichzeitig seine Wandungen gegenseitig zu versteifen, baut man bisweilen in das Flammrohr Querrohre versetzt zueinander ein (Quersieder).

Um die Ablagerung von Flugasche in den Flammrohren zu verhüten, um die im Gasstrom mitgerissenen Brennstoffteilchen nachverbrennen zu lassen, und um die Rauchgasgeschwindigkeit zu erhöhen, baut man bisweilen in die Flammrohre sog. Drallsteine ein, die aus einem kurzen feuerfesten Nabenkörper mit

4—6 schraubenförmig gewundenen Flügeln bestehen. Die Drallsteine werden hinter der Feuerbrücke in das Flammrohr eingesetzt, wie es Abb. 823 mit einem Ausführungsbeispiel zeigt (s. auch Chem. Apparatur 1927, S. 53). Die Drallsteine sind mehrteilig, um sie leicht in das Flammrohr einbringen zu können.

Da die Flammrohre durch äußeren Überdruck belastet sind, müssen sie wirksam versteift werden, falls eine Durchbiegung infolge ihrer Länge zu befürchten ist.

Bezeichnet s = Blechdicke in mm,

d = Innendurchmesser in mm,

p = größter Betriebsüberdruck in kg/cm^2 ,

a = Zahlenwert,

l = Länge des Flammrohres in mm, gegebenenfalls die größte Entfernung der wirksamen Versteifungen voneinander,

dann gilt für glatte und versteifte Flammrohre:

$$s = \frac{pd}{2400} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{al}{p(l+d)}} \right) + 2 \text{ mm.}$$

Hierin ist für liegende Flammrohre zu wählen:

$a = 100$ für Rohre mit überlappter Längsnaht,

$a = 80$ für Rohre mit gelaschter oder geschweißter Längsnaht,

$a = 75$ für Rohre ohne Naht oder mit geschweißter Längsnaht, deren Unrundheit 1 Proz. des Solldurchmessers nicht überschreitet.

Wellrohre berechnet man aus der Formel:

$$s = \frac{pd}{1200} + 2 \text{ mm.}$$

Hierin ist d der kleinste innere Flammrohrdurchmesser in Millimetern. Diese Beziehung ist aus der obigen Gleichung dadurch entstanden, daß man den Wert der Entfernung zwischen zwei wirksamen Versteifungen $l = 0$ gesetzt hat.

Über die Berechnung von Flammrohren von Apparaten, die nicht unter die Dampfpaßverordnung fallen, oder von Rohren aus Aluminium, Kupfer oder anderen Metallen s. *H. Mehlhardt*, Die Bachsche Flammrohrformel im Apparatebau (Chem. Apparatur 1927, S. 169). Th.

Flansche (s. auch *Rohrleitungen*). Um zwei zusammengehörige Apparate-teile, z. B. ein Gefäß und seinen Deckel oder zwei Rohre, dicht miteinander zu verbinden, muß man die zusammenzufügenden Teile so ausbilden, daß sich zwei ebene geschlossene Dichtungsflächen von gleichem Querschnitt ergeben, die mit Schrauben zusammengepreßt werden. Um die Schraubenkräfte zur Wirkung zu bringen, sieht man an den Rändern der zu verbindenden Teile nach außen vorstehende Verstärkungen, sog. Flansche, vor, die gleichzeitig als Dichtungsflächen dienen. Der Schraubenzug beansprucht die Flansche auf Biegung. Die Form der Flansche richtet sich nach dem Querschnitt der zu vereinigenden Teile. Kleine Rohre erhalten bisweilen Flansche mit ovaler Form, die mit nur zwei Schrauben besetzt sind. Runde Flansche, die man allgemein bevorzugt, hält man mit 4, 8, 12, 16 oder mehr Schrauben zusammen. Ist die Verbindung oft zu lösen, so sieht man statt der üblichen Kopfschrauben umklappbare Umlegeschrauben vor. Die Flansche erhalten dann statt der Bohrungen zur Aufnahme der Schrauben Schlitze (s. auch Autoklaven).

Flansche für Teile aus gießbaren Werkstoffen fertigt man zweckmäßig aus einem Stück mit dem zu verbindenden Teil. Um die Beanspruchung durch Biegung zu vermindern, ordnet man an größeren Stücken zwischen den Schrauben kleine Rippen an, die Wandung und Flansch verstärken. — Ist der Werkstoff sehr spröde, so versieht man die Teile lediglich mit kegeligen Bunden und preßt diese durch außen lose aufgesetzte Flansche zusammen, so daß der Werkstoff der zu verbindenden Teile vorwiegend auf Druck beansprucht wird.

An Stahlrohren oder Stahlblechen befestigt man die Flansche durch Schweißen, Vernieten, Aufwalzen oder Löten. Bei hohen Drücken und größeren Durchmessern versieht man das Rohrende häufig mit einem Bund und setzt die Flansche dahinter als lose Ringe auf diese Bunde.

Die eigentlichen Dichtungsflächen der Flansche sind entweder eben oder mit einer Leiste, also mit einer ringförmigen Erhebung auf dem einen Flansch und einer entsprechenden Einsenkung auf dem anderen Flansch versehen oder mit Nut und Feder ausgeführt. Die zuletzt genannten Bauarten erschweren das Auseinandernehmen von Rohrleitungen, da die einzelnen Rohrteile hierzu in der Längsrichtung verschoben werden müssen. Sie geben jedoch der eigentlichen Dichtung (s. d.) einen festen Halt gegen den Innendruck, was bei ebenen Dichtungsflächen nicht der Fall ist. Ebene Flanschflächen versieht man daher mit mehreren Rillen, in die sich die Dichtung leicht eindrückt.

Bei allen Flanschverbindungen ist darauf zu achten, daß die Schrauben gleichmäßig angezogen werden, damit sich die gesamte Dichtungskraft auf alle Schrauben gleichmäßig verteilt, und damit die Dichtung selbst an keiner Stelle übermäßig beansprucht wird.



Abb. 824.
Aufgeschweißter
Bund.

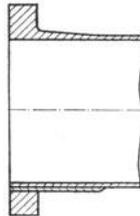


Abb. 825. Mit einer
Verstärkung auf-
geschweißter Bund.

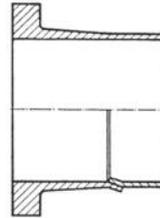


Abb. 826.
Vorgeschweißter
Bund.

Abb. 824—826: Untere Hälfte vor, obere Hälfte nach der Schweißung.

Bestehen die zu vereinigenden Teile aus Stahl, so bevorzugt man bei hohen Drücken und größeren Durchmessern oft Bunde (Bünde) wegen der einfacheren Herstellung. Abb. 824 zeigt einen aufgeschweißten Bund, Abb. 825 einen Bund, der mit einer Verstärkung auf ein Rohr aufgeschweißt ist, und Abb. 826 einen vorgeschweißten Bund. Drei Verbindungen mit vorgeschweißten Bunden und losen Flanschen in 3 verschiedenen Ausführungsarten der Dichtungsflächen sind auf den Abb. 827, 828 und 829 dargestellt.

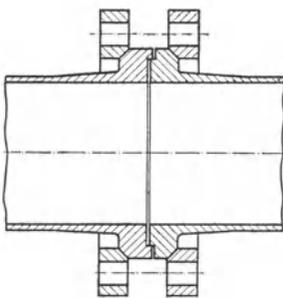


Abb. 827.

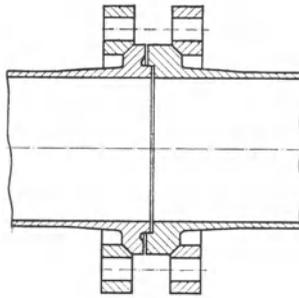


Abb. 828.

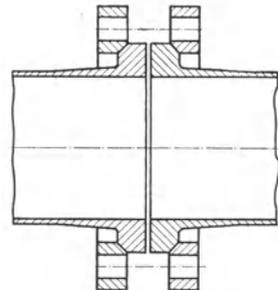


Abb. 829.

Abb. 827—829. Vorgeschweißte Bunde mit losen Flanschen.

Einen einfachen Gewindeflansch gibt Abb. 830 wieder. Um die tragende Gewindelänge zu vergrößern, erhalten derartige Flansche oft einen kleinen Ansatz.

Rohrleitungen für geringe und mittlere Drücke erhalten meist Aufwalzflansche. Die Innenfläche der Aufwalzflansche wird oft mit spitzem Drehstahl und großem Vorschub nach der Dichtungsfläche zu leicht konisch ausgedreht und mit einigen flachen Nuten versehen. Um den Flansch sicher auf dem Rohr zu befestigen, drückt man das Rohrende von innen durch Aufwalzen mit Hilfe einer sich drehenden Rohrwalze nach außen fest gegen die Innenfläche des Flansches, so daß der Rohrwerkstoff sich in alle Vertiefungen einlegt. Der Rohrrand wird bei manchen Ausführungen in eine kleine

Ausdrehung des Flansches leicht umgebördelt. — Einen einfachen Aufwalzflansch zeigt Abb. 831, eine Ausführung mit einem Ansatz, der eine große Haltefläche ergibt, Abb. 832, einen Aufwalzbund mit losem Flansch Abb. 833. Ansatzaufwalzflansche für Niederdruck sind für Dampf bis 8 Atmosphären Überdruck, für Wasser bis 10 Atmosphären Überdruck zulässig.

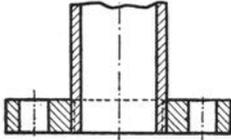


Abb. 830.
Gewindeflansch.

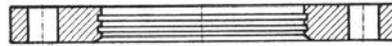


Abb. 831. Aufwalzflansch.

Eine Bauart, die ohne elastische Dichtung auskommt, ist durch Abb. 834 dargestellt. Ein Einschnitt gibt der Feder zwei scharfe Dichtungskanten, die

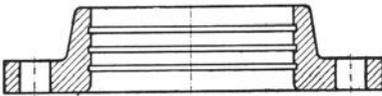


Abb. 832.
Aufwalzflansch mit Ansatz.

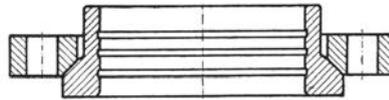


Abb. 833.
Aufwalzbund mit losem Flansch.

sich auf dem Boden der kegeligen Nut und auch an ihren Seitenflächen fest anpressen.

Bei größeren Durchmessern, etwa von 200 mm an, verstärkt man die Haltekraft des Aufwalzflansches meist durch Nieten oder ähnlich wirkende Bolzen. Eine Ausführung mit von innen eingesteckten Nieten zeigt Abb. 835.

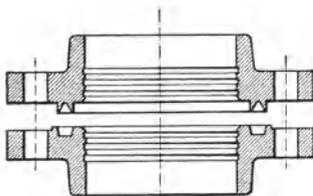


Abb. 834.
Dichtungslose Flansche
(Allg. Rohrleitungs-A.-G.).

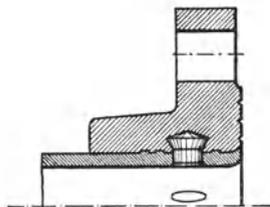


Abb. 835. Nietverbindung.

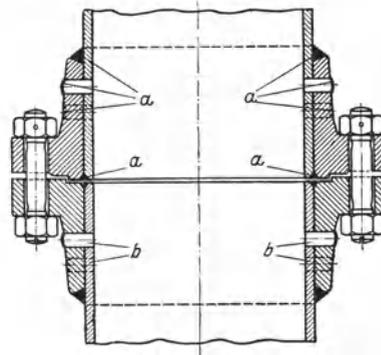


Abb. 836. Flanschverbindung für
Frischdampfleitungen (Allg. Rohrleitungs-A.-G.).

a = verschweißt, b = Gewindebolzen

Die Bauart nach Abb. 836, die für eine Hochdruckleitung bestimmt ist, weist eine Verstärkung durch zwei Reihen von versetzten Gewindebolzen b auf. Außerdem sind die Randfugen und die Gewindebolzen bei a verschweißt. Eine andere Befestigungsmöglichkeit, bei welcher der Rohrbaustoff in zahl-

reiche Vertiefungen der inneren Flanschfläche eingedrückt ist, zeigt Abb. 837. Auch hier sind die Kanten bei *a* verschweißt.

Metallteile, die durch Flansche zu verbinden sind, werden meist umgebördelt, so daß sich Bauarten etwa nach Abb. 838 mit schmalen Bord oder nach Abb. 839 mit besonderen Bordblechen ergeben. Häufig werden die Flansche durch zahlreiche kleine Niete mit dem Metallblech verbunden. Einen angelöteten Bundring zeigt Abb. 840.

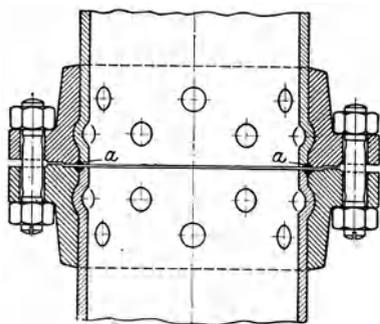


Abb. 837. Flanschverbindung für Frischdampfleitungen (A. Borsig G. m. b. H.).
a = Verschweißung

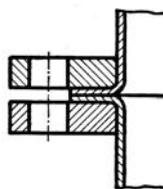


Abb. 838. Metallrohrverbindung.

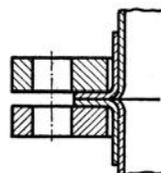


Abb. 839. Metallrohrverbindung mit aufgelötetem Bordblech.

Eine besonders für Kupfer geeignete Flanschverbindung stellt Abb. 841 dar. Hier drücken die entsprechend geformten Flansche den aufgeweiteten Werkstoff auf einen besonderen Gegenring im Innern des Rohrs.

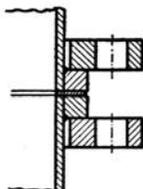


Abb. 840. Verbindung mit Bund.

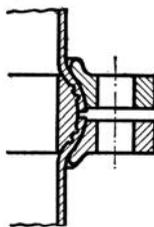


Abb. 841. Kupferrohrverbindung.

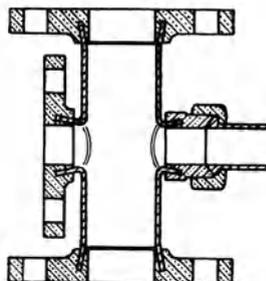


Abb. 842. Konuswalzflansch.

Um den Rohrwerkstoff nicht zu beanspruchen, kann man die Innenseiten der Flansche durch eine Eindrehung nach Abb. 842 mit Zungen versehen, die sich an das konisch aufgeweitete Rohrende pressen und dieses halten. Dabei fällt jedes Lötens fort. Diese Verbindung bezeichnet man auch als Konuswalzflansch.

Sollen die Flansche dazu dienen, eine Rohrleitung mit einem Behälter von kugelförmiger oder zylindrischer Form zu verbinden, so verwendet man Flansche, die unmittelbar an der Behälterwandung befestigt sind und als Stützflansche bezeichnet werden (s. Stützen).
Th.

Lit. Chem. Apparatur: O. Klink, Neue Berechnung zur Ermittlung der Flanschstärke (1923, S. 3).

Flaschen, s. Flaschenreinigungsmaschinen, Gasflaschen, Korbflaschen, Dosiermaschinen, Korkmaschinen.

Flaschenreinigungsmaschinen. Bei der Reinigung gebrauchter Flaschen sind meist folgende drei Arbeitsvorgänge nacheinander auszuführen: 1. das Weichen der Flaschen in heißem Wasser, dem bisweilen, je nach der Verschmutzung, bestimmte Zusätze zum Lösen oder zur Keimtötung beigegeben sind. Die Weichdauer beträgt etwa 10—60 min; 2. die mechanische Reinigung mit Bürsten verschiedener Art, die im Mittel etwa 3—20 sek dauert; 3. das Ausspritzen und Nachspülen der gereinigten Flaschen.

Zum Weichen bringt man die Flaschen in ein Weichrad, das sich langsam durch ein Wasserbad bewegt. Auf der einen Seite werden die Flaschen in Kästen oder in Stapeln oder in anderer Weise dicht nebeneinander eingesetzt, auf der anderen Seite wandern sie weiter zum nächsten Arbeitsgang. Große Apparate arbeiten mit mehreren Abteilungen, die nacheinander durchlaufen werden. Das Wasser fließt dabei im Gegenstrom zur Bewegung der Flaschen.

Einen Einweichapparat (Bauart Seitz), der aus einem mit Querwänden versehenen Rad und einem das Wasserbad aufnehmenden Trog besteht, zeigt Abb. 843 (Chem. Apparatur 1928, S. 248). Die Flaschen werden schichtenweise in das Rad eingelegt. Sie bewegen sich in einer solchen Lage in das Wasserbad, daß ihre Füllung erst nach völligem Eintauchen beginnt, so daß oben schwimmende Öl- oder Schmutzreste nicht in die sich füllenden Flaschen gelangen können. Auf der anderen Seite entleeren sich die Flaschen während der Bewegung von selbst. Dem Einweichbad führt man fortlaufend frisches, warmes Wasser zu. Das Oberflächenwasser fließt ständig über zwei Überläufe ab. Das Einweichrad hat keinen besonderen Antrieb, sondern wird lediglich durch das Übergewicht der eingelegten Flaschen nach Bedarf weiterbewegt.



Abb. 843. Seitzscher Einweichapparat „Golf“.

Die Bürstvorrichtungen arbeiten mit einer Innenbürste und einer oder mehreren Außenbürsten. Um einfache Antriebsvorrichtungen zu erhalten, verwendet man meist Bürsten, die etwa mit 500—600 U/min umlaufen. Die Innenbürsten tragen in der Regel Borsten, die auf Schraubenlinien angeordnet sind. Bisweilen wird gleichzeitig von innen und außen mit Wasser gespritzt, um die gelösten Verunreinigungen sofort abzuführen. Eine senkrechte Stellung der Bürsten ist dabei für eine gute Ausnutzung des Wasserstroms besonders günstig. Um die Oberflächen gleichmäßig zu bearbeiten, wird oft auch die Flasche während des Bürstens gedreht. Haben die zu reinigenden Flaschen verschiedene Formen, so richtet man die Bürsten verstellbar ein.

Bei dem letzten Arbeitsvorgang spülen kräftige Wasserströme, die aus Düsen gegen und in die Flasche gespritzt werden, alle Oberflächen sauber. Die Flasche wird dabei auf ein Spritzrohr mit der Öffnung nach unten aufgesteckt, so daß das Schmutzwasser schnell abfließen kann. Um den Bruch

von Flaschen durch plötzliche Temperatursprünge zu verhüten, müssen schnelle Abkühlungen und Erhitzungen vermieden werden.

Für große Leistungen hat man selbsttätige Maschinen entwickelt, die alle Arbeitsvorgänge unmittelbar nacheinander ausführen.

Für viele Fälle eignen sich bürstenlose Flaschenreinigungsmaschinen, die mit besonders kräftigen Wasserstrahlen den Schmutz abspülen. Dabei unterscheidet man Maschinen, die nur mit Spritzstrahlen arbeiten, und Maschinen, die auch mit besonderen Einweichvorrichtungen verbunden sind. Außerdem gibt es Bauarten mit mehreren Einweichbädern, denen Spritzeinrichtungen angeschlossen sind, so daß die Flaschen wiederholt nacheinander eingeweicht und abgespritzt werden. Um eine ausreichende Scheuerwirkung zu erhalten, läßt man die Strahlen aus Düsen von etwa 2 mm Durchmesser mit etwa 2,5 at Pumpendruck austreten. Der Druck auf die Einheit der Flaschenoberfläche ist dabei höher als der Druck, den die üblichen Flaschenbürsten ausüben können. Dieser Druck wird allerdings nur auf die eigentlichen Aufprallflächen ausgeübt, während die übrigen Flächen nur überspült werden. Sind große Leistungen zu bewältigen, so werden die Flaschen auf einem Drehtisch angeordnet oder in Körben oder Gestellen auf einer geraden Bahn durch Schienen oder Ketten selbsttätig durch den Apparat bewegt. Th.

Fliehkraftausscheider, s. Abscheider, Staubabscheider, Zentrifugen.

Fliehkraftmühlen (s. auch *Mühlen, Zerkleinerungsmaschinen*) dienen zur Zerkleinerung „harter“ Stoffe mittels Fliehkraft (Zentrifugalkraft). Sie wirken entweder derart, daß rasch umlaufende, beweglich gelagerte Körper (Mahlmittel) durch die Fliehkraft an eine zylindrische oder kugelförmige, in der gleichen Richtung umlaufende oder feststehende Mahlbahn angedrückt werden, oder daß das Mahlgut von rasch umlaufenden Scheiben (Tellern) durch die Fliehkraft nach außen gegen eine feststehende Wand geschleudert wird. In beiden Fällen bewirkt die lebendige Kraft der Mahlmittel die Zerkleinerung, die hierbei stufenweise vor sich geht (Vorzerkleinerung oder Schrotten, Feinzerkleinerung). Nach der ersten Art wirken die Pendelmühlen und die Fliehkraftkugel- bzw. Fliehkraftwalzenmühlen, nach der zweiten Art die Schleudermühlen (s. d.). Bei den Fliehkraftmühlen der ersten Art erfolgt die Aufgabe des Mahlgutes innerhalb der Mahlbahn an deren Peripherie (tangential), bei denen der zweiten Art in der Mitte (axial). Hier sollen nur die Fliehkraftmühlen der ersten Art besprochen werden, bei denen die Mahlmittel unter der Wirkung der Fliehkraft stehen.

Die Pendelmühle wurde zuerst von *Huntington* konstruiert und von *E. C. Griffin* (Griffinmühle) in die Zementmüllerei eingeführt. Abb. 844 zeigt eine solche Mühle mit einem Pendel (Einpendelmühle) in der verbesserten Ausführung (Gigantmühle) der *Bradley Pulverizer Co.*, Boston. Die an der Unterseite mit Rührknaggen versehene Mahlwalze *a* ist an einer hängenden Pendelstange befestigt, die mittels des Universal- (Kugel-) Gelenks *f* von der Riemenscheibe *g* angetrieben wird. Durch die Fliehkraft wird sie an die Mahlbahn *b* angedrückt. Die Riemenscheibe ist an einer kurzen Welle befestigt, die sich auf das Kugeldrucklager *h* aufstützt und in einem langen Halslager läuft. Der untere Teil der Riemenscheibe *g* ist in einem Kugellager *i* geführt und trägt einen Ventilator *e*, der einen Frischluftstrom in den Mahl-

raum drückt und dadurch das Austreten des Staubes verhindert. Der Mahlraum ist von einem aus Stahldrahtgewebe bestehenden Sieb d umgeben. Von der Riemenscheibe g aus wird mittels einer stehenden Welle l die Speiseschnecke k angetrieben. Die Mühle ruht auf dem schweren gußeisernen Rahmen c ; die Lager werden von dem kräftigen, aber elastischen und daher bruchsicheren Gestell m getragen.

Die Nachteile der einseitigen Wirkung der Einpendelmühle (ungleichmäßige Beanspruchung) und des Kugelgelenks werden durch die Mehrpendelmühle (Schwungwalzenmühle) der Kampnagel A.-G., Hamburg (Abb. 845) vermieden. Hierin bedeutet a die Mittelachse (Königs-
welle), b die Antriebsscheibe, c_1 , c_2 die Pendelstangen (bis zu 4 an der Zahl), d_1 , d_2 die Mahlwalzen, e die Mahlbahn, f das Sieb, g den

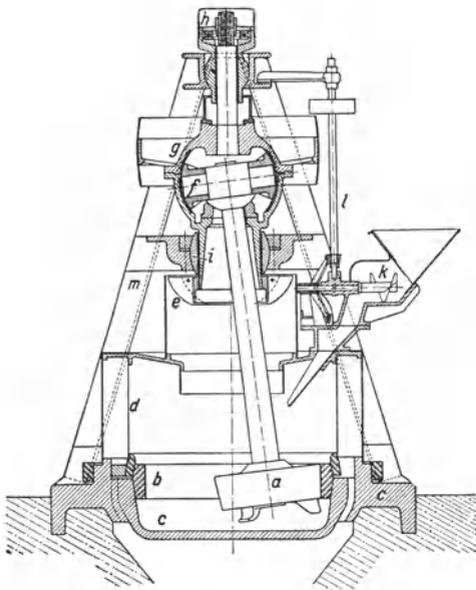


Abb. 844.
Einpendelmühle (Bradley Pulverizer Co.;
nach Naske, Zerkleinerungsvorrichtungen).

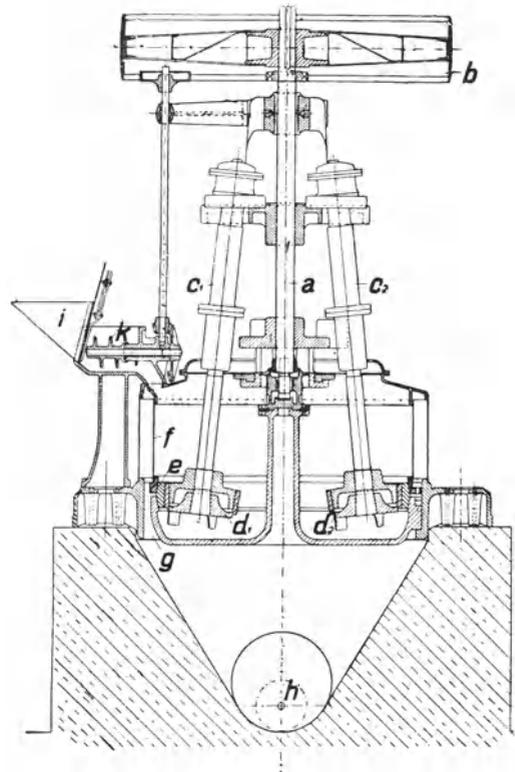


Abb. 845.
Mehrpendelmühle (Kampnagel; nach Naske,
Die Portlandzementfabrikation).

gußeisernen Boden, h die Förderschnecke für das zerkleinerte Material, i den Fülltrichter, k die Speiseschnecke.

Eine besonders in Amerika vielfach, und zwar vornehmlich zur Brennstauberzeugung, eingeführte Mehrpendelmühle ist die Rollenmühle der Raymond Brothers Impact Pulverizer Co. in Chicago (Abb. 846), mit der nach Naske (Zerkleinerungsvorrichtungen) im Jahre 1925 rund 80% der großen Kraftzentralen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika ausgestattet waren. Die durch Fliehkraft an die Mahlbahn d angedrückten Stahlwalzen a , meist vier an der Zahl, sind an dem Mitnehmerkreuz c pendelnd aufgehängt und er-

halten von diesem den Antrieb durch die stehende Welle *b* mittels der Riemenscheibe *f* und der Kegelräder *g* und *h*. Die Aufgabe des Mahlgutes erfolgt für jede Mahlwalze durch eine besondere Schaufel, die durch je eine von der Fest- und Losscheibe *i—k* betätigte Aufgabevorrichtung stetig gespeist wird. Die Austragung des fertigen Mahlstaubes erfolgt hier durch den Windsichter *e*, in den ein Ventilator den Staub nach oben in einen Zyklon fördert, während die vom Luftstrom nicht erfaßten gröberen und schwereren Teile niedersinken und mittels der Schaufeln nochmals den Mahlwalzen zugeleitet werden. Da also keine Siebe vorhanden sind, geschieht die Regelung des Feinheitsgrades des Mahlstaubes durch Veränderung der Stärke des Luftstromes. Außer für Kohle dient diese Mühlenart zur Vermahlung von Zementrohstoffen, Graphit, Schwespat usw.

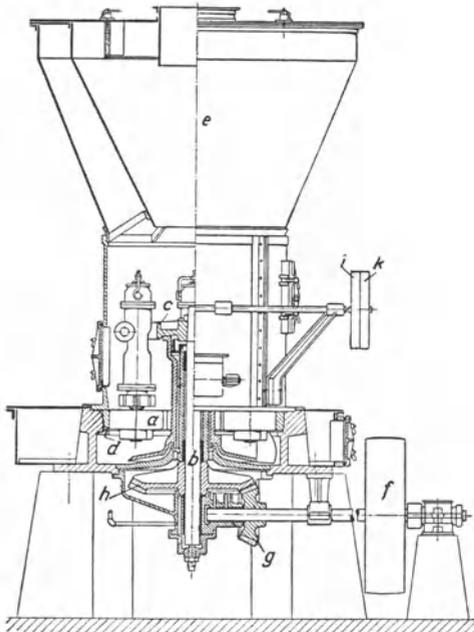


Abb. 846. Raymond-Mühle. (Nach Naske, Zerkleinerungsvorrichtungen.)

Bei den Fliehkraftkugelmühlen werden Kugeln, bei den Fliehkraftwalzenmühlen Walzen von Treibkörpern so rasch in einer kreisrunden Bahn herumgeführt, daß eine ausreichende Fliehkraft entsteht, um sie an die Mahlbahn anzudrücken. Eine Fliehkraftkugelmühle in der Bauart „Roulette“ der „Miag“ Mühlenbau und Industrie-Aktiengesellschaft, Braunschweig, zeigt Abb. 847. Mittels Riemenscheibe oder Kegelrad *a* wird die stehende Welle (Königswelle) *b* mit dem Treiberkreuz *c* in rasche Umdrehung versetzt. Die Treiberzapfen *d* nehmen die Mahlkugeln *e* mit, die mit der entsprechenden Zentrifugalkraft an die Mahlbahn *f* angepreßt werden.

Das Mahlgut wird in stückiger Form von der Aufgabevorrichtung (Abb. 848) zugeführt. Das durch die Öffnung *g* (Abb. 847) im Deckel eintretende Mahlgut wird durch das Flügelkreuz *h* gleichmäßig in die Mahlbahn eingetragen. Das Flügelkreuz ist am äußeren Umfang mit Ventilatorflügeln *i* versehen, die das zerkleinerte Mahlgut gegen das Schutzsieb *k* (Vorsieb) schleudern, während das feinzerkleinerte Material durch das Feinsieb *l* in den Hohlraum des Gehäuses und von da durch einen Stutzen *m* in einen unterhalb der Mühle staubdicht abgeschlossenen Raum gelangt. Von hier wird es mittels Ausläufen in Schnecken oder Becherwerke übergeführt oder mittels Absackens von Hand aus oder in anderer Weise entnommen. Das ungenügend zerkleinerte Mahlgut fällt vor dem Sieb *k* in die Mahlbahn zur wiederholten Behandlung zurück. Die Aufgabevorrichtung (Abb. 848) besteht aus dem Einlauftrichter *a*, an dessen unterem Ende sich die Speisewalze *b* befindet, die am Umfang geriffelt ist und sich in der Pfeil-

richtung dreht. Gegenüber der Schrägwand *c* ist die Austrittsöffnung mittels der Klappe *d* abgeschlossen, die an einem um den Bolzen *e* drehbaren Hebel *f* einstellbar befestigt ist. Die gezeichnete Endlage ist durch den Anschlag *g* gesichert. Beim Fördern des aufgegebenen Gutes durch die Speisewalze kann die Klappe *d* nach links ausweichen; die Rückkehr in die gezeichnete Endlage wird teils durch das Hebelgewicht, teils durch eine um den Bolzen *e*

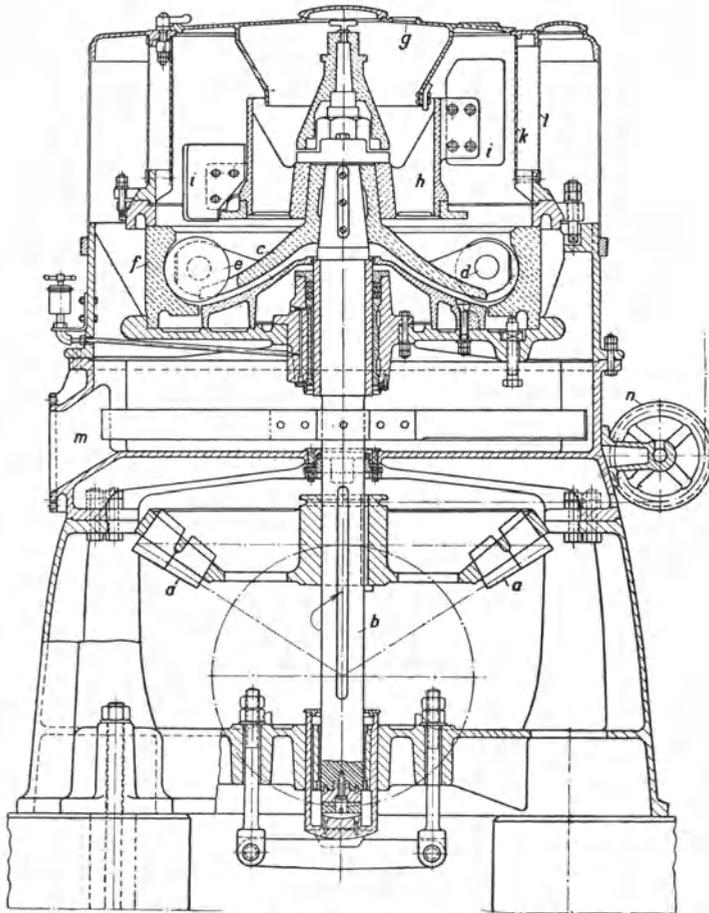


Abb. 847. Fliehkraftkugelmühle „Roulette“ (Miag).

geschlungene Wurmfeder bewirkt. Mittels der Paßstifte *h* wird die Aufgaberichtung auf den Einlaufrichter, der zur Öffnung *g* im Deckel der „Roulette“ (Abb. 847) führt, aufgesetzt. Die Speisewalze wird vom Schnurwirtel an der Nabe des Kegelrades *a* (Abb. 847) mittels einer über die Rolle *n* geführten Schnur mit Stirnradübersetzung langsam angetrieben.

Die Fuller-Mühle der Lehigh Car, Wheel and Axle Works, Catasauqua, Pa., USA. (Abb. 849) ist eine Fliehkraftkugelmühle von grundsätzlich gleicher Ausführung. Sie wird vielfach zur Erzeugung von Brennstaub und zur

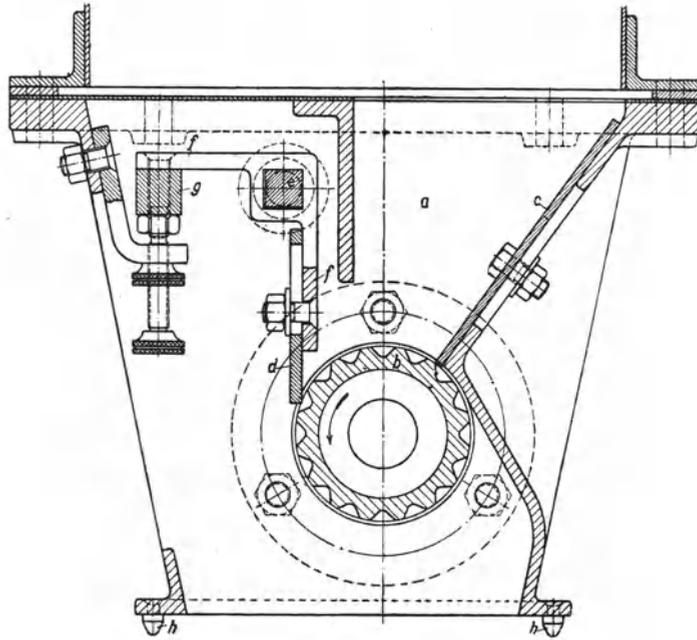


Abb. 848. Aufgabevorrichtung zur „Roulette“.

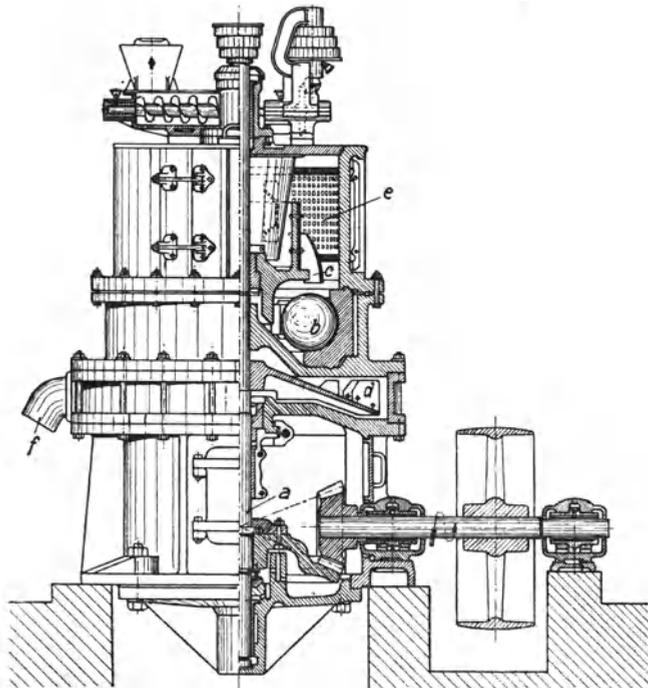


Abb. 849. Fuller-Lehigh-Mühle. (Nach *Naske*, Zerkleinerungsvorrichtungen.)

Vermahlung von Erdfarben, Rohsalzen usw. verwendet. Die Aufgabeschnecke wird zum Zwecke der Leistungsregelung mittels Stufenscheiben angetrieben. Der Antrieb der Mühle erfolgt von unten. Als Mahlkörper dienen vier Kugeln *b*. Die Welle *a* ist außerhalb des Mahlraumes in einem Kopflager, in einem Halslager und in einem Fußlager gelagert, die sonach gegen Verstaubung geschützt sind. Die Windflügel *c* blasen das Feingut durch ein Feinsieb, das durch ein starkes Stahlsieb *e* geschont wird. Ein Schaber *d* führt das Feingut aus dem äußeren Raum der Mühle nach dem Auslaufstutzen *f*, während das ungenügend bearbeitete Mahlgut nochmals in die Mahlbahn gelangt. Die neueste Ausführung weist eine Verbesserung insofern auf, als ein zweiter Ventilator mit einem die Mahlbahn und das Feinsieb umgebenen ringförmigen Raum in Verbindung steht und die Druckwirkung des ersten (oberen) Ventilators durch seine Saugwirkung unterstützt. Der hierdurch angesaugte Frischluftstrom bewirkt eine Kühlung der mahrenden Teile und befähigt die Mühle, auch Stoffe mit einem verhältnismäßig hohen Feuchtigkeitsgehalt zu verarbeiten, ohne eine Verstopfung der Sieböffnungen und Verringerung der Leistung der Mühle befürchten zu müssen.

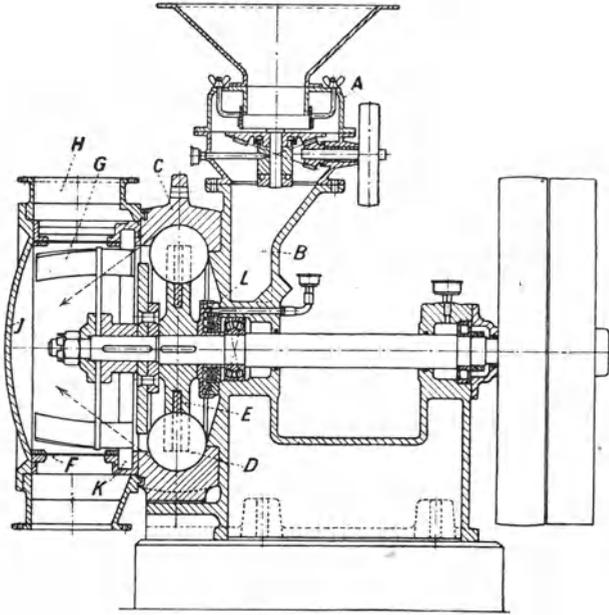


Abb. 850. Fliehkraftkugelmühle „Atlantis“ (Westfalia-Dinnendahl-Gröppel).

Grundsätzlich ähnlich der „Roulette“ eingerichtet ist auch die „Atlantis“-Mühle der Westfalia-Dinnendahl-Gröppel A.-G., Bochum; sie unterscheidet sich von der „Roulette“ hauptsächlich dadurch, daß sie auf horizontaler Welle läuft und die Kugeln in vertikaler Ebene wirken. Wie aus Abb. 850 hervorgeht, wird das Mahlgut mittels Telleraufgabevorrichtung *A* in den Aufgabetrichter *B* und von diesem zentral in die muldenförmige Mahlkammer *C* eingetragen. Die Mahlkugeln *D* werden von dem Treibstern *E*, dessen Ausführungsart aus Abb. 851 ersichtlich ist, im Kreise herumgeführt. Danach sind die Berührungsflächen auswechselbar und bestehen aus hartem Stahl. An die Mahlkammer schließt sich die Siebkammer *H* an,



Abb. 851. Treibstern der „Atlantis“.

in der ein Flügelrad *G* angeordnet ist, dessen Flügel schraubenförmig gestaltet sind und das fein zerkleinerte Mahlgut durch das Sieb *F* in die Siebkammer *H* befördern, während die ungenügend zerkleinerten Stücke in die Mahlkammer *C* zurückgeworfen werden. Die Siebkammer ist durch die aufklappbare Tür *J* staubdicht verschlossen; die Lager werden durch eine Labyrinthdichtung *L* gegen Eindringen von Staub geschützt. Die ringsum laufende Mulde *K* hat die Aufgabe, die in die Mühle gelangenden Fremdkörper aufzunehmen.

In gewissem Sinne gehören zu den Fliehkraftmühlen auch die Hammermühlen (s. d.), da die gelenkig mit der Achse verbundenen Hämmer durch die Fliehkraft ihre Schlagwirkung erhalten, und die Schlagmühlen (s. d.), da bei diesen das Mahlgut durch die Fliehkraft von der zentralen Aufgabestelle an die Peripherie geschleudert und auf diesem Wege durch die Mahlmittel schlagend und schierend bearbeitet wird.

Lit.: *C. Naske*, Zerkleinerungsvorrichtungen und Mahlanlagen (4. Aufl., Leipzig 1926, Spamer); Die Portlandzementfabrikation (4. Aufl., Leipzig 1922, Spamer). — *M. Dolch*, Betriebsmittelkunde für Chemiker (Leipzig 1929, Spamer).

Flotationsapparate, s. Naßklassierer.

Flügelgebläse, s. Kapselgebläse.

Flügelradmesser, s. Flüssigkeitsmesser.

Flußeisen, s. Eisen-Kohlenstoff-Legierungen.

Flüssigkeitsabscheider, s. Abscheider, Dekantierapparate.

Flüssigkeitsmesser (s. auch *Dosiermaschinen*, *Durchflußprüfer*, *Meßflansche*, *Staurohre*, *Venturimeter*). Die einfachste Art der Flüssigkeitsmessung ist die Wägung mit Hilfe eines offenen Behälters. Hierbei werden in der Regel zwei Gefäße verwendet, von denen das eine gefüllt, das andere entleert wird. Die Gefäße werden oft auf Waagen aufgestellt. Statt des Gewichts kann man den Rauminhalt zur Messung benutzen.

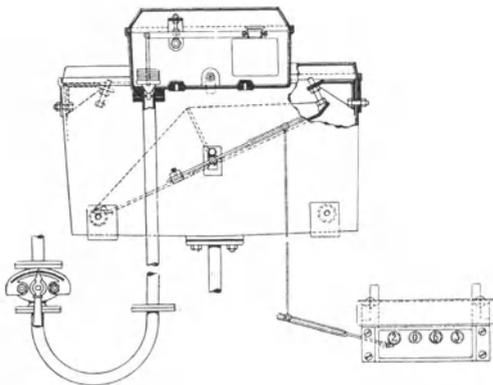


Abb. 852. Zuflußmesser (Bamag-Meguin).

Die Umschaltung erfolgt entweder von Hand oder selbsttätig, wozu in der Regel das Gewicht des gerade gefüllten Gefäßes dient. Der Messer nach Abb. 852 besteht aus einem rechteckigen geschlossenen Behälter, in dem auf einer Achse eine in zwei Meßkammern geteilte Kippschale untergebracht ist. Die Flüssigkeit tritt durch den Einlauf in die jeweils sich darunter befindende Meßkammer ein und füllt sie bis zum Überlauf. Durch Anschlüsse, die mit Stellschrauben

versehen sind, wird der Messer so eingeregelt, daß die Schale, sobald eine geringe Flüssigkeitsmenge überläuft, infolge der plötzlichen Verlegung des Schwerpunkts kippt. Die Schale entleert sich, während die zweite Meßkammer unter den Einlaufflansch gelangt und sich füllt. Diese Messer werden meist für Normalleistungen von 1–60 l/min gebaut, wobei der Inhalt einer Meßkammer 0,5–50 l beträgt. (S. auch Destillierapparate, S. 225.)

Oft verwendet man zwei feststehende Gefäße, von denen das eine gefüllt, das andere entleert wird. Derartige Messer sind für alle Flüssigkeiten, auch dickflüssige Säfte usw., brauchbar. Bei dem Messer nach

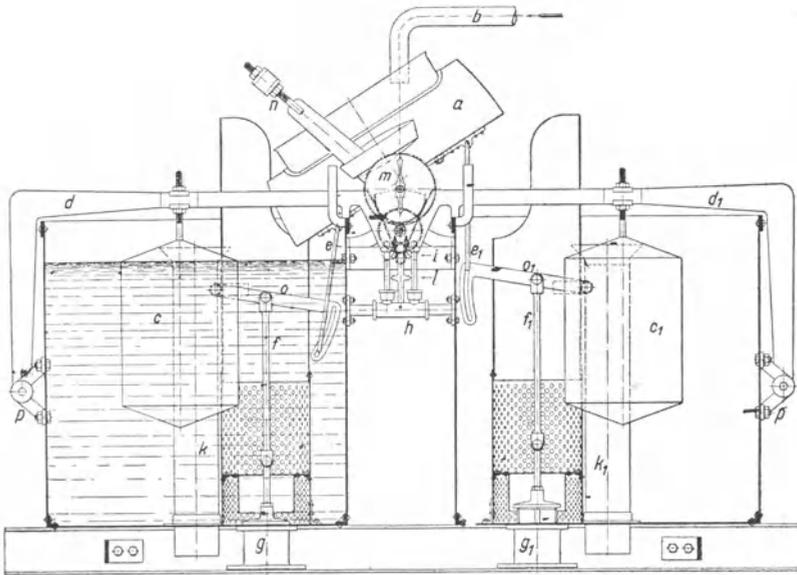


Abb. 853. Flüssigkeitsmesser (Schilde).

Abb. 853 läuft die Flüssigkeit durch das Zulaufrohr *b* und die Kipprinne *a* in das erste Gefäß und füllt dieses bei geschlossenem Ventil *g*. Dadurch wird allmählich der Schwimmer *c* gehoben, der durch den Hebel *d* und den Gewichtshebel *n*, wenn der vorgesehene Gefäßinhalt erreicht ist, die Kipprinne zum zweiten Gefäß umlegt, so daß sich dieses füllt. Gleichzeitig öffnet sich durch die Hebel und Zugstangen *e*, *o*, *f* das Ventil *g* im ersten Gefäß, wodurch sich dieses entleert. Jedes Umlegen der Kipprinne entspricht einer Füllung des Meßgefäßes. Ein Zählwerk zählt die Umlegungen und gibt damit die Menge der gemessenen Flüssigkeiten in einer bestimmten Zeit an. Die Kontrolle der Meßgenauigkeit ist während des Betriebs dadurch möglich, daß beobachtet wird, ob die Kipprinne dann umgesteuert wird, wenn das betreffende Gefäß den vorgeschriebenen Inhalt aufgenommen hat. Hierfür sind Wasserstandsgläser mit Zeigern vorgesehen.

Ähnlich arbeiten auch die Trommelmesser. Die in einem Gehäuse umlaufende Trommel ist in Meßkammern geteilt, die der Reihe nach gefüllt und entleert werden; sie wird infolge der fortlaufenden Verlegung des Schwer-

punkts in drehende Bewegung versetzt, die auf das Zählwerk übertragen wird. Solche Messer werden von 400—3000 l/std gebaut. Derartige Trommelmesser besitzen einen großen Meßbereich, lassen sich in drucklose Leitungen einbauen und können leicht korrosionsbeständig ausgeführt werden. Bei einfachen Ausführungen kann die Meßgenauigkeit vom Durchfluß abhängig sein, weil die durch den Zufluß gegebenen Schwankungen der Spiegelhöhen im inneren Zylinder, aus dem die Flüssigkeit in die Meßkammern strömt, die Füllung der Meßkammern im unteren Teil des Meßbereichs zu früh beenden, im oberen Teil dagegen die Ausschüttung zu früh beginnen lassen.

Einen Trommelmesser für Säuren und Laugen aus einem keramischen Werkstoff mit gleichbleibender Meßgenauigkeit hat die Firma Siemens & Halske entwickelt. Einen Schnitt durch das eigentliche Meßorgan zeigt Abb. 854 (Chem.

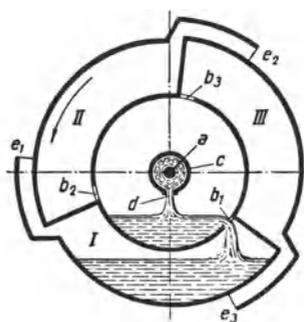


Abb. 854. Trommelzähler (Siemens & Halske).

Apparatur 1934, S. 216). Es besteht aus einer Meßtrommel mit einem Innenzylinder, die sich um eine Achse a dreht. Der Innenzylinder steht durch die Öffnungen b_1 , b_2 und b_3 mit den Trommelkammern I , II und III und diese durch die Spalten e_1 , e_2 und e_3 mit der Luft in Verbindung. Die Flüssigkeit strömt der Meßtrommel durch ein über der Achse a angebrachtes, feststehendes Rohr c aus der Abflußöffnung d zu. Wenn die Kammer I in der gezeichneten Stellung durch die Öffnung b_1 vollständig gefüllt ist, beginnt sich die Kammer II durch die Öffnung b_2 zu füllen. Gleichzeitig dreht sich infolge der Schwerpunktsänderung die ganze Trommel. Die Kammer I entleert sich durch die Öff-

nung e_1 . An die Stelle der Kammer I tritt jetzt die Kammer II , worauf sich der Vorgang wiederholt. Die Bewegung der Trommel wird auf ein Zählwerk übertragen, an dem man die durchgeflossene Menge ablesen kann. Die Lagerschalen, in denen sich die Trommelachse dreht, bestehen aus selbstschmierender Kohle, so daß sich eine Wartung erübrigt.

Die Messer, die durch Auffüllen von Gefäßen arbeiten, nennt man auch offene, da der Behälter, in dem sie sich befinden, naturgemäß nicht mit Flüssigkeit angefüllt sein darf, bzw. die Gefäße offen bleiben müssen. Zum Einbau in Rohrleitungen verwendet man geschlossene Messer, die als Volumen- oder als Geschwindigkeitsmesser ausgeführt werden.

Zu den Volummessern gehören die Scheibenmesser, die Kapselmesser, die man bisweilen auch als Kapselrad- oder Kolbenscheibenmesser bezeichnet, und die Kolbenmesser, die ähnlich wie eine Pumpe einen hin und her gehenden Kolben zur Messung benutzen. Die Volummesser erfassen während einer Umdrehung oder eines Hubs des Meßorgans eine bestimmte Menge der Meßflüssigkeit. Die Zahl der Füllungen in einem bestimmten Zeitabschnitt wird gezählt und ergibt die Gesamtmenge. Volummesser sind gegen mechanische und chemische Verunreinigungen meist empfindlich.

Ein Messer mit hin und her gehendem Kolben ist in Abb. 855 dargestellt. Befindet sich der Kolben K in seiner Tiefstellung im Zylinder C , so strömt das Wasser durch den Kanal AB unter den Kolben, hebt diesen hoch und

drückt das darüber befindliche Wasser durch den Kanal *D* weg. Mit der Kolbenstange *St* ist die im Bock *F* geführte Doppelzahnstange *dz* verbunden, die durch Vermittlung eines Getriebes das Nockenrad *N* antreibt. Das Nockenrad *N* hebt ein an dem Gewichtshebel befestigtes Gewicht *G* so weit, bis es infolge seiner eigenen Schwere nach der anderen Seite herunterfällt. Ein an dem Gewicht *G* vorspringender Ansatz *g* nimmt während des Herunterfallens den Doppelhebel *T*, der mit dem (einen Vierweghahn bildenden) Steuerungskegel *H* fest verbunden ist, mit und bewirkt so die Umsteuerung. Das Wasser tritt, nachdem der Kolben *K* seine Höchststellung erreicht hat, durch den Kanal *AD* über den Kolben, drückt ihn wieder nach unten und fördert damit gleichzeitig das unter ihm befindliche Wasser durch Kanal *B* nach außen. Die Kolbenwege werden durch das im Räderbock *R* gelagerte Rädergetriebe auf das Zählwerk *Z* übertragen, das die Wassermenge in Litern anzeigt.

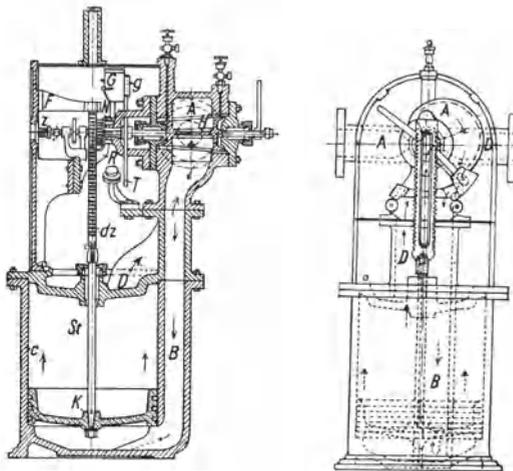


Abb. 855. Kolbenmesser (Eckhardt).

Einen Kapselmesser, der auch zur Messung von heißem Wasser geeignet ist, zeigt Abb. 856 (Chem. Apparatur 1922, S. 223). In der zylindrischen Meßkapsel setzt das ein- und austretende Wasser einen doppel-T-förmigen Meßkolben in zwangsläufige drehende Bewegung. Das Wasser strömt unten in die Meßkammer ein, füllt den Raum zwischen Meßkammer und Meßkolben und tritt nach der Messung oben wieder aus. Unter der Meßkammer befindet sich ein glockenförmiges Kupfersieb, das Unreinigkeiten und feste Bestandteile aus der Meßkammer fernhält. Der Meßkolben besteht, wenn heißes Wasser gemessen werden soll, aus einer harten Masse aus Graphitkohle, die bis 200° noch keine meßbare Ausdehnung besitzt, und deren Festigkeit bis zu dieser Temperatur zunimmt. Die Ein- und Austrittsöffnungen sind so angeordnet, daß der Kolben seine Bewegung in der Meßkapsel selbsttätig steuert.

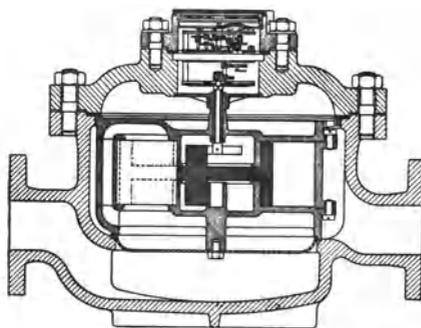


Abb. 856. Kapselmesser (Bopp & Reuther).

Die Scheibenmesser werden mit einer sog. Taumelscheibe ausgeführt, wobei sich die Scheibe auf einer Kegelfläche in der Meßkammer abrollt und bei jeder Umdrehung ein entsprechendes Volumen durchläßt (Abb. 857).

Die Geschwindigkeitsmesser beruhen entweder darauf, daß die Flüssigkeit unmittelbar ein Flügelrad mitnimmt, dessen Drehzahl von der durchgehenden Flüssigkeitsmenge abhängt, oder sie verwenden die hydrodynamischen Eigenschaften der strömenden Flüssigkeit, z. B. den durch eine Steigerung der Geschwindigkeit erzielten Druckunterschied oder ihren Staudruck.

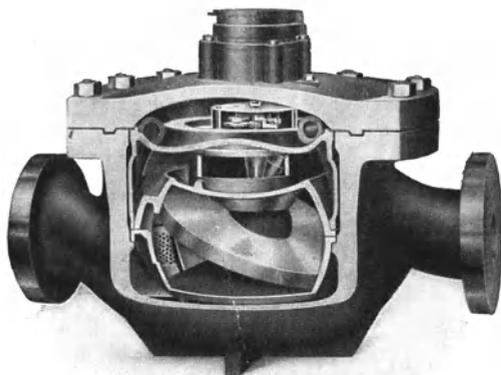


Abb. 857. Scheibenmesser (Siemens & Halske).

Zu der ersten Bauart gehören die Flügelrad- und die *Woltman*-Messers. Bei den Flügelradmessern nach Abb. 858 tritt die Flüssigkeit durch tangential in einer Kammer angeordnete Öffnungen in ein Flügelrad, das sich dabei dreht und ein Zählrad betätigt. Man unterscheidet Einstrahlmesser mit unmittelbar im Gehäuse laufendem Flügelrad und Mehrstrahlmesser. Bei diesen umgibt ein Meßbecher, der mit tangentialen Kanälen versehen ist, das Flügelrad. Einen *Woltman*-Messers, wie er zur Messung von heißem Wasser verwendet wird, zeigt Abb. 859 (s. auch Chem. Apparatur 1922, S. 224). Die Flügelräder bestehen aus Celluloid oder korrosions-sicheren Metallen, in kleinen Flügelradmessern auch aus einer Graphitmasse.

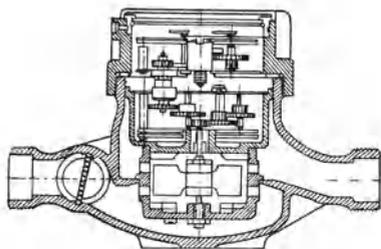


Abb. 858. Flügelradmesser (Bopp & Reuther).

Die Drehung des Flügels wird durch eine Schnecke auf das Zählwerk übertragen. Der Meßbereich, d. h. das Verhältnis der kleinsten zur größten Durchflußmenge, beträgt bei den Flügelradmessern etwa 1 : 40 bis 1 : 90 und bei den *Woltman*-Messern etwa 1 : 10 bis 1 : 36.

Die Venturimeter (s. d.) benutzen die durch eine Querschnittverengung erzielte Geschwindigkeitssteigerung zur Messung der durchströmenden Menge.

Zur Messung von Flüssigkeitsmengen dienen ferner Einrichtungen, die ähnlich den Schwimmerdampfmessern gebaut sind. Einen derartigen Durchflußmesser von Ludw. Grefe, der für Leistungen von 600—30000 l gebaut wird, zeigt Abb. 860 (Chem. Apparatur 1916, S. 197). In einem senkrecht in einem Gehäuse angeordneten, keglig erweiterten Rohr wird von einer Stange ein Kegel geführt, der sog. Schwimmer. Dieser steigt um so mehr nach oben, je größer die durchfließende Menge ist, und gibt daher unmittelbar durch seine Lage einen Anhalt über die zu messende Menge. Für schwankende Geschwindigkeiten, wie sie durch Kolbenpumpen mit kleinen Windkesseln erzeugt werden, ist dieser Messer nicht geeignet. (S. auch Dampfmesser.)

Zur Messung großer Wassermengen verwendet man vielfach Ausflußmesser. Hierzu dienen Mündungen in einer Wand oder Wehre. Bei den Mündungs-

messern tritt die Flüssigkeit durch eine Öffnung von bestimmtem Querschnitt aus einem Behälter. Als Maß für die ausfließende Menge dient die Höhe des Flüssigkeitsspiegels h über der Mitte der Mündung. Die Menge ergibt sich aus der Beziehung: $v = k f \sqrt{2 g h}$. Hierin ist f der Querschnitt der Mündung in Quadratmetern, h die Flüssigkeitshöhe über der Mündung in Metern und k die Ausflußzahl, die von der Form der Mündung abhängig ist. k beträgt für scharfkantige Öffnungen etwa 0,6, für abgerundete Mündungen bis zu 0,98. k ist in geringem Maß auch von der Größe der Mündung und der Höhe h abhängig. (S. auch Meßflansche, Dampfmesser, Düsen.)

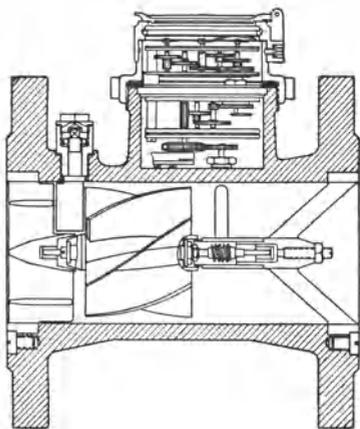


Abb. 859. Woltman-Messer.

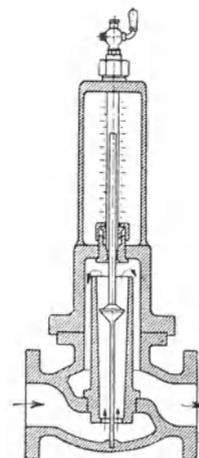
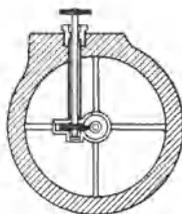


Abb. 860. Durchflußmesser (Grefe).

Bei der Wehrmessung fließt die Flüssigkeit über eine scharfe, waagerechte Überfallkante. Sie eignet sich besonders für sehr große Wassermengen.

Schließlich kann man die Geschwindigkeit an einer einzelnen Stelle messen und hieraus auf die durchströmende Menge schließen, da die Geschwindigkeitsverteilung im allgemeinen angenähert bekannt sein wird. Hierzu verwendet man Staurohre (s. d.) oder kleine Flügelräder, die sog. hydrometrischen Flügel, die durch die Strömung gedreht werden. (S. auch Gasmesser.)

Um den Meßbereich zu vergrößern, oder um die Messung zu vereinfachen, verbindet man oft zwei Messer oder zwei Meßverfahren miteinander. Beispielsweise vereinigt man einen kleinen Messer mit einem großen Messer, wenn die zu messenden Mengen stark schwanken. Bei dem zweiten Verfahren, dem sog. Teilstromverfahren, zweigt man einen kleinen Nebenstrom von dem Hauptstrom ab und erhält dadurch, daß das Verhältnis zwischen Teilstrom und Hauptstrom unveränderlich ist, die zu messende Menge. Als Teilstrommesser verwendet man vorwiegend Venturimeter (s. d.), indem man zwischen die beiden Druckentnahmestellen einen anderen Flüssigkeitsmesser einschaltet.

Lit.: A. Gramberg, Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen und zur Betriebskontrolle (6. Aufl., Berlin 1933, Springer). — Fluid Meters, their Theory and Appli-

cation (Amer. Soc. Mech. Eng. 1930). — *H. Müller* u. *H. Peters*, Geschwindigkeits- und Mengemessungen von Flüssigkeiten (im Handbuch der Experimentalphysik Bd. 4, Leipzig 1931, Akadem. Verlagsgesellschaft). — *Denkert*, Zeitgemäße Technik im Wassermesserbau (Gas- u. Wasserfach 1928, S. 681). — *Weidlich*, Vergleichende Versuche mit Wassermessern (Gas- u. Wasserfach 1928, S. 681). — *G. Eggers*, Neuere Bauarten motorischer Wassermesser (Z. VDI 1929, S. 557). — *Germer*, Die Venturimessung (Bopp & Reuther, Mannheim).

Thormann.

Flüssigkeitsstandanzeiger. In offenen Gefäßen kann der Flüssigkeitsstand in einfachster Weise durch eine Meßplatte angegeben werden. In geschlossenen Gefäßen kann man ihn durch Schaugläser beobachten; hierbei ist er in der Regel nur gut sichtbar, wenn die Schaugläser genügend groß bemessen sind, damit hinreichend Licht einfallen kann, oder wenn das Innere des Behälters künstlich beleuchtet wird. Mitunter genügen auch mehrere übereinander angeordnete Probierhähne, von denen die Höhe des einzuhaltenden Flüssigkeitsstandes begrenzt wird. Handelt es sich um Wasser

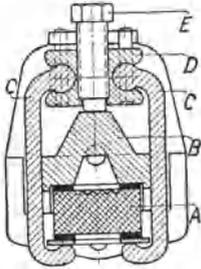


Abb. 861. Querschnitt durch den Reflexionsglashalter „Cardo“ in Betriebsstellung (Schäffer & Budenberg).

oder nicht zähe Flüssigkeiten, so kann ein außerhalb des Gefäßes liegendes Glasrohr den Flüssigkeitsspiegel anzeigen. Dieses ist mit seinen beiden Enden durch Hähne absperrbar mit dem Gefäßinnern verbunden, so daß sich in ihm der gleiche Flüssigkeitsspiegel wie im Gefäßinnern einstellt. Ein derartiges Flüssigkeitsstandglas ist besonders für feuerbeheizte Apparate notwendig, da hier die Unterschreitung eines bestimmten Flüssigkeitsstandes vermieden werden muß, um von den Flammen berührte Heizflächen nicht freizulegen. Die Kanäle der Flüssigkeitsstandgläser müssen zwecks Reinigung durch Putzschrauben zugänglich sein. Am unteren Hahnkopf muß ein Ausblashahn vorhanden sein, um zur Prüfung durchblasen zu können.

Aus einem Glasrohr bestehende Flüssigkeitsstandanzeiger eignen sich vorwiegend für geringere Drücke. Für hohe Drücke verwendet man zweckmäßig Standanzeiger, die den Flüssigkeitsspiegel durch eine starke Glasplatte erkennen lassen, die an einem Gehäuse dicht befestigt ist, das oben und unten mit dem Kessel oder dem Behälter in Verbindung steht. Das Gehäuse ist zu diesem Zweck mit einem Schauschlitz versehen, den eine besondere Dichtungsfläche allseitig umgibt. Zur Befestigung des Glases auf dem Gehäuse dienen Glashalter, die so wirken müssen, daß jede Überbeanspruchung des Glases vermieden wird. Außerdem muß das Schauglas leicht auswechselbar sein. Als Beispiel für einen Standanzeiger, der diese Bedingungen erfüllt, ist in Abb. 861 ein Querschnitt eines Glashalters Bauart „Cardo“ dargestellt. Er besteht aus einem Hauptkörper *B*, zwei Seitenteilen *C* und einem Rückenteil *D* mit Druckschrauben *E*. Das Schauglas *A* liegt vor dem Längsschlitz des Hauptkörpers und wird durch die hakenförmig übergreifenden Seitenteile, die am Rückenteil gelenkig gelagert sind, mit einigen Schrauben angedrückt. Abmessungen und Formgebung des Hauptkörpers sind so gewählt, daß ein Verziehen der genau plangearbeiteten Glasauflageflächen durch Betriebsdruck, Wärmespannungen oder übermäßiges Anziehen der Schrauben sicher

vermieden wird. Die Seitenteile und das Rückenteil sind aus gezogenem Stahl gefertigt. Zum Anpressen des Schauglases dient eine Reihe starker Druckschrauben im Rückenteil, die sich gegen den Hauptkörper abstützen, wobei sich eine gleichmäßige Druckübertragung auf das Schauglas ergibt.

Schwimmer können den Flüssigkeitsstand durch eine mechanische oder elektrische Übertragung in beliebiger Entfernung vom Gefäß anzeigen. Handelt es sich um zwei gegenseitig unlösliche Flüssigkeiten, die sich schichtenweise übereinanderlagern, so verwendet man Schwimmer von verschiedenen spezifischen Gewichten, um die Höhen der einzelnen Schichten anzugeben.

Die Übertragung der Schwimmerbewegung durch eine mechanische Vorrichtung, beispielsweise ein Gestänge, hat den Nachteil, daß bei der Herausführung aus geschlossenen Gefäßen eine Dichtung erforderlich ist, die Reibungskräfte verursacht und zu Störungen führen kann. Diese Dichtung kann man durch Einschalten von elastischen Zwischengliedern wie Federrohren oder Gummihülsen vermeiden, die die Öffnung für das Übertragungsmittel nach außen abschließen. — Zur Anzeige des Flüssigkeitsstandes in Druckgefäßen eignet sich die elektrische Fernübertragung besser. Sie ist jedoch von dem Betrieb der Stromquelle abhängig.

Die hydrostatischen Standanzeiger, die besonders für Druckgefäße zu empfehlen sind, verwenden den Druckunterschied von zwei Wassersäulen, von denen eine unveränderlich gehalten wird, während die andere dem anzuzeigenden schwankenden Flüssigkeitsspiegel entspricht. Diesen Druckunterschied, der also dem Flüssigkeitsstand verhältnismäßig ist, kann man durch einen Druckmesser, beispielsweise durch eine eingeschaltete Quecksilbersäule oder ein Plattenfedermanometer oder ein Kreismanometer, sichtbar machen (s. Druckmesser).

Eine andere Anzeigemöglichkeit besteht darin, daß man ein Gefäß mit zwei elastischen Leitungen mit dem Flüssigkeitsraum und dem darüber befindlichen Dampfraum verbindet und die Gewichtsänderungen dieses Gefäßes durch Wägen zur Anzeige des Flüssigkeitsstandes benutzt. Einen Standanzeiger dieser Bauart zeigt Abb. 862 (Chem. Apparatur 1935, S. 168). Ein an einer Federwaage aufgehängtes Eisenrohr ist mit zwei federnden Rohrschlangen mit dem Kessel, dessen Flüssigkeitsstand angezeigt werden soll, verbunden. Die Federwaage gibt den jeweiligen Flüssigkeitsstand an. Einen derartigen Standanzeiger hat die I. G. Farbenindustrie für Schwefligsäure-Lagerkessel entworfen.

Mit Hilfe von Spiegeln ist eine optische Anzeige des Flüssigkeitsstandes möglich. Durch entsprechende Neigung der Spiegel läßt sich der Stand auf einen beliebigen Ort übertragen.

Rein elektrische Flüssigkeitsstandanzeiger arbeiten ohne mechanische Teile mit Hilfe von Elektroden, die unmittelbar in die Flüssigkeit tauchen und einen Wechselstromkreis öffnen, wenn der Flüssigkeitsspiegel sinkt, und ihn wieder schließen, wenn die Flüssigkeit angestiegen ist. Darartige Standanzeiger sind jedoch nur für leitende Flüssigkeiten brauchbar.

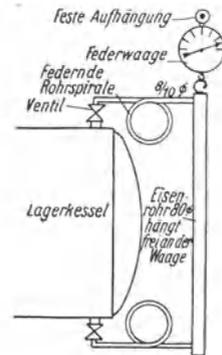


Abb. 862. Inhaltsanzeiger für Schwefligsäure-Lagerkessel (I. G. Farbenindustrie).

Flüssigkeitsstandregler (s. auch Schwimmerventile, Überläufe). In vielen Apparaten muß mit einem gleichmäßigen und unveränderlichen Flüssigkeitsstand gearbeitet werden. So ist z. B. bei Verdampfern die Verdampfungsleistung nur bei einem bestimmten Flüssigkeitsstand am günstigsten. Man kann den Flüssigkeitsspiegel in einem Apparat durch Einstellen der Ventile von Hand unveränderlich halten, ist dann aber vollständig von der Geschicklichkeit und Aufmerksamkeit der bedienenden Arbeiter abhängig. Man bringt daher zweckmäßig an solchen Apparaten Regler an, die diese Arbeit selbsttätig verrichten. Die Flüssigkeitsstandregler können entweder als Eintritts- oder als Austrittsregler gebaut werden. Bei Verwendung von Austrittsreglern besteht die Möglichkeit, daß der Flüssigkeitsspiegel zu tief sinkt, es muß daher für genügende Zufuhr von Flüssigkeit gesorgt werden. An Mehrkörperverdampfapparaten verwendet man Eintrittsregler, wenn zu befürchten ist, daß bei reichlichem Zufluß in den ersten Körper und bei knappen Heizflächen der nachfolgenden Körper die Flüssigkeit im ersteren zu hoch steigen kann, und Austrittsregler, wenn bei reichlicher Heizfläche der nachfolgenden Körper die Gefahr des Leerziehens des ersten Körpers vorliegt.

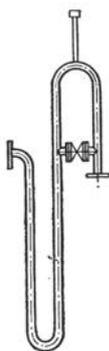


Abb. 863. U-Rohr.

Die einfachsten Austrittsregler sind Überläufe, die nach Abb. 863 meist als U-Rohre ausgeführt werden. Einen verstellbaren, als Überlauf ausgebildeten Flüssigkeitsstandregler an einem Verdampfer zeigt Abb. 864. Je nach der Stellung des Überlaufrohres stellt sich auch der Spiegel im Umlaufrohr des Verdampfers ein.

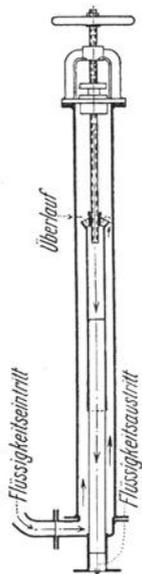


Abb. 864. Flüssigkeitsstandregler (Prache & Bouillon).

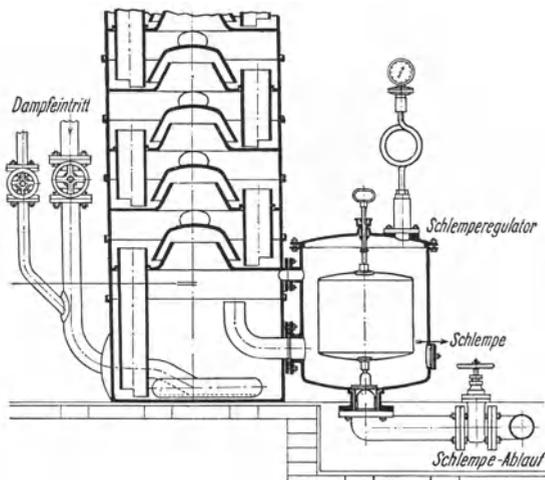


Abb. 865. Schlempeablaufregler (Christoph & Unmack A.-G.).

An stetig arbeitenden Destillierapparaten muß der Ablauf aus dem Unterteil der Abtrießsäule ständig abfließen, da diese sonst volllaufen würde. Den

Ablauf regelt man meist mit einfachen Schwimmern nach Abb. 865, wo als Beispiel der Schlemmeregler eines Spiritusdestillierapparates dargestellt ist.

Einen mit einem Schwimmerventil arbeitenden Flüssigkeitsstandregler von Schneider & Helmecke, Magdeburg, der besonders für Verdampfapparate bestimmt ist, zeigt Abb. 866. Er besteht aus einem gußeisernen, geschlossenen zylindrischen Gehäuse mit oberem Deckel und seitlich unten befestigtem, entlastetem Doppelsitzventil. Dieses Regelventil betätigt mit einer Hebelübertragung ein im Gehäuse befindlicher Schwimmer. Dieser ist mit einer Mutter auf einer mit Gewinde versehenen Schwimmerstange befestigt und kann durch eine Handkurbel von außen höher oder tiefer gestellt werden, wodurch man die Höhenlage des zu haltenden Flüssigkeitsspiegels in gewissen Grenzen verändern kann. Die Verstellung ist auch von innen, nach Abschrauben des Gehäusedeckels, möglich. An dem seitlich im Gehäuse verschraubten Doppelsitzventil befindet sich der Drehpunkt des Winkelhebels, der die Ventilschraube mit dem Kegel betätigt. Der Doppelkegel ist in zwei zylindrischen Führungen beweglich gelagert. Die eine mit Rotgußbüchse versehene Führung bildet der an das Reglergehäuse anzuschraubende Ventilflansch. Der Ventilraum, durch den die Flüssigkeit zu dem zu regelnden Apparat strömt, ist von dem Gehäuseraum getrennt, so daß der Flüssigkeitsstand in ihm unbeeinflusst bleibt. Die andere Ventilkegelführung bildet ein eingesetztes Führungskreuz mit Rotgußbüchse. Nach Abschrauben des hinteren Ventildeckels kann man das Führungskreuz und den Kegel herausnehmen. Das Reglergehäuse besitzt unten einen Stutzen, der durch ein Verbindungsrohr unter Zwischenschaltung eines Absperrventiles mit dem unteren Teil des Flüssigkeits- oder Safttraumes des Verdampfapparates zu verbinden ist. Um einen Druckausgleich mit diesem zu erreichen, ist der an dem Gehäuse befindliche Stutzen unter Zwischenschaltung eines Absperrhahnes möglichst hoch mit dem Dampf- bzw. Brüdenraum des Verdampf- oder Kochapparates zu verbinden. Der Regler ist in seiner Höhenlage zu dem Verdampfkörper so aufzustellen, daß die mittlere Höhe der nicht kochenden Flüssigkeit im Verdampfapparat in der mittleren Höhe des Reglers liegt. Je nach der Arbeitsweise kann man den gewünschten Flüssigkeitsspiegel entweder durch Regelung der eintretenden oder durch Regelung der austretenden Flüssigkeit erhalten. Dementsprechend

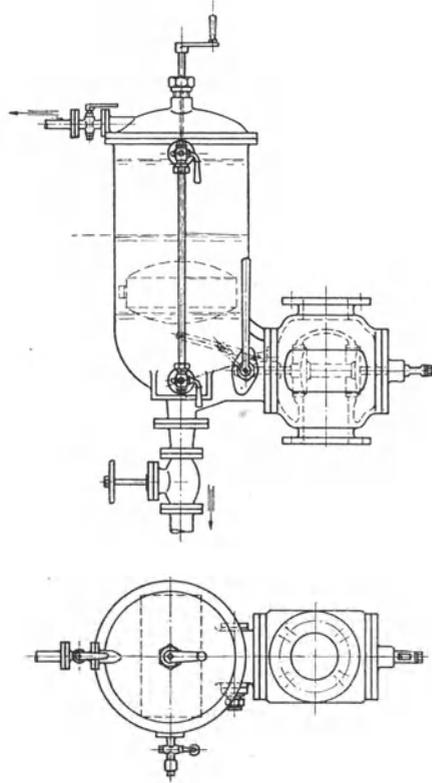


Abb. 866. Flüssigkeitsstandregler mit Schwimmer (Schneider & Helmecke).

Das Reglergehäuse besitzt unten einen Stutzen, der durch ein Verbindungsrohr unter Zwischenschaltung eines Absperrventiles mit dem unteren Teil des Flüssigkeits- oder Safttraumes des Verdampfapparates zu verbinden ist. Um einen Druckausgleich mit diesem zu erreichen, ist der an dem Gehäuse befindliche Stutzen unter Zwischenschaltung eines Absperrhahnes möglichst hoch mit dem Dampf- bzw. Brüdenraum des Verdampf- oder Kochapparates zu verbinden. Der Regler ist in seiner Höhenlage zu dem Verdampfkörper so aufzustellen, daß die mittlere Höhe der nicht kochenden Flüssigkeit im Verdampfapparat in der mittleren Höhe des Reglers liegt. Je nach der Arbeitsweise kann man den gewünschten Flüssigkeitsspiegel entweder durch Regelung der eintretenden oder durch Regelung der austretenden Flüssigkeit erhalten. Dementsprechend

muß der Winkelhebel mit seinem Drehpunkt oberhalb bzw. unterhalb der Ventilspindel angeordnet werden, da im ersteren Fall der Regler bei zu hohem Stand abschließen, im zweiten dagegen öffnen muß, und umgekehrt. Man ändert den Eintrittsregler in einen Austrittsregler dadurch um, daß das Reglerventil um 180° gedreht an das Reglergehäuse angeschraubt wird, wobei darauf zu achten ist, daß der Eintritt der Flüssigkeit stets zwischen den beiden Ventilkegeln zu erfolgen hat. Zweckmäßig wird der Regler mit einer Umschaltleitung versehen, um etwa zwischen die Ventilflächen geratene Fremdkörper entfernen zu können.

Für Verdampfer werden auch Flüssigkeitsstandregler verwendet, die nicht durch den Spiegel allein beeinflußt werden, sondern auch durch die Dichte der Flüssigkeit, die in dem Körper vorhanden sein soll. Diese Apparate arbeiten mit einem Aräometer, das durch eine elektrische Steuerung Flüssigkeitszu- und -abfuhr selbsttätig regelt.

Lit.: *E. Hausbrand-M. Hirsch*, Verdampfen, Kondensieren, Kühlen (7. Aufl., Berlin 1931, Springer). — *Schürenbeck*, Selbsttätige Regelung der Kesselspeisung (Z. VDI 1924, S. 762). Th.

Flüssigkeitsverschlüsse. Um Apparateräume oder Rohrleitungen, die mit Gasen oder Dämpfen von geringem Über- oder Unterdruck erfüllt sind, gegen die Außenluft oder gegen einen anderen Apparäterraum abzudichten, kann man die Dichtungsstelle mit Flüssigkeit füllen oder in eine Flüssigkeit eintauchen lassen.

Flüssigkeitsverschlüsse für Rohrleitungen (Abb. 867) bestehen aus einem U-Rohr, das in der Regel die gleiche Flüssigkeit enthält wie der abzuschließende Apparäterraum. Die Flüssigkeit steigt entsprechend dem vorhandenen Druckunterschied in dem einen Schenkel hoch. Dieser muß daher so lang sein, wie es der im Höchstfall auftretende Druckunterschied erfordert.

Die Flüssigkeitsverschlüsse für Gefäße und Behälter (Abb. 868) bestehen aus einer mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit gefüllten Tasse oder Rinne, in die der abzudichtende Rand des Apparate- oder Behälterraumes eintaucht. Je nach den vorliegenden Druckverhältnissen steigt die Flüssigkeit auf der Innen- oder Außenseite hoch.

Die Flüssigkeitsverschlüsse haben den Vorteil, daß sie völlige Dichtigkeit sichern, wenn sie ausreichend mit Flüssigkeit gefüllt sind. Ihre Nachteile beruhen auf der Möglichkeit, daß die Flüssigkeit verdunsten oder bei Kälte einfrieren und daß sie durch vorübergehende Druckschwankungen herausgeblasen oder nach innen abgesaugt werden kann. Flüssigkeitsverschlüsse machen daher eine ständige Beobachtung und Wartung erforderlich. Flüssigkeitsverschlüsse für große Apparate ergeben in der Regel ein höheres Gesamtgewicht der Apparatur als trockene Dichtungen (s. d.).

Flüssigkeitsverschlüsse können als Standrohre auch dazu dienen, die Überschreitung eines bestimmten Höchstdrucks in einem Apparat durch Her-

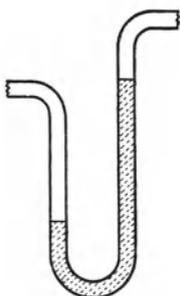


Abb. 867. U-Rohr.

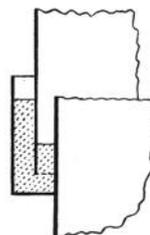


Abb. 868. Flüssigkeitsverschuß für Behälter.

stellung einer offenen Verbindung mit der Außenluft zu verhindern. (S. auch Dampffässer.) Th.

Flüssigkeitsverteiler, s. Berieselungsvorrichtungen.

Flußstahl, s. Eisen-Kohlenstoff-Legierungen.

FM-Legierung der Wesseling Gußwerk - Rheinguß G. m. b. H., Wesseling bei Köln, ist eine Antimon-Eisen-Legierung (4% Fe), die selbst gegen heiße Salzsäure und Flußsäure beständig ist. Sie ist temperaturwechselbeständig und hat eine bessere Wärmeleitfähigkeit als Steinzeug. Die Verarbeitbarkeit ist gut (bohren, drehen), unter gewissen Umständen ist sogar ein Schweißen möglich. Abb. 869 zeigt eine seit 1931 in Betrieb befindliche Salzsäure-Versuchsanlage aus FM-Legierung.

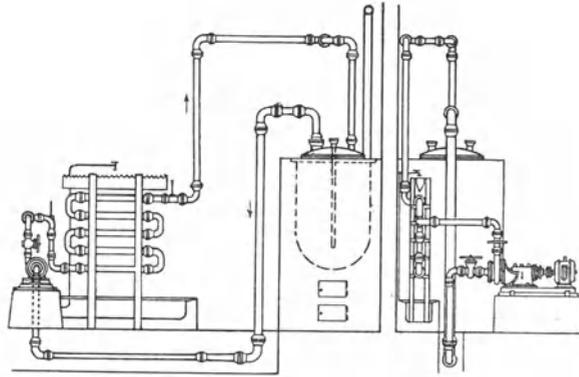


Abb. 869. Salzsäure-Versuchsanlage aus FM-Legierung.

Lit.: H. Oettinger, Salzsäurebeständige Legierung „FM“ (Achema-Jahrbuch 1931/34, S. 124); Ind. chim. belge 1934, S. 319.

Folienerzeuger. Zur Herstellung von Folien und Rohfilmen werden Gießmaschinen benutzt, die sowohl für das Trocken- wie für das Naßverfahren gebaut werden, je nachdem, ob eine wässrige Celluloseauflösung oder eine solche in organischen Lösungsmitteln zu verarbeiten ist. Die Gießmaschinen

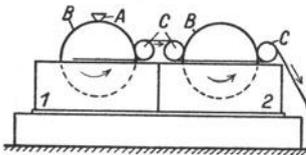


Abb. 870. Gießabteilung einer Foliengießmaschine (Naßverfahren).

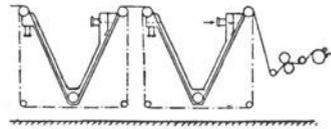


Abb. 871. Waschabteilung einer Foliengießmaschine.

haben den gegossenen Film im fortlaufenden Arbeitsgang zu fixieren bzw. nachzubehandeln, gegebenenfalls mit Druck, Prägung oder Avivage zu versehen und zu trocknen. Die Länge und die Zahl der Laufwalzen ist deshalb beträchtlich, wobei besonderer Wert auf einfache und genaue Geschwindigkeitsregelung jeder einzelnen Walze gelegt wird, da die Streck- und Schrumpfungerscheinungen an verschiedenen Stellen der Maschine zu berücksichtigen sind.

Die Naßgießmaschinen (Abb. 870) weisen als Gießunterlagen ein fortlaufendes Band (DRP. 488382) oder die Zylinder B auf, auf welche die

Gießmasse (Viscose) z. B. aus dem Gießer *A* (DRP. 492529, 515710) läuft, und die sich in der Fällflüssigkeit *l* drehen; die frisch koagulierte Folie tritt mittels der Überführungswalzen *C* zum zweiten Zylinder *B*, wird im Bad *2* fixiert und dann über eine weitere Überführungswalze *C* durch die Kufen der Nachbehandlungsbäder (Abb. 871) gezogen (DRP. 481249). Derartige Maschinen sind bis zu 75 m lang und erzeugen bei einer Abzugsgeschwindigkeit von 24 m/min etwa 50 kg/std Folienmaterial, wobei dieses die Maschine in 15 Minuten durchläuft. Abb. 872 zeigt eine 56 m lange Gesamtanlage der Textiles artificiels Ing. A. Maurer, Mailand, für eine Leistung

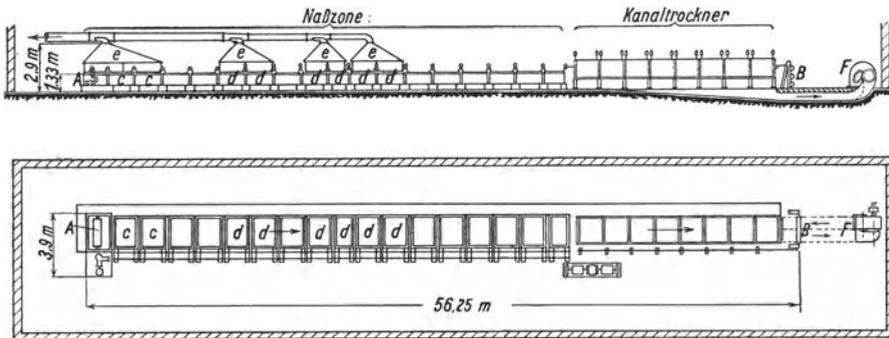


Abb. 872. Foliengießmaschine nach dem Naßverfahren (Maurer).

von 40 kg/std, die aus einem Gießzylinder *A*, der Naßzone, dem Kanaltrockner und einer Aufwickelvorrichtung *B* besteht. Die über den Fällbädern *c* und Kufen mit warmen Behandlungsflüssigkeiten *d* entweichenden Gase und Dämpfe werden mittels Absaugehauben *e* nach oben abgeführt, die in der Trocknungszone sich bildenden Schwaden durch einen Exhaustor *F* nach unten abgesaugt. Sämtliche den Chemikalien ausgesetzten Teile sind entweder verbleit oder mit Hartgummi überzogen.

Die hauptsächlich zur Filmherstellung benutzten Trockengießmaschinen werden als Zylinder- oder Trommel-, sowie als Bandgießmaschinen gebaut und sind bedeutend kürzer und geschlossener als die Naßgießmaschinen. Auf der Bandgießmaschine der C. G. Haubold A.-G., Chemnitz (Abb. 873) tritt aus dem Gießer (DRP. 487646), der aus einem keilförmigen Kasten mit verstellbarem Spalt und genau einzustellender Abstreichvorrichtung besteht, die Gießmasse (Celluloseester) auf die Gießunterlage (DRP. 505861), ein 14 m langes und 700 mm breites, biegsames, endlos geschweißtes Kupferband, das über zwei, im Abstand von etwa 10 m angeordnete Stahlzylinder von 800 mm Durchmesser und 750 mm Breite läuft; das Band ist mit einem besonderen, gut haftenden und hochglänzenden Gelatineüberzug versehen. Der Umfang des Bandes ist auf seiner ganzen Länge von vier Teilen einer dampfgeheizten Rückgewinnungsanlage umschlossen, mittels der die Trockenluft entgegengesetzt dem Film geleitet und, mit Lösungsmitteldämpfen beladen, abgesaugt wird. Am unteren Teil der vorderen Trommel, des Gießzylinders, der den Antrieb besorgt und mit Doppelwandung für die Kühlvorrichtung versehen ist, wird die für Kinofilm 0,12–0,14, für Roll- und Packfilm 0,06 bis 0,10 mm starke Folie nach einer Trockendauer von etwa 45–60 min durch

einen Stahlschaber abgestreift, über eine aus Eisen mit Gummibezug bestehende Abnahmewalze mit einer Geschwindigkeit von etwa 20 m/std der

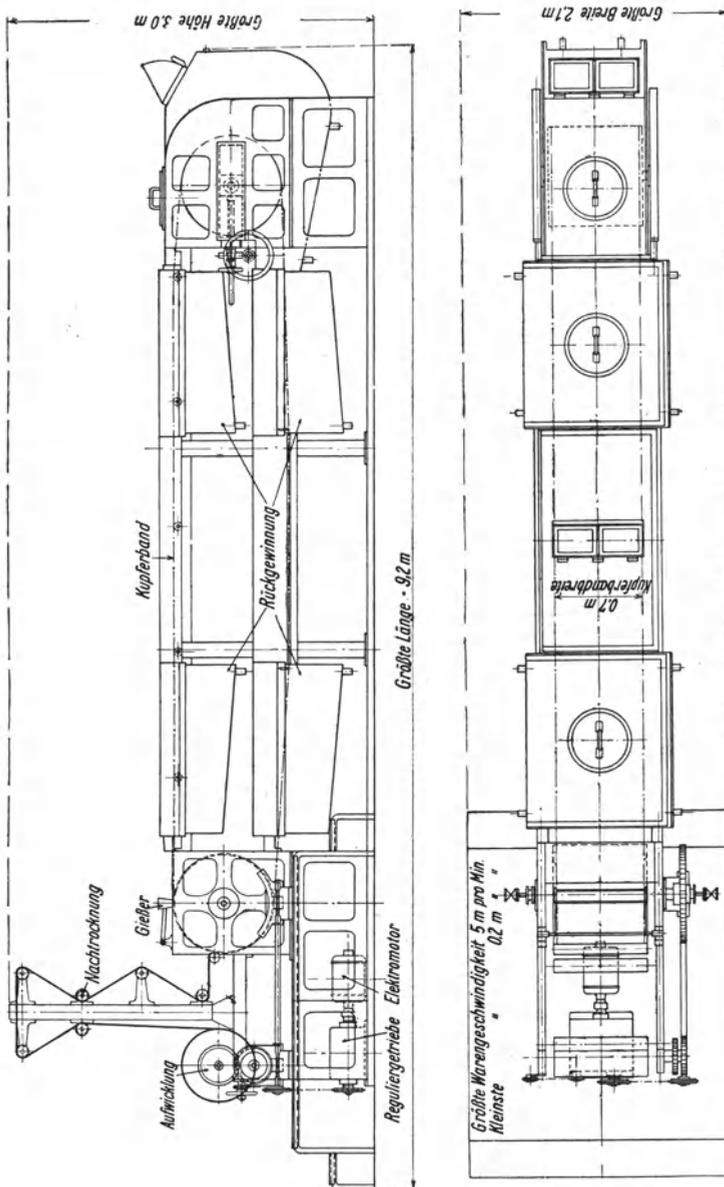


Abb. 873. Folienherzeugmaschine nach dem Trockenverfahren (Haubold).

Trockenzone in Gestalt mehrerer in die Höhe aufgebauten geheizten Walzen zugeführt und zuletzt von der Aufdocktrommel aufgewickelt. Zwecks Geschwindigkeitsregelung ist der Antriebsmotor unmittelbar mit einem stufenlosen Drehzahlregler gekuppelt.

Lit.: *R. Weingard*, Cellulosefolien (in *Ullmann*, Enzykl. der techn. Chemie, 2. Aufl., Bd. 3, Wien 1929, Urban u. Schwarzenberg). — *R. Mortgat*, La fabrication de la soie artificielle par la procédé viscosé, S. 512—517 (Paris 1930, L'édition textile). — *J. Eggert*, Filmgebilde aus Viscose (Halle 1932, Knapp). — *M. Halama*, Transparentfolien (Berlin 1932, Bodenbender). — *M. Ullmann*, Acetylcellulose-Folien und -Filme (Halle 1932, Knapp). — *E. Wurtz*, Die Herstellung von Folien aus Cellulose (Chem. Apparatur 1930, S. 193). — *H. Schmidt*, Eine neue Gießmaschine für Filme und Folien (Chem. Apparatur 1932, S. 28). — *F. Ohl*, Bau- und Werkstoffe für die Maschinen und Apparate der Acetylcellulose verarbeitenden Industrie (Chem. Apparatur 1933, Beil. Korr., S. 25). — Aufsätze in der Rev. univ. Soies et Soies artif., z. B. 1930, S. 201, 1309. Schmidt.

Fördervorrichtungen (für Flüssigkeiten und Gase; die sonstigen Fördervorrichtungen fallen aus dem Rahmen dieses Handbuchs), s. Gebläse, Heber, Keramische Werkstoffe (Abschn. 4), Kompressoren, Luftpumpen, Mammutpumpen, Pulsometer, Pumpen, Rohrleitungen, Rückleiter, Strahlverdichter, Ventilatoren.

Formstücke, s. Rohrleitungen.

Fraktionierapparate. Die Aufgabe, ein Gemisch mehrerer Stoffe in seine Bestandteile derart zu zerlegen, daß man die einzelnen Bestandteile, die das Gemisch enthält, in reinem Zustand gewinnt, gelingt mit den zur Verfügung stehenden Apparaten häufig nicht vollständig. Man gewinnt vielmehr in diesen Fällen überwiegend nur Gruppen von Stoffen, sog. Fraktionen, nacheinander, die meist bestimmte Bestandteile im Überschuß enthalten und durch entsprechende physikalische Grenzen, beispielsweise bestimmte Siedetemperaturen, gekennzeichnet sind. Diese Fraktionierung kommt besonders bei der Trennung von Stoffgemischen durch Verdampfung von Flüssigkeitsgemischen oder durch Verflüchtigung aus dem festen Zustand infolge Sublimation oder umgekehrt auch durch teilweise Kondensation in Betracht. Zur Durchführung dienen Destillierapparate (s. d.), in bestimmten Fällen auch Rektifizierapparate (s. d.), Sublimierapparate (s. d.), Kondensatoren (s. d.) und Gasverflüssigungsapparate (s. d.). Über die Durchführung der fraktionierten Krystallisation s. Krystallisierapparate.

Th.

Frederkingapparate sind gußeiserne Apparate, in deren Wandungen Rohrschlangen zur Erhitzung oder Kühlung unmittelbar eingegossen sind. (Die Bezeichnung dieser Apparate rührt von *Theodor Frederking* her, der im Jahre 1892 das DR.P. 63315 auf ein Koch-, Schmelz- und Verdampfgefäß erhielt, dessen massive Wandung nach dem Patentanspruch ein oder mehrere Rohre durchziehen sollten, die zur Zuführung der Wärme dienen und diese mittels der wärmeleitenden Wandung abgeben.) Zur Beheizung dient Dampf oder heißes Wasser, das in einem besonderen Ofen erzeugt wird. Eine Frederkingapparatur kann zum Schmelzen, Destillieren, Verdampfen, Sublimieren verwendet werden. Hauptanwendungsgebiete sind Öl-, Lack-, Firnis-, Farben- und viele Zweige der Nahrungsmittel- und der chemischen Industrie, wo Frederkingapparate z. B. als Essigsäure-, Ameisensäure-, Salicylsäureblasen, ferner zum Sulfurieren, Gewinnen von synthetischem Campher,

Einengen von alkalischen Flüssigkeiten, zur Sublimation von Benzoesäure, Destillation von Teerölen, Fettsäuren, Montanwachs, Tran verwendet werden. Den verschiedenen Zwecken entsprechend sind auch die Formen der Apparate ausgebildet, von denen genannt seien: Kessel, Autoklaven (liegend und stehend), Retorten, Schalen, Kippkessel, Pfannen, Mulden und Platten. Bei Temperaturen bis 180° wird Dampfheizung, von 180—380° meist Heißwasserheizung verwendet; praktisch wird etwa $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{7}$ aller im Betrieb befindlichen Frederkingapparate mit Heißwasser betrieben, da die Dampfheizung meist genügt, zumal in nezeitlichen Betrieben hochgespannter Dampf zur Verfügung steht und unmittelbar für die Frederkingapparate verwendet werden kann.

Damit die Rohre bei der Herstellung in der Gußform durch das heiße Eisen nicht Formänderungen erleiden, muß ihre Wandstärke reichlich bemessen sein. Die Rohrschlangen widerstehen daher auch vorübergehenden Drucksteigerungen. Außerdem läßt sich der Apparat bei einer Änderung des Druckes ohne weiteres weiter verwenden, was bei Heizkammern, Dampf-mänteln usw. nicht möglich ist. Bei 70 mm Wandstärke verwendet man Stahlrohre mit 22 mm innerem und 34 mm äußerem Durchmesser. Die Prüfspannung beträgt mindestens 500 at, wenn die Rohre mit Heißwasser beheizt werden. (S. auch Chem. Apparatur 1933, S. 74.) Die Wandungen sind von dem Dampfdruck vollständig entlastet. Es lassen sich auch für bestimmte Stoffe besonders widerstandsfähige Gußeisenarten verwenden mit Ausnahme von siliciumhaltigen, da Silicium das Eisen zähflüssig macht, so daß die Form beim Gießen nicht voll ausläuft. Oft erhalten die Gefäße Auskleidungen mit anderen Metallen, z. B. mit Aluminium. Wenn diese nicht überall dicht anliegen, wird der Wärmeübergang beeinträchtigt.

Nach den im Deutschen Reich geltenden Bestimmungen kann die Berechnung der Wandstärke des gußeisernen Mantels ohne Rücksicht auf den in den eingegossenen Heizrohren auftretenden Druck unter Zugrundelegung des im Beschickungsraum zulässigen höchsten Betriebsdruckes erfolgen. Die Berechnung der Wandstärke der Rohre hat nach den für Dampfkessel geltenden Richtlinien für Wasser- und Ankerrohre zu erfolgen. Es dürfen daher nur nahtlose Rohre aus Flußstahl mit einer Zugfestigkeit von 35—45 kg/mm² und einer Mindestdehnung von 20 Proz. oder mit 45—55 kg/mm² Zugfestigkeit und 17 Proz. Dehnung verwendet werden. Die Wanddicke der eingegossenen Rohre ergibt sich aus folgender Formel:

$$s = \frac{p d}{200 k} + 1 \text{ mm.}$$

Hierin bedeuten:

- d = Innendurchmesser des Rohres in mm,
- p = größter Betriebsdruck in kg/mm²,
- k = zulässige Beanspruchung in kg/mm².

Für k ist einzusetzen: für Rohre aus Flußstahl mit einer Festigkeit von 35—45 kg/mm² $k = 6,4$ kg/mm², für Rohre aus Flußstahl mit einer Festigkeit von 45—55 kg/mm² $k = 8,0$ kg/mm². Werden Rohre aus legiertem Stahl verwendet, dann ist der Wert k so zu wählen, daß 1,8fache Sicherheit gegen den Wert der Streckgrenze des Werkstoffs bei 400° gewährleistet ist. Für stark gekrümmte Rohre mit Krümmungsradien unter dem fünffachen Außendurchmesser sind Zuschläge zur errechneten Wanddicke zu machen.

Die im Vergleich mit den Strömungsgeschwindigkeiten bei Dampfmänteln hohen Dampfgeschwindigkeiten in den Rohren haben gute Wärmedurchgangszahlen zur Folge. Auch gegenüber der Feuerbeheizung ist die Wärmeübertragung meist besser. So hat man bei der Dickfirnisherstellung bei gleichen Apparaturen mit Frederking-Beheizung eine um 30—50 Proz. höhere Leistung festgestellt. Dabei wird die Wärme gleichmäßiger übertragen, so daß örtliche Überhitzungen wie bei der Feuerbeheizung nicht vorkommen. Da der Wärmeübergang von dem kondensierenden Heißdampf an die Wandungen erheblich besser ist als der von der Wand an die Flüssigkeit im Apparat, hängt auch die gesamte Wärmeübertragung vorwiegend von den Eigenschaften der Flüssigkeit, besonders ihrer Zähigkeit und Wärmeleitfähigkeit, ab. Die von der Heizschlange abgegebene Wärmemenge muß dieser

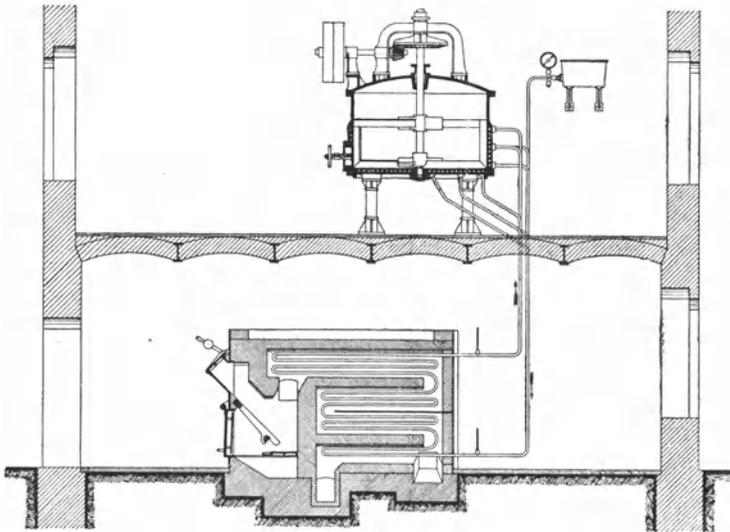


Abb. 874. Autoklav mit Heißwasserofen (Sangerhausen).

Wärmeaufnahme entsprechen. Dies wird dadurch erreicht, daß man den Abstand zwischen den Rohrschlangen, der zwischen 60 und 120 mm liegt, größer oder kleiner wählt. Die Rohrschlangen dürfen besonders bei geringen Dampfdrücken nicht zu lang sein, weil dann die niedergeschlagene Kondenswassermenge zu groß wird, der letzte Teil der Schlange mit Wasser gefüllt ist, so daß er an der Wärmeübertragung nicht teilnimmt, und gleichzeitig durch die großen, zuströmenden Dampfmen im vordersten Teil der Rohrschlangen ein starker Druckabfall eintritt. Man schaltet daher fast immer mehrere Schlangen parallel. Diese sind, wenn mit Dampf geheizt wird, an ein gemeinsames Sammelrohr angeschlossen, damit sich der Dampf gleichmäßig auf die Schlangen verteilt. An dem Kondenswassersammelrohr muß eine Entlüftungsvorrichtung angebracht sein. Sinkt während des Arbeitsvorganges der Flüssigkeitsspiegel, so kann dadurch ein Teil der Heizfläche freigelegt werden. Der Wegfall der Wärmeübertragung dabei kann besonders bei der Heißwasserheizung ohne Umlaufpumpe unerwünscht sein, da dann der Heizwasserumlauf,

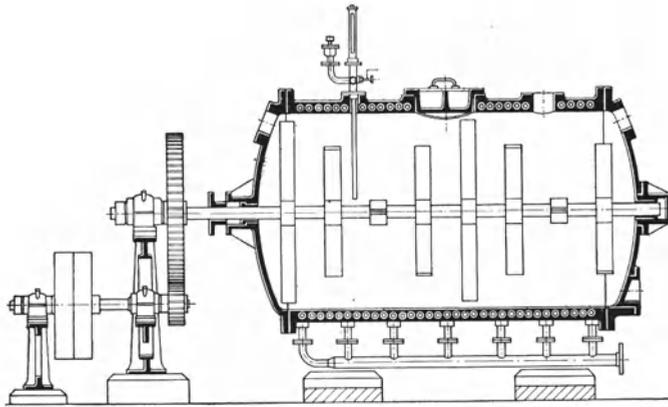


Abb. 875. Liegender Frederkingkessel (Volkmar Hänig & Co.).

der durch den Unterschied im spezifischen Gewicht in der Zu- und Ableitung des Heißwasserofens erzeugt wird, nachläßt. Durch Verbindungen der Schlangen untereinander kann hiergegen Abhilfe geschaffen werden. Um die Vorteile der Frederkingapparate voll ausnutzen zu können, müssen die Oberflächen gut gegen Wärmeverluste nach außen isoliert werden.

Einen Frederkingapparat mit Heißwasserheizung, wie er zur Herstellung von synthetischem Campher gebraucht wird, zeigt Abb. 874. Der zugehörige Heißwasserofen muß, wenn keine Umlaufpumpe verwendet werden soll, mindestens 3 m unter dem Apparat stehen, damit ein Gewichtsunterschied in Zu- und Abflußleitung vorhanden ist, der zur Unterhaltung des Umlaufes genügt. Zur Beheizung sind vier Schlangen im Apparat und dementsprechend vier Schlangen im Ofen vorgesehen, die durch geschweißte Leitungen miteinander verbunden sind, so daß die Gefahr von Wasserverlusten auf ein Geringsmaß heruntergedrückt ist. Zur Temperaturüberwachung dienen die in den Leitungen eingebauten Thermometer.

Einen liegenden Rührwerkskessel zeigt Abb. 875 (Volkmar

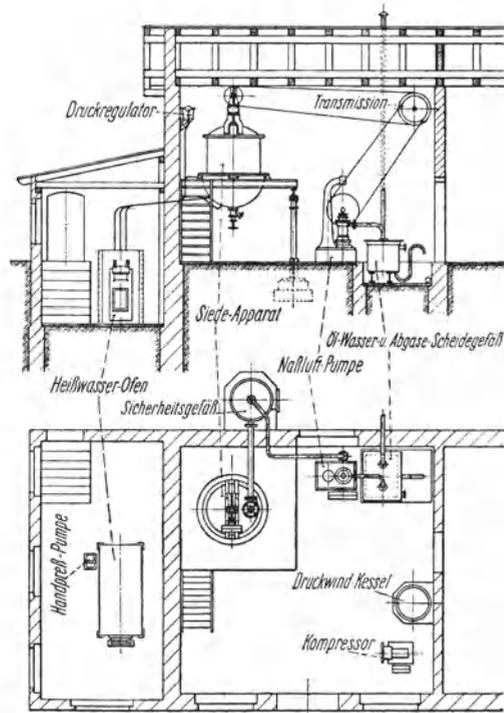


Abb. 876. Frederking-Apparatur zur Herstellung von Firnis (Volkmar Hänig & Co.).

Hänig & Co.). Die gesamte Heizfläche ist in zahlreiche Schlangen aufgeteilt, was bei der liegenden Bauart besonders wichtig ist.

Eine unter Luftleere arbeitende Frederkingapparatur mit Heißwasserheizung zum Sieden von Firnis, wie sie zur Herstellung von Buch- und Steindruckfarben gebraucht wird, zeigt Abb. 876 (Volkmar Hänig & Co.). Um den nötigen Höhenunterschied zu erhalten, ist der Heißwasserofen in einer besonderen Grube untergebracht. Nur das Unterteil des Siedekessels ist mit eingegossenen Heizrohren

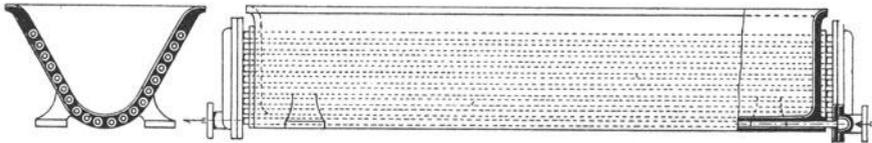


Abb. 877. Frederking-Mulde (Opitz & Kloz).

versehen. Die Dämpfe gelangen zunächst in ein mit Wasser gefülltes Sicherheitsgefäß, an dem die Naßluftpumpe angeschlossen ist. Das Öl-, Wasser- und Abgase-Scheidegefäß ist nur nötig, wenn auf völlig geruchfreies Arbeiten der ganzen Anlage Wert gelegt werden muß. Derartige Siedekessel benutzt man mit Füllinhalten von 300–6000 kg; für andere Zwecke, beispielsweise zum Entwässern von Straßenteer, werden ähnliche Apparate bis 15000 kg Füllinhalt gebaut.

Einen muldenförmigen Frederkingapparat, der zum Schmelzen oder Eindicken dienen kann, zeigt Abb. 877.

Einen einfachen Rührwerksapparat, bei dem der obere Teil aus Stahlblech ausgeführt ist, zeigt Abb. 878.

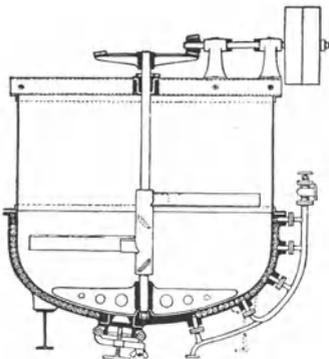


Abb. 878. Rührwerksapparat.

Als Kennzeichen einer Frederkingapparatur, besonders im Vergleich mit feuerbeheizten Apparaten, wären zu nennen: 1. Erzeugung hoher Temperaturen ohne Feuergefahr. 2. Glatte Innenfläche, daher schabende Rührwerkzeuge

möglich. 3. Vermeidung örtlicher Überhitzungen. 4. Leichte Temperaturregelung. 5. Bequeme Entleerungsmöglichkeit, weil unterer Teil der Apparatur freiliegt. 6. Anwendung von Heizung und Kühlung im gleichen Apparat. 7. Lange Lebensdauer, da starke Gußeisenwände. 8. Keine Genehmigungspflicht für offene Gefäße.

Statt der Frederkingapparate werden oft Apparate aus Stahlblechen mit angeschweißten Rohren verwendet.

S. auch Dampffässer (S. 146), Destillierapparate (S. 190), Einkörperverdampfer (S. 302), Verdampfer.

Lit. (s. auch Verdampfer): *Eckelt-Gassner*, Projektierungen und Apparaturen für die chemische Industrie, I. Gruppe (Leipzig 1926, Spamer). — Apparate „System Frederking“ (Chem. Apparatur 1914, S. 230). — *H. Winkelmann*, Die Verwendung von überhitztem Wasser als Wärmeübertragungsmittel (Chem. Apparatur 1916, S. 118). — Die Mittel zum Heizen und Kochen von Flüssigkeiten in der chemischen Industrie (Chem. Apparatur 1924, S. 4). — Frederking-Apparate (Chem. Apparatur 1926, S. 52). —

S. O. Solt, *Frederking Apparatus* (Ind. Engng. Chem. 1927, S. 697). — *E. Böhm*, *Hochdruckheißwasseranlagen in der Fettindustrie* (Chem. Apparatur 1928, S. 193). — *K. Thormann*, *Berechnung von Druckgefäßen mit eingegossenen Heizrohren (Frederking-Gefäße)* (Chem. Apparatur 1933, S. 74); *Zur Geschichte der Frederking-Apparate* (Chem. Apparatur 1934, S. 73).

Thormann.

Frishluftgeräte, s. Atemschutzgeräte.

Füchse, s. Schornsteine.

Füllkörper (s. auch *Bauusteine, Keram. Werkstoffe [Abschn. 4], Skrubber*) dienen in Absorptionstürmen, Destillierkolonnen, Wäschern und allen anderen Apparaten, in denen eine Flüssigkeit mit Gasen, Dämpfen oder einer anderen Flüssigkeit behandelt werden soll, als Verteilungsmittel für diese Stoffe. Dem Gebrauch nach kann man Füllkörper unterscheiden, die nach bestimmten Regeln entsprechend ihrer Gestalt eingebaut werden, und solche, die regellos in den Füllraum geschüttet werden. Erstere werden besonders für Säureabsorptionstürme verwendet.

Die einfachste Form ist ein rechteckiger, ziegelförmiger Körper. Man verwendet jedoch auch sehr verwickelte Bauformen, z. B. senkrecht gestellte Zylinder mit spiralförmig gewundenen Nuten im Innern, schalenförmige oder prismatische, dreikantige Körper usw. Zu diesen Füllkörpern kann man auch die *Horden* (s. d.) rechnen, die aus parallel angeordneten Stäben sich zusammensetzen, die in vielen, rechtwinklig zueinander gestellten Lagen übereinandergespacht werden. Die Hordenteile bestehen aus hochkant gestellten Holzlatten, aus kantigen Leisten, aus Blechpaketen oder ähnlichen Körpern.

Von den regellos eingeworfenen Füllkörpern ist der einfachste die Kugel. Sie ergibt eine erhebliche Querschnittsverminderung, die in manchen Fällen, z. B. wenn hohe Gas- oder Dampfgeschwindigkeiten erreicht werden sollen, erwünscht ist. Der freie Querschnitt ist von der Größe der Kugeln unabhängig und nur durch die zufällige Lagerung gegeben. Auch Hohlkugeln mit Löchern werden viel verwendet. Sehr verbreitet sind die Ringfüllkörper, die meist etwa 15—25 mm Durchmesser haben. Damit die Ringe sich tatsächlich regellos lagern, führt man die Höhe meist gleich dem Durchmesser aus (Raschig-Ringe). Die Oberfläche von 1 m³ Ringfüllkörper von 25 mm Durchmesser beträgt, wie als Beispiel angegeben sei, etwa 220 m². In 1 m³ sind dabei etwa 55000 Ringe vorhanden, von denen jeder eine Oberfläche von 40 cm² hat. Die Füllung wiegt, wenn die Ringe aus Blech ausgeführt sind, etwa 630 kg und nimmt für das Blech der Ringe einen Raum von 80 l in Anspruch, so daß also 920 l für Flüssigkeit, Gase oder Dämpfe frei bleiben. Die Ringe werden oft mit verschiedenen Einbauten, Ausbuchtungen usw. versehen, die die Oberfläche vergrößern sollen. Auch Drahtspiralen, die mehrfach um die gleiche Achse gewunden sind, werden als Füllkörper verwendet.

Bei der Wahl von Füllkörperformen wird man auf die Möglichkeit von Verkrustungen und Verstopfungen Rücksicht zu nehmen haben und in solchen Fällen einfachere und weniger zerklüftete Körper, wie z. B. Kugeln, verwenden. Die Wirkungsweise der Füllkörper kann dadurch beeinträchtigt werden, daß sich in der Füllung Kanäle bilden, durch die der größte Teil

des Dampfes oder der Gase, dem Weg des kleinsten Widerstandes folgend, strömt, ohne mit der herabströmenden Flüssigkeit hinreichend in Berührung gekommen zu sein. Die Wahrscheinlichkeit, daß sich derartige Kanäle bilden, ist am geringsten, wenn die Füllkörper alle gleiche Form und Größe haben und die Form so ist, daß die Abmessungen nach allen Richtungen möglichst gleich sind. In manchen Fällen, z. B. dann, wenn die Gase mit einem Ventilator durch eine Füllung gedrückt werden müssen, oder für Arbeiten unter Luftleere ist man bestrebt, den durch die Strömung verursachten Druckabfall möglichst gering zu halten. Der Druckabfall ist um so größer, je kleiner die Füllkörper sind, und wächst mit dem Quadrat der Gasgeschwindigkeit. Er beträgt z. B. bei einer mittleren Gasgeschwindigkeit von 1 m/sek bei Ringen von 25 mm Durchmesser etwa 25 mm, bei Ringen mit 15 mm Durchmesser etwa 50 mm WS, wobei eine Berieselungsstärke von etwa 6 m³ Flüssigkeit/std · m² angenommen ist. Die regellos eingeschütteten Füllkörper üben auf die Wandungen einen seitlichen Druck aus, der bei großen Füllhöhen unter Umständen berücksichtigt werden muß, was bei den regelmäßig eingebauten Füllkörpern nicht der Fall ist.

Über die Wirkungsweise einer Füllkörperschicht bei der Rektifikation s. *M. Weimann*, Chem. Fabrik 1933, S. 411.

Von den zahlreichen Sonderformen, die man vorgeschlagen hat, seien hier noch die sattelartigen Füllkörper nach *E. Berl* (DRP. 522 572) erwähnt. Während nach Angaben von *B. Waeser* (Chem. Apparatur 1933, S. 183) für Raschig-Porzellanringe (15 × 15 × 2 mm) folgende Daten gelten: Gewicht etwa 660 kg/m³, nutzbare Waschfläche rund 330 m²/m³, geschätzte Stückzahl/m³ = 250 000, Freiraum etwa 72 Proz. des Gesamtraumes, ergeben sich für Berl-Porzellansättel (15 mm, 1 mm stark) nachstehende Ziffern: Gewicht etwa 650 kg/m³, nutzbare Waschfläche rund 430 m²/m³, geschätzte Stückzahl/m³ = 340 000, gefundener Freiraum rund 76 Proz. des Gesamtraumes. Nach Ermittlungen in den Versuchsbetrieben der I. G. Farbenindustrie (Waschturm: 200 mm Durchmesser, 2 m Füllhöhe; Berieselung z. B. 675 l/std) ergab sich am Ablauf in drei konzentrischen Zonen eine Wasserverteilung von 9,2 m³/m² (Turmkern von 100 mm Durchmesser), 10,0 m³/m² (Turmzone 100—160 mm Durchmesser) und 18,2 m³/m² (Turmzone 160—200 mm Durchmesser). Eine ähnliche gute Verteilung zeigten 25 mm-Raschig-Ringe erst bei einer Turmberieselung von 750 l/std. Der durch die Sättel bewirkte Druckverlust ist sehr gering. Er beträgt z. B. bei 10,2 m³ Luft je Minute und m² Turmfläche unberieselt 10 mm WS für 1 m Füllhöhe.

Lit.: *E. Mach*, Druckverluste und Belastungsgrenzen von Füllkörpersäulen (VDI-Forsch.-Heft 375 [1935]). Th.

Lit. Chem. Apparatur: *F. Ludwig*, Über Füllkörper für Reaktionstürme und Wärmespeicher (1914, S. 271); Über einen neuen Füllkörper für Reaktionstürme, Gaswascher und Fraktionierkolonnen (1915, S. 247). — *H. Kolden*, Über den Widerstand der Füllung von Absorptionstürmen für den Gasstrom und eine vergleichende Charakteristik verschiedener Arten von Füllkörpern (1921, S. 1). — *K. Thormann*, Die Theorie der Trennsäulen mit Füllkörpern (1927, S. 61).

Füllvorrichtungen, s. Dosiermaschinen, Speisevorrichtungen, Teilvorrichtungen.

Fußventile, s. Rückschlagklappen.

G

Galalith, s. Plastische Massen.

Gasanalysenapparate, s. Gasuntersuchungsapparate.

Gasbehälter (s. auch *Behälter, Gasflaschen*) werden für einen nahezu unveränderlichen geringen Überdruck mit veränderlichem Rauminhalt oder für hohe Drücke mit feststehendem, gleichbleibendem Inhalt zur Speicherung von Gasen gebaut. Durch Beobachtung von Füllung und Entleerung können sie als *Gasometer* auch zur Messung von Gasmengen dienen, werden aber zuweilen (fälschlich) allgemein so genannt. Die Gasbehälter mit veränderlichem Rauminhalt arbeiten entweder mit einer oben geschlossenen, unten offenen stählernen Glocke, die in eine Sperrflüssigkeit (meist

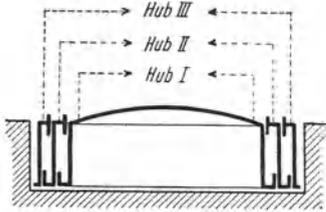


Abb. 879. Dreihübrige Glocke, zusammengeschoben.

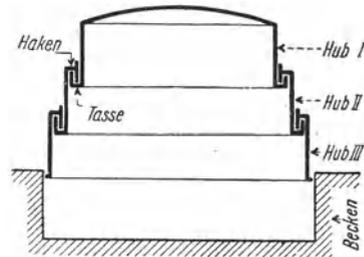


Abb. 880. Dreihübrige Glocke, auseinandergezogen.

Wasser) taucht, oder mit einer Scheibe, die sich in einem Zylinder bewegt, ohne Sperrflüssigkeit. Man kann demnach Glocken- und Scheibengasbehälter unterscheiden.

Die Glockengasbehälter bestehen aus der Glocke, einem mit der Sperrflüssigkeit gefüllten Behälter und einer Führungsvorrichtung, die ein senkrecht Auf- und Absteigen der Glocke sichert, wenn der Rauminhalt durch Gaszufuhr oder -abgabe sich ändert. Die Glocke selbst besteht bei größeren Ausführungen aus einem inneren Gerippe von Profilstählen und einer äußeren Haut von dünnen Blechen, die an diesem Traggerippe befestigt ist. In ähnlicher Weise wird auch die nach oben gewölbte Glockendecke aus einzelnen Blechen gebildet. Die Glocke kann einteilig oder aus mehreren Ringen fernrohrartig zusammengesetzt sein (Teleskopbehälter). An den unteren Teil der den Abschluß nach oben bildenden Glocke schließen sich nach unten ein oder mehrere Zylindermäntel an, die durch Tassen mit Sperrflüssigkeit abgedichtet sind. Je nach Anzahl der Hubteile unterscheidet man entsprechend ein-, zwei-, drei- oder mehrhübrige Glocken. Die einzelnen Hubteile greifen hakenartig ineinander und schöpfen selbsttätig das Absperrwasser aus dem Becken. In jede am unteren Rand des Zylindermantels befindliche, nach außen liegende Tasse greift der umgebogene Rand des nächsten Hubmantels, so daß dieser beim weiteren Steigen des inneren Hubteils mit hochgehoben wird, wie Abb. 879 und 880 für eine dreihübrige Glocke zeigen. Der Gasdruck beträgt nach Angaben der Bamag-Meguin A.-G. bei einhübrigen Gasbehältern 70–75 mm, bei zweihübrigen 130 bis 150 mm, bei dreihübrigen 180–210 mm, bei vierhübrigen 260–300 mm

Wassersäule und mehr, je nach der Größe des Glockenmantels im Verhältnis zum Glockendurchmesser. Er ist um so größer, je mehr der Behälter gefüllt ist.

Die Wasserbecken werden aus Mauerwerk, Stampfbeton, Eisenbeton oder Stahlblech hergestellt. Wenn es die örtlichen Verhältnisse zulassen, wird das Becken ganz oder teilweise in den Erdboden eingelassen, wobei man den inneren Boden vielfach als Kegelstumpf oder ähnlich ausführt, um nicht den ganzen inneren Erdkern ausheben zu müssen. Die Wasserdichtheit von gemauerten oder Betonbecken wird lediglich durch den auf dem Boden aufgetragenen und sauber abgeschliffenen Zementputz

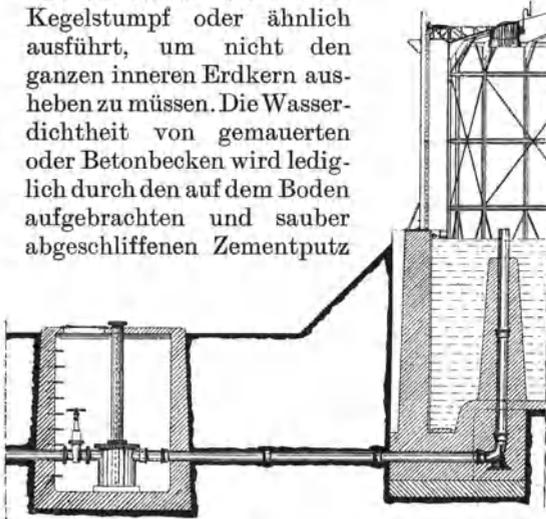


Abb. 881. Gasbehälterbecken mit Leitungen (Bamag-Meguïn).

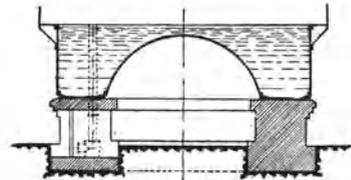


Abb. 882. Halbkugelbehälterbecken (Bamag-Meguïn).

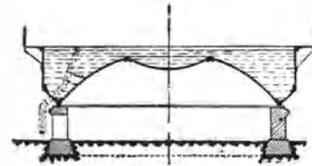


Abb. 883. Behälterbecken in Intze-Bauart (Bamag-Meguïn).

von etwa 2 cm Stärke hergestellt. Zur Gaszu- und -ableitung im Inneren der Glocke dienen meist zwei nebeneinanderliegende, mit Mauerwerk oder Beton umkleidete, senkrechte Rohre (Abb. 881). Die waagerechten Teile der Rohre sind einzementiert, wodurch Undichtheiten des Beckens an der Durchdringungsstelle der Rohre in der Beckensohle vermieden werden. Außerhalb der Beckenwandung werden die Rohre entweder unmittelbar in einer an das Becken angebauten Rohrkammer in die Höhe geführt oder aber waagrecht bis in einen abseits vom Becken angelegten Brunnen geleitet, in dem sie dann senkrecht hochgeführt werden. Am Fuß der aufsteigenden Rohrleitung ordnet man Wassertöpfe an. Die in den Erdboden eingelassenen Becken erfordern im Winter wenig Wärmezufuhr, um das Wasser vor dem Einfrieren zu schützen.

Becken aus Stahlblechen werden auch mit nach oben geführten Kugelböden (Abb. 882), mit Flachbodendecken in verschiedenen Bauweisen, mit Böden nach *Intze* (Abb. 883) oder als Ringbecken mit und ohne Wölbmantel ausgeführt. (S. auch Behälter.) Die Gründung der Behälter mit glattem Boden erfolgt meist derart, daß der Rand des Beckens auf eine Ringmauer gesetzt wird. Innerhalb der Ringmauer wird eine Sandschüttung von etwa 500 mm Dicke eingestampft, deren Oberfläche durch eine Magerbetonschicht abgeglichen wird, auf die dann noch eine 25-mm-Asphaltschicht aufgebracht wird. Die Becken mit Kugel- und ähnlichen Böden gestatten die Zugänglichkeit des Bodens von unten zwecks Vornahme von Ausbesserungsarbeiten, was bei den auf Mauerwerk oder einer Erdschüttung liegenden ebenen Böden

nur nach Außerbetriebsetzung von oben möglich ist. Bei den Wölbmantelbecken hat die Außenwand eine Kurvenform. Mitunter werden auch Ringbecken mit linsenförmigem Querschnitt ausgeführt. In Stahlbecken werden Gasrohre entweder in besonderen Rohrgruben unterhalb des Behälterbodens verlegt oder mit in die Gründung eingemauert und in geeigneter Weise in die Höhe geführt. Die im Inneren des Beckens aufsteigenden Rohre werden mittels Flanschen und Teerpappdichtungen gas- und wasserdicht mit dem Beckenboden verschraubt oder unmittelbar eingeschweißt oder bei größeren Abmessungen ohne Dichtungszwischenlage unmittelbar mit dem Beckenboden vernietet.

Die Gasbehälter werden entweder umbaut in einem besonderen Raum oder freistehend errichtet. Umbaute Behälter bieten den Vorzug, daß das Wasser in den Becken und bei mehrhübrigen Behältern in den Tassen auch bei großer Kälte kaum einer Heizung bedarf. Außerdem ist die Bewegung der Glocke und der vom Behälter gegebene Gasdruck nicht durch Winddruck und Schneebelastung beeinflusst. Der hohen Kosten wegen verzichtet man jedoch meist auf die Umbauung.

Zur Führung der Glocken ordnet man besondere Führungsschienen an, die bei umbauten Behältern mit dem Mauerwerk verbunden werden. Die Führungen von freistehenden Behältern werden untereinander durch waagerechte Ringe verbunden, durch die senkrechte, durch Schrägstäbe unverschiebbar gehaltene Gefache entstehen. Bei freistehenden Behältern mit gemauertem Becken befestigt man die Führungen mit dem Becken durch Ankerschrauben, bei eisernen Becken werden sie entweder frei daneben gestellt oder mit dem Beckenboden, der Gründung oder auch unmittelbar mit dem Beckenmantel verbunden. Die einzelnen Glockenteile werden unter sich und an den äußeren Führungsständern mit Rollen geführt. Je nachdem, ob die Rollen seitlich zum Führungsbock oder davor angebracht sind, ergibt sich eine Seiten- oder eine Stirnführung. Oft werden auch beide Führungsarten gleichzeitig angewendet, indem man an jeder Führungsstelle zwei Seiten- und eine Stirnrolle anordnet. Alle außen liegenden Rollen werden in der Regel so gelagert, daß sie nach zwei Richtungen verstellbar sind. Zur Führung der Glocken unter sich sind auf den Tassenböden oder am Fuß eines jeden Glockenhubes Rollen angebracht, die entweder außen oder innen an den senkrechten Verstrebungen der Glockenmäntel laufen. Die am Fuß der Glocken angebrachten Rollen sind im Betrieb nicht mehr zugänglich; sie ergeben aber eine bessere Führung als die auf der Tasse gelagerten Rollen.

Die Beckendurchmesser und die Gewichte der gesamten Stahlkonstruktion sind in Abb. 884 für einhübrige Gasbehälter mit Stahl-Flachbodenbecken von 500–5000 m³ und in Abb. 885 für zweihübrige Gasbehälter von 800–32000 m³ nach Angabe der Bamag-Meguïn A.-G. dargestellt. Gasbehälter über 400000 m³ werden nur selten ausgeführt.

Um die in die Behälterglocke

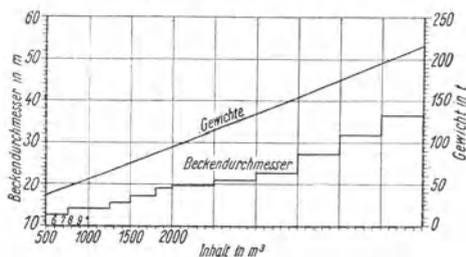


Abb. 884.
Einhübrige Gasbehälter mit Stahl-Flachbodenbecken von 500–5000 m³ (Bamag-Meguïn).

führenden Ein- und Ausgangsrohre ohne wesentliche Betriebsstörung reinigen zu können, wird vielfach bei größeren Behältern an der Glockendecke eine Einrichtung nach Abb. 886 oder Abb. 887 angebracht. Über den Ein- und Ausgangsrohren ist an der Glockendecke ein aus Blech und Winkeleisen gebildeter Kasten angeschlossen. Sollen die Rohre gereinigt werden, so läßt man die Glocke so weit heruntergehen, bis der Kasten in das Wasser taucht. Das in dem Kasten befindliche Gas entweicht durch eine seitliche Tasse oder durch das geöffnete Ventil zwischen den beiden Krümmern oberhalb der Blechdecke, worauf die Tasse mit Wasser gefüllt oder der Schieber geschlossen wird. Das in der Glocke noch unter Druck befindliche Gas ist nun vollständig abgeschlossen, und die Reinigungsluke kann, ohne daß Gasverluste entstehen, geöffnet werden.

Zur Anzeige des Inhalts der Gasbehälter genügt bei kleinen Behältern die Anbringung einer Zeigerlatte, bei größeren Behältern wird der Hub der Glocke durch ein mit der obersten Glocke verbundenes und durch ein Gewicht gespanntes Drahtseil mit Hilfe einer Räderübersetzung auf ein Zeigerwerk übertragen. Auch mit einem Kontaktwerk arbeitende elektrische Fernmeldeeinrichtungen werden zur Inhaltsanzeige verwendet.

Zur Beheizung des Sperrwassers im Becken dienen unmittelbares Einblasen von Dampf oder eine Warmwasserumlaufheizung. Das kalte Wasser tritt dabei unten in einen Heizkessel ein und gelangt erwärmt durch ein oberes Rohr wieder in das Becken zurück. Zur Dampfzuleitung zu den Tassen dienen Metalldampfschläuche oder Gelenkrohre.

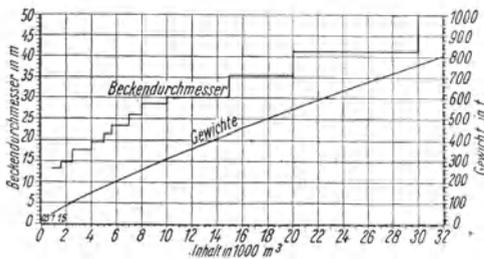


Abb. 885.

Zweihübrige Gasbehälter mit Stahl-Flachbodenbecken von 800—32000³ (Bamag-Meguin).

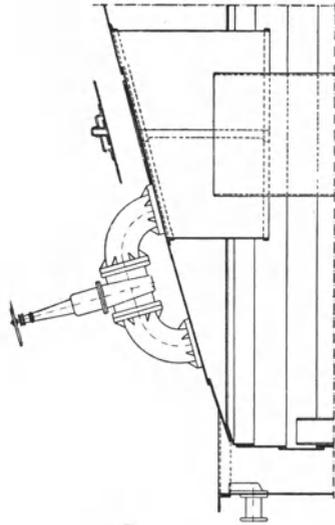


Abb. 887. Reinigungsvorrichtung (Bamag-Meguin).

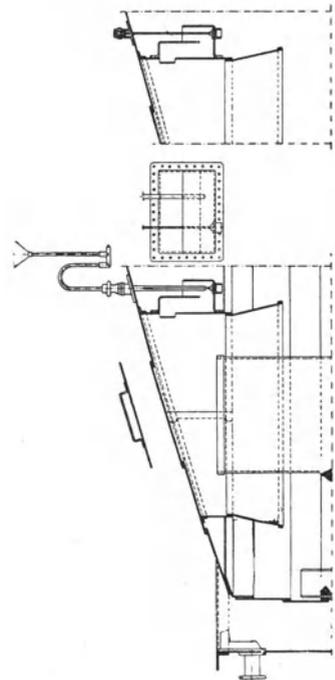


Abb. 886. Reinigungsvorrichtung (Bamag-Meguin).

Gasbehälter, aus denen das Gas durch ein Gebläse abgesaugt wird, müssen mit einer Vorrichtung versehen sein, die dafür sorgt, daß durch Leersaugen der Glocke die Decke nicht durch den äußeren Luftdruck eingedrückt wird. Diese Sicherung kann dadurch erreicht werden, daß ein Umgang an dem Gebläse sich öffnet, sobald der Druck in der Saugleitung einige Millimeter unter den normalen Druck, den die Behälterglocke im Geringstfalle gibt, sinkt, oder auch dadurch, daß in diesem Fall eine Gasbehälterabsperrovorrichtung oder eine Einrichtung zum Stillsetzen des Gebläses in Tätigkeit tritt.

Die Scheibengasbehälter (Abb. 888) bestehen aus einem prismatischen, vieleckigen oder zylindrischen, durch ein leichtes Dach abgedeckten Mantel, in dem sich eine nur am Rand abgedichtete Scheibe auf und ab bewegt. Sie arbeiten also ohne Wasserbecken und Tassendichtungen. Infolge des geringeren Gewichts kommt man mit kleineren Fundamenten aus. Die Zugänglichkeit für Wartung und Erneuerungsarbeiten ist besser als bei den Glockenbehältern. Eine Vergrößerung des Behälters ist ohne Betriebsstillstand möglich. Die Höhe der Scheibengasbehälter wird meist größer (etwa 1,5fach) als der Durchmesser ausgeführt, so daß die Grundfläche meist kleiner wird als die der Behälter mit Wasserbecken. Der Gasdruck ist nahezu unveränderlich. Die Scheibe wird durch Rollen an den Wänden horizontal und stoßfrei geführt. Als Dichtungsmittel dient Teer. Die durch Undichtheiten durchlaufende Teermenge wird in einer Bodentasse gesammelt und von dort durch eine Pumpe wieder auf den Scheibenrand gefördert. Bei einer anderen Bauart schließt eine federnde Schlauchdichtung aus Leder den Scheibenrand ab.

Für die Speicherung von Gasen unter mittleren Drücken, beispielsweise 4—8 at, hat man oft Kugelbehälter ausgeführt. Als Beispiel zeigt Abb. 889

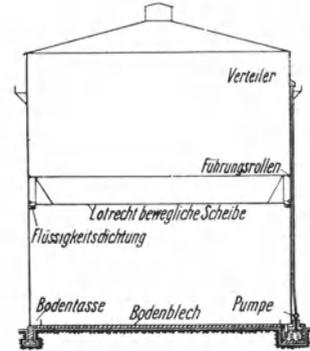


Abb. 888. M.A.N.-Scheibengasbehälter (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg).

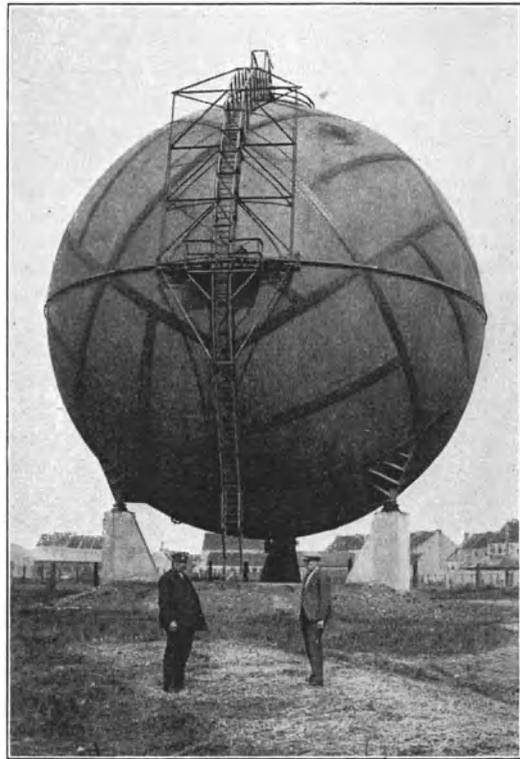


Abb. 889. Frei auf drei Punkten gelagerter Kugelgasbehälter (Neumann).

einen Kugelgasbehälter, der von der Firma F. A. Neumann, Eschweiler, erbaut wurde und für eine Spannung von 6 at bestimmt ist (Chem. Apparatur 1934, S. 231). Die Kugel hat einen Durchmesser von 18,75 m und einen Inhalt von 20000 m³. Wegen des schlechten Baugrundes ist sie in drei Punkten auf Fundamenten gelagert, die sich auf 14 m lange Betonpfähle stützen. Die Außenfläche ist durch eine fahrbare Leiter allseitig leicht zu erreichen.

Zur Speicherung von Gasen unter Drücken, die zwischen 25 und 200 at liegen, können auch Kessel oder Gasflaschen verwendet werden. Die feststehenden zylindrischen Druckbehälter haben einen Durchmesser bis zu 2 m und eine Länge von 4–8 m. Sie werden entweder aus einem Stück nahtlos gezogen oder gepreßt oder durch Wassergasschweißung hergestellt. Der Betriebsdruck beträgt bei kleineren Kesseln vielfach 100 at, bei größeren etwa 30 at. Gasbehälter dieser Art werden besonders auch zur Lagerung von Wasserstoff verwendet und sind hier durchaus wirtschaftlich, obgleich gegenüber der Speicherung in Glockenbehältern die Kosten der Verdichtung hinzukommen. So sind z. B. Anlagen mit 60 Behältern gebaut, von denen jeder 1000 m³ Wasserstoff (von Atmosphärendruck) unter einem Druck von 100 at aufnehmen kann. In Einzelfällen, z. B. zum Versand von Helium, benutzt man auch kugelige Behälter.

Über die höchstzulässigen Füllungen von verdichteten Gasen und die höchst zulässigen Drücke s. Gasflaschen.

Im Gebiet des Deutschen Reiches sind für alle Gasbehälter geltende Bestimmungen erlassen worden (Ministerialbl. f. Wirtsch. u. Arbeit, Berlin 1935, S. 299).

Lit.: Normalbedingungen für die Herstellung und Lieferung von Gasbehältern (Berlin 1930, Deutscher Verein von Gas- u. Wasserfachmännern). — *A. Schaefer*, Einrichtung und Betrieb eines Gaswerks (München 1929, Oldenbourg). — *Bamag*, Festausgabe zur Halbjahrhundertfeier der Bamag (Berlin 1922). — *E. Broschat*, Der Behälterbau (Leipzig 1926, Spamer). — *H. Melhardt*, Die Wandstärkenberechnung druckbeanspruchter Gefäße (Monogr. z. Chem. Apparatur, Bd. 6; Leipzig 1929, Spamer). — *Th. Pöschl*, Berechnung von Behältern (2. Aufl., Berlin 1926, Springer). — *Blau*, Wasserlose Scheibengasbehälter (Kohle u. Erz 1926, S. 1134). — *Lüsching*, Betriebserfahrungen bei einem wasserlosen Gasbehälter (Gas- u. Wasserfach 1926, S. 504). — *Pistor*, Zum Problem der Abdichtungsflüssigkeit bei Scheibengasbehältern (Gas- u. Wasserfach 1926, S. 586). — *H. Nielsen*, Trockene Gasbehälter (Gas J. 1927, S. 805). — *W. Knauf*, Neuerungen im Scheibengasbehälterbau (Gas- u. Wasserfach 1929, S. 299). — *Weiland*, Winterschwierigkeiten an wasserlosen Scheibengasbehältern (Gas- u. Wasserfach 1929, S. 299). Thormann.

Gasfilter, s. Gas- und Luftreiniger, Elektrofilter, Staubfilter.

Gasflaschen (Stahlflaschen; s. auch Behälter). Behälter für verflüssigte und verdichtete Gase werden in Form nahtlos gezogener oder gepreßter Stahlzylinder oder auch in geschweißter Ausführung mit halbkugelförmigen oder tiefgewölbten Böden hergestellt. Sie werden entweder mit einem Inhalt von mehreren Kubikmetern unbeweglich aufgestellt (s. Gasbehälter) oder, wenn sie transportfähig sein sollen, bis zu 420 mm äußerem Durchmesser und bis höchstens 2 m Länge mit einem Rauminhalt bis zu 150 Litern verwendet und dann als Gas- oder Stahlflaschen bezeichnet. Für diese bestehen in Deutschland behördliche Vorschriften, die in den Polizeiverordnungen (Druckgasverordnungen) über die ortsbeweglichen Behälter für verflüssigte

verdichtete Gase enthalten sind (Erlasse in Preußen: vom 2. 12. 1935). Kupferne Gefäße sind zulässig für: Chlorkohlenoxyd, Chlormethyl und Chloräthyl, Methyläther, Brommethyl, Schweflige Säure (SO₂) und alle verdichteten Gase, deren Überdruck 20 Atmosphären nicht übersteigt, mit Ausnahme des Acetylen und der Acetylenlösungen. Der Inhalt der Gasflaschen wird durch Farbanstrich gekennzeichnet: blau für Sauerstoff, rot für alle brennbaren Gase mit Ausnahme von Acetylen, grün für Stickstoff, gelb für Acetylen, grau für alle anderen nicht brennbaren Gase. Bei Behältern für Acetylen, für alle anderen brennbaren Gase sowie für Sauerstoff und Stickstoff genügt zur äußeren Kennzeichnung ihres Inhalts ein ausreichend breiter Farbring in der vorgeschriebenen Kennfarbe an einer gut sichtbaren Stelle des Behälters. Die Behälter sind in diesem Falle mit einem grauen Grundanstrich zu versehen.

Die höchstzulässige Füllung von Gasflaschen beträgt

für Kohensäure u. Stickoxydul	1 kg Flüssigkeit für je	1,34 l Fassungsraum des Behälters		
„ verflüssigtes Öl, Ruhrgasöl	1 kg	„ „ 2,5 l	„	„
„ Ammoniak	1 kg	„ „ 1,86 l	„	„
„ Chlor, Stickstofftetroxyd	1 kg	„ „ 0,8 l	„	„
„ Schweflige Säure, Chlorkohlenoxyd	1 kg	„ „ 0,8 l	„	„
„ Methyläther	1 kg	„ „ 1,65 l	„	„
„ Methyl- u. Äthylamin	1 kg	„ „ 1,7 l	„	„
„ Chlormethyl u. Chloräthyl	1 kg	„ „ 1,25 l	„	„
„ Äthan	1 kg	„ „ 3,3 l	„	„
„ Äthylenoxyd	1 kg	„ „ 1,30 l	„	„
„ Butadien	1 kg	„ „ 1,85 l	„	„
„ Propylen	1 kg	„ „ 2,25 l	„	„
„ Äthylen	1 kg	„ „ 3,5 l	„	„
„ Brommethyl	1 kg	„ „ 0,70 l	„	„
„ Vinylchlorid	1 kg	„ „ 1,26 l	„	„
„ Schwefelwasserstoff	1 kg	„ „ 1,45 l	„	„
„ Chlorwasserstoff	1 kg	„ „ 1,50 l	„	„
„ Butan	1 kg	„ „ 2,05 l	„	„
„ Propan	1 kg	„ „ 2,35 l	„	„
„ Gelöstes Ammoniak	1 kg	„ „ 1,25–1,30 l	„	„

Behälter für alle übrigen nicht genannten verflüssigten Gase dürfen nur soweit gefüllt werden, daß für je 1 kg Füllung mindestens 5 Liter Rauminhalt vorhanden sind.

Flaschen für verflüssigte Gase sind während ihrer Füllung zu verwiegen und zur Feststellung etwaiger Überfüllungen einer nachfolgenden Kontrollwägung zu unterziehen.

Der zulässige höchste Überdruck, mit dem Behälter für verdichtete Gase in den Verkehr gebracht werden dürfen, beträgt bei 15°

für Fettgas	125 Atmosphären	Überdruck
„ gelöstes Acetylen	15	„
„ verdichtetes Acetylen	1,5	„
„ Mischgas von Acetylen und Fettgas	10	„
„ Sauerstoff, Wasserstoff, Edelgase, Methan, Wassergas, Leuchtgas, Kohlenoxyd, Stickstoff, Preßluft und Borfluorid	200	„
„ alle anderen verdichteten Gase	1	„

Die Versuchsdrücke, soweit sie für Prüfungen vorgeschrieben sind, betragen in Atmosphären Überdruck:

Äthylen	225 kg/cm ²	Chlor, Stickstofftetroxyd	22 kg/cm ²
Kohlensäure u. Ölgas (Blaugas)	190 „	Chlormethyl, Methyläther	16 „
Stickoxydul	180 „	Chlorkohlenoxyd	15 „
Chlorwasserstoff	100 „	Methylamin	14 „
Äthan	95 „	Dichlordifluormethan	13 „
Ruhrgasol	45 „	Schweflige Säure, Butan	12 „
Schwefelwasserstoff	45 „	Chloräthyl, Äthylamin, Äthyl-	
Z-Gas	40 „	oxyd, Butadien, Brommethyl	10 „
Propylen	35 „	gelöstes Acetylen	60 „
Ammoniak	30 „	gelöstes Ammoniak v. 35–40 Proz.	4 „
Propan	25 „	gelöstes Ammoniak v. 40–50 Proz.	9 „

Die am meisten gebräuchlichen Flaschen von etwa 40 l Wasserinhalt haben einen Durchmesser von 200 mm und eine Höhe von etwa 1750 mm. Die Flaschen werden entweder hohl oder z. B. für Acetylen mit porösen Massen gefüllt verwendet. Die Wandstärke darf nur mit besonderer Genehmigung 3 mm unterschreiten. Bei nahtlosen Flaschen mit höchstens 270 mm äußerem Durchmesser genügt eine Mindestwanddicke von 2,5 mm, sofern die Zugfestigkeit des Werkstoffs mindestens 45 kg/mm² beträgt. Um das Wegrollen der Flaschen zu verhindern, und um sie aufstellbar zu machen, ist am Endboden ein quadratischer Fußkranz aufgezogen. Alle Gasflaschen sind stets vor unzulässiger Erwärmung, z. B. durch Sonnenstrahlen oder Heizkörper, zu schützen.

Zur Herabsetzung des Gewichts von Gasflaschen verwendet man als Werkstoffe Spezialstähle oder Aluminiumlegierungen wie Lautal usw. Ein anderes Verfahren beruht auf der Tatsache, daß bei einem zylindrischen Gefäß unter innerem Überdruck die Werkstoffspannung in tangentialer Richtung doppelt so groß ist wie die Spannung in axialer Richtung, und daß man danach Flaschen herstellt, bei denen die Spannungen in axialer Richtung und die Mehrspannung in tangentialer Richtung von verschiedenen Werkstoffen aufgenommen werden. Bei dieser Bauart werden auf ein Stahlrohr Stahlringe mit größerer Streckgrenze und Festigkeit geschoben. Durch Abpressen auf 400 at erfährt das Rohr eine bleibende Formänderung, wobei die Streckgrenze des Rohrwerkstoffs überschritten wird. Beim Füllen auf den Betriebsdruck von 200 at wird die axiale Zugspannung in der Rohrwand größer, die tangentielle Druckspannung dagegen geringer. Sie geht schließlich in eine Zugspannung über. Bei richtiger Wahl der Werkstoffe und der Wandstärken läßt sich erreichen, daß die Rohrwand unter dem höchsten Betriebsdruck in allen Richtungen gleichen Spannungen ausgesetzt ist. (S. auch *J. H. Brunklaus*, Gas- u. Wasserfach 1935, S. 546.)

Zum Verschließen dient das aufgeschraubte Flaschenventil, das in der Regel auf der Flasche bleibt und während des Transports durch eine Schutzkappe gesichert wird. Um Verwechslungen beim Anschluß zu vermeiden, wird für brennbare Gase Links-, für die übrigen Rechtsgewinde verwendet. Die Flaschenhalsgewinde der Gasflaschen und die Anschlußgewinde der Gasflaschenventile müssen dem Normblatt DIN 477 entsprechen. Zur Abdichtung dient im Flaschenventil in der Regel ein Hartgummiplättchen, das durch eine Spindel gegen einen entsprechenden Sitz im Ventilkörper gedrückt wird. Für Sauerstoffflaschen dürfen fett- oder ölhaltige Schmier- oder Dichtungsmittel nicht verwendet werden.

Ungangbar gewordene Ventile von Gasflaschen für Chlor und andere schädliche Gase öffnet man zur Verhütung von Unfällen zweckmäßig mit einer Vorrichtung nach Abb. 890 (Chem. Apparatur 1935, S. 6). Sie besteht aus

einem Gehäuse, das an einen Abzug angeschlossen ist. Eine im oberen Teil angebrachte Spindel gestattet, das Ventil mit Gewalt zu öffnen oder den ganzen Ventilkörper aus dem Flaschenhals herauszudrehen, ohne sich einer Gasgefahr auszusetzen. Die Vorrichtung kann auch dazu benutzt werden, Gasreste aus Flaschen vor dem Wiederfüllen gefahrlos abströmen zu lassen.

Um den hohen Druck in der Flasche auf den geringern Verbrauchsdruck zu bringen, wird an einen seitlichen Anschluß des Flaschenventils ein Druckminderventil angesetzt. Seine Bauart richtet sich nach der Art des Gases und der größten Gasentnahme in der Zeiteinheit. Meist wird ein doppelarmiger Hebel verwendet, der an dem einen Ende ein Hartgummiplättchen trägt, das sich gegen die Ausströmöffnung legt. Der längere Arm des Hebels liegt mit seinem Ende an der druckregelnden Membran, die auf der anderen Seite durch einstellbare Federn belastet ist. Die Farbe des Druckminderventils ist die gleiche wie die für die Flaschen. In der Regel werden die Druckminderventile mit zwei Druckmessern ausgerüstet, von denen der eine den Druck in der Flasche, der andere den Gebrauchsdruck anzeigt. Für Sauerstoffflaschen sieht man einen besonderen Ausbrennschutz vor, der das Druckminderventil vor der Wirkung des Sauerstoffs bei übermäßiger Erhitzung einzelner Teile schützt. — Einer Gasflasche darf nur eine bestimmte Gasmenge im Höchstfalle in der Zeiteinheit entnommen werden, z. B. 200 l in der Minute bei Sauerstoff und Wasserstoff, woraus sich der Zusammenschluß mehrerer Flaschen ergibt, wenn große Gasmengen zu entnehmen sind. Füllen und besonders das Abfüllen kann bei unsachgemäßer Bedienung Gefahren hervorrufen und erfolgt daher, wenigstens wenn es sich um große Gasmengen handelt, in besonderen Panzerkammern, in die die Flaschen auf Wagen gefahren werden. — Normen: S. die entsprechenden DIN-Blätter (Beuth-Verlag, Berlin).

Lit.: *H. Grohmann*, Verdichtete und verflüssigte Gase (Halle 1928, Knapp). — *H. Grohmann*, Über die Aufspeicherung von Acetylen (Berlin 1930, Springer). — *E. Auer-O. Sorge*, Herstellungsfehler an Gasflaschen (Z. VDI 1929, S. 1613). — Ministerialbl. f. Wirtsch. u. Arbeit, Berlin 1935, S. 340.

Gaskühler (s. auch *Gasverflüssigungsapparate, Kühler, Kondensatoren*) werden als Luftkühler oder mit Wasserkühlung gebaut. Luftkühler werden insbesondere für Leucht- und Heizgase angewendet, um nicht durch zu starke und plötzliche Abkühlung dabei wertvolle Kohlenwasserstoffe zur Kondensation zu bringen. Bei der Gaskühlung scheiden sich nämlich die Stoffe,

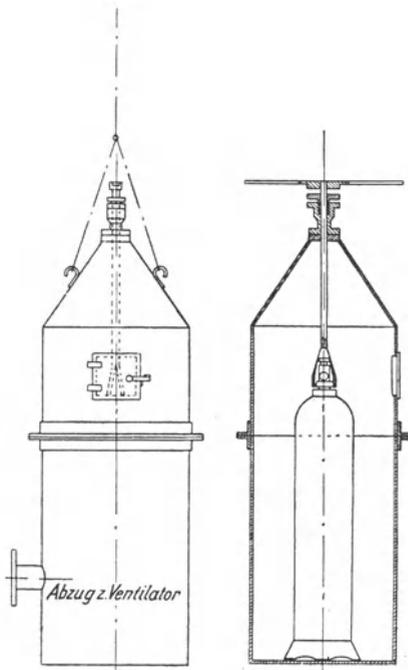


Abb. 890. Entfernen ungangbar gewordener Ventile an Gasflaschen.

die im Gas in Dampfform vorhanden sind und bei der Kühlung ihren Taupunkt erreichen, durch Kondensation aus. Die Wasserkühlung führt man so durch, daß die Rohre, durch die die Gase strömen, mit Wasser berieselt werden oder sich in einem von Kühlwasser durchflossenen Behälter befinden, oder so, daß die Gase an wassergekühlten Rohren oder Flächen vorbeistreichen.

Bei der Wasserkühlung ist der Wärmedurchgang vorwiegend von dem Wärmeübergang auf der Gasseite abhängig. Dieser hängt wieder von der Gasgeschwindigkeit ab. Bezeichnet man die Gasgeschwindigkeit in m/sek mit v , die Wärmedurchgangszahl in kcal/m² · std · Grad mit k , so ist nach Hausbrand:

$$k = 2 + C\sqrt{v}$$

C liegt im Mittel etwa bei 8, kann bis auf 10 steigen und bei Verschmutzungen der Kühlflächen auch noch fallen. Dient zur Kühlung nicht Wasser, sondern Luft, so sinkt die Wärmedurchgangszahl mindestens auf die Hälfte, meist auf ein Drittel.

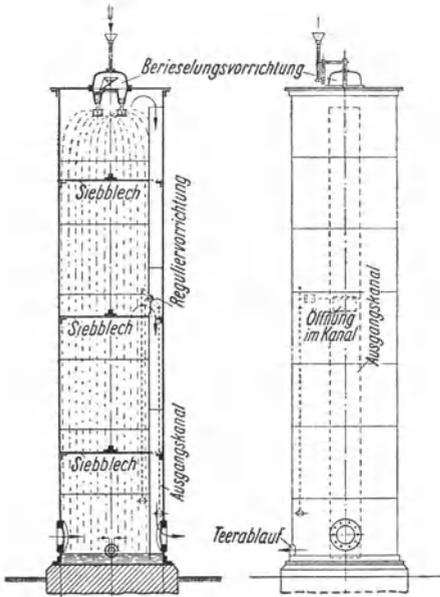


Abb. 891. Raumkühler mit Wasserberieselung (Bamag-Meguin).

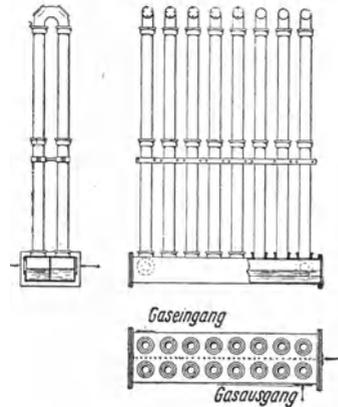


Abb. 892. Doppelreihiger Gaskühler mit vereinigten Sammelkästen (Bamag-Meguin).

Bezeichnet Δt den wirklichen mittleren Temperaturunterschied (s. Gegenstromapparate, Oberflächenkondensatoren), F die Kühlfläche in m², c die spezifische Wärme des Gases/m³ · Grad bei unveränderlichem Druck, G die stündlich zu kühlende Gasmenge in m³, t_1 die Eintritts- und t_2 die Austrittstemperatur der Gase, g die bei Kühlung der Gasmenge G niedergeschlagene Flüssigkeitsmenge in kg und I den Gesamtwärmeinhalt des Dampfes der niedergeschlagenen Stoffe/kg, so erhält man:

$$c(t_1 - t_2) G + gI = kF\Delta t$$

Zur Gaskühlung werden oft mehrere einfache zylindrische, stehende Gefäße verwendet, die von den Gasen nacheinander von unten nach oben durchströmt werden. Bei der Leuchtgaskühlung werden häufig Berieselungsvorrichtungen eingebaut. Einen derartigen Kühler (Raumkühler) mit innenliegendem Ausgangskanal, Siebblecheinlagen und einer Regulierklappe im Ausgangskanal zeigt Abb. 891.

Vielfach läßt man die Gase durch eine Anzahl stehender Rohre gehen, die parallel oder hintereinandergeschaltet sein können.

Einen nur durch Luft gekühlten Röhrenkühler aus Gußeisen mit parallelgeschalteten Rohren zeigt Abb. 892. In der Gasindustrie werden diese Kühler meist als Pariser Kühler bezeichnet. In Blei werden ähnliche Apparate auch zur Kühlung von SO_2 -Gasen und Röstofengasen verwendet. Vielfach wird an diesen Kühlern an dem oberen Ende der Rohre ein besonderer Ringkörper angeordnet, aus dem Wasser über die Rohroberfläche fließt. — Ordnet man

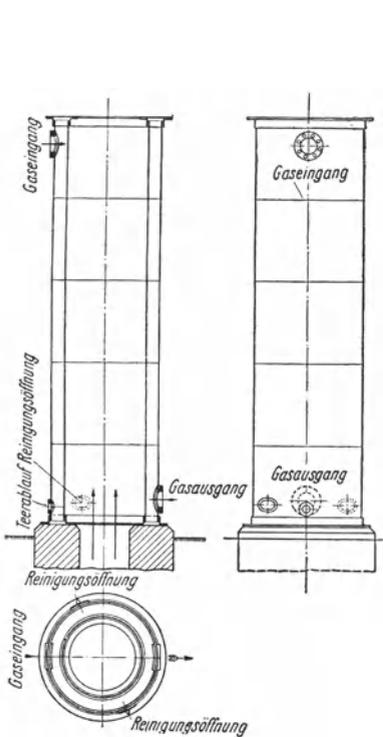


Abb. 893. Ringluftkühler
(Bamag-Meguin).

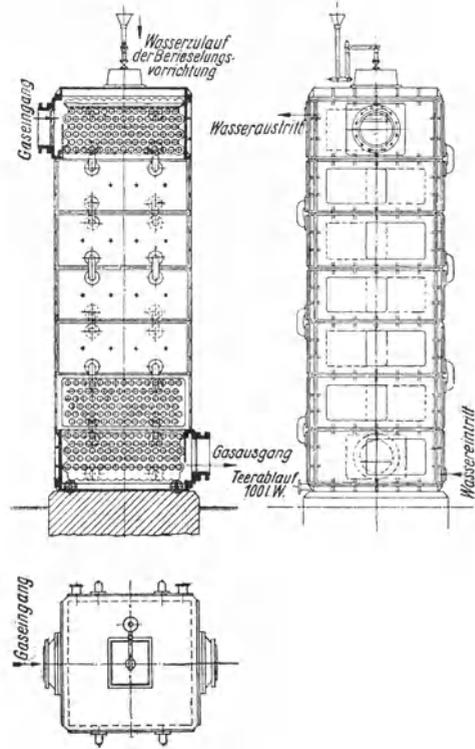


Abb. 894. Reutterkühler (Bamag-Meguin).

die Rohre auf einem Kreis an, so kann man sie in einen runden wassergefüllten Behälter stellen. Derartige Gaskühler mit Bleirohren zur Kühlung von Röstofengasen werden beispielsweise in der Zellstoffindustrie verwendet. Die Gase treten in den unteren, durch einen Boden vom Behälter abgegrenzten Raum ein, durchströmen die Rohre und sammeln sich wieder abgekühlt in dem in der Mitte angeordneten Raum. — Eine große Kühlfläche geben auch die Ringluftkühler nach Abb. 893. Bei der Leuchtgaserzeugung rechnet man für 100 m^3 Gas, das mit etwa $70-80^\circ$ aus den Vorlagen kommt und in 24 std zu kühlen ist, $2,5-3 \text{ m}^2$ Kühlfläche. Derartige Ringluftkühler werden mit Außendurchmessern von $600-3000 \text{ mm}$, mit Höhen von $2,5-19 \text{ m}$ und Mantelblechstärken von $4-6 \text{ mm}$ gebaut. — Einen wassergekühlten Röhrenapparat, oft

als Reutterkühler bezeichnet, zeigt Abb. 894. Der Kühler besteht aus einer gußeisernen Bodenplatte, mehreren aufeinanderstehenden Kammern und einer Deckplatte mit einer Berieselungsvorrichtung. Jede Kammer setzt sich aus 2 Rohrplatten, in denen die Kühlrohre eingewalzt sind, und 2 Seitenplatten zusammen. Sie sind als Wasserkammern ausgebildet und mit großen Deckeln abgeschlossen; an den Seitenwänden befinden sich die erforderlichen Putzöffnungen und die Gasein- und -ausgänge. Das Wasser durchströmt den Kühler in Schlangenwindungen von unten nach oben, während das Gas oben eintritt und den Kühler unten verläßt, so daß die Vorteile des Gegenstroms verwirklicht sind. Bei der Erzeugung von Leuchtgas rechnet man, daß zur Kühlung von 100 m^3 Gas in 24 std je nach der Temperatur des zur Verfügung stehenden Kühlwassers $0,8\text{--}1 \text{ m}^2$ Kühlfläche erforderlich ist. Diese Kühler werden mit einer Grundfläche von $1\text{--}4 \text{ m}^2$, mit einer Höhe von 3,5 bis etwa 9 m und meist mit Wasserkühlflächen bis zu 700 m^2 gebaut. Die Stahlkühlrohre haben einen äußeren Durchmesser von 76 mm und eine Länge von etwa 1–2 m.

Lit.: E. Hausbrand-M. Hirsch, Verdampfen, Kondensieren, Kühlen (7. Aufl., Berlin 1931, Springer). — Stoll, Über Tiefkühlung von Gas (Gas- u. Wasserfach 1930, S. 1103). — L. Richter, Berechnung der Lufröhrenkühler (Z. VDI 1926, S. 366). Th.

Gasmasken, s. Atemschutzgeräte.

Gasmesser (s. auch Flüssigkeitsmesser, Meßflansche, Staurohre, Venturimeter) geben die Menge des durch eine Leitung strömenden Gases durch Bestimmung des Volumens oder der Geschwindigkeit an. — Die Volumen- oder Verdrängungsmesser werden, je nachdem, ob eine Sperrflüssigkeit verwendet wird oder nicht, als nasse oder als trockene Gasmesser gebaut.

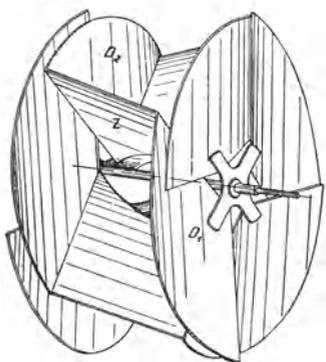


Abb. 895. Trommel eines nassen Gasmessers.

Die nassen Gasmesser arbeiten meist mit einer Trommel (z. B. Croßleytrommel), die aus einzelnen Meßzellen besteht und in einem teilweise mit Wasser oder Öl gefüllten Behälter drehbar angeordnet ist. Die Zellen füllen sich nacheinander mit Gas und bewirken dadurch Drehung der Trommel und Entleerung. Die Zahl der Umdrehungen gibt unmittelbar ein Maß für die durchgegangene Gasmenge. Der wichtigste Teil ist die aus verzinnem oder verbleitem Stahlblech hergestellte Trommel, deren Verbindungsnahte bei den größeren Ausführungen genietet und gasdicht verlötet sind. Sie besteht im wesentlichen aus einem Zylinder, dessen Inneres durch geeignet angebrachte Zwischenwände in meistens vier Kammern geteilt ist (Abb. 895).

Seitlich sind die Kammern durch Deckbleche D_1 und D_2 abgegrenzt, die von den Zwischenwänden aus nach beiden Seiten unter einer geringen Neigung ausgehen und einander etwas überdecken. Die hierbei offenbleibenden Schlitz dienen als Ein- und Ausströmöffnungen für das Gas. An der Eingangsseite der Trommel ist der Zylinder durch einen Deckel in Form einer Kugelhaube geschlossen, während an der Ausgangsseite die Deckschaufeln frei liegen.

In der Abb. 895 ist der Deutlichkeit wegen sowohl der Zylindermantel als auch der Trommelboden weggelassen. In diesem ist eine Öffnung angebracht, durch die der Eingangsstutzen und das hintere Lager in die Trommel eingeführt werden. Den gasdichten Abschluß bewirkt an dieser Stelle die Sperrflüssigkeit, die daher das Trommelloch vollständig überdecken muß (Chem. Apparatur 1916, S. 74).

Die Wirkungsweise der Trommel ergibt sich aus der Trommelabwicklung (Abb. 896). Die beiden strichpunktierten Linien stellen dabei die Grenzen des Wasserspiegels dar. Der Trommelboden, der nur zur Bildung einer Vorkammer für das einströmende Gas dient, ist auch hier fortgelassen. In der gezeichneten Trommelstellung entleert sich die Kammer 1; die Kammer 2 wird gefüllt. Bei einer weiteren Drehung der Trommel wird der Eingangsschlitz der Kammer 2 geschlossen, derjenige der Kammer 3 geöffnet, während der Ausgangsschlitz der Kammer 1 noch kurze Zeit geöffnet bleibt. Es arbeiten also in diesem Augenblick die Kammern 1 und 3 zusammen, und zwar so lange, bis der Ausgangsschlitz von 1 geschlossen und gleichzeitig der von 2 geöffnet wird. Die Bewegung der Trommel bewirkt der Druckunterschied, der zwischen der Ein- und Ausgangsseite des Gasmessers vorhanden ist. Die Drehzahl der Trommeln liegt zwischen 80 und 150 in der Stunde. Der durch sie hervorgerufene Widerstand beträgt etwa 10–40 mm WS. Er ist bei Wasserfüllung geringer als bei Ölfüllung. Für große Leistungen werden vielfach Trommeln gebaut, die aus einer großen Zahl parallel angeordneter Zellen bestehen, um geringe Umfangsgeschwindigkeiten und damit geringen Druckverlust zu erreichen.

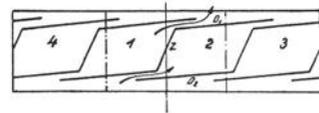


Abb. 896. Abwicklung des Trommelumfangs.

Um geringere Widerstände und höhere Drehzahlen zu erhalten, vergrößerte man die Querschnitte der Gas- und Flüssigkeitswege. Um quer durch das Wasser tauchende Wände möglichst zu vermeiden und die Abhängigkeit der Messung von dem Wasserstand aufzuheben, hat man Gasmesser nach Art der Glockengeräte gebaut, die mit Umschaltung arbeiten. Zu diesen Apparaten gehören die Schwingglocken- und die Taumelglockenmesser. Bei der zuletzt genannten Bauart führt eine in Sektoren eingeteilte Trommel eine Taumbewegung aus, wobei sich die Zu- und Austrittskanäle durch Ein- und Austausch beim höchsten und beim tiefsten Stand der Kammer selbsttätig steuern. Dabei ist der Widerstand des Gasmessers so gering, daß erheblich höhere Trommeldrehzahlen möglich sind als bei der Croßley-Trommel. Taumelglockenmesser sind bis etwa 20000 m³ Stundenleistung brauchbar, während der Verwendungsbereich von Croßley-Trommeln bis etwa 8000 m³ Stundenleistung geht.

Die Trockengasmesser werden für kleine Leistungen in der Regel als Schieber- oder Zweibalgmesser und als Ventil- oder Einbalgmesser gebaut. Sie setzen sich aus dem Gehäuse, dem Meßsystem, der Steuerung und dem Zählwerk zusammen. Das Gehäuse des Zweibalgmessers enthält zwei Hohlräume mit je einer hin- und hergehenden Membran. Demnach bestehen die Zweibalgmesser aus vier Meßkammern, von denen je zwei durch eine mit Hilfe eines Lederbalgs beweglich gemachte Scheidewand voneinander getrennt sind. Durch den Gasdruck wird die Trennwand entsprechend der durchströmenden

Menge hin und her bewegt. Dabei steuert sie gleichzeitig die Ein- und Ausgänge mit Hilfe eines Schiebers und betätigt das Zählwerk. Trockene Gasmesser haben gegenüber nassen den Vorteil, daß das Nachfüllen der Sperrflüssigkeit vermieden wird und die Gefahr des Einfrierens nicht besteht. Einen trockenen Gasmesser (Bauart Schirmer, Richter & Co., Leipzig) zeigt Abb. 897. Er besteht aus zwei inneren Meßkammern J, J_1 und zwei äußeren K, K_1 . Diese stehen mit dem Raum über den Kammern durch die Schlitzte v_1 und h_1 unmittelbar in Verbindung. Die inneren Kammern sind durch die Kanäle e, e_1 mit den Schlitzten v_3, h_3 verbunden. Die Öffnungen v_2, h_2 in der Mitte

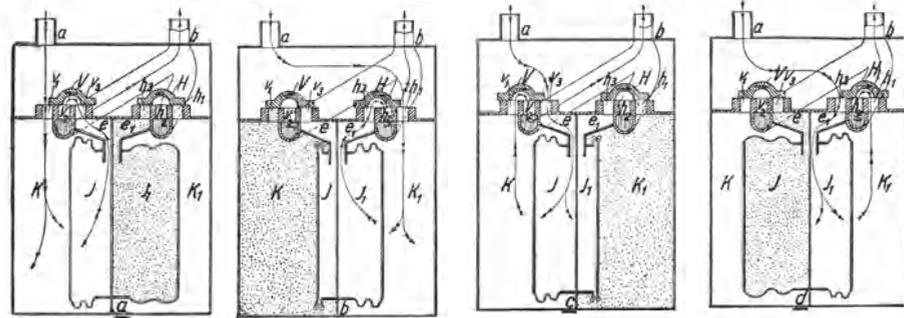


Abb. 897. Wirkungsweise eines trockenen Gasmessers (Schirmer, Richter & Co.).

der Schlitzte führen zum Austritt b . Ein Kurbelmechanismus bewegt zwei Schieber stetig in verschiedener Lage über die sechs Schlitzte, wie Abb. 897 mit vier Stellungen a, b, c, d zeigt. — Die Einbalmesser haben nur zwei Meßkammern. Im Totpunkt des Balgs steuert ein Kippspannwerk Ventile um. Die Hauptspannfeder der Steuerung wird durch den auf die Membran wirkenden Gasdruck betätigt.

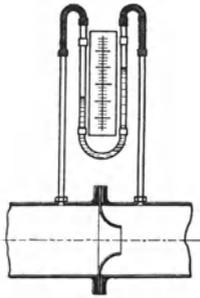


Abb. 898. Düse.

Die mit Membranen oder mit Bälgen arbeitenden trockenen Gasmesser sind bis etwa 1000 m^3 Stundenleistung brauchbar. Für größere Leistungen kann man Drehkolbenmesser verwenden, die ähnlich wie ein Kapselgebläse (s. d.) gebaut sind und sich infolge ihres kleinen Gehäuseinhalts auch für hohe Drücke eignen. Sie können mit hohen Drehzahlen und mit einer Meßgenauigkeit arbeiten, die infolge der zwangsläufigen Wirkungsweise bis herab zu $\frac{1}{10}$ der Dauerbelastung innerhalb der Grenzen von ± 1 Proz. liegt, und vertragen hohe Überlastungen (v. Schütz, Z. VDI 1932, S. 521).

Genauere Messungen kann man ferner durch Aufpumpen eines Behälters von bekanntem Inhalt erhalten (s. auch Gasbehälter).

Die Messung größter Mengen mit Hilfe der Geschwindigkeit ist in einfachster Weise durch Erzeugung eines Staudrucks durch Blenden oder Meßflansche (s. d.) möglich. Um den Druckverlust zu verringern, führt man die Durchströmungsöffnung vielfach auch als Düse aus. Eine derartige, in eine Gasleitung eingebaute Düse zeigt Abb. 898. Bei Normaldüsen für Leistungsveruche an Ventilatoren beträgt das Verhältnis des Düsendurchmessers zu der lichten Weite der Rohrleitung = 0,4.

Für große Leistungen wendet man zuweilen Teilstromgasmesser an. Bei dieser Einrichtung wird in eine parallel geschaltete Nebenleitung eine Düse von bestimmtem Querschnitt oder ein Gasmesser anderer Bauart eingebaut, während die Hauptleitung eine große Anzahl gleicher Düsen oder einen Venturimesser erhält (Strömungsteiler). Zur Feststellung der Gasmenge hat man dann nur die Gesamtzahl der Düsen mit der Ablesung am Gasmesser zu multiplizieren, was durch entsprechende Eichung des Zählwerks gleich beim Ablesen geschehen kann.

Mit Hilfe eines Druckunterschiedes kann man die Gasgeschwindigkeit ferner mit den Venturimessern (s. d.) und den Staurohren (s. d.) messen. Das Staurohr bestimmt die Geschwindigkeit nur an einer Stelle, so daß bei seiner Verwendung zur Mengenmessung die Geschwindigkeitsverteilung im ganzen Querschnitt bekannt sein muß. Dasselbe gilt auch für die Anemometer, die in Form eines kleinen Flügelrads oder eines Schalenkreuzes in den Gasstrom gebracht werden. Die Achse der Flügelradanemometer steht in der Strömungsrichtung, die der Schalenkreuzanemometer senkrecht zur Strömungsrichtung.

In einfacher Weise kann man jeden Schieber, Hahn oder jedes Ventil für Gasmessungen verwenden, indem man den Druckunterschied vor und hinter diesem Drosselorgan mißt, wobei man einen bestimmten Druckabfall durch Verstellen

des Drosselorgans einstellt und z. B. durch einen neben der Spindel angeordneten Maßstab die durchgehende Menge abliest. Dieses Verfahren beruht darauf, daß bei den üblichen Schiebern, Ventilen und Hähnen die Durchgangsmenge bei annähernd gleichbleibendem Druckverlust von dem freien Querschnitt der Drosselvorrichtung abhängig ist. In ähnlicher Weise kann man auch den Druckabfall in einem glatten Rohrstück messen und hieraus die durchströmende Menge angenähert berechnen.

Ein anderes Meßverfahren besteht darin, daß man senkrecht zum Gasstrom eine Scheibe einsetzt. Der Druckunterschied vor und hinter der Scheibe, der nur von der Geschwindigkeit abhängt, kann dann zur Messung der durchströmenden Gasmengen dienen. Bei der auch als Pneumometer bezeichneten Ausführungsart nach Abb. 899 besitzt die Metallscheibe zwei voneinander getrennte Kammern b_1 und b , in denen sich in der Scheibenmitte zwei kleine Öffnungen a und a_1 befinden. Die mit den Schlauchanschlüssen g versehenen Leitungen übertragen den Druckunterschied auf das Anzeigeinstrument. Bei der von *Prandtl* angegebenen Ausführungsart (Abb. 900) ist in die Leitung eine dünne Messingplatte eingesetzt. Zur Übertragung des Drucks sind zwei gekrümmte Rohre dicht gegen die Mitten der Scheibenseiten geführt. (Chem. Apparatur 1916, S. 198.)

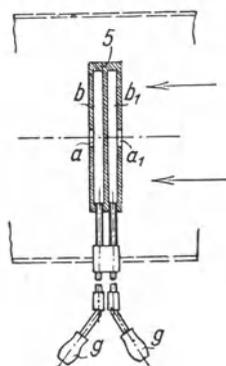


Abb. 899.
Pneumometer.

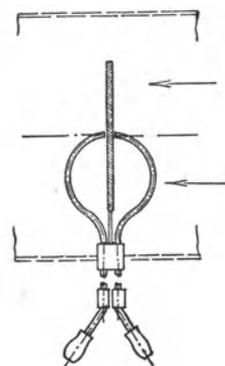


Abb. 900.
Staubscheibe *Prandtl*.

Bezeichnet man den Druckunterschied vor und hinter der Scheibe in Millimeter WS mit p , mit γ das spezifische Gewicht, so ergibt sich die Geschwindigkeit v in m/sek aus der Beziehung $v = \sqrt{\frac{2 g p}{1,37 \gamma}}$.

Die mit Erzeugung eines Druckgefälles arbeitenden Strömungsmesser zeigen mit Hilfe eines Geberätes die augenblickliche Durchgangsmenge an, wobei zugleich die Gesamtmenge durch Integration der Belastung nach der Zeit mittelbar gezählt werden kann. Als Geberäte dienen Druckmesser (s. d.)



Abb. 901. Skalgasmesser (Rotameter).

verschiedener Bauart, die oft zum Aufzeichnen der Wurzelwerte eingerichtet sind, da das Meßdruckgefälle quadratisch mit der Durchgangsmenge wächst und die Anzeigeskala möglichst linear sein soll. Zur Mengenzählung benutzt man unmittelbar mechanisch planimetrierende Getriebe oder meist elektrisch betätigte Ferngeber.

Eine Sonderbauart zur Gasmengenmessung ist der Rotameter (Abb. 901). Er besteht aus einem nach oben erweiterten Glasrohr, in dem ein Hartgummistück schwebt, das entsprechend der vorhandenen Gasgeschwindigkeit mehr oder weniger hochsteigt. Auf dem Schwebestück sind schraubenförmige Nuten angebracht, wodurch dieses in schnelle Umdrehungen versetzt wird. Da der Schwimmer mit den Wandungen des Glasrohrs kaum in Berührung kommt und daher fast ohne Reibung seine Lage verändern kann, ist die Empfindlichkeit der Messung und auch die Dauerhaftigkeit des Apparates groß. Der Meßbereich beträgt etwa 1 : 10. Diese Meßgeräte haben sich besonders zur Gasmengenmessung in der Stickstoffindustrie bewährt.



Abb. 902. Citometer von Rabe.

Ein ähnlicher Messer ist der Citometer von Rabe (Abb. 902). Der kugelig gestaltete Schwimmer g befindet sich in einem konisch erweiterten Rohr c , das aus Metall angefertigt und genau gebohrt ist. Die Stellung des Schwimmers g wird an dem Zeiger h abgelesen, der sich innerhalb des Glasrohrs d über einer Skala f bewegt. (Chem. Apparatur 1916, S. 197.)

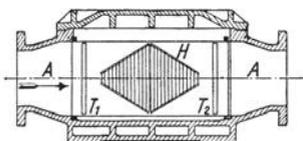


Abb. 903. Thomas-Gasmesser.

Auch eine geringe, durch den Messer bewirkte Erwärmung der Gase läßt sich zur Messung der durchströmenden Menge benutzen, da die spezifische Wärme der Gase nahezu unveränderlich ist, was gleichzeitig den Vorteil bietet, daß die Messungen unabhängig von Druck und Temperatur werden.

Man kann entweder dem Gas eine unveränderliche Wärmemenge zuführen, dann ist die Temperaturerhöhung proportional der Gasmenge. Oder man arbeitet mit unveränderlicher Temperaturerhöhung, wobei die Gasmenge der zuzuführenden Energie proportional ist. Bei dem in Abb. 903 dargestellten Thomas-Messer erwärmt der Heizkörper H das Gas; die Meßwiderstände T_1 und T_2 bestimmen die Temperaturerhöhung. (Chem. Apparatur 1916, S. 190.) Dem Heizkörper H wird selbsttätig eine dem jeweiligen Gasstrom entspre-

chende Energiemenge derart zugeführt, daß die Temperaturerhöhung unveränderlich bleibt. Ein Wattmeter zeigt die in jedem Augenblick erforderliche Energiemenge und damit gleichzeitig die Gasmenge an. *Thomas-Messer* werden für Leistungen von 800—20000 m³ in der Stunde gebaut.

Lit.: *L. Litvinsky*, Messung großer Gasmengen (Leipzig 1922, Spamer). — *E. Ower*, The Measurement of Air Flow (London 1927, Chapman). — *W. Bertelsmann* u. *F. Schuster*, Einführung in die technische Behandlung gasförmiger Stoffe (Berlin 1930, Springer). — *A. Schäfer*, Einrichtung und Betrieb eines Gaswerks (4. Aufl., München 1929, Oldenbourg). — *H. Kumbruch*, Messung strömender Luft mittels Staugeräten (Berlin 1921, VDI-Verlag). — *A. Ernst*, Über Gasmessungen (Chem. Apparatur 1916, S. 197). — *Wehrmann*, Störungen an trockenen Gasmessern (Gas- u. Wasserfach 1930, S. 901). — *Ludwig*, Moderne Gasverteilung und Gasmesser (Gas- u. Wasserfach 1930, S. 1201). — *M. Schaack*, Ausführungsformen von hydraulischen Meßapparaten für Strömungs-Gasmessung (Gas- u. Wasserfach 1928, S. 1137). — *Geipert*, Die Messung des Rohgases (Gas- u. Wasserfach 1926, S. 61). — *F. Firth*, Zur Gasmesserfrage (Gas J. 1926, S. 41).
Thormann.

Gasometer, s. Gasbehälter.

Gasoxydationsapparate, s. Gasverbrennungsapparate.

Gasreaktionsapparate (*s. auch Gasverbrennungsapparate*). Die Durchführung einer chemischen Reaktion in der Gasphase ist an bestimmte Gleichgewichtsbedingungen gebunden, die für eine gegebene Temperatur durch ein bestimmtes Verhältnis der Teildrücke der gegenseitig aufeinander einwirkenden Bestandteile gekennzeichnet sind. Um den Vorgang so wirtschaftlich wie möglich ablaufen zu lassen, müssen meist bestimmte Temperaturgrenzen eingehalten werden. Höhere Temperaturen drängen exotherme Reaktionen zurück, und umgekehrt verstärkt eine Wärmeabfuhr die wärmeabgebende Umsatzrichtung.

Der Gesamtdruck hat auf das Gleichgewicht bei Reaktionen, die ohne Änderung der Molzahl verlaufen, keinen Einfluß. Ändert sich jedoch die Molzahl bei der Reaktion, so hängt der Dissoziationsgrad eines Gemisches oder der Bildungsgrad eines Umwandlungserzeugnisses von dem Druck ab. So wächst beispielsweise der Ammoniakanteil bei der Bildung aus Wasserstoff und Stickstoff mit zunehmendem Gesamtdruck stark an. Bei geringem Druck erhält man daher nur eine kleine NH₃-Ausbeute, die sich durch Anwendung höherer Drücke zunehmend steigern läßt. — Als Beispiel zeigt Abb. 904 die Lage des Ammoniakgleichgewichts bei verschiedenen Drücken und Temperaturen (*Ernst*, Fixation of Atmospheric Nitrogen, London-New York 1928, S. 54; *B. Waeser*, Die Luftstickstoffindustrie, 2. Aufl., Leipzig 1932, Spamer, S. 249).

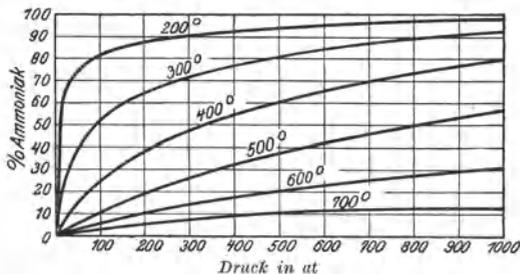


Abb. 904. Ammoniakprozent im Gleichgewichtszustand.

Die Größe der Apparatur hängt wesentlich von der Reaktionsgeschwindigkeit ab. Im allgemeinen wird das Gleichgewicht bei hohen Temperaturen

schneller erreicht als bei niedrigen Temperaturen. Die Schlüsse, die man daraus für die Durchführung eines Verfahrens ziehen kann, sind jedoch verschieden, z. B. je nachdem, ob man ein Gleichgewicht erreichen oder verhindern will. Besonders bei exothermen Reaktionen könnte man große Stoffumsätze erreichen, wenn die Reaktionsgeschwindigkeiten ausreichend groß wären. In solchen Fällen wendet man besondere Mittel, die sog. Katalysatoren, zur Beschleunigung des Vorgangs an, die zwar das Gleichgewicht an sich nicht verschieben, aber die Geschwindigkeit der Einstellung beeinflussen, ohne in die Endreaktionserzeugnisse einzugehen. Der Endzustand, der von der Natur des Katalysators unabhängig ist, wird also in kürzerer Zeit erreicht als ohne Mitwirkung dieser Mittel. Eine katalytische Wirkung können Gase (z. B. Stickoxyde beim Kammerschwefelsäureverfahren) oder Dämpfe, besonders auch Wasserdampf, ausüben. Die technisch wichtigsten Katalysatoren sind jedoch feste Stoffe, insbesondere Schwermetalle und Metallverbindungen. Mit diesen Beschleunigern läßt sich eine Gasreaktion in verhältnismäßig kleinem Raum durchführen, wobei man mit Temperaturen arbeitet, bei denen das Gleichgewicht besonders günstig liegt. Dabei ist es meist nicht erforderlich, eine bestimmte Temperatur genau einzuhalten, was die technische Durchführung erschweren würde. Wenn die Gasreaktion bei höheren Temperaturen in der gleichen Richtung verläuft und Reaktionserzeugnisse, Katalysator und Apparatebaustoff gegen diese höheren Temperaturen unempfindlich sind, genügt es oft, die günstigste Temperatur nur am Ende der Reaktion einzuhalten und bei Beginn auch höhere Temperaturen zuzulassen. Dabei ergeben sich dann geringere Reaktionsräume als bei der Durchführung des Verfahrens unter gleichbleibender Temperatur.

Bei einzelnen Verfahren wirken Adsorptionserscheinungen wesentlich mit. In solchen Fällen weisen die Vorgänge im Betrieb und die Anforderungen an den Bau dieser Reaktionsapparate Ähnlichkeit mit der Adsorption auf (s. Adsorptionsapparate).

Bei den meisten in der Technik durchgeführten Gasreaktionen wird das theoretische Gleichgewicht nicht erreicht. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, die nach Abscheidung des zu gewinnenden Stoffes übrigbleibenden Restgase wieder im Kreislauf in den Reaktionsapparat zurückzuführen.

Vollziehen sich die Umwandlungen bei höheren Temperaturen, so erfordert die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens, die in den Reaktionsgasen enthaltenen Wärmemengen wiederzugewinnen. In den Kreislauf eingeschaltete Wärmeaustauscher (s. d.) müssen diese Aufgabe übernehmen. Sie sind so zu bemessen, daß sich im Dauerbetrieb die günstigste Reaktionstemperatur oder eine bestimmte, vorteilhafte Temperaturverteilung auf dem Strömungsweg der Gase infolge eines andauernden Gleichgewichts zwischen frei werdender Wärme und Wärmeabfuhr einstellt. Die Wärmeaustauscher sind meist ganz oder teilweise unmittelbar in dem Reaktionsapparat untergebracht, wobei sich eine einfache und billige Bauweise ergibt. Die Wärmeaustauschflächen bestehen aus Rohren oder Rohrbündeln oder aus zylindrischen Mänteln. Über die thermischen Verhältnisse und Bemessung von Röhrenapparaten für exotherme heterogene Gaskatalysen s. *W. Leitenberger*, Chem. Apparatur 1934, S. 113, 121, 133.

Die Größe der Apparatur für eine bestimmte Leistung hängt abgesehen von der Umsatzgeschwindigkeit wesentlich von der Beschaffenheit des bei der

Reaktion mitwirkenden Überträgers ab. Besteht dieser aus Gasen wie bei der Gewinnung von Schwefelsäure nach dem Bleikammerverfahren, so sind sehr große Apparateräume erforderlich. Ein hochaktiver, fester Katalysator ergibt umgekehrt kleine Apparaturen.

Für einen gegebenen Katalysator wird die Größe des notwendigen Apparateräumes wesentlich von der Gasgeschwindigkeit beeinflusst. Diese muß so gewählt sein, daß die gewünschten Gleichgewichtsbedingungen in der Apparatur möglichst erreicht werden, damit das gewünschte Reaktionsprodukt im Endgas einen möglichst hohen Anteil erreicht. Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich mit steigender Geschwindigkeit auch der Stoffumsatz verändert. Beispielsweise verschiebt sich bei der Ammoniak-synthese das tatsächlich erreichte Ammoniakgleichgewicht mit steigender Gasgeschwindigkeit immer mehr auf Kosten des Ammoniakgehalts.

Verhältnismäßig einfach gestaltet sich Bau und Betrieb der Apparatur bei Gasreaktionen mit Sauerstoff, also bei der Gasverbrennung oder Gasoxydation. Die hierzu dienenden Gasverbrennungsapparate (s. d.) arbeiten meist mit atmosphärischem Druck, was die Beherrschung des Gleichgewichtszustandes und den Aufbau der Apparatur erheblich vereinfacht. Die Anwendung wirksamer Katalysatoren oder die Wirkung elektrischer Lichtbögen ergibt dabei trotz des geringen Gasdruckes kleine Reaktionsräume.

Große Apparateräume erfordert die Gewinnung von Schwefelsäure nach dem Kammerverfahren, wobei zur Übertragung des Sauerstoffs aus der mitgeführten Luft auf die Schwefelige Säure Stickoxyde dienen. Hierzu führt man die aus dem Glover-Turm kommenden, gereinigten Röstgase in die aus Bleiblech bestehenden Kammern, wo der mitgeführte Luftsauerstoff die Schwefelige Säure unter Vermittlung von Salpetriger Säure und Wasser in Schwefelsäure von etwa 45—55° Bé (Kammersäure) umwandelt. Die Abgase aus der letzten Kammer gehen in die sog. Gay-Lussac-Türme, in denen herabrieselnde Schwefelsäure die salpetrigen Gase aufnimmt. Der Vorgang ist stark exotherm, da auf 1 kg Schwefelsäure etwa 600—700 kcal frei werden. S. auch Keram. Werkstoffe (Abschn. 4).

Die Bleikammern haben einen Rauminhalt von etwa 1000—5000 m³ und sind aus Weichbleiblechen von etwa 3 mm Stärke aufgebaut, die mit der Wasserstoffflamme zusammengeschweißt sind. Die Wandungen der Kammer tauchen unten in eine Bodenschale, die mit Kammersäure gefüllt ist. Sie ruht auf einem von Stützen getragenen Unterbau. Decke und Seitenwände sind an Holz- oder Eisengerüsten, beispielsweise auch an der Dachkonstruktion der Kammerhalle, hängend befestigt. Nach einer von R. Moritz angegebenen Bauart hängt man die Kammerwände an Flacheisen auf, wie Abb. 905 mit einem Beispiel zeigt (Chem. Apparatur 1932, S. 81). Die Rippen begünstigen dabei die Wärmeausstrahlung.

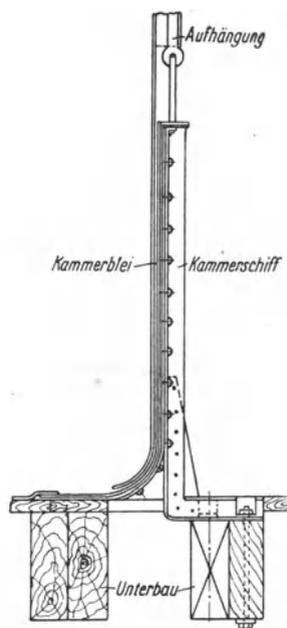


Abb. 905. Aufhängung des Kammerbleies nach Moritz.

Ein System enthält meist 2—4 Kammern. Im allgemeinen steigt die Leistung bei gleichem Gesamtraum mit der Anzahl der Kammern. Die Bildung der Schwefelsäure wird durch eine gute Durchmischung der Gase und durch große kühlende Flächen stark gefördert. In der ersten Kammer soll die Temperatur nicht über 90° steigen, in der letzten Kammer sinkt sie auf etwa $30\text{--}50^\circ$. Um das von der Decke aus mit Zerstäubungsvorrichtungen (s. Zerstäuber) eingespritzte Wasser gut zur Wirkung zu bringen, und um große Abkühlungsflächen zu erhalten, baut man statt der früher üblichen

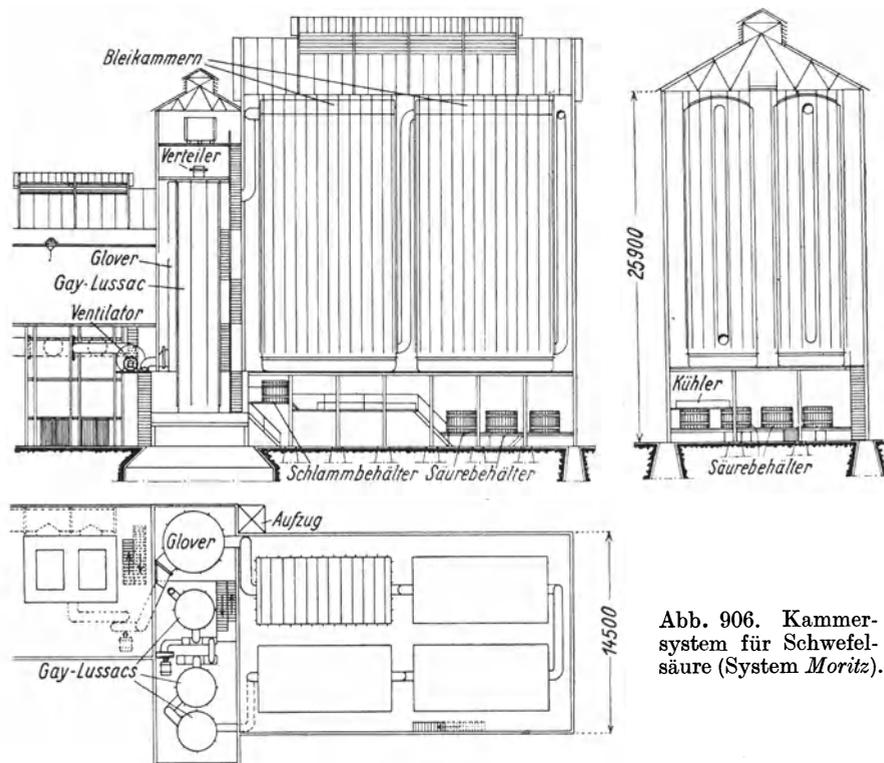


Abb. 906. Kammer-system für Schwefelsäure (System Moritz).

breiten und niedrigen Kammern heute meist schmale und hohe Kammern, die eine Höhe von 20—25 m erreichen. Als Ausführungsbeispiel einer derartigen Kammer zeigt Abb. 906 ein Kammer-system von 4000 m^3 Kammerinhalt.

Zur Verbindung der Kammern untereinander und mit den vor- und nachgeschalteten Türmen dienen weite Bleirohre. In die zu den Türmen führenden Leitungen sind Glasfenster (Laternen) eingebaut, um die Färbung der Gase erkennen zu können. Die Gase treten meist oben in die Kammern ein und strömen dann langsam nach unten. Es gibt aber auch Kammern mit Unterverbindungen, wie Abb. 907 mit einem Beispiel zeigt (Chem. Apparatur 1932, S. 82). Die warmen Gase steigen nach ihrem Eintritt in die Kammer nach oben, fallen dann infolge der Abkühlung an den Wänden herab und gelangen so zur Verbindungsleitung, die zur nächsten Kammer führt.

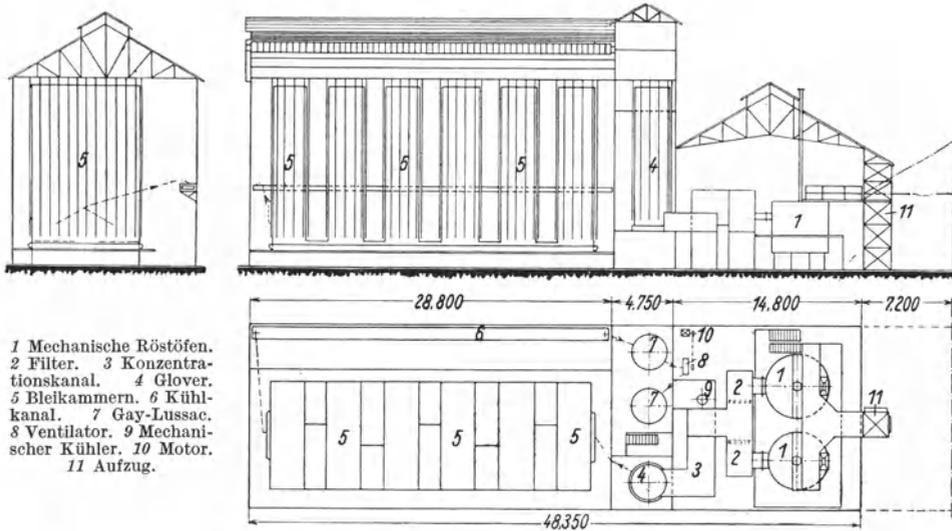


Abb. 907. Bleikammersystem mit Untenverbindungen.

Die Kammersäure wird von Zeit zu Zeit in Bleibehälter abgelassen. Die Ausbeute für 1 m^3 Kammerraum beträgt etwa 6—8 kg/Tag. Reichliche Zufuhr von Salpetersäure erhöht die Ausbeuten. Wirksame Kammersysteme erzeugen auch 10 kg Säure von 60° Bé /Tag und darüber für 1 m^3 Kammerraum.

Zur Bewegung der Gasmassen dienen Ventilatoren, die meist aus Steinzeug bestehen. Das Gebläse steht in der Regel vor dem Glover-Turm, damit die Druckverhältnisse in dem gesamten System sich so einstellen, daß in den Kammern ein geringer Überdruck oder ein geringer Unterdruck herrscht. Oft wird zwischen die Gay-Lussac-Türme noch ein Ventilator eingeschaltet, um die Druckverhältnisse ausgleichen zu können.

Zur Gewinnung von Phosgen läßt man Chlor und Kohlenoxyd über einen Katalysator, der meist aus aktiver Kohle besteht, bei etwa 125° streichen. Da Chlor und Kohlenoxyd getrennt erzeugt werden, gehen diese Gase zunächst in einen Mischer, der aus einem Bleizylinder besteht, in dessen Innerem eine Anzahl Siebe hintereinander angeordnet ist. Die Form der Reaktionsapparate ist verschieden (Chem. Apparatur 1928, S. 259). Bei Verwendung eines Gasgemisches mit inerten Gasen bestehen sie aus etwa 10 m hohen Türmen aus Blei von etwa 1 m Durchmesser, die von außen mit Wasser gekühlt sind, wie Abb. 908 zeigt. Die Reaktion

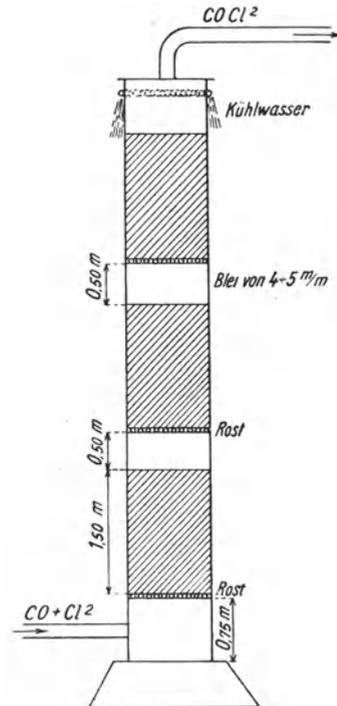


Abb. 908. Katalysatorurm für Phosgen.

läuft zuerst in der untersten Schicht ab, die sich dabei auf 350° erwärmt. Allmählich wandert die Reaktionszone nach oben. Die Umwandlung nimmt dann ab, so daß die Kohle erneuert werden muß. — Bei anderen Bauarten ruht die Katalysatormasse in Bleizylindern von 1,5—2 m Durchmesser und 1 m Höhe. Die Kohlschicht ist etwa 90 cm hoch und ruht auf einer Siebfläche, unter der sich Kühlrohre befinden. Außerdem sind auch in der Kohlenmasse Kühl-schlangen angeordnet, wie Abb. 909 zeigt. — Ein Reaktions-apparat zur Gewinnung von Phosgen, bei dem die Kohle in wassergekühlten Rohren liegt, ist auf Abb. 910 dargestellt. Die Rohre sind unterhalb des unteren Bodens zum Einlassen der Gase siebartig gelocht. Der Bleizylinder hat etwa 1,8 m Durchmesser und 1 m Höhe. — (S. auch Chim. et Ind. 1928, S. 24.) — Soweit die aktive Kohle lediglich als Adsorptions-mittel dient, s. Adsorptionsapparate.

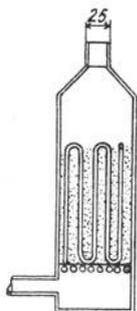


Abb. 909. Katalysator-apparat für Phosgen.

Bei der Ammoniaksynthese aus Wasserstoff und Stickstoff arbeitet man mit Drücken, deren Höhe von den Eigenheiten des Verfahrens und insbesondere von der Beschaffenheit der ange-wendeten Katalysatoren abhängt. Je höher der Druck ist, um so größer ist unter sonst gleichen Verhältnissen die Ammoniakbildung und die Wärme-

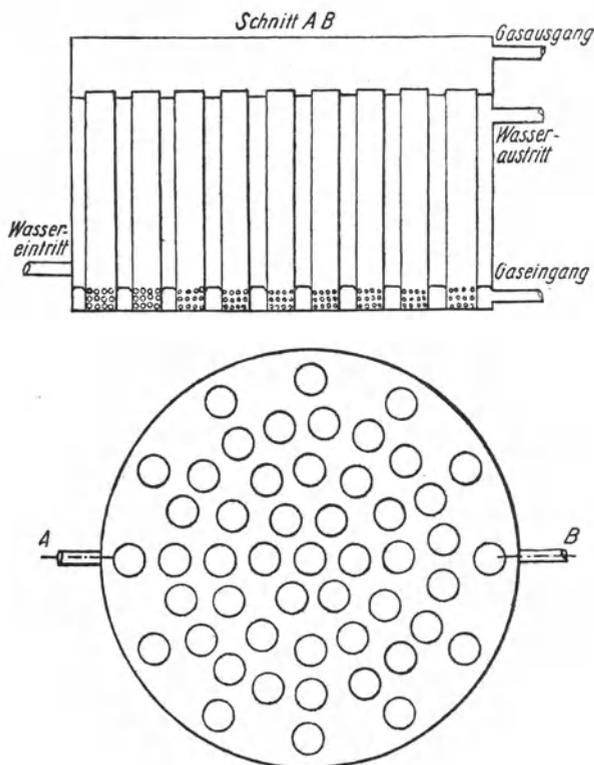


Abb. 910. Katalysatorapparat für Phosgen.

erzeugung. Da das Vo-lumen sich mit steigen-dem Druck vermindert, wird die Wärme mit zunehmendem Druck in einem entsprechend klei-neren Raum frei. Bis zu einem bestimmten Druck dient diese Wärmeent-wicklung dazu, die Re-aktionstemperatur ohne Beheizung aufrechtzuer-halten. Über diesem Grenzdruck ist jedoch eine Wärmeabfuhr erfor-derlich, um Temperatur-steigerungen zu verhinder-n, die die Festigkeit des Baustahls vermindern würden. Der gün-stigste Betriebsdruck hängt also wesentlich von der Güte des Kata-lysatoren ab. Je aktiver dieser ist, um so größer ist die Ammoniakbildung, und desto niedriger muß der Betriebsdruck sein (nach B. Waeser, S. 265).

Bei dem *Haber-Bosch*-Verfahren strömt das gereinigte Wasserstoff-Stickstoff-Gemisch mit 200 at Druck in den Reaktionsapparat, nachdem vorher das stöchiometrische Verhältnis zwischen Wasserstoff und Stickstoff mit Linde-Stickstoff richtig eingestellt wurde. Infolge des hohen Innendrucks und der Notwendigkeit, als Werkstoff geschmiedeten Stahl zu verwenden, muß der Apparat in Gestalt eines Rohres ausgeführt werden, das etwa eine Länge von 12 m und eine Wandstärke von etwa 12 cm erhält (s. auch Hohlkörper). Die Ausführung der Apparatur muß die Möglichkeit des Wasserstoffangriffs auf das Gefüge berücksichtigen, der durch Eindiffundieren in das Eisen, Entkohlung des Perlit und Bildung von sprödem Wasserstoffeisen die Festigkeit gefährdet. Um diesen Gefahren zu begegnen, dient die Apparatewandung, also der Stahlmantel, lediglich dazu, den Innendruck aufzunehmen. Die Aufgabe der gasdichten Abschließung nimmt man ihm ab, indem man ihn mit einem dünneren Futter versieht und den durch das Futterrohr tretenden Wasserstoff drucklos nach außen abführt. Hierzu sieht man im Stahlmantel zahlreiche Bohrungen vor und schneidet in die Außenfläche des inneren Futterrohrs zahlreiche Rillen zur Gasfortleitung ein. Infolge des hohen Innendrucks legt sich das Futterrohr fest gegen die Innenfläche des Stahlmantels, der die Druckkräfte aufnimmt. Neben der Entgasung wendet man noch die Stickstoffspülung an, um den Wasserstoffangriff auf das Gefüge zu hemmen, indem man in den Raum zwischen Futterrohr und Mantelrohr Stickstoff einleitet.

Den grundsätzlichen Aufbau eines Reaktionsapparates für das *Haber-Bosch*-Verfahren, den man auch als Kontaktoven bezeichnet, zeigt Abb. 911 (nach *B. Waeser*, S. 263). Das drucktragende Stahlrohr besteht aus zwei gleichlangen Teilen, deren Flansche mit Schrauben verbunden sind. Oben und unten sind die Rohre mit starken Stahldeckeln verschlossen. In Abständen von etwa 20 cm enthält das Rohr Bohrungen zur Entgasung. An das Mantelrohr legt sich ein Futterrohr von etwa 3 cm Stärke aus weichem Eisen an. Auf dieses Futterrohr folgt in einem Abstand von 1–2 cm ein zweites Stahlrohr mit einer feuerfesten Isolierung. Durch den Zwischenraum zwischen diesen beiden Rohren wird Stickstoff geleitet. Das von unten bei *O* eintretende Stickstoff-Wasserstoff-Gemisch gelangt aus dem Röhrenwärmeaustauscher *E* durch ein in die Apparatemitte gelegtes Rohr in den Kontaktraum, den es von oben nach unten durchströmt. Nach der Umsetzung ziehen die heißen Gase durch die engen Rohre des Wärmeaustauschers *E* und treten bei *S* aus dem Apparat, um in die Absorptionstürme zu strömen, wo eingespritztes Wasser ihnen den Ammoniakanteil entzieht. Ein Teil der Gase wird durch Tiefkühlung in verflüssigtem Zustand gewonnen. Die Leistung eines großen Ofens beträgt etwa 55 t Stickstoff täglich. (*C. Bosch*, Z. VDI 1933, S. 315.) Die Berührung zwischen den Gasen und dem Katalysator dauert etwa 20 Sekunden. Um den Ofen bei der Inbetriebsetzung auf die Reaktionstemperatur von etwa 500°

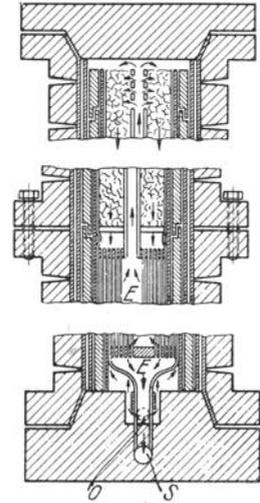


Abb. 911. Kontaktoven (Syntheserohr) des *Haber-Bosch*-Verfahrens.

zu bringen, ist in dem mittleren Zuführungsrohr eine elektrische Widerstandsheizung vorgesehen. Im übrigen genügt die Bildungswärme des Ammoniaks, um die Reaktionstemperatur dauernd aufrechtzuerhalten. Die Abgase enthalten im Mittel etwa 7 Proz. Ammoniak. Eine Umlaufpumpe drückt die in der Ammoniakabsorption nicht aufgenommenen Restgase in die Frischgasleitung zurück. An den Stellen, die schlecht durch ein Futterrohr zu schützen sind, wendet man Eisenlegierungen, die Kohlenstoff mit Co, W und Ni enthalten (Edelstähle), an. (*C. Bosch, Z. VDI 1933, S. 310.*)

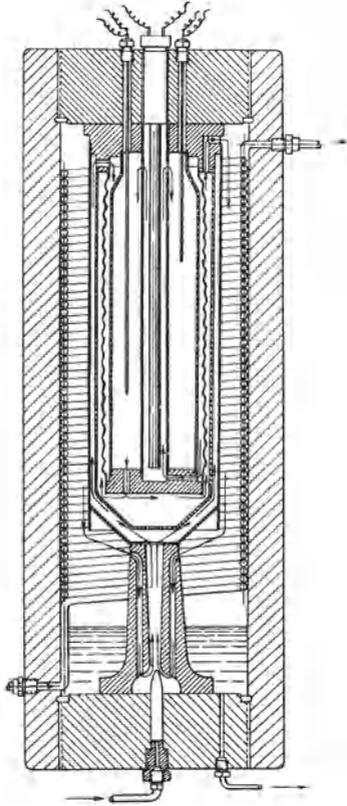


Abb. 912. *Casale*-Einzelrohr.

Um die Ammoniakausbeuten zu steigern, führte *G. Claude* bei dem von ihm entwickelten Verfahren besonders hohe Drücke, und zwar über 900 at bis zu 1000 at, ein. Er wendet dabei mehrere hintereinandergeschaltete Syntheserohre an. Das aus dem letzten Rohr entweichende Gas wird von einem Umlaufpresser auf 1000 at verdichtet und in den Kreislauf zurückgeführt. Hinter jedem Syntheserohr ist ein Kühler eingeschaltet, dem ein Abscheider folgt. Das in den Abscheidegefäßen sich sammelnde flüssige Ammoniak gelangt von dort in die Lagerbehälter. Zur Einleitung der Reaktion sind die Katalysatorrohre mit einer elektrischen Widerstandsheizung versehen. Durch Isoliermäntel und andere Maßnahmen wird erreicht, daß die druckaufnehmende Stahlwand trotz der hohen Innentemperaturen nur etwa 60–70° warm wird (*B. Waeser, S. 271*). Die Katalysatormasse, die aus Körnern von etwa 2 bis 4 mm besteht, befindet sich in einem besonderen Behälter, der außen im Gegenstrom von den eintretenden Gasen umströmt wird. Er ist am Deckel des Stahlmantels befestigt, so daß die Masse in kurzer Zeit ausgewechselt werden kann. Das Innenrohr ist außen mit einer Isolierschicht umgeben, um die Ausstrahlung der Reaktionswärme zu verhindern. Nach *Matignon* (*Chim.*

et Ind. 1928, S. 365) haben die größten Syntheserohre (30-t-Einheiten) beim *Claude*-Verfahren bei 3,5 m Höhe einen Außendurchmesser von 70 cm.

Das *Casale*-Verfahren arbeitet mit Eisenkatalysatoren unter Betriebsdrücken von 600–800 at bei Temperaturen von 500–550°. Um den Einfluß der Reaktionswärme zu vermindern, beläßt man dabei 3–5 Proz. Ammoniak in den Kreislaufgasen (*B. Waeser, S. 275*). Auf Abb. 912 ist ein Reaktionsapparat nach *Casale* nach dem Brit.P. 328139 dargestellt (*Chem. Apparatur 1932, S. 201*). Pfeile kennzeichnen die Bewegung der Gase. Das den Druck aufnehmende Stahlrohr enthält den Katalyseapparat, den Injektor zur Förderung der Restgase, den Kühler, den elektrischen Heizwiderstand und den Hochdruckammoniaksammler. Durch diese Zusammenfassung ergeben sich geringe Anschaffungskosten und kleiner Platzbedarf. Die Katalysatormasse

befindet sich im inneren Ringraum. Die übrigen, durch zylindrische Mäntel gebildeten Räume dienen dem Wärmeaustausch. Der Hochdruckpresser bringt die Gase mit einem Druck, der etwas höher als der Betriebsdruck ist, in den Reaktionsapparat, um ein Gefälle zur Entspannung in der Düse des Injektors für den Gasumlauf zu erzeugen. Die Reaktionswärme wird durch Kühlung teilweise abgeführt und durch elektrische Heizung wieder zugeführt, um den Vorgang beherrschen zu können. Das *Casale*-Verfahren wird jedoch auch ohne elektrische Dauerheizung ausgeführt. Das Kühlwasser tritt in die Rohrschlange links unten (Abb. 912) ein und verläßt oben rechts den Apparat. Die elektrische Heizvorrichtung befindet sich in dem mittleren, isolierten Innenrohr. Die Hochdruckgase treten unten in die Injektordüse ein. Die Restgase strömen durch Kanäle im Injektor zum Düsenmund. Das flüssige Ammoniak sammelt sich in dem Unterteil, aus dem es von Zeit zu Zeit abgezogen wird.

Das *Fausser*-Verfahren arbeitet ähnlich wie das *Haber-Bosch*-Verfahren bei 550° unter Drücken von 200—250 at. Der Katalysator besteht aus Eisenoxyd, dem bestimmte Aktivatoren zugesetzt sind. Bei diesem Verfahren ist man bestrebt, die bei der Reaktion frei werdende Wärmemenge ständig abzuführen, um günstige Reaktionstemperaturen örtlich unverändert zu erhalten. Nach *B. Waeser* erreicht *Fausser* durch geregelte Kühlung der Katalysatormassen, daß sich die Reaktion praktisch zwischen 550 und 450° mit einer Spitze bei etwa 590° abspielt, während sich das als Kühlmittel dienende Gas von etwa 325° auf 550° erwärmt. Einen Reaktionsapparat für die Ammoniak-synthese nach *Fausser* zeigt im Schnitt Abb. 913 (*B. Waeser*, S. 282). Das bei *A* eintretende gereinigte Stickstoff-Wasserstoff-Gemisch gelangt zunächst in den Wärmeaustauscher *B*, der aus den Rohren *D* besteht, die im Boden *C* befestigt sind.

Die in die Rohre eingesetzten Spiralstücke *E* erzeugen eine Wirbelbewegung und verbessern dadurch den Wärmeübergang. Die Katalysatorfüllung *F* ruht zwischen den Kühlrohren, so daß die Reaktionswärme gleichmäßig abgeführt wird. Die Restgase verlassen durch *G* den Apparat. Zur Einleitung der Reaktion dient die elektrische Widerstandsheizung *H*. Im oberen Deckel ist zur Temperaturüberwachung das Thermoelement *J* eingebaut.

Mit Drücken von 200—300 at und Temperaturen von etwa 500° arbeitet das NEC-(Nitrogen-Engineering-Corporation-) Verfahren. Der Reaktionsapparat enthält ähnlich wie die beschriebenen Verfahren im unteren Teil einen Wärmeaustauscher und im oberen Teil die Katalysatorfüllung. Nach *B. Waeser*, S. 286, läßt der Katalysator im oberen Teil des Rohres bei einmaligem Durchgang einen Umsatz von 20—22 Proz. erreichen, so daß sich der größte

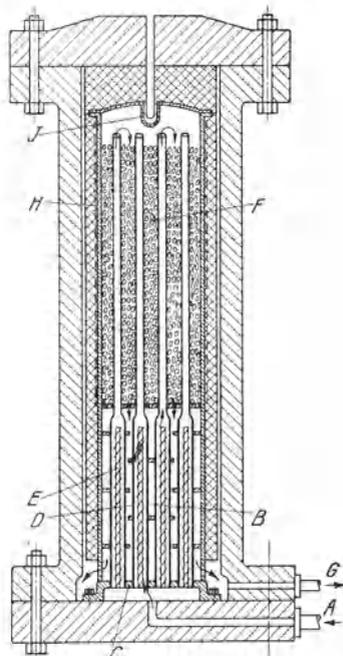


Abb. 913. Syntheserohr nach *Fausser*.

Teil des Ammoniaks ohne Anwendung von Kältemaschinen unmittelbar im flüssigen Zustand ausscheiden läßt.

Bei dem Mont Cenis-Verfahren genügen Drücke von 90—100 at bei einer Betriebstemperatur von 400° , um eine Abgaszusammensetzung von 9 bis 15 Vol.-Proz. Ammoniak in den Endgasen zu erhalten. Der Behälter des Reaktionsapparates kann aus gewöhnlichem Siemens-Martin-Stahl bestehen. Einen Kontaktofen der Hochdruck-Apparatebau G. m. b. H., Dortmund, für das Mont Cenis-Verfahren zeigt Abb. 914 (Chem. Apparatur 1932, S. 201). In dem oben mit einem starken Stahldeckel versehenen Gefäß befindet sich ein zweiter Behälter, der ein Rohrsystem zum Wärmeaustausch aufnimmt. Außerhalb der Rohre ist die Katalysatormasse eingeschüttet. Das kalt eintretende Frischgas strömt an dem Mantel des Innenbehälters vorbei, tritt dann oben in die inneren Wärmeaustauschrohre, strömt in den Ringräumen der äußeren Rohre wieder hoch und zieht dann vorgewärmt durch Öffnungen in diesen Rohren in den Katalysatorraum. Durch Bohrungen in dem unteren Boden gelangen die Endgase zum Austrittsstutzen.

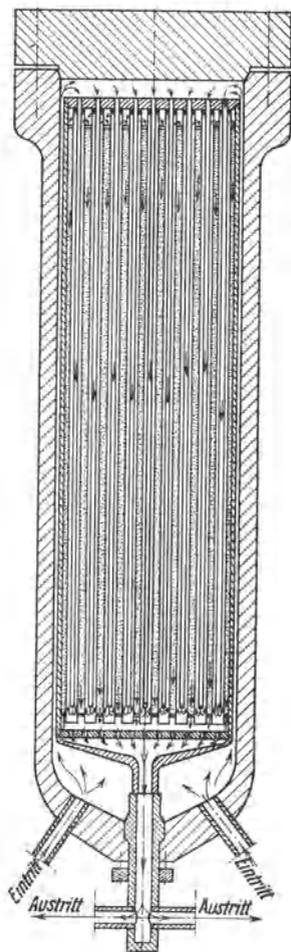


Abb. 914. Kontaktofen der Hochdruck-Apparatebau G. m. b. H., Dortmund, für die Mont Cenis-Ammoniak-synthese.

Neben der Ammoniak-synthese hat unter den Hochdruckgasreaktionen besonders die Methanolherstellung aus Kohlenoxyd und Wasserstoff praktische Bedeutung erlangt. Methylalkohol (Methanol) entsteht besonders dann, wenn man eisen-carbonylfreies Gas, eisenfreie Kontaktmassen (vor allem $ZnO-Cr_2O_3$) verwendet und dazu den Einfluß eiserner Gefäßwände vermeidet (C. Bosch, Z. VDI 1933, S. 317). Grundsätzlich sind die Apparaturen in ihrer Wirkungsweise den für die Ammoniak-synthese entwickelten Apparaten ähnlich.

Große technische Bedeutung hat die Umsetzung von Kohlenoxyd mit Wasserdampf zur Herstellung von Wasserstoff oder Wasserstoffgemischen in der Stickstoffindustrie erlangt. Das Rohgas, beispielsweise ein gereinigtes Gemisch von Generator- und Wassergas, tritt zunächst in hohe Waschtürme, wo es sich durch Berieselung mit heißem Wasser mit Wasserdampf sättigt. Es wird darauf in Wärmeaustauschern vorgewärmt und geht dann in den Reaktionsapparat. Dieser enthält auf mehreren übereinanderliegenden Siebblechen die aus aktiviertem Eisenoxyd bestehende Katalysatormasse. Zur Vollendung der Reaktion sind zwei Apparate hintereinander geschaltet, so daß das Endgas nur 1—2 Proz. Kohlenoxyd enthält. Auch bei diesen Apparaten ist, abgesehen von der Inbetriebsetzung, eine dauernde Beheizung nicht erforderlich.

Weiterhin hat die Herstellung von Harnstoff aus Kohlensäure und Ammo-

niak unter Austritt von Wasser Bedeutung erlangt. Durch Erhitzen von Kohlensäure und Ammoniak auf 130—140° entsteht ein Gemisch von Harnstoff und Wasser. Das Gleichgewicht liegt bei etwa 40 Proz. der theoretischen Ausbeute an Harnstoff günstig. (*C. Bosch*, Z. VDI 1933, S. 317.) Das gebildete Reaktionsgemisch wird nach dem Verfahren der I. G. Farbenindustrie A.-G. durch Destillation unter hohem Druck getrennt. Der Harnstoff verläßt den Destillierapparat als wässrige Lösung.

Zu den technisch wichtigen Gasreaktionen gehört ferner die Hydrierung von Teeren oder Mineralölen in der Gasphase mit Hilfe von Katalysatoren. Dabei kommt es neben der Wasserstoffanlagerung meist auf eine weitgehende Spaltung der Ausgangsstoffe an, um eine hohe Benzinausbeute zu erhalten. Bei diesem Verfahren arbeitet man oft in zwei Stufen. Zuerst hydriert man die schweren Kohlenwasserstoffe in der flüssigen Phase, dann verarbeitet man das hierbei erhaltene Mittelöl in der Gasphase. Die Temperaturen liegen dabei zwischen 300 und 350° und die Drücke etwa zwischen 100 und 250 at. Die Apparate bestehen aus langen, rohrartigen Stahlgefäßen, die den für die Ammoniaksynthese gebrauchten Stahlkörpern ähnlich sind. Infolge der erforderlichen Länge, die bis zu 18 m beträgt, bestehen sie aus zwei oder drei Teilen, die mit Flanschen zusammengeschrubt sind. Zur Verhinderung des Wasserstoffangriffs sieht man auch hier meist Einsatzgefäße vor. Die Katalysatormasse besteht aus Körnern oder kleinen, regelmäßig geformten Preßlingen. Die Reaktionsgase trennt man durch Kühlung in einen flüssigen Anteil, der durch Destillation weiter zerlegt wird, und in einen Gasanteil, der vorwiegend Wasserstoff enthält und im Kreislauf durch ein Gebläse in das Reaktionsgefäß zurückgeführt wird.

Von den zahlreichen katalytischen Gasreaktionen, die sich in die organisch-chemische Technik eingeführt haben, sei zunächst die Hydratisierung von Acetylen zu Aceton erwähnt. Dabei leitet man Acetylen bei Temperaturen von etwa 450° mit einem Wasserdampfüberschuß über Katalysatoren. Die Reaktionsgase werden stufenweise gekühlt. Dabei scheidet sich zunächst die Hauptmenge des Wassers, dann ein Aceton-Wasser-Gemisch aus.

Zur Wasserabspaltung aus Essigsäure und Bildung des Anhydrids läßt man Essigsäuredämpfe bei Temperaturen von etwa 600—700° über geeignete Katalysatoren strömen. Die Reaktionsgase kühlt man darauf schnell ab, um eine Hydratation des gebildeten Säureanhydrids zu verhindern. Die Apparaturen bestehen aus V2A- oder V7M-Stählen.

Zur Gewinnung von Aceton aus Essigsäure unter Wasser- und Kohlensäureabspaltung leitet man Essigsäuredämpfe mit hoher Geschwindigkeit durch Rohre, die mit einem Katalysator gefüllt sind. Die etwa 300° heißen Abgase werden schnell gekühlt und zur Entfernung der nicht umgesetzten Essigsäure mit Sodalösung ausgewaschen. Darauf wird das Aceton-Wasserdampf-Gemisch verflüssigt (*H. Brückner*, Katalytische Reaktionen, Dresden 1930, Steinkopff, S. 151).

Da die Gasreaktionsapparate stetig und unter schwer zu beherrschenden Verhältnissen arbeiten, so daß jede Störung an einem Apparat den ganzen Betrieb aus dem Gleichgewichtszustand bringen kann, müssen alle Betriebsvorgänge durch Meßinstrumente eingehend überwacht werden. Zur Temperaturbeobachtung sind beispielsweise in die Apparate für Hochdruckgasreaktionen an allen wichtigen Stellen Thermolemente (s. Temperaturmesser)

eingebaut. Zur Gasmengenmessung (s. Gasmesser) sind Düsen oder Stauscheiben in den Leitungen vorgesehen. Druckmesser (s. d.) geben die Drücke in allen wichtigen Apparateräumen an. Einen Anhalt über die Zusammensetzung der Gase geben Gasdichtemesser (s. Dichtemesser). Ferner werden Anzeigergeräte zur Angabe des Gehalts an bestimmten Gasen, beispielsweise in Anlagen für die Ammoniaksynthese Geräte zur Überwachung des Sauerstoff- und Kohlenoxydgehalts, eingebaut.

Bei Hochdruckreaktionen sind besondere Vorsichtsmaßnahmen gegen die Explosionsgefahren erforderlich. Die Gasreaktionsapparate sind entweder in ausbetonierten Gruben, die in den Boden eingelassen sind, oder in Betonkammern untergebracht. Zum Schutze gegen die bei Rohrbrüchen entstehenden Gefahren setzt man an zahlreichen Stellen in die Leitungen Rohrbruchventile (s. d.) ein.

Über Gasadsorptionsapparate s. Adsorptionsapparate.

Lit.: *B. Waeser*, Die Luftstickstoffindustrie (2. Aufl., Leipzig 1932, Spamer); Schwefelsäure, Sulfat, Salzsäure (Dresden 1927, Steinkopff); Handbuch der Schwefelsäurefabrikation (Braunschweig 1930, Vieweg). — *Ernst*, Fixation of Atmospheric Nitrogen (London-New York 1928). — *L. Maugé*, Les industries de l'azote (Paris-Lüttich 1929, Béranger). — *Pascal*, Synthèses et catalyses industrielles (2. Aufl., Paris 1932). — *Hilditch-Naujoks*, Die Katalyse in der angewandten Chemie (Leipzig 1932, Akadem. Verlagsgesellschaft). — *H. Brückner*, Katalytische Reaktionen in der organisch-chemischen Industrie, I. Teil (Dresden 1930, Steinkopff). — *Schwab*, Katalyse vom Standpunkt der chemischen Kinetik (Berlin 1931, Springer). — *O. Kausch*, Die Kontaktstoffe der katalytischen Herstellung von Schwefelsäure, Ammoniak und Salpetersäure (Halle a. S. 1931, Knapp). — *A. Claude*, Le problème de l'azote: Les Procédés Georges Claude (Paris 1925).
Thormann.

Lit. Chem. Apparatur: Während des Krieges im In- und Auslande patentierte Neuerungen auf dem Gebiete der Schwefelsäurefabrikation (1919, S. 33, 43). — *C. Ritter*, Pyritröstung und Schwefelsäureherstellung (1923, S. 37). — *F. Meyer*, Einrichtung für Hochdruckreaktionen (1927, S. 85). — *R. W. Müller*, Sulzer Gaspresser für die Herstellung synthetischen Ammoniaks (1929, S. 257, 271). — *B. Waeser*, Apparaturen der anorganisch-chemischen Großindustrie (1932, S. 189, 200; 1933, S. 149, 173, 182; 1934, S. 181, 201). — *C. Ritter*, Vervollkommnungen auf dem Gebiete der Schwefelsäureapparatur, Bleikammern mit Unterverbindungen (1932, S. 81); Fortschritte in der Schwefelsäureapparatur (1934, S. 89). — *W. Leitenberger*, Thermische Verhältnisse und Bemessung von Röhrenapparaten für exotherme heterogene Gas-Katalysen (1934, S. 113, 121, 133).

Gas- und Luftreiniger (s. auch *Ab-, Adsorptionsapparate, Druckabsorptionsapparate, Entstaubungsvorrichtungen, Staubschreiber, Überläufe*). Die Ausscheidung von staub-, nebel- oder gasförmigen Verunreinigungen aus Gasen kann auf trockenem oder nassem Wege vor sich gehen. Der anzustrebende Reinheitsgrad ist in erster Linie eine wirtschaftliche Frage und richtet sich vor allem nach dem Verwendungszweck des zu reinigenden Gases; eine vollkommene Reinigung der Gase ist praktisch unmöglich.

Das älteste, heute kaum noch verwendete Verfahren zur Trockenreinigung von Gasen ist dasjenige in sog. Staubabscheidern (s. d.), in denen die Abscheidung entweder durch Verminderung der Gasgeschwindigkeit oder durch die Wirkung der Zentrifugalkraft erfolgt. Eine andere Art der trockenen Gasreinigung ist diejenige in Stoffgasfiltern (s. d.), die entweder als Schlauch-

filter oder als Tuchfilter ausgebildet werden. Gegenüber den Staubabscheidern haben sie den Vorteil, daß sie auch feine Staubteilchen zurückhalten; dagegen erfordern sie infolge des mit zunehmender Verschmutzung wachsenden Durchgangswiderstandes einen erhöhten Druck am Ventilator und somit größeren Energiebedarf. Diese Stofffilter werden mehr und mehr verdrängt durch Metallfilter (s. d.), die zunächst im Krieg als Ersatz für die aus ausländischen Stoffen hergestellten Tuchfilter geschaffen waren, sich aber mehr und mehr an deren Stelle einbürgern. Die Metallfilter werden entweder als mit Schüttgut nach Art der Raschringe gefüllte Kästen oder als Plattenfilter mit ruhenden oder bewegten Platten hergestellt. Zu den Trockenfiltern gehören auch die Hordenreiniger (s. d.), d. s. runde oder viereckige, meist eiserne Kästen, die durch Holzhorden oder Siebböden unterteilt sind; auf diesen wird die Filtermasse (Raseneisenerz, Luxsche Masse, Sägemehl, Koks od. dgl.) bis zu 50 cm hoch aufgeschüttet; sie wird vom Gas von unten nach oben durchströmt. Endlich gehören zu den Trockenreinigern noch die sog. Stoßreiniger (s. d.), die hauptsächlich zur Ausscheidung von nebel- und tropfenförmigen Verunreinigungen benutzt werden. Sie wirken entweder dadurch, daß das Gas zu häufigem Richtungswechsel gezwungen wird, oder durch Prallflächen, auf die das Gas in fein verteiltem Zustand mit großer Geschwindigkeit auftrifft. Ihr Hauptvertreter ist der in Gaswerken und Kokereien viel benutzte Teerscheider von *Pelouze* und *Andonier* (s. Teerscheider).

Die Verfahren der Naßreinigung beruhen darauf, daß das zu reinigende Gas mit fein verteilten Flüssigkeiten oder mit benetzten Flächen in Berührung kommt, wobei die Verunreinigungen aus dem Gas ausgewaschen werden. Sie erfordern in ihren Ausführungen als rotierende Wascher einen größeren Energieverbrauch, geben aber in vielen Fällen (z. B. bei der Auswaschung von Ammoniak, Naphthalin, Cyan aus Steinkohlengas) die einzige Möglichkeit, den verlangten Reinigungszweck zu erreichen. Zu ihnen gehören die *Skru ber* (s. d.), turmartige Berieselungsapparate, bei denen entweder dem Gas im Gegenstrom Wasser durch Streudüsen entgegengespritzt wird oder das Gas über benetzte Füllkörper, Horden od. dgl. hinwegstreichen muß. In ähnlicher Weise wirken auch die *Standard wascher* (s. d.), wobei die benetzten Flächen (Bleche, Reisig, Kugeln), durch die das Gas durchströmen muß, auf einer sich langsam drehenden Welle angeordnet sind und immer wieder in die im Unterteil des Waschers befindliche Netzflüssigkeit eintauchen. Die *Schleuderwascher* (s. d.) wirken ähnlich wie die Berieselungsvorrichtungen (s. d.) dadurch, daß sie die Waschflüssigkeit in fein verteiltem Zustand dem entgegenströmenden Gas zumischen. Die Zerstäubung der Waschflüssigkeit geschieht hierbei durch Verteiler, die auf einer sich rasch drehenden Welle sitzen und mit dem unteren Ende in die Flüssigkeit tauchen. Ähnlich wirken auch die *Desintegratorwascher* (s. d.), bei denen auf einer sich rasch drehenden Welle angeordnete, umlaufende Körbe in stillstehende eingreifen und gleichzeitig von außen berieselt werden, wobei die Waschflüssigkeit im Gleich- oder im Gegenstrom mit dem zu reinigenden Gas durch den Wascher durchströmt.

Neuerdings benutzt man zur Reinigung besonders großer Gasmengen auch hochgespannten Gleichstrom in den Elektrofiltern (s. d.), bei denen das Gas zwischen zwei Elektroden durchgeführt wird. Dabei werden die im Gas befindlichen Staub- oder Nebelteilchen von der einen an die Hochspannung angeschlossenen Elektrode elektrisch aufgeladen und prallen zur zweiten an

Erde liegenden Elektrode, von der sie durch ihr eigenes Gewicht nach einem Sammelbehälter fallen oder durch besondere Einrichtungen abgeklopft werden.

Lit.: *W. Bertelsmann*, Lehrbuch der Leuchtgasindustrie (Stuttgart 1911, Enke). — *W. Bertelsmann* u. *F. Schuster*, Einführung in die technische Behandlung gasförmiger Stoffe (Berlin 1930, Springer). — *Fischer-Gwosdz*, Kraftgas (2. Aufl., Leipzig 1921, Spamer). — *C. Guillemain*, Theorie und Praxis der Staubverdichtung und der Reinigung und Entstaubung von Gasen (Halle 1911, Knapp). — *R. Meldau*, Der Industriestaub, Wesen und Bekämpfung (Berlin 1926, VDI-Verlag). — *F. Muhlert* u. *K. Drews*, Technische Gase (Leipzig 1929, Hirzel). — *C. Naske*, Zerkleinerungsvorrichtungen und Mahlanlagen (4. Aufl., Leipzig 1926, Spamer) — *H. Strache*, Gasbeleuchtung und Gasindustrie (Braunschweig 1913, Vieweg). — *K. Th. Volkmann*, Chem. Technologie des Leuchtgases (Leipzig 1915, Spamer). — *A. Winkel* u. *G. Jander*, Schwebstoffe in Gasen. Aerosole. Über die Darstellung, die Eigenschaften, das Vorkommen und die Verwendung von Nebel, Staub und Rauch (Stuttgart 1934, Enke). Mo.

Lit. Chem. Apparatur: *A. Fürth*, Über die neuere Entwicklung der Gasreinigung (1914, S. 129). — *O. Nagel*, Allgemeines und Besonderes über Gasreinigung (1914, S. 269). — *G. Barnick*, Gewinnung von Benzol aus Koksöfengasen unter weitgehender Ausnutzung der Bründendämpfe und der heißen abgetriebenen Waschöle (1915, S. 1). — *F. Ludwig*, Über einen neuen Füllkörper für Reaktionstürme, Gaswascher und Fraktionierkolonnen (1915, S. 247). — *H. Winkelmann*, Anwendung der Luftfilter im allgemeinen Maschinenbetrieb (1915, S. 269). — *H. Borngräber*, Luft- und Gasfilter ohne Filtertuch (1917, S. 153); Über einige Neuerungen im Bau von Gas- und Luftfiltern (1919, S. 17). — *G. Illert*, Die Benzolfabrik (1922, S. 1). — *L. Litinsky*, Aus der südrussischen Benzolindustrie (1922, S. 69). — *Schroeder*, Die elektrische Gasreinigung (1924, S. 89). — *G. Illert*, Entstaubungs-, Entlüftungs- und Entnebelungsanlagen (1925, S. 25). — *G. Weißenberger*, Neuzeitliche Apparate und Anlagen für Gaswaschung (1925, S. 122, 170; 1926, S. 142). — *F. Rosendahl*, Die elektrische Gasreinigung in Theorie und Praxis (1931, S. 109, 177). — *B. Waeser*, Apparaturen der anorganisch-chemischen Großindustrie (1934, S. 201).

Gassauger, s. Gebläse, Kapselgebläse.

Gasschutzgeräte, Gasschutzmasken, s. Atemschutzgeräte.

Gasuntersuchungsapparate (Gasanalysenapparate, Gasuntersucher; s. auch Kontrollapparate). Die Verwendung selbsttätiger Gasuntersuchungsapparate, die heute eine selbstverständliche Notwendigkeit für alle gaserzeugenden und gasverarbeitenden Industrien ist, beschränkte sich ursprünglich auf ein engbegrenztes Verwendungsgebiet, nämlich das der Überwachung des wirtschaftlichen Verbrauchs von Brennstoffen aller Art: die ersten selbsttätigen Gasuntersucher dienten ausschließlich der Feuerungskontrolle auf Grund der Abgasanalyse, und zwar zunächst der Bestimmung des CO_2 -Gehaltes der Feuerungsabgase. Es lag nahe, diese Geräte auch der Bestimmung anderer Gasarten: CO , O_2 , H_2 , SO_2 , Cl_2 , NH_3 , H_2S , C_nH_m usw. nutzbar zu machen. In neuester Zeit geht aber die Bedeutung der selbsttätigen Gasuntersucher über den ursprünglichen Zweck, als Meß- und Kontrollgerät zu dienen, noch erheblich hinaus, und das Ziel der technischen Entwicklung ist, mit dem Meßgerät Regelvorrichtungen zu verbinden, um den Ablauf irgendwelcher gaserzeugenden oder gasverwendenden Vorgänge selbsttätig zu steuern und dadurch Erzeugnisse höchster Vollendung zu erzielen.

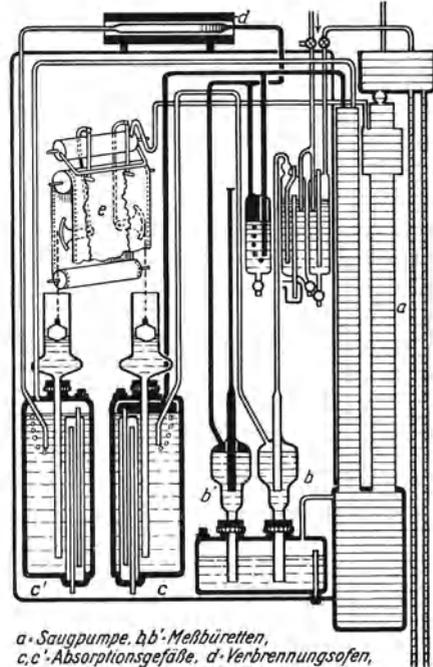
Für den Aufbau selbsttätiger Gasuntersucher kommen zunächst vorwiegend zwei Meßverfahren in Betracht: volumetrische und physikalische. Die grund-

sätzliche Wirkungsweise der volumetrischen Meßverfahren besteht darin, daß eine zu untersuchende Gasprobe genau abgemessen und durch eine dem zu bestimmenden Gas angepaßte Reaktionsvorrichtung geleitet wird; die entstehende Volumenverminderung ist das Maß für den festzustellenden Gasbestandteil und wird auf einem Diagrammstreifen aufgezeichnet. Dabei sind zwei Hauptgruppen von Reaktionsverfahren zu unterscheiden, nämlich Absorptionsapparate zur Bestimmung von CO_2 , SO_2 , Cl_2 , NH_3 , H_2S usw. und Verbrennungsapparate zur Bestimmung von O_2 , H_2 , CO , C_nH_m usw.

Bei den physikalischen Meßverfahren dienen die physikalischen Eigenschaften der Gase, nämlich Wärmeleitfähigkeit und Wärmetönung, als Grundlage für die Messung. Die Wärmeleitfähigkeit kann immer dann benutzt werden, wenn das Gasgemisch aus Teilen besteht, deren Wärmeleitzahlen genügend voneinander verschieden sind, so daß sich die resultierenden Wärmeleitzahlen mit dem Anteil eines Gemischbestandteils ändern. Die Wärmetönung eignet sich zur Untersuchung aller Gasgemische, die katalytische Reaktionen eingehen.

Die nach dem volumetrischen Meßverfahren arbeitenden Apparate unterscheiden sich in Aufbau und Wirkungsweise nur unwesentlich voneinander; der Unterschied besteht vor allem in der Art des Antriebs. Bei dem ältesten Apparat dieser Art, dem Ados-Apparat (Ados Apparatebau G.m.b.H., Aachen) erfolgt der Antrieb entweder durch Betriebswasser (Verbrauch etwa $1 \text{ m}^3/\text{std}$) oder durch einen elektrischen Spezialwasserantrieb, bestehend aus

einem kleinen Elektromotor, der das ständig im Apparat bleibende destillierte Wasser im Umlauf hält. Durch das Antriebswasser wird eine Gasprobe durch ein entsprechendes Filter angesaugt, in einer oder in mehreren Meßbüretten abgemessen (Abb. 915) und (z. B. bei der Bestimmung von CO_2) unmittelbar einem Absorptionsgefäß zugeführt und die entstandene Volumenkontraktion auf dem durch ein Uhrwerk bewegten Diagrammstreifen aufgezeichnet; oder (bei der Bestimmung von $\text{CO} + \text{H}_2$) das von CO_2 befreite Gas wird ebenfalls über eine Meßbürette dem Verbrennungsofen zugeführt, um von dort in ein zweites Absorptionsgefäß geleitet zu werden. Die Kalilauge nimmt dort die aus der CO -Verbrennung entstandene Kohlensäure auf, während die Wasserdampfbildung aus H_2 vorher ausgeschieden worden ist. Die durch die Absorption auftretende Volumenverminderung wird von dem Schwimmer an das Schreibzeug weitergegeben und von diesem auf dem



a - Saugpumpe, *b, b'* - Meßbüretten,
c, c' - Absorptionsgefäße, *d* - Verbrennungssofen,
e - Diagrammstreifen.

Abb. 915.

Schema des Ados-Duplex-Gasprüfers.

Doppeldiagrammstreifen aufgezeichnet; die Aufzeichnung erfolgt für CO_2 und für $\text{CO} + \text{H}_2$ getrennt in zwei Schreibfeldern, so daß auch geringe Schwankungen leicht abgelesen werden können.

Der Ados-Gasprüfer wird auch für elektrische Fernanzeige gebaut und kann außer in den Ausführungen für die übliche Feuerungskontrolle auch für die Bestimmung von CH_4 , O_2 , SO_2 , Cl_2 , NH_3 , H_2S , N_2 in Ein- bis Vierfachschreibern mit oder ohne elektrische Fernanzeigevorrichtung geliefert werden. Für die Bestimmung aggressiver Gase, wie Chlor und Schweflige Säure, wird durch besonders sorgfältige Montage der Glasapparatur und durch selbsttätige Durchlüftung des Gerätes einwandfreie Dauerbenutzung gewährleistet.

Bei den Mono-Apparaten (H. Maihak A.-G., Hamburg) erfolgt der Antrieb durch einen gekapselten Gleich- oder Wechselstrommotor über ein in Öl laufendes Getriebe (Stromverbrauch etwa 20 W) durch eine Gaspumpe mit Quecksilberverschluß. Aufbau und Wirkungsweise dieser Apparate ähneln den vorher beschriebenen. Der Triplex-

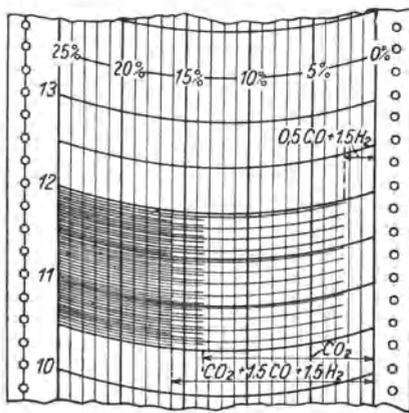


Abb. 916. Diagrammstreifen des Triplex-Mono (Maihak).

mono dient zur Feststellung von CO_2 , H_2 , CO in Abgasen; die Messung geschieht in bekannter Weise durch Absorption unter Zugabe von Hilfsluft, und man erhält nacheinander folgende Werte aufgezeichnet: 1. CO_2 , 2. $\text{CO}_2 + 1,5 \text{ CO} + 1,5 \text{ H}_2$, 3. CO_2 , 4. $0,5 \text{ CO} + 1,5 \text{ H}_2$ (Abb. 916), woraus sich Wasserstoff und Kohlenoxyd entnehmen lassen. Die Umschaltung auf die einzelnen Analysen geschieht durch Quecksilberventile, die vom Antriebsmotor gesteuert werden. In ähnlicher Weise

arbeiten die Geräte für sauerstoffarme und für reduzierende Gase. Für besonders rasch aufeinanderfolgende Analysen können die Apparate mit einem Gassauger ausgerüstet werden. Ebenso können die Geräte für Fernanzeige und Fernregistrierung eingerichtet werden. Wegen der Einzelheiten muß auf die Druckschriften der Lieferfirma verwiesen werden.

Die selbsttätigen Gasprüfer der Thermo-Technik G. m. b. H., Berlin-Lichterfelde, benutzen zum Antrieb einen für Gleich- und für Wechselstrom geeigneten Universalmotor (Abb. 917), der gleichzeitig drei Aufgaben zu erfüllen hat, nämlich:

1. die Gasprobe aus der Zuführungsleitung mittels eines sich ununterbrochen hebenden und senkenden Hubgefäßes abzusaugen und in einer oder in mehreren Meßbüretten abzumessen,

2. die Bewegung der Meßglocke von allen zusätzlichen Reibungskräften durch Schreibzeug, Fernsender, Reglerantrieb u. dgl. zu entlasten und ausreichend große Verstellkräfte freizumachen,

3. durch ein besonderes Übersetzungsgetriebe unabhängig von Spannungsschwankungen im Netz den Diagrammstreifen in genauem zeitlichem Ablauf anzutreiben.

Hierdurch werden neben größter Betriebssicherheit insbesondere Fortfall des Uhrwerks mit seinen Störungsmöglichkeiten durch chemische Angriffe usw. und große Meßgenauigkeit erreicht, so daß auch kleine Meßbereiche bis zu 3 Proz. bei 60 mm Diagrammhöhe ermöglicht werden.

Für die unmittelbare Bestimmung des Luftüberschusses und des Luftmangels bei

Feuerungen dient der Omeco, mit dem der Sauerstoffrest in Rauchgasen ermittelt werden kann (Abb. 918). Die zu untersuchende Gasprobe und ein Hilfsgas, z. B. Wasserstoff, Leucht- oder Kokereigas, werden angesaugt, abgemessen und gemischt. Das Gemisch geht durch eine elektrisch geheizte Verbrennungskammer, in welcher der Wasserstoff mit dem Sauerstoffrest verbrennt; die eintretende Volumenverminderung wird durch den Hub der Meßglocke aufgezeichnet. — Neben diesem Gerät zur unmittelbaren Sauerstoffbestimmung können alle üblichen Verbrennungsapparate zur Bestimmung von H_2 , CO , C_nH_m und Absorptionsapparate für CO_2 , SO_2 , Cl_2 , NH_3 , H_2S usw. mit und ohne Fernanzeige und Fernregelung geliefert werden.

Die nach dem physikalischen Meßverfahren arbeitenden Gasuntersucher bieten den Vorteil, daß bei Fernübertragung des Meßergebnisses kein besonderer Fernsender nötig ist, da die Analysenwerte unmittelbar mit Hilfe des elektrischen Stroms dargestellt werden, was eine besonders einfache Übertragung der Meßwerte ergibt. Besonders die Benutzung der Wärmeleitfähigkeit zur Bestimmung von Gaskonzentrationen hat eine wichtige Bedeutung erlangt, da sie auf die genau durchzuführende und außerordentlich einfache Widerstandsmessung mit Hilfe der Wheatstoneschen Brücke zurückgeführt werden kann. Zur Erreichung großer Empfindlichkeit verwendet man

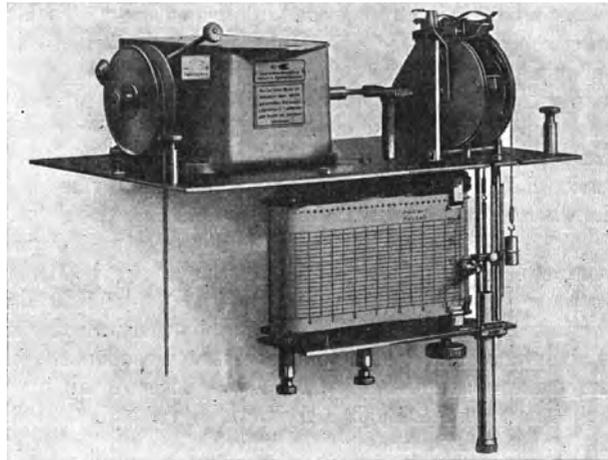


Abb. 917. Motorantrieb für Gasuntersucher (Thermotechnik).

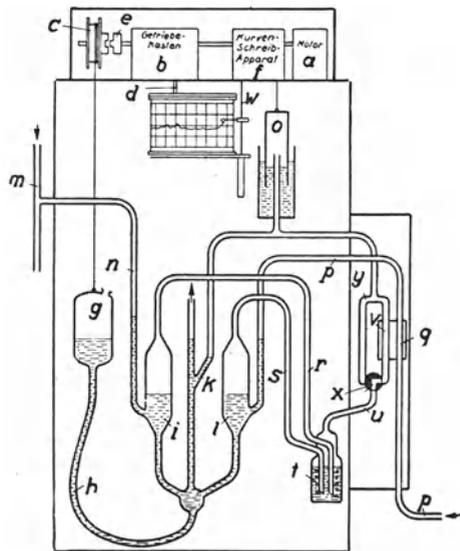


Abb. 918. Schema des Omeco-Gasprüfers (Thermotechnik).

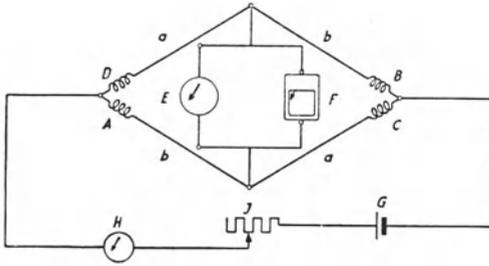


Abb. 919. Brückenschaltung (Siemens & Halske).

(Abb. 919) zwei Meßkammern *A* und *B* und zwei Vergleichskammern *C* und *D*, die in gegenüberliegenden Zweigen der Brücke *a* und *b* liegen. Mittels des Widerstandes *J* und des Strommessers *H* wird ein konstanter Strom aus der Stromquelle *G* eingestellt; Meß- und Vergleichskammer bilden mit der Brückenschaltung den Geber,

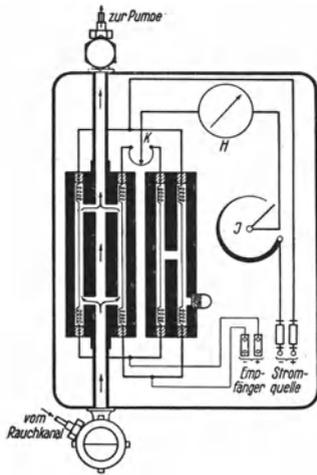


Abb. 920. CO₂-Geber (Siemens & Halske).

E ist der Empfänger, *F* der Fernschreiber. Als Stromquelle kommen in Betracht: 1. Akkumulatoren von 6 V Klemmenspannung, 2. Gleichstrom-Netzspannung von 110 oder 220 V mit entsprechenden Netzvorwiderständen, 3. Wechselstrom-Netzspannung unter Verwendung eines Glühkathoden-Gleichrichters.

Zur Bestimmung von CO₂, SO₂, oder H₂ mittels der Wärmeleitfähigkeit des zu untersuchenden Gases dient folgende Einrichtung (Abb. 920, Ausführung von Siemens & Halske A.-G., Berlin-Siemensstadt): ein in der Meßkammer ausgespannter und elektrisch auf eine bestimmte Temperatur erhitzter dünner Platindraht nimmt beim Vorbeiströmen des zu untersuchenden Gasgemisches je nach der Wärmeleitfähigkeit desselben eine verschiedene Temperatur an. Damit ändert sich auch sein elektrischer Widerstand, der mittels der Wheatstoneschen Brücke gemessen wird. Fremde Einflüsse werden dadurch ausgeschaltet, daß in einer zweiten Meßkammer Luft auf einen auf gleiche Temperatur erhitzten Platindraht einwirkt, der an den andern Zweig der Brücke geschaltet ist. Dadurch wird der Widerstandsunterschied beider Drähte gemessen. Praktisch ist die Anordnung so, daß die Meßdrähte in Kanälen ausgespannt sind, die im Nebenschluß zu dem Ansaugkanal für das Meßgas dienen.

Einflüsse werden dadurch ausgeschaltet, daß in einer zweiten Meßkammer Luft auf einen auf gleiche Temperatur erhitzten Platindraht einwirkt, der an den andern Zweig der Brücke geschaltet ist. Dadurch wird der Widerstandsunterschied beider Drähte gemessen. Praktisch ist die Anordnung so, daß die Meßdrähte in Kanälen ausgespannt sind, die im Nebenschluß zu dem Ansaugkanal für das Meßgas dienen.

Weicht die Wärmeleitfähigkeit des zu untersuchenden Gasgemisches stark von der Luft ab, so benutzt man ein Vergleichsgas, das etwa die Konzentration des Meßgases besitzt und leicht in konstanter Zusammensetzung hergestellt werden kann (Differenz-Meßverfahren). Bei Meßeinrichtungen für Meßbereiche zwischen 30 und 100 Proz. Wasserstoff sind die Vergleichskammern anstatt mit Luft mit Knallgas bzw. mit reinem Wasserstoff gefüllt.

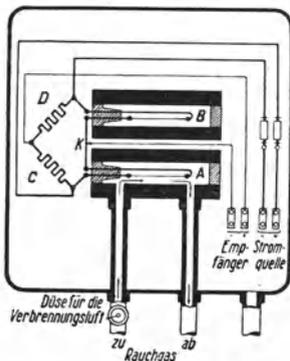


Abb. 921. CO + H₂-Geber (Siemens & Halske).

Die Anordnung der Meßkammern zur Ermittlung der Wärmetönung zeigt Abb. 921 (Siemens & Halske): Das Gasgemisch strömt an einem Platin-

draht vorbei, der sich ebenfalls in der Bohrung eines Metallklotzes befindet und elektrisch auf $400\text{--}450^\circ$ erhitzt wird. Durch katalytische Verbrennung des Meßgases am Draht wird seine Temperatur und sein elektrischer Widerstand erhöht, der wiederum mittels einer Wheatstoneschen Brücke gemessen wird. Man kommt bei dieser Anordnung mit je einem Meß- (*A*) und Vergleichsdraht

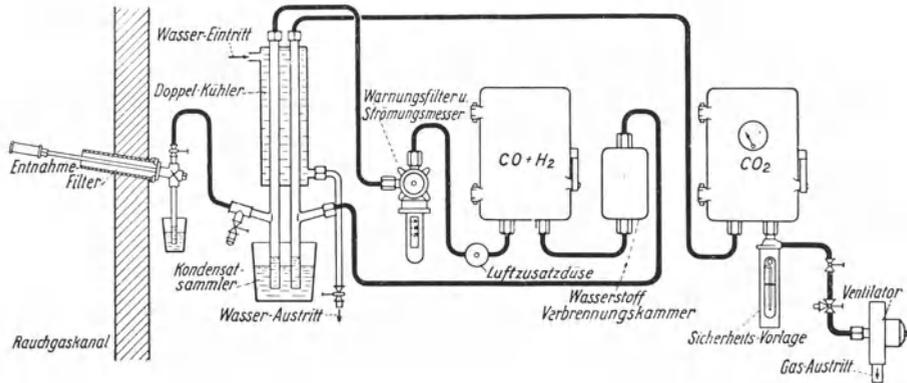


Abb. 922. Anlage zur Rauchgasanalyse (Hartmann & Braun).

(*B*) aus, weil der katalytische Effekt eine größere Temperatur- bzw. Widerstandsänderung erzeugt. *C* und *D* sind temperaturempfindliche Widerstände, *K* ist ein Widerstand zur Einstellung der Nullage.

Die vollständige Meßeinrichtung für Rauchgasanalysen (Abb. 922, Ausführung der Hartmann & Braun A.-G., Frankfurt a. M.) besteht aus einem CO_2 -

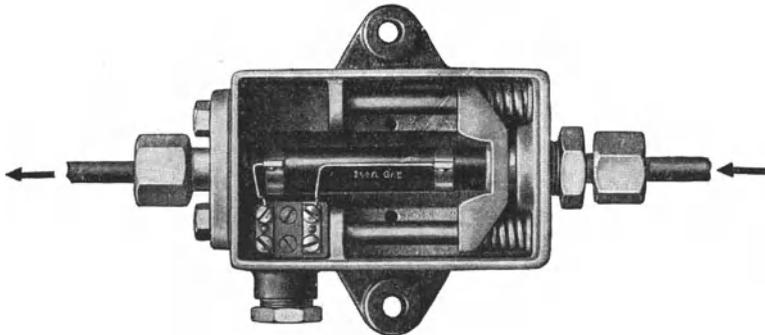


Abb. 923. Wasserstoffverbrennungskammer (Hartmann & Braun).

und einem $\text{CO} + \text{H}_2$ -Geber mit den entsprechenden Anzeige- bzw. Registrierinstrumenten, einem Ansaugerät mit Filter, einem Kühler und einem Strömungsmesser mit Warnungsfilter. Bei der Verbrennung mancher Brennstoffe tritt ein verhältnismäßig großer Gehalt an freiem Wasserstoff auf, der durch seine von CO_2 stark abweichende Wärmeleitfähigkeit die Messung fälschen würde. In diesem Fall wird nach Abb. 923 eine besondere Wasserstoffverbrennungskammer eingeschaltet, in der der auftretende Wasserstoff katalytisch verbrannt und so eine falsche CO_2 -Anzeige verhindert wird. Der

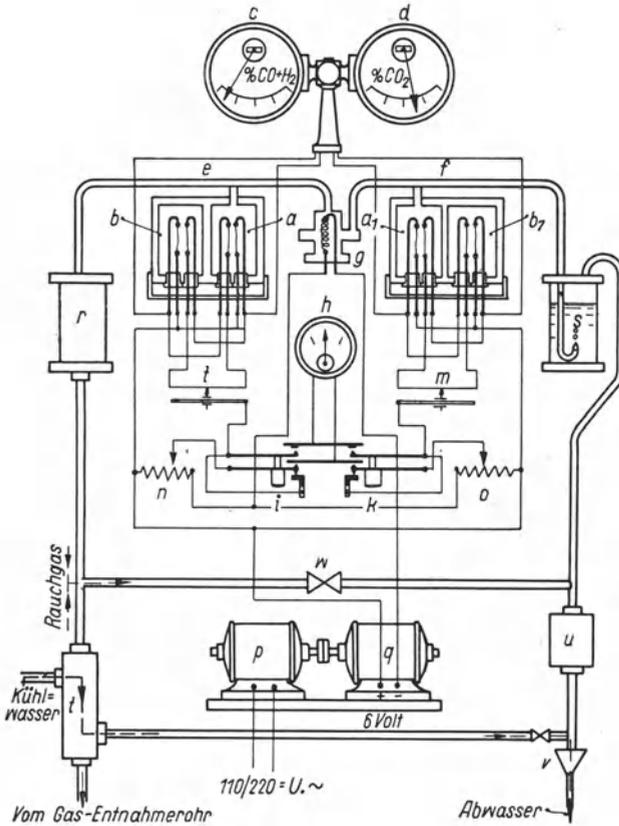


Abb. 924. Rauchgasprüfer (Böhme).

Anschluß dieser Wasserstoffverbrennungskammer erfolgt unmittelbar an 110 oder 220 V Wechselstrom, die Leistungsaufnahme beträgt etwa 50 W.

Da die feinen Platindrähte in den Meßkammern im Laufe der Zeit durchbrennen, muß dafür gesorgt werden, daß dieselben möglichst rasch ersetzt werden können, um längere Unterbrechungen in der Analyse zu vermeiden. Zu diesem Zweck werden die Platindrähte häufig in Patronen eingebaut, die sich mit wenigen Handgriffen auswechseln lassen. Eine Anordnung dieser Art zeigt Abb. 924 nach einer Ausführung von Dr. Martin Böhme, Berlin.

Die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der Gasanalyse durch Wärmeleitfähigkeitsmessung zeigt Abb. 925 an einer vollständigen Überwachungseinrichtung für die Ammoniaksynthese nach Haber-

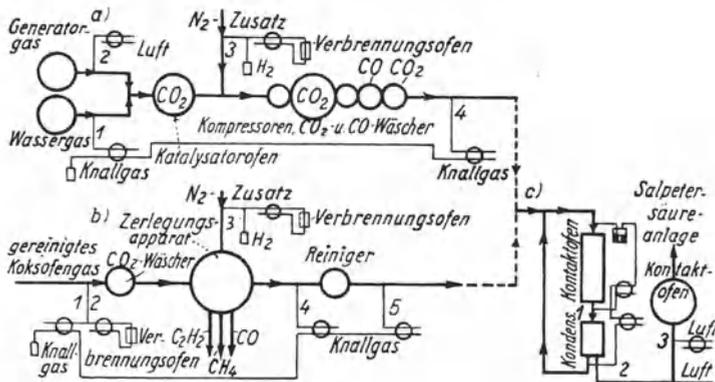


Abb. 925. Betriebsüberwachung der Ammoniaksynthese (Siemens & Halske).

Bosch mit anschließender Verbrennung des Ammoniaks über Platin nach *Ostwald* zur Salpetersäureherstellung (vgl. Z. angew. Chem. 1932, S. 531, 546). Die in die Anlage eingebauten Meßstellen zeigt nachstehende Tabelle:

Verfahren	Meßstelle	Analyse	Meßbereich
a) Herstellung d. Synthesengemisches nach der I. G.	1. Wassergas	Wasserstoff	66—40 Proz. H ₂
	2. Generatorgas	Wasserstoff	0—10 „ H ₂
	3. Stickstoffzusatz	Sauerstoff	0—2 „ O ₂
	4. Synthesengemisch	Wasserstoff Stickstoff	66—80 „ H ₂ 34—20 „ N ₂
b) Herstellung d. Synthesengemisches n. <i>Linde-Bronn</i>	1. Koksofengas	Wasserstoff	66—40 „ H ₂
	2. Koksofengas	Sauerstoff	0—2 „ O ₂
	3. Stickst.-Zus.	Sauerstoff	0—2 „ O ₂
	4. Synthesengemisch unger.	Wasserstoff Stickstoff	66—80 „ H ₂ 34—20 „ N ₂
	5. Synthesengemisch ger.	Wasserstoff Stickstoff	66—80 „ H ₂ 34—20 „ N ₂
c) Katalyse zu Ammoniak und Oxydation	1. Gas nach der Katalyse	Ammoniak	0—25 „ NH ₃
	2. Gas nach der Kondensation	Ammoniak	0—7 „ NH ₃
	3. Ammoniakluft vor Oxydation	Ammoniak	0—12 „ NH ₃

Wegen der Einzelheiten sei auf die angegebene Quelle verwiesen.

Die Wärmeleitfähigkeitsmessung kann schließlich auch dazu benutzt werden, Konzentrationen von Gasgemischen selbsttätig konstant zu halten. Zu diesem Zweck wird das Anzeigergerät mit einer elektrisch betätigten Regeleinrichtung (s. Kontrollapparate, Regler) verbunden, die bei Änderung der Gaskonzentration die Schieberstellung in den Gasleitungsrohren entsprechend ändert.

Ein ebenfalls auf physikalischem Meßverfahren beruhendes Gerät ist der Dräger-CO-Messer der Dräger-Geräte-G. m. b. H., Lübeck (Abb. 926). Das Gerät gestattet die CO-

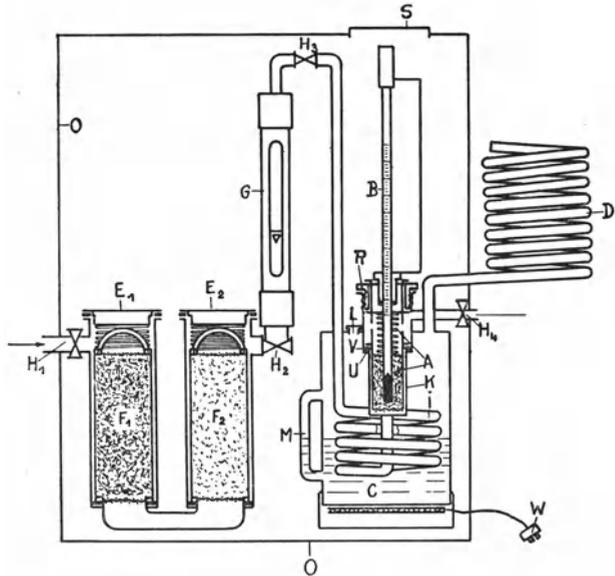


Abb. 926. Dräger-CO-Messer.

Bestimmung mit einer Genauigkeit von etwa 1 : 50000; es beruht auf der Feststellung der Wärmetönung bei der Oxydation des zu untersuchenden Gasmisches. Die Verbrennung wird mit Hilfe des Katalysators so geleitet, daß sie in einer Patrone stattfindet und dadurch eine starke Temperaturerhöhung dieses Reaktionsraumes bewirkt. Durch ein schreibendes Millivoltmeter kann der CO-Gehalt dauernd aufgezeichnet werden. Auch können Alarmvorrichtungen oder elektrische Regeleinrichtungen angeschlossen werden.

Ein ähnliches, ebenfalls vom Trägerwerk hergestelltes Gerät kann zur Messung aller brennbaren Gase mit Ausnahme von Wasserstoff und von Methan benutzt werden. Die Anzeigegenauigkeit dieser Apparate ist außerordentlich groß: der CO-Messer läßt schon etwa 0,3 Vol.-Proz. CO erkennen. Der Anschluß

der Apparate kann an jede 110 oder 220 V Gleich- oder Wechselstromleitung erfolgen.

Die vorstehend beschriebenen, nach dem volumetrischen und nach physikalischen Meßverfahren arbeitenden Gasuntersucher haben bis heute im praktischen Betrieb die meiste Anwendung gefunden. Daneben treten neuerdings auf manometrischer Messung beruhende Geräte, deren Wirkungsweise und Aufbau an dem CO₂-Messer der Friedr. Riedel & Co. G. m. b. H., Essen, beschrieben sei. Als Antrieb dient hierbei ein Drehstrommotor von 80 W, der über ein vollständig in Öl laufendes Getriebe ein als Gaspumpe arbeitendes, teil-

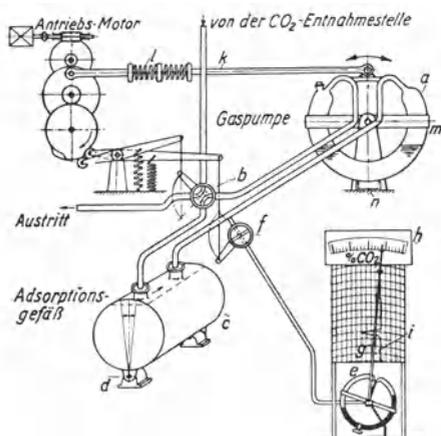


Abb. 927. Rieco-CO₂-Messer.

weise mit einer Sperrflüssigkeit gefülltes Ringgefäß in Schwingung versetzt. Die von der Gaspumpe angesaugte Gasprobe wird mehrere Male durch ein Absorptionsgefäß (Abb. 927) hindurchgeleitet, das um eine unten liegende Achse schwenkbar ist, so daß dem Gas beim jedesmaligen Durchgang vollkommen benetzte Wandflächen dargeboten werden. Nach Beendigung der Absorption wird für kurze Zeit ein als Ringwaage ausgebildetes Manometer angeschlossen und der jeweilige Unterdruck angezeigt oder aufgeschrieben. Durch den nur zeitweiligen Anschluß des Manometers wird ein Absinken des Zeigers auf Null vermieden, so daß das Ergebnis der letzten Analyse so lange angezeigt wird, bis eine neue Analyse durchgeführt worden ist. Es können, je nach Bedarf, 30—60 Analysen/std ausgeführt werden. Da die Apparatur nur 2 Gefäße (Gaspumpe und Absorptionsgefäß), daher auch nur wenige und kurze Rohrleitungen benötigt, ist die Gefahr auftretender Undichtheiten gering und der Aufbau des ganzen Gerätes einfach und übersichtlich. Die Anzeigegenauigkeit beträgt etwa 1 Proz., so daß das Gerät auch zur Bestimmung von Restkohlenstoffgehalten in Gasmischen verwendet werden kann.

Zur qualitativen Bestimmung kleiner Gasbeimengungen können schließlich auch colorimetrische Verfahren benutzt werden, wobei die Färbung eines mit einem entsprechenden Reagensmittel getränkten Papierstreifens zur Messung benutzt wird. An Hand einer Farbskala kann je nach dem Grad der

eingetretenen Färbung auf die Menge des betreffenden Gasbestandteiles geschlossen werden, wobei unter Umständen Gasspuren bis 0,001 Proz. auf einfache Weise nachgewiesen werden können.

Ein bekannter und seit Jahren in Gaswerken benutzter Apparat dieser Art ist der Schwefelprober von *Raupp* zum Nachweis von Schwefelwasserstoff im Leuchtgas (Abb. 928; Elster & Co., A.-G., Mainz): Durch ein Uhrwerk wird ein schmales Papierband, das sich beim Durchlaufen durch einen Glastrog mit essigsaurer Bleilösung tränkt, an einer Düse vorbeibewegt, aus der das zu untersuchende Gas auf das frisch getränkte Reagensband strömt. Die Anwesenheit von H_2S macht sich sofort durch entsprechende Färbung des Papierstreifens bemerkbar.

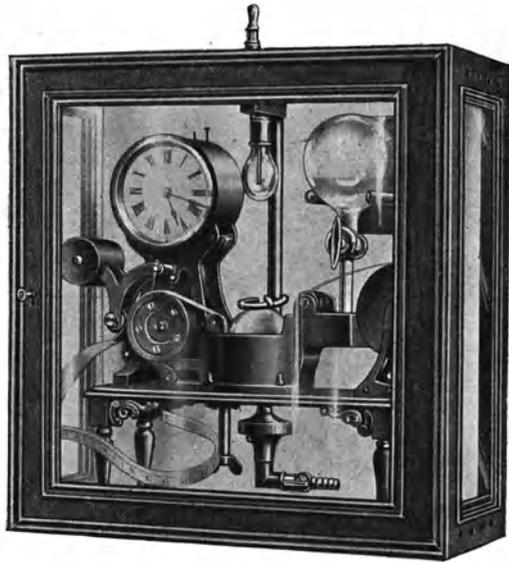


Abb. 928. Schwefelprober nach *Raupp* (Elster & Co.).

In ähnlicher Weise durchströmt bei dem Gasspurenbestimmer der Thermo-technik G. m. b. H. (Abb. 929) das zu untersuchende Gas ein Rohr *a*, das an seinem Umfang eine kleine Öffnung *b* hat; über diese Öffnung läuft das Diagrammband *c* und schließt sie ab, so daß an dieser Stelle das Gas auf das präparierte Papier strömt und es je nach dem Vorhandensein des betreffenden Bestandteils mehr oder weniger färbt. Ein kleiner Durchflußmengenmesser ist in das Gerät eingebaut und gestattet, die durchfließende Gasmenge zu kontrollieren und einzustellen.

Lit. (s. auch Kontrollapparate): *K. Münzer*, Die Kontrolle von Brennöfen (Keramos, Jahrg. IX, H. 2). — *F. W. Bunge*, Die Bedeutung der Sauerstoffbestimmung in Leuchtgas und Rauchgas (Glückauf 1930, H. 23). — *K. Brüggemann*, Selbsttätiger Gasprüfer zur Bestimmung des Sauerstoffs in Leuchtgas und Rauchgas (Glückauf 1930, H. 10). — *W. Liesegang*, Wärmetechnisches Meßwesen in Kokereien (Bergbau 1932, S. 74). — *H. Grüß* und *F. Lieneveg*, Rauchgasprüfung durch Wärmeleitmessung (Arch. techn. Messen 1935, H. 4).

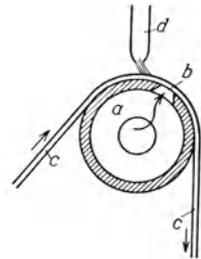


Abb. 929. Gasspurenbestimmer (Thermotechnik).

Gasverbrennungsapparate (s. auch *Gasreaktionsapparate*, *Verbrennungsapparate*) im engeren Sinne sind Gasoxydationsapparate. Zur Oxydation von Gasen dienen je nach der Art des Reaktionsverlaufs Apparate, die mit Kontaktstoffen, mit elektrischen Lichtbögen oder ohne besondere Hilfsmittel zur Aufrechterhaltung der Reaktion arbeiten. Das wichtigste Anwendungsbeispiel ist die Erzeugung von Stickoxyden durch Verbrennung von Ammoniak

zur Gewinnung von wässriger Salpetersäure oder von Nitraten. Weiterhin kommen die Gewinnung von Schwefelsäureanhydrid aus SO_2 und zahlreiche in der Gasphase günstig verlaufende Oxydationsvorgänge der organisch-chemischen Technik in Betracht. Soll die Verbrennung der Gase ausschließlich den Zweck haben, die freiwerdenden Wärmemengen auszunutzen, so bezeichnet man die hierfür gebauten Einrichtungen als Feuerungen (s. Feuerungsanlagen, Öfen).

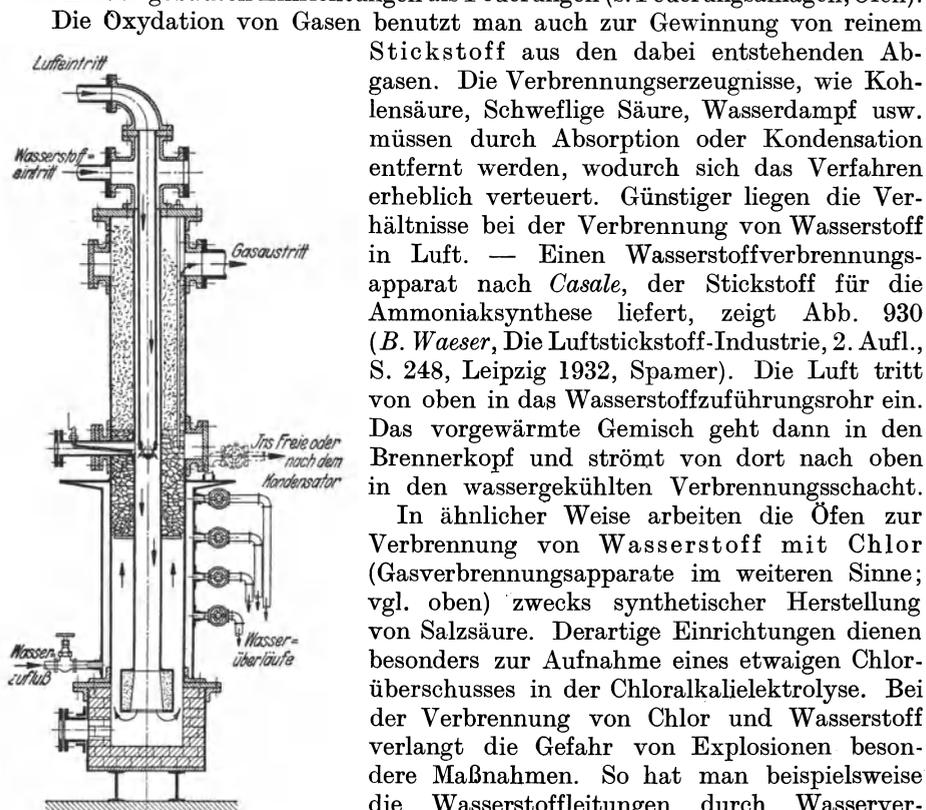


Abb. 930. Wasserstoffverbrennungsapparat (Casale).

Die Oxydation von Gasen benutzt man auch zur Gewinnung von reinem Stickstoff aus den dabei entstehenden Abgasen. Die Verbrennungserzeugnisse, wie Kohlensäure, Schweflige Säure, Wasserdampf usw. müssen durch Absorption oder Kondensation entfernt werden, wodurch sich das Verfahren erheblich verteuert. Günstiger liegen die Verhältnisse bei der Verbrennung von Wasserstoff in Luft. — Einen Wasserstoffverbrennungsapparat nach Casale, der Stickstoff für die Ammoniaksynthese liefert, zeigt Abb. 930 (B. Waeser, Die Luftstickstoff-Industrie, 2. Aufl., S. 248, Leipzig 1932, Spamer). Die Luft tritt von oben in das Wasserstoffzuführungsrohr ein. Das vorgewärmte Gemisch geht dann in den Brennerkopf und strömt von dort nach oben in den wassergekühlten Verbrennungsschacht. In ähnlicher Weise arbeiten die Öfen zur Verbrennung von Wasserstoff mit Chlor (Gasverbrennungsapparate im weiteren Sinne; vgl. oben) zwecks synthetischer Herstellung von Salzsäure. Derartige Einrichtungen dienen besonders zur Aufnahme eines etwaigen Chlorüberschusses in der Chloralkalielektrolyse. Bei der Verbrennung von Chlor und Wasserstoff verlangt die Gefahr von Explosionen besondere Maßnahmen. So hat man beispielsweise die Wasserstoffleitungen durch Wasserverschlüsse mit einem Kohlensäurebehälter verbunden, um beim Sinken des Wasserstoffdruckes die ganze Apparatur mit Kohlensäure füllen zu können. Um eine sichere Zündung zu gewährleisten, hat man Zündflammen oder wärmespeichernde Massen an der Verbrennungsstelle angeordnet. Das Zurückschlagen der Flamme in die Wasserstoffleitung kann eine selbsttätig wirkende Absperrvorrichtung verhüten, die bei einer Störung in der Elektrolyse sofort die Wasserstoffleitung schließt. Die Gefahr, daß Wasserstoff in den Brenner gelangt, bevor die Zündung betätigt ist, was durch Bedienungsfehler vorkommen kann, muß durch Explosionsklappen unschädlich gemacht werden. In der Regel ist ein geringer Wasserstoffüberschuß erforderlich, damit chlorfreie Salzsäure entsteht. — Eine Verbrennungseinrichtung für Chlor und Wasserstoff von Krebs & Co, die für eine Leistung von 6 t / 24 std gebaut ist, behandelt B. Schulz in Chem. Apparatur 1933, S. 73. Sie besteht aus der Gaszuführungsvorrichtung, dem eigentlichen

Brenner, einem zylindrischen Brennraum und einer Schutzpanzerung aus gelochten Blechen, die im Falle eines Zerknalls die Explosionsgase entweichen läßt und die Scherben auffängt. Der Brenner besteht aus einem inneren, senkrechten Rohr für die Chlorzuführung, das oben den mit Austrittsschlitzen versehenen Brennerkopf trägt, und einem den Kopf umgebenden, äußeren Rohr, das den Wasserstoff zuleitet. Alle Teile bestehen ebenso wie die nachfolgende Salzsäurekondensationsanlage aus Quarz, Marke Vitreosil der Deutschen Ton- und Steinzeugwerke, der sich besonders durch seine Unempfindlichkeit gegen Temperaturunterschiede auszeichnet. Die Öfen werden für eine Tagesleistung von 1000—6000 kg Salzsäure gebaut. Der Gasaustritt befindet sich am oberen Ende des zylindrischen Verbrennungsraums. Entsprechend dem Herstellungsgang ist die entstehende Salzsäure vollkommen arsen- und eisenfrei.

Zur Verbrennung von Ammoniak führt man das Gas mit Luft gemischt über einen Katalysator. Der Vorgang ist exotherm und verläuft bei niedrigen Temperaturen günstiger als bei höheren. Platin als Kontaktmittel erfordert Mindesttemperaturen von etwa 600—700°, Platin-Rhodium erfordert Temperaturen von 900—1000°, aktivierte Eisenoxyde Temperaturen von 700°. Platin-Rhodium-Legierungen haben als Katalysatoren für die Ammoniakverbrennung gegenüber dem reinen Platin den Vorteil, daß die Ausbeuten, die Lebensdauer (bis zu 60 Proz.) und die mechanische Festigkeit höher sind. Platin-Rhodium-Katalysatoren zünden jedoch nicht so leicht wie Reinplatingewebe (*Waeser*, S. 369).

Da das Ammoniak bei höheren Temperaturen in seine Bestandteile zerfällt, sucht man den Erhitzungsvorgang nach der Umsetzung durch große Gaseschwindigkeiten möglichst schnell abzubrechen. Die Berührungszeit beträgt an Platinkontakten $\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{1000}$ sek. Zur Hemmung des Oxydationsverlaufes, der sonst Stickstoff und Wasserdampf als Reaktionserzeugnisse ergeben würde, dienen Kühlung des Katalysatorraumes und Verdünnung des Gasgemisches durch inerte Gase. Um bei der Herstellung von Salpetersäure eine möglichst starke Säure zu erhalten und um die Ausbeuten dabei zu erhöhen, hat man auch versucht, der Verbrennungsluft reinen Sauerstoff beizumischen, wobei sich jedoch die Schwierigkeiten, das Wärmegleichgewicht zu beherrschen, steigern. Die heißen nitrosen Gase gehen in Abhitzekessel, wo sie ihre Wärme teilweise zur Erzeugung von gespanntem Dampf abgeben. Um die Wirkung der Oberflächen der Katalysatoren nicht zu verringern, müssen die Gase von allen Verunreinigungen (Schwefelwasserstoff, Acetylen, Öldämpfen, Staub usw.) möglichst frei sein. Die Luft wird in einem Verhältnis von etwa 1:8 bis 1:12 zugeführt und mit Ammoniak vor dem Eintritt in den eigentlichen Verbrennungsraum gemischt. Platin oder Platin-Rhodium wird meist in Form eines Netzes verwendet. Das Platinnetz wurde zuerst in rechteckiger Form, dann, um eine bessere Ausnutzung zu erhalten, in runder Form ausgeführt. Die Netze haben meist 1000 Maschen/cm² bei einer Drahtstärke von 0,06 mm oder 3600 Maschen/cm² bei einer Drahtdicke von 0,04 mm. Auch zylindrische Netze werden angewendet. Um eine gleichmäßige Verteilung der Gase zu erhalten, ordnet man bisweilen unter dem Netz eine Schicht von kleinen Füllkörpern an. Die Zündung erfolgt entweder elektrisch oder durch eine Gasflamme, z. B. mit Wasserstoff als Heizgas, die nur wenige Minuten bei der Inbetriebsetzung angezündet wird. Die erzeugten

Stickoxyde können unmittelbar zur Schwefelsäure- oder Salpetersäureherstellung verwendet werden. Die Ausbeute an Stickoxyd beträgt bei guter Wartung mit reinem Ammoniak und reinen Katalysatoren bis zu 95 Proz. Die ganze Apparatur wird aus einzelnen Verbrennungselementen zusammengesetzt, die in Größen von 30—750 kg Ammoniak/Tag, in besonderen Fällen auch von 3000 kg/Tag ausgeführt werden. Die Elemente werden aus Aluminium oder Eisen gebaut.

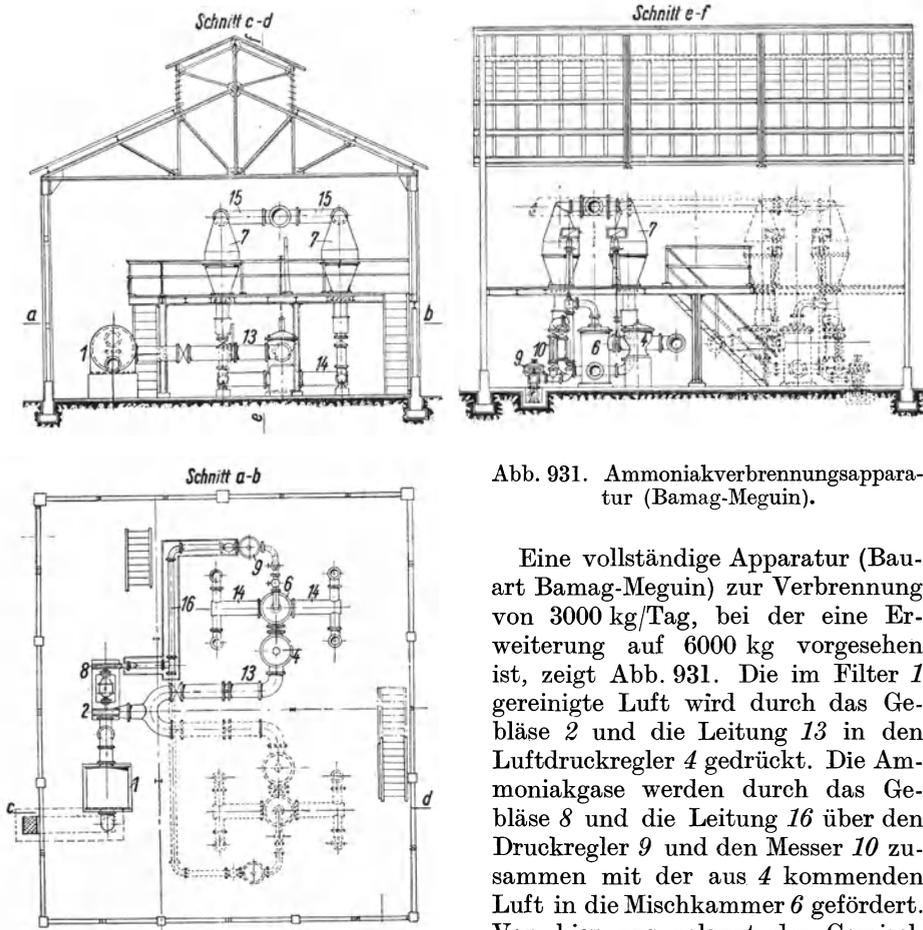


Abb. 931. Ammoniakverbrennungsapparatur (Bamag-Meguín).

brennungselemente 7. Die nitrosen Gase werden durch die Leitung 15 abgeführt.

Statt der Netze benutzt man auch spiralgig aufgewickelte und wellenförmig gebogene Platinstreifen. Es ergibt sich so ein Körper mit zahlreichen engen Durchtrittskanälen, der in die Mündung eines Rohrs eingesetzt wird. Der Platinstreifen ist etwa 10—20 mm breit und nur $\frac{1}{100}$ — $\frac{2}{100}$ mm stark. Solche Elemente werden in mehreren parallelen Reihen zwischen den Zu- und Abführungsleitungen für die Gase angeordnet. — Eine derartige Anlage (von

Eine vollständige Apparatur (Bauart Bamag-Meguín) zur Verbrennung von 3000 kg/Tag, bei der eine Erweiterung auf 6000 kg vorgesehen ist, zeigt Abb. 931. Die im Filter 1 gereinigte Luft wird durch das Gebläse 2 und die Leitung 13 in den Luftdruckregler 4 gedrückt. Die Ammoniakgase werden durch das Gebläse 8 und die Leitung 16 über den Druckregler 9 und den Messer 10 zusammen mit der aus 4 kommenden Luft in die Mischkammer 6 gefördert. Von hier aus gelangt das Gemisch durch die Leitung 14 in die Ver-

Ostwald angegeben und mit Brauer gemeinsam ausgearbeitet) zeigt Abb. 932. Es bedeuten: 1 Zuleitung aus Aluminium für das Ammoniak-Luft-Gemisch, 2 Mantelrohr, 3 Katalysator, 4 Wärmeaustauschrohr, 5 Abzug für die nitrosen Gase, 6 Deckel, 7 Schauglas, 8 Absperrhahn, 9 Bedienungsbühne. S. auch B. Waeser, S. 369. Nach dieser Quelle verbrennt ein Element mit einem Gewicht von 45—50 g Platin bei etwa 600° stündlich 25 m^3 kaltes Gasegemisch und leistet 100 kg HNO_3 in 24 std. Statt Reinplatin verwendet man auch bei diesen Elementen Platin-Rhodium als Katalysator. Ein Einzelelement einer derartigen Anlage, die für eine Salpetersäurefabrik in Lutterade erbaut wurde, zeigt Abb. 933 (Chem. Apparatur 1933, S. 182). Der Außenmantel besteht aus Aluminium, das Innenrohr aus Chromnickelstahl und der Deckel aus Silumin. Das Ammoniak-Luft-Gemisch strömt in tangentialer Richtung unten in den Außenraum ein. Die Reaktionsgase treten unten aus dem Innenrohr aus. Das Element arbeitet mit einer Betriebstemperatur von $750\text{--}800^{\circ}$.

Ein zylindrisches Platinnetz benutzen die Ammoniakverbrennungsapparate Bauart Parsons (Ind. Engng. Chem. 1927, S. 789). Ein solches Element der Chemical Construction Corporation, Charlotte (N.C.), zeigt Abb. 934 (Waeser, S. 370). Das Gasegemisch strömt von oben in den Katalysatorzylinder, der mit Nickelhaltern in einem feuerfest ausgemauerten Gefäß befestigt ist. Die Arbeitstemperatur beträgt etwa 1025° , wobei die Berührung nur etwa $\frac{1}{1000}$ sek dauert. Nach Parsons ist der Platinkatalysator unter diesen Bedingungen wirksamer und weniger empfindlich gegen Verunreinigungen als bei einer Betriebstemperatur von $600\text{--}800^{\circ}$. Nach Angaben von L. Maugé (Les industries de l'azote, Paris-Lüttich 1929) entspricht einem Katalysatorgewicht von 50 g etwa eine Erzeugung von 1 t Salpetersäure/Tag. Der Katalysatorzylinder hat einen Durchmesser von 229 mm und eine Höhe von 260 mm. Diese Elemente werden auch mit einem Druck von $3,5\text{--}7 \text{ kg/cm}^2$ betrieben, wobei man eine Salpetersäure von 50—60 Proz. herstellen kann, die Apparaturen kleiner ausfallen, der Kraftbedarf jedoch gegenüber dem Betrieb unter Atmosphärendruck steigt. Das Parsons-Element wird von den kleinsten Ausführungen bis zu

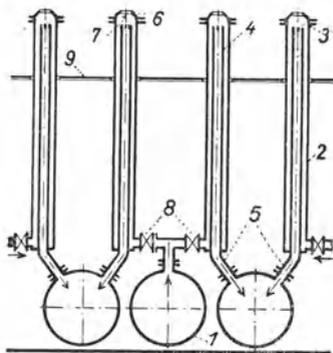


Abb. 932. Ammoniakverbrennungsapparatur. (Nach Ostwald.)

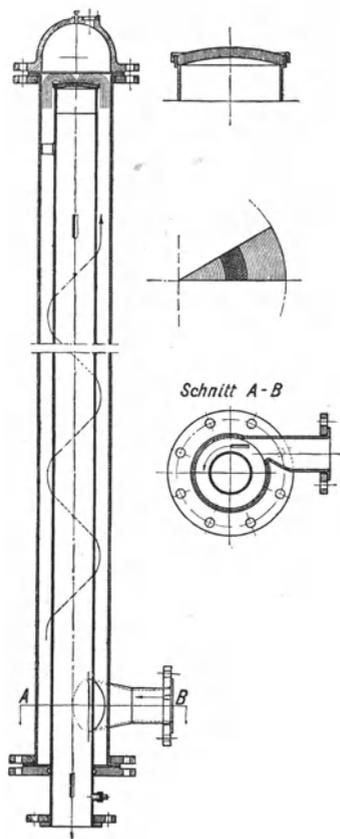


Abb. 933. Ammoniakverbrennungselement. (Nach Ostwald.)

Leistungen von über 5000 kg/Tag gebaut. Nach *Waeser*, S. 373, erreicht der Umsatz 97 Proz., beträgt im Mittel 94 Proz. und wird seitens der Chemical Construction Corporation mit 92 Proz. garantiert. Die Platinnetze bleiben dabei 8—12 Monate gut wirksam.

Aktiviert, wismuthaltige Eisenoxydmassen werden zur Ammoniakoxydation in körniger Form mit einer Schichtdicke von 10—15 cm in einem Kontaktofen nach dem Verfahren der I.G. Farbenindustrie A.-G. (Badische Anilin- und Sodafabrik) angewendet. Der Ofen hat einen Durchmesser von 3,5—4 m und eine Höhe von etwa 5—6 m. Die Ammoniakgase treten mit etwa der 10—12fachen Luftmenge gemischt von oben in die obere Ofenkammer und durchstreichen dann die auf einem oder zwei Siebböden angeordneten

Katalysatormassen. Die unten austretenden, heißen Abgase wärmen in Austauschapparaten das in den Ofen gehende Gemisch vor.

Über die Anwendung von Drücken in Gasverbrennungsapparaturen s. Druckabsorptionsapparate.

Das *Cederberg*-Verfahren der Oxyammon A.-G., Zürich, führt die Verbrennung von Ammoniak mit reinem Sauerstoff oder mit solchen von etwa 85—95 Proz. Gehalt dadurch explosionsicher

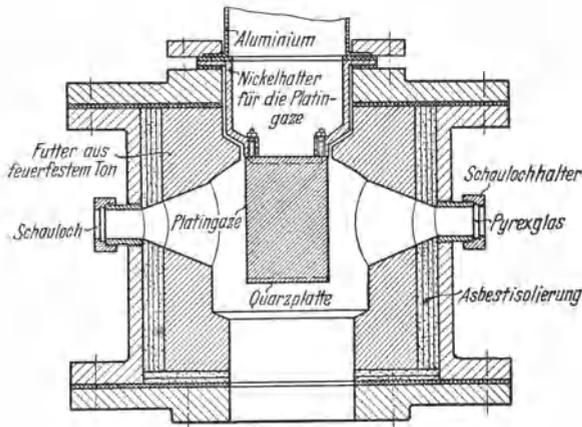


Abb. 934. Ammoniakverbrennungselement
(Bauart Parsons).

durch, daß es das Element völlig mit verdünnter Salpetersäure füllt. Ammoniak und Sauerstoff werden dem Element nach einer von *B. Waeser* gegebenen Beschreibung (Chem. Apparatur 1933, S. 6) durch Gebläse zugeführt (Abb. 935). Das Element 1 befindet sich im Unterteil eines Behälters 2, der teilweise mit verdünnter Salpetersäure zur Aufnahme der Verbrennungswärme gefüllt ist. Die erwärmte Säure wird durch die Pumpe 6 über einen Wasserkühler 7 wieder nach 2 zurückgeleitet. Die nitrosen Gase oxydieren sich in 2 vor und treten dann in den unteren Teil des Behälters 3 ein, in dem sich gleichzeitig von oben herabrieselnde Salpetersäure ansammelt. Die Gase durchdringen die Säureschicht und steigen durch die Rohre der wassergekühlten Kondensatoren 4 nach oben, wobei sich die Salpetersäure bildet. Über den Kondensatoren 4 liegt ein als Absorber wirkender Wasserkühler 5. Die Pumpe 8 läßt die Säure über den Kühler 9 umlaufen. Ein Teil der von Pumpe 6 geförderten Säure gelangt nicht nach 7, sondern über Pumpe 10 in den Kühler 5. Durch beliebigen Wasserzusatz kann hier die gewünschte Säuregrädigkeit eingestellt werden. Ersetzt man die Wasserkühlung in den Kondensatoren 4 teilweise durch Eismaschinenkühlung, so kann man auch Stickstoffoxyd erhalten und mit seiner Hilfe konzentrierte Salpetersäure gewinnen.

Mustergültig durchgearbeitet ist das insbesondere auf *Wendlandt* (Bayr. Stickstoffwerke) zurückgehende Sauerstoff-Verbrennungs-Verfahren der Bamag-Meguïn A.-G., das die Schwierigkeiten der Unterwasseroxydation chemisch und apparativ sehr geschickt gemeistert hat.

Zur Verbrennung von Luft zwecks Oxydation von Stickstoff zu Stickoxyden benutzt man die thermische Wirkung der elektrischen Entladung. Gegenüber der Verbrennung an Katalysatoren sind die Lichtbogenverfahren nur bei besonders billigen Stromkosten und günstiger Frachtlage wirtschaftlich. Die Reaktion ist endotherm und umkehrbar. Die bei steigenden Temperaturen sich bildenden Stickoxyde zerfallen also den Gleichgewichtsbedingungen entsprechend bei sinkenden Temperaturen. Unter sonst gleichen Bedingungen steigen der Stickoxydgehalt und auch die Umsatzgeschwindigkeit mit der Temperatur in einem bestimmten Verhältnis. Eine hohe Ausbeute in den Reaktionsgasen erfordert demnach eine hohe Erhitzung und darauf eine schnelle und wirksame Abkühlung, damit das erhaltene Gleichgewicht nicht umgekehrt ver-

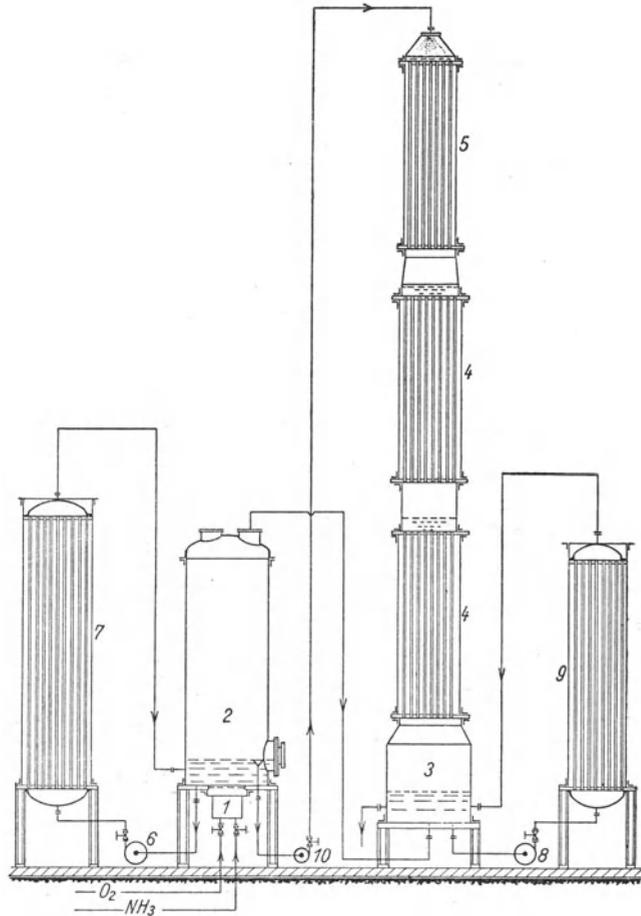


Abb. 935. Ammoniakverbrennung nach Cederberg.

laufen kann. In der Reaktionszone sucht man Temperaturen über 3000° zu erreichen, um dann sofort die Gase auf etwa 1500° abzukühlen. Die Dauer der Berührung zwischen Gasen und Lichtbogen muß eine bestimmte Zeit währen. Die Berührungsfläche soll möglichst groß sein, um eine entsprechende Leistung zu erzielen. Man wendet daher entweder sehr lange Lichtbögen an oder zieht diese durch besondere Mittel auseinander oder sorgt für eine Bewegung derselben. Die Stromstärken richten sich nach dem Widerstand der Gasstrecke. Sinkt die Temperatur, so wächst der Widerstand, so daß die

Stromstärke steigen muß. Durch den Einbau von Drosselspulen, besonderen Schaltungen usw. sucht man die Stromstöße nach oben zu begrenzen. Nach *H. Pauling* (*M. Pirani*, Elektrothermie, S. 185, Berlin 1930, Springer) haben alle Luftverbrennungsöfen eine durchschnittliche Ausbeute von etwa $80 \text{ g HNO}_3/\text{kWh}$ gegen 250 g der Theorie und erreichen Konzentrationen an nitrosen Gasen von 1,8 bis 2,5 Vol.-Proz., bezogen auf das Volumen der durchgehenden Luft. Nach *Waeser*, S. 102, erfordert die Bindung von 1 kg Salpetersäurestickstoff nach dem Lichtbogenverfahren $60\text{--}80 \text{ kWh}$. Für die Wirtschaftlichkeit der elektrischen Gasverbrennungseinrichtungen ist auch der Leistungsfaktor des Ofens von Bedeutung, der sich möglichst der 1 nähern soll. Die ohne Magnetfelder arbeitenden Öfen sind in dieser Beziehung besonders günstig.

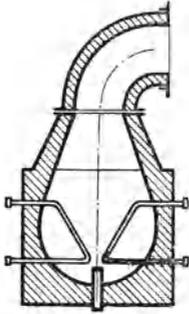


Abb. 936.
Pauling-Ofen.

Nach Form und Länge der erzeugten Flammen kann man, wie *Pauling* (*Pirani*, S. 162) vorgeschlagen hat, Öfen unterscheiden, in denen die Flammen unter der Einwirkung des Reaktionsgemisches oder unter dem Einfluß eines elektrischen oder magnetischen Feldes ihren Ort ändern oder in denen die Flammen sich nicht bewegen.

Der *Pauling*-Ofen gehört zu den Einrichtungen, deren Entladung durch die Strömungsenergie des Gasgemisches beeinflusst wird. Einen Schnitt durch

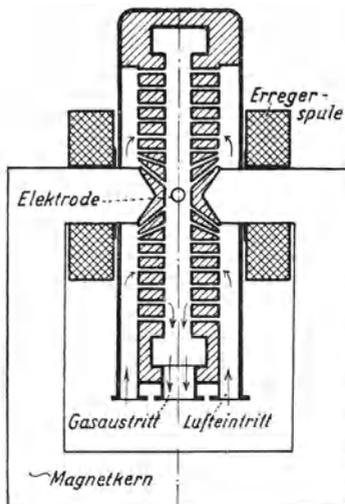


Abb. 937. Schematischer Querschnitt durch einen Luftverbrennungsöfen nach *Birkeland* und *Eyde*.

einen solchen Ofen zeigt schematisch Abb. 936. Zwei nach Art der Hörnerblitzableiter gekrümmte Elektroden erzeugen die Entladung, deren Oberfläche dem jeweiligen Energieverbrauch entspricht. Von unten strömt das Gasgemisch aus einer Düse gegen die Flamme und zieht sie nach oben auseinander, bis sie erlischt. An dem unteren Spalt der Elektroden bildet sich der Flammenbogen von neuem. Die Elektroden befinden sich in einem feuerfest ausgemauerten, engen Schacht. Damit die Wände nicht wärmer als etwa $1300\text{--}1400^\circ$ werden, arbeitet man mit einem bestimmten Luftüberschuß, der zur Kühlung beiträgt.

Der Ofen nach *Birkeland* und *Eyde*, Abb. 937, arbeitet mit einer Entladung von scheibenartiger Form (Sonne), die ein starkes Magnetfeld beeinflusst. Er wird in Einheiten bis zu 3000 kW Leistung angewendet. Die feuerfest ausgemauerte Ofenkammer umschließt mit geringem Zwischenraum die Elektroden befinden sich zwischen den Polen eines starken Elektromagneten. Das von diesem ausgehende Kraftfeld zieht die Entladung zu einer Scheibe von $0,7\text{--}1 \text{ m}$ Durchmesser auseinander. Die Luft strömt aus Seitenkammern durch besondere Kanäle in den Zwischenwänden zur Flammenscheibe. Ein Ringkanal am Umfang der Entladung

sammelt die mit einem Stickoxydgehalt von 1,5—2,5 Vol.-Proz. abziehenden, heißen Gase. Die größte mit *Birkeland-Eyde*-Öfen betriebene Anlage (etwa 130000 kW) in Norwegen (Rjukan-Fälle) gründet sich auf der wirtschaftlichen Ausnutzung von äußerst billigen und sonst schlecht ausnutzbaren Wasserkraften.

Bei dem *Moscicki*-Ofen geht der Flammenbogen zu einer Gegenelektrode, die aus einem Metallkörper mit zahlreichen Kanälen besteht. Diese sorgen für schnelle Abführung der Gase aus dem Reaktionsbereich. Ein Magnetfeld setzt bei dieser Bauart den Lichtbogen in schnelle Bewegung.

Von den Öfen mit ruhenden Flammen hatte der *Schönherr*-Ofen einige Bedeutung erlangt. In einem Eisenrohr, das beim Zünden als Gegenelektrode dient, werden lange Flammen erzeugt. Die Luft tritt tangential ein und strömt in Spiralen um das Flammenband.

Der *Siebert*-Ofen (Abb. 938) arbeitet mit Drehstrom und hat entsprechend drei in einer Ebene um 120° versetzte Elektroden, die in ein scheibenartiges Ofengehäuse eingeschoben sind. Zwischen den Elektroden bildet sich eine ruhende Flammenfläche. Die Luft strömt tangential in das Gehäuse ein, bewegt sich in Spiralen beiderseits der Entladung zur Gehäusemitte und verläßt dort durch Austrittsstutzen den Ofen. Da die Temperaturen hier sehr hoch sind, hat man in der Mitte wassergekühlte Gassammelrohre eingebaut.

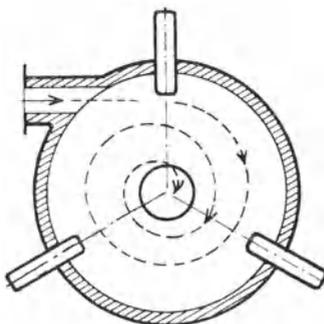


Abb. 938. *Siebert*-Ofen.

Nächst der Erzeugung von Stickoxyden hat besonders die Gewinnung von Schwefelsäureanhydrid unter den Gasoxydationen technische und wirtschaftliche Bedeutung erlangt. Da Schwefeldioxyd und Sauerstoff allein zu langsam aufeinander einwirken, beschleunigt man die Einstellung des Gleichgewichts durch Katalysatoren. Für die Anhydridherstellung benutzt man Platin, Eisenoxyd, Vanadiumverbindungen, daneben Chromoxyd, Kupferverbindungen und andere Stoffe als Katalysatoren. Platin verwendet man dazu in der Form von Platinasbest oder von platinieren Eisenoxydmassen. Platinasbest hat den Nachteil, daß er nur in dünnen Lagen geschichtet werden kann. Die sich immer mehr verbreitenden Vanadiumkatalysatoren ergeben Umsetzungen von SO_2 zu SO_3 von 98 Proz. und mehr; man verwendet bei ihrer Benutzung Röhren- oder Schichtenkessel.

Um die Oxydation unter den günstigsten Gleichgewichtsbedingungen durchzuführen, sind bestimmte Temperaturgrenzen bei der Reaktion einzuhalten. Da die Anhydridbildung zunächst schnell verläuft, erwärmt sich der Katalysator zunehmend, so daß SO_3 teilweise wieder zerfallen würde, wenn der Temperaturanstieg durch eine entsprechende Wärmeabfuhr nicht verhindert würde. Je höher die Temperatur steigt, um so schneller verläuft die Reaktion in der Richtung zum Gleichgewicht, um so ungünstiger ist dabei jedoch die Anhydridausbeute. Mit Platinkatalysatoren arbeitet man unter Temperaturen von $400\text{--}500^\circ$.

Die Platinasbestmassen ruhen in den Apparaten in lockeren Schichten auf Sieben oder gelochten Platten. Die aufnehmenden Behälter haben einen

Durchmesser von 2—3 m. Oft schaltet man zwei Apparate zur Umsetzung hintereinander. Im ersten Apparat geht die erste Stufe der Umwandlung bei erhöhter Temperatur vor sich. Der zweite Apparat vervollständigt die Umsetzung bei geringerer Temperatur.

Einen Gasverbrennungsapparat zur Gewinnung von SO_3 , Bauart *Tentelw*, in einer älteren Form zeigt Abb. 939 (Chem. Apparatur 1934, S. 90). Der obere Teil des Apparats, der einen erweiterten Durchmesser hatte, enthielt eine Lochplatte, die eine große Zahl gußeiserner Kegel trug. Diese sollten der zwischen ihnen aufgeschichteten Katalysatormasse Wärme entziehen und nach außen abstrahlen. Die Gase strömten dann nach unten in die kleinere Reaktionskammer, in der sich mehrere dünne Schichten von Katalysatormasse befanden.

Um die freiwerdende Wärme der gesamten Katalysatormasse möglichst gleichmäßig zu entziehen, hat man Apparate mit Röhrenwärmeaustauschern entwickelt, wobei ebenfalls zwei Schichten die durchtretenden Gase zum Anhydrid umsetzen. Die untere Masse-schicht ruht auf einer Lochplatte, in die mehrere, unten offene Wärmeaustausch-zylinder oder -rohre eingefügt sind. Zur Zuführung der Gase in diese Wärmeaustauscher dienen innere Rohre, denen die bereits auf etwa 300° erwärmten Gase aus einem darunter angeordneten Sammelraum zuströmen. Das auf diese Weise vorgewärmte Gas strömt von unten durch die Lochplatte zu der auf dieser lagernden Katalysatormasse und von dort über Verteilbleche in die obere Katalysatorschicht.

Einen Anhydridapparat amerikanischer Bauart *Herreshoff*, der mit einem besonderen Röhrenwärmeaustauscher zur ersten Vorwärmung verbunden ist, zeigt Abb. 940 (Chem. Apparatur 1934, S. 90). Der erste Reaktionsraum enthält etwa 30 Proz. der gesamten Kontaktmasse.

Bisweilen werden entsprechend den beiden Reaktionsräumen auch zwei Wärmeaustauscher verwendet, die als Röhrenapparate ausgebildet sind. Die zu oxydierenden Gase durchströmen beide Wärmeaustauscher nacheinander, und zwar zuerst einen größeren Apparat, den die aus der zweiten Reaktionskammer kommenden Gase beheizen, und dann den zweiten, kleineren Wärmeaustauschapparat, durch den die aus der ersten Kammer tretenden Gase ziehen. Der erste Wärmeaustauscher setzt dabei die Temperatur der Gase, welche die erste Kammer verlassen, soweit herab, als es für einen günstigen Verlauf der Reaktion in der zweiten Kammer erforderlich ist. Bei der Verwendung von Vanadiumkatalysatoren, die eine stärkere Schichtung zulassen, sieht man meist zwei Lagen im ersten und drei Lagen im zweiten Reaktionsraum vor. Derartige Apparate sind in Einheiten, die bis zu 100 t Schwefelsäure täglich erzeugen, gebaut worden. (Chem. Apparatur 1934, S. 91.)

Mit Eisenoxyd als Katalysator arbeitete man nach dem sog. Mannheim-System mit Öfen nach Abb. 941 (Chem. Apparatur 1934, S. 89).

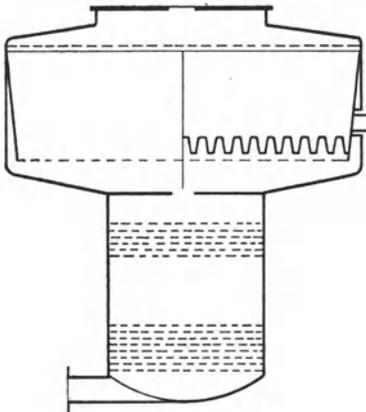


Abb. 939. Konverter, Bauart *Tentelw* (ältere Form).

Die Eisenoxydmassen (Kiesabbrände) wurden von oben in einen gasdicht verschlossenen Schacht 2 eingeworfen. Unten war der Schacht unmittelbar mit den zur Verbrennung der Schwefelkiese dienenden Rosten 1 verbunden, so daß die SO_2 -haltigen Gase durch die Eisenoxydmassen streichen mußten. Da das Eisenoxyd erst bei etwa 600° wirksam wird, ist es nicht möglich, eine vollständige Umsetzung zu SO_3 zu erhalten, so daß man sich mit einer Ausbeute von 50—60 Proz. begnügen und in einer zweiten Stufe mit Platinasbest die Umwandlung vollenden mußte.

Auch in der organisch-chemischen Technik hat die Oxydation in der Gasphase unter Benutzung von Katalysatoren ein weites Anwendungsgebiet gefunden. Bei diesen Reaktionen darf das Dampf-Luft-Gemisch jedoch nicht die Entzündungstemperatur erreichen, da dieses dann explosionsartig

zu Kohlendioxyd und Wasserdampf verbrennen und sich nicht zu den gewünschten Reaktionserzeugnissen umsetzen würde. Die Temperaturen zur Oxydation von organischen Dämpfen liegen meist zwischen etwa 350 und 450° .

Die Zersetzung von Methan zu Kohlenoxyd und Wasserstoff kann man mit Wasserdampf vornehmen, um ein für Synthesen brauchbares Gasgemisch aus methanhaltigen Gasen gewinnen zu können. Das gleiche Ziel läßt sich ohne Wasserdampf auch mit Sauerstoff durch unvollständige Verbrennung und Überleitung der heißen Gase über Katalysatorflächen erreichen, die auf einer feuerfesten, keramischen Unterlage niedergeschlagen sind. Die Apparatur besteht dabei lediglich aus einer feuerfesten Verbrennungskammer, die den Katalysatoreinbau enthält.

Zahlreiche Verfahren sind zur Oxydation aliphatischer Kohlenstoffverbindungen ausgearbeitet worden. — Besondere Bedeutung hat die Oxydation von Methylalkohol zu Formaldehyd erlangt. Um die Sättigung der Luft mit Alkoholdämpfen zu sichern, läßt man die Luft durch eine mit Füllkörpern oder anderen Einbauten versehene Kolonne steigen. Von oben rieselt der Luft Alkohol entgegen. Um die Verdunstung des Alkohols zu beschleunigen, ist die Kolonne mit einem Doppelmantel zur Beheizung versehen. Damit die Luft sich gleichmäßig mit Alkoholdampf sättigt, muß die zuströmende Menge

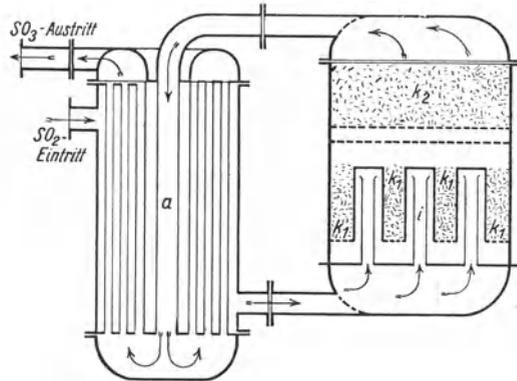


Abb. 940. Amerikanischer Kontaktofen mit innerem und äußerem Wärmeaustauscher.

a äußerer Austauscher, *i* innerer Austauscher, *k*₁ erster Katalysator, *k*₂ zweiter Katalysator.

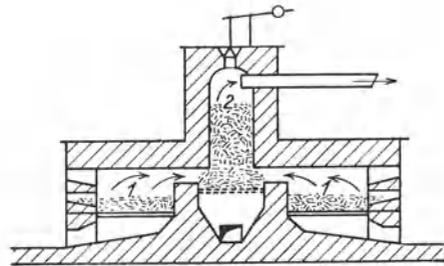


Abb. 941. Eisenoxydkatalysator (älteste Form des Mannheimer Systems).

1 Verbrennungsrost, 2 Eisenoxydschacht.

durch ein Drosselorgan vor ihrem Eintritt in die Sättigungskolonnie genau eingeregelt werden. Ein Temperaturregler sorgt für gleichbleibende Einstellung des Beheizungsgrades. Das Dampf-Luft-Gemisch strömt dann durch isolierte Rohre in den eigentlichen Oxydationsapparat. Dieser besteht aus einer Reihe von Kupferrohren, die mit der Katalysatormasse gefüllt sind. Bei der Inbetriebsetzung wird zunächst eine besondere Heizung zur Einleitung der Reaktion eingeschaltet. Die Oxydation läuft dann von selbst weiter, wobei jedoch eine geringe Kühlung erforderlich ist. Die Reaktionsendgase gehen in einen Kühler. Das Kondensat enthält im Mittel 50—60 Proz. Methylalkohol, 25—30 Proz. Formaldehyd und 15—20 Proz. Wasser. (*H. Brückner*, Katalytische Reaktionen, I. Teil, S. 83, Dresden 1930, Steinkopff.)

Zur Oxydation von Äthylalkohol zu Acetaldehyd leitet man nach dem Verfahren der Holzverkohlungsindustrie A.-G. (DRP. 422729) ein Dampf-Luft-Gemisch, das auf 8 kg Alkoholdampf etwa 10 m³ Luft enthält, in Quarz- oder Porzellanrohren durch Silberdrahtnetze, die als Katalysatoren dienen. Diese Silberdrahtnetze bieten gegenüber versilbertem Asbest den Vorteil, daß örtliche Überhitzungen abgeleitet und vermindert werden können und die Geschwindigkeit des Umsatzes dadurch steigt. — In ähnlicher Weise kann man die Oxydation von Isopropylalkohol zu Aceton durchführen.

Die gleichen, verhältnismäßig einfachen Apparatebauarten kommen für die katalytische Oxydation aromatischer Kohlenwasserstoffe, die sich in der Gasphase meist besonders günstig durchführen läßt, in Betracht.

Große technische Bedeutung hat die Oxydation von Kohlenoxyd mit Wasserdampf in der Stickstoffindustrie zur Darstellung von Wasserstoff oder Wasserstoff-Stickstoff-Gemischen erlangt; hierüber s. Gasreaktionsapparate.

Lit.: *B. Waeser*, Die Luftstickstoff-Industrie (2. Aufl., Leipzig 1932, Spamer); Handbuch der Schwefelsäurefabrikation (Braunschweig 1930, Vieweg); Schwefelsäure, Sulfat, Salzsäure (Dresden 1927, Steinkopff). — *M. Pirani*, Elektrothermie (Berlin 1930, Springer). — *H. Pauling*, Elektrische Luftverbrennung (Halle 1929, Knapp). — *Hackspill*, L'azote (Paris 1922). — *T. P. Hilditch*, Catalytic Processes in Applied Chemistry (London 1929, Chapman & Hall). — *Pascal*, Synthèses et catalyses industrielles (2. Aufl., Paris 1930). — *L. Maugé*, Les industries de l'azote (Paris-Lüttich 1929, Béranger).

Thormann.

Lit. Chem. Apparatur: *B. Waeser*, Die Ammoniakverbrennung (1928, S. 169, 183); Apparaturen der anorganisch-chemischen Großindustrie (1932, S. 209; 1933, S. 6, 182; 1935, S. 201, 206). — *B. Schulz*, Fabrikation synthetischer Salzsäure (1933, S. 73). — *C. Ritter*, Fortschritte in der Schwefelsäureapparatur (1934, S. 89).

Gasverdichtungsapparaturen, s. Gebläse, Kapselgebläse, Kolbenkompressoren, Turbokompressoren.

Gasverflüssigungsapparate (*s. auch Kühler, Kältemaschinen*). Zur Überführung von Gasen in den flüssigen Zustand ist mindestens eine Abkühlung bis zum Siedepunkt, der dem vorhandenen Druck entspricht, erforderlich. Ist diese Temperatur erreicht, so ist die zur Kondensation erforderliche Wärme zu entziehen. Zur Verflüssigung von Gasen dienen daher Tiefkühlapparate, die mit besonders niedrigen Temperaturen und teilweise hohen Drücken arbeiten. Hierbei benutzt man entweder ein fremdes Kältemittel, z. B. Ammoniak, oder das Gas dient selbst als Kältemittel. Die wichtigsten Teile der Apparaturen sind Verdichter, Kondensatoren und Verdampfer.

Die Gasverflüssigung bezweckt meist die Zerlegung von Gasgemischen. Da man die nach außen abzuleitende Wärme nur durch Kühlwasser aufnehmen kann und die Kondensationstemperaturen über der Temperatur des Kühlwassers liegen müssen, verdichtet man die Gase auf hohe Drücke, um die Verdichtungswärme wie bei den üblichen Kältemaschinen (s. d.) abführen zu können. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, zwischen Verdichter (Gaspresser) einerseits und Verdampfer und Kondensator andererseits Wärmeaustauscher einzuschalten.

Bei der Gasverflüssigung kann man drei verschiedene Möglichkeiten unterscheiden:

1. Ein Gas, also nicht ein Gasgemisch, ist zu verflüssigen. Es handelt sich dabei lediglich um einen Wärmeaustausch mit einem Kältemittel, das meist aus anderen verflüssigten Gasen besteht.

2. Von den Bestandteilen eines Gasgemisches verflüssigt sich nur ein Gas oder eine Gruppe von Gasen, während die übrigen gasförmig bleiben. Hier führt eine fraktionierte Kondensation zum Ziel. Dieser Fall tritt besonders ein, wenn die Siedepunkte der Bestandteile weit auseinanderliegen.

3. Ein Gasgemisch ist vollständig zu verflüssigen. Um die einzelnen Bestandteile des Gemisches zu gewinnen, ist eine Rektifikation des Gemischs erforderlich (s. Destillierapparate, Rektifizierapparate). Dieser Fall tritt besonders ein, wenn die Siedepunkte der Bestandteile nahe beieinander liegen.

Der zuerst genannte Fall kommt in der Technik verhältnismäßig selten vor. Dabei handelt es sich meist um kleine Mengen, während in den beiden übrigen Fällen meist sehr große Gas Mengen in Frage kommen.

Eine Apparatur zur Verflüssigung von Wasserstoff, die von der Andreas Hofer, Hochdruck-Apparatebau G. m. b. H., Mülheim-Ruhr, entwickelt wurde, zeigt Abb. 942 (Chem. Apparatur 1934, S. 203). Zur Kühlung dient hier verdampfende, flüssige Luft. Aus Sicherheitsgründen ist die Apparatur so gebaut, daß Luft und Wasserstoff nicht in Berührung kommen können. Der mit 160 at zugeführte Wasserstoff geht zunächst in einen schraubenförmig gewundenen Gegenstromkühler, wo er an den aus dem unteren Kühler entweichenden Wasserstoff, der bereits tiefgekühlt ist, Wärme abgibt; er wird dann in einer Rohrschlinge durch ein Bad mit flüssiger Luft vorgekühlt und in einer zweiten Rohrschlinge durch den aus dem Auffanggefäß entweichenden Wasserstoff weiter abgekühlt. Hierauf strömt er durch das Drosselventil. Durch Schaugläser kann man den Verflüssigungsvorgang verfolgen und den Zeitpunkt des Ablassens bestimmen.

Die fraktionierte Kondensation dient besonders zur Gewinnung von Wasserstoff aus wasserstoffhaltigen Gasen wie Wassergas, Kokereigas usw. —

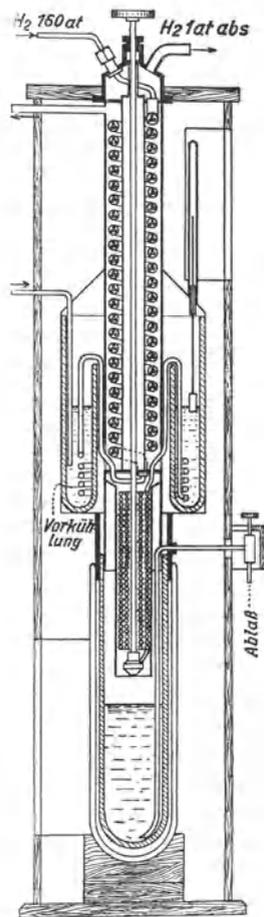


Abb. 942.
Wasserstoffverflüssiger
(Andreas Hofer).

Bei der fraktionierten Kondensation von Wassergas arbeitet man mit Drücken von 15—20 at an (vgl. *R. Linde*, Z. VDI 1932, S. 570). Wird der Wasserstoff mit hohem Druck weiterverwendet, so deckt man die Kälteverluste dadurch, daß man flüssige Luft oder flüssigen Stickstoff bei 0,2 at abs verdampft. Dabei erhält man eine Abkühlung auf etwa -208° und erzielt Reinheitsgrade des Wasserstoffs von 98—99 Proz. Für 1 m³ Wassergaserzeugung ist ein Arbeitsaufwand von etwa 0,27 PSh erforderlich. Wird der Wasserstoff nicht mit hohem Druck weiterverwendet, so kann man die Verdichtung der Gase ausnutzen, um die Kälte für die Deckung der Kälteverluste zu erzeugen. Da der *Joule-Thomson*-Effekt bei Wasserstoff gering ist, läßt man den Wasserstoff unter Leistung äußerer Arbeit sich ausdehnen. Dieses von *Claude* eingeführte Verfahren wird von diesem auch bei der Koksofengaserzeugung angewendet.

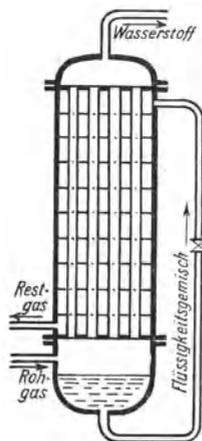


Abb. 943. Röhrenkondensator zur Zerlegung von Koksofengas nach *Claude*.

Die fraktionierte Kondensation von Koksofengas ist schwieriger, weil es zahlreiche Bestandteile enthält, die bei verschiedenen Temperaturen kondensieren und teilweise gegenseitig löslich sind. Außerdem verflüssigen sich diese zum Teil bei erheblich tieferer Temperatur, als ihren Verdampftemperaturen bei 1 at abs entspricht. Beispielsweise muß man bei 10 at abs Zerlegungsdruck und 25 Proz. Methangehalt des Koksofengases 40 Proz. des Methans bei niedriger als der Verdampftemperatur für 1 at kondensieren (*R. Linde*, Z. VDI 1932, S. 572).

Zur Zerlegung von Koksofengas hat man verschiedene Verfahren entwickelt. *Claude* verzichtet darauf, die einzelnen Bestandteile getrennt voneinander zu gewinnen. Er leitet das zu zerlegende Gasgemisch in ein stehendes Röhrenbündel eines Röhrenverdampfers von unten ein und führt die flüssig abgeschiedenen und auf Atmosphärendruck entspannten Bestandteile in den Raum außerhalb der Rohre nach oben. Sie verdampfen dann nach und nach, indem sie über Böden nach Art einer Trennsäule (s. Destillierapparate) herabströmen, wie Abb. 943 schematisch zeigt. Im Röhrenbündel kondensieren zuerst die höhersiedenden und dann die tiefersiedenden Bestandteile, außerhalb des Röhrenbündels, also auf den Böden, verdampfen zuerst die tiefersiedenden und zuletzt die höhersiedenden Bestandteile. *Claude* deckt dabei die Kälteverluste durch Expansion des Wasserstoffs mit einer Kolbenmaschine unter Leistung äußerer Arbeit.

Die Gesellschaft für Lindes Eismaschinen A.-G., Wiesbaden, arbeitet bei der Koksofengaserzeugung mit einer Stickstoffverflüssigungsmaschine, die den Kälteverlust deckt, den flüssigen Stickstoff zur Entfernung des Kohlenoxyds aus dem übrigbleibenden Gemisch sowie zum Kältebad für die tiefsten Temperaturen liefert und bei der Ammoniaksynthese zur Einstellung des gewünschten Stickstoffgehalts dient. Der hochverdichtete Stickstoff gibt seine Wärme zum Verdampfen der höhersiedenden Bestandteile des Koksofengases und eines Teils des Methans ab. Der Stickstoff wird dabei auf 150 at verdichtet und dann zur Erzeugung von Kälte auf 12 at abs gedrosselt. Eine derartige Anlage besteht demnach aus einer Stickstoffgewinnungsanlage und der eigentlichen Koksofengaserlegungsanlage (Abb. 944). Be-

sondere Koksofengaskompressoren verdichten das gereinigte Koksofengas auf etwa 12 at abs und drücken es zunächst in eine Benzolausscheidungsanlage, die aus umschaltbaren und auftaubaren Gegenstromkühlern besteht. Nach der Entfernung des Benzols geht das Gas in die Kohlensäureabscheidungsanlage, die mit einem Druckwasserturm und zwei hintereinandergeschalteten Laugewaschtürmen den Kohlensäureanteil ausscheidet, damit die Kohlensäure nicht den Zerlegungsapparat verstopfen kann. Durch Kühlung mit den aus den Trennapparaten kommenden kalten Gasen und mit verdampfendem Ammoniak werden die Gase dann getrocknet und vorgekühlt. Hierzu dienen umschaltbare Röhrenkühler, die man von Zeit zu Zeit auftaut. Dann gelangt das Gas in den Zerlegungsapparat, wo es allmählich weiter gekühlt wird, so daß alle Nebenbestandteile in der Reihenfolge ihrer Kondensationstemperaturen, insbesondere Äthylen, Methan und Kohlenoxyd, sich verflüssigen, bis nur ein Gemisch von Wasserstoff und Stickstoff, sowie ein Rest von Kohlenoxyd übrigbleibt. Diese Restmengen werden aus dem Wasserstoff-

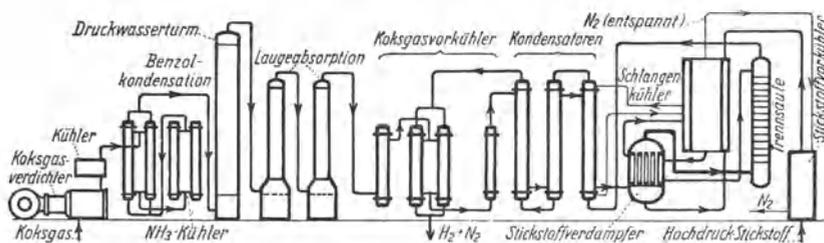


Abb. 944. Schema eines *Linde*-Koksofengas-Zerlegungsapparates.

Stickstoff-Gemisch durch Waschen mit flüssigem Stickstoff entfernt. Als Kühler dienen stehende Röhrenkühler. Die letzte Tiefkühlung übernimmt ein Stickstoffverdampfungsgefäß, das aus einem Behälter mit zahlreichen senkrechten Röhren besteht, durch die das Gas streicht, während außerhalb von diesem der flüssige Stickstoff siedet. Die Stickstoffwaschsäule besteht aus einer hohen Kolonne mit zahlreichen Siebböden. In ihrem Unterteil sammelt sich die Rücklaufflüssigkeit, die aus Kohlenoxyd, Stickstoff und einem Methanrest besteht. Neben den Kühlern mit geraden Rohren, die zu Bündeln vereinigt sind, verwendet man auch Gegenströmer mit schraubenförmig gewundenen Rohren. In bestimmten Zeitabständen wird der Betrieb unterbrochen und die Apparatur aufgetaut. Hierzu benutzt man ein Gebläse, mit dem man angewärmten Stickstoff in den Apparat bläst oder auch in stetigem Kreislauf umgehen lassen kann. Um eine gute Ausnutzung der Apparate zu sichern, sind besondere Verteilerrohrsysteme mit zahlreichen Verbindungsleitungen vorgesehen, mit denen man jeden beliebigen Apparat aus- oder einschalten oder mit einem anderen Apparat verbinden kann.

Bildet ein Gasgemisch bei der Verflüssigung eine Lösung und ist eine Trennung durch fraktionierte Kondensation nicht möglich, so müssen die Bestandteile der Flüssigkeit durch Rektifikation voneinander getrennt werden. Dieses Verfahren ist insbesondere bei der Zerlegung von Luft in Sauerstoff und Stickstoff notwendig, deren Siedepunkte bei -183° und -196° liegen. Dabei strömen die sauerstoffreichen Dämpfe von oben in einer

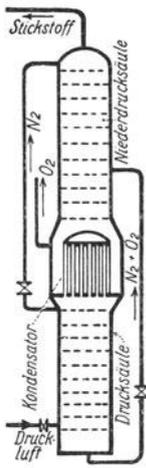


Abb. 945. Schema einer Luftzerlegungs-Apparatur nach Linde.

Trennsäule der herabrieselnden, stickstoffreichen Flüssigkeit entgegen. Zur Rektifikation der Luft muß der Rücklauf in einem Kondensator mit einem Kühlmittel erzeugt werden, das kälter als die von dem obersten Boden der Säule aufsteigenden Stickstoffdämpfe ist. Um hierfür den flüssigen Sauerstoff verwenden zu können und um eine möglichst vollständige Zerlegung zu erreichen, führt man die Rektifikation in zwei durch den genannten Kondensator gekoppelten Säulen mit zwei verschiedenen Drücken durch. Mit diesem Verfahren der doppelten Rektifikation kann man Sauerstoff von 99,5 Proz. und Stickstoff von 99 Proz. erhalten. Das Schema eines Apparates zur doppelten Rektifikation von Luft zeigt Abb. 945. Die beiden Säulen sind übereinandergestellt. Die durch Gegenstromkühler vorgekühlte Luft tritt über ein Entspannungsventil mit einem Mindestdruck von 2,6 at in die untere Säule. Der Druck von 2,6 at ist mindestens erforderlich, weil Stickstoff bei diesem Druck die gleiche Siedetemperatur hat, wie Sauerstoff von Atmosphärendruck. Meist beträgt der Betriebsdruck der unteren Säule etwa 4 at. Der oben sich ansammelnde Stickstoff wird flüssig über ein Regelventil auf den obersten Boden der mit etwa Atmosphärendruck arbeitenden, oberen Säule geführt.

Das in dem Unterteil der Drucksäule sich befindende Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch strömt ebenfalls über ein Regelventil in die obere Säule. Der oberen Säule entnimmt man unten den reinen Sauerstoff und oben reinen Stickstoff. Die Kälte der abströmenden Gase dient in Rohrschlängengegenstromapparaten zur Vorkühlung der eintretenden Luft. Die so vorgekühlte Hochdruckluft strömt durch eine Rohrschlange, die sich in dem Unterteil der Drucksäule befindet, und geht dann durch das Drosselventil zur Rektifikation.

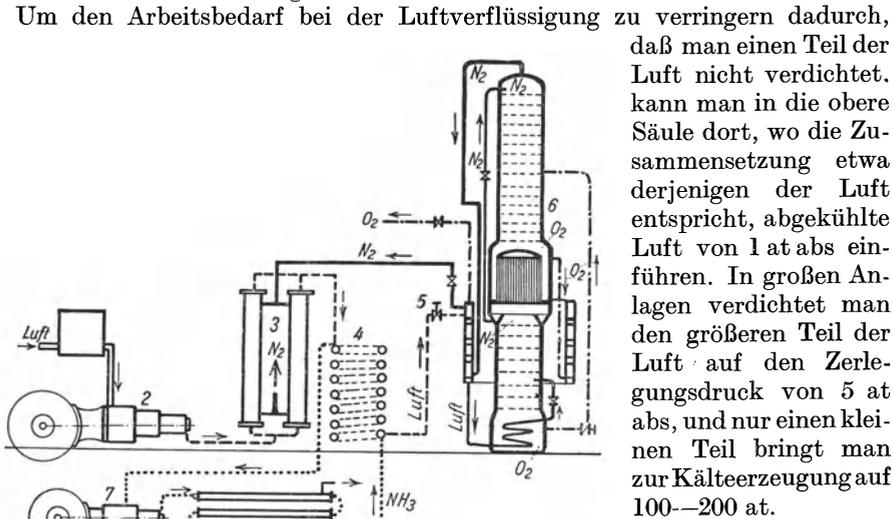


Abb. 946. Schema einer Luftverflüssigungsanlage nach Linde.

Um den Arbeitsbedarf bei der Luftverflüssigung zu verringern dadurch, daß man einen Teil der Luft nicht verdichtet, kann man in die obere Säule dort, wo die Zusammensetzung etwa derjenigen der Luft entspricht, abgekühlte Luft von 1 at abs einführen. In großen Anlagen verdichtet man den größeren Teil der Luft auf den Zerlegungsdruck von 5 at abs, und nur einen kleinen Teil bringt man zur Kälteerzeugung auf 100–200 at.

Das Schema einer vollständigen Luftzerlegungsanlage, die dem

System *Linde* entspricht, zeigt Abb. 946. Ein mehrstufiger Kompressor 2 drückt die in einem Filter mechanisch gereinigte Luft durch einen umschaltbaren, zweiteiligen Gegenstromkühler 3, in dem der aus dem Zerlegungsapparat kommende, kalte Stickstoff als Kältemittel dient. In diesem Apparat fällt der größte Teil des Wasserdampfes aus. Die Luft geht dann durch einen Ammoniakkühler 4, wird durch das Ventil 5 entspannt und strömt von dort in den Zerlegungsapparat 6. Zur Lieferung des flüssigen Ammoniaks dient die aus dem Kompressor 7 und dem Kondensator 8 bestehende Kälteanlage.

Über den Verkehr mit verflüssigten Gasen s. Gasflaschen.

Lit.: Siehe Kältemaschinen.

Thormann.

Gaswascher, s. Absorptionsapparate, Berieselungsvorrichtungen, Desintegratorwascher, Gas- und Luftreiniger, Skrubber, Standardwascher, Schleuderwascher.

Gay-Lussac-Türme, s. Gasreaktionsapparate, Keram. Werkstoffe (Abschn. 4).

Gebläse dienen zur Förderung von Luft, Gasen oder Dämpfen auf einen höheren Druck. Die höchsten Drücke werden mit Kolbenkompressoren (s. d.) erzeugt, die ein- oder mehrstufig gebaut werden. Die Gebläse, die dazu dienen, Luft oder Gase aus Räumen zu fördern, die unter Unterdruck stehen, werden meist als Luftpumpen (s. d.) bezeichnet. Sind sehr große Luft- oder Gasmengen zu fördern, so wendet man bei Drücken bis zu etwa 12 at auch Turbogebälse (s. d.) an, die die Fliehkraftwirkung mit Hilfe von mehreren Schaufelrädern ausnutzen.

Handelt es sich vorwiegend nur um die Fortbewegung großer Luft- oder Gasmengen, so kommt man mit geringeren Drücken aus. Bis zu 500 mm WS benutzt man in solchen Fällen die Ventilatoren (s. d.), und wenn noch geringere Pressungen, z. B. bis zu 15 mm WS, genügen, die Schraubenradgebläse (s. d.). Hochwertige Schraubenräder arbeiten auch bis zu Drücken von 100 mm WS. Ventilatoren und Schraubenradgebläse eignen sich beispielsweise besonders zur Förderung von Gasen aus Dunstabzügen (s. d.) oder zur Bewegung der feuchten Luft in Trocknern (s. d.). Ein wichtiges Anwendungsgebiet der Ventilatoren sind ferner die Unterwindgebläse für den Betrieb von Feuerungen (s. auch Dampfkessel). Außer diesen Kolben- und Schleuderradmaschinen baut man noch Kapselgebläse (s. d.) besonders für Drücke, die für normale Ventilatoren zu hoch sind. In diese Gruppe von Gebläsen, die man auch als Drehkolbenverdichter zusammenfaßt, gehören ferner die Wasserringverdichter (s. d.), bei denen ein Schaufelrad exzentrisch in einem Zylinder läuft und einen Wasserring mitnimmt, so daß das Wasser bei der Drehung in den einzelnen Zellen ständig ein- und austritt und nach Art eines Pumpenkolbens Gase eintreten läßt oder sie nach außen verdrängt.

Schließlich kann zur Förderung von Gasen oder Dämpfen die kinetische Energie eines Dampf- oder Druckflüssigkeitsstrahls dienen, worauf die ohne jede bewegten Teile arbeitenden Strahlverdichter (s. d.) beruhen.

Bestimmte Gebläse sind unmittelbar mit Beheizungsanordnungen zum Erwärmen der geförderten Luft versehen. Man erhält dabei günstige Bedingungen für den Wärmeübergang, weil es möglich ist, die Wärme an

Stellen mit hoher Strömungsgeschwindigkeit, beispielsweise innerhalb eines Schaufelrades oder eines Kranzes von Gegenschaufeln, zu übertragen. Diese Vorrichtungen bezeichnet man als Luftherhitzergebläse (s. auch *E. Schirm*, Luftherhitzergebläse, Feuerungstechn. 1935, S. 61).

Lit.: *B. Eck* u. *W. J. Kearton*, Turbogebälde und Turbokompressoren (Berlin 1929, Springer). — *E. Gronewald*, Zentrifugal-Ventilatoren (Berlin 1925, Springer). — *A. Hinz*, Thermodynamische Grundlagen der Kolben und Turbokompressoren (2. Aufl., Berlin 1929, Springer). — *H. R. Karg*, Schleudergebläse, Berechnung und Konstruktion (München 1926, Oldenbourg). — Regeln für Leistungsversuche an Ventilatoren und Kompressoren (2. Aufl., Berlin 1929, VDI-Verlag). — *P. Ostertag*, Kolben- und Turbokompressoren (3. Aufl., Berlin 1923, Springer). — *E. Wiesmann*, Die Ventilatoren (2. Aufl., Berlin 1930, Springer). — *W. J. Kearton*, Turboblowers and Compressors (London, New York 1926, Pitman). — *F. Mode*, Ventilatoranlagen (Berlin 1931, de Gruyter).

Th.

Gegenstromapparate (s. auch *Gleichstromapparate*, *Kreuzstromapparate*, *Kühler*, *Trockner*, *Vorwärmer*, *Wärmeaustauschapparate*). In der chemischen Technik ergibt sich häufig die Aufgabe, zwischen zwei Stoffen eine Wärmemenge oder einen dritten Stoff auszutauschen. In gewissen Fällen soll bei diesem Austausch sowohl der Wärmeinhalt eines der beiden Stoffe als auch ein dritter

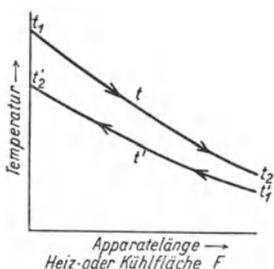


Abb. 947. Temperaturverlauf in einer Gegenstromapparatur.

Stoff wenigstens zum Teil übergehen. So überträgt man bei der Luft- oder Feuegastrocknung die Wärme erhitzter Luft oder heißer Gase auf das feuchte Gut, wobei der Wassergehalt in Dampfform in gleichem Verhältnis in die Luft oder in das Gas übergeht. Bei der Rektifikation und bei der Absorption (s. Destillierapparate, Rektifizierapparate, Absorptionsapparate) entzieht eine Flüssigkeit einem Dampf- oder Gasgemisch einen oder mehrere Bestandteile durch einen Austauschvorgang, der mit den Teildruckverhältnissen zusammenhängt. Ebenso findet bei allen Lösungsvorgängen ein Stoffaustausch derart statt, daß der zu lösende Stoff

allmählich in das Lösungsmittel wandert, wobei sich dieses in gleichem Verhältnis damit anreichert. In ähnlicher Weise geht bei der Extraktion ein Stoff aus dem Extraktionsgut in ein geeignetes Lösungsmittel über (s. Extraktionsapparate). Bei der Adsorption (s. Adsorptionsapparate) nimmt das Adsorptionsmittel einen Stoff auf, der in einem Gas enthalten oder in einer Flüssigkeit gelöst oder fein verteilt ist. Als weitere Beispiele für derartige Austauschvorgänge seien die zahlreichen Möglichkeiten der Wärmeübertragung, z. B. zwischen zwei Flüssigkeiten oder zwischen zwei Gasen oder zwischen Dämpfen einerseits und Gasen andererseits, genannt.

Die Durchführung von Vorgängen dieser Art ist grundsätzlich im Gegenstrom-, im Gleichstrom- oder im Kreuzstromverfahren möglich. Beim Gegenstromverfahren wandern die beiden Stoffe in entgegengesetzter Richtung in der Apparatur aneinander vorbei. Bei einem Wärmeaustauschvorgang haben beide Stoffe, also sowohl der zu kühlende als auch der zu erhaltende Stoff beim Beginn des Verfahrens die höchste Temperatur und am Ende beide ihre niedrigste Temperatur. In entsprechender Weise haben beide Stoffe bei einem Stoffaustausch an dem einen Ende der Apparatur den

Höchstgehalt, an dem anderen Ende den niedrigsten Gehalt an dem zu übertragenden Stoff. Das Schema eines Austausches im Gegenstrom zeigt Abb. 947, wo als Abszisse der Weg der Stoffe in der Apparatur oder die Apparatelänge, als Ordinate die Temperatur aufgetragen sind. Die Pfeile an den Kurven deuten die Strömungsrichtung an.

Zur Berechnung der Gegenstromapparate dienen Stoffbilanzen, also Gleichungen, die darauf beruhen, daß die eingehenden Stoffe in irgendeiner Form auch wieder aus der Apparatur austreten müssen, und Wärmebilanzen, also Gleichungen, die ausdrücken, daß die ein- und die ausgehenden Wärmemengen einander gleich sein müssen. Wirken die Stoffe gegenseitig so aufeinander ein, daß die Verhältnisse der einzelnen Stoffteilmengen oder -drücke sich ändern, so sind außer den Stoff- und den Wärmemengen die Gleichgewichtsbedingungen zu berücksichtigen, die Richtung und Grenze des Verlaufs einer Zustandsänderung angeben. Schließlich müssen die Gesetzmäßigkeiten bekannt sein, von denen die Geschwindigkeit des Ablaufs der genannten Vorgänge abhängt, da diese die Zeit bis zur Beendigung des Verfahrens und damit auch die Größe der ganzen Apparatur bestimmt.

Bei allen Austauschvorgängen, die man in Gegenstromapparaten durchführt, ist die Berechnung der Geschwindigkeit des Ablaufs besonders schwierig, weil die Zahl der Veränderlichen, die Einfluß auf die Höhe der Geschwindigkeit haben, meist groß ist und eindeutige gesetzmäßige Beziehungen nicht immer vorhanden sind. In vielen Fällen hilft man sich mit der meist nur angenähert stimmenden Annahme, daß die Geschwindigkeit einer treibenden Kraft, beispielsweise einem Temperatur- oder Konzentrationsunterschied, proportional und einem Widerstand, der meist von den räumlichen Verhältnissen und den Stoffeigenschaften abhängt, umgekehrt proportional ist. Die Geschwindigkeit des Austauschvorganges wird um so geringer sein, je kleiner die treibende Kraft ist, d. h. je mehr die Stoffe ihren Gleichgewichtszustand erreicht haben.

Zunächst sollen die Verhältnisse in einer Gegenstromapparatur erörtert werden, die ausschließlich dem Wärmeaustausch dient. Es sei:

k = Wärmedurchgangszahl in kcal/m² · std · Grad,

F = gesamte Heizfläche in m²,

Δt = mittlerer Temperaturunterschied zwischen den Stoffen,

G = Menge des wärmeren Stoffs in kg/std,

c = spezifische Wärme des wärmeren Stoffs in kcal/kg · Grad,

G' = Menge des kälteren Stoffs in kg/std,

c' = spezifische Wärme des kälteren Stoffs in kcal/kg · Grad,

t_1 = Eintrittstemperatur des wärmeren Stoffs in Grad,

t_2 = Austrittstemperatur des wärmeren Stoffs in Grad,

t'_1 = Eintrittstemperatur des kälteren Stoffs in Grad,

t'_2 = Austrittstemperatur des kälteren Stoffs in Grad.

Für die übertragene Wärme gelten dann folgende Gleichungen:

$$\begin{aligned} Q &= Gc(t_1 - t_2), \\ Q &= G'c'(t'_1 - t'_2), \\ Q &= k\Delta tF, \\ F &= \frac{Gc(t_1 - t_2)}{k\Delta t}. \end{aligned}$$

Für das Gegenstromverfahren ergibt sich der mittlere Temperaturunterschied aus der Beziehung:

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t'_2) - (t_2 - t'_1)}{2,3 \lg \frac{t_1 - t'_2}{t_2 - t'_1}}.$$

Hat die austauschende Fläche überall die gleiche Temperatur t_0 , wie es bei der Kondensation von Dämpfen der Fall ist, so erhält man:

$$\Delta t = \frac{t_1 - t_2}{2,3 \lg \frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0}}.$$

Die Austrittstemperatur des wärmeren Stoffs ergibt sich beim Gegenstromverfahren aus folgender Beziehung:

$$t_2 = t_1 - (t_1 - t'_1) \frac{G'c'}{Gc} \left[1 - \frac{1 - \frac{Gc}{G'c'}}{1 - \frac{Gc}{G'c'} e^{-\frac{kF}{Gc} \left(1 - \frac{Gc}{G'c'}\right)}} \right].$$

Die jeweilige Temperatur des wärmeren Stoffs erhält man aus der Gleichung:

$$t = t_1 - (t_1 - t'_1) \frac{1 - e^{-\frac{kF_x}{Gc} \left(1 - \frac{Gc}{G'c'}\right)}}{1 - \frac{Gc}{G'c'} e^{-\frac{kF}{Gc} \left(1 - \frac{Gc}{G'c'}\right)}}.$$

Hierin ist F_x der Heizflächenanteil, den das wärmere Gas oder die wärmere Flüssigkeit vom Eintritt an gerechnet bis zu der betrachteten Stelle bereits bestrichen hat. S. auch *A. Schack*, Der industrielle Wärmeübergang (Düsseldorf 1929, Stahl Eisen).

Die stündlich ausgetauschte Wärme erhält man aus der Gleichung:

$$Q = (t_1 - t'_1) Gc \frac{1 - e^{-\frac{kF}{Gc} \left(1 - \frac{Gc}{G'c'}\right)}}{1 - \frac{Gc}{G'c'} e^{-\frac{kF}{Gc} \left(1 - \frac{Gc}{G'c'}\right)}}.$$

Hat die Heizfläche die gleichbleibende Temperatur t_0 , so ergibt sich:

$$Q = (t_1 - t_0) Gc \left(1 - e^{-\frac{kF}{Gc}}\right).$$

Vergleicht man den Wärmeaustausch zwischen Gleich- und Gegenstromverfahren, beispielsweise den Wärmeübergang von einer Flüssigkeit auf eine andere, so erkennt man, daß beim Gegenstrom die kältere Flüssigkeit mit einer Temperatur aus der Apparatur ablaufen kann, die nur wenig geringer ist als die höchste Temperatur der warmen Flüssigkeit. Beim Gleichstrom dagegen muß die kältere Flüssigkeit mit einer Temperatur ablaufen, die stets geringer als die niedrigste Temperatur der warmen Flüssigkeit ist. Beim Gleichstrom braucht man daher bei einem Kühlvorgang in der Regel mehr

Kühlflüssigkeit oder bei einer Erhitzung mehr warme Flüssigkeit als beim Gegenstrom.

Da beim Gleichstrom der größte Temperaturunterschied bei Beginn des Verfahrens zwischen der höchsten Temperatur der warmen und der niedrigsten Temperatur der kalten Flüssigkeit gegeben ist, und dieser der höchste ist, der überhaupt möglich erscheint, ist der mittlere Temperaturunterschied beim Gleichstrom in der Regel größer als beim Gegenstrom. Gegenstromapparate haben daher für die gleichen Verhältnisse eine größere Heizfläche notwendig als Gleichstromapparate. Gegenstromapparate haben dafür aber den Vorteil, daß man mit ihnen die höchstmöglichen Erhitzungs- oder Abkühlungstemperaturen erreichen kann.

Die Kurven auf Abb. 948 zeigen die erforderlichen Austauschflächen und die Kühlwassermengen für Gleich- und für Gegenstrom bei der Annahme, daß 100 kg wässrige Flüssigkeit von 100° durch Wasser von 10° abzukühlen sind. Die Wasserablauftemperatur ist dabei beim Gleichstrom 5° unter der gekühlten Flüssigkeit, beim Gegenstrom mit 80° angenommen.

Soll ein Stoff im Gegenstromverfahren ausgetauscht werden, so wird die treibende Kraft meist durch einen Konzentrations- oder durch einen Teildruckunterschied bestimmt. Entsprechende Beiwerte müssen dann die übrigen Einflüsse berücksichtigen.

Als Beispiel sollen die Verhältnisse in einem Absorptionsturm, der ein besonders einfaches Gegenstromsystem darstellt, näher erörtert werden, und zwar soll eine geeignete Flüssigkeit in einem Turm einen Stoff aus einem inerten Gas absorbieren. Die Zusammensetzungen in jedem Turmquerschnitt müssen einer Gleichung entsprechen, die sich aus einer Stoffbilanz ergibt. Es sei:

G = Gewicht des trockenen Gases (Trägergases) in kg/sek,

L = Gewicht der absorbierenden Flüssigkeit in kg/sek,

y_1 = Menge des absorbierbaren Stoffs im eintretenden Gas/kg inerten Gases,

y_2 = Menge des absorbierbaren Stoffs im austretenden Gas/kg inerten Gases,

x_1 = Menge des absorbierbaren Stoffs in der austretenden Flüssigkeit/kg reiner Absorptionsflüssigkeit,

x_2 = Menge des absorbierbaren Stoffs in der eintretenden Flüssigkeit/kg reiner Absorptionsflüssigkeit,

V = Turmvolumen in m³,

f = wirksame Berührungsfläche in m²/m³ Turmvolumen.

Die Bedeutung der einzelnen Bezeichnungen veranschaulicht die schematische Darstellung eines Absorptionsturms auf Abb. 949.

Entsprechend einer Darstellung von *W. L. Badger* und *W. L. McCabe* (Elemente der Chemie-Ingenieur-Technik, S. 294, Berlin 1932, Springer) kann man annehmen, daß die für die Absorption maßgebende treibende Kraft in

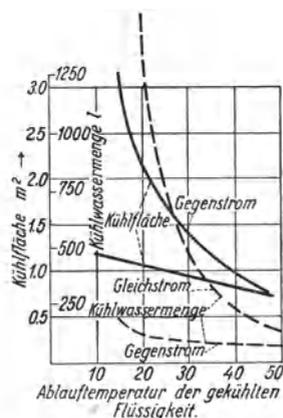


Abb. 948. Heizflächen und Kühlwassermengen für einen Wärmeaustauschvorgang im Gegenstrom.

der Gasgrenzschicht $(y - y_i)$ und in der Flüssigkeitsgrenzschicht $(x_i - x)$ proportional ist, wenn y die Menge des absorbierbaren Stoffes im Gas/kg inerten Gases, x das Gewicht des absorbierbaren Stoffes in der Flüssigkeit/kg reiner Absorptionsflüssigkeit, y_i die Menge des absorbierbaren Stoffes an der

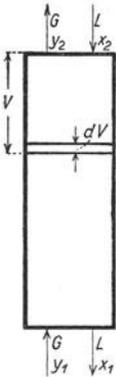


Abb. 949. Schema eines Absorptionsturms.

Grenzfläche/kg inerten Gases und x_i die Menge des absorbierbaren Stoffes an der Grenzfläche/kg reiner Absorptionsflüssigkeit sind. Die Eigenschaften der Grenzschichten von Gas und Flüssigkeit, an denen die eigentliche Absorption vor sich geht, seien durch Beiwerte k_g und k_f gekennzeichnet. Man erhält:

$$G \cdot dy = k_g (y - y_i) f \cdot dV = L \cdot dx = k_f (x_i - x) f \cdot dV.$$

Für jeden beliebigen Querschnitt gilt:

$$G (y_1 - y) = L (x_1 - x).$$

Diese Gleichung stellt in einem Schaubild mit den Gehalten x als Abszissen und den Anteilen y als Ordinaten eine Gleichung mit der Neigung L/G dar, die als Betriebslinie bezeichnet sei. Für den ganzen Absorptionsturm erhält man:

$$G (y_1 - y_2) = L (x_1 - x_2).$$

Um die Verhältnisse bei der Absorption für bestimmte Stoffe untersuchen zu können, muß die Gleichgewichtsverteilung zwischen der Lösung und dem Trägergas bekannt sein. Eine derartige Gleichgewichtskurve zeigt als Beispiel Abb. 950 in einem Schaubild mit den Abszissen x und den Ordinaten y .

Ferner ist für einen bestimmten Fall die sich aus obiger Gleichung ergebende Betriebslinie (Gerade AB) eingetragen. Die Gerade AB muß im Schaubild von der Gleichgewichtskurve einen ausreichenden Abstand haben, da ein bestimmter Mindestkonzentrationsunterschied zur Durchführung der Absorption mit wirtschaftlich tragbaren Mitteln unbedingt erforderlich ist. Würde die Betriebslinie die Gleichgewichtskurve in einem Punkt berühren, wie es die Gerade $A'B$ beispielsweise auf Abb. 950 andeutet, so würde an dieser Stelle zwischen Flüssigkeit und Gasphase Gleichgewicht bestehen, so daß der Absorptionsvorgang zum Stillstand kommen muß, oder mit anderen Worten, der Absorptionsturm müßte an dieser Stelle unendlich hoch sein, um noch eine Absorptionswirkung zu geben.

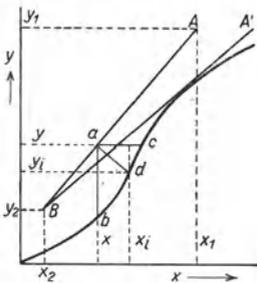


Abb. 950. Schaubild für die Zusammensetzungen in einem Absorptionsturm.

rade ab bestimmt. Für den Absorptionsturm gilt unter dieser Bedingung nach der obengenannten von *Badger* und *McCabe* gegebenen Darstellung folgende Gleichung:

$$\int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{y - y_i} = k_g f \frac{V_1}{G}.$$

Ist die Gasgrenzschicht zu vernachlässigen, so daß der Einfluß der Flüssigkeitsgrenzschicht allein für die Berechnung maßgebend ist, so gibt der Abstand ac auf Abb. 950 die treibende Kraft $(x_1 - x)$ wieder. Für diesen Fall gilt:

$$\int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{x_i - x} = k_f f \frac{V_1}{L}.$$

Beeinflussen beide Grenzschichten den Absorptionsvorgang, so gilt für die Beiwerte:

$$\frac{y - y_i}{x_i - x} = \frac{k_f}{k_g}.$$

In dem Schaubild auf Abb. 950 wird daher der für die Absorption maßgebende Konzentrationsunterschied durch eine Gerade ad dargestellt, die eine Neigung k_f/k_g hat.

In ähnlicher Weise kann man die Verhältnisse in Gegenstromapparaturen zur Extraktion (s. Extraktionsapparate) rechnerisch erfassen. Auch hier muß man Stoffbilanzen mit einer Annahme über die Gleichgewichte zwischen Extraktionsgut und Lösung vereinigen, um die Vorgänge bei der Extraktion verfolgen zu können. (S. auch Chem. Apparatur 1933, S. 81.)

Besser läßt sich die Wirkung des Gegenstroms in einer Apparatur berechnen, wenn Flüssigkeiten und Dämpfe mit Siedetemperatur gegeneinander strömen, wie es bei den Destillier- und Rektifizierapparaten der Fall ist, da hier die Gleichgewichtsbeziehungen meist bekannt sind. (S. auch Destillierapparate, Rektifizierapparate.)

Dient der Gegenstrom ausschließlich dem Austausch von Stoffen, so sind die Vorteile des Verfahrens gegenüber dem Gleichstrom so groß, daß er in fast allen Fällen nur allein in Frage kommen kann. Bei der Trocknung dagegen kann unter Umständen auch eine Gleichstromapparatur gegenüber dem Gegenstrom einige Vorteile bieten (s. Trockner).

Lit.: *E. Hausbrand* u. *M. Hirsch*, Verdampfen, Kondensieren und Kühlen (7. Aufl., Berlin 1931, Springer). — *W. L. Badger* u. *W. L. McCabe*, Elemente der Chemie-Ingenieur-Technik (Berlin 1932, Springer). — *A. Schack*, Der industrielle Wärmeübergang (Düsseldorf 1929, Stahleisen). — *H. Groeber*, Einführung in die Lehre von der Wärmeübertragung (Berlin 1926, Springer). — *Walker, Lewis* u. *McAdams*, Principles of Chemical Engineering (New York 1923, McGraw Hill). — *E. Berl*, Chemische Ingenieurtechnik (Berlin 1935, Springer). — *M. Hirsch*, Die Trockentechnik (Berlin 1932, Springer). — *M. Dolch*, Betriebsmittelkunde für Chemiker (Leipzig 1929, Spamer). — *W. Trinks*, Industrieöfen (Berlin 1928, VDI-Verlag). — *A. Eucken* u. *M. Jakob*, Der Chemie-Ingenieur (Berlin 1932/1934, Oldenbourg).

Thormann.

Gekupferter Stahl. Durch Zusatz von etwa 0,2 Proz. Kupfer zum gewöhnlichen Stahl werden dessen mechanische Eigenschaften nur geringfügig geändert, dagegen wird die Korrosionsfestigkeit, namentlich gegenüber Atmosphärien, merklich erhöht (s. z. B. *A. Kussmann*, *B. Scharnow* u. *W. S. Messkin*, Stahl u. Eisen 1930, S. 1194; *H. B. Kinnear*, Iron Age 1931, S. 696, 820). Ferner haften Schutzüberzüge von Zink, Farbanstriche usw. besser auf diesem Material. Der Aufpreis, den der Stahl dadurch erfährt, ist gering (etwa 10 Mark/t).

Lit.: *K. Daeves*, Z. angew. Chem. 1927, S. 125; *Stahl u. Eisen* 1926, S. 1857. — *J. H. Gibboney* u. a., Proc. Amer. Soc. Test. Mat. 1920, I, S. 148. — *E. Rabald*, Chem. Fabrik 1935, S. 25. — *W. Mattheis*, Mitt. Forsch.-Anst. Gutehoffnungshütte 1930, S. 2. — *K. G. Lewis*, Carnegie Scholarship Mem. 1932, S. 87. — *E. Rabald*, Werkstoffe u. Korrosion I (Leipzig 1931, Spamer).

Ra.

Gelatine, s. Betonbehälter.

Germania-Bronze, s. Zinklegierungen.

Gewölbe, s. Öfen.

Glas findet durch die Entwicklung neuer Glassorten neue Anwendungsgebiete (*A. E. Marshall*, Ind. Engng. Chem. 1928, S. 243T; *Höfer* u. *Uebler*, Glas u. Apparat 1930, S. 211) im chemischen Großapparatebau, wo es früher nur recht beschränkte Verwendung (Wasserstandsgläser, Schaugläser usw.) gefunden hatte. Als durchsichtiger und chemisch sehr widerstandsfähiger Werkstoff hat Glas den Nachteil, sehr stoßempfindlich und wenig temperaturwechselbeständig zu sein, wenigstens wenn höhere Wandstärken erforderlich sind. Durch Schaffung des Pyrexglases und des ihm analogen Duranglases (Duranglas von Schott u. Genossen, Jena, entspricht dem vor ihm hergestellten Pyrexglas der Corning Glass Works, Baltimore, vollkommen; zwischen beiden Firmen besteht ein diesbezügliches Abkommen) steht dem Konstrukteur ein Glas zur Verfügung, das bei guter chemischer Widerstandsfähigkeit auch in dicker Schicht temperaturwechselbeständig ist. Es können Rohre von 5,4 m Länge und 7,5 cm Durchmesser, sowie geblasene Hohlgefäße bis zu 70 l Inhalt (hier sind durch geeignete Maschinen noch weitere Vergrößerungen möglich) hergestellt werden. Preßteile wie Turmplatten (von 9 kg), Füllkörper, Kolonnenteile usw. werden ebenfalls aus Pyrexglas gefertigt (*Marshall*, s. o.). Es ist deshalb nicht verwunderlich, wenn die Säureindustrie, die Kunstseidenindustrie und die Färberei diesen Werkstoff mehr in den Kreis ihrer Betrachtungen ziehen. Namentlich wo es auf große Reinheit der Substanzen (Geruch, Geschmack, Vermeidung von metallischen Beimengungen) ankommt, zeigt das Glas seine guten Eigenschaften. Weiterhin verwendet werden Jenaer, Thüringer und böhmische Gläser. Manche ihrer Sorten sind dem Duran bzw. Pyrexglas an chemischer Beständigkeit noch überlegen, jedoch sind sie temperaturempfindlicher. Über die Analyse einiger Gläser s. bei Korrosion durch Wasser, S. 712.

Physikalische Eigenschaften: Struktur: Glas ist eine unterkühlte Flüssigkeit, die durch zu langes und unsachgemäßes Lagern und dauernd wechselnde thermische Beanspruchungen aus dem metastabilen amorphen Zustand in den kristallinen Zustand übergehen kann (Entglasung; s. z. B. *F. Kühnert*, Glashütte 1930, S. 687).

Dichte: Wechselnd mit der Zusammensetzung, für Pyrexglas 2,25.

Erweichungspunkt: Bestimmt durch Erhitzung von belasteten Glasfäden im elektrischen Ofen, wobei beobachtet wird, bei welcher Temperatur die Verlängerung des Fadens 1 mm auf den Quadratmillimeter beträgt. Die gefundenen Temperaturzahlen sind natürlich von den angehängten Gewichten abhängig, wie die folgende Tabelle erkennen läßt.

	1 g Belastung	1000 g Belastung
Thüringer Bleiglas.	577°	450°
Jenaer Einschmelzröhrenglas für Platin	671°	530°
„ Thermometerglas 59 III.	733°	615°
„ Verbrennungsröhrenglas 277 III	847°	697°

Spez. Wärme: 0,20 (Pyrexglas).

Wärmeleitfähigkeit: Für 25 verschiedene Gläser schwankte bei 45° die Wärmeleitfähigkeit zwischen 0,00159 und 0,00271 cal/cm · sek · Grad. Für Pyrexglas werden 0,0027 cal/cm · sek · Grad angegeben.

Trotz der gegenüber von Metallen verhältnismäßig geringen Leitfähigkeit ist Pyrexglas als Kühlermaterial geeignet. Nach Versuchen der Corning Glass Works wurde mit Kupferrohren unter sonst gleichen Bedingungen nur 2,5 mal soviel kondensiert wie mit Pyrexglasrohren, obgleich sich die Wärmeleitfähigkeiten wie 300 : 1 verhalten. Diese Erscheinung findet ihre Erklärung darin, daß sich bei Metallen fast immer dünne Oxyd- und Schutzschichten ausbilden, die den Wärmedurchgang stark hemmen (s. z. B. *J. T. Littleton* u. *H. C. Bates*, Trans. Amer. Inst. Chem. Engr. 1925, S. 95).

Ausdehnungskoeffizient (linear):

Jenaer Thermometerglas 59 III	0,0000057	bei 0 bis 100°
„ Verbrennungsröhrenglas 1801 c III.	0,0000040	„ 20 „ 100°
Weiches Thüringer Glas	0,0000094	„ 0 „ 100°
Pyrexglas	0,0000032	} Mittelwerte
Jenaer Glas 16 III	0,0000024	

Druckfestigkeit: 126,4 kg/mm² (Natron-Tonerde-Borosilicat-Glas).

Elastizitätskoeffizient: 6230 kg/mm² (Pyrexglas).

Skleroskophärte: 120 (Pyrexglas).

Korrosion. Hydroxyde (s. a. Abb. 951): Konzentrierte Lösungen greifen Glas an, und zwar nach *F. Foerster* in der Reihe



Von den verschiedenen Sorten sind die Jenaer Gläser relativ gut beständig. Nach Versuchen der Corning Glass Works erleidet Pyrexglas bei 6stündigem Kochen in Natriumhydroxydlösungen folgende Verluste:

Konz. der NaOH-Lsg.	Gewichtsverlust in g/cm ²
0,4 Proz.	0,0005
2 „	0,0012
5 „	0,0022
35 „	0,0032

Geschmolzene Hydroxyde greifen sehr stark an.

Säuren: Mit Ausnahme der stark bleihaltigen sind die Gläser gegen die allermeisten Säuren sehr widerstandsfähig. Der Angriff durch Flußsäure ist bekannt. Heiße konzentrierte Schwefelsäure und namentlich Schwefelsäuredämpfe sind nicht ganz ohne Einfluß. Für Pyrexglas gelten folgende Zahlen beim Siedepunkt:

Salzsäure (konstant siedendes Gemisch) 0,000006 g Gewichtsverlust/cm²,
Rauchende Schwefelsäure 0,000002 g Gewichtsverlust/cm²,

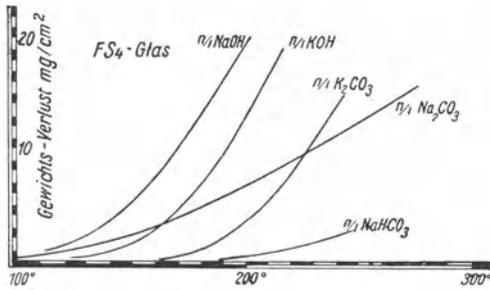


Abb. 951. Wirkung alkalischer Salzlösungen auf Glas. (Nach Friedrichs.)

wobei noch bemerkt werden muß, daß nach diesem oberflächlichen Angriff die Einwirkung wesentlich geringer ist. Konzentrierte (300°) heiße Phosphorsäure greift Glas erheblich an (*K. Hüttner*, Z. anorg. Chem. Bd. 59 [1908], S. 216).

Salzlösungen: Saure und neutrale Salzlösungen greifen Glas praktisch kaum an. Über die Wirkung alkalischer Salzlösungen unterrichtet die Abb. 951.

Wasser: Wasser ist nicht ganz ohne Einwirkung auf Glas, das eine oberflächliche Quellung erleidet und zu Anfang etwas Alkali abgibt. Durch einen Gehalt an Tonerde und Borsäure wird diese Menge auf ein sehr geringes Maß herabgesetzt, jedoch müssen diese Zusätze richtig abgestimmt sein, damit nicht Bearbeitbarkeit und die Sicherheit gegen evtl. Entglasen gemindert werden. Die nachstehende Tabelle (nach *F. H. Zschacke*, Chem.-Ztg. 1931, S. 41) gibt die Analyse einiger guter, neuerer Gläser wieder:

Proz.	Verbrennungs- röhrenglas	Resistens- glas	Apparatglas	
			hart	weich
SiO ₂	57,7	80,1	70,0	68,0
Al ₂ O ₃	27,7	6,0	2,5	2,5
CaO	4,9	0,3	7,5	7,5
Na ₂ O	2,9	4,6	11,5	18,0
K ₂ O	—	—	6,0	1,5
B ₂ O ₃	6,8	9,0	2,5	2,5

Je nach seiner Auslaugbarkeit durch Wasser wird das Glas in 5 hydrolytische Klassen eingeteilt (I = wasserbeständige Gläser, II = resistente Gläser, III = härtere Apparategläser, IV = weichere Apparategläser, V = mangelhafte Gläser); Näheres darüber s. *E. Rexer*, Keram. Rdsch. 1930, S. 387, 421, 464, 492, 506, 546, 560, 590, 624; *F. Späte*, J. Soc. Glass Technol. 1930, S. 67 A; *F. H. Zschacke*, Chem.-Ztg. 1931, S. 41, 280, 580, 885 (s. d. a. die Bemerkungen von *Friedrichs* u. *Löber*); 1933, S. 521, 542, Glashütte 1932, Bd. 62, S. 865, 899; 1933, Bd. 63, S. 9, 27, 43, 80, 111, 169; *H. Jehsen-Marwedel*, Sprechsaal Keramik usw. 1934, S. 2.

Über die Einwirkung von Wasser auf Glas bei höheren Temperaturen geben die nachstehenden Tabellen Aufschluß:

Angriff von Wasser bei höheren Temperaturen und unter Druck.
(Bei 183°; nach *Foerster*, Ber. dtsh. chem. Ges. 1892, S. 2494.)

Gewöhnliches Wasserstandsglas	22,4	} mg/dm ² · 6 std Na ₂ O gelöst
Verbessertes Wasserstandsglas	13,7	
Verbrennungsröhrenglas v. Kavalier (böhm. Glas)	7,1	
Jenaer Verbundglas	1,1	

50 std unter Angriff von Dampf von 176° und 8 Atmosphären Spannung.
(Nach *Schott* und *Herschkwitz*, Z. VDI 1901, S. 339.)

Englisches Wasserstandsglas . .	17,7 mg/dm ² · std
Französisches Wasserstandsglas .	11,6 „
Jenaer Verbundglas	5,8 „
Jenaer Duraxglas	2,6 „

Druck in Atmosph.	Gewichtsabnahme mg/dm ² · std		Bemerkungen
	Duraxglas	Verbundglas	
8	0,95	1,56	gewöhnliches Wasser
8	0,31	0,44	gereinigtes Speisewasser
6	1,4	3,7	„ „
8	1,0	2,9	„ „
6	2,1	3,6	„ „
6	0,32	1,5	„ „

Bei der Untersuchung von 18 Gläsern in ihrem Verhalten gegen Wasserdampf von 300 und 550° zeigte sich Jenaer Verbundglas am widerstandsfähigsten, Pyrexglas genügte nur bei niedrigen Temperaturen (*G. W. Morey* u. *N. L. Bowen*, Trans. Soc. Glass Technol. 1927, S. 97 [ref. Chem. Fabrik 1928, S. 106]).

Glas wird in Form von Platten usw. auch als Auskleidungsmaterial verwendet, z. B. für Gärgefäße (s. z. B. Brit.P. 406069) oder bei Destillationskolonnen (*A. A. Backhaus*, Chem. metallurg. Engng. 1929, S. 429).

Weiterhin findet Glaswatte auch als vorzügliches Isolier- und Filtermaterial Anwendung. Nach *H. Reich* (Wärme- u. Kälte-Techn. 1933, S. 4) wiegt 1 m³ Glaswatte (Glaswatte Ges., Bergisch-Gladbach) in gepreßtem Zustand 100 kg und enthält dabei 96 Proz. Luft. Es konnte beispielsweise festgestellt werden, daß 10 m Rohr von 36 mm Durchmesser einer Niederdruckdampfleitung ca. 800 kcal/std abgeben; werden sie dagegen mit einer 10 mm dicken Schicht von Glaswatte umgeben, so beträgt der Wärmeverlust nur noch 200 kcal.

Über Eigenschaften und Verwendung von nichtsplitterndem Glas (Sicherheitsgläser, d. s. Gläser mit organischen Zwischenschichten und besonders gekühlte Gläser) s. z. B. *H. G. Bodenbender*, Sicherheitsglas (Berlin-Steglitz 1933, Bodenbender); *A. Bresser*, Sicherheitsglas (Chem. Apparatur 1932, S. 62).

Lit.: *H. Hovestadt*, Jenaer Glas (Jena 1900, Fischer). — *P. Kraus*, Werkstoffe II (Stichw. Glas, bearb. v. *H. Thiene*; Leipzig 1921, Barth). — *F. H. Zschacke*, Glas (Dresden 1930, Steinkopff). — *E. Rabald*, Werkstoffe II (Leipzig 1931, Spamer). — Das Glas in Einzeldarstellungen (Sammlung), (Leipzig 1935, Akad. Verlagsgesellschaft). — *F. Friedrichs*, Z. angew. Chem. 1926, S. 611; Sprechsaal Keramik usw. 1928, S. 261, 713, 730, 751, 967, 980.

Rabald.

Gleichstromapparate (s. auch *Gegenstromapparate*, *Kreuzstromapparate*, *Trockner*, *Wärmeaustauschapparate*). Um zwischen zwei Stoffen Wärme oder einen dritten Stoff auszutauschen, bringt man diese beiden Stoffe in stetigem Arbeitsgang unmittelbar oder durch eine geeignete Trennwand miteinander in Berührung, indem man sie im Gleich-, im Gegen- oder im Kreuzstrom aneinander vorbeiführt. Beim Gleichstrom ist die Apparatur so eingerichtet, daß die beiden Stoffe, zwischen denen der Austausch stattfinden soll, in gleicher Richtung aneinander vorbeiströmen.

Bei einem Wärmeaustauschvorgang im Gleichstrom ist der größte Temperaturunterschied zwischen der höchsten Temperatur der warmen und der niedrigsten Temperatur der kalten Flüssigkeit bei Beginn vorhanden. Den kleinsten Temperaturunterschied erhält man am Ende des Vorganges aus der niedrigsten Temperatur der wärmeren und der höchsten Temperatur der kälteren Flüssigkeit. Der Gleichstrom hat daher den Vorteil, daß der mittlere Temperaturunterschied im allgemeinen größer ist als beim Gegenstrom. Gleichstromapparate fallen daher für die gleiche Aufgabe meist etwas kleiner aus als Gegenstromapparate.

Der mittlere Temperaturunterschied ergibt sich für den Gleichstrom unter Benutzung der im Stichwort Gegenstromapparate angeführten Bezeichnungen:

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t'_1) - (t_2 - t'_2)}{2,3 \lg \frac{(t_1 - t'_1)}{(t_2 - t'_2)}}.$$

Die Austrittstemperatur des wärmeren Stoffs beträgt für den Gleichstrom:

$$t_2 = t_1 - \frac{G'c'}{Gc + G'c'} (t_1 - t'_1) \left[1 - e^{-\frac{kF}{Gc} \left(1 + \frac{Gc}{G'c'}\right)} \right].$$

Für die Austrittstemperatur des kälteren Stoffs gilt beim Gleichstrom:

$$t'_2 = t'_1 + \frac{Gc}{Gc + G'c'} (t_1 - t'_1) \left[1 - e^{-\frac{kF}{Gc} \left(1 + \frac{Gc}{G'c'}\right)} \right].$$

Die Temperaturerhöhung, die man bei einem Erwärmungsvorgang mit einer Gleichstromapparatur erhalten kann, oder die Abkühlung, die ein Kühlverfahren ergibt, sind insbesondere gegenüber dem Gegenstromverfahren verhältnismäßig gering. Das gleiche würde gelten, wenn man einen Stoffaustausch im Gleichstrom durchführen wollte. Da man stets Wert darauf legt, den auszutauschenden Stoff möglichst vollständig zu gewinnen oder zu entfernen, und das Gegenstromverfahren sich meist technisch in einfacher Weise durchführen läßt, kommt das

Gleichstromverfahren in der Regel nur für einzelne, bestimmte Aufgaben der Wärmeübertragung in Betracht, während für den Stoffaustausch das Gegenstromverfahren praktisch allein möglich ist. Besonders bei Trocknungsvorgängen kann das Gleichstromverfahren für bestimmte Bedingungen vorteilhafter sein als der Gegenstrom (s. Trockner).

Lit.: Siehe Gegenstromapparate.

Th.

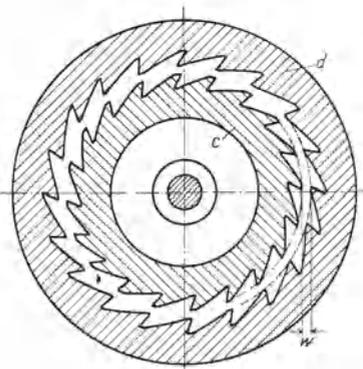


Abb. 952. Schematischer Querschnitt durch eine Glockenmühle.

Glockenmühlen (Kegelmühlen) sind grundsätzlich ähnlich wie die Kegelbrecher (s. d.) eingerichtet, unterscheiden sich von ihnen aber dadurch, daß die Mahlkegel mit scharfkantigen Zähnen versehen sind und nur eine konzentrisch drehende Bewegung vollführen. Die Zähne des Mahlkegels

(Läufers) *c* wirken mit denen des Mahlmantels (Mahlbahn) *d* zusammen abschierend auf das Mahlgut (Abb. 952), weshalb sich die Glockenmühlen nur zum Schrotten mittelharter bis weicher Stoffe (Salze, bes. in der Kalisalzindustrie, Kohle, Gips, Ton u. dgl.) sowie für zähe Stoffe (wie gedämpfte

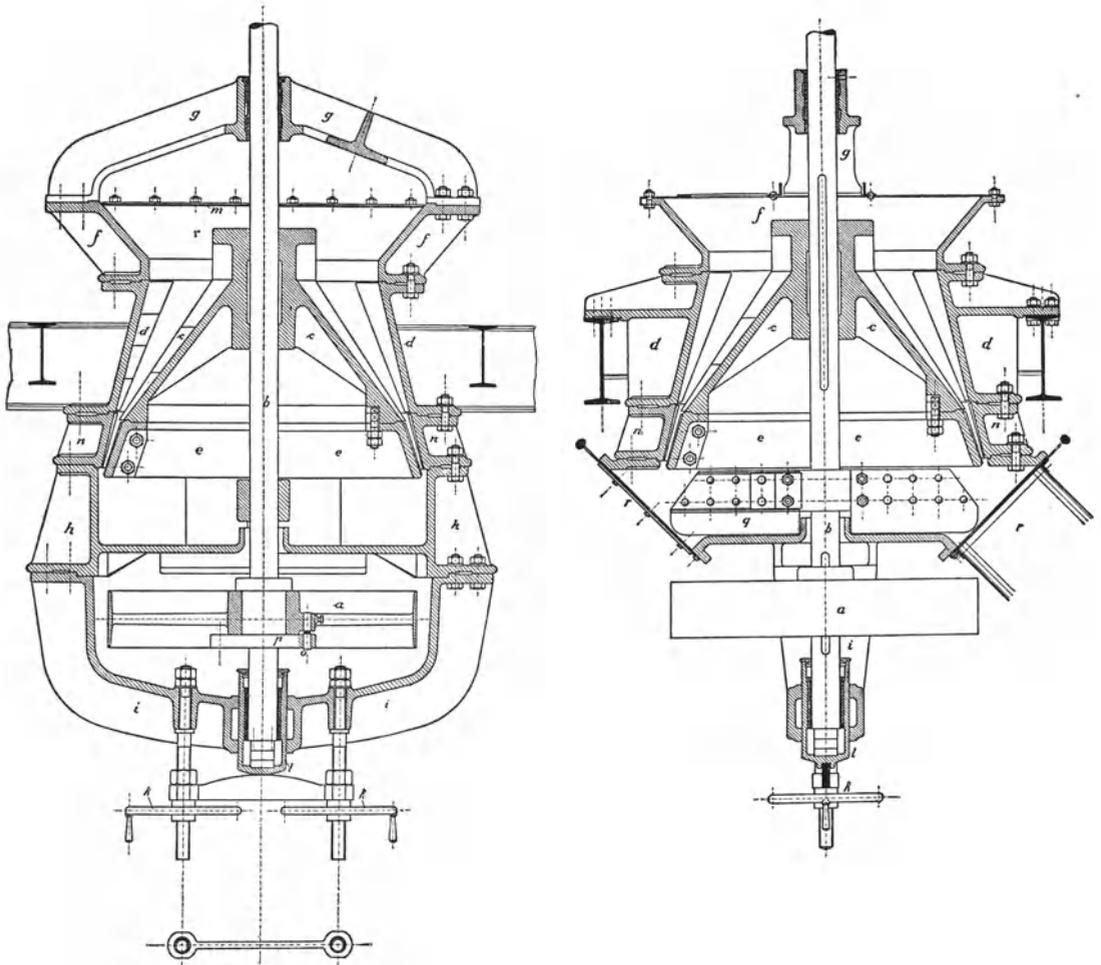


Abb. 953. Längsschnitt durch die Glockenmühle der Miag (Aufriß und Kreuzriß; nach Naske, Zerkleinerungsvorrichtungen).

Knochen) eignen. Das Mahlgut wird von etwa 2,5 cm großen Stücken auf Erbsen- bis Haselnußgröße, mit Grieß und Mehl vermisch, zerkleinert. Abb. 953 zeigt eine Glockenmühle der „Miag“ Mühlenbau und Industrie-Aktiengesellschaft, Braunschweig, mit Unterantrieb und Aufhängung an der Decke im Aufriß (links) und Kreuzriß (rechts). Die Riemenscheibe *a* nimmt mittels des Mitnehmers *o* und der Scheibe *p* die stehende Welle *b* mit, auf der die Nabe des Mahlkegels (Läufers) *c* aufgekeilt ist. Diese Konstruktion

ist aus dem Grunde gewählt, damit bei plötzlich auftretenden Widerständen der Bolzen *o* bricht, der leicht zu ersetzen ist. Der Mahlkegel trägt im unteren Teile den auswechselbaren inneren Mahlkranz *e*, der mit dem ebenfalls auswechselbaren äußeren Mahlkranz *n* des Mantels *d* den Spalt der Mühle bildet, wo das feinzerkleinerte Mahlgut die Mühle verläßt. Dieses fällt in den Trog *h* und wird durch den Ausräumer *q* bei *r* herausbefördert. Der Mahlmantel *d* ist auf Trägern aufgestützt und trägt oben den Einschüttrumpf *f* und die Lagerbügel *g*, unten den äußeren Mahlkranz *n*, den Trog *h* und den Bügel *i* mit dem Spurlager *l*, das mittels Schrauben und Handräder *k* nachstellbar ist, um die Spaltweite *w* (Abb. 952) dem Zerkleinerungsgrad entsprechend ändern zu können. Der Einschüttrumpf ist mit einer Blechplatte *m* abgeschlossen, die eine kreisrunde Öffnung zum Eintragen des Mahlgutes besitzt. An diese Öffnung kann eine Speisevorrichtung angeschlossen werden, etwa wie bei der Fliehkraftkugelmühle (s. Fliehkraftmühlen) Abb. 848. Die Leistungsfähigkeit der Glockenmühlen ist ziemlich groß; sie liefern z. B. bei 365 mm äußerem Mahlkranzdurchmesser und 1,5 PS Kraftaufwand 4500 kg/std, bei 1140 mm Durchmesser und 14 PS 50000 kg Schrot/std.

Glovertürme, s. Gasreaktionsapparate, Keramische Werkstoffe (Abschn. 4).

Glykometall, s. Zinklegierungen.

Glysolinlack, s. Bottiche.

Gold findet im Apparatebau hin und wieder Verwendung, so als Material für die Spinddüsen in der Kunstseidenindustrie und als Überzug auf Platin bei der Hochkonzentrierung von Schwefelsäure, da es gegenüber diesem Agens widerstandsfähiger als Platin ist. Nicht beständig ist Gold gegenüber naszierenden Halogenen (Königswasser), geschmolzenen Peroxyden (K_2O_2) und Cyanidlösungen bei Gegenwart von Oxydationsmitteln (Goldgewinnung durch Extraktion mit Natriumcyanid in Südafrika).

Lit.: *G. Lunge*, Handbuch der Sodaindustrie (4. Aufl., Braunschweig 1916, Vieweg). — *E. Rabald*, Werkstoffe u. Korrosion I (Leipzig 1931, Spamer). — *Ch. Ziegler*, Chim. et Ind. 1931, Sonder-Nr. 3, S. 220. — *G. Durst*, Chem.-Ztg. 1929, S. 837.

Ra.

Goldlegierungen werden in der chemischen Industrie nur sehr wenig angewendet, z. B. als Werkstoff für Spinddüsen bei der Kunstseidenherstellung. Korrosionschemisch besonders günstig verhält sich eine von Heraeus, Hanau, hergestellte Legierung von Gold mit 10% Platin, die sich auch gut verarbeiten läßt und wesentlich härter als Gold ist.

Gradierwerke (s. auch Kühler). Um eine wässrige Lösung in feiner Verteilung mit der Außenluft in Berührung zu bringen, läßt man sie über eine hohe Packung von Reiseren oder über Horden (s. d.) von einer Berieselungsvorrichtung (s. d.) aus strömen. Die Flüssigkeit breitet sich auf den Reiseren oder Horden aus, so daß eine große Oberfläche für die zu erzielenden Austauschvorgänge, die vorwiegend auf der Verdunstung beruhen, vorhanden ist. Die Packung wird entweder frei auf Gestellen gelagert, um die natürliche Luftströmung auszunutzen, oder in einem Turm untergebracht, um durch den Auftrieb der erwärmten, feuchten Luft einen stetigen Zug zu erzeugen.

Die Gradierwerke haben den Zweck, eine wässrige Lösung zu kühlen oder gelöste Stoffe durch die Verdunstung von Wasser anzureichern oder auf diese Weise den Gehalt an solchen Stoffen über den Sättigungspunkt zu bringen. Auch zur Entfernung flüchtiger Bestandteile aus Wasser benutzt man bisweilen Gradierwerke (Belüftungsgradierwerke). Die Leistung der Gradierwerke ist verhältnismäßig gering, so daß man sie immer seltener vorfindet.

Gradierwerke, die in einem Turm untergebracht sind und zur Kühlung von warmem Wasser dienen, bezeichnet man meist als Kühltürme (s. Kühler). Sie haben im Gegensatz zu allen anderen Gradierwerken ein weites Anwendungsgebiet, insbesondere zur Rückkühlung von erwärmtem Kühlwasser, bis zu den größten Leistungen gefunden.

Th.

Granit, s. Bausteine (A. Natürliche).

Granittürme (s. auch Bausteine [A. Natürliche], Keramische Werkstoffe). Natursteine eignen sich für den Bau von chemischen Apparaturen meist nur in Sonderfällen, wenn hohe Ansprüche an die Korrosionsfestigkeit und die Haltbarkeit gestellt werden und der Aufbau aus einzelnen Steinen oder Platten möglich ist. Von den Natursteinen kommt seiner leichten Spaltbarkeit, Bearbeitungsmöglichkeit und seiner Widerstandsfestigkeit gegen chemische Angriffe besonders der Granit für Verwendung beim Bau von Apparaturen in Betracht.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet ist die Herstellung von Türmen zur Durchführung von Wasch- und Absorptionsverfahren. So benutzt man Granittürme zur Erzeugung von Salpetersäure, indem man nitrose Gase von oben mit Wasser oder Salpetersäure berieselt. Für diese Zwecke hat man Batterien von etwa 25 m hohen und 7 m breiten Türmen gebaut. Den nitrosen Gasen wird im Anreicherungsverfahren Wasser bzw. Salpetersäure so entgegengeführt, daß die am Fuße des ersten Absorptionsturmes ablaufende, etwa 40° warme Säure durchschnittlich 45 Proz. HNO_3 aufweist. Pumpen mit Zwischenbehältern sorgen für den Umlauf der Säuren. Ventilatoren bewegen die Gase und die Oxydationsluft durch die Türme. Im Mittel werden in diesen Türmen 95 Proz. des eingebrachten Stickstoffes in Salpetersäure überführt, 4 Proz. werden von den alkalischen Laugen der Nachabsorption aufgenommen und 1 Proz. geht verloren. (B. Waeser, Die Luftstickstoffindustrie, 2. Aufl., S. 384, Leipzig 1932, Spamer.)

Einen Granitturm für die Salpetersäureabsorption (Gebr. Kerber, Büchlberg b. Passau) zeigt Abb. 954. Das Unterteil besteht aus einem Stück. Auch die Säulen, Querträger sowie Roststäbe sind aus Granit gefertigt. Asbestdichtungen und Asbestschnüre dichten die einzelnen Teile nach außen hin ab. Eine kräftige Eisenkonstruktion verspannt den ganzen Turm. Die Füllung ist in der Regel unten größer als oben.

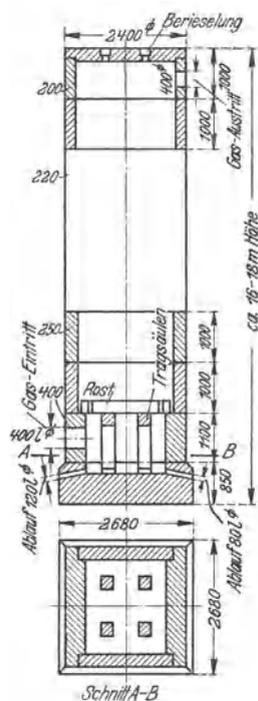


Abb. 954. Granitturm (Gebr. Kerber).

Ferner verwendet man Granittürme zur Gewinnung von Brom aus den Endlaugen der Kaliindustrie durch Zusatz von Chlor. Einen Granitturm nach *Kubierschky* für diese Zwecke mit einem Steinzeugeinbau zeigt Abb. 955. In der Granitdeckplatte befindet sich der Laugeneinlauf *a*. Die entbromte Lauge fließt bei *b* ab. Durch den Einlauf der Lauge schlägt sich der unten eingeleitete und in dem Turm nach oben steigende Wasserdampf nieder, der infolgedessen stetig aus der unteren Kammer nach oben nachströmt. In die Zwischenplatten sind Umlaufrohre eingebaut, über welche die Bromdämpfe von Stufe zu Stufe nach oben steigen. Für die herabfallende Lauge sind Flüssigkeitsverschlüsse in den Zwischenböden vorgesehen, die der Lauge den Durchtritt gestatten, die Dämpfe aber zurückhalten, so daß diese in die Umlaufrohre treten müssen. Die einzelnen Kammern sind mit Platten ausgefüllt, die auf Steinzeugecken so gelagert sind, daß die Bromdämpfe langsam um die einzelnen Platten herumstreichen und erst unterhalb der untersten Platten in die nächste obere Kammer strömen. Je 4 genau auf Maß gearbeitete Granitplatten von 15 cm Stärke sind mit Asbeststreifen gegeneinander abgedichtet und mit gußeisernen Ecklaschen und Ankerschrauben zu einer Kammer von 70 cm im Geviert und 40 cm Höhe fest verbunden. Nach Einbringen des Steinzeugeinbaues wird die erste Kammer mit der Zwischenplatte abgeschlossen und eine weitere Kammer aufgebaut. Die Dichtungen bestehen aus 3 mm starker Asbestpappe. Die Anschlußrohre sind mit Asbestschnur eingestemmt. Der dabei verbleibende Hohlraum wird mit einem Kitt aus Asbestmehl und Wasserglas ausgefüllt und verstrichen. Die Apparatur dient zur Verarbeitung von 100—120 m³ Endlauge/Tag mit einem Bromgehalt von 0,25 Proz. Um 1 kg bromfrei zu machen, sind 0,5 kg Chlor und 30 kg Heizdampf von etwa 3 at abs aufzuwenden, wobei eine Ausbeute von 95—98 Proz. erreicht wird. (*O. Krebs, Chem. Apparatur 1930, S. 218, 254.*)

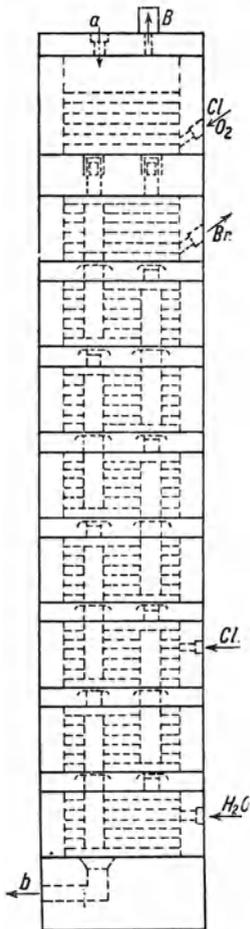


Abb. 955. Granitturm nach *Kubierschky*.

Granulatoren (*s. auch Backenbrecher*) sind Spezialmaschinen, die grobstückiges Material in einem Arbeitsgang in feine Körnungen zerkleinern. Man erzielt würlige, haarrißfreie und gleichmäßige Splitts und verwendet die Granulatoren für sehr harte Stoffe, wie Basalt, Diabas, Porphy, Quarzit, Hochofenschlacke, Zementklinker, Schamotte usw. Die Granulatoren sind Einschwingenbrecher, deren Brechschwinge mittels Exzenters auf und ab bewegt wird (*s. Abb. 87, Bd. I, S. 62*); außerdem erhält sie durch den Kniehebelnker eine waagrecht schwingende Bewegung, woraus eine elliptische Bewegung resultiert. Diese bewirkt ein Zerdrücken und teilweises Zerreiben sowie eine Förderung des Gutes nach dem Spalt. Die Form der Brechschwinge kann geradlinig (*wie in Abb. 87, S. 62*) oder konvex (*F. Hoffmann, Finsterwalde N.-L.*)

Th.

oder konkav (Esch-Werke, Duisburg-Hochfeld) sein. Abb. 956 zeigt die Wirkungsweise der Zerkleinerung bei der konkaven Ausführung. Wie die kinematische Darstellung Abb. 957 erkennen läßt, geht die elliptische Bewegung der Brechschwinge am Maul allmählich in eine geradlinige am Spalt über; es ist also beim Einlauf des Zerkleinerungsgutes vorwiegend eine drückende und quetschende, im unteren Teil vorwiegend eine zerreibende Bewegung vorhanden, die die in Abb. 956 ersichtliche Art der Zerkleinerung erklärt. Der Exzenterhub ist so bemessen (20 mm), daß die lebendige Kraft der schwingenden Massen sehr gering ist und die Maschine sehr ruhig arbeitet. Die Bewegungsverhältnisse gestalten sich folgendermaßen (Abb. 957) bei *a*:

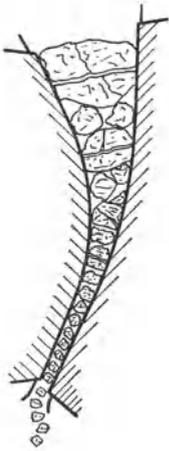


Abb. 956. Spalt des Esch-Granulators.

bei *b*: Hub = 20 mm, Schwingungsweite = 15 mm; bei *c*: Hub = 20 mm, Schwingungsweite = 10 mm; bei *d*: Hub = 20 mm, Schwingungsweite = 5 mm; bei *e*: Hub = 20 mm, Schwingungsweite = 2 mm; bei *e*: Hub = 20 mm, Schwingungsweite = 0 mm.

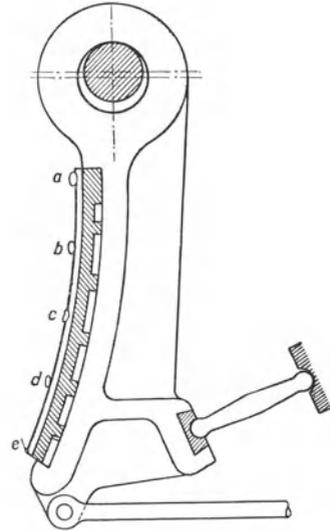


Abb. 957. Kinematische Darstellung der Bewegung der Brechschwinge des Esch-Granulators.

Granulierapparate. Für manche Zwecke ist es erforderlich, feste Stoffe zur weiteren Verarbeitung oder Verwendung zu Körnern oder in kleinere Stücke zu verwandeln, z. B. um für eine Reaktion mit Gasen oder Flüssigkeiten ausreichend große Flächen zur Berührung und Wege zum Durchtritt dieser Stoffe oder zu ihrer Verteilung zu schaffen, oder um ein für den Verwendungszweck besser geeignetes Erzeugnis zu erhalten. Diesen Körnungsvorgang bezeichnet man vielfach als Granulation und die hierzu dienenden Apparate als Granulierapparate.

Metalle kann man dadurch granulieren, daß man sie in geschmolzenem Zustand in ein mit Wasser gefülltes Gefäß leitet. So bringt man beispielsweise Blei in eine schwammartige, stückige Form, indem man es flüssig unmittelbar aus dem Schmelzkessel in eine mit Wasser gefüllte Schale laufen läßt. Das gleiche Verfahren dient zur Granulierung von Schlacken. Es hat jedoch nur in der Metallurgie Bedeutung, weshalb es hier nicht weiter behandelt sei. Eine ähnliche Wirkung läßt sich auch mit zerstäubtem Wasser erzielen.

Stoffe, die in wässrigen Lösungen enthalten sind, körnt man dadurch, daß man sie scharf trocknet, so daß sie bei der Entfernung aus dem Trockner zerfallen. Für diese Zwecke eignen sich besonders Walzentrockner (s. d.). — Eine heiße, gesättigte Lösung kann man auf gekühlte Walzen bringen, so daß sie erstarrt und in körniger Form durch Abstreichen von der Walzenoberfläche gewonnen wird. Die hierzu dienenden Kühlwalzen weisen die gleiche Bauart wie die Walzentrockner (s. d.) auf.

Eine feinkörnige Masse kann man erhalten, wenn man die Lösung in Schaum überführt und die Schaummasse trocknet. Hierzu eignen sich beispielsweise Kammer Trockner (s. d.), aber auch andere Trockenvorrichtungen (s. Trockner). Man erzielt dabei flache, schalige Körner. — Eine pulverige Beschaffenheit des Erzeugnisses ergibt sich bei der Zerstäubungstrocknung von Lösungen (s. Zerstäubungstrockner).

Um möglichst gleichmäßige Stücke zu erhalten, kann man die Lösung oder Schmelze durch ein Sieb drücken und in eine gekühlte Flüssigkeit tropfen lassen. Auf diese Weise stellt man z. B. Leimperlen her, indem man die warme Leimlösung durch ein Sieb in Tropfen in gekühltes Benzin fallen läßt, so daß der Leim in Kugelform erstarrt. Die Kühlflüssigkeit befindet sich unterhalb des Siebes in einem senkrecht stehenden Gefäß von etwa 4 m Höhe, so daß eine ausreichende Zeit zur Kühlung und Erstarrung vorhanden ist. Die Kühlflüssigkeit läuft über einen Kühler, der die Kühltemperatur unveränderlich hält, und über eine Siebvorrichtung, die den fertigen Perlenleim ausscheidet, ständig um.

Siebe oder ähnliche Lochplatten verwendet man zum Granulieren von mehligem oder feinkörnigen Stoffen. Hierzu ist in der Regel ein Bindemittel beizumischen. Für die Verarbeitung wasserunlöslicher Stoffe genügt oft ein geringer Wasserzusatz. Das Gut wird dann mit einer über die Löchplatte laufenden Walze oder einer ähnlich wirkenden Aufstreichvorrichtung durch die Löcher gedrückt und fällt beim Austritt in körniger Form an. Die auf diese Weise erhaltenen Granalien haben naturgemäß keine hohe Festigkeit.

Für manche Zwecke kann man ein körniges Erzeugnis aus einem mehligem, feinkörnigen Rohstoff durch Mischen eines angefeuchteten Anteils mit dem trockenen Gut in einer Mischmaschine, beispielsweise einem Trommelmischer (s. Mischvorrichtungen), erhalten. Das Gut ballt sich dabei zusammen, so daß man je nach der Art der Mischung Stücke von beliebiger Größe erhalten kann.

Ein körniges Gut von höherer Festigkeit kann man durch Erhitzen bis zum Sintern erhalten, wozu Saugzugsintermaschinen und Drehöfen dienen. Diese Verfahren haben jedoch nur für die Metallurgie zum Stückigmachen von Feinerzen Bedeutung erlangt.

Die Herstellung von körnigem Gut durch Zerkleinerung größerer Stücke mit brechenden, schlagenden, walzenden, quetschenden oder mahlenden Werkzeugen (Zerkleinerungsmaschinen) wird in der Regel nicht als Granulierung bezeichnet. Nur bestimmte Zerkleinerungsvorrichtungen nennt man Granulatoren (s. d.).

Th.

Graphit, s. Kohlenstoff.

Grauguß, s. Eisen-Kohlenstoff-Legierungen.

Gummi. Unter Gummi versteht man vulkanisierten (d. h. mit Schwefel oder schwefelhaltigen Verbindungen behandelten) Kautschuk (d. i. Gel aus Milchsäften tropischer Pflanzen), der noch Füll- und Farbstoffe enthalten kann (s. Z. angew. Chem. 1933, S. 206). Die Verwendung von Gummi (Hartgummi, Weichgummi) zum Auskleiden metallischer Gefäße zum Schutz gegen Korrosion nimmt zu. Abgesehen von der Verwendung von Weichgummischläuchen, -dichtungen usw. kommt auch Ebonit (Hartgummimasse) als selbständiges Konstruktionsmaterial in Frage.

Physikalische Eigenschaften. Erweichung: Hartgummi 60—70°, Weichgummi 130°. — Kubischer Ausdehnungskoeffizient: 0,00008 (für Ebonit). — Verschleißwiderstand: sehr gut (Verwendung von Weichgummi zum Auskleiden von Mühlen und zur Herstellung von Transportbändern).

Chemische Widerstandsfähigkeit. Bezüglich des Angriffes von Gummi haben sich die unteren (Weichgummi) und die hohen (Hartgummi) Schweflungsstufen des Kautschuks besser bewährt als die mittleren. Da Hartgummi bei 60—70° zu erweichen beginnt, sind seiner Anwendung bei diesen Temperaturen Grenzen gesetzt, und es muß von nun an Weichgummi verwendet werden, den man bis 100° anwenden kann.

Gummi verhält sich gegen die verschiedenen Agenzien wie folgt:

Agens	Konzentration	Höchsttemperatur	Bemerkungen
Alaunlösungen	0 bis zur Sättigung	66°	beständig
Alkalilösungen	0 bis zur Sättigung	66°	Weichgummi bei 110° beständig
Ammoniaklösungen	0 bis zur Sättigung	38°	beständig
Ammoniumfluorid	0,5 bis 10proz. Lösung	—	beständig
Äthylalkohol	jegliche Konzentration	60°	Kautschuk ist in Alkohol unlöslich
Aceton	desgleichen	54°	in Aceton ist Kautschuk gleichfalls unlöslich
Bisulfatlösungen	0 bis zur Sättigung	66°	beständig
Bromwasserstoffsäure	ziemlich konz.	38°	beständig
Calciumchloridlösungen	0 bis zur Sättigung	66°	beständig
Calciumhypochloritlösungen	desgleichen	38°	beständig
Chlor	—	—	Gummi wird hart
Chlorwasserstoffgas	jegl. Konzentration	110°	beständig
Chromsäure + Schwefelsäure	10 Proz. Chromsäure 13 Proz. Schwefels.	—	keine völlige Beständigkeit
Essigsäure	100 Proz.	80°	diffundiert langsam durch Gummi, namentlich bei Gehalten an Aldehyden und Estern. Ferner kann Verfärbung auftreten
Ferrosulfatlösungen	0 bis zur Sättigung	66°	beständig
Fluorwasserstoffgas	jegl. Konzentration	110°	es tritt sehr geringe Ätzung ein
Flußsäure	konzentriert	66°	Weichgummi ist bis 110° beständig
Kalkmilch	jegl. Konzentration	52°	beständig
Kieselfluorwasserstoffsäure	jegl. Konzentration	66°	beständig
Kochsalzlösungen	0 bis zur Sättigung	66°	beständig
Kupfersulfatlösungen	desgleichen	66°	beständig
Methylalkohol	jegliche Konzentration	66°	unlöslich
Mischsäure	—	—	nicht beständig
Monochloressigsäure	—	—	nicht beständig
Naphthalin	—	—	Dichtungsringe für Gasrohre erleiden besonders durch Kondensation von Naphthalin Veränderungen

Agens	Konzentration	Höchsttemperatur	Bemerkungen
Phosphorsäure	bis 75 Proz.	52°	Weichgummi ist bis 110° verwendbar. Eine Mühle, die Phosphate mit Schwefelsäure vermahlt, seit 18 Monaten zufriedenstellend in Betrieb
Photograph. Lösungen . .	—	—	Hartgummi ist beständig
Salzsäure	bis 38,6 Proz.	66°	Gummierungen sind ausgezeichnet verwendbar. 38,6proz. Säure greift Weichgummi auch bei 110° nicht erheblich an
Salpetersäure	2 Proz.	20°	eine Leitung für sehr verdünnte Salpetersäure seit Jahren in Betrieb
Schwefelalkalilösungen . .	—	—	bei 80° erfolgt Einwirkung
Schwefeldioxyd	jegliche Konzentration	110°	das feuchte Gas wirkt nur ganz gering ätzend
Schwefelsäure	bis 80 Proz.	66°	wirkt bei 25° noch sehr wenig ein; 20proz. kann b. 110° verwendet werden
Schwefeltrioxydgas	—	50°	Einwirkung sehr gering bei feuchtem Gas
Schweflige Säure	jegliche Konzentration	66°	Weichgummi auch bei 110° keine Veränderung
Stickoxyde	—	—	starker Angriff
Wasserstoffsperoxyd . . .	40 Proz.	25°	nur geringer Angriff
Zinkchloridlösungen . . .	50 Proz.	38°	beständig, bei schärferen Bedingungen verändert
Zinksulfatlösungen	0 bis zur Sättigung	66°	beständig

Ganz vorzüglich ist auch die Haltbarkeit von Hartgummi (Ebonit) in nicht-oxydierenden Säuren (*S. Reiner*, Chem. Fabrik 1933, S. 375; *W. Cornehl*, AEG-Mitt. 1928, S. 122). Über die Einwirkung von organischen Lösungsmitteln auf Gummi vgl. besonders die groß angelegte Arbeit von *A. Bresser* (Korrosion u. Metallschutz 1928, S. 277). — Unter dem Namen „Buna“ wird in jüngster Zeit ein synthetischer Gummi in den Handel gebracht, der die gleichen Eigenschaften wie Gummi hat und gegen Öle, Benzin, Benzol und andere organische Lösungsmittel beständig ist. — Als säurefeste Produkte auf der Basis von Kautschuk sind noch anzuführen Olivite (Chem.-Ztg. 1925, S. 550), Cabtyrite (Chem.-Ztg. 1925, S. 880), Tillit (*Schd.*, Papier-Fabrikant 1927, S. 739) und andere mehr. — Über Kautschukkitte (Marineleim) s. Kitte, über Chlorkautschuk s. Pergut und Tornesit. — Über einen als Schwingmetall bezeichneten Werkstoff, der aus Gummi und Metall besteht, s. Schwingmetall.

Lit.: *A. Kraus*, Chem. Apparatur 1924, S. 186. — *A. Schob*, Z. VDI 1927, S. 553. — *F. Meyer*, Chem. Apparatur 1926, Beil. Korr., S. 21. — *Ka.*, Chem. Apparatur 1927, Beil. Korr., S. 40. — *F. Zeisberg*, Ind. Engng. Chem. 1923, S. 157; Chem. Apparatur 1923, S. 165. — *G. B. Jones*, Chem. Age, N. Y., Bd. 4, S. 416; Chem. Zbl. 1921 II, S. 1017. — *F. M.*, Chem. Apparatur 1927, Beil. Korr., S. 20. — *Brand*, Chem. Zbl. 1904 I, S. 984. — *F. M.*, Chem. Apparatur 1927, Beil. Korr., S. 36. — *Dr. H. Traun & Söhne*, Chem. Apparatur 1915, S. 243. — *Crabtree* u. *Mattheus*, Ind. Engng. Chem. 1923, S. 666. — *J. R. Hoover* u. *F. L. Haushalter*, Ind. Engng. Chem. 1931, S. 462. — *H. Dannel*, Chem. Apparatur 1931, Beil. Korr., S. 33. — *A. Bresser*, Chem. Apparatur 1929, S. 162. — *B. Block*, Chem. Apparatur 1931, Beil. Korr., S. 37. — *J. Courbier* u. *Th. Boussand*, Chim. et Ind. 1930,

S. 1099. — *H. Griffiths*, Materials of Chemical Plant Construction (London 1922, Benn Brothers Ltd.). — *E. Rabald*, Werkstoffe und Korrosion II (Leipzig 1931, Spamer). — *H. P. Stevens* u. *M. B. Donald*, The Rubber in the Chemical Industry (London 1933, Rubber Growers Association).

Rabald.

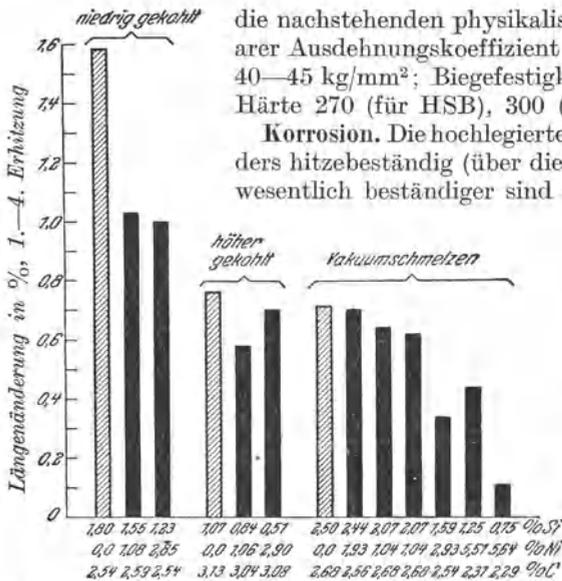
Gußeisen, s. Eisen-Kohlenstoff-Legierungen.

Gußeisenlegierungen u. legierter Stahlguß. Es handelt sich hier um Grauguß (s. Eisen-Kohlenstoff-Legierungen), dem bis zu etwa 10 Proz. Nickel oder Chrom (seltener Kupfer) oder beide Metalle zulegiert sind, sowie um Stahlguß mit Zusätzen von Mangan, Ni u. Cr (s. *Roesch* u. *Clauberg*, Chem. Fabrik 1933, S. 317; 1934, S. 297 u. Werksnachr. d. Bergischen Stahlind., Remscheid, 1935, Nr. 17 u. 19). Der legierte, sehr verschleißfeste Stahlguß wird bes. bei Zerkleinerungs- u. Mischmaschinen verwendet. Während Chrom den Gehalt des Graugusses an gebundenem Kohlenstoff vermehrt, wirkt ein Nickelzusatz auf die Abscheidung von fein verteiltem Graphit hin. Durch Chromzusatz werden Biegefestigkeit, Härte, Verschleißfestigkeit gesteigert (*Jungbluth* u. *Pomp*, Gießerei 1933, S. 419; Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseld. 1933, S. 71). Nickelzusatz erzeugt bessere Dichtigkeit des Gusses u. bessere Bearbeitbarkeit (*Engineer* 1933, S. 241). Durch Zusatz beider Metalle addieren sich die günstigen Einflüsse auf den Grauguß, ferner wird die Korrosionsfestigkeit erhöht. Beispiele für in der Technik verwendete Gußeisenlegierungen:

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Ni	% Cr	% Cu	Verwendungszwecke
—	1,60	0,60–0,70	0,28–0,32	1,20–1,35	0,50	—	—	für Teile von Ammoniakkompressoren
3,25–3,35	1,75–2,00	—	—	—	2,50–3,00	0,75–1,00	—	
—	1,75	0,61	0,088	0,064	2,75	1,00	—	für verschleißfesten Guß Monel-Gußeisen mit Zusatz von 20 bis 23 % Monel-Metall, besonders dort verwendet, wo es auf hohe Korrosionsfestigkeit ankommt
2,6–3,0	1,5	—	—	—	12,0	—	8,0	
2,6–3,0	1,5	—	—	—	12,0	1,5–3,5	8,0	

Das Monel-Gußeisen kommt unter dem Namen Nimol in Amerika und unter dem Namen Niresist in Europa in den Handel, und zwar werden je nach Verwendungszweck mehrere Typen (z. B. Nimol C besonders korrosionsfest, Nimol H besonders hitzebeständig) hergestellt. Niresist hat wie die anderen hochlegierten Gußeisen austenitische Struktur. Es hat die gleiche Festigkeit wie Gußeisen unter gewöhnlichen Bedingungen, aber eine bessere Warmfestigkeit (bei 550° noch 65 Proz. der Festigkeit bei 20°). Sein Ausdehnungskoeffizient beträgt 0,000018. Als besonderer Vorzug ist die gute Schweißbarkeit hervorzuheben. Über die Nickel und Mangan enthaltende Gußeisenlegierung Nomag s. *S. E. Dawson*, Foundry Trade J. 1924, S. 439, über Nicrosilal s. *A. L. Norburg* u. *E. Morgan*, Trans. Amer. Foundrym. Ass. 1933, S. 267.

Für den sehr säurebeständigen HSB-Guß (Stahlguß mit etwa 30 Proz. Cr) gelten



die nachstehenden physikalischen Daten: Dichte 7,4; linearer Ausdehnungskoeffizient 11,9 (0—500°); Zugfestigkeit 40—45 kg/mm²; Biegefestigkeit 60—65 kg/mm²; Brinell-Härte 270 (für HSB), 300 (für HSB 3).

Korrosion. Die hochlegierten Erzeugnisse sind ganz besonders hitzebeständig (über die niedriglegierten Produkte, die wesentlich beständiger sind als gewöhnlicher Grauguß, s.

Th. Meierling, Arch. Eisenhüttenwes. 1933, S. 141). Bis 820° tritt z. B. beim Niresist kein merkbarer Angriff ein. Die Korrosion bei höheren Temperaturen dürfte ¹/₁₀ der von gewöhnlichem Gußeisen sein. Über die Oxydationsbeständigkeit der niedriglegierten Produkte gibt die nebenstehende Abb. 958 Auskunft, während die nachfolgenden Tabellen den Angriff verschiedener Chemikalien wiedergeben.

Abb. 958. Der Einfluß von Nickel bei Wachstumsversuchen von Grauguß. (Nach Piwowarsky und Freytag.)

Angriff von Niresist (enthaltend 14% Ni + 6% Cu + 2% Cr + 1% Mn).
(Nach Veröffentl. B 9 des Bureau of Information on Nickel.)

Angreifendes Agens	Gewichtsverlust in mg/dm ² · Tag	
	Niresist	Gußeisen
Atmosphäre (Versuchsdauer 1,5 Jahre)	3,5	35,0
Leitungswasser (lufthaltig)	7,8	67,2
Wasserstrahl (horizontal)	17,6	244
3proz. Kochsalzlösung	50,0	190
5proz. Salzsäure (lufthaltig)	507	26 665
20proz. Salzsäure (lufthaltig)	1 111	33 270
5proz. Schwefelsäure (lufthaltig)	350	30 000

Angriff von Niresist (enthaltend 14% Ni + 6% Cr + 5% Cu + 1% Mn).

	Gewichtsverlust in mg/dm ² · Tag bei 20°	
Aceton	1,5	4,6
Ameisensäure	13,9	138
5proz. Ammoniumchloridlösung	10,8	35,6
10proz. Ammoniumsulfatlösung	9,3	32,6
33proz. Essigsäure	17,0	840
5proz. Ferrichloridlösung	667	1 038
Kohlenstofftetrachlorid	1,5	3
10proz. Magnesiumchloridlösung	7,7	18,6
5proz. Natriumsulfatlösung	1,5	1,5
5proz. Oxalsäure	6,2	55,8
50proz. Phosphorsäure	26,4	4 650
20proz. Salzsäure	62,0	11 180
20proz. Salpetersäure	7 830	10 092
20proz. Schwefelsäure	41,8	13 720
20proz. Wasserstoffsuperoxyd	6,2	9,3
5proz. Zitronensäure	9,3	1 492

Für den chromhaltigen HSB-Guß sind folgende Angriffswerte ermittelt worden:

Beständigkeit von HSB 1, HSB 3 und Eisen.

Güteziffer	Gewichtsverlust g/m ² · std	Beständigkeit			Versuchsbedingungen														
1	0 — 0,1	vollkommen beständig			Die Versuche zur Ermittlung der Beständigkeit werden mit geschliffenen und nicht passivierten Proben im Gußzustand angestellt.														
2	0,1 — 1	gut beständig																	
3	1 — 3	genügend beständig																	
4	3 — 10	schlecht beständig																	
5	über 10	unbeständig																	
Anorganische Säuren					Organische Säuren														
Chemisches Angriffsmittel	Konzentration %	Temp. °	HSB1	HSB3	Eisen	Chemisches Angriffsmittel	Konzentration %	Temp. °	HSB1	HSB3	Eisen								
Salpetersäure .	10	20	1	1	5	Ameisensäure .	10	20	1	1	4								
	45	20	1	1	5		50	20	1	1	5								
Spez. Gew. 1,4	20	20	1	1	5	100	100	20	1	1	5								
	10	100	1	1	5	10	10	kochend	2	1	5								
Spez. Gew. 1,4	45	100	2	1	5	50	50	kochend	4	2	5								
	100	100	2	2	5	100	100	kochend	2	2	5								
Schwefelsäure ¹⁾	5	20	5	2	5	Dampf	Buttersäure ..	80	20	1	1	3							
	10	20	5	3	5														
	25	20	5	5	5														
	40	20	5	4	5														
	75	20	4	3	5														
	Spez. Gew. 1,84	20	1	1	1								Essigsäure ...	5	20	1	1	1	4
		5	100	5	3														
	10	100	5	5	5								10	20	1	1	4		
	25	100	5	5	5								60	20	1	1	5		
	40	100	5	5	5								100	20	1	1	5		
	75	100	5	5	5								5	100	1	1	5		
	Spez. Gew. 1,84	100	2	2	3								10	100	2	1	5		
Spez. Gew. 1,84	kochend	4	4	5	60	100	2	1	5										
Salzsäure	jede Konzentration	20	5	5	5	Essigsäure und Ameisensäure	50% Essigsäure + 50% Ameisen- säure	100	5	2	5								
	jede Konzentration	100	5	5	5														
Mischsäuren ..	20% ₀ H ₂ SO ₄ (1,84) + 15% ₀ HNO ₃ (1,4) + 65% ₀ H ₂ O	20	1	1	5	Monochlor- essigsäure ..	10	20	1	1	4								
		70	2	2	5														
		100	5	4	5														
		20	1	1	5														
		70	2	1	5														
58% ₀ H ₂ SO ₄ (1,84) + 40% ₀ HNO ₃ (1,4) + 2% ₀ H ₂ O	20	1	1	5	Gallussäure ..	bei 100° gesättigt	kochend	1	1	4									
	70	2	1	5															
	100	4	3	5															
	20	1	1	5															
	70	2	1	5															
97,5% ₀ HNO ₃ (1,4) + 2,5% ₀ H ₂ SO ₄ (1,84)	20	1	1	5	Gerbsäure	10	20	1	1	3									
	70	2	1	5															
	100	3	2	5															
	10	100	1	1							4								
	50	100	1	1							4								
25% ₀ H ₂ SO ₄ (1,84) + 9% ₀ HNO ₃ (1,4) + 66% ₀ H ₂ O	20	1	1	5	Karbolsäure ..	80	130	1	1	3									
	100	3	2	5															
	Schweflige Säure	gesättigt	20	2							1	5	Milchsäure ...	1	20	1	1	3	
			5	20							1	1							3
			50	20							1	1							4
1			100	1	1	4													
5			100	1	1	5													
Phosphorsäure	10	20	2	1	5	Naphthalin- sulfosäure ..	technisch	20	1	1	4								
	10	100	3	3	5														
	Spez. Gew. 1,7	20	1	1	5														
	Spez. Gew. 1,7	90	1	1	5														
	Phosphor- pentoxyd ...	trocken	20	1	1							1	Ölsäure	technisch	150	1	1	4	
20			1	1	3														

¹⁾ Die Beständigkeit von HSB gegenüber H₂SO₄ wird stark beeinflusst durch die Anwesenheit von geringen Mengen von Salzen, so daß in jedem Falle eine vorübergehende praktische Prüfung erforderlich ist.

Organische Säuren						Salzlösungen und geschmolzene Salze					
Chemisches Angriffsmittel	Konzentration %	Temp. °	HSB1	HSB3	Eisen	Chemisches Angriffsmittel	Konzentration %	Temp. °	HSB1	HSB3	Eisen
Oxalsäure	10	20	1	1	4	Ammoniumchlorid	5	20	1	1	3
	25	20	1	1	4		20	20	1	1	3
	50	20	1	1	4		5	100	1	1	4
	5	kochend	2	2	5		20	100	1	1	5
	10	kochend	2	2	5		100	150-160	2	1	5
	25	kochend	3	3	5						
Weinsäure	50	kochend	5	4	5	Ammoniumnitrat	heiß gesättigt	60	1	1	4
	10	20	1	1	3		bei 100° gesättigt	120	1	1	5
	25	20	1	1	3		bei 100° gesättigt	kochend	1	1	5
	50	20	1	1	4	Ammoniumsulfat	kalt gesättigt	20	1	1	3
	10	100	1	1	5		kalt gesättigt	100	2	1	5
	25	100	1	1	5						
Zitronensäure .	50	100	1	1	5	Ammoniumsulfid	Spez. Gew. 1,18	20	1	1	2
	10	20	1	1	4		Spez. Gew. 1,18	100	1	1	4
	25	20	1	1	4	Bleiacetat	25	20	1	1	4
	50	20	1	1	4		25	kochend	1	1	5
	10	100	1	1	5	Calciumbisulfid	Spez. Gew. 1,04	kochend	2	1	5
	25	100	1	1	5		Calciumchlorid	kalt gesättigt	20	1	1
50	100	2	1	5		kalt gesättigt	100	1	1	4	
Basen und basische Salze						Chlorkalk	trocken		2	1	4
Ammoniak	Spez. Gew. 0,91	20	1	1	3	feucht			3	2	5
Natriumhydroxyd (Natronlauge)	20	20	1	1	3	Cyanhärtesalz	96% NaCN	900	5	5	1
	35	20	1	1	3		Eisenchlorid	25	20	5	5
	65	20	1	1	3	10		20	1	1	3
	20	100	1	1	4	10		kochend	1	1	4
	35	100	2	2	4	Kaliumbitartrat		bei 100° gesättigt	kochend	2	2
	65	100	3	3	5		Kaliumchlorat	bei 100° gesättigt	kochend	1	1
100	300	5	5	5	Kaliumferricyanid	25		20	1	1	3
Kaliumhydroxyd (Kalilauge) .	25	20	1	1		3	25	100	1	1	4
	50	20	1	1	3	Kaliumnitrat	25	100	1	1	5
	25	100	2	2	4		Kaliumpermanganat	10	kochend	1	1
	50	100	2	2	4	Kupferchlorid		15	20	5	5
100	300	5	5	5	Kupfernitrat		50	kochend	1	1	5
Natriumcarbonat (Soda) . .	20	100	1	1	3	Kupfersulfat	bei 100° gesättigt	kochend	1	1	5
Kaliumcarbonat (Pottasche) .	50	kochend	1	1	3		Magnesiumchlorid	25	20	1	1
						25		100	1	1	5
Salzlösungen und geschmolzene Salze						Natriumbisulfat	10	20	1	1	5
Alaun	10	20	1	1	4	10	20	1	1	5	
	10	100	3	2	5	Natriumchlorid (Kochsalz) .	20	20	1	1	3
heiß gesättigt	100	5	5	5	20		100	2	1	5	
Aluminiumacetat	kalt gesättigt	20	1	1	4	Natriumhypochlorit	Spez. Gew. 1,15	20	4	2	5
	kalt gesättigt	100	1	1	4		Spez. Gew. 1,15	100	4	2	5
Aluminiumsulfat	10	20	1	1	4						
	kalt gesättigt	20	1	1	4						
	kalt gesättigt	100	4	4	5						

Salzlösungen und geschmolzene Salze						Sonstige Angriffsstoffe					
Chemisches Angriffsmittel	Konzentration %	Temp. °	HSB 1		Eisen	Chemisches Angriffsmittel	Konzentration %	Temp. °	HSB 3		Eisen
			HSB 1	HSB 3					HSB 1	HSB 3	
Natriumsulfat.	10	20	1	1	3	Äthylalkohol .	50	20	1	1	3
	10	100	1	1	5		95	20	1	1	2
							100	20	1	1	2
Natriumsulfit .	50	kochend	1	1	5	Benzin	technisch	20	1	1	2
Quecksilberchlorid (Sublimat) . .	0,1	20	2	1	3	Benzol	technisch	20	1	1	2
	0,4	20	2	2	4			20	1	1	2
	0,1	kochend	4	1	4	Bier	technisch	kochend	1	1	2
	0,7	kochend	4	4	4			20	1	1	4
Zinkchlorid . . .	25	20	1	1	1	Chlorwasser . .	kalt gesättigt	20	2	2	5
	25	100	3	3	5			20	1	1	3
	100	400	2	2	5			20	1	1	3
Zinksulfat	25	20	1	1	3	Seewasser	Nordsee	20	1	1	5
	25	kochend	1	1	5	Teerheizöle . . .		20	1	1	2
	heiß gesättigt	kochend	1	1	5	Tetrachlorkohlenstoff .		20	1	1	4
Zinnchlorid . . .	Spez. Gew. 1,21	20	2	2	4	Trichloräthylen		kochend	1	1	4
	Spez. Gew. 1,21	kochend	5	5	5			20	1	1	2
Sonstige Angriffsstoffe						Wasser		100	1	1	4
Äther		20	1	1	1			Wasserstoff-superoxyd . .	30	20	1
Äthylalkohol . .	10	20	1	1	4						

Lit.: *R. Müller* u. *R. Hanel*, Chem. Fabrik 1932, S. 493, 504. — *J. S. Vanick* und *P. D. Merica*, Trans. Amer. Soc. Stl. Treat. 1930, S. 923. — *M. Ballay*, Rev. Métallurg. 1929, S. 538. — The Mond Nickel Co. Ltd., London, Veröff. B 9 des Bureau of Information on Nickel: Nickel Cast Iron to-day. — *F. Renaud*, Gießerei 1930, S. 1202; Fonderie Mod. 1930, S. 397. — *C. Pfannenschmidt*, Gießerei 1933, S. 473; Foundry Trade J. 1933, S. 61, 81. — *F. B. Coyle*, Foundry Trade J. 1933, S. 7, 19, 35. — *F. Roll*, Gießerei 1933, S. 401. — Foundry Trade J. 1933, S. 347, 354. — Rev. du Nickel 1932, S. 21. — Chem.-Ztg. 1933, S. 87. — *A. L. Norburg* u. *E. Morgan*, Trans. Amer. Foundrym. Ass. 1933, S. 267. — *S. E. Dawson*, Foundry Trade J. 1924, S. 439. — *E. Rabald*, Werkstoffe und Korrosion I (Leipzig 1931, Spamer). — Nickel-Handbuch, Bd. Nickel-Guß Eisen (Frankfurt/Main, Nickel-Informationsbüro).

Rabald.

Gußstahl, s. Eisen-Kohlenstoff-Legierungen.

Guttapercha ist ein dem Gummi ähnliches Pflanzenprodukt und findet (allerdings in viel beschränkterem Maße) eine ähnliche Verwendung wie dieser. Guttapercha ist ausgezeichnet beständig gegen Salzsäure und Flußsäure jeder Konzentration.

Lit.: *E. J. Fischer*, Guttapercha u. Balata, ihre Ersatzstoffe u. technischen Gemenge (Berlin-Lichterfelde 1934, Allg. Industrie-Verlag).

Ra.

Lit. Chem. Apparatur: *B. Block*, Gummi-, Kautschuk-, Guttaperchaüberzüge für die Trommeln der Siebschleudern (1931, Beil. Korr., S. 37).

H

Hackmaschinen. Zur Gewinnung von Cellulose oder von Gerbstoffen aus Hölzern müssen diese in feine Späne zerteilt werden, damit die Kochlauge oder die Extraktionslösung das Holz leicht durchdringt. Holz kann man quer zur Faserrichtung, schräg zu ihr und längs der Faser schneiden. Nach *P. Pawlowitsch* (Die Gerbextrakte, S. 99, Wien 1929, Springer) ist die Schneidkraft beim Querschneiden proportional der Dicke der erhaltenen Späne. Schneidet man Holz unter einem schrägen Winkel zur Faserrichtung, so wird der Schneidwiderstand geringer. In der Längsrichtung der Fasern ist er bei einer Spandicke von 1 mm nur $\frac{1}{10}$ so groß wie in der Querrichtung. Bei dicken Spänen ist die Schneidarbeit für diesen Fall noch geringer. Die Eigenschaften des Schneidmessers hängen, abgesehen von der Güte der eigentlichen Schneidkante, von drei Winkeln ab, und zwar von dem Zuschärfungswinkel, den die Schneidflächen bilden, von dem Anstellwinkel zwischen Schneidgut und unterer Schneidfläche und von dem Zustellwinkel, den die Schneidkante mit der Schnittrichtung bildet. Für diese Winkel gibt es in der Regel bestimmte günstigste Werte, die von dem zu verarbeitenden Holz und der besonderen Maschinenbauart abhängen.

Die Hackmaschinen arbeiten mit zwei oder mehreren Messern, die auf einer umlaufenden Schwungscheibe oder auf einer sich schnell drehenden Trommel befestigt sind. — Die Schwungscheiben der Scheibenhackmaschinen haben den Zweck, durch Aufspeicherung von lebendiger Kraft eine möglichst gleichmäßige Belastung des Antriebs zu erreichen. Die Messer sind leicht auswechselbar in Schlitze der Schwungscheibe eingesetzt. Das Holz wird auf einer schrägen Rinne etwa in einem Winkel von 45° der Maschine zugeführt. Der Winkel von 45° hat sich für das Hacken von Holz als besonders günstig erwiesen. Die Scheibe wird mit einem Gehäuse umgeben, um das Fortschleudern der Späne zu verhüten. — Die Trommelhackmaschine arbeitet mit einem Messerkörper, der aus einem Zylinder oder aus zwei kegeligen Trommeln besteht, die mit den Schmalseiten aneinanderliegen, so daß sich eine schräge Schnittfläche ergibt. Die Kegelflächen bilden dabei meist einen Winkel von 135° zueinander. Vielfach ordnet man 6 Messer in jedem Kegel an. Auch bei diesen Maschinen wird die Zuführungsrinne geneigt ausgeführt. — Für besonders harte Hölzer werden auch Hackmaschinen mit selbsttätiger Zuführung gebaut.

Th.

Häfen (*s. auch Öfen*). Gefäße aus feuerfestem Ton zum Schmelzen von Glas bezeichnet man als Häfen. Sie sind oben entweder offen, so daß die fühlbare Wärme der Flammen und die Strahlung des Ofengewölbes und der Feuergase unmittelbar auf die Glasmasse übergehen kann, oder mit einer Haube überdeckt, so daß die Wärme nur mittelbar übertragen wird und die Gase nicht auf die Schmelzmasse einwirken können. Die Häfen haben in der Regel einen kreisrunden Querschnitt, nur Häfen für Spiegelglas, die mit einer Zange aus dem Ofen genommen werden, führt man auch mit ovalem Querschnitt aus. Die Häfen werden aus feuerfesten Tonen unter Zusatz von gebrannten, gemahlenden Tonen von Hand durch Aufschlagen und Auftreiben in geeigneten Formen hergestellt. Der Formung folgt eine vorsichtige, lang-

same Trocknung, die meist mehrere Monate dauert. Dann werden sie allmählich auf die Ofentemperaturen erhitzt. Die Haltbarkeit der Häfen hängt wesentlich von der Herstellung, insbesondere von den Rohstoffen, der Formung, Trocknung und dem Brand ab. Häfen für Weißhohlglas halten etwa 70—120 Schmelzen aus, Häfen für Tafelglas 60—80, Häfen für Bleiglas etwa 30—40.

Th.

Hähne (s. auch *Hahnverriegelungen*, *Keramische Werkstoffe* [Abschn. 4]) sind Absperrorgane, in denen der Durchgang durch ein kegeliges, mit einer Bohrung versehenes, auf seiner Sitzfläche drehbares Stück, das sog. Kükén, abgesperrt wird. Der Normalkegel der Hähne beträgt 1:6 (Neigung 1:12). Für bes. Bedingungen sind jedoch auch andere Kegel üblich. Zur Abdichtung nach außen dient entweder eine Stopfbüchse, wobei das untere Ende des Gehäuses geschlossen ist, oder das Kükén selbst, das eine Schraube am unteren Kegelende in das Gehäuse zieht. Bei dieser Ausführungsform hat das Gehäuse also zwei Öffnungen. Man unterscheidet demnach Stopfbüchsenhähne und Kükénhähne. Die Kükénhähne sind nach außen nicht besonders abgedichtet. Bei den Stopfbüchsenhähnen wird der innere Abdichtungsdruck durch den Druck der Stopfbüchse erzeugt. Um das Kükén entfernen zu können, ist unten meist eine Abdrückschraube vorgesehen. Bei neueren Bauarten erzeugt vielfach eine Feder den erforderlichen Dichtungsdruck.

Man kann die Kükénhähne auch so ausführen, daß die weitere Öffnung des Gehäuses durch einen Deckel verschlossen ist, wobei das Kükén mit einer entsprechenden Bohrung an dem weiten Ende versehen ist. Bei dieser Ausführungsform verstärkt der innere Druck die zur Abdichtung notwendige Pressung. Diese Hähne werden daher auch *Selbstdichter* genannt.

Als Werkstoffe kommen für Hähne in Betracht:

Gehäuse aus Rotguß, Kükén aus Rotguß oder Bronze; Gehäuse aus Gußeisen, Kükén aus Rotguß; Gehäuse aus Messing, Kükén aus Rotguß; Gehäuse und Kükén aus säurefestem Guß; Gehäuse aus geschmiedetem Stahl, Kükén aus nichtrostendem Stahl (bei Drücken über etwa 25 at); Gehäuse und Kükén aus Steinzeug.

Die Hähne zeichnen sich aus durch ihre große Einfachheit, Billigkeit, geringen Platzbedarf, die Möglichkeit rascher Umstellung und die bequeme Ausbildung von Dreiwegschaltern. Sie geben jedoch im Vergleich mit den Schiebern und Ventilen infolge der Gleitbewegung der Dichtungsflächen leicht zu Undichtheiten Anlaß, haben verhältnismäßig hohe Strömungswiderstände und halten größeren Druckunterschieden nicht Stand. Das Ein-

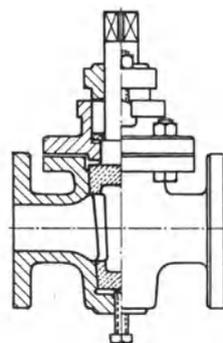


Abb. 959. Stopfbüchsenhahn.

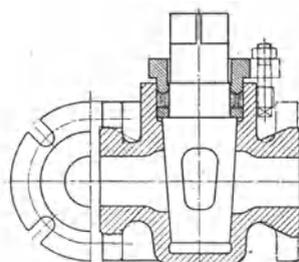


Abb. 960. Durchgangshahn (Thermisilid) (Amag-Hilpert).

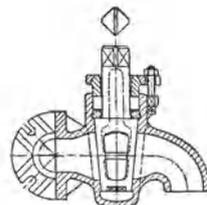


Abb. 961. Auslaufhahn.

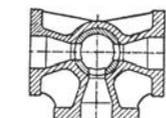


Abb. 962.
Dreivegehahn
(Amag-Hilpert).

schleifen undichter Hähne ist jedoch sehr einfach. Sie eignen sich besonders in Leitungen für Flüssigkeiten aller Art, besonders für geringe Durchmesser und kleine Strömungsgeschwindigkeiten. In Gasleitungen verwendet man Hähne für geringe Drücke und kleine Durchmesser.

Einen normalen Stopfbüchsenhahn zeigt Abb. 959, in einer Ausführung aus säurefestem Guß Abb. 960. Zum Anschließen an die Rohrleitungen sind hier die beiden Möglichkeiten angedeutet: durch Flansch oder durch eine kegelige Erweiterung zur Verbindung mittels Schellen. Ein Auslaufhahn ist auf Abb. 961, ein Dreivegehahn auf Abb. 962 dargestellt. Beide Ausführungen sind aus säurefestem Guß hergestellt. Einen Hahn mit Lösevorrichtung und zwei Stopfbüchsen zeigt Abb. 963. Ein Kükenhahn als Durchgangshahn mit zwei Muffen ist auf Abb. 964 und mit zwei Flanschen auf Abb. 965 dargestellt.

Für Flüssigkeiten, die leicht erstarren, werden auch Hähne mit hohlen Wandungen zwecks Beheizung mit Dampf hergestellt. In den meisten Fällen genügt es, wenn man Hähne üblicher Bauart mehrfach mit dünnen Dampfleitungen, beispielsweise aus Kupfer, umwickelt.

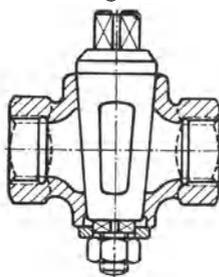


Abb. 964.
Zapfenhahn.

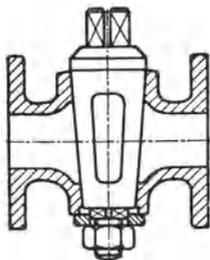


Abb. 965.
Flanschenhahn.

Die Hähne werden in der Regel entweder mit Griff (Griffhähne) oder mit Vierkant ausgeführt. Im letzten Fall ist die Stellung des Durchganges im Kükens durch entsprechende Kerben auf der oberen Vierkantfläche kenntlich gemacht.

Einen leicht schaltbaren Hahn, Bauart *Walwram*, der die Schwierigkeiten durch Festsetzen, Riefenbildungen und Undichtheiten bei Verwendung für fettlösende Flüssigkeiten vermeiden soll, zeigt Abb. 966 (Chem. Apparatur 1934, S. 75). Eine Druckfeder preßt das Kükens in das Gehäuse. Beim Öffnen und Schließen gleitet das Kükens mit einem Ansatz auf einer schiefen Ebene, so daß es sich bei Beginn der Drehung gegen den Druck der Feder abhebt. In der Schließstellung gleitet das Kükens von der Ebene ab, so daß es von der Feder wieder gegen das Gehäuse gedrückt wird. Ein Anschlag begrenzt die Endstellungen. Die schiefe Ebene liegt im Innern der Hahnkappe, so daß sie ebenso wie die Feder gegen äußere Einflüsse geschützt ist.

Eine Bauart, bei der die Lösevorrichtung mit dem Schlüssel vereinigt ist, stellt der Mackensen-Hahn nach

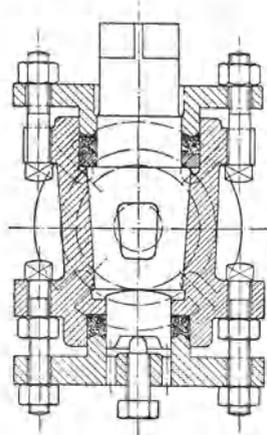


Abb. 963. Kükenhahn
mit Lösevorrichtung
(Weise Söhne).

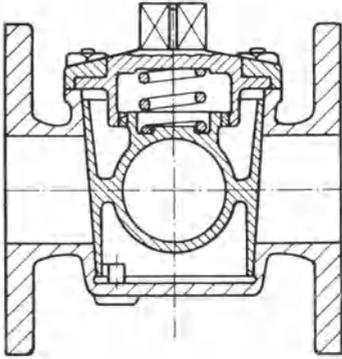


Abb. 966. Leichtschalthahn Bauart *Walwram* (Rhein. Armaturen- u. Maschinenfabrik, Saarbrücken).

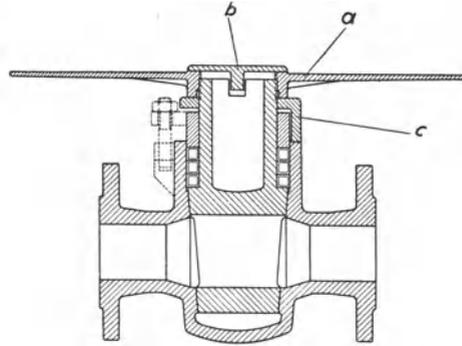


Abb. 967. Durchgangshahn mit Schlüssel zum gleichzeitigen Lösen und Öffnen des Kükens (Mackensen).

Abb. 967 dar (Chem. Apparatur 1934, S. 231). Der Hahnschlüssel *a* greift mit Gewinde am Kükenhals an und ist in seiner normalen Betriebsstellung durch den Deckel *b*, der mit einer Leiste in Aussparungen am Kükenhals eingreift, festgestellt. In dieser Betriebsstellung wird das Küken beim Drehen des Schlüssels mitgenommen. Durch Hochklappen des Deckels wird diese Feststellung gelöst. Der Schlüssel dreht sich nun gegenüber dem Küken und stützt sich mit der Haube *c* auf den Hahnkörper auf, so daß sich das Küken anhebt.

Einen Hahn für Flüssigkeiten, die bei gewöhnlichen Temperaturen leicht erstarren, zeigt Abb. 968 (Chem. Apparatur 1932, S. 113). Das Gehäuse ist mit Hohlräumen ausgebildet, durch die ein Heizmittel geführt wird. Dieses strömt durch Öffnungen in den Anschlußflächen der Flanschen zu und ab. Das Hahnküken sitzt in einer kegeligen Buchse. Die Küken- spindel trägt zwei Handräder, von denen das obere zur Drehung des Kükens, also zur Öffnung oder Sperrung der Leitung dient. Das untere Handrad greift mit einem Muttergewinde in die Spindelschraube ein und ermöglicht das Anziehen des Kükens gegen die Kegelfläche der Buchse, um eine sorgfältige Dichtung zu erhalten.

Zum Öffnen verstopfter Hähne kann eine Reinigungsvorrichtung nach Abb. 969 dienen (Chem. Apparatur 1930, S. 43, Abb. 5). Hier ist vor dem Hahn ein Krümmer angebracht, an dem sich in Verlängerung der Hahnbohrung ein Anguß befindet. Dieser ist durch eine Stopfbüchse verschlossen, durch die eine Stoßstange mit Griff geführt ist.

Siehe auch Armaturen.

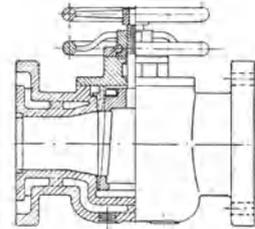


Abb. 968. Hahn mit Dampfmantel (Guyton & Cumfer, Chicago).

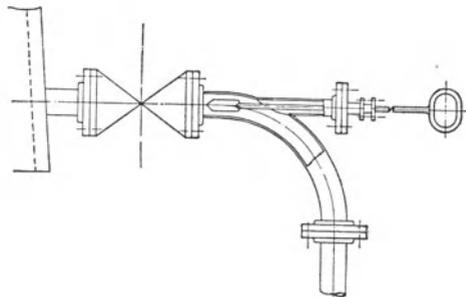


Abb. 969. Reiniger für verstopfte Hähne (I. G. Farbenindustrie).

Lit.: *P. Schröder*, Absperrmittel, Gestaltung und Berechnung der Ventile, Klappen, Schieber und Hähne (Charlottenburg 1934, Kiepert). — *Laudien* u. *Ederl*, Maschinenelemente, Bd. II (5. Aufl., Leipzig 1933, Jänecke). — *F. Rötcher*, Maschinenelemente, Bd. I (Berlin 1927, Springer). — *M. ten Bosch*, Vorlesungen über Maschinenelemente, Heft 5 (Berlin 1931, Springer).

Th.

Lit. Chem. Apparatur: *F. W. Horst*, Praktische Hahnschlüssel (1916, S. 49). — *H. Ruperti*, Neuere Hahnkonstruktion (1921, S. 111). — *Th. Hoffmann*, Steinzeughahn mit armiertem Kükem (1929, S. 108). — *L. Melzer*, Absperrhahn mit Schmier-
vorrichtung in Steinzeug („Semper-densum-Hähne“) (1935, Beil. Korr., S. 37).

Hahnverriegelungen. Bei manchen chemischen Vorgängen können durch die Nichtinnehaltung der Reihenfolge mehrerer in ein Gefäß einzufüllender Stoffe Schädigungen des Erzeugnisses oder auch Explosionsgefahren herbeigeführt werden. Um dies zu vermeiden, können Hahnverriegelungen vorgesehen werden, die die richtige Reihenfolge in der Bedienung verschiedener Hähne oder anderer Absperrvorrichtungen bei Beschickungsvorgängen zwangsläufig regeln.

Abb. 970 zeigt als Beispiel eine von der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie angegebene Verriegelung für vier Hähne, von denen zwei für die Füllung der Meßgefäße aus den Vorratsgefäßen und die beiden anderen für die Beschickung des Reaktionsgefäßes aus den Meßgefäßen dienen. Die Hähne werden wie üblich von Hand bedient, jedoch wird jeder einzelne durch ein Gestänge oder eine andere starre Übertragung mit der gemeinsamen Verriegelung derart verbunden, daß z. B. das Schließen eines Hahnes erst die Möglichkeit

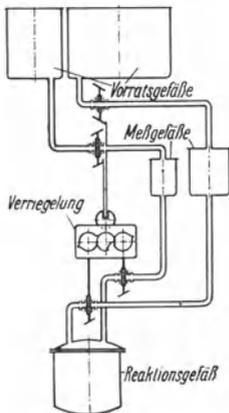


Abb. 970. Hahnverriegelung.

zum Öffnen des nächsten Hahnes freigibt. Wird dann dieser Hahn nach beendetem Flüssigkeitsdurchfluß wieder geschlossen, so gibt er selbsttätig und ausschließlich den Weg für die Bewegung des folgenden frei und so fort, bis der ganze Beschickungsvorgang beendet ist. Durch diese Regelung wird nicht nur die richtige Aufeinanderfolge der einzelnen Beschickungen gesichert, sondern es wird auch verhindert, daß durch versehentliches Offenlassen von Hähnen ein unmittelbares Durchlaufen der Flüssigkeit aus den Vorratsgefäßen durch die Meßgefäße gleich bis in das Reaktionsgefäß (Überfüllung) eintritt. Die Verriegelung besteht aus einer Anzahl mit Nasen und Aussparungen versehener Sperrscheiben, die durch Räderübersetzung bzw. durch Gestänge miteinander oder unmittelbar mit den Hahnkükem verbunden sind. Die Anwendungsmöglichkeit ist nicht durch die Zahl und Art der einzufüllenden Stoffe beschränkt, denn auch das Einfüllen fester Körper könnte z. B. mit einem vor der Beschickungsöffnung angebrachten Verschlusschieber oder einer anderen Absperrvorrichtung geregelt werden.

Lit.: Berichte der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie.

Th.

Hammerbrecher (s. auch *Vorbrecher, Zerkleinerungsmaschinen*) sind sehr kräftig gebaute Zerkleinerungsmaschinen, bei denen rasch umlaufende Hämmer auf das aufzugebene Zerkleinerungsgut (Blöcke) eine schlagende Wirkung ausüben. Die Hämmer *c* sind entweder mittels Schlagarmen *b* fest mit der Welle *a* bzw. *a*₁ verbunden (Abb. 971) oder gelenkig mit den Schlagarmen verbolzt (Abb. 972). Beiden ist gemeinsam, daß die Hämmer zwischen den Stäben des Gitterrostes *d* in den Aufgabetrichter *e* eintreten und hier das aufzugebene Gut in Stücke zerschlagen, deren Größe durch die Spaltweite des Gitterrostes bedingt ist. Die weitere Zerkleinerung geschieht auf dem unterhalb der Hammerbahn befindlichen Austragrost *f*, so daß bei diesen Maschinen Gesteinsblöcke in einem Arbeitsgang bis zu Grus verarbeitet werden können. Bei dem „Titan“-Brecher der „Miag“-Mühlenbau und Industrie-Aktiengesellschaft, Braunschweig (Abb. 971), sind die Hämmer *c* auf Bolzen der Schlägerarme *b* aufgeschoben; zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit sind zwei Schlagtrommeln vorhanden. Die Welle ist vierkantig, um eine größere Kraft ausüben und den Zusammenbau leichter bewerkstelligen zu können als durch Keile. Der „Zet“-Brecher von G. Polysius, Dessau (Abb. 972), übt durch die pendelnd aufgehängten Schläger ununterbrochene Hammerschläge aus und wirkt dadurch ebenfalls weitgehend zerkleinernd. Weiteres s. Hammermühlen.

Hammermühlen (s. auch *Mühlen, Schlagmühlen, Zerkleinerungsmaschinen*) haben als Mahlmittel eine Reihe nebeneinander angeordneter Hämmer. Abb. 973 zeigt eine Bauart der Rhein. Eisengießerei u. Maschinenfabrik A.-G. in Mannheim. *a* sind

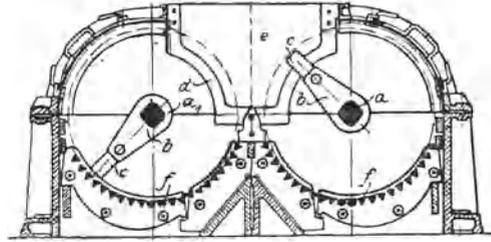


Abb. 971.
„Titan“-Brecher (Miag). (Nach Naske,
Zerkleinerungsvorrichtungen.)

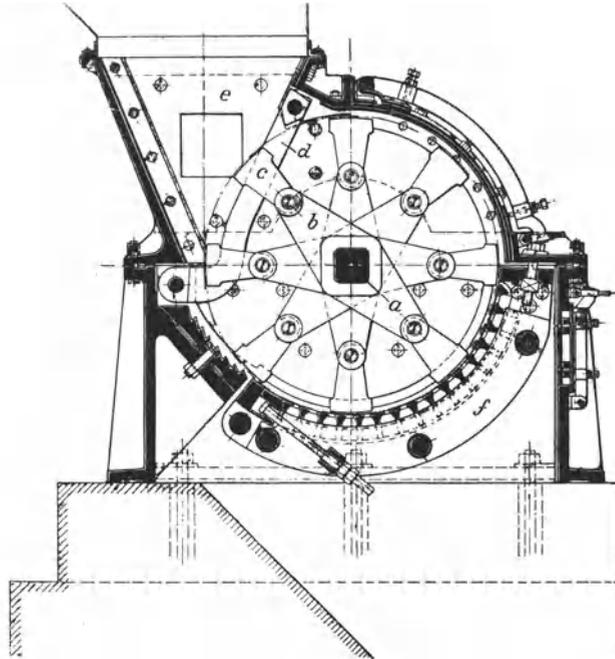


Abb. 972. „Zet“-Brecher (Polysius). (Nach Naske,
Zerkleinerungsvorrichtungen.)

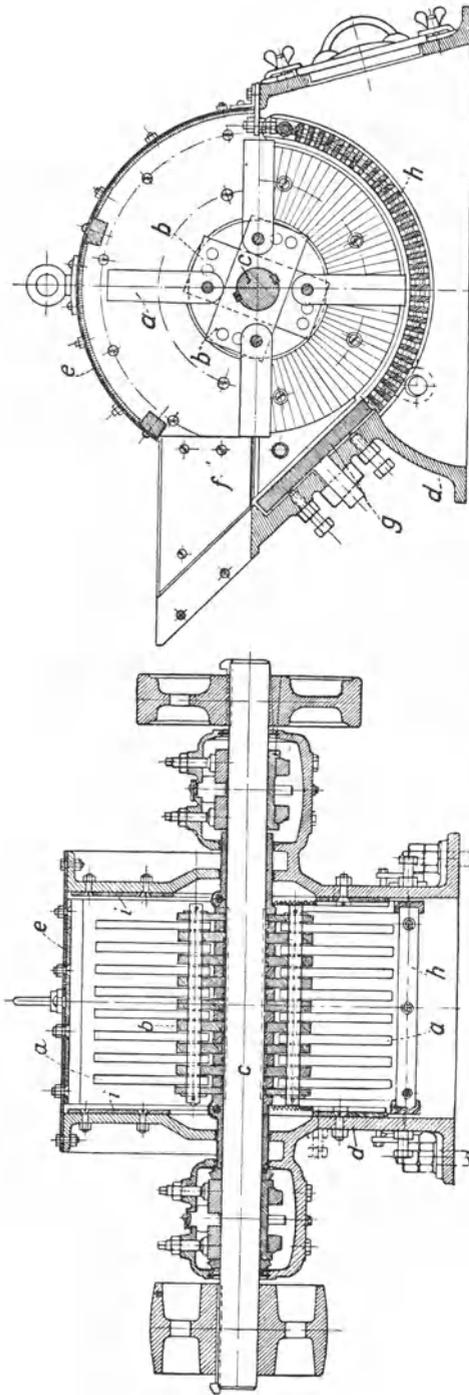


Abb. 973. Hammermühle (Rhein, Eisengießerei und Maschinenfabrik).

die Hämmer aus Spezialstahl, die zu je 4 in einem Schlagkreuz *b* eingehängt sind. Die Schlagkreuze sind auf einer stählernen Welle *c* aufgekeilt und rotieren mit dieser in einem Gehäuse *d* mit abnehmbarer Blechhaube *e* und Einlaufstutzen *f*, der mit einer Amboßplatte (Hammerplatte) *g* versehen ist. Hier findet die erste Zerkleinerung der bis zu kopfgroßen Aufgabestücke statt. Fortschreitend wird die Zerkleinerung feiner; die zerkleinerten Stücke fallen durch den aus kräftigen Stahlstäben gebildeten Rost *h*. Die Hämmer stellen sich beim Anlauf der Maschine infolge der Fliehkraft radial ein und können beim Auftreffen auf härteres Material, das sich beim ersten Schlag nicht zerkleinern läßt, ausweichen. Dies ist auch der Fall, wenn Eisenteile mit in die Mahlbahn gelangen, wodurch Beschädigungen der Maschine vermieden werden. Die Seitenwände sind innen mit geriffelten oder glatten Stahlschleißplatten (Panzerplatten) *i* besetzt, die auswechselbar sind und zum Schutze des Gehäuses gegen Beschädigungen und Abnutzung dienen. Die Hammermühlen eignen sich für gröbere und feinere Zerkleinerung von grobstückigen weichen bis mittelharten, trockenen Materialien, wie Rohkalkstein, Stückkalk, Sandstein, Salze, Schlacken, Knochen, Kunsthorn usw.

Eine Abart der Hammermühlen ist die Doppelhammermühle (Ideal-Memag-Mühle der Joseph Vögele A.-G., Mannheim, Abb. 974), die an Stelle der Schlagkreuze Scheiben mit pendelnden Stahlhämmern besitzt.

Sie wirkt ebenfalls durch Aufschlagen der Hämmer auf die Siebfläche, übt aber infolge der größeren Hämmerzahl eine intensivere Mahlwirkung aus und ermöglicht eine große Endfeinheit ohne besondere Nachsichtung.

Hanf, s. Textilien.

Hartblei, s. Blei-Antimon-Legierungen.

Hartgummi (Ebonit), höher vulkanisierter Kautschuk; s. Gummi.

Hartguß, s. Eisen-Kohlenstoff-Legierungen.

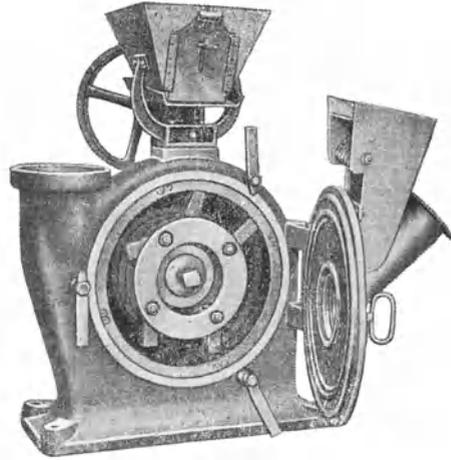


Abb. 974. Ideal-Memag-Mühle (Vögele).

Hartpapiere und verwandte

Erzeugnisse. Diese Produkte, die eine zunehmende Verwendung finden, werden durch Imprägnieren von Pappen u. dgl. mit Kunstharzen unter hohem Druck erhalten.

Von *G. Oehler* stammt eine interessante Studie über solche Hartpapiere, und es ist erstaunlich, welche Festigkeitswerte erreicht werden können. *Oehler* findet folgende Daten:

Wärmebeständigkeit: bis 170° .

Wärmeausdehnungskoeffizient: 0,000025 zwischen -10 und $+60^{\circ}$.

Brinellhärte: bis 45 (500 kg, 10 mm Kugeldurchmesser).

Elastizitätsmodul: 120000 kg/cm^2 .

Biegefestigkeit: etwa 2000 kg/cm^2 .

Druckfestigkeit: 3200 kg/cm^2 bei 20° .

Zugfestigkeit: 1700 kg/cm^2 bei -20° , 1500 kg/cm^2 bei $+20^{\circ}$, 1200 kg/cm^2 bei $+60^{\circ}$.

Wasseraufnahme beim Liegen unter Wasser: nach 24 Stunden 0,6 Proz., nach 6 Tagen 2,0 Proz.

Für Trolitax-Hartpapierplatten (Rhein. Westf. Sprengstoff A.-G., Troisdorf) werden die nachstehenden Werte angegeben:

Spezifisches Gewicht: 1,39.

Glutsicherheit (nach *Schramm*): Gütegrad III.

Wärmebeständigkeit (nach *Martens*): 161° .

Biegefestigkeit: 1800 kg/cm^2 .

Schlagbiegefestigkeit: 45 cmkg/cm^2 .

Zerreißfestigkeit: 1000 kg/cm^2 .

Innerer Widerstand: 1500 Megohm.

Oberflächenwiderstand: 100000 bis 1 Million Megohm.

Dielektrizitätskonstante und Verlustwinkel: $E = 5,6 \text{ tg } \delta = 0,11$.

Elektrische Durchschlagsfestigkeit: 40 kV/mm .

Hygroskopizität: an den Schnittkanten schwach hygroskopisch.

Besonders fest und zähe, in Wasser allerdings quellend, ist Vulkanfiber (aus ungeleimtem Baumwollpapier, das mit hochkonzentrierten Chlorzink-

lösungen unter Druck und Wärme behandelt wird; Chlorzink wieder ausgewaschen). Preßzell (*P. A.*, Chem. Apparatur 1917, S. 45), vermutlich mit Harzen stark gepreßter Zellstoff, behält seine Festigkeit selbst nach monatelangem Liegen in Wasser und nimmt dabei keine nennenswerten Wassermengen auf.

Für Pertinax (*F. L.*, Chem. Apparatur 1917, S. 63), ein mit Harzen getränktes reines Cellulosepapier, wird angegeben: Zugfestigkeit: 1000 kg/cm², Dichte: 1,3, Wärmebeständigkeit: bis 200°, Druckfestigkeit: das 3—4fache des Bleis.

Die Bearbeitbarkeit dieser Materialien ist durchweg gut.

Die Dimensionen, in denen Werkstücke aus Hartpapier, Vulkanfiber und Preßzell geliefert werden können, sind erheblich; Rohrstücke in Mannesgröße und etwa 1,40—1,50 m Durchmesser sind aus Hartpapier herstellbar.

Über Erzeugnisse aus Kunstharzen in Verbindung mit Geweben und mineralischen Füllstoffen s. Kunstharze.

Korrosion: Konzentrierte oxydierende Säuren und sehr konzentrierte Laugen greifen die Materialien an. Dagegen sind sie gegen verdünnte alkalische und saure Flüssigkeiten sehr widerstandsfähig. Preßzellstoff eignet sich als Rohrmaterial für verdünnte Säuren und saure Dämpfe. Vulkanfiber wird als Dichtungsmaterial für Flanschen und Autoklaven gerade bei der Handhabung korrosiver Substanzen häufig verwendet.

Lit.: *G. Oehler*, Z. VDI 1927, S. 545. — *M. Rudeloff*, Mitt. Kgl. Mat.-Prüf.-Amt Bd. 34, S. 61; ref. Chem. Zbl. 1919 II, S. 190. — *L. R. W. Allison*, Chem. metallurg. Engng. 1920, S. 1126. — *E. Rabald*, Werkstoffe u. Korrosion II (Leipzig 1931, Spamer). Ra.

Hartstoffe (Hartmetalle; s. auch Stellite, Keram. Werkstoffe [Abschn. 1]) sind Metallverbindungen und Metallegierungen, die sich durch ihre außergewöhnliche Härte (auch in der Wärme) auszeichnen. Sie finden Sonderanwendung bei der Bearbeitung von Werkstoffen (bes. von Glas) sowie für Mahlkugeln und Spritzdüsen. Am bekanntesten sind die Stellite (Kobaltlegierungen mit Wolfram, Molybdän usw.) und die auf der Basis von Wolframcarbid aufgebauten Erzeugnisse (z. B. Widia [wie Diamant] der Fried. Krupp A.-G., Essen).

Lit.: *G. J. Weissenberg*, Metallwirtsch. 1928, S. 1031. — *H. J. Long* u. *W. P. Eddy jr.*, Iron Age 1929, S. 1414. — *H. Alterthum*, Z. angew. Chem. 1929, S. 308. — *C. Agte*, Chem. Fabrik 1933, S. 5. — *A. S. M. E.*, Research Committee, Iron Age 1929, S. 1349. — *K. Becker*, Hochschmelzende Hartstoffe und ihre technische Anwendung (Berlin 1933/34, Verlag Chemie). — *F. Skaupy*, Metall-Keramik (Berlin 1930, Verlag Chemie). Ra.

Haspelspinnmaschinen, s. Kunstfasererzeuger.

Hauben, s. Abdampfschalen, Dunstabzüge.

Haveg, Havegit, s. Kunstharze.

Heber (*s. auch Dekantierapparate*). Eine gefüllte Rohrleitung kann eine Flüssigkeit aus einem offenen Gefäß ohne besondere Förderpumpe ansaugen und heben, wenn sich ein genügend langer, fallender Schenkel derart anschließt, daß die Strömung im Scheitelpunkt dieser Rohrleitung nicht abreißen kann

und der Druck dort nicht unter die Dampfspannung der Flüssigkeit sinkt. Hierzu muß zwischen der Oberfläche der abzufüllenden und der Oberfläche der abgefüllten Flüssigkeit oder der Austrittsöffnung des Hebers stets ein ausreichender Höhenunterschied vorhanden sein. Eine derartige als Heber bezeichnete Vorrichtung dient als Abfüllvorrichtung zum Entleeren von Behältern aller Art, insbesondere von ortsbeweglichen Gefäßen, wie Fässern, Korbflaschen und solchen Behältern, die man schlecht mit Hilfe eines Zapfhahns abfüllen kann. Voraussetzung für eine ausreichende Wirkung ist stets, daß der Heber vollgefüllt ist und daß der Schenkel, in dem die Flüssigkeit fällt, genügend lang ist, damit der Druck im Scheitelpunkt so weit sinken kann, wie es eine ausreichende Saugwirkung erfordert. Damit der Heber eine genügende Leistung aufweist, sollen die Strömungswiderstände möglichst gering sein. Die Schwierigkeiten der Anwendung bestehen darin, daß der Heber gefüllt sein muß, bevor er fördern kann. Das Ansaugen der Flüssigkeit mit dem Mund ist gefährlich, so daß Heber dieser Art möglichst nicht Verwendung finden sollten. Um den Heber in Betrieb zu setzen, hat man zahlreiche Bauarten entwickelt.

Bei den Heberbauarten, die mit einer besonderen Einrichtung zum Ansaugen oder Anfüllen des Hebers versehen sind, kann man unterscheiden:

1. Heber mit Saugvorrichtung,
2. Heber mit Druckvorrichtung,
3. Heber mit eingeschaltetem Zwischengefäß, das mit der abzuhebernden Flüssigkeit gefüllt wird und dadurch das Ingangsetzen einleitet,
4. Heber, bei denen zwei der unter 1—3 genannten Verfahren vereinigt sind.

Je nachdem, ob der Heber aus einem festen Rohr besteht oder ob elastische Teile, wie Gummischläuche, eingeschaltet sind, unterscheidet man starre oder unstarre Heberformen.

Um das Ansaugen bei den Kniehebern zu erleichtern, hat man beispielsweise an dem längeren Schenkel ein besonderes Saugrohr angebracht (vgl. *O. Kausch*, Chem. Apparatur 1920, S. 105), wie Abb. 975 mit einem Beispiel zeigt. Den längeren Schenkel kann man mit einem Hahn absperrern. Einige Bauarten sind an dem höchsten Punkt oder am Abflußschenkel mit einer Saugvorrichtung, beispielsweise einem Gummiball oder einer Pumpe, versehen, mit der die Flüssigkeit in den Steigschenkel gezogen werden kann. Ein einfacher Heber mit Saugkolben ist auf Abb. 976 dargestellt. Andere Heber sind statt mit einer Pumpe mit einer aus Gummi bestehenden Membran versehen.

Einen im DRP. 258341 (A.-G. für Anilinfabrikation) vorgeschlagenen Heber zum Abfüllen giftiger und ätzender Stoffe, der mit einer besonderen Luftansaugvorrichtung versehen ist, zeigt Abb. 977 (Chem. Apparatur 1920, S. 155). Die Ansaugvorrichtung *A* besteht aus zwei zylindrischen Gefäßen *a*, die das Rohr *b* miteinander verbindet. Sie ruht auf Doppelfüßen *g*, so daß man sie nach jedem Arbeitsgang leicht umdrehen kann. Die Behälter *a* sind mit Hähnen *c*, *d*, *e* und *f* versehen. Den jeweils oberen Hahn des oberen Gefäßes verbindet der Schlauch *h* über ein Schauglas *k* mit der höchsten Stelle des



Abb. 975.
Heber mit
Saugrohr.

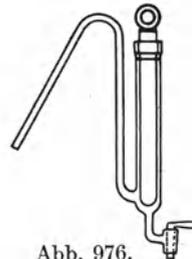


Abb. 976.
Heber mit
Saugkolben.

Hebers *c*, der mit seinem kürzeren Schenkel in das Gefäß *B* eintaucht. Öffnet man die Hähne *C*, *i* und *e*, so fließt das in dem oberen Gefäß *a* enthaltene Wasser durch Rohr *b* in das untere Gefäß ab. Die in *B* vorhandene Flüssigkeit tritt dabei in den kürzeren Heberschenkel und füllt dann den längeren Schenkel an. Ist die abzufüllende Flüssigkeit in das Schauglas *k* gestiegen, so schließt man den Hahn *C* und setzt den Heber durch Öffnen des Hahnes *l* in Tätigkeit. Die Hähne *C* und *e* werden dann geschlossen. Nach Umkehr der Vorrichtung verbindet man den Schlauch *h* mit dem Hahn *f*. Beim nächsten Arbeitsgang öffnet man die Hähne *f*, *i* und *d*.

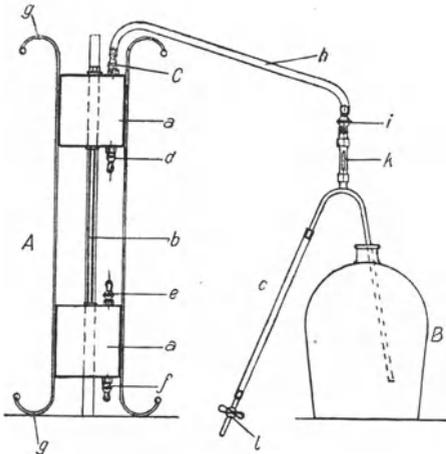


Abb. 977. Heber zum Abfüllen giftiger und ätzender Stoffe mit Luftansaugvorrichtung.

Ein zuverlässiges Gerät ist der auf den Abb. 978 und 979 dargestellte Monopolheber (Karl Klemm, Dresden-Coschütz), der mit einer selbsttätigen Ansaugvorrichtung versehen ist (Chem. Apparatur 1930, S. 150). Diese besteht aus einer Weichgummikappe, die an einer trichterartigen Erweiterung befestigt ist. Zum Ansaugen drückt man die Gummikappe ein, schließt den am Auslauf des Hebers angebrachten Hahn und erzeugt durch Herausziehen der Gummikappe eine Luftleere, so daß die Flüssigkeit in den Abflussschenkel des Hebers überströmt, wie es die Abb. 980 und 981 veranschaulichen. Durch Öffnung des Hahnes kann dann der Heber in Tätigkeit gesetzt werden. Durch Verstellen des Hahnes kann man den Ablauf beliebig regeln oder sperren. Abb. 978 zeigt einen Heber mit Hartgummiarmatur, der sich für alle Säuren und Laugen eignet. Abb. 979 stellt einen Heber in Hartbleiausführung dar, der besonders zum Abfüllen von Schwefel-

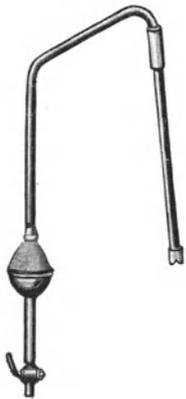


Abb. 978. Heber mit Hartgummiarmatur.

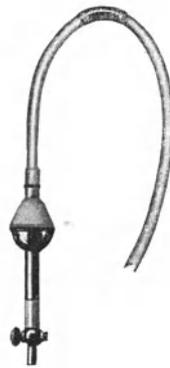


Abb. 979. Heber aus Hartblei.

säure dienen soll. Das Knie dieses Hebers wird mit einem Gummischutz versehen, der die Einlauföffnung der Gefäße und den Heber selbst vor Beschädigung schützt. Derartige Heber werden für Leistungen bis zu 120 l/min gebaut.

Einen einfachen Heber, der mit einer Druckvorrichtung in Tätigkeit gesetzt wird, zeigt Abb. 982. Dadurch, daß man den mit einer Glocke versehenen Schenkel genügend tief in die abzuhebende Flüssigkeit eintaucht, wird diese hochgedrückt, bis sie in den fallenden Schenkel überläuft. Der auf Abb. 983



Abb. 980.
Einleitend
der Ansaug-
wirkung
durch Ein-
drücken.

dargestellte Heber wird durch Anblasen eines kleinen Strahlverdichters in Betrieb gesetzt. Der Heber nach Abb. 984 besitzt ein besonderes Druckgefäß, das unten mit einer Öffnung versehen ist, über der eine Ventilkugel liegt. Oben wird das Gefäß durch einen Stopfen verschlossen, durch den der Einlaufschenkel des Hebers und ein Luftrohr einmünden. Die Ventilkugel schließt das Druckgefäß ab, wenn die Flüssigkeit zur Inbetriebsetzung des Hebers in den Einlaufschenkel gedrückt wird. (Siehe auch *F. Hildebrandt*, Chem.-Ztg. 1932, S. 511.)



Abb. 981.
Ansaugen
durch
Herausziehen.

Andere Bauarten verwenden einen Teil der abzufüllenden Flüssigkeit zur Erzeugung der zum Ansaugen notwendigen Luftleere. Die einfachste Ausführungsform eines Hebers mit einem Zwischengefäß, das zur Inbetriebsetzung mit der abzuhebenden Flüssigkeit gefüllt wird, zeigt Abb. 985. Der im DRP. 312641 beschriebene Heber (Chemische Fabrik Kalk G. m. b. H., Köln), den Abb. 986 darstellt (Chem. Apparatur 1920, S. 170), besteht aus einem gewöhnlichen Schuhheber *a*, der mit einem Behälter *b* durch den Heber *c* und das Entlüftungsrohr *d* verbunden ist. Ein Füllrohr *f*, dessen tiefste Stelle unterhalb des Heberschuhes *g* liegen muß, um einen besonderen Verschuß zu vermeiden, mündet in das Gefäß *b*, das mit einem Entlüftungsrohr *e* versehen ist. Zur Inbetriebsetzung bringt man den Schenkel mit dem Schuh *g* in das ab-

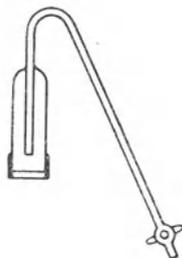


Abb. 982. Heber mit
Druckvorrichtung.

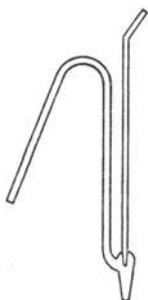


Abb. 983. Heber mit
Strahlverdichter.

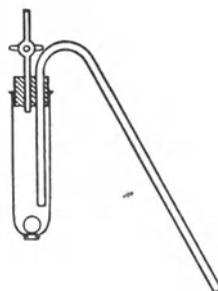


Abb. 984. Heber mit
Druckgefäß.

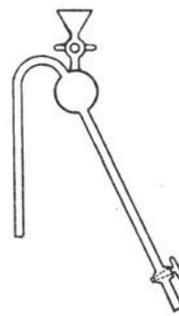


Abb. 985. Heber mit
Zwischengefäß.

zufüllende Gefäß ein und füllt dann das Gefäß *b* durch das Rohr *f* mit Flüssigkeit, bis das Rohr *c* auszufließen beginnt. In diesem Augenblick wird *e* durch einen Stopfen oder selbsttätig durch einen Flüssigkeitsverschluß abgesperrt. Beginnt der Heber *c* zu laufen, dann füllt er den freien Schenkel des Hebers *a* mit Flüssigkeit. Gleichzeitig entsteht in dem Gefäß *b* eine Druckverminderung, die das Hochsaugen der Flüssigkeit in dem eingetauchten Schenkel verursacht. In der auf der rechten Abbildung dargestellten Ausführungsform ist *f* durch ein mit einem Hahn ausgestattetes Trichterrohr *i* ersetzt. An Stelle des Rohres *e* ist eine Entlüftungsleitung *l* mit Flüssigkeitsverschluß

m angeordnet. Zur Inbetriebsetzung füllt man den Schuh *g* mit Flüssigkeit, schließt den Hahn in dem Heberrohr *k*, stellt den Flüssigkeitsverschluß *m* her und füllt durch *i* den Behälter *b*. Entweicht keine Luft mehr aus dem Rohr *l*, wird der Hahn in *i* geschlossen und in *k* geöffnet, worauf der Heber in Tätigkeit tritt.

Einen Heber, der ohne Hahn in Betrieb gesetzt werden kann, zeigen die Abb. 987 und 988 (DRP. 479596, Accumulatoren-Fabrik A.-G., Berlin). Das Ausflußrohr ist mit *a*, das Steigrohr mit *b* bezeichnet. Am unteren Ende befindet sich die im Verhältnis zum Rohrquerschnitt kleine Öffnung *c*. Ein

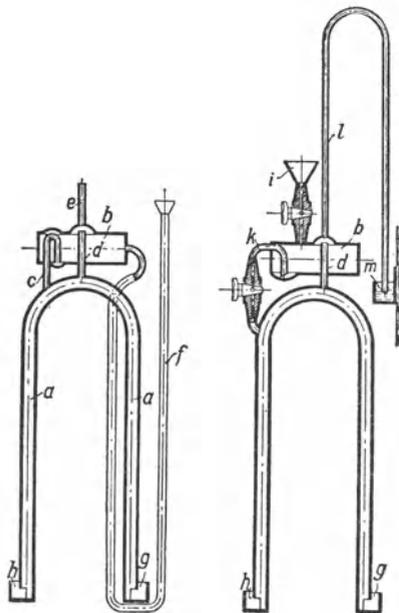


Abb. 986. Schuhheber mit Füllbehälter.

Hilfsrohr *d* trägt oben einen Gummiball *e*, dessen Rauminhalt wesentlich größer ist als der Gesamtinhalt sämtlicher Röhren. Nachdem das Steigrohr in üblicher Weise in das zu entleerende Gefäß eingesetzt ist, drückt man den Ball *e* zusammen und läßt ihn wieder los, wodurch er sich mit Flüssigkeit füllt. Hierauf wird er nochmals schnell und kräftig gedrückt. Ein kleiner Teil der ihm hierbei entströmenden Flüssigkeit entweicht durch die Öffnung *c*, der übrige Teil strömt in dem Steigrohr hoch und gelangt in das Ausflußrohr *a*, worauf der Heber dauernd durch die Öffnung *c* ansaugt. Durch das Loslassen des Balles wird das weitere Saugen nicht verhindert. Bei der auf Abb. 988 dargestellten Ausführungsform erhält die in das Hilfsrohr gedrückte Flüssigkeit infolge der Gestaltung der Öffnung *c* zur Verminderung des Ausfließens eine starke Richtungsänderung. Die Öffnung *c* kann daher bei dieser Ausführung den gleichen Querschnitt haben wie das Hilfsrohr.

Nach einem Vorschlag von *Christiansen* (DRP. 59245) ist der untere Teil des in die Flüssigkeit eintauchenden Heberrohres mit einer dicht schließenden Klappe versehen, die sich öffnet und Flüssigkeit durchtreten läßt, sobald der Heber in die Flüssigkeit niedergestoßen wird, und sich schließt, sobald man den Heber hochführt. Durch wiederholtes Auf- und Niederstoßen füllt sich der mit der Klappe versehene Schenkel.

Die Schenkelheber geben in einfacher Weise die Möglichkeit, eine Flüssigkeit aus einer bestimmten Tiefe aus einem Behälter zu entnehmen, indem man den Heber in seiner Höhenlage verstellt oder einen Schenkel beweglich anordnet. Von dieser Ausführungsart macht man beispielsweise an Dekantierapparaten (s. d.) und ähnlichen Apparaten, in denen sich feste Stoffe absetzen sollen, Gebrauch, um die geklärte Flüssigkeit ununterbrochen in einer bestimmten Beschaffenheit aus dem Behälter entnehmen zu können.

Soll nur eine begrenzte Flüssigkeitsmenge abgefüllt werden, so benutzt man die sog. Stechheber oder Saugröhren. Sie bestehen aus einem Glasrohr,

das in der Mitte oder an seinem oberen Ende zur Aufnahme der abzuhebenden Flüssigkeit gefäßartig erweitert ist. Nach Eintauchen des unteren Endes in die Flüssigkeit füllt man den Heber durch Ansaugen am oberen Ende. Vor dem Herausziehen verschließt man das obere Ende durch Aufsetzen des Daumens oder eines Stopfens. Zur Entleerung hat man lediglich die obere Öffnung freizugeben.

Auch die Stechheber hat man durch zahlreiche Erfindungen zu verbessern gesucht, die jedoch meist ein erhebliches Anwendungsgebiet nicht gefunden haben. — Um zu vermeiden, daß beim Ansaugen Flüssigkeit in den Mund gelangt und um das Zurückströmen von Flüssigkeit nach Beendigung des Ansaugens zu verhüten, kann man das Steigrohr in den Behälter hineinragen lassen, statt es unten in der üblichen Weise in den mit dem Saugrohr versehenen Behälter einmünden zu lassen. Bei dieser Bauart bleibt die angesaugte Flüssigkeit in dem Behälter, auch wenn das Saugen unterbrochen wird.

Stechheber verwendet man sehr viel als Probenehmer.

Als Heber bezeichnet man bisweilen auch Druckgefäße zur Förderung von Flüssigkeiten mit Preßluft oder Dampf (Druckautomaten [s. d.], Druckbirnen). (Siehe auch Keram. Werkstoffe, Abschn. 4.) Sie bestehen aus einem druckfesten Gefäß, in das das Steigrohr so eingeführt ist, daß seine Mündung dicht über dem Gefäßboden liegt. Nach Füllung des Gefäßes wird die Zulaufleitung abgesperrt und Preßluft oder Dampf eingeleitet, so daß die Flüssigkeit durch das Steigrohr hochgedrückt wird. Man verwendet Dampf vorwiegend zum Heben von heißen Flüssigkeiten, Preßluft allgemein für Flüssigkeiten. Sind die Fördermengen verhältnismäßig gering, so steuert man den Zulauf der Flüssigkeit und die Zuleitung der Preßluft oder des Dampfes durch Verstellen von Hähnen oder Ventilen von Hand. Zur Hebung größerer Flüssigkeitsmengen verwendet man selbsttätig arbeitende Apparate, die man meist als Pulsometer (s. d.) bezeichnet. Zur Rückförderung von Kondenswasser aus Heizkammern von Apparaten in die Dampfkessel, aber auch zur Hebung von verschiedenen Flüssigkeiten in andere Apparate dienen die sog. Rückleiter (s. d.).

Lit.: *O. Kausch*, Heber zum Um- bzw. Abfüllen von Säuren, Laugen usw. (Chem. Apparatur 1920, S. 105, 153, 169). — *F. Hildebrandt*, Vom einfachen Winkelheber zum automatischen Heber (Chem.-Ztg. 1932, S. 489, 511).

Thormann.

Heißdampfkühler. Überhitzter Wasserdampf ist zur Verwendung als Heizdampf in vielen Fällen weniger geeignet als Sattedampf, weil die Wärmeübergangszahl für überhitzten Dampf unter bestimmten Umständen geringer ist als die für Sattedampf und die Heißdampftemperaturen oft schwanken, so daß ihre Nachregelung notwendig wird. Da in manchen Fällen überhitzter Dampf zu Heizzwecken verwendet werden muß, ist es vorteilhaft, diesen mit Heißdampfkühlern in den gewünschten Zustand zu überführen, und zwar durch Zuführung einer der überschüssigen Überhitzungswärme entsprechenden Wassermenge zum Dampf. Ganz besonders wichtig ist auch die

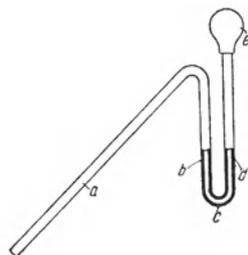


Abb. 987.
Heber mit Hilfsrohr.



Abb. 988.
Unterer Teil eines Heberröhrenapparats mit Hilfsrohr.

Einhaltung einer bestimmten Überhitzungstemperatur bei der Krafterzeugung. Man unterscheidet Einspritzkühler, Oberflächenkühler und Durchflußkühler. — Das Einspritzen von Wasser in den Dampf allein mit Hilfe eines Einspritzkühlers genügt nicht, man muß vielmehr den Dampf wiederholt und längere Zeit mit den Wassertröpfchen in Berührung halten, um die Überhitzungswärme abzuführen. Eine derartige Vorrichtung zum Umformen von überhitztem Dampf in Sattedampf (nach *Spuhr*) zeigt Abb. 989.

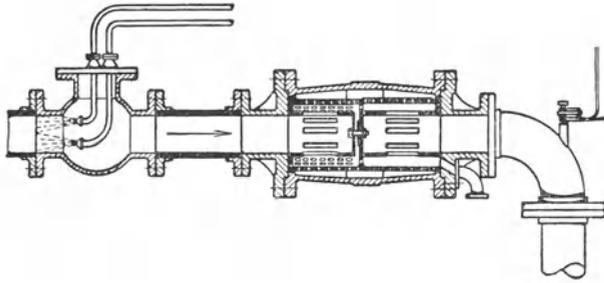


Abb. 989. Heißdampfkühler (*Spuhr*).

Das Wasser wird durch Düsen eingespritzt und durch gelochte Zylinder mit dem Dampf durch wiederholte Umlenkung in innige Berührung gebracht. Da die Betriebsverhältnisse oftmals schwanken,

so werden solche Heißdampfkühler regelbar eingerichtet, indem man nur einen Teil des Wassers gleichmäßig zufließen läßt und den Rest in Abhängigkeit von der Temperatur des zu kühlenden Dampfes durch eine selbsttätige Regelvorrichtung verändert. Neben den Verteilvorrichtungen für den Dampf sind bei diesen Heißdampfkühlern noch Einrichtungen notwendig, um im Überschuß eingeführtes Einspritzwasser abzuleiten, damit dieses nicht bis an die Verbrauchsstellen mitgerissen wird.

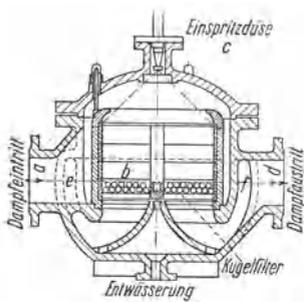


Abb. 990. Heißdampfkühler mit Kugelfilter (*Bayer*).

Einen Heißdampfkühler (nach *Bayer*) zeigt Abb. 990. Der Heißdampf tritt bei *a* ein und strömt durch *b*, das die Einspritzdüse *c* anfeuchtet, so daß die überschüssige Überhitzungswärme abgeführt wird. Der Dampf tritt bei *d* aus. Um Druckverlust infolge Dampfumlenkung vor und hinter dem Filter zu beseitigen, kann die Kugelfilterfläche *e—f* statt waagrecht auch senkrecht gestellt werden, so daß ein Apparat mit geradem Durchgang entsteht. Derartige Heißdampfkühler mit Filterschichten arbeiten mit geringem Wasserüberschuß, haben dafür aber einen etwas größeren Druckverlust.

— Einen Heißdampfkühler, Bauart *Seiffert*, zeigt Abb. 991. Das Wasser wird aus einem gelochten Rohr gegen ein Prellblech gespritzt und fließt dann über eine Anzahl von Siebböden, durch die der Dampf geführt wird. Am Dampfaustritt ist ein Temperaturrelais angeordnet, das den Flüssigkeitszulauf beeinflusst.

Einspritzkühler sind durch geringe Trägheit bei der Temperaturregelung gekennzeichnet, so daß sie plötzlichen Temperaturänderungen schnell nachkommen können. Einspritzkühler sind besonders dann geeignet, wenn große Dampfmen gen um große Temperaturunterschiede abzukühlen sind.

Die Oberflächenkühler führen den Wärmeüberschuß in einem Wärmeaustauscher, der aus geraden oder U-förmig gebogenen Rohren besteht, an Kühlwasser ab, das sich dabei lediglich erwärmt oder auch verdampft. Die gewünschte Heißdampftemperatur wird mit Hilfe einer Umführung oder durch Verändern der Kühlfläche durch Heben oder Senken des Wasserspiegels geregelt. Verdampfende Kühler arbeiten auch mit veränderlichem Druck, wobei sich die Siedetemperatur des Kühlwassers entsprechend verändert. Die Oberflächenkühler haben den Vorteil, daß sich der zu regelnde Dampf nicht verunreinigen kann.

In den Durchflußkühlern läßt man einen Teil des überhitzten Dampfs mit Hilfe einer Abzweigung unmittelbar durch siedendes Wasser treten. Dabei kühlt sich der Dampf nahezu auf Siedetemperatur ab. Ein Drosselventil in der Umführungsleitung regelt die abgezweigte Dampfmenge und damit die gewünschte Überhitzungstemperatur. Man kann die Temperatur auch durch Heben oder Senken des Wasserspiegels regeln. Den Wärmeaustausch in der zu durchdringenden Wasserschicht kann man durch den Einbau von Füllkörpern verbessern.

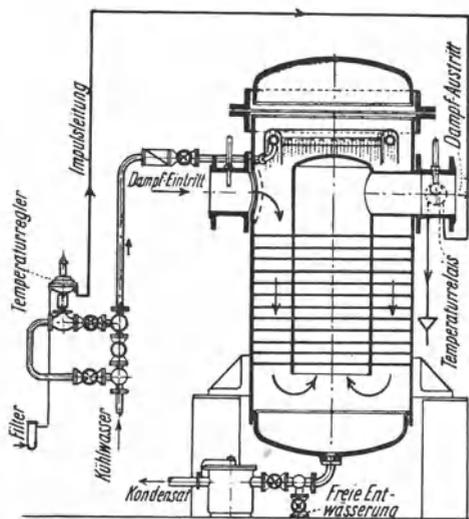


Abb. 991. Heißdampfkühler mit Siebböden (Seiffert).

Für das Gebiet des Deutschen Reichs gelten für Heißdampfkühler besondere Richtlinien, die vom Reichsarbeitsminister erlassen wurden. S. auch Dampffässer.

Lit.: *E. Belani*, Die Heißdampf-Temperatur-Regelung in chemischen Großbetrieben (Chem. Apparatur 1928, S. 115). — *A. Sauermann*, Die Dampfumformung (Wärme 1926, S. 581). — *F. Lichte*, Die Umformung des Heißdampfes in Sattedampf (Wärme- u. Kälte-Techn. 1927, S. 137). — *W. Deinlein*, Heißdampfkühler (Z. bayer. Revis.-Ver. 1928, S. 173). — *B. Müller*, Die Heißdampfkühlung und ihre Apparate (Wärme 1932, S. 331). — *P. W. Thompson*, Compensating Superheater (Power 1932, S. 620). — *D. Rudorff*, Temperaturregelung an Überhitzern (Arch. Wärmewirtsch. 1933, S. 121). — *A. Konejung*, Verfahren zur Regelung der Überhitzungstemperatur (Z. VDI 1936, S. 501).

Heißwasserheizungen, s. Beheizungsapparaturen.

Th.

Heizkörper, s. Beheizungsapparaturen, Verdampfer.

Heizrohrkessel, s. Dampfkessel.

Heizschlangen, s. Beheizungsapparaturen, Verdampfer.

Heizvorrichtungen, s. Behälter, Beheizungsapparaturen, Feuerungsanlagen, Öfen, Verdampfer.

Helme, s. Dampfdome.

Herde, s. Naßklassierer.

Hohlkörper. Die Erkenntnis, daß zahlreiche Stoffumsetzungen bei höheren Drücken und Temperaturen günstiger verlaufen, ergab die Notwendigkeit, statt der früher allein üblichen gegossenen oder aus einzelnen Blechen mit Nähten zusammengesetzten Gefäße starkwandige, nahtlose Stahlhohlkörper in den Apparatebau einzuführen (s. auch Autoklaven, Gasreaktionsapparate). Die Drucksteigerungen erforderten immer stärkere Wandungen. Über eine bestimmte Blechstärke hinaus ergibt die Nietung ungünstige Konstruktionen, und über einer bestimmten Grenze ist sie überhaupt nicht mehr ausführbar. Man war daher gezwungen, die Mäntel derartiger Apparate ohne Naht aus einem Stück oder mit Nähten durch besondere Schweißverfahren auszuführen, wenn die Werkstoffe eine Schweißung zuließen. Die Böden derartiger Hohlkörper werden mit Flanschen angeschraubt, oder sie werden mit dem Hohlkörper aus einem Stück durch Ankümpeln gebildet. Das Ankümpeln der Böden, etwa in der auf Abb. 992 dargestellten Bauweise (Chem. Apparatur 1927, S. 19), wo ein Hohlkörper für 35 at Druck aus Nickelstahl mit einem Schmiedegewicht von 50 t dargestellt ist, wird im allgemeinen gegenüber anderen Bodenbauarten und Verschlüssen vorzuziehen sein (s. auch Böden). Es ist jedoch nicht möglich, wenn der Hohlkörper größere Einbauten, beispielsweise Wärmeaustauschvorrichtungen, Futterrohre, Katalysatoranordnungen usw. aufnehmen soll.

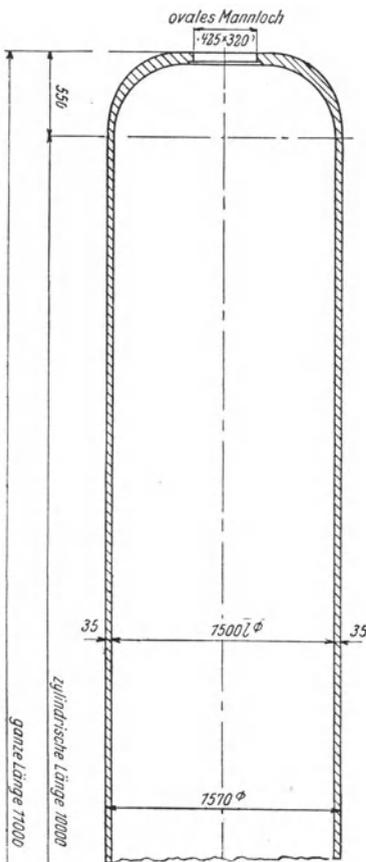


Abb. 992. Nahtlos geschmiedeter und beiderseits gekümpelter Kessel aus 3proz. Nickelstahl für 35 at Betriebsdruck, Schmiedegewicht ca. 50 000 kg.

Für die höchsten Drücke bevorzugt man geschmiedete Hohlkörper. Ferner müssen alle schwer schweißbaren Werkstoffe, insbesondere hochwertige, legierte Stähle, ihre endgültige Form durch Schmieden erhalten. Hierzu bohrt man den Stahlblock in der Mitte aus, nimmt ihn nach der Erhitzung auf einen Dorn und formt ihn in der Schmiedepresse aus. Das Herstellungsverfahren erfordert eine bestimmte Mindestwandstärke, die oft erheblich größer ist als die Wandstärke, die sich aus der Beanspruchung durch den Innendruck errechnen läßt. Um die Bearbeitungskosten durch spanabhebende Werkzeuge zu verringern, ist die endgültige Wandstärke der aus Herstellungsrücksichten erforderlichen Dicke anzugleichen.

Kleinere nahtlose Hohlkörper bis etwa 900 mm l. W. und etwa 7 m Länge kann man nach dem *Ehrhardtschen* Preß- und Ziehverfahren herstellen. Dabei wird der in einer runden Matrize vorgepreßte Block bei heller Rotglut auf einem Dorn durch ein entsprechendes Formstück oder mehrere hintereinander liegende Ziehringe gezogen, so daß ein Hohlkörper entsteht. Der Boden des Hohlkörpers bleibt dabei erhalten.

Kurze Hohlkörper mit verhältnismäßig großem Durchmesser stellt man auch durch Lochen des Blocks und Aufwalzen auf der ganzen Breite her. Derartige Zylinder, die man etwa bis zu 3 m Länge und bis zu 2,5 m Durchmesser anfertigt, kann man durch Schmelzschweißung verbinden und mit Böden versehen, um große Druckgefäße zu erhalten.

Längere nahtlose Hohlkörper kann man durch Walzen nach dem *Roeckner-*Verfahren erzeugen, bei dem mehrere Paare von kurzen Walzen den Zylinder in einem Kreisquerschnitt gleichmäßig strecken. Der Hohlkörper erhält bereits beim Walzen die Sollwandstärke, so daß eine Bearbeitung mit spanabhebenden Werkzeugen nicht mehr erforderlich ist. Der beim Walzen erzeugte Faser- verlauf wird also durch die Weiterbearbeitung nicht gestört.

Die Herstellungsmöglichkeit durch Schweißen ist an die Eigenschaften des Werkstoffs und die Besonderheiten des Schweißverfahrens gebunden. Teilweise gelingt es, auch legierte und harte Stähle durch Schweißung zu vereinigen. Diese Werkstoffe bieten den Vorteil, daß die Gewichte der Apparate geringer werden, daß sich Rohre fester in die Wandungen einwalzen lassen, daß die Gefahren von Alterungs- und Rekrystallisationserscheinungen geringer sind und daß sie auch bei höheren Temperaturen günstige Festigkeitseigenschaften besitzen.

Bei der Wassergasschweißung von dickwandigen Hohlkörpern sieht man meist zwei Längsnähte vor. Die erhitzten Blechkanten bringt man durch Hämmern oder durch Rollen zusammen. Auch bei diesem Verfahren kann man die Böden durch Zukümpeln des geschweißten Zylinders herstellen. Dabei nimmt die Bodenwandstärke durch den Stauchvorgang nach der Mitte hin zu, was für die Festigkeit der Trommel günstig ist. Durch das Kümpeln dürfen auf der Innenseite keine Falten entstehen. Wassergasgeschweißte Hohlkörper stellt man mit Wandstärken bis zu etwa 70 mm her. Nach der Schweißung müssen die Stücke ausgeglüht werden, damit man ein gleichmäßiges Gefüge erhält und die Spannungen im Werkstoff beseitigt werden.

Neben der Wassergasschweißung hat sich für die Herstellung dickwandiger Hohlkörper auch die Elektroschweißung eingeführt. Das Schweißgut in der Naht muß dabei angenähert die gleichen Festigkeitseigenschaften haben wie der Mantelwerkstoff. Um diese Forderung zu erreichen, hat man zahlreiche Sonderschweißverfahren entwickelt, auf die hier nicht näher eingegangen sei.

Über die Berechnung zylindrischer Hohlkörper s. Dampffässer. Th.

Holländer. Zum Auflösen und Vermischen von Stoffen, die aus Fasern bestehen (Lumpen, Zellstoff, Altpapier, Holzstoff), auch zum Waschen und Bleichen von Faserstoffen benutzt man sog. Holländer, die in der Regel absatzweise betrieben werden. Der Holländer besteht gewöhnlich aus einem Trog aus Eisenbeton, Stahl oder Holz, in dessen Mitte eine Scheidewand derart eingesetzt ist, daß sich ein Kanal von rechteckigem Querschnitt ergibt,

in dem sich der zu verarbeitende Stoff mit Wasser verdünnt im Kreislauf bewegt. Die Holländer haben eine längliche Form mit Rundungen an den Enden. In einem der beiden Kanäle läuft die sich schnell drehende Holländerwalze in Lagern, die in der Höhe verstellbar eingerichtet sind. Sie ist mit Metall- oder Stahlmessern regelmäßig besetzt, die den Stoff zerfasern und gleichzeitig im Trog bewegen. Unter der Walze befindet sich fest im Trog angebracht das Grundwerk, das in ähnlicher Weise aus einer Reihe paralleler Messer besteht. Auf eine Trommel mit 32—72 Messern kommen etwa

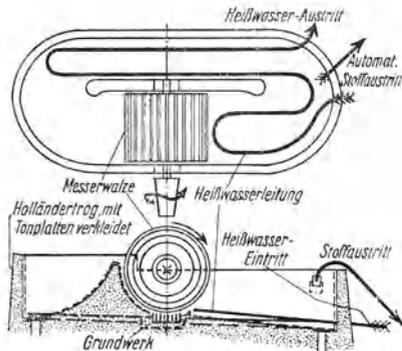


Abb. 993. Holländer-Charakteristik.

Inhalt bis Rand gefüllt: 3000 l, bis Arbeitsmarke: 2800 l; Trogmaße L · B · H in mm: 4150 · 1720 · 690; Troghöhe bis Wellenmitte: 850; Sohlengefälle (siehe Abb.): 1:5 bis 1:12,5; Walzenmaße $\varnothing \cdot B$: 1000 · 900; Bemessung: 2 · 18 Messer von 900 · 260 · 8/3 mm; Grundwerksbemessung: 6 Messer von 850 · 260 · 8/3 mm; Umlaufzahl: durch Konussscheibe verstellbar von 100 bis 360; Kraftbedarf: bei Leerlauf 1,65 PS; Öl-wärmeleitung: 3" innerer \varnothing der Heizschlange; Heißwasser, durch Umlaufpumpe von Niederdruckkessel aus umgetrieben; Schnittlänge je m^3 Inhalt nach Formel $L_s = (m_g \cdot m_w \cdot B \cdot n) : V = 6904$ bis 19830¹⁾.

¹⁾ m_g und m_w Messerzahl in Grundwerk und Walze, B Walzenbreite in m, n Umdrehungszahl/min, V Troginhalt in m^3 .

eine gute Stoffzuführung zu dem über der Bodenebene des Trogs gelagerten Grundwerk erhält. Hinter dem Grundwerk ist der Trogboden oft noch ein Stück dicht an der Walze hochgezogen, um eine gute Stoffabführung zu erhalten. Bisweilen wird vor der Walze eine Vertiefung angeordnet, um schwere Stoffe, wie Sand, Metallteile, Steine usw., nicht zwischen die Messer gelangen zu lassen. Zum Ablassen des Stoffs dient ein Bodenventil. Um den Boden leicht durch Abspülen reinigen zu können, hat dieser zweckmäßig eine geringe Neigung zum Bodenventil. Um das Abschleudern des Stoffs nach außen zu verhindern, ist die Walze mit einer Haube bedeckt.

Der auf Abb. 993 als Beispiel dargestellte Holländer dient zum Aufschließen ölhaltiger Saaten, um das in Pflanzenzellen enthaltene Öl in Tropfenform unmittelbar zu gewinnen (vgl. *F. W. Freise*, Chem. Apparatur 1933, S. 125). Mit Rücksicht auf diesen Zweck ist der Holländer mit einer Öl-wärme-einrichtung versehen, die aus einer am Boden des Holländers angebrachten

7—14 Gegenmessern im Grundwerk. Hieraus erklärt sich die gute Zerfaserungswirkung eines Holländers, da man bei 60 Walzenmessern, 10 Grundmessern und 160 Walzumdrehungen/min 1600 Schnitte/sek erhält. Die mechanische Arbeit, die dabei verbraucht wird, wandelt sich zum größten Teil in Wärme um, so daß sich der Troginhalt dabei stark erwärmt. Entsprechend ist auch der Kraftbedarf hoch. Er beträgt bei einer Walze von 1400 mm Durchmesser mit 60 Messern in der Walze und 12 Messern im Grundwerk bei 120 Umdrehungen je nach der Art des Mahlens und der Stoffdichte etwa 25—80 PS.

Will man mehr eine schneidende Wirkung erzielen, so arbeitet man mit großem Walzendruck, stark verdünntem Stoff und scharfen Messern. Soll eine spaltende und reiße Wirkung erzielt werden, so ist ein geringer Wasserzusatz und ein allmähliches Nachstellen der Walzen erforderlich.

Der Boden des Holländers steigt meist vor der Walze etwas an, wobei man

Heizschlange besteht. Der Abstand zwischen Walze und Grundwerk wird je nach Größe und Anordnung der Ölzellen eingestellt, was man durch Vorversuche ermitteln muß. Der Mahlvorgang darf nicht unnötig weit getrieben werden, weil hierdurch die nachfolgende Filterung des Öls erschwert wird. Abb. 994 und 995 zeigen die Messerwalze und das Grundwerk dieses Holländers mit den notwendigen Erklärungen.

Der guten Mischwirkung wegen benutzt man Holländer häufig zum Bleichen oder Färben von Stoffen, insbesondere auch von faserhaltigem Gut. In solchen Fällen dient der Holländer dazu, der gesamten Masse des Troginhaltes eine gleichmäßige Beschaffenheit zu geben. Dadurch, daß die Walze das Gut auf der ganzen Breite der Trogbahn gleichmäßig vorschiebt, die einzelnen Stoffteilchen aber bei einem Umlauf je nachdem, ob sie sich mehr nach außen am Trogrand, oder auf der inneren Seite, also an der mittleren Querwand, bewegen, verschiedene lange Wegstrecken zurückzulegen haben, verschieben sich diese allmählich gegeneinander in der Bewegungsrichtung. Durch Drehung der Walze werden gleichzeitig die oben und unten im Stoffstrom befindlichen Teilchen ständig zusammen- oder auseinandergebracht. Durch das wiederholte Umlaufen wird also die gesamte Stoffmasse allmählich gleichmäßig durchmischt, so daß sie eine einheitliche Beschaffenheit annimmt, was besonders beim Färben oder Bleichen im Holländer von Wichtigkeit ist. Soll das Gut lediglich mit einer Flüssigkeit gewaschen werden, so versieht man die Holländer bisweilen statt mit der Walze mit gabelartigen Bewegungsvorrichtungen, die den Umlauf des Gutes besorgen.

S. auch Bronzen, S. 108.

Lit.: *F. Müller*, Die Papierfabrikation und deren Maschinen (Biberach a. Riss 1933, Güntter-Staib Verlag).

Th.

Holz (*s. auch Bottiche*). Die Holzsubstanz enthält im lufttrockenen Zustande etwa 50 Proz. Cellulose, den Rest bilden außer Wasser zuckerartige Kohlehydrate, Lignin und sehr geringe Mengen anorganischer Substanzen, die sich bei der Verbrennung in der etwa 0,5 Proz. betragenden Aschenmenge finden. Die Menge Wasser ist wechselnd und hängt von dem Wassergehalt des umgebenden Mediums ab; waldfrisches Holz enthält 40—50 Proz., waldtrockenes 20 Proz. und lufttrockenes 8—10 Proz. Der Wassergehalt ist von größter Bedeutung für das Verhalten des Holzes. Sein Wasserdampf sucht sich mit dem der Umgebung in das Gleichgewicht zu setzen. Das Holz erleidet dadurch fortwährende Volumenveränderungen durch Quellung oder

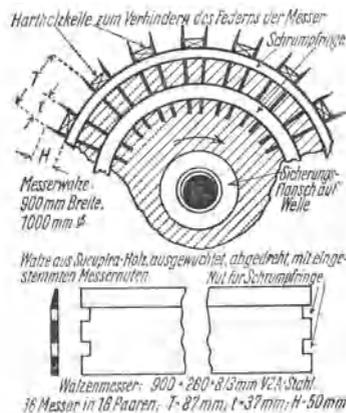


Abb. 994. Holländer-Messerwalze.

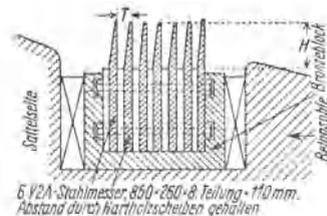


Abb. 995. Holländer-Grundwerk.

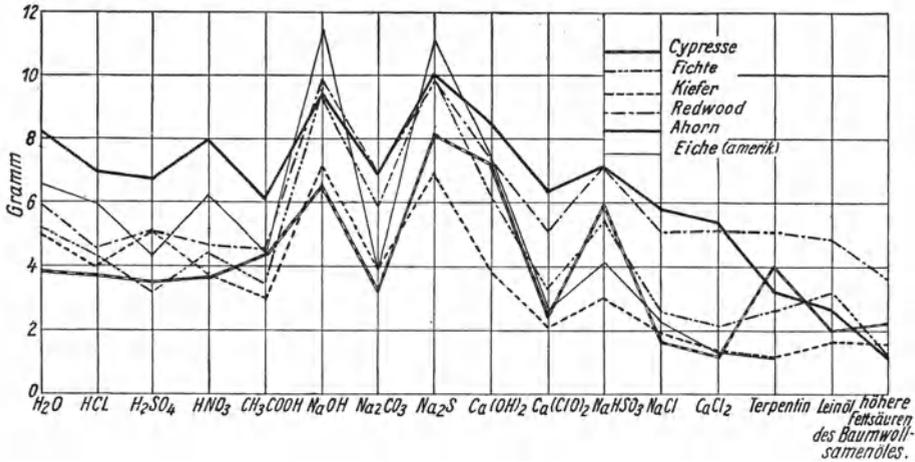


Abb. 996. Aufgenommene Menge Flüssigkeit. (Nach Hauser u. Bahlmann.)

Raumgewicht (Lufttrocken):

Ahorn	0,53—0,81	Kiefer	0,31—0,76
Birke	0,51—0,77	Linde	0,32—0,59
Eiche	0,69—1,03	Pitchpine	0,83—0,85
Fichte	0,35—0,60	Buche (rot)	0,66—0,83
Pockholz	1,17—1,39	Buche (weiß)	0,62—0,82

Zulässige Beanspruchungen von Holz
(einwandfreie Beschaffenheit vorausgesetzt):

Holzart	Zulässige Beanspruchung parallel zur Faser in kg/cm ²			
	Zug	Druck	Biegung	Abscherung
Eiche	100	80	100	10
Kiefer	100	60	100	10
Fichte	90	50	90	8
Tanne	80	50	80	8

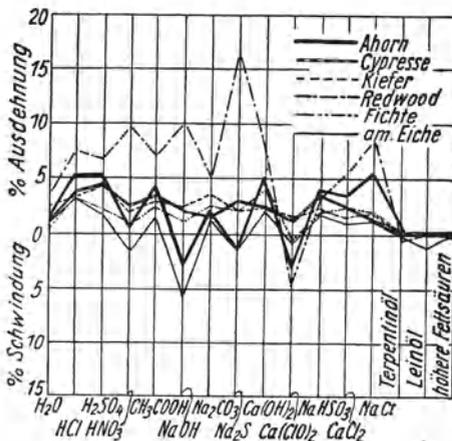


Abb. 997. Ausdehnung und Schwindung in kalten Lösungen. (Nach Hauser u. Bahlmann.)

Schwindung, es „arbeitet“. Durch gutes Austrocknenlassen kann diesem Mangel entgegengearbeitet werden.

Physikalische Eigenschaften. Über die aufgenommenen Mengen Flüssigkeit und die Größe der Ausdehnung (Quellung) und Schwindung geben die Abb. 996 und 997 Auskunft.

Über die Konservierung des Holzes siehe u. a. *Andès*, Konservieren des Holzes (Wien, Hartleben); *Mahlke-Troschel*, Handbuch der Holzkonservierung (Berlin 1928, Springer); *F. Bub-Bodmar* u. *B. Tilger*, Konservierung des

Holzes (Berlin 1922, Parey); *F. Moll*, Holzkonservierung u. -imprägnierung (Berlin 1921, Parey). — Über die Feuersicherheit s. Feuersicherheit von Holzbauwerken (Mitt. d. Fachausschusses f. Holzfragen beim VDI und dtsh. Forstverein, Heft 3 [Berlin 1933, VDI-Verlag]).

Korrosion. Die zahlenmäßige Erfassung des Angriffes von Holz durch chemische Agenzien ist nicht ganz einfach. Die nebenstehenden Kurven von *Alliot* (Abb. 998, 999 und 1000) geben die Beständigkeit von Holz (Pitchpine) gegenüber Säuren wieder, gemessen an Hand der Festigkeitsabnahme. Gegenüber neutralen Salzlösungen ist Holz beständig. Alkalische Agenzien greifen bei gewöhnlicher Temperatur nur in konzentrierten Lösungen an, mit erhöhter Temperatur wächst jedoch der Angriff beträchtlich (Holzaufschluß mit 6proz. Natriumhydroxydlösungen bei 170°!). Stark oxydierende Stoffe wie konzentrierte Salpetersäure zerstören Holz rasch, bei anderen oxydierenden Stoffen wie Kaliumchlorat sind Selbstentzündung und gegebenenfalls Explosionen zu befürchten. — Harzreiche Hölzer (Lärche, Kiefer, Pitchpine) sind harzärmeren in der Beständigkeit überlegen.

Lit.: *S. J. Hauser* u. *C. Bahlmann*, Chem. metallurg. Engng. 1923, S. 159. — *E. A. Alliot*, J. Soc. chem. Ind. 1926, S. 463. — *B. Waeser*, Chem.-Ztg. 1921, S. 937. — *F. Moll*, Chem. Apparatur 1930, Beil. Korr., S. 33. — Chem. metallurg. Engng. 1929, S. 567. — *Ramstetter*, Deutsches Holz als Baustoff in der chem. Industrie (Chem. Fabrik 1935, S. 446). — *H. Haberstroh*, Baustoffkunde I, II, III (Leipzig 1922, Göschen). — *P. Kraus*, Gewerbliche Materialienkunde I: Die Hölzer (Stuttgart 1910, Kraus). — *H. Landolt* u. *R. Börnstein*, Phys.-chem. Tabellen (Berlin 1923, Springer). — International Critical Table II of the National Research Council (New York 1927, McGraw Hill Book Co.). — *E. Rabald*, Werkstoffe u. Korrosion II (Leipzig 1931, Spamer). — *P. Schimpke*, Technologie der Maschinenbaustoffe (Leipzig 1925, Hirzel). — *H. Wilda*, Das Holz (Leipzig 1920, Göschen).

Lit. Chem. Apparatur: *F. Moll*, Einrichtung und Betrieb von Anstalten zum Imprägnieren von Holz unter Druck mit antiseptischen Flüssigkeiten (1914, S. 49, 101);

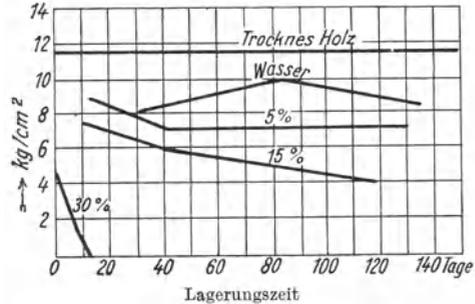


Abb. 998. Kalte Essigsäure. (Nach Alliot.)

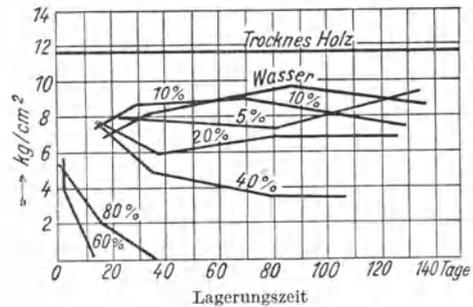


Abb. 999. Kalte Schwefelsäure. (Nach Alliot.)

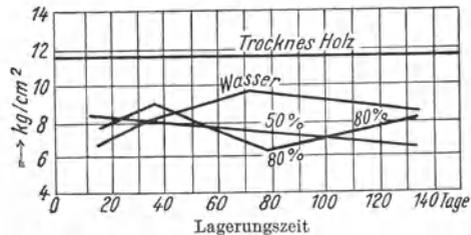


Abb. 1000. Kalte Salzsäure. (Nach Alliot.)

Ra.

Die Imprägnierung des Holzes nach dem Verfahren des Dr. Boucherie (1915, S. 49, 63). — *E. Hausmann*, Beton und Holz als Baustoffe für chemische Apparaturen (1919, S. 35). — *F. Moll*, Neue Erfahrungen über Holztränkung (1923, S. 61, 70). — *F. W. Horst*, Befestigung hölzerner Senkböden in Holzgefäßen (1924, S. 132). — *H. Fischer*, Holzrohre und ihre Verwendung (1926, Beil. Korr., S. 5). — *F. Moll*, Holztränkung und Metallkorrosion (1926, Beil. Korr., S. 17); Kleine Alltäglichkeiten (1926, S. 272). — *F. Meyer*, Das elektrische Niederschlagen von Gummi auf Metallen und Holz (1926, Beil. Korr., S. 21); Das Tränken von Holz mit Schwefel (1927, Beil. Korr., S. 29). — *F. Moll*, Tränkung von Holz für Gefäße in der chemischen Industrie (1928, Beil. Korr., S. 25); Holz als Gebrauchsstoff für die Technik (1930, Beil. Korr., S. 33). — *F. Ohl*, Haveg, Steinezeug, Holz nebst Zusammenstellung über in der Kunstseidenindustrie bewährte Baustoffe (1933, Beil. Korr., S. 9).

Homogenisiervorrichtungen (Emulgiermaschinen, Emulsiermaschinen, Emulgatoren, Emulsoren, Emulseure; *s. auch Mischvorrichtungen, Keram. Werkstoffe [Abschn. 4]*) dienen dazu, ein Gemisch zweier unlöslicher

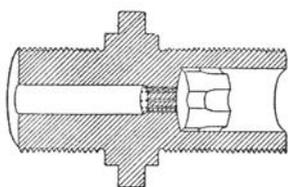


Abb. 1001. Homogenisierapparat nach *Gaulin*.

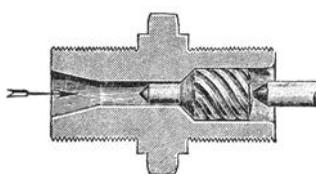


Abb. 1002. Homogenisierapparat nach *Wrede*.

Flüssigkeiten derart zu zerteilen und zu vermischen, daß eine haltbare Emulsion entsteht. Dabei sollen sich möglichst Teilchen von gleicher Größe bilden, um eine Entmischung nach Möglichkeit zu ver-

hindern. Je weiter die Zerteilung fortschreitet, um so haltbarer wird die Emulsion, um so mehr steigt auch der Arbeitsaufwand. Das wichtigste Anwendungsbeispiel ist die Homogenisierung von Milch, die den Zweck hat, ein Erzeugnis zu erhalten, das erst nach längerer Zeit aufrahmt. Die Fetteilchen vermehren sich dabei auf ein Vielfaches der Teilchenzahl in der Rohmilch. Ein ähnliches Anwendungsgebiet ist die Herstellung von Lebertranemulsionen. Homogenisier-

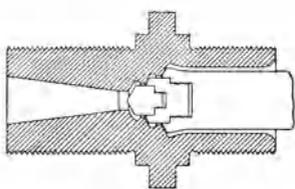


Abb. 1003. Homogenisierapparat mit *Schröderschem* Stufenkegel.

vorrichtungen wendet man auch an, um breiige oder gegenseitig unlösliche Stoffe derart zu zerteilen, daß eine chemische Reaktion schneller ablaufen kann, wie es bei bestimmten Oxydationsvorgängen erforderlich ist. Als Beispiele seien die Oxydation von Acetisoeugenol zu Vanillin und von Camphen zu Campher genannt. Auch zur Herstellung von Teeröl-Wasser-Gemischen benutzt man Homogenisiervorrichtungen. In manchen Fällen läßt sich mit Hilfe schnell laufender Rührwerke eine dauerhafte Emulsion erzielen, was

besonders bei nicht zu dünnflüssigen Stoffen von nahezu gleichem spezifischem Gewicht der Fall sein wird. In vielen Fällen, z. B. bei der Verarbeitung von Milch, versagt dieses Verfahren, da hier, um eine haltbare Emulsion herzustellen, eine besonders feine Zerteilung der emulgierten Flüssigkeitskügelchen notwendig ist, die am besten Homogenisiervorrichtungen erzeugen. In diesen wird die Flüssigkeit mit hohem Druck mit Hilfe einer Pumpe durch eng aneinanderliegende Flächen gedrückt, wodurch die Flüssig-

keitsteilchen zerkleinert und vermischt werden. Um den Kraftverbrauch zu verringern und die Zerteilung zu erhöhen, nimmt man die Homogenisierung oft bei erhöhter Temperatur vor.

Eine ältere Homogenisiervorrichtung nach *Gaulin* zeigt Abb. 1001. Die Flüssigkeiten werden mit einem Druck von etwa 300 at durch eine Anzahl Capillaren gepreßt und stoßen nach ihrem Austritt gegen einen gewölbt ausgebildeten, der Haltbarkeit wegen aus Achat hergestellten Ventilkegel. Die Mündungen der Capillaren sind fast vollständig verschlossen, was den hohen Druck von 300 at erforderlich macht (s. auch Chem. Apparatur 1916, S. 133).

Die Homogenisiervorrichtung nach *Wrede* (Abb. 1002) arbeitet ohne Capillaren. Das zu homogenisierende Flüssigkeitsgemisch tritt durch einen engen, von zwei Kegelflächen gebildeten Spalt, dessen Weite verstellbar ist. Der aus Achat hergestellte Ventilkörper ist mit Gewinderillen versehen, so daß er sich dreht, wodurch die Homogenisierflächen dauernd nachgeschliffen werden. Man kommt in dieser Vorrichtung mit einem Druck von 150 at aus.

Einen anderen Homogenisierkegel mit mehreren verstellbaren, hintereinander angeordneten Stufen zeigt Abb. 1003. Die Abstände zwischen den einzelnen Stufen des Ventilkegels und den zugehörigen Gegenflächen werden derart eingestellt, daß der Zwischenraum an der ersten Kegelfläche am größten ist und bei den folgenden kleiner wird, so daß die zu zerteilenden Fettkügelchen zwischen den ersten Flächen vorzerkleinert und in den folgenden immer weiter zerrieben werden, wodurch auch aus schwer zu emulgierenden Stoffen eine homogene Mischung entsteht. Um die Flächen ständig nachzuschleifen, wird die Vorrichtung mechanisch gedreht. Mit derartigen Vorrichtungen werden z. B. Öle und Fette mit Wasser in ununterbrochener Arbeitsweise vermischt (s. auch Chem. Apparatur 1916, S. 133).

Bei der in Abb. 1004 dargestellten Vorrichtung ist eine des Einschleifens wegen mechanisch in Umdrehung versetzte Spindel mit einem Ventil Sitz und zwei Mitnehmerleisten, auf denen Linsenflächenhülsen aufgesteckt sind, angeordnet. Die Entfernung dieser Flächen von den entsprechenden Ventil Sitzflächen kann nach Bedarf durch ein Feingewinde weiter oder enger gestellt werden, so daß auch hier die Zerkleinerungsarbeit stufenweise vor sich geht; dabei kann man mit Drücken von etwa 80–100 at eine sehr weitgehende Homogenisierung verschiedenster Stoffe erzielen. Diese Homogenisiervor-

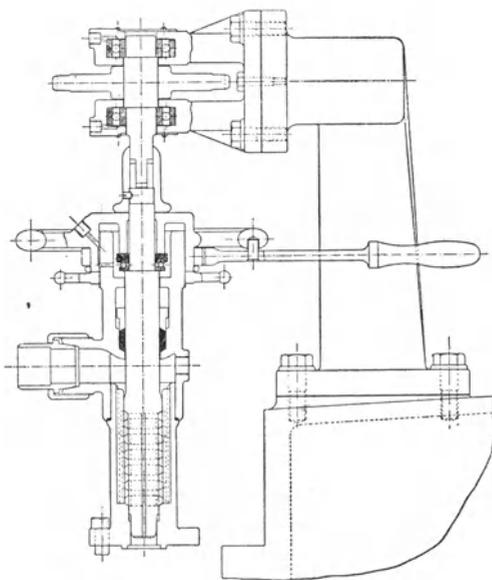


Abb. 1004. *Schröder'scher* Linsenflächen-Homogenisierapparat.

richtungen werden für 50—4000 l/std ohne Schwierigkeiten gebaut. (Chem. Apparatur 1916, S. 134.)

Die Homogenisiervorrichtungen arbeiten meist mit einem Druck von 100—200 at. Die Höchstdrücke betragen etwa 300 at. Die Druckhöhe hängt von der Einstellung und Beschaffenheit des Homogenisierkopfes und von den Eigenschaften der zu verarbeitenden Flüssigkeit ab. Die üblichen Homogenisiervorrichtungen werden für Leistungen von 25—3000 l/std gebaut.

Einen Schnitt durch eine *Alfa-Laval*-Homogenisiermaschine zeigt Abb. 1005 (Chem. Fabrik 1931, S. 178). Eine Hochdruckpumpe drückt das zu verarbeitende Flüssigkeitsgemisch zwischen zwei glatt geschliffene Hartmetallflächen, die mit *A* und *B* bezeichnet sind, hindurch. Die Unebenheiten auf den Flächen bilden kleine Kanäle, in denen die Zerteilung vor sich geht. Bei Öl-

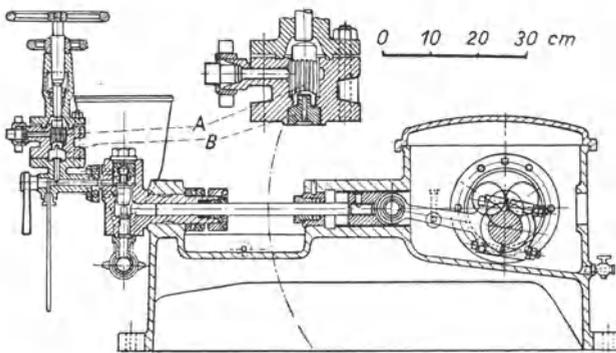


Abb. 1005. *Alfa-Laval*-Homogenisiermaschine.

emulsionen erreicht man dabei Teilchengrößen von 1—0,1 μ .

Eine andere Bauart benutzt die Zentrifugalkraft zur Zerteilung, so daß man ohne Preßpumpe auskommt. Die Flüssigkeit fließt dabei in einen Zentrifugenkopf und tritt infolge der Fliehkraftwirkung durch eine Anzahl enger, ringförmiger Spalten in

das feststehende Gehäuse, wo sie sich infolge des Aufpralls nochmals mischen und zerteilen kann. Die Fliehkraft-Homogenisiervorrichtungen erreichen jedoch nicht die gleiche Wirkung wie die mit Preßpumpen arbeitenden Maschinen.

Lit.: *O. Lange*, Technik der Emulsionen (Berlin 1929, Springer). — *R. Lichtenberger*, Lehrbuch der milchwirtschaftlichen Maschinenkunde (Hildesheim 1932, Molkerei-Zeitung).

Th.

Horden (s. auch *Füllkörper*). Zur Ausfüllung von Türmen, Filterkästen, Gasreinigern usw. dienen stabförmige, gitterartige, segment- oder plattenförmige Einlagen aus Holz oder Stahlblech, die man als Horden bezeichnet. Am häufigsten verwendet man aus parallelen Holzstäben zusammengesetzte Hordenflächen. Die Horden bilden entweder selbst die Füllung des Turms, wie es bei den sog. Hordenwaschern (s. Hordenreiniger) der Fall ist, oder sie dienen lediglich als Rost zur Auflage einer besonderen Füllschicht, z. B. einer Lage von Gasreinigungsmasse oder einer Packung von Füllkörpern.

Dienen die Horden als Berieselungsflächen, so werden sie meist versetzt dicht übereinander geschichtet, so daß eine große Zahl feiner Kanäle für den Gasdurchtritt entsteht. Die einzelnen Hordeneinlagen sind aus schmalen Latten zusammengesetzt. Die unteren Flächen dieser Stäbe sind entweder gerade oder zackenartig mit Tropfnasen ausgebildet, um die herabrieselnde Flüssigkeit besser zu verteilen. Bisweilen verwendet man auch

Holzstäbe mit quadratischem Querschnitt, die zu Paketen vereinigt sind und in Hochkantstellung übereinander geschichtet werden. — Die Hordenstäbe sind entweder behobelt oder unbearbeitet, so wie sie der Sägeschnitt ergibt; das letztere bietet den Vorteil, daß die Benetzungsfläche etwas größer ist und die Waschflüssigkeit infolge der Rauigkeit langsamer abfließt. Bei der Ammoniakauswaschung aus Leuchtgasen gilt für die Größe der Netzfläche die Regel, daß für je 100 m^3 , die in einer Stunde zu waschen sind, $8\text{—}10 \text{ m}^2$ Hordenfläche anzunehmen sind. Für Benzolwascher nimmt man für je 100 m^3 Leuchtgas, die in einer Stunde durchgehen, eine benetzte Hordenfläche von $6\text{—}9 \text{ m}^2$ an, und zwar gelten die kleineren Werte für große Erzeugungsmengen und die größeren Flächenzahlen für kleine Gasverarbeitungsmengen. Zum Einlegen der Horden müssen in den Wandungen mit Deckeln verschließbare Öffnungen vorhanden sein, falls man nicht die Horden ausschließlich von oben einbringen will. — Um eine große Berührungsfläche zu erhalten, verwendet man bisweilen auch Pakete aus Blechstreifen. Besonders günstig sind dabei Pakete aus Streckmetall, da man mit einem geringen Stahlgewicht eine große Berührungsmöglichkeit schaffen kann.

Als Träger für Füllschichten, z. B. Lagen von Gasreinigungsmasse, benutzt man Horden in der Gestalt von Holzrosten, wie sie etwa Abb. 1006 mit einer Reinigerhorde zeigt. Die einzelnen Holzroste sind nur mit Holz aus prismatischen Stäben, die in Abständen von $8\text{—}10 \text{ mm}$ auseinanderstehen, zusammengesetzt, und zwar derart, daß die Spalten zwischen den einzelnen Stäben oben am engsten und unten am weitesten sind. Zur Auflagerung der einzelnen Hordenelemente dienen sogenannte Hordenträger, die meist aus Profileisen, zum Beispiel Winkeleisen, bestehen. Die Höhe des Hordenquerschnitts hängt von der Entfernung der Hordenträger voneinander ab. Je größer also der Hordenträgerabstand ist, um so schwerer wird die durchschnittliche Flächeneinheit der Horde. Statt mehrere Hordenlagen gleicher Art zum Tragen von Füllschichten, die übereinander angeordnet sind, anzuwenden, kann man nur die unterste Horde mit engem Stababstand, die darüberliegenden Horden aber mit weitem Stababstand ausführen. Dabei kann man mehr Masse unterbringen und geringere Strömungswiderstände erhalten. Die Stäbe durchziehen die gesamte Schicht und geben der Masse ausreichende Stützpunkte. Ein Hordenelement einer derartigen Ausführung zeigt Abb. 1007.

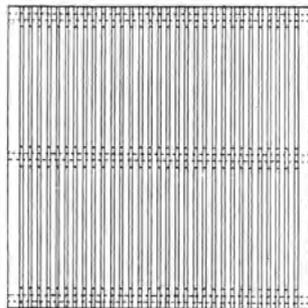


Abb. 1006. Reinigerhorde
(Bamag-Meguin).

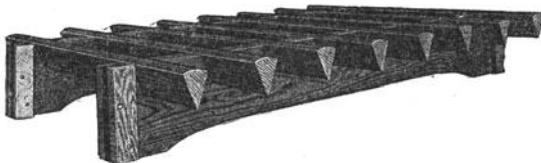


Abb. 1007. Horde mit weitem Stababstand
(Bamag-Meguin).

Hordenreiniger (Hordenwascher; s. auch Gas- und Luftreiniger, Skrubber) werden meist zur Entfernung der Schwefelverbindungen aus Gasen benutzt. Zur Reinigung von Steinkohlengas bestehen sie in der Regel aus gußeisernen Kästen von 1–4 m lichter Höhe, die durch leicht abnehmbare schmiedeeiserne Deckel abgeschlossen werden. Zur Abdichtung der Deckel dienen entweder Wasserverschlüsse oder Gummidichtungen. Die Reinigungsmasse (Raseneisenerz, Luxsche Masse, Koks, Kalk, Sägemehl oder Mischungen verschiedener Massen) wird meist in 2–6 Lagen von je 200–500 mm Schütthöhe auf Siebböden oder gitterförmigen Holzhorden gelagert und der Gasdurchgang durch den Reiniger so geführt, daß das Gas nacheinander die einzelnen Massenschichten von unten nach oben oder auch in umgekehrter Richtung durchströmt. Die Reinigerkästen werden meist in Gruppen von drei oder vier angeordnet und die Gaszuführung so eingerichtet, daß die Reihenfolge der Kästen leicht geändert werden kann. Maßgebend für die Bemessung der Kastengröße ist

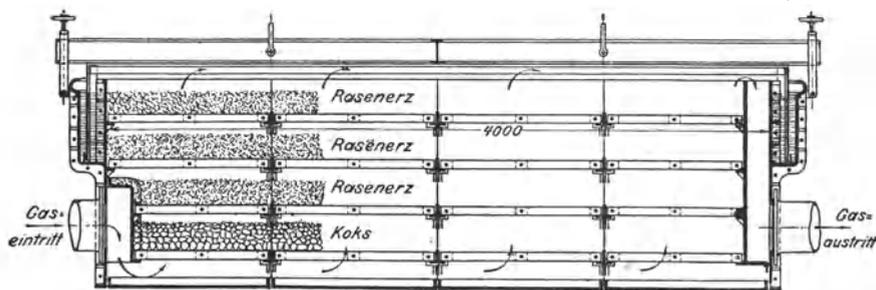


Abb. 1008. Hordenreiniger für Steinkohlengas.

die zulässige Gasgeschwindigkeit, die 5–7 mm/sek betragen soll. Daneben ist nach *Volkman* darauf zu achten, daß die Berührungsdauer zwischen Gas und Reinigungsmasse genügend lange ausfällt; sie soll normal 150 sek betragen und auch bei größter Belastung 125 sek nicht unterschreiten. Daraus ergibt sich die Größe der Kästen bei einfach geführtem Gasstrom zu 2 m² Grundfläche pro Kasten für je 1000 m³ Gasdurchgang/24 std. Bei Bemessung der Kastentiefe ist zu berücksichtigen, daß für 1000 m³ Tageserzeugung etwa 4 m³ Masse für zusammen 4 Reiniger erforderlich sind.

Abb. 1008 zeigt einen Querschnitt durch einen Hordenreiniger für Steinkohlengas. Der Kasten ist aus einzelnen Bodenplatten und Seitenteilen zusammengesetzt; an letztere sind die Tauchtassen für den Wasserverschluß der Deckelabdichtung angegossen. Die Holzhorden sind in vier Lagen angeordnet und liegen auf eisernen Stützen und Winkeleisenträgern. Der flache Reinigerdeckel ist aus Eisenblech zusammengenietet und durch eiserne Träger versteift, die gleichzeitig zum Abheben des Deckels mittels geeigneter Hebevorrichtungen eingerichtet sind. Das Gas tritt von unten in den Kasten ein, durchströmt nacheinander die vier übereinander liegenden Masseschichten und verläßt oben den Kasten. Um jedoch Eingangs- und Ausgangsstutzen am Kasten in gleicher Höhe anbringen zu können, wird das Gas innerhalb des Reinigerkastens durch die in der Abbildung rechts sichtbare Ausgangstasche wieder nach unten geführt.

Die Tassen für den Wasserverschluß erhalten bei einer lichten Weite von etwa 150 mm eine Tiefe von 500–800 mm. Der Deckelverschluß selbst

besteht nach Abb. 1009 aus einem Bügel, der über einen Verstärkungsträger des Deckels geschlagen und mit einer Druckschraube angezogen werden kann. Der Befestigungsbügel wird bei kleineren Kästen an der Wassertasse oder an der Seitenwand, bei großen an einem besonderen Träger unter dem Kasten-

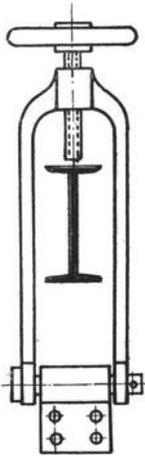


Abb. 1009.
Deckel-
verschluß-
Bügel.

boden angebracht. Für Reinigerkästen bis 18 m² Grundfläche rechnet man 4 Bügel, zu denen für je 12 m² weitere Grundfläche 2 Bügel hinzutreten. Neuerdings bevorzugt man vielfach die trockene Deckeldichtung (Abb. 1010), wobei der Reinigerdeckel an seinem unteren Teil mit einem Winkeleisenrahmen versehen ist, dessen waagerechter Flansch auf dem Kastenflansch aufliegt. Die Abdichtung selbst geschieht durch eine kräftige Gummieinlage, die in einem Wulsteisen des Deckels befestigt ist.

Als Horden (s. d.) verwendet man fast allgemein Holzroste von 500—600 mm Breite und 1000—1500 mm Länge, zu deren Unterstützung in entsprechenden Abständen Winkeleisen in die Reinigerkästen eingezogen sind. Die einfachsten sog. Stabhorden (Abb. 1011) sind mittels Holzleisten aus keilförmigen Stäben zusammengesetzt, die in Abständen von 8—10 mm nebeneinander liegen.

Größere Schichthöhe bei genügender Lockerheit erreicht man mit den Intensivhorden der Bamag-Meguïn A.-G., Berlin (Abb. 1012), die aus Dreikantstäben in ziemlich weiter Anordnung bestehen und zu je zweien auf eine gewöhnliche Stabhorde gestellt werden. Diese Intensivhorden verlangen aber eine Teilung des Gasstroms so, daß dieser die unteren Lagen von unten, die oberen von oben durchzieht und in der Mitte zwischen den Schichten dem Ausgang zuströmt. Eine weitgehende Auflockerung der Masse wird nach Zschocke-Werke, Kaiserslautern, durch die in Abb. 1013 dargestellten Einsatzhorden mit schrägliegenden Brettchen erzielt, die ebenfalls auf gewöhnliche Stabhorden aufgesetzt werden. Um die Bildung freier Räume zu verhindern, durch die das Gas ungereinigt hindurchtreten könnte, baut Jäger nach Abb. 1014

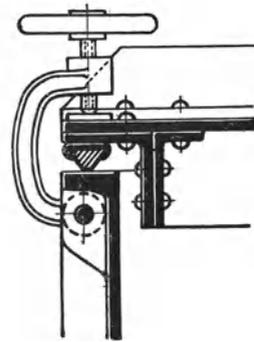


Abb. 1010.
Deckelverschluß mit
trockener Dichtung
(Bamag-Meguïn).



Abb. 1011. Stabhorde.



Abb. 1012. Intensivhorde
(Bamag-Meguïn).

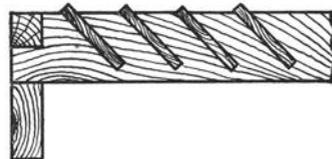


Abb. 1013. Zschocke-Horde.

Entlastungsstäbe ein, die gegeneinander versetzt sind, und läßt das Gas durch aus Latten gebildete Kanäle in waagerechter Richtung durch die Reinigermasse streichen. Der Vorteil der Jägerhorde besteht nach Trebst (J. f. Gasbel. 1911, S. 484) in der Möglichkeit, eine größere Menge Masse in den Kästen unterzubringen und gleichzeitig den Druckverlust erheblich zu verringern.

Die Zusammenschaltung von 3—4 Reinigerkästen zu einer Gruppe erfolgt so, daß jeder einzelne Kasten an jede Stelle der Gruppe geschaltet werden kann, d. h. daß jeder Kasten die erste, zweite usw. Stelle innerhalb der Gruppe einnehmen kann. Abb. 1014 zeigt ein Beispiel

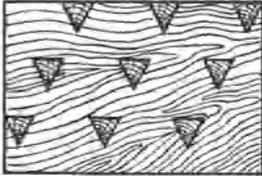


Abb. 1014. Jäger-Horde.

der Zusammenschaltung von 4 Kästen zu einer Gruppe. Die Verbindung der Kästen mit den Gaszu- und Abführungsrohren erfolgt durch Dreiwegventile oder durch Wechselventile verschiedener Bauart. Die Schaltung muß auf jeden Fall so vorgenommen werden, daß das Umstellen der Reiniger während des Betriebes erfolgen kann, ohne daß der Gasstrom dabei unterbrochen wird.

Ein besonderer Nachteil der Hordenreiniger ist der erhebliche Platzbedarf. Es sind wiederholt Versuche gemacht worden, Reinigerkonstruktionen zu finden, die sich in dieser Beziehung günstiger stellen. So baute z. B. Schmiedt in Aschaffenburg sog. Hochreiniger mit verhältnismäßig kleiner Grundfläche

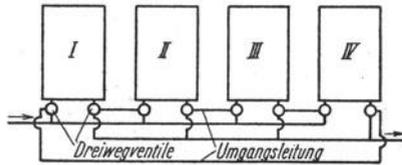


Abb. 1015. Schaltschema für vier Reinigerkästen.

in Aschaffenburg sog. Hochreiniger mit verhältnismäßig kleiner Grundfläche (J. f. Gasbel. 1910, S. 31), bei denen das Gas in waagerechter Richtung die Masse durchzieht, die durch jalousienartige Horden gestützt wird. Die Füllung dieser Hochreiniger erfolgt durch einen Mortonverschluss (s. d.) oben, die Entleerung durch einen ebensolchen

unten. Trotz der geringeren Beschaffungs- und Betriebskosten konnten diese Hochreiniger eine weitere Verbreitung nicht finden.

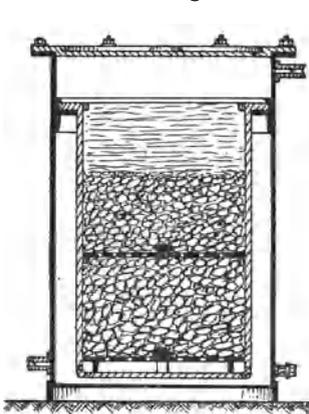


Abb. 1016. „Frankolin“-Reiniger für Acetylen.

Ähnliche Reiniger werden auch zur Reinigung von Acetylen verwendet. Sie bestehen in der Regel aus einem zylindrischen Blechgefäß, in dem die Reinigermasse auf eingelegte Siebböden gebracht wird. Wenn die verwendete Reinigermasse Metalle stark angreift, so wird in den

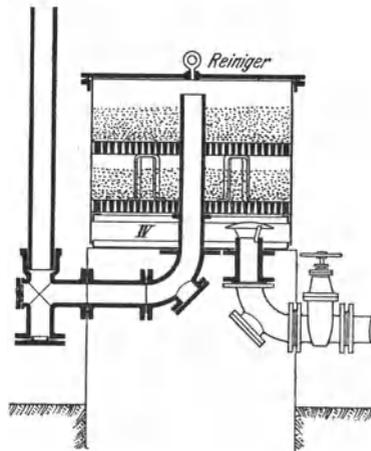


Abb. 1017. Hordenreiniger für Sauggas.

eisernen Reiniger ein Gefäß aus Steingut gasdicht eingesetzt, das die Reinigermasse aufnimmt. Einen solchen zur Beschickung mit „Frankolin“ (Kieselgur mit salzsaurer Kupferchlorürlösung getränkt) bestimmten Reiniger zeigt

Abb. 1016. Auf die obere Schicht der Frankolinmasse ist eine Watte- oder Kalkschicht aufgebracht, so daß der Reiniger gleichzeitig als Trockner dient.

Auch bei Sauggasanlagen ist neben der Waschung eine trockene Reinigung des Gases erforderlich, namentlich dann, wenn Koks oder grushaltiger Anthrazit vergast wird. Die hier verwendeten Hordenreiniger mit einfachen Stabhorden (Abb. 1017) werden in der Regel mit Sägespänen als Filtermasse beschickt, um auch die feinen im Gas enthaltenen Staubteilchen zurückzuhalten und eine Verschmutzung der Gasmaschine möglichst lange zu verhindern.

Lit.: Zahlreiche Aufsätze in den Zeitschriften „Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung“ und „Das Gas- und Wasserfach“. — Vgl. auch die Literatur bei Gas- und Luftreiniger.

Mo.

Hordentrockner (s. auch *Trockner, Kammertrockner*) sind ununterbrochen arbeitende Lufttrockner, in denen das Gut auf übereinandergestellten Horden ruht, die sich im Gleich- oder meist im Gegenstrom zu der Trockenluft bewegen. Sie werden besonders zur Trocknung von Cellulose und ähnlichen flockigen oder körnigen Stoffen verwendet.

Einen einfachen Hordentrockner, der mit Dampf beheizt wird, zeigt Abb. 1018. Die mit feuchtem Gut gefüllten Horden werden durch ein Windwerk auf einem besonderen Fahrstuhl hochgefördert, in den Schacht gezogen und dort ebenfalls durch ein Windwerk in entsprechenden Abständen um eine Hordenhöhe gesenkt, wenn das Gut auf der untersten Horde fertig getrocknet ist, so daß die Horden den mit Pfeilen gekennzeichneten Weg beschreiben.

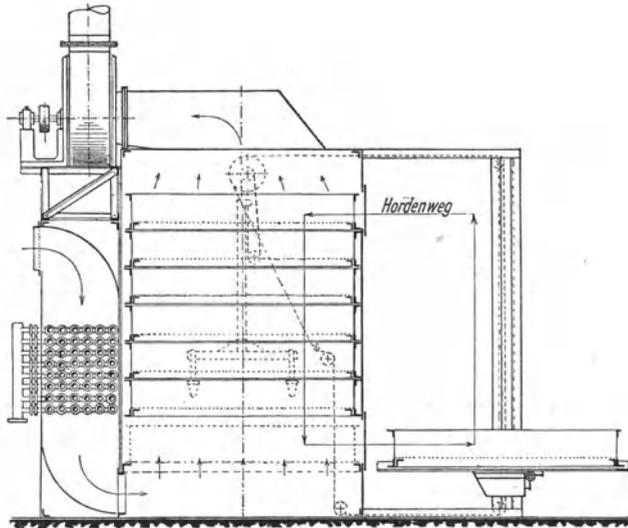


Abb. 1018. Hordentrockner (Trocknungs-Anlagen-Gesellschaft).

Die Luft wird durch den auf dem Schacht angeordneten Ventilator im Gegenstrom zu der Bewegungsrichtung des Gutes durch den Schacht gesaugt. Die ausgefahrene Horde kann kippbar eingerichtet werden, damit das fertig getrocknete Gut leichter entleert werden kann.

Bei der Trocknung von Nitrierbaumwolle wird meist mit zwei derartigen Apparaten gearbeitet, wobei die mit etwa 40–45 Proz. Feuchtigkeit (bezogen auf Naßgewicht) ankommende Baumwolle in dem ersten Apparat auf etwa 9 Proz. und dann in dem zweiten auf etwa 1 Proz. Feuchtigkeit getrocknet wird. Ein derartiger Hordentrockner mit 6 Hordenkästen von $1000 \times 1000 \times 250$ mm trocknet in 10 Stunden bei einem Dampfdruck von 5–10 Atmosphären etwa 210 kg Nitrierbaumwolle mit einem Feuchtigkeits-

gehalt von 9 Proz. bis auf 1 Proz., wobei der Kraftbedarf für den Ventilator etwa 1 PS beträgt.

Die Hordentrockner werden auch mit Nachheizung als Stufentrockner ausgeführt. Einen derartigen Apparat zeigt Abb. 1019. Die durch die Tür *g* herausgefahrene Horde wird entleert und nach ihrer Wiederfüllung durch die Vorrichtung *h* gehoben, durch die Tür *f* in den Schacht *a* geschoben, dort im Gleichstrom mit der unten eintretenden, durch die Erhitzer *e* und *d* erwärmten Luft vorgetrocknet,

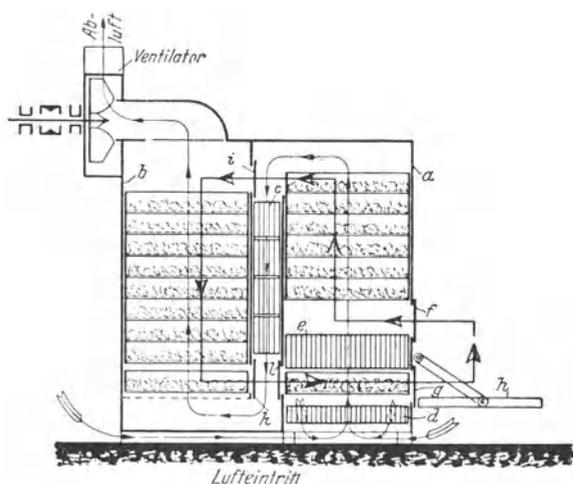


Abb. 1019. Luftumlauf in einem Hordentrockner mit Nachheizung. (Nach *Eckelt-Gassner*, Projektierungen.)

erwärmten Luft vorgetrocknet, durch die Tür *i* in den Schacht *b* geschoben, dort im Gegenstrom zu der im Erhitzer *c* nachgewärmten Luft getrocknet und durch die Türen *k* und *l* nach vorn herausgezogen. (Siehe auch *Eckelt-Gassner*, Projektierungen und Apparaturen für die chemische Industrie, I. Gruppe: Nitrocellulose, synth. Campher, Pulver [Leipzig 1926, Spamer].)

Lit.: Siehe Trockner. Th.

Hordenwascher, s. Hordenreiniger, Skrubber.

Hydrometer (Wassermesser), s. Flüssigkeitsmesser.

Hydronalium sind Aluminiumlegierungen, die neben 5—12 Proz. Magnesium noch geringe Mengen Mangan enthalten. Je nach Verwendungszweck werden verschiedene Sorten (Preßlegierungen und Gußlegierungen) geliefert.

Physikalische Eigenschaften. Dichte: 2,59—2,63. — Schmelzintervall: 520—630°. — Wärmeleitfähigkeit: bei 0° 0,220, bei 200° 0,350 cal/cm · sek · Grad. — Wärmeausdehnungszahl: von 20—400° 27×10^{-6} . — Für gepreßtes Material: Zugfestigkeit 23—40 kg/mm² bei 16—22 Proz. Dehnung, Härte 55 bis 85 Brinell; für Spritzguß und Kokillenguß: Zugfestigkeit 20—26 kg/mm² bei 1,5—8 Proz. Dehnung, Härte 70—80 Brinell. — Hydronaliumlegierungen haben den Vorteil, daß sie zur Erzielung bestmöglicher Eigenschaften nicht warmvergütet zu werden brauchen. Die Verarbeitbarkeit von Hydronalium ist gut, auch die Schweißbarkeit ist zufriedenstellend.

Korrosion. Gegen Seifen- und Sodalösungen sind die Hydronaliumlegierungen beständiger als Reinaluminium. Auch gegen Kochsalzlösungen und Seewasser sind sie im Gegensatz zu anderen Aluminiumlegierungen recht widerstandsfähig.

Lit.: *P. Brenner*, Z. Metallkde. 1933, S. 253. — I. G. Farbenindustrie, Bitterfeld, Druckschrift Hydronalium. — Chem. Fabrik 1933, S. 254. — *W. Schmidt*, Z. angew. Chem. 1933, S. 626. — Engng. Progr., Berl. 1933, S. 130.

Ra.

Hygrometer, Hygrographen, s. Feuchtigkeitsmesser.

I J

Illium, s. Nickel-Chrom-Legierungen.

Imprägnierapparate (Tränkapparate) dienen zur Behandlung von Gegenständen verschiedenster Art und von festen Stoffen mit Flüssigkeiten, um ihre Haltbarkeit zu erhöhen oder ihnen andere Eigenschaften zu geben. Die Im-

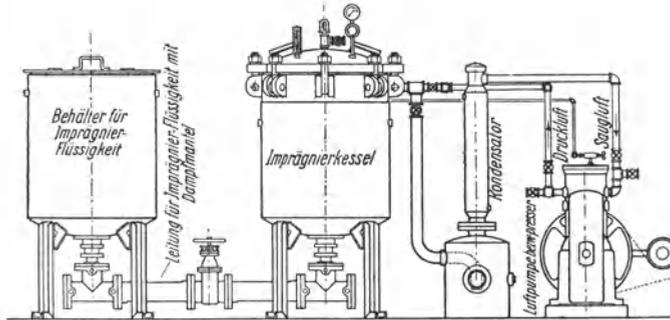


Abb. 1020. Imprägnierapparat (Buflovak).

prägnierung erfolgt durch Auftragen einer Flüssigkeit oder durch Tränkung. Die Imprägnierapparate der Textilindustrie (vgl. Vorwort) sind hier nicht behandelt. Die folgenden Ausführungen beziehen sich daher nur auf die mit Tränkung arbeitenden Imprägnierapparate. Sie sind im wesentlichen in ihrer Einrichtung den Vakuum-trockenschränken ähnlich. Man bringt die zu imprägnierenden Gegenstände in ein Gefäß, das durch einen Deckel luftdicht verschlossen ist. Eine Luftpumpe kann die Luft aus dem Gefäß absaugen. Gleichzeitig kann Wärme zugeführt werden, so daß die Gegenstände getrocknet, die Poren luftfrei gemacht werden und die Imprägnierflüssigkeit sie dann gut durchdringen kann. Sind die zu imprägnierenden Gegenstände getrocknet, so läßt man die Flüssigkeit einfließen. Oft wird dann der Druck erhöht, um die Imprägnierflüssigkeit tief genug in die Gegenstände eindringen zu lassen. Hierzu wird bisweilen Druckluft angewendet, die mit der Luftpumpe erzeugt wird, welche die Luft aus dem Imprägnierkessel absaugt. Derartige Imprägniereinrichtungen werden verwendet zum Imprägnieren von Kabeln, isolierten Drähten, Spulen und Windungen für die Elektroindustrie, Seilen, Tauen, Hölzern (z. B. Bleistiften), wobei man diesen das Aussehen von Cedernholz geben kann, zur Herstellung von imitiertem Ebenholz, z. B. für die schwarzen Klaviertasten,

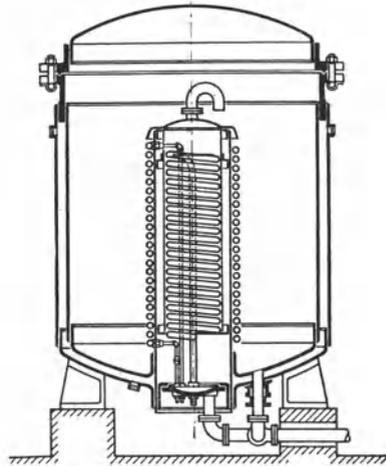


Abb. 1021.
Imprägnierkessel (Buflovak).

zur Herstellung von imitiertem Mahagoniholz, zur Imprägnierung von Leder, Asbest, Segeltuch, Automobilreifentuch, Packungen und zur Behandlung fester Stoffe verschiedenster Art mit Flüssigkeiten. Oft wird die Trocknung in einem besonderen Trockenschrank ausgeführt.

Einen einfachen Imprägnierapparat zeigt Abb. 1020. Der Imprägnierkessel ist mit dem Behälter für die Imprägnierflüssigkeit durch eine Leitung mit Dampfmantel verbunden, da die betreffende Imprägnierflüssigkeit einen hohen Schmelzpunkt hat. Von dem Imprägnierkessel geht eine Leitung zum Kon-

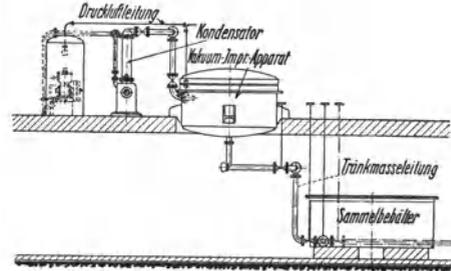
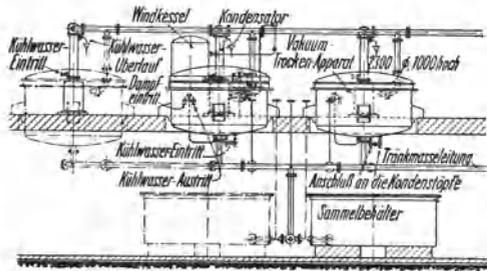
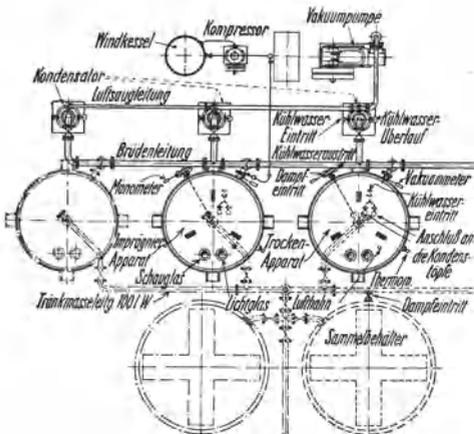


Abb. 1022.
Vakuutränkanlage (Paßburg-Block).



densator, aus dem eine Luftpumpe absaugt. Sind in der Imprägnierflüssigkeit auch flüchtige Lösungsmittel vorhanden, die bei der Erwärmung teilweise entweichen, so können diese mit der Restluft, die sich bei der Füllung des Gefäßes im oberen Teil desselben ansammelt, ein explosives Gemisch bilden. Man muß daher bei der Füllung des Gefäßes die Restluft rechtzeitig durch einen Entlüftungshahn entweichen lassen.

Einen Imprägnierkessel zeigt Abb. 1021. Er ist besonders zur Imprägnierung von Kabeln und Seilen, die auf einer besonderen Trommel eingesetzt werden, geeignet. Im Inneren sind Schlangen zum Heizen und Kühlen angebracht. Um den Arbeitsvorgang zu beschleunigen, kann auch ein ständiger Umlauf der Imprägnierflüssigkeit vorgesehen werden. — Eine große Vakuumtrocken- und Tränkanlage von Paßburg-Block zeigt Abb. 1022. Hier ist je ein Trocken- und Imprägnierapparat angeordnet. Zur Erzeugung der Druckluft ist die Anlage mit einem Kompressor ausgerüstet.

Eine ähnliche Anlage, die zum Imprägnieren von Isolierrohren dient, stellt Abb. 1023 dar. Bei dem von E. Paßburg und B. Block entwickelten Arbeitsverfahren werden die rohen Rohre sofort nach dem Verlassen der Wickelmaschinen in runde, gelochte Eisenkörbe, die etwa 5000 m Rohr mittleren Durchmessers aufnehmen können, verpackt. Die Körbe werden in die stehenden, doppelwandigen Kessel der Vakuumtrockenanlage eingehängt.

Nach der Füllung wird der Kessel mit einem ausschwenkbaren Deckel verschlossen. Ein Dampfheizmantel erwärmt den Inhalt des Vakuumtrockenapparats. Alsdann tritt eine Luftpumpe in Tätigkeit, so daß die in den Rohren enthaltene Feuchtigkeit verdampft. Um den Fortgang der Trocknung beobachten zu können, ist zwischen dem Kessel und der Luftpumpe ein Kondensator eingeschaltet, der in seinem unteren Teil mit zwei Schaugläsern versehen ist, durch die man den Trocknungsverlauf an einem Tropfrohr verfolgen kann. Ein besonderer Schmelzkessel erhitzt in der Zwischenzeit die

Tränkmasse. Durch die Luftleere läßt man alsdann die Tränkmasse aus dem Schmelzkessel in den auch weiterhin unter Vakuum gehaltenen Kessel einziehen, bis der mit den Papierrohren gefüllte Korb von der Tränkmasse bedeckt ist. Da die Poren entfeuchtet und auch luftleer sind, werden alle Rohre gleichmäßig durchtränkt, was nur kurze Zeit dauert, da alle Poren in der Papiermasse durch die Vakuumtrocknung geöffnet sind. Zur Vervollständigung der Tränkung kann man den mit Tränkmasse gefüllten Apparat noch unter Luftdruck setzen, was durch Umschalten

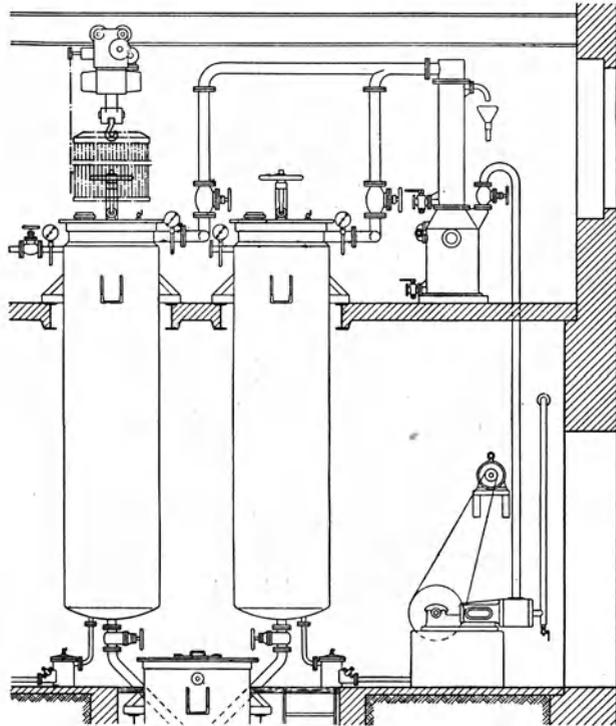


Abb. 1023. Vakuum-Trocknungs- und Tränkanlage
(Paßburg-Block).

der Luftpumpe auf Druck geschieht. Nach einer bestimmten Zeitdauer öffnet man dann das untere Tränkmasse-Ablabventil und drückt die Tränkmasse aus dem Trocken- und Tränkapparat wieder in den Schmelzkessel zurück. Dann wird der Verschlußdeckel geöffnet und der Korb mit den Rohren zum vollständigen Abtropfen der Rohre über den Kessel hochgezogen.

Zur Konservierung von Holz dienen die Teeröl- und die Salzlösungsprägnierung. Das Verfahren, das zu imprägnierende Holz im geschlossenen Gefäß zu evakuieren und dann die Imprägnierflüssigkeit unter Druck in das Holz einzupressen, hat zur Folge, daß das Holz bis auf den Kern mit Teeröl getränkt ist und später Teeröl ausschwitzt. Außerdem ist diese Imprägnierung außerordentlich teuer, da das Teeröl alle Poren des Holzes anfüllt, so daß dazu erhebliche Mengen benötigt werden. Man hat verschiedene Wege ein-

geschlagen, um diesen Übelständen abzuweichen. Das Teeröl, das von den Holzzellen nicht aufgenommen ist, das sich also in den bei trockenem Holz mit Luft gefüllten Poren befindet, ist für die Konservierung belanglos. Man hat nun, um Öl zu sparen, in das Holz eine bestimmte Menge Teeröl nach dem geschilderten Verfahren eingepreßt und dann Druckluft nachgepreßt, um eine Verteilung durch das ganze Splintholz zu erzielen, ohne die Poren mit Öl anzufüllen, wobei die Verteilung jedoch unregelmäßig wurde. — Eine bessere Lösung ergibt das *Rüpping*-Verfahren, bei dem das Holz in geschlossenem Gefäß zuerst mit Druckluft gefüllt und dann unter höherem Druck mit erhitztem Teeröl getränkt wird. Nach der Druckentlastung dehnt sich die in das Holz eingepreßte Luft aus und treibt das nicht von den Holzzellen auf-

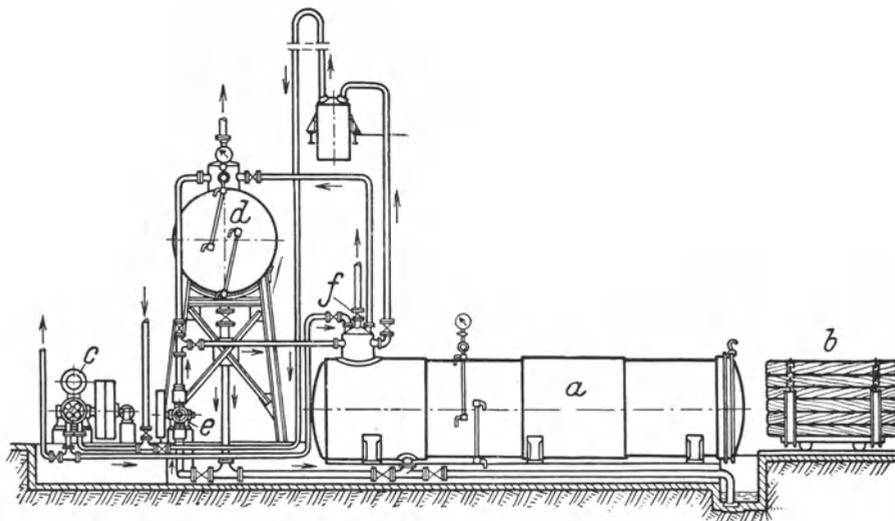


Abb. 1024.] Holzimprägnierapparat (Borsig).

genommene Teeröl aus, was durch Vakuum vervollständigt wird. Damit wird erreicht, daß die Zellen des Splintholzes vollständig mit Teeröl getränkt und gegen Zerstörung durch Holzschädlinge geschützt sind, während die Poren wie bei lufttrockenem Holz mit Luft gefüllt sind. Nach diesem Verfahren werden pro m³ Holz verbraucht: Kiefer 45–70 kg, Eiche 50 kg, Buche 160 kg, während bei dem älteren Verfahren gebraucht wurde: Kiefer 140–200 kg, Eiche 80–100 kg, Buche 270–350 kg.

Eine *Rüpping*-Anlage nach Borsig (Berlin-Tegel) zeigt Abb. 1024. In den Imprägnierkessel *a* werden die mit Holz beladenen, abgewogenen, der Kesselform angepaßten Wagen *b* eingefahren. Dann wird der Kessel durch einen Deckel mittels kräftiger Verschlussschrauben luftdicht geschlossen und durch einen Kompressor *c* mit Druckluft von 1–4 at gefüllt, solange diese vom Holz aufgenommen wird; aus dem Arbeitsgefäß *d* wird dann unter gleichbleibendem Druck der Imprägnierkessel mit Teeröl, das auf etwa 70° erhitzt ist, gefüllt, während die Druckluft in das höher liegende Arbeitsgefäß übertritt. Mit einer Flüssigkeitspumpe *e* wird nun eine jeweils bestimmte, von der Holzmenge, Holzsorte und -art abhängige Menge Teeröl in den Imprägnierkessel gepumpt,

wobei der Druck steigt und durch Regulierung der Pumpengeschwindigkeit während der Dauer des Arbeitsvorganges auf einer Höhe von 4—8 at erhalten wird. Hat das Holz die vorher bestimmte Menge Teeröl aufgenommen, so wird durch Druckluft das Teeröl aus dem Imprägnierkessel *a* in das inzwischen von der Druckluft entleerte Arbeitsgefäß *d* gefördert; der Imprägnierkessel *a* wird nach Entleerung durch ein Entlüftungsventil *f* mit der Außenluft in Verbindung gebracht. Nach einiger Zeit wird das Entlüftungsventil *f* geschlossen und der Imprägnierkessel *a* mittels des nun als Vakuumpumpe arbeitenden Kompressors *c* unter Luftleere gesetzt, bis kein Teeröl mehr aus dem Holz austritt. Dann wird das ausgetriebene Teeröl durch die Pumpe *e* in das Arbeitsgefäß befördert, der Imprägnierkessel geöffnet und das fertig imprägnierte Holz

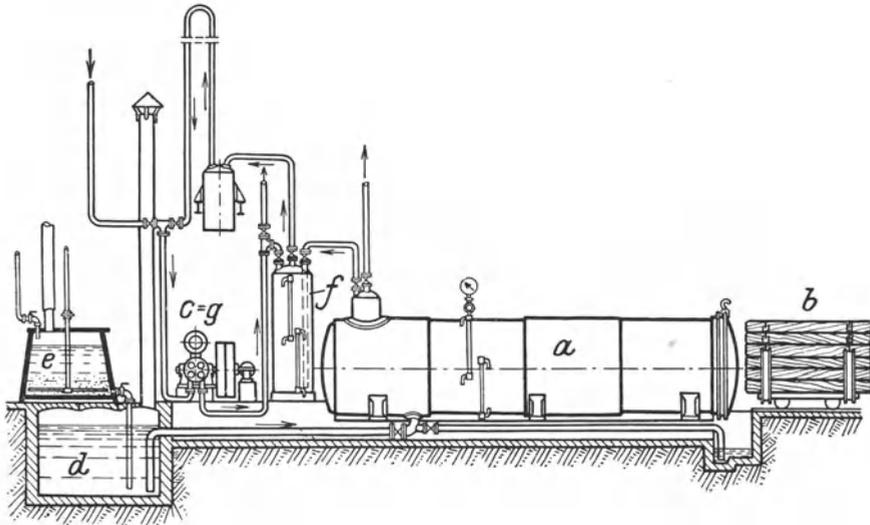


Abb. 1025. Holzimprägnierapparat (Borsig).

ausgefahren und gewogen. Der Unterschied der Gewichte ergibt die Teerölaufnahme. Während dieses Imprägniervorganges sind bereitstehende Wagen inzwischen beladen worden, so daß das Arbeitsspiel sogleich von neuem beginnen kann. Die Dauer eines Arbeitsspieles beträgt bei Kiefer 3—6 std, bei Eiche 6—8 std und bei Buche 8—10 std.

Eine Anlage zum Imprägnieren von Holz mit Salzlösungen, wie sie hauptsächlich zum Imprägnieren von Grubenholz dient, zeigt Abb. 1025. In den Imprägnierkessel *a* fährt man die mit Holz beladenen, abgewogenen und der Kesselform angepaßten Wagen *b* ein. Dann wird der Kessel luftdicht geschlossen und durch eine Vakuumpumpe *c* unter hohe Luftleere gesetzt, bis das Holz praktisch keine Luft mehr hergibt; dann füllt man unter möglichst gleichbleibendem Vakuum, das durch die Luftpumpe dauernd erhalten wird, den Imprägnierkessel mit der Salzlösung, die vorher im Vorratsbehälter *d* mittels des Rührwerkes *e* in bestimmter Konzentration angesetzt wurde, durch Einsaugen, bis sämtliches Holz unter Flüssigkeit gesetzt, der Imprägnierkessel also völlig gefüllt ist. Im gleichen Arbeitsvorgang wird auch das Meßgefäß *f*, welches hinter den Imprägnierkessel geschaltet ist,

mit der Salzlösung beschickt. Darauf wird die Vakuumpumpe *c* als Kompressor *g* an das Meßgefäß *f* angeschlossen; je nach den Holzabmessungen und Arten wird ein Druck von 4—12 at erzeugt, unter dem die Salzlösung in das Holz eindringt. An einem mit Einteilung versehenen Flüssigkeitsmesser kann man am Meßgefäß ablesen, wann die der eingefahrenen Holzmenge entsprechende Menge Salzlösung vom Holz aufgenommen ist. Um die Aufnahme der Salzlösung zu erleichtern, wird diese im Imprägnierkessel auf etwa 70° durch direkten oder indirekten Dampf erwärmt. Ist die vorgeschriebene Menge der Salzlösung aufgenommen und das Holz bis zur Sättigung getränkt, so wird die überschüssige Imprägnierflüssigkeit aus dem Imprägnierkessel in den Vorratsbehälter abgelassen. Dann öffnet man den Kessel, die Wagen werden ausgefahren und gewogen, wodurch die Salzaufnahme nochmals kontrolliert wird. Das ausgefahrene Holz wird nun zum Trocknen gestapelt, kann aber auch im Notfall sofort verwendet werden. Ein derartiger Imprägnierungsvorgang dauert 3—6 std.

Lit. Chem. Apparatur: Siehe Holz. — *H. Hartung*, Neuzeitliche Apparate zum Tränken von Rohpappe (1924, S. 33).

Thormann.

Injektoren, s. Strahlpumpen.

Inhaltsanzeiger, s. Flüssigkeitsstandanzeiger.

Invar(-Stähle), s. Nickel-Stähle.

Iridium, s. Platinmetalle.

Ironac, s. Ferrosilicium.

Isolierungen, s. Wärmeschutzmittel.

Jacoby-Metall, s. Weißmetall.

Jute, s. Textilien.

K

Kaltdampfmaschinen, s. Kältemaschinen.

Kältemaschinen (s. auch *Kühler*). Um feste Körper, Flüssigkeiten oder Gase auf tiefe Temperaturen zu bringen, muß diesen eine entsprechende Wärmemenge entzogen werden. Hierzu ist ein Kältemittel notwendig, dessen Temperatur mehrere Grade tiefer liegt als die Temperatur, die der zu kühlende Stoff annehmen soll. In allen Fällen, in denen die Temperatur durch Kühler nicht bis auf den gewünschten Punkt gebracht werden kann, also von Temperaturen von etwa +10 bis +20° an bis zu den tiefsten,

die gebraucht werden, müssen Kältemaschinen das notwendige Temperaturgefälle schaffen. Die von diesen erzeugten Temperaturen liegen meist zwischen $+5$ und -20° . Das Kältemittel ist entweder ein Gas oder eine Flüssigkeit.

Die Kaltluftmaschinen benutzen die Erscheinung, daß sich ein zusammengedrücktes Gas bei der Ausdehnung abkühlt. Die Luft wird von einem Kompressor verdichtet und muß, da sie sich dabei erwärmt, wieder abgekühlt werden. Dann läßt man die Luft sich ausdehnen, so daß sie sich wieder abkühlt und als Kältemittel dienen kann. Der Druckbereich, in dem man das Kaltluftverfahren legt, ist beliebig. Je höher die Drücke sind, um so kleiner werden die Zylinder. Trotzdem arbeiten die Kaltluftmaschinen gegenüber den Maschinen, die eine Flüssigkeit als Kältemittel benutzen, ungünstiger, so daß sie praktisch kaum verwendet werden.

Die mit einer Flüssigkeit arbeitenden Maschinen benutzen den Vorgang der Verdampfung zur Erzeugung von tiefen Temperaturen. Die Flüssigkeit wird bei niedrigen Temperaturen und entsprechend niedrigem Druck verdampft, wozu eine Wärmezufuhr von außen erforderlich ist. Die zur Verdampfung notwendige Wärme wird den zu kühlenden Stoffen entzogen. Den dabei entstehenden Dampf des Kältemittels bringt man durch besondere Vorrichtungen auf einen höheren Druck, damit die Kondensation durch Kühlwasser oder die Außenluft möglich ist. Das kondensierte Kältemittel wird dann durch eine Drosselvorrichtung auf den geringeren Verdampfungsdruck gebracht und so wieder in den Kreislauf zurückgeführt.

Dieses Verfahren der Kälteerzeugung ist also durch folgende Umstände gekennzeichnet:

1. Es werden zwei verschiedene Drücke verwendet. Der niedrigere Druck dient zur Verdampfung, d. h. Wärmezufuhr und Kälteerzeugung, der höhere dient zur Wärmeabfuhr und Kondensation. 2. Das Kältemittel vollführt in der Apparatur einen Kreislauf, bei dem es dauernd in Flüssigkeit und Dampf umgewandelt wird.

Da diese Maschinen mit kalten Dämpfen arbeiten, nennt man sie auch Kaltdampfmaschinen. Der zur Verdampfung dienende Wärmeaustauscher wird als Verdampfer, der zur Verflüssigung der Dämpfe dienende als Kondensator bezeichnet.

Die meisten Kältemaschinen arbeiten demnach in einem stetigen Arbeitsgang mit zwei unter verschiedenen Drücken stehenden Räumen. Den zur Kälteerzeugung notwendigen Druckunterschied kann man jedoch auch so erzeugen, daß man den Druck in ein und demselben Raum periodisch zwischen den zur Kälteerzeugung und Kondensation notwendigen Drücken sich verändern läßt. Diese absatzweise arbeitenden Kälteerzeugungsverfahren werden jedoch nur für kleinste Ausführungen angewendet.

Als Kältemittel werden Wasser, Ammoniak, Kohlensäure, Schweflige Säure, Chlormethyl und Chloräthyl und auch Gemische von Kohlenwasserstoffen verwendet. Von allen Stoffen wird Ammoniak am meisten, danach Kohlensäure für Kältemaschinen gewählt. Die wichtigsten Eigenschaften der Kältemittel sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengestellt:

Temperatur (°)	Druck (at abs)	Spez. Vol. (m ³ /kg)	Wärmeinhalt d. Flüssigkeit (kcal)	Wärmeinhalt d. Dampfes (kcal)	Verdampfungs- wärme (kcal)
Schweflige Säure.					
—30	0,39	0,82	— 9,0	88,7	97,7
—20	0,65	0,51	— 6,1	89,7	95,9
—10	1,04	0,33	— 3,1	90,5	93,6
—	1,58	0,22	—	90,8	90,8
+10	2,34	0,15	+3,25	90,8	87,6
+20	3,35	0,10	+6,62	90,5	83,9
+30	4,67	0,08	+10,1	89,8	79,7
+40	6,35	0,06	+13,71	88,7	75,0
Ammoniak.					
—30	1,19	0,98	—32,7	295,2	327,9
—20	1,90	0,63	—22,0	298,7	320,8
—10	2,92	0,42	—11,1	301,9	313,0
—	4,34	0,29	—	304,4	304,4
+10	6,27	0,20	+11,3	306,6	295,0
+20	8,79	0,15	+22,9	307,7	284,7
+30	12,0	0,11	+34,8	308,3	273,5
+40	16,0	0,08	+46,9	308,0	261,0
Kohlensäure.					
—30	15,0	0,027	—14,3	55,8	70,1
—20	20,3	0,019	— 9,9	56,1	66,0
—10	27,1	0,014	— 5,2	55,9	61,2
—	35,4	0,010	—	55,2	55,2
+10	45,7	0,0075	+ 6,0	53,5	47,5
+20	58,1	0,0052	+13,4	50,2	36,7
+30	73,1	0,0029	+26,4	41,3	14,9

Die verschiedenen Bauarten der Kältemaschinen unterscheiden sich wesentlich nur durch die Art und Weise, wie der notwendige Druckunterschied zwischen Verdampfer und Kondensator erzeugt wird. Hier werden folgende Verfahren angewendet:

1. Verdichtung der Dämpfe durch einen Kolbenkompressor (Kompressionskältdampfmaschinen) oder einen anderen Verdichter,

2. Absorption der Dämpfe durch eine Flüssigkeit oder Lösung, Förderung der Lösung durch eine Pumpe auf den höheren Druck und Austreibung des Kältemittels in Dampfform durch Wärmezufuhr in einem besonderen Kocher (Absorptionskältemaschinen),

3. Verdichtung der Dämpfe durch einen Strahlapparat mit Hilfe von hochgespanntem Dampf,

4. Zumischen von Gasen zu den Dämpfen, z. B. Wasserstoff, zwecks Erzeugung des zur Verdampfung notwendigen geringen Drucks (dieses Verfahren wird nur bei kleinsten Ausführungen angewendet),

5. Adsorption der Dämpfe durch hochporöse Körper, z. B. aktive Kohle oder Kieselsäure-Gel. Dieses Verfahren wird nur in absatzweise arbeitenden Apparaten kleinster Größe ausgeführt.

Der Verdampfer entzieht den zu kühlenden Stoffen die Wärme entweder unmittelbar oder mittelbar dadurch, daß man durch den Verdampfer eine

Hilfsflüssigkeit, z. B. Salzsole, abkühlt und diese als Kälteträger weiterfördert. Dieses Verfahren wird besonders bei der Erzeugung von Kunsteis angewendet.

Von den verschiedenen Kälteerzeugungsvorrichtungen ist die Kompressionskaltdampfmaschine am meisten verbreitet. Die zur Verdichtung

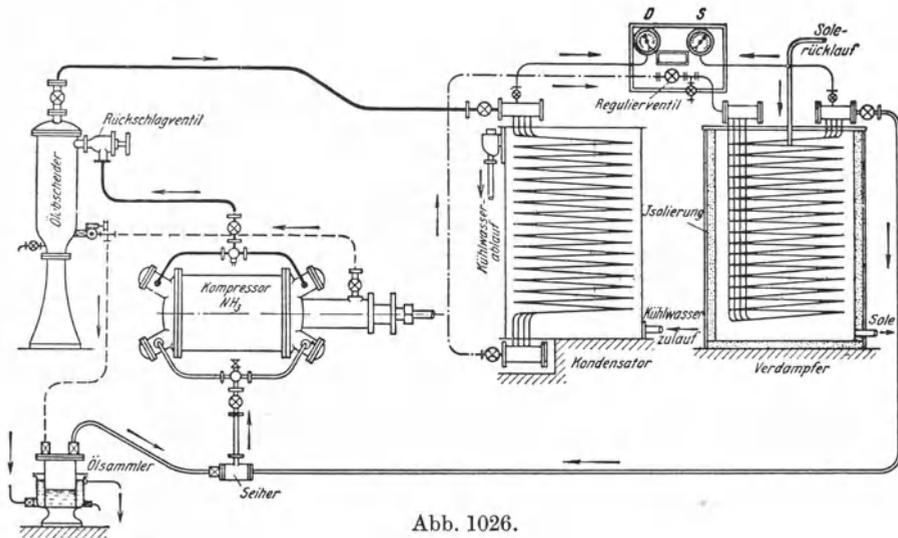


Abb. 1026.

Schema einer Kälteerzeugungsanlage. (Nach Reif, Störungen an Kältemaschinen.)

notwendigen Zylinderinhalte verhalten sich bei Kohlensäure, Ammoniak, Schwefliger Säure wie 1 : 5,2 : 12,6.

Das Schema einer normalen Ammoniakkältemaschine mit allen Apparaten und den zugehörigen Leitungen ist in Abb. 1026 dargestellt (E. Reif, Störungen an Kältemaschinen, S. 14, 2. Aufl., Leipzig 1925, Spamer). Der Verdampfer kühlt hier Sole ab, die erwärmt aus den zu kühlenden Räumen oder Apparaten kommt und kalt im Kreislauf dorthin zurückkehrt. Den Druck des Kältemittels vermindert ein Drosselventil, das mit den beiden, Kondensator- und Verdampferdruck angegebenden Manometern auf einer gemeinsamen Tafel angebracht ist. In einem Ölabscheider wird das aus dem Kompressorzylinder mitgenommene Öl abgefangen.

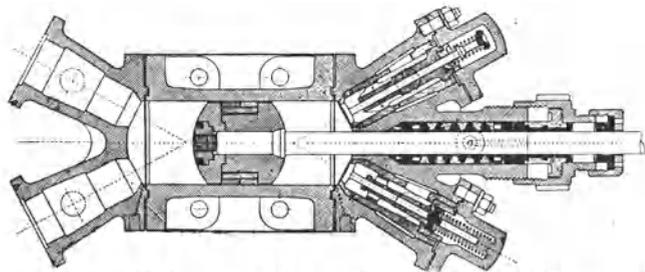


Abb. 1027. Zylinder einer Kältemaschine. (Nach Reif, Störungen.)

Der Kompressor wird meist als Kolbenmaschine mit selbsttätigen Ventilen ausgebildet (s. auch Kolbenkompressoren). Für Kleinkältemaschinen werden

auch Drehkolbenpresser gebaut (s. auch Zellenverdichter). Als Beispiel ist in Abb. 1027 der Kompressorzylinder einer Ammoniakkältemaschine und auf Abb. 1028 der einer stehenden Schwefligsäurekältemaschine dargestellt. Die hohen Drücke bedingen große Wandstärken, die hohen Verdichtungen kleine schädliche Räume. Für die größten Kältemaschinen verwendet man auch Turbokompressoren. (Siehe auch Kolbenkompressoren, Turbogebälse.)

Übersteigt das Temperaturgefälle und damit das zu überwindende Druckverhältnis gewisse Grenzen, so unterteilt man das ganze Druckgefälle in mehrere Stufen und verwendet einen mehrstufigen Kompressor. Ist das Druckverhältnis etwa größer als 1:5, so geht man zu zwei Stufen über. Bei einem Druckverhältnis von etwa 1:20 bis 1:25 verdichtet man in drei Stufen. (Siehe auch Kolbenkompressoren.)

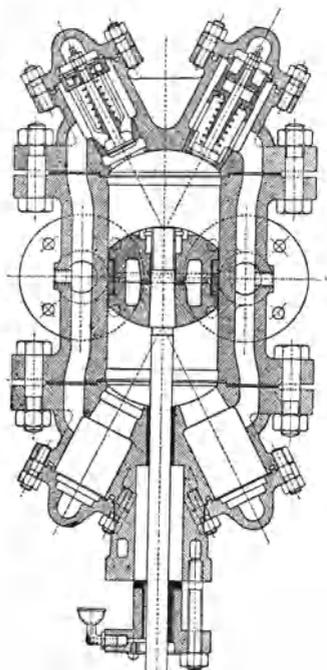


Abb. 1028. Zylinder einer Schwefligsäurekältemaschine. (Nach Reif, Störungen.)

Als Kältemittel verwendet man bei der mehrstufigen Verdichtung meist Ammoniak, und zwar für Temperaturen bis zu -65° . Bei noch tieferen Temperaturen arbeitet man mit Äthylen, Äthan, Methan oder Stickoxydul. Der Druck ist auch bei tiefen Temperaturen dann so groß, daß keine Unterdrücke auftreten, die das Eindringen von Luft bei Undichtheiten verursachen könnten.

Zur Erzeugung sehr tiefer Temperaturen reichen bisweilen die vorhandenen Kühlwassertemperaturen nicht aus. Um die Verflüssigungsdrücke dennoch gering zu halten, schaltet man oft zwei mit verschiedenen Kältemitteln arbeitende Anlagen hintereinander, beispielsweise eine Ammoniakanlage, deren Kondensator mit Kühlwasser betrieben wird, und eine Äthylenanlage, deren Kondensator mit dem Ammoniakverdampfer zur Wärmeübertragung gekuppelt oder vereinigt ist. Das Kältemittel mit dem niedrigeren Erstarrungspunkt erzeugt also bei diesem Zweistoffverfahren die tiefsten Temperaturen, während das Kältemittel mit dem höheren Erstarrungspunkt und der höher liegenden kritischen

Temperatur das höhere Temperaturgebiet überwindet. Die abzuführende Wärme, die in dem genannten Beispiel aus der Verdampferleistung der Äthylenanlage und dem Wärmeäquivalent der dem Äthylenkompressor zugeführten Arbeit besteht, geht über den Zwischenverflüssiger für das Äthylen unmittelbar oder über einen Wärmeüberträger, beispielsweise Sole, in den Ammoniakverdampfer, von wo sie mit dem Ammoniakkompressor in der üblichen Weise zum Hauptkondensator geleitet und an das Kühlwasser abgegeben wird.

Zur Schmierung dienen für Ammoniak als Kältemittel besondere Mineralöle, für Kohlensäure Glycerin, während bei Schwefliger Säure der Zylinder ohne Schmierung arbeiten kann und nur die Kolbenstange mit etwas Vaseline gefettet wird.

Die im Kondensator durch Kühlwasser abzuführende Wärme setzt sich in der Hauptsache aus der Kälteleistung und dem Wärmewert der indizierten Kompressorleistung zusammen. Die Kondensatoren der Kältemaschinen werden als Tauch-, Berieselungs- und Doppelrohrkondensatoren ausgeführt. Die Tauchkondensatoren bestehen aus Rohrschlangen, die in einem von Kühlwasser durchströmten Behälter angeordnet sind. Sie können wegen der schwierigen Reinigung nur verwendet werden, wenn reines Wasser zur Verfügung steht. Die Berieselungskondensatoren sind aus übereinander angeordneten Rohren aufgebaut, über die von oben Wasser rieselt. Um die Verdunstung zur Kühlung mitzubenutzen, werden solche Kondensatoren meist auf dem Dach oder in gut gelüfteten Räumen aufgestellt. Die Doppelrohrkondensatoren bestehen aus ineinandergesteckten Rohren; durch die inneren geht das Kühlwasser, durch den Ringraum zwischen den Rohren fließt das Kältemittel (s. auch Doppelrohre).

Die Verdampfer der Kältemaschinen werden als Eiserzeuger mit seitlich oder unten liegenden, langgewundenen Schlangen, als Salz- oder Süßwasserkühler in runden oder viereckigen Gefäßen mit Rührwerk, als Luftkühlapparate für unmittelbare Verdampfung, z. B. in Form von unmittelbar in den Raum eingebauten Rippen- oder Schlangenkühler für unmittelbare Verdampfung, z. B. für Milch, Bier, Laugen usw., auch in Form von Doppelrohrgegenstrom-Apparaten gebaut.

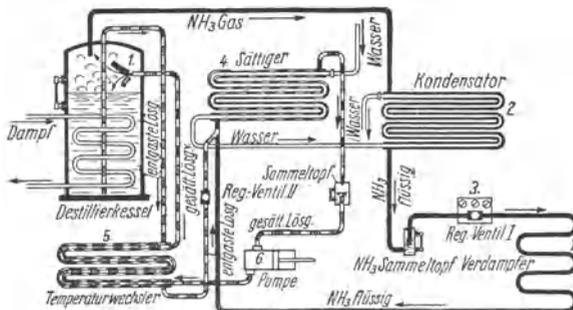


Abb. 1029.
Kreislauf in einer Absorptionskältemaschine.

Die Absorptionskältemaschinen arbeiten ohne Kompressor; hier fördert eine Pumpe das Kältemittel als Lösung auf den Kondensatordruck. Das Absorptionsmittel muß ein hohes Lösevermögen für das Kältemittel haben. In Ammoniakmaschinen verwendet man zur Absorption Wasser, das in der Apparatur einen Kreislauf ausführt. Die aus dem Verdampfer kommenden Ammoniakdämpfe werden in einem Sättiger oder Absorber in Wasser gelöst; eine Pumpe drückt die Lösung in den Destillierkessel, der auch Kocher oder Abtreiber genannt wird; dort trennen sich die Kältemitteldämpfe von dem Wasser, das in den Sättiger zurückkehrt.

Der Kreislauf von Ammoniak und Wasser ist in Abb. 1029 schematisch dargestellt. (Chem. Apparatur 1924, S. 81.) In dem unter hohem Druck stehenden Destillierkessel 1 wird das Ammoniak von der Lösung durch mittelbare Dampfheizung getrennt und geht dann in den Kondensator 2, wo es sich durch Wasserkühlung verflüssigt. Durch das Regelventil tritt es in den Verdampfer 7, wo es den abzukühlenden Stoffen Wärme entzieht, und gelangt in Dampfform in den Sättiger 4. Die im Destillierkessel übrigbleibende heiße Lösung, die einen Ammoniakgehalt von etwa 20 Proz. hat, fließt durch den Wärmeaustauscher 5, wo sie durch die aus dem Sättiger kommende kalte Lösung

gekühlt wird, in den Sättiger. Dort nimmt sie den Ammoniakdampf auf. Die Absorptionswärme wird hier durch Kühlwasser abgeführt. Die Pumpe 6 fördert die angereicherte Lösung, die einen Ammoniakgehalt von etwa 45 Proz. besitzt, zurück, nachdem diese im Wärmeaustauscher 5 durch die arme Lösung erwärmt worden ist.

Der Grundriß einer derartigen Kälteanlage ist in Abb. 1030 dargestellt. Hier bedeuten: 1 Destillierkessel, 2 Wärmeaustauscher, 3 Pumpe für die Lösung, 4 Ammoniaksammeltopf, 5 Tafel mit Manometern—6 Druckregelvorrichtung, 7 Sammeltopf für gesättigte Lösung. (Chem. Apparatur 1924, S. 82.)

Die Absorptionskältemaschinen sind besonders dort am Platze, wo Abdampf reichlich zur Verfügung steht, da sie mehr Wärme als Kraft erfordern, während die Kompressionsmaschinen vorwiegend Kraft verbrauchen. Diese leisten mit 1 PS_e 2000—2500 negative kcal bei kleineren und 2500—3100 negative kcal bei größeren Anlagen, dagegen werden für eine Kälteleistung von 100000 kcal in einer Absorptionsanlage nur 3 PS und 450 kg Abdampf von etwa 100° oder geringem Überdruck gebraucht.

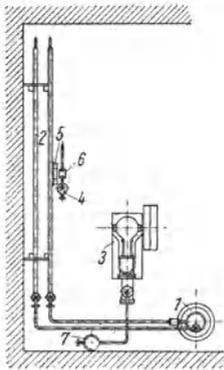


Abb. 1030. Grundriß einer Kälteanlage.

Statt der Kolbenpumpe hat man bei kleinsten Ausführungen auch eine Mammutpumpe (s. d.) zur Förderung der Flüssigkeit aus dem Sättiger in den Destillierkessel zu verwenden und dabei den Spannungsunterschied durch den statischen Druck von Flüssigkeitssäulen zu überwinden gesucht, wobei man ohne bewegte Teile auskommen kann.

Wasserdampf kann für Kompressionskältemaschinen als Kältemittel nicht angewendet werden, da der Rauminhalt von 1 kg Wasserdampf in dem für Kältemaschinen maßgebenden Temperaturbereich zu groß ist. Die Verdichtung des Wasserdampfs auf Drücke, bei denen eine Kondensation durch Kühlwasser möglich wird, ist jedoch mit Hilfe eines Strahlverdichters durch gespannten Dampf ausführbar. Bei den Wasserdampfstrahl-Kältemaschinen wird das Wasser, das unmittelbar als Kältemittel dient, durch Verdampfung eines kleinen Teils unter einem Druck von wenigen Millimeter QS in einem Verdampfer abgekühlt. Der Strahlapparat verdichtet die Dämpfe, so daß sie in einem Kondensator niedergeschlagen werden können. Das Kondensat fördert ein zweiter, mit Druckwasser betriebener Strahlapparat heraus. Man braucht bei einer Verdampfungstemperatur von 0° und einer Kondensationstemperatur von 25° etwa 3 kg Frischdampf von 8—10 at Spannung zum Betrieb des Strahlverdichters für 1 kg Kältdampf, was ungefähr einer Kälteleistung von 190 kcal/kg Frischdampf entspricht. Die Kälteleistung für 1 kg Frischdampf steigt, wenn dieser höhere Spannung besitzt oder hoch überhitzt ist, sie fällt stark ab bei höherer Kondensationstemperatur und tieferer Verdampfungstemperatur. Der Kühlwasserverbrauch der Strahlkältemaschine ist verhältnismäßig hoch, da nicht nur der Kältemitteldampf, sondern auch der Treibdampf bei sehr geringen Temperaturen niederschlagen ist. Der Kühlwasserverbrauch ist ungefähr 4—5mal größer als der der Kondensatoren von Kompressionsmaschinen.

Die Wasserdampfstrahl-Kältemasch. haben daher trotz ihres einfachen Aufbaues im Vergleich mit den Verdichtungsmasch. keine große Verbreitung erlangt.

Lit.: *M. Hirsch*, Die Kältemaschine (2. Aufl., Berlin 1932, Springer). — *F. Merkel* u. *F. Bošnjaković*, Diagramme und Tabellen zur Berechnung der Absorptionskältemaschinen (Berlin 1929, Springer). — *E. Reif*, Störungen an Kältemaschinen (2. Aufl., Leipzig 1925, Spamer). — *F. Merkel*, Verdunstungskühlung (Berlin 1925, VDI-Verlag). — *P. Ostertag*, Kälteprozesse (2. Aufl., Berlin 1933, Springer). — *R. Plank*, Amerikas Kältetechnik (Berlin 1929, VDI-Verlag). — *R. Plank*, Haushaltskältemaschinen (Berlin 1928, Springer). — *E. Reif*, Kleinkühlanlagen für Gewerbe und Haus (2. Aufl., Halle 1928, Marhold). — *R. Stetefeld*, Die Eis- und Kälteerzeugungsmaschinen, ihr Bau und ihre Verwendung in der Praxis (3. Aufl., Stuttgart 1927, Wittwer). — *G. W. Daniels*, Refrigeration in the Chemical Industry (New York 1926, Van Nostrand). — *A. Fischer*, Die Kältemaschine in der Milchwirtschaft (2. Aufl., Hildesheim 1934, Molkerei-Zeitung). — *W. Pohlmann*, Taschenbuch für Kältetechniker (10. Aufl., Hamburg 1935, Hanser-Verlagsanst.). — *K. Drews*, Kältetechnik (Halle 1930, Knapp). — *W. Woolrich*, Handbook of Refrigerating Engineering (New York 1929). — *A. J. Wallis* a. *Taylor*, Industrial Refrigeration (London 1929, Crosby). — *H. J. Marintire*, Handbook of Mechanical Refrigeration (New York 1928, Wiley). — *H. Barnes*, Ice Engineering (Montreal 1928). — *W. Koeniger*, Die Kompressionskältemaschine (München 1921, Oldenbourg). — *H. Lorenz* u. *C. Heinel*, Neuere Kühlmaschinen (München 1922, Oldenbourg). — *F. W. Hoffmann*, Die Eis- und Kühlmaschinen (3. Aufl., Wittenberg 1926, Ziemsen). — *R. Stetefeld*, Die Temperaturregulierung bei Kältemaschinen und Kühlanlagen (2. Aufl., Stuttgart 1929, Wittwer). — *K. Drews*, Verdichtete und verflüssigte Gase (Halle 1928, Knapp). — *M. Krause*, Die Kältemaschinen und ihre theoretischen Grundlagen (Berlin 1932, de Gruyter). — *Liwehrs*, Diagrammatlas für Kältetechniker. Die Raumkühlung (München 1932, Oldenbourg). — *R. Plank* u. *J. Kuprianoff*, Hauskältemaschinen und kleingewerbliche Kühlanlagen (2. Aufl., Berlin 1934, Springer). — *R. Brehm*, Die Kompressionskältemaschine der Molkereipraxis (1933). — *L. Brühl* u. *M. Hirsch*, Kleinkühlanlagen für Fischerei und Fischhandel (Berlin 1933, Parey). — *M. Grubenmann*, I-x-Tafeln feuchter Luft und ihr Gebrauch bei der Erwärmung, Abkühlung, Befeuchtung, Entfeuchtung von Luft, bei Wasserrückkühlen und beim Trocknen (Berlin 1926, Springer). — Regeln für Abnahmeversuche an Rückkühlanlagen. DIN 1947 (2. Aufl., Berlin 1931, VDI-Verlag). — Regeln für Leistungsversuche an Kältemaschinen und Kühlanlagen nebst Erläuterungen, Tabellen und Diagrammen (Berlin 1929, Gesellschaft für Kältewesen). — *M. Krause*, Die Kältemaschinen (Stuttgart 1936, Moritz). — *W. Seifert*, Neue Wege für die Wärmung, Kühlung und Kondensation in der chemischen Fabrik (Chem.-Ztg. 1935, S. 902). Thormann.

Lit. Chem. Apparatur: *K. Schreiber*, Fünfundzwanzig Jahre flüssige Luft (1921, S. 73, 101, 109, 120, 125, 137). — *E. Kolbe*, Kälteerzeugung durch Abdampf. Ein Sonderkapitel des Kraftheizbetriebes (1924, S. 81, 91). — *C. Luckow*, Trockeneis aus Kohlensäure (1931, S. 189). — *P. Ssakmin*, Eine einfache Anlage zur Benzolgewinnung aus dem Koksofengas mittels Ausfrierens bei -45° und 1,3 at abs (1935, S. 37). — *O. Th. Koritnig*, Das elektrische Niederschlagen von Säuren und Säurenebeln und die Reinigung von Luft und Gasen mittels Elektrizität und Kälte (1936, S. 129).

Kälteschutzmittel, s. Wärmeschutzmittel.

Kaltluftmaschinen, s. Kältemaschinen.

Kaltrührer, s. Krystallisierapparate.

Kamelhaare, s. Textilien.

Kamine, s. Schornsteine.

Kammertrockner (s. auch *Trockner*) sind absatzweise arbeitende Einrichtungen, in denen eine von der Trockenluft durchströmte Kammer das auf Horden, Platten oder besonderen Gestellen gelagerte Gut aufnimmt. Sie werden meist nur für kleinere Leistungen (bis etwa 2000 kg Wasserverdunstung/Tag) und für körnige, breiige, meist hochwertige Stoffe, die nur in kleinen Mengen getrocknet werden, verwendet. Man benutzt sie ferner zur Trocknung von landwirtschaftlichen Erzeugnissen, Obst, Gemüse, Kräutern, Gewürzen, Mandeln, Erdnüssen, Kakao, Feigen, Datteln, Rosinen usw. Auch Felle, Häute, Leder, Holz, keramische Erzeugnisse, Nahrungsmittel wie Nudeln usw. werden in Kammern getrocknet. Sie eignen sich besonders für Güter, die langsam trocknen sollen.

Der Aufbau der Kammer richtet sich in erster Linie nach der Art der Beheizung. Bei Dampfheizung wird das Kammergehäuse am zweckmäßigsten aus Holz ausgeführt, und zwar aus gespundeten doppelten Holzwänden,

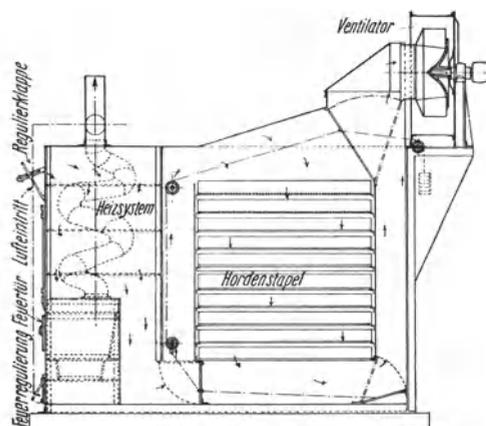


Abb. 1031. Kammertrockner (T. A. G.).

deren Hohlräume ein Isolierstoff ausfüllt. Bei Anwendung hoher Temperaturen, bei Ofen- und Gasbeheizung wird die Kammer aus Eisenblech hergestellt. Oft werden die Kammern auch gemauert. Die Belüftung erfolgt entweder durch einen Ventilator oder durch den Schornsteinzug. Das Trockengut ruht auf Horden, die für körnige oder breiige Stoffe aus Schwarz-, Kupfer- oder Aluminiumblech, für Obst, Gemüse und grobkörnige Stoffe aus Rahmen mit verzinnem oder verzinktem Drahtgeflecht bestehen. Die Horden werden

auf Hordenwagen (10–30 Stück auf einem Wagen) gelagert, von denen mindestens zwei vorhanden sein müssen, damit Auflegen und Abnehmen der Horden möglich ist, während sich der andere Wagen im Trockner befindet. Der Dampfverbrauch für 1 kg Wasserverdampfung beträgt etwa 2 kg bei kleinen und etwa 1,5 kg bei größeren Kammertrocknern; bei Ofenbeheizung werden etwa 12–15 kg Steinkohle für 100 kg Wasserauftrocknung gebraucht. Für 1 kg zu verdampfendes Wasser muß man mit etwa 2–3 m² Rippenheizrohren für Dampf von etwa 2 at Spannung rechnen. Die Luftgeschwindigkeit übersteigt in der Regel nicht einen Wert von 1–3 m/sek.

Einen kleinen Kammertrockner der Trocknungs - Anlagen - Gesellschaft (T.A.G.), Berlin, mit Feuerbeheizung und saugendem Ventilator zeigt Abb. 1031. Die Luft tritt oben in die Heizkammer ein, wird an dem Heizsystem erwärmt und durch einen Ventilator durch den Hordenstapel gesaugt. Ein derartiger Kammertrockner leistet bei der Trocknung von Kochsalz, Casein, Gewürzen, Mandeln 100–150 kg Naßgut, bei der Trocknung von Äpfeln, Kohl u. dgl. etwa 200–300 kg in 8 std. Um eine gleichmäßige Trocknung des Gutes zu ermöglichen, kann die Strömungsrichtung der Luft durch Verstellen von Klappen umgekehrt werden. — Bei größeren Ausführungen erwärmt

man die Luft meist mit Dampfheizkörpern, die aus Bündeln von Rohren bestehen; diese werden außen von der zu erwärmenden Trockenluft umspült. Um bei langsam trocknenden Gütern den Wärmeverbrauch zu mindern, sieht man häufig am Abluftaustritt eine regelbare Verbindung, einen Frischlufteintritt, vor, um einen Teil der warmen Abluft der Kaltluft zuzumischen.

Auf Kosten der Trockendauer kann man bei manchen Gütern Betriebsersparnisse erzielen, wenn man zeitweise in Abständen Ventilator und Heizeinrichtung abschaltet. — Um die Querverföderung der Feuchtigkeit von innen nach außen durch einen künstlichen Strömungsvorgang zu unterstützen, kann man nach *S. Kießkalt* (Z. VDI 1934, S. 217) den Druck der Trockenluft in regelmäßigen Abständen um einen kleinen Betrag schwanken lassen, so daß diese nach Art einer Atmung in die Poren des Gutes eindringt und sich die Feuchtigkeit abgebende Oberfläche entsprechend vergrößert. Man arbeitet dabei mit 30—100 Druckschwankungen/min, die abwechselnd in zwei an einen gemeinsamen Ventilator angeschlossenen Kammern erzeugt werden.

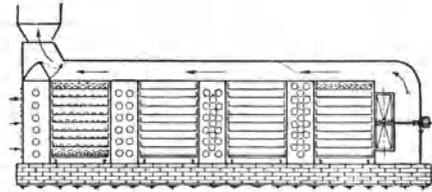


Abb. 1032. Trockner mit mehreren Kammern (T. A. G.).

Größere Trockner werden mit mehreren Kammern ausgeführt, die nacheinander (hintereinandergeschaltet) oder sämtlich gleichzeitig (parallelgeschaltet) von der Trockenluft durchströmt werden. Einen Trockner mit mehreren

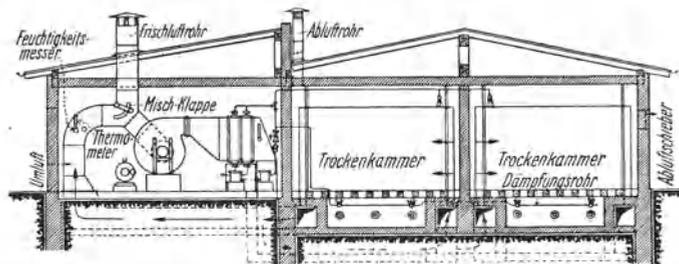


Abb. 1033. Kammertrocknungsanlage (M. A. N.).

Kammerabteilungen, durch die ein Ventilator Luft in einem Zuge saugt, zeigt Abb. 1032. Die Abluft wird entweder ausgestoßen oder teilweise wieder der Frischluft zugemischt. Durch das vor dem Trockner befindliche Gleis werden die Wagen in bestimmten Abständen in eine andere Kammer gebracht, damit die wärmste Luft immer auf das feuchteste Gut trifft. Um das Wechseln der Hordenwagen von Kammer zu Kammer und die damit verbundenen Wärmeverluste und Betriebskosten zu vermeiden, kann man die Horden in den Kammern stehenlassen und den Luftstrom dem fortschreitenden Trocknungsvorgang entsprechend von Kammer zu Kammer in geeigneten Abständen schalten, wie es bei Anreicherungsverfahren üblich ist.

Eine größere Kammertrocknungsanlage, die sich besonders zur Trocknung von Holz eignet, zeigt Abb. 1033. Die Apparate und Meßeinrichtungen befinden

sich in einem besonderen Raum neben den Trocknungskammern. Es kann hierbei mit Mischluft gearbeitet werden, indem ein Teil der feuchten Luft durch die mit einem Schieber zu regelnde Abluftöffnung ins Freie gelassen und die Restluft mit der Frischluft zusammen von dem Ventilator angesaugt wird.

Lit.: Siehe Trockner.

Th.

Kanalrockner (s. auch *Trockner*, *Kettentrockner*). Das zu trocknende Gut wird auf Horden, die auf Wagen ruhen, oder auf anderen Vorrichtungen durch einen 10—50 m langen Kanal bewegt und dabei der trocknenden Luft ausgesetzt. Hierdurch erhält man ein ununterbrochen arbeitendes Trocknungsverfahren, bei dem man im Gleich- oder im Gegenstrom, mit oder ohne Stufentrocknung arbeiten kann. Die Kanalrockner werden ein- oder mehrgleisig, aus Holz, Gips- oder Zementplatten, Eisenblech oder Mauerwerk ausgeführt. Das Gut ruht entweder auf Horden aus Schwarzblech (auch verzinkt oder verzinnt), Aluminium- oder Kupferblech, auf Horden aus Furnierholz oder auf Rahmen, die mit Drahtgeflecht bespannt sind, oder

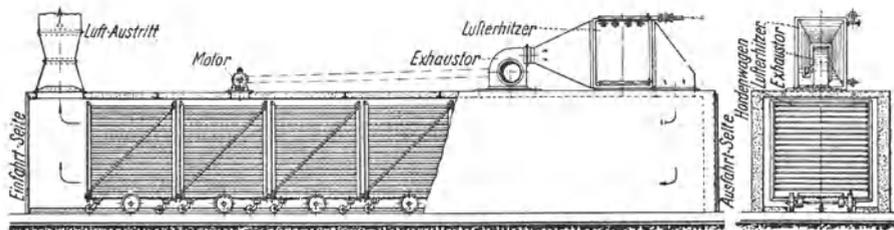


Abb. 1034. Kanalrockner (T. A. G.).

auf Stangen oder ähnlichen Einrichtungen. Zur Beheizung dienen Dampfheizkörper oder Feuerungsgaswärmeaustauscher. (Siehe auch Beheizungs-
vorrichtungen.) Die durch Ventilatoren erzeugte Luftgeschwindigkeit beträgt 1—8 m/sek.

Die Bewegung der Wagen durch den Kanal erfolgt bei kleinen Trocknern durch Schieben von Hand, bei größeren durch Handwinden oder mechanisch angetriebene Vorschubvorrichtungen. Am Ein- und Ausfahrtsende besitzt der Kanal Schwenk-, Hub- oder Schiebetüren. Die Höhe der Kanalrockner beträgt bis zu 2 m, weil die Hordenwagen des Beladens wegen nicht höher ausgeführt werden dürfen. Der Zwischenraum zwischen Kanal und Wagen ist so eng wie möglich zu wählen, damit die Luft über das Gut, nicht durch diese Zwischenräume geht. Die Gutgeschwindigkeit beträgt 5—50 mm/sek, in manchen Fällen auch mehr. Da im Kanal Über- oder Unterdruck vorhanden ist, kann man bei großen Kanalrocknern durch Anordnung doppelter Türen Luftschleusen bilden, die unerwünschte Luftströmungen und die damit verbundenen Wärmeverluste beim Aus- und Einfahren der Hordenwagen vermeiden.

Einen einfachen Kanalrockner mit Dampfbeheizung der T. A. G., Berlin, zeigt Abb. 1034. — Da bei einmaliger Anwärmung der Luft deren Anfangstemperatur sehr hoch zu wählen wäre, was meist nicht zulässig ist, kann man die Luft mehrmals auf ihrem Gang durch den Trockner vorwärmen, indem man sie in mehreren Stufen aus dem Kanal führt und durch Luft-

erhitzer drückt. Der Trockenluftstrom geht im Zickzackweg durch den Kanal, wobei die Temperatur in jeder Stufe gesteigert werden kann. — Einen mit

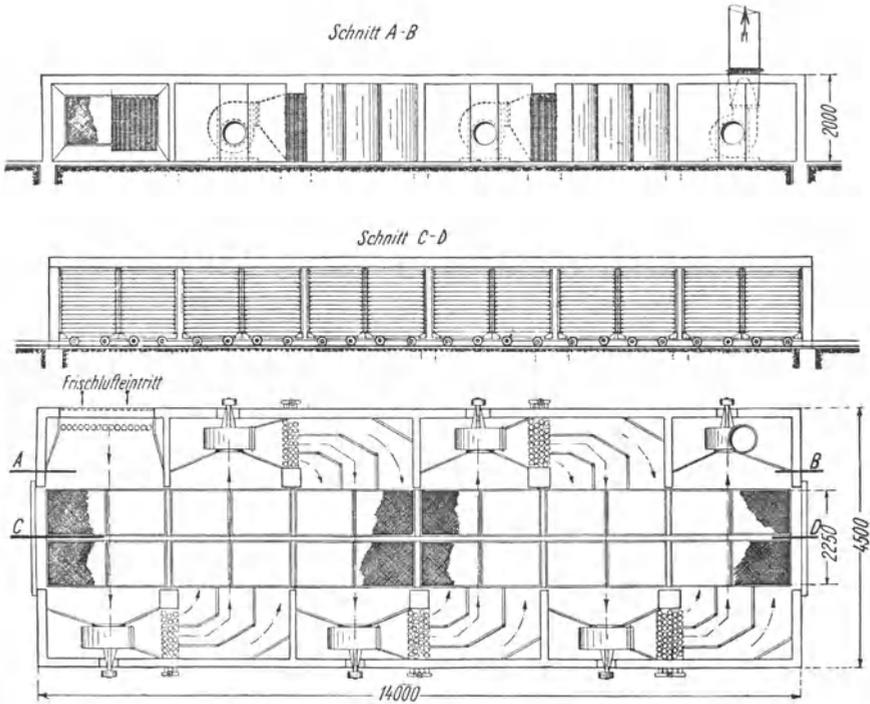


Abb. 1035. Kanal für Stufentrocknung (T. A. G.).

Stufentrocknung arbeitenden Kanal der Trocknungs-Anlagen-Gesellschaft zeigt Abb. 1035. Die Anordnung der Ventilatoren ist so getroffen, daß sich zwischen zwei Ventilatoren stets eine leere Kammerabteilung befindet, die zur Umlenkung der Luft dient und daher mit Leitwänden versehen ist, und daß die Ventilatoren der gegenüberliegenden Seiten versetzt zueinander stehen. Die Heizflächen sind mit fortschreitender Sättigung der Luft vergrößert aus-

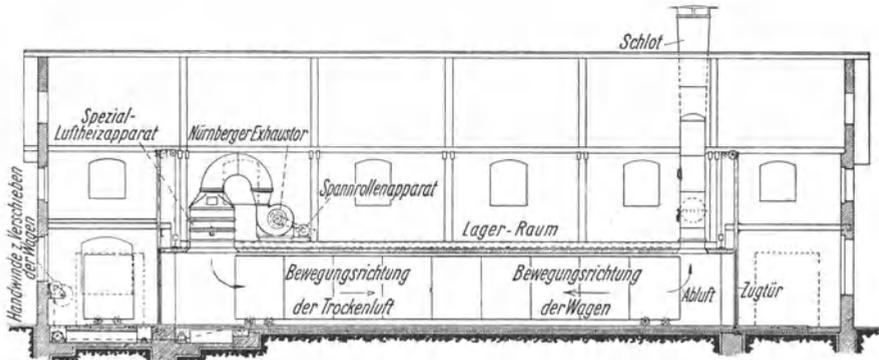


Abb. 1036. Kanaltrocknungsanlage (M. A. N.).

geführt. Die zahlreichen Ventilatoren mit den zugehörigen Antrieben und Heizkörpern verteuern die Anlage erheblich. Da außerdem der Platzbedarf wesentlich größer ist, sucht man in den meisten Fällen mit einem einfachen Kanal, der im Gleich- oder Gegenstrom betrieben wird, auszukommen. In der Textilindustrie werden jedoch Stufenkanaltrockner häufig verwendet. — Eine größere Kanaltrocknungsanlage der M. A. N., Nürnberg, die im Gegenstrom arbeitet und beiderseits durch Zugsüren verschlossen ist, zeigt Abb. 1036.

Die Kanaltrockner eignen sich besonders für große Leistungen und für die Verarbeitung von Gütern, die laufend in großen Mengen und mit gleichbleibender Beschaffenheit zu trocknen sind.

Als Sonderbauarten der Kanaltrockner sind die Bandrockner (s. d.) und die Kettentrockner (s. d.) anzusehen.

Lit.: Siehe Trockner. — *Rietschel-Henneberg*, Kanaltrocknungsanlage (Gesundh.-Ing. 1927, S. 921).

Th.

Kanonenmetall, s. Bronzen.

Kapnographen, s. Staubschreiber.

Kapselgebläse dienen zur Förderung von Gasen auf Drücke bis zu etwa 5 m WS und werden am meisten bis zu Leistungen von etwa 300 m³/min ausgeführt. Gewöhnlich verwendet man sie für Drücke bis zu etwa 1 m WS. Die Kapselgebläse arbeiten mit sich drehenden Flügeln, die das Gas fassen

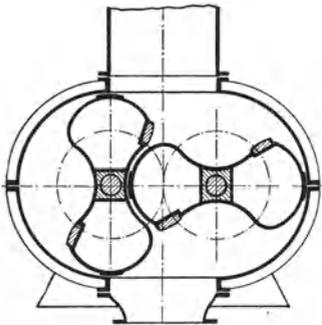


Abb. 1037. Kapselgebläse.

und bei der weiteren Drehung durch eine Verkleinerung des Raums herausdrücken. Sie arbeiten ohne Ventile, weshalb sie sich besonders auch für teerausscheidende Gase eignen. Durch Veränderung der Drehzahl ist mit ihnen eine weitgehende Regelung der Liefermenge möglich.

Das sog. *Root*-Kapselgebläse (Abb. 1037) arbeitet mit zwei sich in einem Gehäuse mit geringem Spiel drehenden Kolben. Beide Kolben bewegen sich mit Hilfe zweier außen auf die Wellen gesetzter, ineinanderkämmender Zahnräder in entgegengesetzter Richtung mit genau gleicher Winkelgeschwindigkeit. Dabei wird von jedem Kolben bei einer Umdrehung eine bestimmte

Gasmenge erfaßt und darauf von dem anderen Kolben verdrängt. Die Abdichtung besorgen eingesetzte Leisten aus Filz oder Metall.

Zu den Kapselgebläsen gehören auch die sog. Kreiskolbengebläse. Bei dieser Bauart kann man nicht nur die sog. Liniendichtung, d. h. eine Dichtung in der gegenseitigen Berührungslinie der Innenteile, sondern auch jede gegenseitige Abwälzung, Gleitung und Schieberbewegung der Innenteile vermeiden. Bei dem *Jäger*-Kreiskolbengebläse, das sich für Druckunterschiede bis zu etwa 3 m WS eignet, sind die abdichtenden Flächen als symmetrisch angeordnete Kreiszyklinderteile ausgeführt.

Das Gehäuse dieses Gebläses hat die Form von zwei teilweise ineinandergreifenden Zylindern. Die unteren Seitendeckel sind je mit einem angegossenen zylindrischen, oben eingebuchteten Ansatz versehen. Nach Befestigung der

Deckel bleibt in der Mitte zwischen diesen Ansätzen ein schmaler Raum frei. Die beweglichen Innenteile bestehen aus dem auf der angetriebenen Stahlwelle befindlichen Arbeitskolben und dem mit gleicher Drehzahl umlaufenden, durch Zahnräder bewegten Steuerkolben. Der Arbeitskolben besteht aus einer Scheibe, aus der nach beiden Seiten die Kolbenarme hervorragen. Die Oberfläche des zylindrischen Steuerkolbens enthält durchgehende Aussparungen und in der Mitte einen senkrechten, bis zur Nabe führenden Schlitz, wie Abb. 1038 veranschaulicht. In diesem Schlitz bewegt sich die Kreisscheibe des Arbeitskolbens, den Abb. 1039 in einem Beispiel zeigt. Nur der auf der angetriebenen Welle befindliche Arbeitskolben übernimmt die Verdichtungsarbeit. Der andere, walzenähnliche Drehkörper dient lediglich zur Steuerung, indem er die einzelnen Arme des Arbeitskolbens von der Ausblase- seite zurückführt.

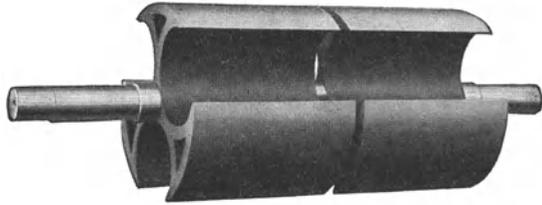


Abb. 1038.
Steuerkolben zum Jäger-Kreiskolbengebläse.

Ein Jäger-Kreiskolbengebläse (C.H. Jäger & Co., Leipzig-Plagwitz) zeigt Abb. 1040

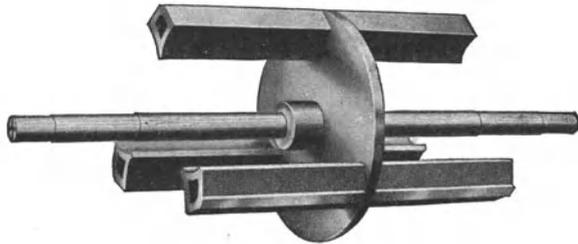


Abb. 1039. Arbeitskolben mit Stahlwelle zum Jäger-Kreiskolbengebläse.

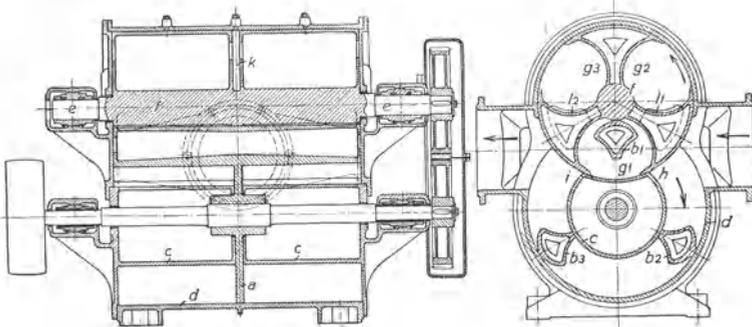


Abb. 1040. Jäger-Kreiskolbengebläse für Luft.

im Schnitt. Die Kolbenarme des Arbeitskolbens sind mit b_1 , b_2 und b_3 , die Aussparungen im Steuerkolben mit g_1 , g_2 , g_3 und die eine Rückströmung verhindernden Kanten mit i und h bezeichnet. Die Seitendeckel des Gehäuses d tragen die Ansätze c , zwischen denen sich die Kreisscheibe a bewegt. Den oberen Teil des Schlitzspaltes im Steuerkolben f , der in den Lagern e ruht, schließt das Füllstück k ab. Um zu vermeiden, daß die im

Hohlraum des Steuerkolbens eingeschlossene Gasmenge verloren geht, und um Luftgeräusche zu vermindern, sind die Seitendeckel des Gebläses mit taschenartigen Aussparungen l_1, l_2 versehen, die den Druck ausgleichen zwischen dem von der Ausblaseseite nach der Saugseite sich bewegenden und dem in der Drehrichtung des Steuerkolbens vorgehenden Hohlraum desselben Drehkörpers. Das Jäger-Kreiskolbengebläse arbeitet nach beiden Richtungen gleich gut. Die Liefermenge ist ausschließlich abhängig von der Drehzahl und wird auch bei erheblichen Schwankungen des Druckunterschiedes nicht beeinflusst.

Nach einer ähnlichen Wirkungsweise arbeiten die sog. Zellenverdichter (s. d.).

Lit.: Siehe Gebläse.

Th.

Karma, s. Nickel-Chrom-Legierungen.

Kathoden, s. Elektrolyseure.

Kautschuk, s. Gummi.

Kautschukzemente, s. Kitte.

Kauwerke, s. Backenbrecher.

Kegelbrecher (Kreiselbrecher, Rundbrecher; s. auch *Zerkleinerungsmaschinen*) dienen zur Grobzerkleinerung für vorwiegend stückiges Erzeugnis, da der Brechkegel *a* (Abb. 1041) infolge seiner exzentrischen Bewegung

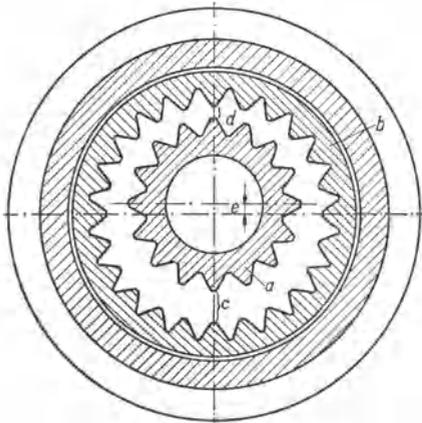


Abb. 1041. Schematischer Querschnitt durch einen Kegelbrecher.

gegenüber dem Mahlrumpf (Mantel) *b* auf Druck oder auf Druck und Biegung (wie bei *c*), aber nicht mahlend wirkt und sonach weder Schrot noch Mehl erzeugt. Die Einrichtung und Arbeitsweise eines Kreiselbrechers der Eschwerke, Duisburg a. Rh., zeigt Abb. 1042. Der Brechkegel *a* ist auf der Brecherachse *b* aufgekeilt, die oben in dem als Kugelgelenk ausgebildeten Traglager *c* hängt und unten in der exzentrischen Bohrung der Büchse *d* läuft. Diese wird mittels der Kegelräder *e* und *f* von der Fest- und Losscheibe *g, h* angetrieben und versetzt die Brecherachse in eine der Exzentrizität *e* (Abb. 1041) entsprechende pendelnde Bewegung, wodurch sich der Brechkegel am Mantel (Mahlrumpf) *i* mit einem gewissen Spiel-

raum gleichsam abwälzt. Dort, wo sich der Brechkegel dem Brechring nähert (*d* in Abb. 1041), findet die Brechwirkung statt, während auf der gegenüberliegenden Seite *c* (Abb. 1041) ein Spalt für den Ausfall des zerkleinerten Gutes freigegeben wird. Die Brecherachse führt nur die Pendelbewegung, aber keine Drehbewegung um ihre eigene Achse aus. Das Gehäuse besteht aus 3 Teilen: dem oberen Teil *k*, der an kräftigen Armen das Lager *c* trägt

und als Einwurf dient, dem mittleren Teil, dem Mahlrumpf *i* mit den Brechringen *l*, und dem unteren Teil *m*, der als Gestell dient und den Auslauf *n* sowie die Lager trägt. Die Antriebsscheibe ist nicht auf der Welle aufgekittet, sondern nimmt diese mittels eines Bolzens mit, der bei Überlastung bricht, leicht auswechselbar ist und die eigentlichen Konstruktionsteile gegen Bruch sichert. Brechkegel und Mantel sind in der Regel geriffelt; die Spaltweite kann durch Nachstellen mittels einer Schraube entsprechend der zu erzielenden Stückgröße und der Abnutzung geregelt werden. Anstatt des Riemenantriebes verwendet man besser den elektrischen Antrieb; die gleichmäßige

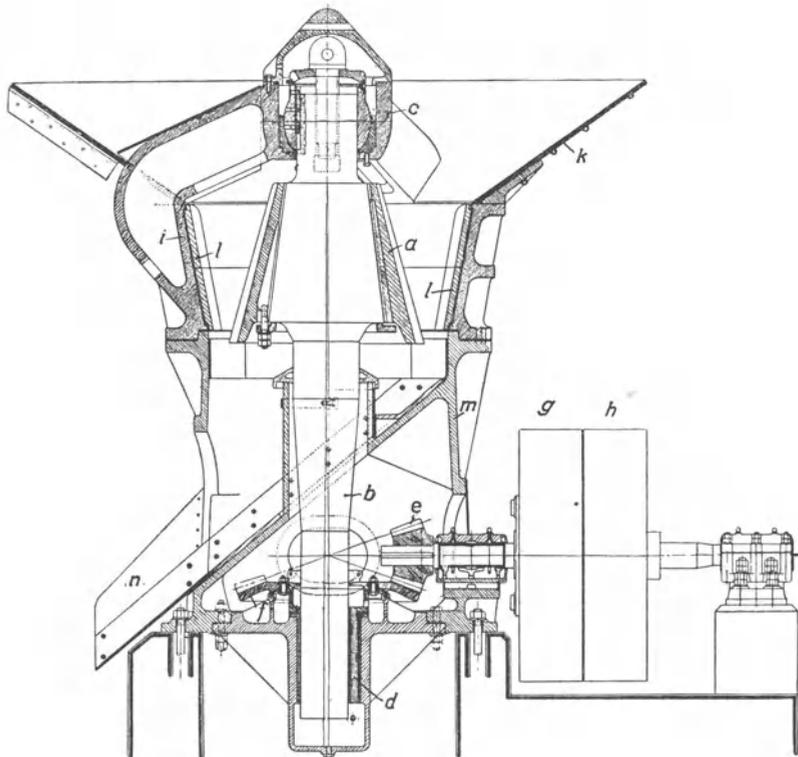


Abb. 1042. Schnitt durch einen Kegelbrecher (Esch-Werke).

Brecharbeit des Kegelbrechers vermeidet starke Stromstöße und schont den Motor. Während die Großbackenbrecher meist zur Vorzerkleinerung dienen, geschieht das Nachzerkleinern in Kegelbrechern mit einer Leistung von normal bis zu 500 t/std; man geht jedoch bereits zur Aufstellung von Großkreiselbrechern mit 1000 t/std und darüber.

Zur Herstellung eines feinen, gleichmäßig würflichen Ausgutes dienen die Feinkreiselbrecher, die ähnlich gebaut sind und dem Zweck entsprechend kleinere Abmessungen aufweisen. Abb. 1043 zeigt einen Feinkreiselbrecher der Esch-Werke, Duisburg. Die mit den gleichen Buchstaben wie in Abb. 1042 bezeichneten Bestandteile haben die gleiche Bedeutung. Der

Brechring l und der Brechkegel a können gezähnt oder glatt sein, wobei die Ausführung mit Zähnen weniger Sand im Ausgut ergibt als die glatte Ausführung, sogar noch weniger Sand als andere Zerkleinerungsmaschinen, die auf die gleiche Feinheit arbeiten, wie z. B. Granulatoren, Walzwerke usw. Die Brecherachse b vollführt auch hier zufolge der exzentrischen Lagerung in der Büchse d eine Pendelbewegung und kann mittels der Schraubenmutter p am Kopf der Brecherachse nachgestellt werden, wenn der Spalt infolge Abnutzung zu weit geworden ist oder dem Zerkleinerungsgut angepaßt werden soll. Der Brechring l ist symmetrisch ausgeführt und kann nach Abnehmen des Oberteils k samt dem Brechrumpf (Mantel) i umgedreht werden, falls er unten (im Spalt) schon zu stark abgenützt ist. Die Achse des

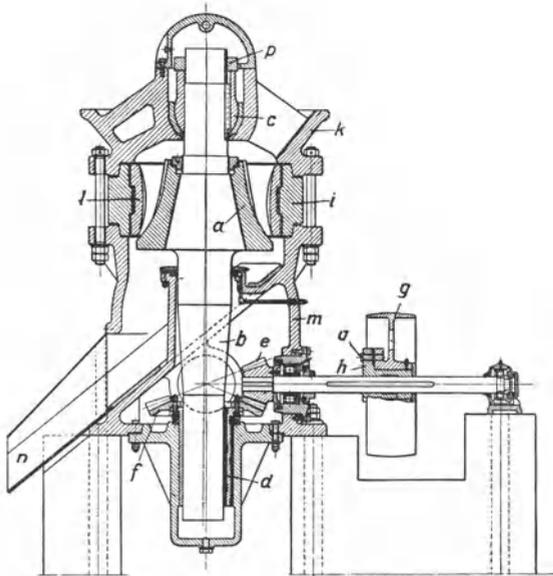


Abb. 1043. Schnitt durch einen Feinkreiselbrecher (Esch-Werke).

Kegelrades e wird von der Losscheibe g aus vermittels der aufgekeilten Muffe h und des Bolzens o angetrieben, wobei dieser Bolzen wieder als Sicherheitsverbindung dient und bei Überlastung bricht, ehe andere Teile zu Schaden kommen. Das Anwendungsgebiet des Feinkreiselbrechers ist die Herstellung von Edelsplitt, Betonkies, Aufschließung von Erzen aller Art usw. Zähne und härteste Materialien können hier selbst bei höherem Feuchtigkeitsgehalt zerkleinert werden, wie z. B. Quarzit, Basalt, Diabas, Porphy, Hochofenschlacke, Kalkstein, Eisen-, Chrom-, Wolfram-erze, Schwefelkies usw. In konstruktiver Hinsicht ist

noch zu bemerken, daß, wie Abb. 1042 und 1043 erkennen lassen, alle Lager und Führungen sowie die Kegelräder staubdicht eingekapselt sind.

Andere Kegelbrecher (vgl. *C. Naske*, Zerkleinerungsvorrichtungen, S. 35, 4. Aufl., Leipzig 1926, Spamer) sind grundsätzlich ähnlich eingerichtet und unterscheiden sich nur in baulichen Einzelheiten; so hat z. B. der *Gates*-Brecher anstatt des Kugelenklagers ein solches mit Spielraum für den oberen Zapfen, um der Brecherachse die erforderliche Bewegungsfreiheit für das Pendeln zu gewährleisten. — Der Kreiselbrecher der Maschinenbauanstalt Humboldt, Köln-Kalk, hat einen zylindrischen, geteilten Brechring und geteilten Brechkegel, um die Auswechslung der abgenutzten Teile zu erleichtern; ferner läßt sich die Exzentrizität der Büchse für den Fußzapfen verändern, um die Größe der Pendelbewegung der gewünschten Korngröße anzupassen. — Gebr. Pfeiffer, Kaiserslautern, versehen ihre Kreiselbrecher mit einer quadratischen Einwurfföfnung, ebenso ist der obere Teil des Brechraumes quadratisch und

geht allmählich in den runden Querschnitt über; dies hat den Vorteil, daß das Zerkleinerungsgut vom Brechkegel sicher erfaßt und zerdrückt wird. Es können einem solchen Brecher größere Stücke als einem mit runder Einwurföffnung aufgegeben werden.

Eine andere Bauweise hat der Kegelbrecher von *E. B. Symons*, der von der Contractor Supply and Equipment Co., Chicago, gebaut wird (Abb. 1044). Die im Mahlrumpf *a* mit drei kräftigen Armen *b* feststehend gehaltene Brecherachse *c* ist in ihrer ganzen Länge von einer Hülse *d* umgeben, deren innerer Umfang einen anderen Mittelpunkt als der äußere hat. Da der Brechkegel *e* am äußeren Umfang der Hülse sitzt, macht er eine zum Mahlrumpf *a* bzw.

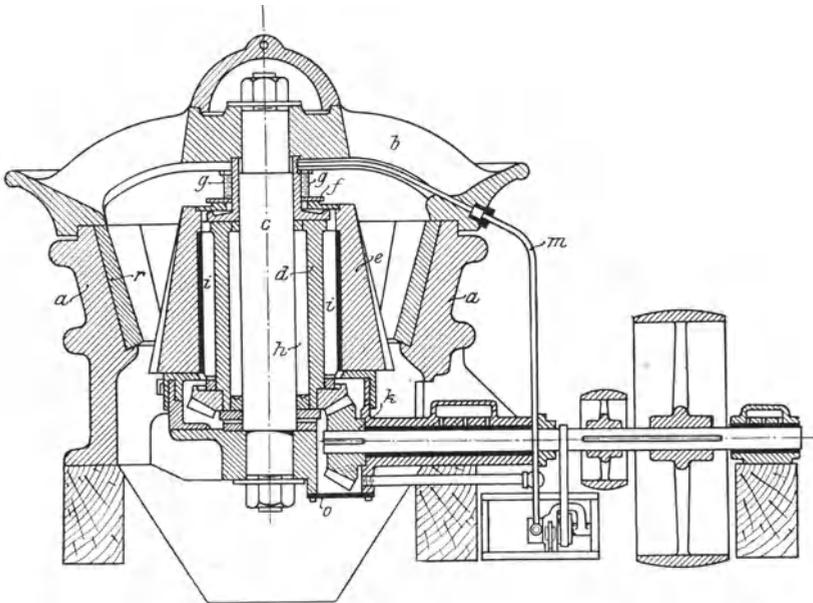


Abb. 1044. *Symons*-Brecher der Contractor Supply and Equipment Co.
(Nach *Naske*, Zerkleinerungsvorrichtungen.)

Brechring *r* exzentrische Bewegung, wobei aber seine Längsachse stets parallel zur Längsachse des Brechringes bleibt. Dies hat zur Folge, daß die Brechwirkung im Maul (oben) die gleiche wie im Spalt (unten) ist. Der Antrieb der Hülse *d* erfolgt durch das Kegelrad *k* von einer Riemenscheibe aus. Der Brechkegel *e* ist durch den Ring *f* und die Schrauben *g* an der Aufwärtsbewegung gehindert; letztere dienen im Verein mit dem Winkelisen, auf denen der Brechkegel gleitet, zur Veränderung der Spaltweite (zwischen Brechring und Brechkegel). Sehr sorgfältig ist die Schmierung ausgeführt, indem das Öl von der Pumpe aus durch das Rohr *m* in die Hohlräume *h* und *i* und von diesen in die Kammer *o*, in der das Rad *k* läuft, gedrückt wird. Von der Kammer *o* gelangt das Öl wieder zur Pumpe zurück.

Unter der Bezeichnung „Symons-Brecher“ bringt die Fried. Krupp-Grusonwerk A.-G., Magdeburg, einen Kegelbrecher heraus, der grundsätzlich

anders arbeitet, wenn er auch ähnlich gebaut ist. Wie die Abb. 1047 erkennen läßt, besteht der Unterschied darin, daß dieser Brecher gegenüber den anderen Kegelbrechern mit steilem Kegel (Abb. 1045), einen flachen Kegel (Abb. 1046) hat. Nach Abb. 1045 werden die Fallwege zwischen zwei Brechhüben gegen den Austragsspalt zu immer kürzer, was eine Stauung im unteren Brecherteil, starken Sandanfall, erhebliche Reibung, hohen Verschleiß der Brechorgane bei kleiner Leistung und bei großem Kraftverbrauch ergibt. Nach Abb. 1046 werden die Fallwege zwischen zwei Brechhüben gegen den Austragsspalt zu immer länger; die Folge ist eine Auflockerung, geringer Verschleiß, hohe Leistung und niedriger Kraftverbrauch. Die konstruktive Durchbildung des

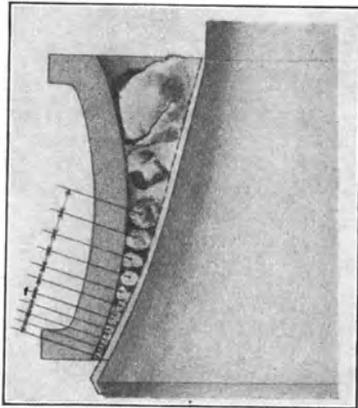


Abb. 1045. Kegelbrecher mit steilem Kegel (Phot. Krupp-Grusonwerk A.-G.).

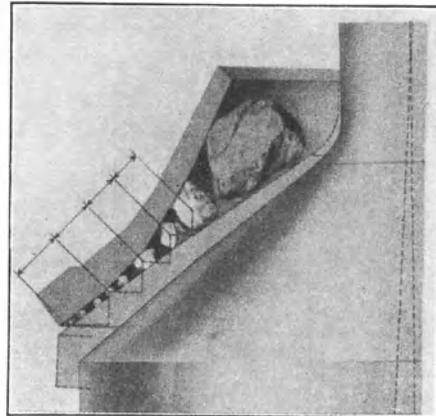


Abb. 1046. Kegelbrecher mit flachem Kegel (Symons-Brecher der Krupp-Grusonwerk A.-G.).

Symons-Brechers ist aus Abb. 1047 zu entnehmen. Der Brechkegel *a* sitzt auf einem Tragkegel *b*, der auf der Kugelhauptlagerschale *c* ruht und auf der Hauptachse *d* aufgekeilt ist. Diese ist mit ihrem kegelförmigen Fußende in der Exzenterbüchse *e* geführt und macht mit dieser die Drehung mit. Auf diese Weise vollführt der Brechkegel *a*, da kein Halslager vorhanden ist, eine Taumbewegung, derzufolge sich der Spalt (unterer Abstand des Brechkegels *a* vom Brechmantel *f*) verengt und erweitert. Die in der Zeichnung dargestellte Lage der Hauptachse ergibt links den Arbeitsspalt für die zu erzielende Korngröße, rechts den Austragsspalt. Die Exzenterbüchse *e* wird durch die Kegelräder *g* und *h* von der Riemenscheibe *i* angetrieben. (Für elektromotorischen Antrieb ist ein Keilriemengetriebe vorteilhaft.) Die Aufgabe des Brechgutes erfolgt durch den Stutzen *k*; das Brechgut gelangt auf den Streuteller *l* und von diesem in den Einlauftrichter *m* über dem Maul *n*, das dem oberen Abstand des Brechkegels *a* vom Brechmantel *f* entspricht und die Vorzerkleinerung bewirkt. Maul- und Spaltweite können mittels des Windwerks *o* und der Schraubenverbindung des Einstellringes *p* mit dem Brechrumpf *q* eingestellt werden; zur Verhütung von Brüchen der arbeitenden Teile beim Eintritt von Fremdkörpern oder bei Überlastung ist der Brechrumpf *q* an Federn *r* auf-

gehängt. Sämtliche Lagerstellen und die Zahnräder werden durch eine Umlaufschmierung *s* ständig unter Öl gehalten. Die Symons-Brecher werden in je 5 Größen als Grobbrecher mit Maulweiten von 76, 115, 172, 250 und 365 mm bzw. Spaltweiten von 12—38, 12—50, 12—50, 12—65 und 12—65 mm bei einer stündlichen Leistung von durchschnittlich 14—34, 24—55, 55—110, 70—250 und 120—500 m³ und als Feinbrecher mit einer Maulweite von 42, 76, 115, 215 und 280 mm bzw. Spaltweite von 3—12, 3—12, 5—12, 6—12 und 10—15 mm bei einer stündlichen Leistung von durchschnittlich 4—14, 8—24,

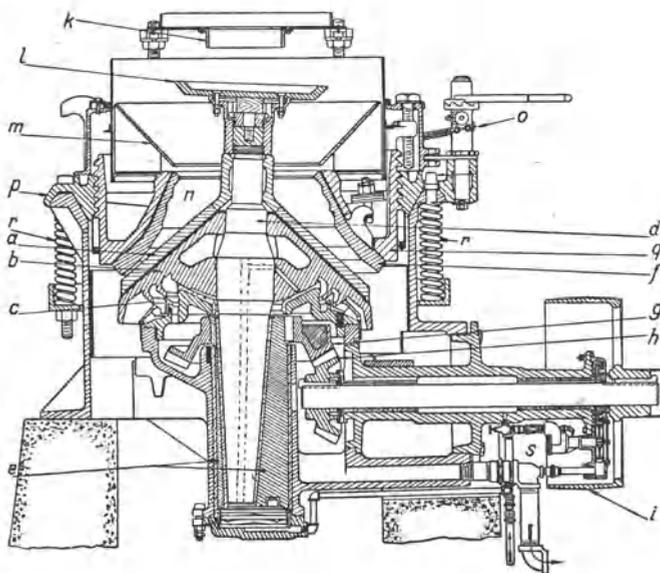


Abb. 1047. Längsschnitt durch den Symons-Brecher der Krupp-Grusonwerk A.-G.

18—45, 35—70 und 100—150 m³ ausgeführt. Der Kraftbedarf beträgt 25—30, 50—60, 75—100, 150—200 und 250—300 PS. Die kleineren Brecher erhalten glatte Brechflächen, die größeren ein gerilltes Brechmaul. Die Spaltweite bestimmt die zu erzielende Korngröße; auch der Zerkleinerungsgrad, d. i. das Verhältnis der Maulweite zur Spaltweite ist kennzeichnend und beträgt bis zu 35 : 1 gegenüber 7 : 1 bis 9 : 1 bei gewöhnlichen Brechern und 4 : 1 bis 5 : 1 bei Walzenmühlen. Dieses große Zerkleinerungsverhältnis macht einen Vorbrecher entbehrlich.

Kegelmühlen, s. Glockenmühlen.

Keimfilter, s. Filter, Metallfilter, Stoffgasfilter.

Keralith, s. Kitte.

Keramische Werkstoffe nebst Beispielen ihrer Verwendung.

1. Die allgemeinen Grundlagen der keramischen Fabrikationen.

Den plastischen Eigenschaften der hauptsächlichsten keramischen Rohstoffe Ton, Kaolin und Speckstein, ihrer Verformbarkeit und Erhärtung durch den Brand verdanken die keramischen Erzeugnisse in erster Linie ihre vielseitige Verwendungsfähigkeit. Der Name „Kaolin“ stellt eine Sammelbezeichnung von Naturprodukten auf primärer Lagerstätte dar, die in ihrer inneren Struktur vielfach verschieden sind und an jedem Fundorte lokale Eigenschaften aufweisen. Neben den chemischen Unterschieden werden die physikalischen Merkmale der Kaoline hauptsächlich gekennzeichnet durch die Verschiedenheit ihrer Plastizität. In wesentlich verstärktem Maße gilt dies vom „Ton“, der sich infolge natürlicher Schlammung auf sekundärer oder tertiärer Lagerstätte findet und bei diesem Transport ebenso oft verunreinigt wie auf natürlichem Wege von seinen schädlichen Beimengungen befreit wurde, hierbei jedoch fast stets seine Bildsamkeit steigerte. So bildet die allgemeine Grundlage aller keramischen Tätigkeit das Formen des gewünschten Gegenstandes vermöge der plastischen Eigenschaften der Masse und die spätere Verfestigung durch Trocknen, Brennen und die hierbei vor sich gehenden chemischen Reaktionen, Lösungen und Krystallisationen. Hierbei entstehen je nach chemischer Zusammensetzung, Brenntemperatur und Schwindung des Gegenstandes Erzeugnisse poröser oder dichter Struktur. Relativ jungen Datums ist die sachgemäße, auf systematischer Forschung beruhende Verwendung des Specksteins. Seine außerordentliche Härte und mechanische Festigkeit nach dem Brande verleihen ihm die größte Verwendungsmöglichkeit für technische Zwecke. Er ist im Gegensatz zu den Aluminiumhydrosilicaten Kaolin und Ton ein Magnesiumhydrosilicat, über dessen geologische Entstehung die Wissenschaft noch nicht vollkommen klar sieht.

Ein neuer Fortschritt von ganz außerordentlicher Bedeutung wurde durch die Verarbeitung völlig unplastischer Materialien erzielt. Denn hierdurch war es möglich, auch reine Oxyde und andere an sich unplastische Stoffe, frei von Kieselsäure usw., zu verformen. Folgende hochfeuerfeste Stoffe werden nach diesen neuen Methoden verarbeitet: Al_2O_3 (Schmelzp. 2050°), $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (Schmelzp. 2135°), BeO (Schmelzp. über 2500°), ZrO_2 (Schmelzp. 2700°), MgO (Schmelzp. 2800°), ThO_2 (Schmelzp. 3000°) und ZrSiO_4 (Verwendungsgrenze 1750°).

Die ursprüngliche Verarbeitung keramischer Massen erfolgte ausschließlich mit der Hand, indem man die plastische Masse durch Zusatz von etwa $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{3}$ Wasser knetbar machte, so daß sie, ohne zu brechen oder Risse zu bekommen, sich einer Form anpassen ließ. Neben der Verarbeitung der plastischen Masse in handgerechtem Zustande findet heutzutage das Gießverfahren ausgedehnte Benutzung, welches im wesentlichen durch die Fähigkeit zahlreicher Kaoline und Tone, nach Zusatz von Alkalien und anderer Elektrolyte in gießfähigen Zustand überzugehen, ermöglicht wird. Als Hilfsmittel zur Verarbeitung dieser Gießmassen benutzt man Gipsformen, die infolge ihrer Porosität aus dem breiförmigen Schlicker das Wasser ansaugen, wodurch sich die keramische Masse in gleichmäßiger Dicke an der Gipsform ansetzt, bis die gewünschte Wandstärke erreicht ist. Je nach der Art des herzustellenden Stückes wird der überschüssige Schlicker zurückgegossen oder die Hohlteile der zu gießenden Waren durch einen Gipskern gebildet.

Für zahlreiche kompliziert gestaltete Stücke wird heutzutage ein sog. Stanzverfahren benutzt. Die getrocknete und gepulverte keramische Masse wird zu diesem Zweck entweder trocken ohne Zusatz oder mit sehr wenig Wasser, Petroleum und Öl durchgeknetet und dann unter hohem Druck in Metallmatrizen geformt. Bis zu diesen letztgenannten Verfahren der modernen Keramik war der Weg aus der Urzeit ein weiter. Aber in den letzten Jahrzehnten hat die auf sie entfallende Wegstrecke nur dadurch so beschleunigt zurückgelegt werden können, daß der Schwerpunkt der Arbeitsweise auf die chemische und physikalische Durchforschung gegenüber der früheren Erfahrung durch die Praxis gelegt wurde. In dem Maße, wie die Rohmaterialien und die Arbeitsvorgänge zum Gegenstand systematischer Forschung wurden, wurde die Bedeutung des keramischen Dreigestirns, Tonsubstanz, Feldspat und Quarz, für die Synthese keramischer Massen und Glasuren ergründet und nutzbar gemacht. Hierbei gelang es der Wissenschaft, die bald förderlichen, bald schädlichen Einflüsse von Nebenbestandteilen und ihrer Korngröße zu erkennen und, wenn nötig, zielbewußt auszuschalten oder zu verwerten. Eine Anzahl anderer Rohstoffe wurde zur Veredlung der Erzeugnisse neu herangezogen.

Dem allgemeinen Aufschwung durch die wissenschaftliche Erkenntnis verdankt auch das Brennen der keramischen Massen neue Fortschritte und Erfolge. Der Brand ist von besonderer Wichtigkeit, weil durch ihn der keramische Gegenstand erst entsteht und seine Gebrauchsfähigkeit erhält. Für die Gegenwart ist hierbei die Frage von besonderem Interesse, die Beheizung wirtschaftlich zu gestalten. Die Forschung hat sich daher auch der Ausgestaltung des Ofenbaues in Einzelöfen, Ringöfen, Gaskammeröfen, Tunnelöfen, der Verwertung der Abhitze und der Vervollkommnung der Ofenkontrolle mit besonderem Eifer und Erfolg zugewandt. — Einen erstaunlich raschen und bedeutsamen Fortschritt hat im letzten Jahrzehnt der Tunnelofen gemacht, der für viele Erzeugnisse eine immer weitere Verbreitung erlangt. Der neueste Fortschritt ist die elektrische Beheizung keramischer Öfen, besonders von Tunnelöfen.

Trotz der grundsätzlichen Ähnlichkeit der Zusammensetzung und Eigenschaften der keramischen Rohstoffe führt ihre Aufbereitung und ihre Verarbeitung durch Formen, Gießen, Pressen, Brennen bei verschiedenen Temperaturen zu einer weitgehenden Differenzierung der erzielten Produkte. Man unterscheidet acht Hauptgruppen (s. die Einteilung S. 786).

Im Gebiete der feuerfesten Produkte ist die Standfestigkeit bei hohen Temperaturen und unter Druck, die Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse und Temperaturwechsel ausschlaggebend für die Wahl der Rohstoffe und ihre Verarbeitung. Bei normaler technischer Feuerung hält sich der Begriff „Feuerfestigkeit“ noch im Rahmen der Grenzen, die durch gute Schamotte- oder Dinassteine gegeben sind. Oft kommen indessen höhere Ansprüche und gleichzeitig chemische Einflüsse des Ofeninhaltes, der Flugasche u. dgl. in Frage und nötigen dazu, der Vielseitigkeit der Beanspruchung eine entsprechende Auswahl der Erzeugnisse gegenüberzustellen. So wurden zahlreiche Spezialstoffe wie Dolomit, Magnesit, Tonerde, Chromeisenstein, Carbide, Kohlenstoff, Siemensit der Keramik zugeführt, die namentlich auf dem Gebiete der Metallurgie, der elektrischen Öfen usw. in großem Umfange praktische Verwendung finden. Manche von diesen Stoffen zeigen so wertvolle

Einteilung der keramischen Erzeugnisse.

A. Irdengut.

Scherben porös und nicht durchscheinend.

1. Baumaterial.

α) nicht weißbrennend

Ziegel, Verblender, Bauterrakotten, Hohlziegel, poröse Steine, Drainrohre, Dachziegel.

I. Ziegeleierzeugnisse.

β) weißbrennend

Schamottesteine und -werkstücke, feuerfeste Erzeugnisse aus besonderen Stoffen, feuerfeste Hohlware.

II. Feuerfeste Erzeugnisse.

Irdenware (im weiteren Sinne).

B. Sinterzeug (Scherben dicht).

a) Scherben nicht oder nur an den Kanten durchscheinend (Steinzeug).

1. Baumaterial.

α) nicht weißbrennend

(Klinkerware)
Klinker, Fliesen, Kanalisationsrohre.

β) weißbrennend

Säurefeste Steine, Isolatoren.

α) nicht weißbrennend

Wannen, Tröge, chemische Gefäße usw.

2. Geschirr.

β) weißbrennend

Steinzeug, auch künstlich gefärbt, Feinterakotten, Wedgewoodware, Chromolith usw.

V. Steinzeug.

b) Scherben durchscheinend (Porzellan).

1. Baumaterial.

Wandplatten, Futtersteine für Trommelmühlen usw. aus Hartporzellan, Weichporzellan, Spezialitäten der Porzellantechnik. porzellan, elektrotechnische Artikel.

2. Geschirr.

VI. Porzellan.

C. Steatit.

Scherben dicht und weiß, schwach transparent, Oberfläche weiß oder hellgelb.

VII. Steatit.

D. Hochfeuerfeste Stoffe.

Scherben dicht und weiß, transparent.

VIII. Al_2O_3 , $MgO \cdot Al_2O_3$, BeO , ZrO_2 , MgO , ThO_2 , $ZrSiO_4$.

2. Geschirr.

β) weißbrennend

Tonsteingut, Tonzellen, Tonpfeifen, Kalksteingut, Feldspat- oder Hartsteingut, Sanitätsgeschirr, Feurtonware.

IV. Steingut.

Eigenschaften, daß sie, auch abgesehen von ihrer Feuerfestigkeit, andere wertvolle technische Verwendung gefunden haben. Dies gilt in erster Linie von geschmolzenem (durchsichtig, durchscheinend oder undurchsichtig) Quarz, der dank seiner unübertroffenen Säurebeständigkeit und der infolge eines der kleinsten Ausdehnungskoeffizienten (s. S. 788 u. 797) aller bekannten Stoffe erreichten Temperaturwechselbeständigkeit zu einem unentbehrlichen Material auch des modernen Apparatebaues geworden ist. Andere Erzeugnisse, wie z. B. Kohlenstoff und Carbide, haben sich als Material für elektrische Widerstände bewährt. Silicium- und Wolframcarbid dienen auf Grund ihrer Härte zur Erzeugung moderner Schleif- und Schneidmittel (s. Hartstoffe) sowie von Schleifsteinen.

Die Töpferei-Erzeugnisse sind durch porösen, von Natur farbigen Scherben charakterisiert, der häufig durch eine undurchsichtige, farbige Glasur überzogen und dicht gemacht wird. Auf dem hier interessierenden Gebiet stellt der Töpfereibetrieb poröse Gefäße für chemisch-technische Zwecke, Tonzellen für elektrische Elemente, Filter, Filterplatten und Diaphragmen her und greift damit unter Benutzung zum Teil neuer Rohmaterialien für Sonderzwecke zur industriellen Tätigkeit über.

Die nächst höhere Stufe keramischer Erzeugnisse ist das wie das Steingut weiße Porzellan, von jenem jedoch durch die völlige Dichte und Transparenz des Scherbens unterschieden. Wie jeder feine Stoff stellt es hohe Ansprüche an Auswahl und Aufbereitung seiner Grund- und Rohstoffe, an Verarbeitung, Trocknung, und erfordert im allgemeinen zweimaligen Brand. Es besitzt eine große Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel und chemische Einflüsse, die es zu einem der wichtigsten Baustoffe für chemische Laboratoriumsgeräte macht.

Der mechanisch festeste Stoff in dieser Kette wird vom Steatit gebildet. Sein Rohstoff zeigt keinen tonigen Charakter, sondern ist ein Magnesiumhydrosilicat (Speckstein) von der Zusammensetzung $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ bis $4\text{MgO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Die durch Formen und Brennen des zuvor gepulverten Specksteins entstehenden Erzeugnisse werden als Steatit bezeichnet. Kleinere Gegenstände können durch Schneiden, Sägen, Drehen und Bohren unmittelbar aus dem gebrochenen Stein geformt und durch Brennen fertiggestellt werden. Die Voraussetzung dazu ist ein gleichmäßiges Gefüge des Steines, um jedes Reißen oder Verziehen auszuschließen. Die so hergestellten Gas- und Acetylenbrenner, Spinddüsen und anderen Spezialartikel müssen den höchsten Ansprüchen an Genauigkeit genügen. Die Weichheit des ungebrannten Steines erlaubt die Verwendung aller für Holzbearbeitung üblichen und möglichen Werkzeuge, so daß die Formgebung mit feinsten Präzisionsmaschinen erfolgen kann. Die gleichmäßige Struktur, die natürliche Dichtigkeit und der geringe Wassergehalt lassen gegenüber der typischen Tonware den Steatit im Brande nur ganz gering schwinden und ermöglichen das Innehalten der vorbestimmten Abmessungen mit fast mathematischer und von keinem anderen keramischen Erzeugnis erreichter Genauigkeit. Im gepulverten Zustande besitzt der Speckstein genügend Bildsamkeit, um nach den gewohnten keramischen Methoden im Naß- und Trockenverfahren geformt zu werden. Er läßt sich bei Segerkegel 14–16, einer Temperatur, die der Brennhöhe des Porzellans entspricht, garbrennen. Der Steatit ist fast allen übrigen keramischen Materialien an Genauigkeit, mechanischer Festigkeit, Isoliervermögen für Elektrizität, Widerstandsfähigkeit gegenüber alkalischen Agenzien überlegen.

Das Steinzeug, der älteste aller dichten keramischen Werkstoffe, wird seit Jahrhunderten von der chemischen Technik und Industrie als absolut säurebeständig benutzt. Der Scherben des Steinzeugs wird durch Brennen bis zur Sinterung völlig verdichtet und ist daher auch ohne Glasur für Flüssigkeiten undurchlässig. Durch seine braune bis blaugraue Farbe und durch mangelnde Transparenz unterscheidet sich das Steinzeug von dem ebenfalls wasserdichten, aber weißen Porzellan. Die zur Steinzeugbereitung geeigneten Tone müssen die Eigenschaft haben, im Feuer völlig dicht zu sintern, ohne dabei der Gefahr zu unterliegen, erweicht zu werden oder zusammenzusinken.

Unter Sinterung (*F. Singer*, Das Steinzeug, Braunschweig 1929, Vieweg) wird das Ergebnis lokaler Schmelzprozesse verstanden, deren Beginn durch die Lage der Eutektika in den wirksamen Schmelzsystemen der Massenbestandteile (wie auch der ungewollten Verunreinigungen) gegeben ist. Gesinterte Massen enthalten demnach neben bereits erschmolzenen glasigen Massen noch nicht gelöste bzw. nicht umgewandelte Krystallite des Ursprungsmaterials und neu gebildete Krystalle, häufig sehr verschiedener Zusammensetzung und Eigenschaften. Neu entstehende Krystallite, ihre Größe und Zahl, ihre Verteilung im Glase, ihre Lage zueinander, geben dem entstandenen Produkt nicht nur das äußerliche Charakteristikum, sondern sind auch von entscheidendem Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften und die Beständigkeit des fertigen Steinzeugs. Nicht alle sonst an sich brauchbaren Stoffe zeigen die Eigenschaft der Sinterung im gleichen Maße.

Alle bei 1400° noch nicht verdampfenden oder verbrennenden bzw. bei dieser Temperatur nicht durch Reduktion wesentlich veränderlichen Stoffe: Elemente, Oxide, Carbide, Nitride, Salze usw. lassen sich der Steinzeugroh Mischung in verschiedenen Mengen allein oder in Mischung miteinander zufügen und beeinflussen hierdurch die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Fertigproduktes in außerordentlich weiten Grenzen.

Zu ganz besonders interessanten Ergebnissen führten die synthetischen Arbeiten auf dem Gebiete der Dreistoffsystem-Steinzeugmassen: $RO-Al_2O_3-SiO_2$, wobei das RO aus MgO , CaO , SrO , BaO , ZnO und FeO gebildet wird und aus einem Monoxyd allein oder mehreren in Kombination besteht. — Aus der Fülle des Materials zeigen einige charakteristische Beispiele die Arbeitsmethoden, ihre Ziele und Ergebnisse.

Werden Steinzeugmassen des Dreistoffsystems $RO-Al_2O_3-SiO_2$ mit einem aus MgO , CaO , SrO , BaO , ZnO oder FeO gebildeten RO derart hergestellt, daß das Endprodukt aus mindestens 3 Phasen besteht, von denen die eine Sillimanit bzw. Mullit oder Sillimanit- bzw. Mullitmischkrystalle mit dem RO-Silicat oder RO-Alumosilicat ist, die zweite das RO-Orthosilicat oder RO-Metasilicat vorstellt, während die dritte Phase aus einem Glase des Dreistoffsystems $RO-Al_2O_3-SiO_2$ besteht, so gelingt es, den Ausdehnungskoeffizienten des fertigen Steinzeugs bis auf $0,15 \cdot 10^{-6}$ herabzusetzen. Diese Ziffer ist weniger als ein Drittel des entsprechenden Betrages für Kieselsäureglas. Daher hat diese Spezialsteinzeugmasse den kleinsten Ausdehnungskoeffizienten aller keramischen Werkstoffe der Welt (*F. Singer*, DRP. 605237). Vgl. S. 797.

Wird das RO als MgO gewählt, so entstehen als RO-Silicate: Enstatit, Klinoenstatit bzw. Forsterit. Wird hierbei als MgO -Rohstoff Speckstein verwendet, so stellt diese Serie den Übergang vom Steinzeug zum Steatit vor.

Diese Massen sind nicht nur sehr säurebeständig, sondern sie zeichnen sich auch durch eine mit steigendem MgO-Gehalt dauernd wachsende Basenbeständigkeit aus, die im Endpunkt der Reihe, dem Sintermagnesit, ihren Höhepunkt erreicht.

Bei diesen Massen spielt es gar keine Rolle für die gewünschte Qualität, ob zwischen dem Tonerde- und dem Erdalkalisilicat Mischkrystalle auftreten, oder ob jede Krystallart für sich neben der anderen bzw. im Glase eingebettet lagert. Es ist unerheblich, ob Ortho- oder Metasilicate oder beide gleichzeitig entstehen. Die geschilderten Eigenschaften werden jedoch verschlechtert, wenn Mengenverhältnisse, Brenndauer und -höhe, sowie Abkühlungsgeschwindigkeit die Entstehung von Spinellen verursachen bzw. begünstigen.

Diese Verfahren zur Herabsetzung des Ausdehnungskoeffizienten von Steinzeugmassen besitzen noch zahlreiche Variationsmöglichkeiten und lassen sich daher jedem Spezialfall weitgehend anpassen. Beispielsweise bedeutet es für viele Fälle eine Verbesserung der Steinzeugmassen, durch die Art der Führung des Brennprozesses die neben den beiden Krystallarten bestehende glasige Phase ebenfalls ganz oder teilweise in den krystallinen Zustand überzuführen. Diese Krystallisation erfolgt durch eine Temperatur-Zeit-Reaktion, durch Aufrechterhaltung der Höchsttemperatur beim Brennen für eine gewisse Zeitdauer. Je nach der Zeitdauer der Höchsttemperatur bzw. der Abkühlgeschwindigkeit wird hierbei nach Belieben die glasige Phase ganz oder teilweise in krystalline Körper der Erdalkali-Alumo-Silicat-Gruppe übergeführt. Zuerst entstehen Körper von der Zusammensetzung und Krystallisation der hexagonalen Nephelingrouppe, bei längerer Aufrechterhaltung der Höchsttemperatur solche der triklinen Plagioklasgruppe und bei noch längerer solche der rhombischen Cordieritgruppe. Die Übergänge erfolgen hierbei allmählich, so daß gleichzeitig sowohl Körper der verschiedenen Nachbargruppen nebeneinander als auch die glasige Phase neben solchen Körpern bestehen können.

Vor dem Porzellan zeichnet sich die Steinzeugmasse durch hervorragende Bildsamkeit, größere Trockenfestigkeit, durch geringeres Schwinden und eine nur einmalige, niedrigere Garbrandtemperatur aus. Diese Eigenschaften verleihen dem Steinzeug seine Wohlfeilheit. Hierzu kommt noch die Möglichkeit, beim Garbrennen durch bloße Zuführung von Kochsalzdämpfen der Masse eine narbige Salzglasur zu verleihen, welche trotz ihrer Dünne in chemischer und mechanischer Beziehung außerordentlich widerstandsfähig ist. Auf diesen Vorzügen, verbunden mit der bedeutenden Härte und der im Vergleich mit Porzellan weit geringeren Sprödigkeit des Scherbens, beruht der Siegeslauf des Steinzeugs innerhalb des letzten Jahrhunderts auf den verschiedensten Anwendungsgebieten. Zu Großindustrien wuchsen durch die vortrefflichen Eigenschaften dieses Materials drei neue Fabrikationszweige: die Herstellung glasierter Steinzeugrohre für Kanalisation, die Erzeugung von Apparaten ungeahnter Größe, die den Säuren widerstehen und in der chemischen Industrie Verwendung finden, und die Herstellung von Isolatoren der Elektrotechnik in Großabmessungen, die aus Porzellan zweckmäßig nicht mehr hergestellt werden. Daneben beschäftigt sich die Steinzeugfabrikation mit der Herstellung von Fußbodenfliesen und Pflastersteinen. Steinzeug zeichnet sich auch durch eine gewisse Unempfindlichkeit gegenüber Temperaturschwankungen aus; es wurde durch alle diese Eigenschaften zum führenden Werkstoff der großtechnischen Keramik.

Für die meisten Fälle, in denen Temperaturen über 1500° überschritten werden sollten, war man bisher auf Graphit und Kohle als Gefäßmaterial angewiesen (Degussa-Schrift [Deutsche Gold- u. Silber-Scheideanstalt vorm. Roessler, Frankfurt a. M.], Degussa-Geräte für höchste chemische und thermische Beanspruchungen). Sehr hohe Feuerfestigkeit, Unempfindlichkeit gegen Temperaturwechsel und die relative Billigkeit sichern der Kohle und dem Graphit dauernd eine erhebliche Bedeutung für die Arbeiten bei hohen Temperaturen. Die leichte Oxydierbarkeit, sowie die Bildung von Carbiden mit den meisten Metallen, selbst aus verschiedenen Verbindungen derselben, bilden jedoch in vielen Fällen ein unüberwindliches Hindernis für die Verwendung des elementaren Kohlenstoffs als Gerätematerial. Das Erschmelzen reiner, C-freier Metalle oder Legierungen, die Vornahme von Gasreaktionen ohne Beteiligung von C-Verbindungen, das Schmelzen von Gläsern, Schlacken, Salzen, Oxyden und sauerstoffhaltigen Verbindungen, dies alles sind Arbeiten, die nicht in Kohlenstoffgefäßen vorgenommen werden können.

Für die Arbeiten in oxydierender Atmosphäre war man bisher auf tonhaltige Massen angewiesen, die von Kaolin abgeleitet sind. Die höchste tatsächliche Gebrauchstemperatur derartiger auf der Grundlage Tonerde-Kieselsäure aufgebauten Massen beträgt nicht wesentlich über 1600° , da diese Massen bald erweichen oder sogar schmelzen. Will man bei noch höheren Temperaturen Arbeiten ausführen, die aus vorgenannten Gründen nicht in Kohlenstoffgefäßen vorgenommen werden können, dann bleibt nur die Verwendung von reinen, hochfeuerfesten Oxyden übrig.

Es ist seit längerer Zeit bekannt, daß manche Oxyde eine sehr hohe Feuerfestigkeit (gemessen an ihrem Schmelzpunkt) haben, wie z. B. Al_2O_3 , CaO , ZrO_2 usw. Nicht alle eignen sich aber zur Herstellung von Geräten. So z. B. scheidet die Verwendung von CaO deswegen aus, weil es sich an der H_2O - und CO_2 -haltigen Luft bald unter Aufnahme von Wasser und Kohlensäure verändert und seine Formfestigkeit verliert. Zur Herstellung von Geräten kann man nur luftbeständige Oxyde verwenden.

Diese Oxyde sind aber nicht allein wegen ihrer hohen Feuerfestigkeit von Bedeutung. Die Eigenart des chemischen Charakters eines jeden Oxyds bedingt besondere chemische Eigenschaften der aus verschiedenen Oxyden hergestellten Geräte. Diese Eigenschaften würde man vergeblich in Geräten aus tonhaltigen Materialien suchen.

Die chemische Widerstandsfähigkeit gegen Angriffe durch Säure, Alkali, Schlacken usw. wird durch den dichten Scherben der Tiegel, Rohre, Steine usw. infolge des Brennens bei sehr hohen Temperaturen noch bedeutend erhöht.

Die außerordentlich rasche Entwicklung keramischer Werkstoffe für chemische Zwecke kennzeichnet den beschrittenen Weg, der noch größere Fortschritte erhoffen läßt.

2. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften keramischer Massen.

Die industrielle Verwendungsmöglichkeit keramischer Massen hängt von ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften ab. Diese werden entscheidend beeinflusst durch die Zusammensetzung der Rohmassen, deren Aufbereitung, z. B. Mahlfineinheit und Verformung, Höhe der Brenntemperatur, Dauer des Brennvorganges und der sich hierbei abspielenden Reaktionen, Lösungen und

Krystallisationen. Heute verleiht der wissenschaftlich geschulte Hersteller seinen Produkten die Eigenschaften, die der Verbraucher im Einzelfall benötigt. Auf Grund der gestellten hohen und mit dem Stande der Technik dauernd wachsenden Anforderungen wurde es das Hauptbestreben der keramischen Industrie, die Qualitäten ihrer Erzeugnisse für die Verwendung in der chemischen Industrie nach folgenden Punkten systematisch zu verbessern: Steigerung 1. der chemischen Widerstandsfähigkeit, 2. der mechanischen Festigkeit, 3. der Feuerfestigkeit, 4. der Temperaturwechselbeständigkeit, 5. der Dichte bzw. umgekehrt der Porosität; 6. Ausbildung von Spezialmassen für Spezialapparaturen.

Die chemische Widerstandsfähigkeit fordert im wesentlichen eine Dauerhaftigkeit nach zwei Seiten: gegenüber Säuren und Alkalien. In dieser Eigenschaft stehen die keramischen Erzeugnisse weit über den meisten Metallen. Letztere sind besonders bei höheren Temperaturen gegen ätzende Flüssigkeiten nicht korrosionsbeständig. Für die Aufbewahrung, Verarbeitung und Weiterleitung von Säuren und ihren Gasen verwendet man daher seit alters keramisches Material in Form von Behältern, Rohren, Schalen, Retorten u. dgl. Für die chemische Fabrik sind hierbei Steinzeug und Schamotte die Hauptwerkstoffe, für das chemische Laboratorium leisten geschmolzener Quarz und Porzellan die wertvollsten Dienste. In neuester Zeit werden diese Werkstoffe durch Geräte aus reinen Oxyden ergänzt. Besonders geschmolzener Quarz ist gegen Säuren absolut beständig, mit Ausnahme von Flußsäure und konz. Phosphorsäure (über 300°). Nachstehende Tabellen I und II geben einen Überblick über sein chemisches Verhalten.

Tabelle I u. II. Chemisches Verhalten des geschmolzenen Quarzes.

I. Widerstandsfähigkeit gegen Flußsäureangriff (relative Vergleichswerte).

Stoff	Korrosionseinheiten	
Gewöhnliches Glas	1000	
Quarzglas	100	
Hexagonal kristallisierter Quarz	{ parallel zur Achse	11
	{ senkrecht zur Achse	1

II. Widerstandsfähigkeit von Quarzglas gegen den Angriff basischer Agenzien.

Einwirkungstemperatur: 18°. Dem Reagens ausgesetzte Quarzglasfläche: 90 cm².

Reagens	Konzentration	Einwirkungsdauer in Stunden	Gewichtsverlust des Quarzglases in mg
NH ₄ OH	10proz.	48	0,8
NaOH	10 „	48	0,4
KOH	30 „	48	1,2
Na ₂ CO ₃	1n	336	0,4
Ba(OH) ₂	gesättigt	336	0,0
Na ₂ HPO ₄	„	336	0,0

Einwirkungstemperatur: 100°.

NaOH	2n	3	33,0
KOH	2n	3	31,0
Na ₂ CO ₃	2n	3	10,0

Da geschmolzener Quarz an sich sauren Charakter hat, ist er nicht basenbeständig. Da Säurebeständigkeit im Prinzip sauren Charakter des Werkstoffs

und Basenbeständigkeit basischen Charakter fordert, muß der Keramiker seine Erzeugnisse ihrem Verwendungszwecke anpassen. Solange die keramischen Produkte noch „Tonerdasilicate“ enthalten, sind sie von Alkalien je nach ihrer Dichte mehr oder weniger angreifbar, sie werden von diesen chemisch aufgeschlossen. Daher griff man für diese Zwecke zu Massen aus reinen Oxyden, die wie Al_2O_3 von Alkalien nicht angegriffen werden.

Stark poröse Massen sind entsprechend ihrer ungeheuer großen Oberfläche stets verhältnismäßig angreifbar. Man vermindert ihre Reaktionsfähigkeit dadurch, daß man ihre Oberfläche mit einer Glasur versieht, die das Eindringen der korrodierenden Agenzien mehr oder weniger verhütet und ihre Lebensdauer etwas verlängert. Absolute Widerstandsfähigkeit haben nur die dichten keramischen Massen, Steinzeug, Porzellan, Steatit und gesinterte Oxyde, und zwar auch ohne Glasur. Die letztere dient vielfach nur der leichteren Reinhaltung.

Eine weitere Gefahr für die Haltbarkeit der Baustoffe chemischer Apparaturen bei höheren Temperaturen liegt in der Zerstörung durch Schlacken.

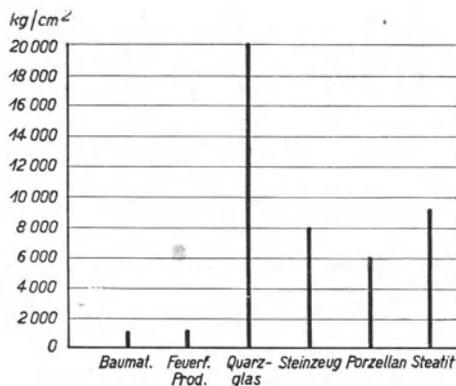


Abb. 1048. Maximale Druckfestigkeit.

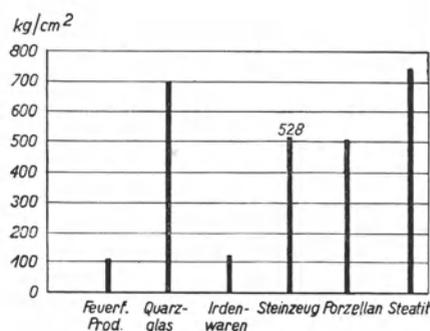


Abb. 1049. Maximale Zugfestigkeit.

Diese verschmelzen je nach ihrer chemischen Zusammensetzung und physikalischen Beschaffenheit gegebenenfalls leicht mit den ihnen ausgesetzten Oberflächen der keramischen Steine, Platten, Öfen, Behälter u. dgl. und können dadurch deren Lebensdauer beträchtlich herabsetzen. Aber auch hier ist es dem Keramiker gelungen, seiner Schamotte durch die richtige Auswahl der Rohstoffe und ihrer Verarbeitung die jeweils gewünschten Eigenschaften zu geben. Aus denselben Erwägungen heraus schuf er beständige Materialien gegen die Einwirkungen von Gasen, Flugstaub u. dgl.

Von großer Bedeutung für die Konstruktion von Säuretransportmaschinen, Pumpen, Exhaustoren usw. sind die **mechanischen Eigenschaften** keramischer Massen. Die Druck- und Zerreißfestigkeit (Zugfestigkeit) für den Bau von Maschinen geeigneter keramischer Materialien werden durch die Abb. 1048 und 1049 wiedergegeben.

Fortschritte wurden besonders auf dem Gebiete der Steinzeugfabrikation erzielt, die ihre Druckfestigkeitswerte seit dem Jahre 1905 von 1500 kg/cm^2 auf etwa 7970 kg/cm^2 erhöhen konnte (Abb. 1050). In ungefähr demselben Verhältnis wurde die Zugfestigkeit des Steinzeugs gesteigert (Abb. 1051).

Sehr wichtig ist die Zerreißfestigkeit für die Herstellung von Flügelrädern bei Zentrifugalpumpen und Exhaustoren. Infolge der günstigen Werte dieser Eigenschaft beim Steinzeug bzw. ihrer Steigerung in den letzten Jahren konnte man auch die Umlaufgeschwindigkeit

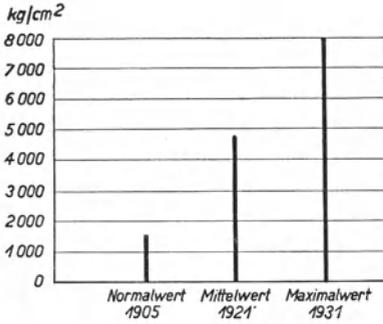


Abb. 1050. Druckfestigkeit von Steinzeug.

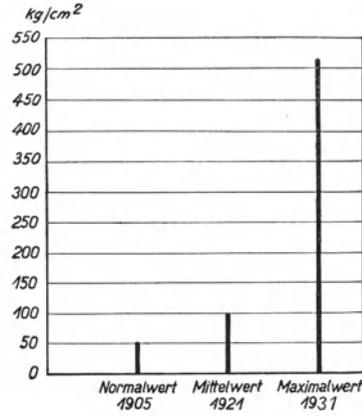


Abb. 1051. Zugfestigkeit von Steinzeug.

erhöhen und somit die Maschine kleiner bauen, wodurch sich in vielen Fllen eine räumliche Beschränkung der Apparate ermöglichen ließ.

Der Schlagbiegeversuch dient zur Messung der Sprödigkeit keramischer Massen. Man führt ihn mit dem Schopperschen Pendelhammer aus. Es ist hierbei ein Maß dafür gegeben, wie sich ein Material bei

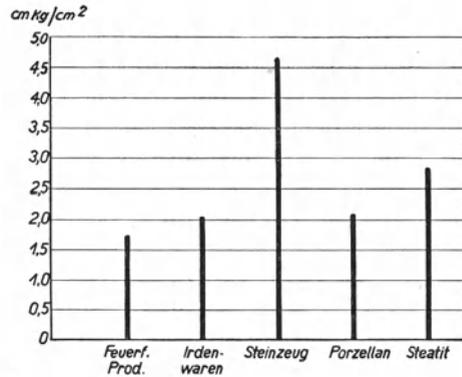


Abb. 1052. Schlagbiegefestigkeit.

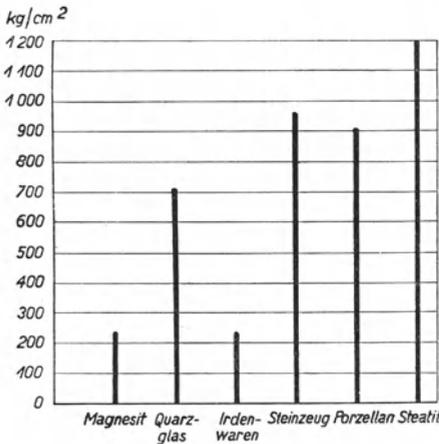


Abb. 1053. Maximale Biegefestigkeit.

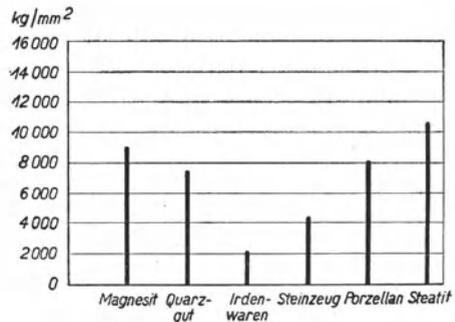


Abb. 1054. Elastizitätsmodul.

plötzlichen Biegebeanspruchungen verhält. Abb. 1052 stellt die maximale Schlagbiegefestigkeit einiger Massen dar.

Die Biegefestigkeit und die sich daraus zu errechnende Biegespannung bestimmt man mit dem *Frühling-Michaelisschen* Apparat; Steatit weist den größten Wert auf, die Irdenwaren ergeben den kleinsten (Abb. 1053 und 1054).

Mit Hilfe des Sandstrahlgebläses bestimmt man die Abnutzbarkeit einer keramischen Masse und erhält hierdurch

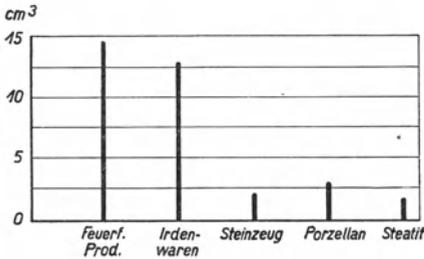


Abb. 1055. Mittlere Sandstrahlabnutzbarkeit.

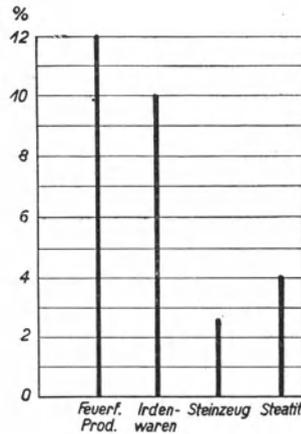


Abb. 1056. Mittlere Abnutzbarkeit (Trommelprobe).

einen Aufschluß über ihre Härte und Gefügebeschaffenheit (Abb. 1055). Die Abnutzung durch die sog. Trommelprobe wird durch Abb. 1056 veranschaulicht.

Tabelle III. Feuerfeste Stoffe.

Feuerfeste Elemente	Schmelzpunkt Grad	Feuerfeste Oxyde	Schmelzpunkt Grad
B	> 2000	SiO ₂	∞ 1700
Nb	∞ 1950	Cr ₂ O ₃	1990
Pt	1755	Al ₂ O ₃	2050
Si	∞ 1800	UO ₂	2176(?)
Ta	∞ 2850	BeO	> 2400
Ti	∞ 1800	Y ₂ O ₃	> 2400
V	∞ 1730	CaO	∞ 2570
C	3800	MgO	∞ 2800
Ir	2300	ZrO ₂	∞ 3000
Mo	2800	ThO ₂	∞ 3000
Th	1700		
U	∞ 3000		
W	∞ 3625		

Tabelle IV. Feuerfeste Stoffe.

Feuerfeste Stoffe	Schmelzpunkt Grad	Nitride, Carbide	Schmelzpunkt Grad
Al ₂ SiO ₅ (Sillimanit)	1820	BN	i. d. Nähe von 2000
Al ₂ Si ₂ O ₇ (Kaolin)	1740	WC	2685
CaF ₂	1378	W ₃ C	oberhalb 2700
Ca(AlO ₂) ₂	1592	V ₄ C ₃	gegen 2750
CaSiO ₃	1540	UC ₂	gegen 2425
Ca ₂ SiO ₄	2130	SiC	zerfällt gegen 1800
CaO · Al ₂ Si ₂ O ₇ (Anorthit)	1552	TaC	oberhalb 4000
		NbC	oberhalb 4000

Die Schmelzpunkte **feuerfester** und hochfeuerfester Stoffe sind in den Tabellen III bis V wiedergegeben. Praktische Verwendungen finden neben normalen, sauren und basischen Schamottesteinen, neben normalen Silicasteinen usw. an hochfeuerfesten Oxyden in allererster Linie Tonerde mit einem Schmelzpunkt von 2050°, Magnesia mit 2800° und Zirkonoxyd mit etwa 2700°. Für Kieselsäureglas nimmt man bisher einen Schmelzpunkt von 1725° an. Neuere Untersuchungen deuten darauf hin, daß Kieselsäureglas einen Er-

weichungspunkt von 1650—1750° hat und erst bei etwa 2200° schmilzt.

Für die Verwendbarkeit der feuerfesten Erzeugnisse als Ofenfutter in der Stahl- und Eisenindustrie, besonders für Siemens-Martin-Öfen, in der Zinkindustrie für die Destillationsmuffeln, als

Auskleidungsmaterial für Elektro-, Zementdreh- und Kalköfen, für Kohlenstaubfeuerungsanlagen usw. ist der Schmelzpunkt allein kein ausreichendes Kriterium; hinzu kommt dabei als wesentlicher Faktor ihr Erweichungsverhalten unter Druck. Ehe keramische Massen in ihr Schmelztemperaturintervall kommen, tritt bereits eine Erweichung ein, die es erklärt, daß der Schmelzpunkt für das praktische Verhalten der feuerfesten Erzeugnisse nicht allein maßgebend sein kann.

Tabelle V. Feuerfeste Stoffe.

Feuerfeste Werkstoffe	Schmelzpunkt Grad	Erweichungspunkt Grad
Norm. Schamottesteine	1700—1775	1300
Schamottesteine XX	1730	—
Schamottehafenmasse	1730	—
Sintermagnesit	1790	∞ 1400
Kohlenstoffsteine	> 2000	—
Quarzzug	1690—1710	—
Silicasteine	1725—1775	1600—1700
Siliciumcarbidsteine	> 2000	> 1700
Chromitsteine	—	∞ 1300
Marquardt'sche Masse	1820	—

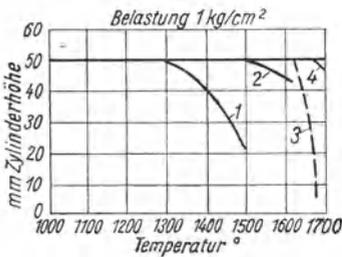


Abb. 1057.

Druckfeuerbeständigkeit eines Schamotte-(1), Magnesit-(2), Silica-(3) u. Kohlenstoff-(4) Steines.

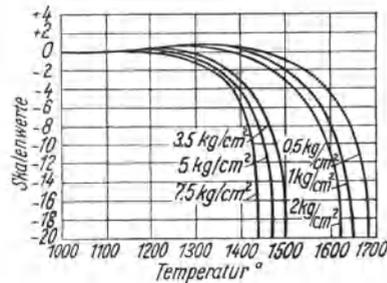


Abb. 1058.

Druckfeuerbeständigkeit einer Schamotte bei verschiedener Belastung.

Da keramische Materialien aus den verschiedensten chemischen Substanzen bestehen — es handelt sich fast immer um Stoffgemische —, und da sich die Schmelzung auf ein breites Intervall erstreckt, so liegt der Schmelzpunkt der Schamotte- und Silicasteine bei einem Segerkegel von 32—35 bzw. 33—35. Von besonderer Wichtigkeit für die Verwendung feuerfester Erzeugnisse ist die Kenntnis der Erweichung unter Belastung, da im gemauerten Verband der Druck, den Steine höherer Schichten auf darunterliegende ausüben, imstande sein kann, die Erweichungstemperatur erheblich herabzusetzen. Daher wurde eine Prüfung des Erweichungsverhaltens, das den Druckbedingungen der praktischen Verwendung angepaßt ist, eingeführt und normalisiert. Als Maß für die Erweichung unter Belastung dient diejenige Temperatur, bei der der Probekörper bei einer Belastung von 2 kg/cm² zu erweichen beginnt. Die Abb. 1057—1060 geben in charakteristischer Art die wesentlichen Unterschiede verschiedener keramischer Stoffe wieder. Der

Skalenwert (Abb. 1058—1060) drückt die Längenänderung des 50 mm hohen Probekörpers bei bestimmten Temperaturen unter der genannten Belastung aus und beginnt bei 1000° mit dem Anfangswert Null. Ein hoher Schmelzpunkt wird von keramischen Massen dort gefordert, wo Metalle, deren Oxyde und sonstige Verbindungen in Öfen, Behältern, Tiegeln oder dgl. aus keramischem Material geglüht, gesintert oder geschmolzen werden sollen. Während

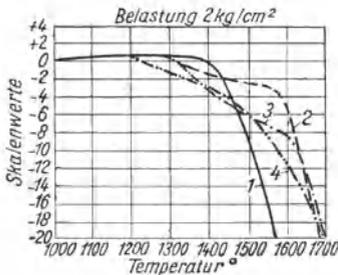


Abb. 1059.

Druckfeuerbeständigkeit von Tonen. Bennstedt (1), Gröden (2), Wildstein (3), See b. Niesky (4).

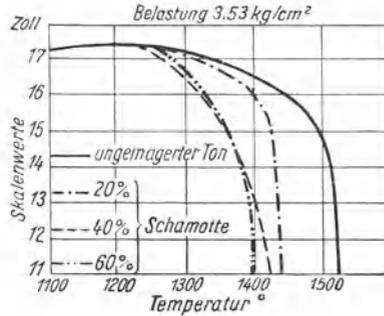


Abb. 1060.

Druckfeuerbeständigkeit von verschiedenen hoch gemageter Schamotte.

des Prozesses können infolge chemischer Reaktionen gleichfalls Reaktionen an der Oberfläche der Innenwandung auftreten. Sie äußern sich als Erweichungserscheinung der Berührungsstelle und führen eine Zerstörung des Bodens des Behältermaterials herbei, was gleichzeitig eine Verunreinigung der Schmelze zur Folge hat. Hierbei hängt die Feuerfestigkeit in hohem Grade von der Zusammensetzung des Gefäßmaterials ab.

Die **Temperaturwechselbeständigkeit** der keramischen Massen ist neben anderen Bedingungen abhängig vom thermischen Ausdehnungskoeffizienten.

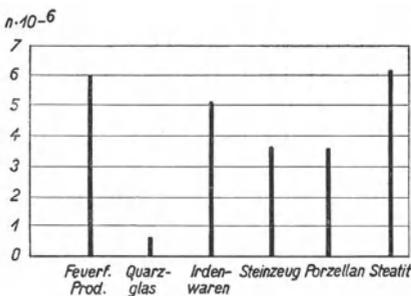


Abb. 1061. Mittlerer linearer Ausdehnungskoeffizient.

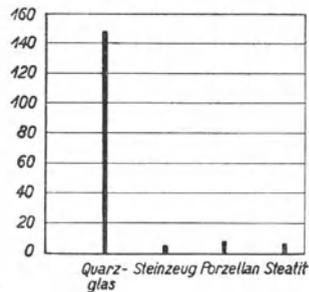


Abb. 1062. Maximaler thermischer Widerstandskoeffizient.

Hat dieser einen hohen Wert, so erfolgen bei plötzlichem Temperaturwechsel, bei Abschreckungsprozessen, bei plötzlicher Erwärmung u. dgl. Kontraktionen oder Ausdehnungen mit Spannungserscheinungen als Folge. Ihre Wirkung führt zu Sprüngen und Rissen im Material. Eine poröse keramische Masse zeichnet sich durchschnittlich durch verhältnismäßig gute Temperatur-

wechselbeständigkeit aus. Der chemischen Industrie ist aber mit dieser Erkenntnis allein nicht geholfen. Sie braucht in sehr vielen Fällen dichtes Material. Als solches gibt es nur einen Stoff, der absolut temperaturwechselbeständig ist: geschmolzener Quarz. Er besitzt einen der kleinsten Ausdehnungskoeffizienten, nämlich $0,55 \cdot 10^{-6}$, und übertrifft daher bei weitem Porzellan, Steatit und Steinzeug (Abb. 1061) mit Ausnahme von Spezialsteinzeugmassen (s. S. 788).

Der thermische Widerstandskoeffizient wird vielfach noch — wenn auch bewußt nicht mit völliger Genauigkeit — nach der Formel von Winkelmann und Schott ausgerechnet:

$$W = \frac{Z}{\alpha E} \sqrt{\frac{h}{s c}},$$

wobei Z die Zugfestigkeit, α den Ausdehnungskoeffizienten, E den Elastizitätsmodul, h die Wärmeleitfähigkeit, s das spezifische Gewicht und c die spezifische Wärme bedeuten (Abb. 1062).

Für viele Verwendungszwecke spielt die Wärmeleitfähigkeit eine besondere Rolle. Man erstrebt eine Wärmeisolation, um Verluste (wie bei geheizten Räumen, Öfen u. dgl.) zu verhindern, andererseits wird besonderer Wert auf Wärmedurchlässigkeit und schnellen Austausch der Wärme bei ihrer Übertragung durch feuerfeste Stoffe (wie bei Tiegeln, Muffeln, Abdampfschalen usw.) gelegt. Beim Wärmedurchgang unterscheidet man den Wärmeaustausch und die Wärmeleitung. Die „äußere Wärmeleitfähigkeit“ d , auch als „Wärmeübergangszahl“ bezeichnet, gibt an, wieviel kcal/std von der Flächeneinheit einer Oberfläche an eine um 1° kältere Umgebung im Dauerzustand übergehen; sie hängt ab

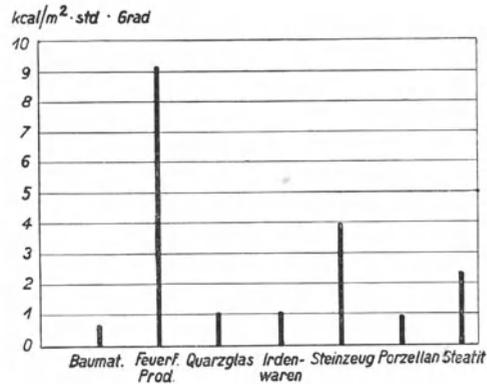


Abb. 1063.

Maximale innere Wärmeleitfähigkeit.

von der Form, Art und Lage der Wärme abgebenden Fläche, von ihrer Temperatur, d. h. ihrer Temperaturdifferenz gegen ihre Umgebung, und von der Bewegung des die Wärme aufnehmenden Mittels:

$$d = \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{std} \cdot \text{Grad}}.$$

Die wichtigste Eigenschaft keramischer Massen ist die „innere Wärmeleitfähigkeit“ h (Abb. 1063), die angibt, wieviel kcal in einer Stunde 1 m^2 einer 1 m dicken Platte im Dauerzustand durchströmen, wenn die Temperatur der beiden Flächen der Platte sich um 1° unterscheidet und seitliches Abströmen von Wärme gänzlich verhindert wird; sie hat die Dimension:

$$h = \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{std} \cdot \text{Grad}}.$$

Bei den vorstehenden thermischen Größen handelt es sich um das Fort-

strömen von Wärme. Die Aufspeicherung von Wärme in dem von ihr durchströmten Stoff wird durch die Temperaturleitfähigkeit α^2 wiedergegeben:

$$\alpha^2 = \frac{h}{\rho c},$$

worin ρ die Dichte und c die spezifische Wärme des Stoffes bedeuten (Abb. 1064). Außerdem hängt die Wärmeleitfähigkeit von der chemischen Zusammensetzung des Materials, von seiner Porosität und seiner Hygroskopizität ab.

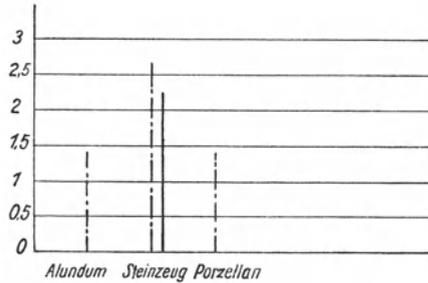


Abb. 1064.

Maxim. u. mittl. Temperaturleitfähigkeit.

In der chemischen Industrie erstrebt man je nach dem Verwendungszweck poröse oder mehr oder weniger dichte keramische Massen. Die Porosität wird dort gefordert, wo ein Durchgang von flüssigen Körpern oder Gasen bezweckt wird. Ein typisches Beispiel hierfür bilden die „halbdurchlässigen“ Diaphragmen, das unentbehrliche Hilfsmittel für elektrolytische Prozesse. Sie unterscheiden sich von einem gewöhnlichen Filter durch die Feinheit ihrer Poren und dadurch, daß sie nicht feste

Stoffe von ihrem Dispersionsmittel, sondern Flüssigkeiten von Flüssigkeiten oder Gase von Gasen trennen sollen. Hervorgerufen werden kann diese Porosität sowohl durch geeignete chemische Zusammensetzung als auch durch entsprechende Körnung der Massen oder dadurch, daß man der Rohmasse bei der Aufbereitung organische Substanzen beimengt, die bei hohen Temperaturen herausbrennen und Hohlräume zurücklassen.

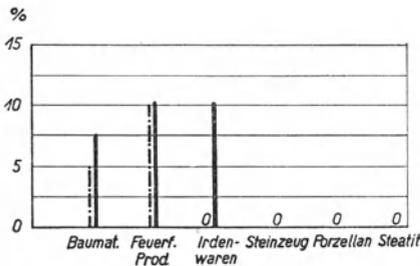


Abb. 1065. Minimale u. mittl. Porosität.

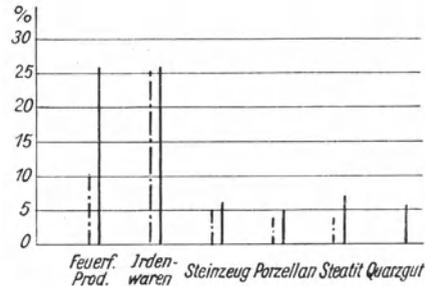


Abb. 1066. Minimaler u. mittl. Porenraum.

Einen Gegensatz zu porösen Massen bilden keramische mit völliger Dichtigkeit. Diese wird besonders bei Berührung mit korrodierenden Agenzien gewünscht. Solche Agenzien dringen sonst leicht in die Hohlräume ein und üben eine zerstörende Wirkung aus.

Die Dichte eines keramischen Stoffes ist abhängig von seinem Porenraum, der durch das sog. Wasseraufnahmevermögen (scheinbare Porosität) bestimmt wird. Ein in eine Flüssigkeit getauchter Probekörper darf, wenn er keine Hohlräume aufweist, also absolut dicht sein soll, keine Flüssigkeit aufnehmen. Die wirkliche Porosität (Undichtigkeitsgrad) ergibt sich aus dem Raumgewicht und dem spezifischen Gewicht (Abb. 1065 und 1066).

Abb. 1067 und 1068 geben Vergleiche für das Raumgewicht und das spezifische Gewicht verschiedener keramischer Massen wieder.

Eingehende Studien der Krystallbildung beim Brennen keramischer Tonsubstanzmassen haben ergeben, daß ihre physikalischen Eigenschaften durch das Entstehen von Mullitkrystallen wesentlich, und zwar im günstigen Sinne, beeinflußt werden. Seitdem erstrebt man, eine möglichst große Anzahl solcher innig miteinander verfilzter und möglichst kleiner Mullitkrystalle zu erzeugen. Nach einer Feststellung *F. Singers* (Z. Elektrochem. 1926, S. 382) werden gewisse Spezialeigenschaften erhöht, wenn nicht eine unregelmäßige, sondern eine bündelförmige oder parallele Anordnung der Mullitkrystalle vorliegt.

Die keramischen Industrien vermögen, dank der engen Verbindung von Forschung und Praxis, für **Spezialzwecke** auch **Massen** besonderer Eigenschaften herzustellen. Gestützt auf jahrelange Erfahrungen gelingt es den

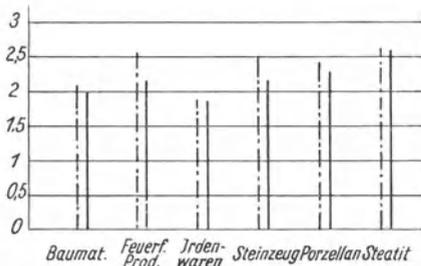


Abb. 1067.

Maximales u. mittleres Raumgewicht.

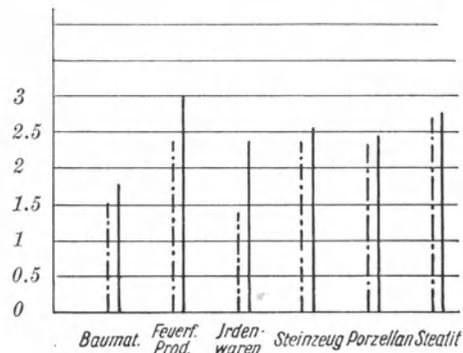


Abb. 1068.

Maximales u. mittleres spez. Gewicht.

keramischen Fabriken, die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Erzeugnisse zu bessern und so zu gestalten, daß auch weitgehenden Wünschen der Verbraucher entsprochen werden kann.

Diese Sonderbestrebungen und Ziele werden am besten durch eine Reihe von Beispielen¹⁾ veranschaulicht:

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. Sinter-Tonerde. | 5. Sinter-Magnesia. |
| 2. Sinter-Spinell. | 6. Sinter-Thorerde. |
| 3. Sinter-Beryllerde. | 7. Sinter-Zirkonsilicat. |
| 4. Sinter-Zirkonerde. | 8. Siemensit. |

1. Sinter-Tonerde (*H. Kohl*, Sinterkorund als Werkstoff [aus Archiv für Technisches Messen Z 944-4]). Begriffserklärung: Sinter-Tonerde ist ein aus reinem Aluminiumoxyd zu einem völlig dichten, krystallinen Körper gesinterter Isolierstoff.

¹⁾ *M. Pirani*, Elektrochemie (Berlin 1930, Springer). — *E. Ryschkewitsch*, Einige neuere Fortschritte in der Keramik hochfeuerfester Oxyde (Ber. dtsh. keram. Ges. 1930, Bd. 11, S. 619). — *W. Swanger, F. Caldwell*, Special Refractories for Use at High Temperature (Bur. Stand. J. Res. 1931, Bd. 6, S. 1131). — *W. Krings u. H. Schackmann*, Über Gleichgewichte zwischen Metallen und Schlacken im Schmelzfluß (Z. anorg. allg. Chem. 1931, 202, S. 99). — *Gausbay, Rousseau, Chaudron*, L'investigation des matériaux réfractaires (Congrès de la Soc. de Chimie ind., Paris 1931). — *O. Weigel u. F. Kaysser*, Über die Bestimmung von Mineralschmelzpunkten (Neues Jahrb. Mineral. Brauns-Festband, 1931,

Erzeugnisse aus Sinter-Tonerde unterscheiden sich grundsätzlich von den seit längerer Zeit unter verschiedenen Handelsnamen bekannten Tonerdeprodukten, in denen das Aluminiumoxyd mit Ton, Kaolin oder anderen Bindemitteln eingebunden und bei Temperaturen von der ungefähren Höhe des Porzellanbrandes (1400°) gebrannt wird. Alle diese Mehrstoffsysteme enthalten Kieselsäure, häufig auch Feldspat oder andere Flußmittel, die mit einem Teil der in der Masse enthaltenen Tonerde Alumo-Silicatgläser bilden. Die so entstehende Glasbasis, die mehr oder weniger vor dem kristallinen Anteil an Korund, Mullit- oder Sillimanitkristallen vorherrscht und den Zusammenhalt der Krystallite bewirkt, bestimmt grundlegend den Charakter dieser Stoffe als Gläser. Kieselsäurefreie Tonerdemassen wurden früher durch Verwendung organischer oder anderer flüchtiger Bindemittel durch Formen oder Gießen hergestellt, blieben aber porös und waren mangels jeder elektrischen Durchschlagsfestigkeit als Isolierstoffe ungeeignet.

Sinter-Tonerde ist dagegen infolge ihrer eigenartigen Formgebung und Sinterung bei etwa S.K. 40—41 ein absolut dichter Körper, dessen Dünnschliffbild im polarisierten Licht ausschließlich ein Netzwerk innig miteinander verwachsener Korundkristalle ohne jeden glasigen Anteil zeigt. Aus diesem Grunde hat Sinter-Tonerde Eigenschaften, die die bekannten keramischen Stoffe nicht aufweisen.

Herstellungsweise: Die Formgebung der Körper aus Sinter-Tonerde erfolgt in erster Linie nach dem in der Keramik üblichen Gießverfahren. Da jedoch Aluminiumoxyd im Gegensatz zu Ton und Kaolin, die in alkalischer Suspension vergossen werden können, elektrisch positiv geladene Teilchen bildet, müssen zur Verflüssigung des Tonerde-Gießschlickers andere Elektrolytzusätze und Schutzkolloide gewählt werden, d. h. es ist notwendig, durch Säurezusatz die für den Gießprozeß günstigste Wasserstoff-Ionenkonzentration herbeizuführen. Es ist wesentlich für die völlige Dichte und Durchkristallisation des Endproduktes, daß keinerlei Fremdstoffe als Bindemittel in die Masse gebracht werden. Außer dem Gießprozeß kann bei der Erzeugung kleinerer Stücke ein Preßverfahren angewandt werden. Die Trocken- und Brennschwindung ist bei beiden Formgebungsverfahren um 2—3 Proz. geringer als diejenige von Hartporzellan. Es können daher grundsätzlich mit genügender Maßgenauigkeit alle diejenigen Gegenstände aus Sinter-Tonerde erzeugt werden, deren Herstellung aus Porzellan möglich ist.

Eine nachträgliche Bearbeitung gegossener und gepreßter Körper ist im lufttrockenen Zustande gut möglich, da die Formlinge eine sehr hohe Trockenfestigkeit aufweisen. Nach dem Brande ist die Bearbeitung wegen der großen Härte des Materials außerordentlich schwierig und kostspielig. Sie erfolgt mit Siliciumcarbid-Schleifscheiben, die sich aber wesentlich rascher abnutzen als der zu schleifende Gegenstand.

S. 321). — *R. Winzer*, Korrosionsbestimmungen an Geräten aus reinen Oxyden (Z. anorg. allg. Chem. 1932, Bd. 45, S. 429). — *H. Kohl*, Sinterkorund, ein neuer keramischer Werkstoff aus reiner Tonerde (Ber. dtsh. keram. Ges. 1932, Bd. 13, S. 70). — *E. Ryschke-witsch*, Neue Keramik reiner hochfeuerfester Oxyde (Elektrowärme 1934, S. 30). — *H. Borchers*, Neuere keramische Materialien als Hilfsmittel zur Erforschung technologisch wichtiger Schmelzelektrolysen (Metallwirtsch. 1934, Bd. 14, S. 142). — *E. Ryschke-witsch*, Einstoffsysteme als Grundlage der wissenschaftlichen keramischen Forschung (Ber. dtsh. keram. Ges. 1935, Bd. 16, S. 111); Neue deutsche keramische Werkstoffe aus reinen Oxyden für den chemischen Apparatebau (Chem. Fabrik 1936, S. 12).

Chemische Eigenschaften: Sinter-Tonerde enthält 99,8 Proz. Al_2O_3 und 0,2 Proz. Verunreinigungen, die hauptsächlich aus SiO_2 und Fe_2O_3 bestehen. Sie ist daher in jeder Beziehung chemisch sehr widerstandsfähig. Da sie keine Kieselsäure enthält, ist sie gegen Flußsäure und Fluoride beständig. Von Alkalien wird sie in konzentrierter, heißer Lösung gar nicht, in der Schmelze fast nicht angegriffen. Gegen Schmelzen von Gläsern, Schlacken und Metallen, gegen Rückstände von Explosionsgasen und gegen Wasserdampf ist Sinter-Tonerde bedeutend widerstandsfähiger als Porzellan, Sillimanit und geschmolzener Quarz.

Physikalische Daten:

Spezifisches Gewicht	3,78
Schmelzpunkt	2050°
Wasseraufnahme	Null
Porosität in Fuchsinlösung unter 600 Atmosphären-	
Stunden	Null
Gasdicht bis über	1720°
Härte (Mohs-Skala)	9

Mechanische Daten:

Druckfestigkeit an Zylindern	6190 kg/cm ²
„ „ Würfeln	5140 „
Zugfestigkeit an Stäben	350 „
Biegefestigkeit	1210 „
Elastizitätsmodul	2350000 „
Schlagbiegefestigkeit	3,12 cmkg/cm ²

Druck-Feuerbeständigkeit (DIN 1064):

Erweichungsbeginn	1730°
Deformationspunkt	nicht mehr bestimmbar.

Warmfestigkeit im elektrischen Ofen, gemessen als Schlagarbeit (im Vergleich mit anderen Isolierstoffen):

	kalt	600 – 650°
Sinter-Tonerde	210 cmkg	180 cmkg
Sillimanit	145 „	120 „
Steatit	210 „	50 „
Hartporzellan	155 „	45 „

Thermische Eigenschaften: Bemerkenswert ist in erster Linie die im Vergleich zu anderen keramischen Materialien außerordentlich hohe Wärmeleitfähigkeit. Während sie bei Porzellan 0,9, bei geschmolzenem Quarz 0,72 beträgt, erreicht sie bei Sinter-Tonerde

bei 17°	16,8 kcal/m · std · Grad	bei 500°	6,1 kcal/m · std · Grad
„ 95°	12,0 „	„ 800°	4,9 „
„ 300°	7,7 „		

Dieses eigentümliche Verhalten ist auf die rein krystalline Struktur der Sinter-Tonerde zurückzuführen, die kein anderer keramischer Stoff aufweist.

Die anderen thermischen Eigenschaften sind:

Spezifische Wärme		0,20
Wärmeausdehnungs- koeffizient zwischen	20 u. 100°	$4,6 \cdot 10^{-6}$
	20 u. 200°	$5,8 \cdot 10^{-6}$
	20 u. 400°	$6,8 \cdot 10^{-6}$
	20 u. 600°	$7,5 \cdot 10^{-6}$
	20 u. 800°	$8,0 \cdot 10^{-6}$

Diese Zahlen sind etwas höher als bei Porzellan.

Der Widerstand gegen schroffen Temperaturwechsel wurde an Versuchsrohren vergleichsweise mit solchen aus Porzellan, Steatit und reinem Sillimanit ermittelt. In dieser Form ergab sich der Widerstand gegen Temperaturwechsel als gleich mit Sillimanit, bedeutend größer als bei Steatit und höher als bei Porzellan. Wurde der Versuch nicht mit Rohren, sondern mit kleinen kompakten Körpern (Zündkerzen-Isolatoren) gemacht, so erwies sich Sinter-Tonerde ebenfalls als besser als die genannten Vergleichsstoffe.

Elektrische Eigenschaften: Die wichtigste Eigenschaft der Sinter-Tonerde, die sie voraussichtlich als Isolierstoff in der Elektrotechnik für besondere Anforderungen einführen wird, ist ihr ungewöhnlich hoher elektrischer Widerstand bei hohen Temperaturen. Die Messung erfolgte nach dem bei der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt üblichen Verfahren an Hohlzylindern von 100 mm Länge, 40 mm Durchmesser und etwa 7 mm Wandstärke, die nach dem Gießverfahren hergestellt waren. Die Rohre wurden auf der Innen- und Außenseite mit Metallüberzügen versehen und im elektrischen Ofen auf ihre Leitfähigkeit untersucht.

Die Mittelwerte aus den Messungen an drei Rohren waren:

Temperatur	spez. elektr. Widerstand
300°	12000 · 10 ⁹ Ohm · cm ⁻¹
400°	1600 · 10 ⁹ „
500°	130 · 10 ⁹ „
600°	19 · 10 ⁹ „
700°	2,5 · 10 ⁹ „
800°	0,35 · 10 ⁹ „

Die Werte liegen bei 400° etwa auf dem 100000fachen von Porzellan und bei 700° etwa auf dem 100fachen von geschmolzenem Quarz.

Auch bezüglich der Durchschlagsfestigkeit zeigt Sinter-Tonerde nach den bisherigen Versuchen sehr günstige Werte. Die Versuche wurden mit kreisförmigen Platten von 80 mm Durchmesser und 10 mm Dicke vorgenommen, die auf beiden Seiten in der Mitte halbkugelförmige Vertiefungen hatten, so daß die dünnste Stelle eine Dicke von 3 mm hatte.

Die Versuchsplatten wurden in einem elektrischen Ofen mehrere Stunden auf 400° erhitzt und im heißen Zustand geprüft. Es war dabei nicht möglich, die Spannung über 15 kV entsprechend 63 kV/cm zu steigern, weil dabei schon in der Luft Überschläge eintraten. Auch nach einstündiger Erhitzung auf 460° und kurzzeitiger auf 520° war auf diese Weise kein Durchschlag zu erzielen.

Nach erfolgter Abkühlung wurden die Platten dann unter Öl geprüft und konnten mit 46 bzw. 34 kV, entsprechend 158 bzw. 113 kV/cm durchschlagen werden. Die Werte bei Zimmertemperatur erreichen noch nicht die von

Porzellan, wenn es auch nicht ausgeschlossen ist, daß das mit weiterer Vervollkommnung der Herstellung der Fall sein wird. Dagegen liegt die Durchschlagsspannung bei hoher Temperatur weit über den Werten für Porzellan.

Anwendungen: Für chemische Geräte ist von besonderer Bedeutung die Beständigkeit gegen Flußsäure, Alkalien in wässriger Lösung und in der Schmelze, gegen Gläser- und Schlackenschmelzen. — Für wärmetechnische Zwecke, insbes. Pyrometerrohre, bedeuten dieselben Eigenschaften, die Gasdichte der Rohre bei hohen Temperaturen, ihre gute Wärmeleitfähigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit einen Fortschritt gegenüber den bisher für diesen Zweck gebrauchten keramischen Massen. Für Zündkerzen bietet Sinter-Tonerde bedeutende konstruktive Vorteile. Durch Ausnutzung der hohen Wärmeleitfähigkeit wird der Isolierkörper selbst zum wärmeabführenden Bauelement der Kerze. Es entstehen hierdurch lange Isolierwege und tiefe Hohlräume, die für die Öl- und Rußfestigkeit der Kerzen und für die günstigste Zündfunkenbildung von hoher Bedeutung sind. — Als Isoliermaterial, z. B. für Heizdrahtträger von Lötkolben, bietet gesintertes Aluminiumoxyd den Vorteil einer bisher nicht erreichten Isolierfähigkeit und Durchschlagfestigkeit bei hohen Temperaturen sowie hoher mechanischer Festigkeit im erhitzten Zustand. — Von den mechanischen Anwendungsgebieten ist z. Z. das wichtigste die Verwendung als Fadenführer für Metalldrähte und Textilfäden auf Grund ihrer großen Härte und Verschleißfestigkeit. — Als hochfeuerfester Baustoff bietet Sinter-Tonerde durch ihre sehr hohe Druck-Feuerbeständigkeit und Unempfindlichkeit gegen Temperaturwechsel ein den bisher bekannten feuerfesten Materialien weit überlegenes Konstruktionsmaterial.

2. Sinter-Spinell (Degussa-Schrift [vgl. S. 790], Degussa-Geräte für höchste chemische und thermische Beanspruchung). Der gewöhnliche Spinell $MgO \cdot Al_2O_3$ (vgl. S. 805 bei Siemensit) ist in mancher technischen Beziehung dem Aluminiumoxyd ähnlich. Er ist mit seinem Schmelzpunkt von 2135° noch feuerfester als die Tonerde. Der neutrale Charakter der Verbindung tritt insbesondere bei hohen Temperaturen mehr als bei Al_2O_3 in Erscheinung, da das letztere die Eigenschaften einer Säure annimmt. Wegen der überaus geringen Wärmeleitfähigkeit ist der Spinell gegen schroffen Temperaturwechsel empfindlicher als Al_2O_3 . Gegen reduzierende Agenzien ist der Spinell ebenso widerstandsfähig wie Al_2O_3 . Geräte aus Spinell können ebenso gasdicht wie aus Al_2O_3 hergestellt werden. Seine Härte und mechanische Festigkeit stehen denen von Al_2O_3 nach.

Als Schmelzgefäße für verschiedene salz- und schlackenartige Stoffe, für edle und unedle Metalle von hohem Schmelzpunkt, als Pyrometerschutzrohre für hohe Temperaturen mit sehr geringer Wärmeableitung sind die Geräte aus Spinell sehr gut brauchbar.

3. Sinter-Beryllerde (Degussa-Schrift). Das reine Berylliumoxyd BeO mit dem Schmelzpunkt von über 2500° ist ein überaus wertvoller keramischer Rohstoff. Geräte daraus können völlig gasdicht hergestellt werden. Infolge seiner vorzüglichen Wärmeleitung ist das Material gegen sehr schroffen Temperaturwechsel weitestgehend unempfindlich. Daher können BeO -Tiegel mit besonderem Erfolg u. a. bei Hochfrequenzöfen Verwendung finden. Feuerflüssige Ätzalkalien greifen BeO -Geräte nicht mehr an als die aus Al_2O_3 , nur die Säuren wirken energisch darauf ein. Der chemische Widerstand gegen

reduzierende Agenzien ist noch größer als bei Al_2O_3 , so daß in BeO -Gefäßen unedle, hochschmelzende Metalle und Legierungen, wie z. B. Zr-Metall, Be selbst usw., ohne jede Gefahr des Tiegelangriffs geschmolzen werden können. Fremde Oxyde, z. B. Al_2O_3 , MgO usw., bilden dagegen mit BeO bei hohen Temperaturen leicht schmelzbare Schlacken. Mit ZrO_2 kann man BeO bis etwa 1900° im Kontakt miteinander ohne Schlackenbildung lassen. Der Kohlenstoff wirkt auf BeO auch bei sehr hohen Temperaturen kaum ein.

4. Sinter-Zirkonerde (Degussa-Schrift). Der Schmelzpunkt von Zirkonoxyd ZrO_2 liegt bei etwa 2700° . Die daraus hergestellten Geräte können bis etwa 2500° benutzt werden. In chemisch reiner Form läßt sich das Material — im Gegensatz zu allen anderen bisher erwähnten Oxyden — keramisch nicht verwenden. Es müssen hochfeuerfeste Zusätze in geringer Menge beigegeben werden, die die Feuerfestigkeit des Materials nicht herabsetzen, aber die keramische Verarbeitung und Verwendung ermöglichen. Die Geräte zeichnen sich durch ihre überaus große Widerstandsfähigkeit gegenüber alkalischen sowie sauren Stoffen selbst bei sehr hohen Temperaturen aus. Manche basischen Schlacken und Gläser können stundenlang bei über 1700° ohne nennenswerten Tiegelangriff darin geschmolzen werden. Kohlenstoff wirkt auf ZrO_2 bei hohen Temperaturen nur oberflächlich unter der Bildung von Zirkoncarbidein. Gegen den Temperaturwechsel sind die Geräte aus ZrO_2 verhältnismäßig empfindlich, da der Ausdehnungskoeffizient des Materials hoch und seine Wärmeleitfähigkeit nur gering ist.

5. Sinter-Magnesia (Degussa-Schrift). Das reine Magnesiumoxyd MgO schmilzt erst bei 2800° . Die Herstellung des dichten Scherbens aus praktisch reinem Magnesiumoxyd ist Errungenschaft der allerletzten Zeit. Obwohl der thermische Ausdehnungskoeffizient von MgO recht hoch ist, sind die Geräte aus diesem Material verhältnismäßig unempfindlich gegen Temperaturwechsel, da der Wärmeausgleich infolge der hohen Wärmeleitung gut ist. Gegen basische Stoffe ist MgO chemisch sehr beständig, selbst bei recht hohen Temperaturen. In stark reduzierender Atmosphäre und in Gegenwart von Kohlenstoff ist MgO bei hoher Temperatur verhältnismäßig leicht flüchtig. In oxydierender und neutraler Atmosphäre dagegen kann man MgO -Geräte bis 2500° ohne merkliche Verflüchtigung anwenden. Aus dem Material können die winzigsten Röhren mit lichten Weiten von Bruchteilen eines Millimeters hergestellt werden.

6. Sinter-Thorerde (Degussa-Schrift). Den höchsten Schmelzpunkt unter allen hier erwähnten Oxyden hat das Thoriumoxyd ThO_2 . Er beträgt rund 3000° . Aus feinkörnigem reinem Ausgangsmaterial hergestellte Geräte, die bei etwa 2000° gebrannt sind, weisen eine gute Dichtigkeit auf. Der chemische Widerstand der Geräte, namentlich gegen basische Stoffe, ist sehr bedeutend. Die Gegenstände können bis über 2500° verwendet werden. Kohlenstoff greift das Material unter Bildung einer Oberflächenschicht von Carbidein an. Da das Material einen hohen Ausdehnungskoeffizienten hat, sind die daraus hergestellten Geräte gegen plötzlichen Temperaturwechsel empfindlich.

7. Sinter-Zirkonsilicat (Degussa-Schrift). Das Zirkonsilicat ZrSiO_4 stellt ein schweres kristallinisches Pulver von bräunlicher Farbe dar. Das Material hat keinen konstanten Schmelzpunkt, da es sich vor der Erreichung desselben zersetzt. Immerhin ist es bis etwa 1750° zu verwenden. Da es einen sehr geringen Ausdehnungskoeffizienten besitzt, vertragen die daraus hergestellten

Geräte einen schroffen zeitlichen und örtlichen Temperaturwechsel ohne jede Gefahr des Springens. Das ausgesprochen saure Material ist sehr säurebeständig. Basische Stoffe greifen es dagegen bei hohen Temperaturen an. Für jegliche Metallschmelze ist das Material sehr geeignet.

Weiteres über die Verwendung der hochfeuerfesten Stoffe 1—7 (Degussa-Schrift): Alle Edelmetalle können in Tiegeln aus jedem der angeführten Stoffe geschmolzen werden. Die Auswahl richtet sich hier einzig und allein nach der Höhe der anzuwendenden Temperatur. Fast das gleiche gilt auch für Nichtedelmetalle, die nur verhältnismäßig schwer oxydierbar sind, wie z. B. Ni.

Leicht oxydable Metalle, namentlich solche mit hohem Schmelzpunkt, wie z. B. Zr, schmilzt man vorteilhaft in Tiegeln aus besonders schwer reduzierbarem Material, wie BeO. Es ist vorteilhaft, anstatt Luft oder CO₂ eine Schutzatmosphäre bzw. Vakuum anzuwenden, um den Angriff des sich bildenden Metalloxyds auf das Tiegelmateriale zu vermeiden. In dieser Beziehung ist das Schmelzen von Fe und seinen Legierungen besonders erwähnenswert. Während sich in oxydierender (also CO₂-, H₂O-, O₂-haltiger) Atmosphäre FeO bildet, das auf die verschiedensten hochfeuerfesten Oxyde bei hohen Temperaturen stark schlackenbildend und auflösend einwirkt, läßt sich in reduzierender oder N₂-Atmosphäre Fe-Metall in jedem Tiegel blank und ohne den geringsten Angriff auf das Material schmelzen. Auch ein dichter Verschluß des Tiegels führt zu gutem Ergebnis.

Die Geräte aus den vorgenannten Stoffen 1—7 sind nicht nur für Arbeiten bei hohen Temperaturen wertvoll. Sie sind infolge der besonderen chemischen Eigenschaften der angewandten Materialien und der Spezialverarbeitung derselben auch für viele Arbeiten bei tieferen Temperaturen, bei denen man bisher auf Platin-, Silber- und Porzellantiegel angewiesen war, von unschätzbare Bedeutung.

Manche analytischen, präparativen und sonstigen Untersuchungsarbeiten, wie Aufschlüsse mit schmelzenden Ätzalkalien, Abrauchen mit Flußsäure, Schmelzen von stark reduzierend wirkenden, leichtschmelzenden Metallen und Legierungen usw. können überhaupt erst in den neuen Tiegeln ohne nennenswerten Angriff auf das Tiegelmateriale vorgenommen werden.

Unter den verschiedenartigsten Materialien findet sich für jede Arbeit eines oder auch einige, die sich für das gesteckte, sonst unerreichbare Ziel vorzüglich eignen.

8. Siemensit (*J. Sittard*, Siemensit als Baustoff im basischen Siemens-Martin-Ofen [Stahl u. Eisen 1932, S. 1014]) ist ein durch reduzierendes Schmelzen im offenen Lichtbogenofen gewonnener hochfeuerfester Baustoff. Die Ausgangsstoffe zu seiner Herstellung sind Chromit, Bauxit und Magnesit. Die Zusammensetzung des Möllers wird so geregelt, daß die geschmolzene Masse etwa die folgende Zusammensetzung aufweist:

Cr ₂ O ₃	20—40 Proz.
Al ₂ O ₃	25—45 „
MgO	18—30 „
Restliche Bestandteile	8—14 „

Die Hauptbestandteile Chromoxyd, Tonerde und Magnesia sind im Stein als Spinelle enthalten. Die restlichen Bestandteile bilden mit einem geringen Teil der Hauptbestandteile Silicate. Durch Vergießen der feuerflüssigen Masse

Tabelle VI. Physikalische

Masse	Spez. Gewicht	Raumgewicht	Porenraum	Porosität durch Wasseraufnahme	Druckfestigkeit	Zugfestigkeit	Biegefestigkeit	Elastizitätsmodul	Torsionsfestigkeit	Kugeldruckprobe
			Proz.	Proz.	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/mm ²	kg/cm ²	
Baumaterialien:										
1. Ziegel, normal	1,4-1,6	1,85	—	8	150	—	—	—	—	—
2. Ziegelmauerwerk	1,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3. Klinker	1,7-2,0	—	—	5	350	—	—	—	—	—
4. Hartbrandziegel	—	—	—	5-12	250	—	—	—	—	—
5. Klinkerplatten	2,4-2,5	2,1-2,2	—	—	700-1200	—	—	—	—	—
Feuerfeste Produkte:										
6. Magnesitziegel	3,44-3,60	2,35	24-30	—	etwa 535	—	246	8919	—	—
7. Kohlenstoffsteine	etwa 3	—	etwa 40	—	325	—	—	—	—	—
8. Norm. Schamottesteine	2,5-2,7	1,9	15-35	—	70-300	—	—	—	—	—
9. Quarzglas	2,20-2,07	2,068	6,0	—	19800	—	—	6970-7260	300	—
10. Silit	2,67-2,83	2,2	17,6	—	—	—	800-1200	—	—	—
11. Alundum	3,91	—	—	—	—	120	1085	—	—	—
12. Silicasteine	2,32-2,5	—	18-43	—	100	—	—	—	—	—
13. Siliciumcarbidsteine	3,1-3,2	—	etwa 30	—	—	—	—	—	—	—
14. Chromitsteine	etwa 4	—	etwa 10	—	—	—	—	—	—	—
15. Marquardt'sche Masse	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Irdenwaren:										
16. Poröse Masse	2,586	1,869	27,7	12,1 bis 15,2	—	47	148	1544	84	405
Steingut:										
17. Steingut ¹⁾	1,33-1,6	—	—	19-21	—	20-50	50-135	—	—	—
18. Fayencemasse	2,592	1,925	25,7	11	—	67	233	2420	169	526
19. Spezialhartsteingut	2,592	1,926	25,7	0	—	—	—	—	—	—
20. „	2,620	1,959	25,3	7,8	—	118	—	—	232	—
21. Steinzeug	2,44 bis 2,649	2,063 bis 2,367	5,2 bis 18,2	0 bis 5,10	3248 bis 5816	63 bis 116	234 bis 416	4175 bis 6850	130 bis 251	476 bis 1044
22. Feinsteinzeug	2,449 bis 2,532	2,233 bis 2,316	7,7 bis 8,9	0 bis 1,8	etwa 6000	163 bis 178	416 bis 980	5087 bis 15130	226 bis 323	792 bis 982
23. Porzellan	2,424 bis 2,495	2,269 bis 2,376	4,1 bis 7,9	0	4000 bis 5000	161 bis 320	540 bis 855	7800 bis 8880	481 bis 500	674 bis 1386
24. Steatit	2,785 bis 2,798	2,364 bis 2,680	4,2 bis 13,0	0	6548 bis 7528	—	851 bis 981	—	—	—
Verschiedene Einzeloxyde:										
25. SiO ₂ (krystall.) } Achse	2,65	—	—	—	25000	1160	1400	} 6900	—	—
26. Al ₂ O ₃ (krystallisiert)	3,95-4,0	1,84	—	—	23000	850	920		—	—
27. Fe ₂ O ₃	5,2-5,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28. MnO	5,091	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29. MgO	3,6	0,797	—	—	—	—	—	—	—	—
30. CaO	3,493	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31. ThO ₂	9,86	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32. Cr ₂ O ₃	6,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
33. BeO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

¹⁾ Zwischen 17 und 200°. — ²⁾ Bei 200°. — ³⁾ Mittel zwischen 0 und 1000°. — ⁴⁾ In dieser Formel muß die Dichte in kg/m³

Eigenschaften keramischer Werkstoffe.

Schlagbiegefestigkeit cm kg cm ²	Zähigkeit, Trommelprobe Gew.- Verl. in Proz.	Härte		Kegelschmelzpunkt SK. (unten Grad)	Erweichungs- temperatur unter Belastung Grad	Linearer Ausdehnungs- koeffizient	Wärmeleitfähigkeit, spezi. Wärme zwischen 17 und 100°	Thermischer Widerstandskoeffizient	Wärmeleitfähigkeit kcal/m · std. · Grad	Temperaturleitfähigkeit Wärmeleitfähigkeit ⁴⁾ = Dichte · spez. Wärme	Oberflächenleitfähigkeit	Dielektrizitätskonstante	Isolationswiderstand in Megohm (= 1000000 Ohm)		
		Sandstrahl- abnutzbarkeit Verl. in cm ³	Skleroskop												
-	-	-	-	-	-	-	0,189 bis	-	0,45	-	-	-	-	-	1.
-	-	-	-	-	-	-	0,241	-	-	-	-	-	-	-	2.
-	-	-	-	-	-	-	0,19	-	0,60	-	-	-	-	-	3.
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.
-	13,9	10,3	-	> 42	etwa 1400	-	0,253 ¹⁾	-	0,396 ²⁾	-	-	-	-	< 137	6.
-	-	-	-	> 42	-	-	0,312 ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	7.
-	-	-	-	32-35	1300	1,6-5,7 · 10 ⁻⁶	0,190	-	0,432 ²⁾	-	-	-	-	< 137	8.
-	-	-	-	31-32	-	0,55 · 10 ⁻⁶	0,2777	-	0,9630	-	-	-	-	-	9.
-	-	-	-	-	-	-	0,19	-	-	-	-	-	-	-	10.
-	-	-	-	-	-	7,1 · 10 ⁻⁶	-	-	-	etwa 1,44	-	-	-	-	11.
-	-	-	-	33-35	1600-1700	-	0,219 ³⁾	-	0,684 ²⁾	-	-	-	-	< 175	12.
-	-	-	-	> 42	> 1700	4,7 · 10 ⁻⁶	-	-	8,64 ²⁾	-	-	-	-	< 127	13.
-	-	-	-	37	etwa 1300	5,2 · 10 ⁻⁶	0,229	-	-	-	-	-	-	-	14.
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.
1,22	15,7	33,0	-	72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.
1,6	8,2	7,2	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.
2,0	8,2	5,8	44	31	-	5,4 · 10 ⁻⁶	-	-	-	-	-	-	-	-	19.
1,5	7,0	5,9	47	31	-	7,1 · 10 ⁻⁶	-	-	-	-	-	-	-	-	20.
1,3 bis 1,9	3,6 bis 11,1	3,0 bis 9,9	41 bis 62	17-29	-	4,1 · 10 ⁻⁶ bis 4,9 · 10 ⁻⁶	0,185 bis 0,191	1,9 bis 2,34	0,90 bis 1,35	-	-	-	-	-	21.
1,7 bis 2,4	4,3 bis 5,2	2,4 bis 3,9	55 bis 64	17-29	-	4,1 · 10 ⁻⁶ bis 4,9 · 10 ⁻⁶	-	2,4	1,00 bis 1,25	-	-	5,17	-	-	22.
0,90 bis 2,00	-	2,4 bis 3,3	-	26-32	-	3,0 · 10 ⁻⁶ bis 4,3 · 10 ⁻⁶	etwa 0,2	etwa 3,7	etwa 0,7 bis 0,9	etwa 1,4 bis 1,5	-	-	-	-	23.
etwa 2,2	-	etwa 2,1	52 bis 60	-	-	-	-	-	-	-	-	54	-	-	24.
-	-	-	-	1625	-	7,81 · 10 ⁻⁶	0,1913	-	9,468	-	-	-	-	-	25.
-	-	-	-	2050	-	14,19 · 10 ⁻⁶	0,1976	-	5,76	-	-	-	-	-	26.
-	-	-	-	1565	-	-	0,1670	-	0,5832	-	-	-	-	-	27.
-	-	-	-	-	-	-	0,1570	-	-	-	-	-	-	-	28.
-	-	-	-	2800	-	13 · 10 ⁶	0,264	-	0,522	-	-	-	-	-	29.
-	-	-	-	2572	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.
-	-	-	-	3000	-	-	0,0548	-	-	-	-	-	-	-	31.
-	-	-	-	1990	-	-	0,177	-	-	-	-	-	-	-	32.
-	-	-	-	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33.

4) eingesetzt werden. — 5) Nach Harkort-Scherbius, Festigkeitsbestimmungen von Steingutmassen (Ber. dtsh. keram. Ges. 1921-22)

in Kokillen werden Gußsteine hergestellt, die zum Ausgleich von Guß- und Kühlspannungen einem anschließenden Tempverfahren in einem Tunnelofen unterworfen werden.

Die wichtigsten Eigenschaften der Siemensit-Steine nach den bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen sind folgende:

Feuerstandfestigkeit: höher als SK. 42.

Erweichung unter Druck bei hohen Temperaturen und einer Belastung von 2 kg/cm^2 : $t_a =$ über 1800° .

Raumgewicht einschließlich Lunker: 3,2—3,4.

Wärmeleitfähigkeit: noch nicht genau ermittelt, aber höher als jene von Magnesit.

Ausdehnung zwischen 0 und 1200° : 1,2—1,4 Proz., bei höheren Temperaturen etwa 2 Proz.

Gegen saure und basische Schlacken weisen die Siemensit-Steine bei niedrigen und hohen Temperaturen große Widerstandsfähigkeit auf.

Die neueste Entwicklung des Siemensit als Baustoff für industrielle Öfen liegt auf dem Gebiete der keramischen Verarbeitung des elektrisch geschmolzenen Rohmaterials. Unter diesen Umständen kann auch eine noch weitere Anwendungsmöglichkeit des Siemensit erwartet werden.

Die im vorstehenden geschilderten chemischen und physikalischen Eigenschaften der keramischen Massen und der keramisch verarbeiteten Einzeloxyde sind weitgehend in der vorstehenden Tabelle S. 806 u. 807 ziffernmäßig zusammengefaßt und durch Zahlen verwandter Werkstoffe (für Vergleichszwecke) ergänzt (Tabelle VI).

3. Konstruktionsgrundlagen.

Die geschilderte Entstehung keramischer Materialien, ihre Schwindung und Verdichtung während des Brandes, ihre chemische Zusammensetzung und Widerstandsfähigkeit und ihre physikalischen Eigenschaften bilden die Grundlage und Konstruktionselemente für den Bau und die Entwicklung von Apparaten, Maschinen usw. Die außerordentlich große, vielfach kaum übertroffene mechanische Festigkeit in gewissen Beziehungen neben Empfindlichkeit gegen andere Beanspruchung bedingen absolut andere Konstruktionsrichtlinien bei dem Bau, z. B. einer Steinzeug-Zentrifugalpumpe, als einer entsprechenden Maschine aus Metall. Alle diese „keramischen Maschinenbauelemente“ sind durch jahrzehntelange Empirie und exaktes Studium gesammelt worden, so daß heute praktisch jede von der chemischen Industrie gewünschte Apparatur aus keramischem Werkstoff gebaut wird.

Eine wertvolle Ergänzung der Einzelfestigkeitsschichten, deren Vergleichswert außerordentlich groß ist, bilden die folgenden Kurven (*H. Handreck*, Z. VDI 1927, S. 1553), die die Abhängigkeit der spezifischen Festigkeit von der Größe des hergestellten Stückes veranschaulichen. Wenn die Untersuchungen zunächst auch nur Porzellan betreffen, so kann doch gesagt werden, daß der Kurvenverlauf bei Steinzeug und Steatit prinzipiell analog ist (Abb. 1069—1072).

Geräte aus keramischen Massen finden in der chemischen Industrie dort Verwendung, wo bei Reaktionen aller Art Säuren benutzt werden oder entstehen. Besonders bei erhöhter Temperatur sind dann Metalle und andere

Werkstoffe nicht mehr genügend korrosionsbeständig und müssen durch keramische Massen, meistens mit dichten Scherben, ersetzt werden. Für chemische und technische Prozesse bis zu etwa 100° benutzt man im Laboratorium Vorrichtungen aus geschmolzenem Quarz und Porzellan, für industrielle Zwecke Steinzeug und Klinkerware. Für Temperaturen bis zu schwacher Rotglut braucht man neben geschmolzenem Quarz und Porzellan Schamotte und bei stärkster Weißglut Schamotte, Dinassteine, hochfeuerfeste Spezialmassen und Anstriche wie Pyrofirm, Marquardtsche Masse, Mullit- und Sillimanitsteine, Tonerde, Zirkonoxyd, geschmolzene Magnesia usw. Je niedriger die Reaktionstemperatur, um so vielgestaltiger können die Apparaturen und Maschinen — besonders aus Steinzeug — ausgeführt werden. Mit Erhöhung der Gebrauchstemperaturen erfahren die Materialien Änderungen ihres Volumens, die infolge der sie begleitenden Spannungserscheinungen Risse und Sprünge verursachen können. Aus diesem Grunde müssen die Werkstücke einfacher, vor allem kugliger oder kleiner gestaltet werden, bis sie schließlich in die einfachste Form der Platten und Steine übergehen. In dieser Form dienen sie hauptsächlich als Auskleidungsmaterial für Behälter, Panzerkessel, Öfen, Wannen u. dgl. Ihre Flächen sind je nach dem Verwendungszweck eben oder mehr oder minder gekrümmt und die Ränder je nach Erfordernis zueinander passend abgeschliffen oder mit Feder und Nut versehen. Es ist ferner zu berücksichtigen, ob die Materialien und die aus ihnen hergestellten Maschinen, Apparate u. dgl. mehr mechanischen, chemischen oder thermischen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Danach richtet sich neben der chemischen Zusammensetzung und Dichte die Form und Größe der einzelnen Stücke,

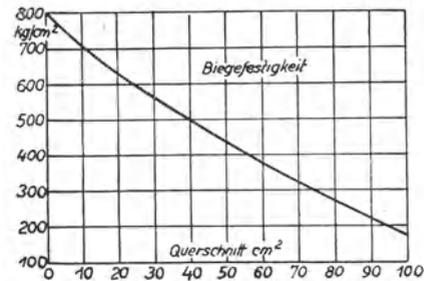


Abb. 1069.

Biegefestigkeit in Abhängigkeit vom Querschnitt des Stückes.

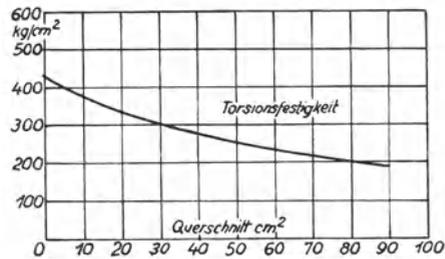


Abb. 1070.

Torsionsfestigkeit in Abhängigkeit vom Querschnitt des Stückes.

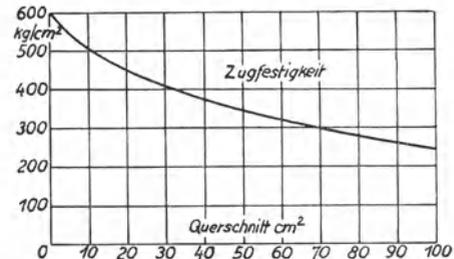


Abb. 1071.

Zugfestigkeit in Abhängigkeit vom Querschnitt des Stückes.

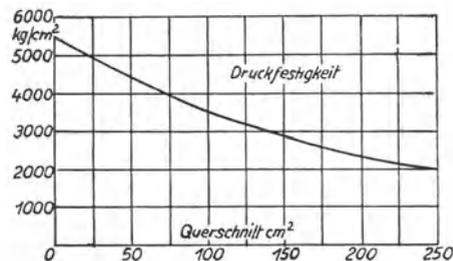


Abb. 1072.

Druckfestigkeit in Abhängigkeit vom Querschnitt des Stückes.

die häufig durch andere Materialien, wie Kitt, fest vereinigt werden. Bei hohen thermischen und mechanischen Beanspruchungen ist es angebracht, elastische Zwischenlagen einzufügen. Diese bewirken eine Kompensation der auftretenden Ausdehnungen und Kontraktionen sowie der aus ihnen resultierenden Spannungen und verhüten eine vorzeitige Alterung der Behälter. Dieselbe ausgleichende Eigenschaft soll auch das Bindemittel in weitgehendem Maße aufweisen. Platten können gegeneinander gestoßen oder übereinander gelagert werden, wobei ihre der Wand zugekehrten Seiten zur Erzielung eines besseren Anhaftens durch die kittende Masse in beliebiger Weise zweckmäßig

aufgeraut werden. Die säure- oder alkalifesten Steine bilden den Baustoff oder das Auskleidungsmaterial für chemisch, thermisch und mechanisch beanspruchte Gefäße, Panzerkessel, Öfen, Maschinen, Apparaturen u. dgl. Ihre Brauchbarkeit und Lebensdauer hängen von der sachverständigen Auswahl der Rohstoffe und der keramisch zweckmäßig durchgeführten Fabrikation unter Berücksichtigung des Verwendungszweckes ab.

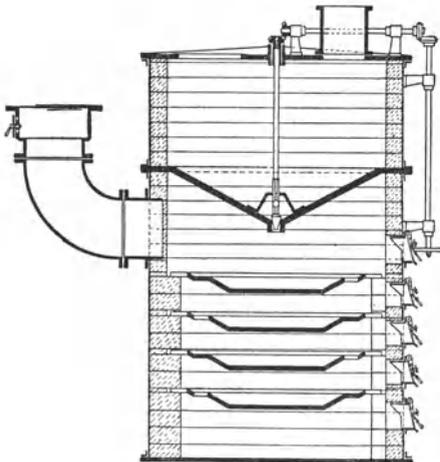


Abb. 1073. Humboldtöfen. (Nach Singer, Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft [Braunschweig 1923, Vieweg].)

4. Verwendungsbeispiele.

Die Schwefelsäurefabrikation beginnt mit dem Abrösten von Schwefel oder Schwefelerzen.

Die Verbrennung des Schwefels findet im allgemeinen im sog. Humboldtöfen der Maschinenbau-A.-G. Humboldt, Köln-Kalk (Abb. 1073), statt, der aus einem geschlossenen, mit feuerfesten Steinen ausgekleideten Blechzylinder besteht, in dem untereinander eine Anzahl von gußeisernen Schalen untergebracht sind. Der geschmolzene Schwefel tropft, durch einen Konus geregelt, aus der obersten Schale in die unter ihr befindlichen Schalen und verbrennt hierbei in dem Maße, in dem ihm Luft zugeführt wird. Die Oxydation des entstehenden Gemisches wird dadurch vollendet, daß man das Gemisch unter Zugabe von überschüssiger Luft ein Gitterwerk von rotglühenden Schamottesteinen durchstreichen läßt.

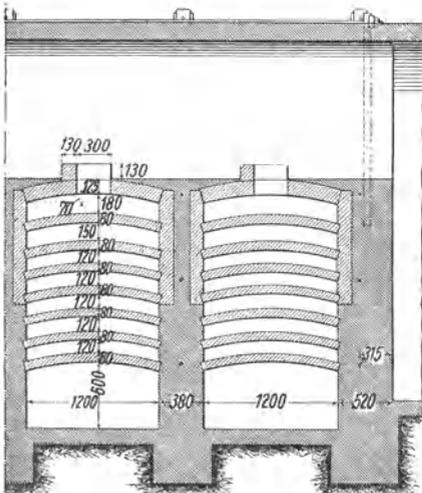


Abb. 1074. Maetra-Röstöfen für Feinkies. (Nach Singer, Keramik.)

Die zur Abröstung von grobkörnigen Schwefel-erzen dienenden Stückkiesöfen sind ebenfalls mit säure- und feuerfesten Schamottesteinen ausgekleidet. Diese müssen rotglutbeständig und gasdicht sein, um das Eindringen falscher Luft zu verhüten. Das Mauerwerk ist meist von Kanälen durchzogen, die einerseits für Kühlzwecke dienen, andererseits auch eine Ausnutzung der Abwärme ermöglichen.

Das Rösten feinkörniger Kiese geschieht nach älteren Methoden in Fortschaufelungsöfen, den sog. *Maletra*-Öfen (Abb. 1074). In diesen wird der oben eingefüllte Feinkies auf dünnen, untereinander angeordneten, bis zur Rotglut erhitzten Schamotteplatten etagenweise unter Luftzufuhr von einer Platte auf die nächstuntere herab-befördert. Außer den eingebauten Platten bestehen auch die der Hitze ausgesetzten Wände aus Schamottesteinen.

Eine Verbesserung des umständlich zu bedienenden *Maletra*-Ofens ist der runde *MacDougall*-Ofen (Abb. 1075), in dem die Kiese auf untereinander angeordneten, scheibenförmigen, abwechselnd in der Mitte und am Rande verbundenen Platten abgeröstet werden; auch hier ist die Handarbeit teilweise noch beibehalten.

Einen vollkommenen Ersatz der Hand-durch die Maschinenarbeit ermöglicht der ringförmige *Herreshoff*-Ofen (Abb. 1076) (Amer. P. 556750, 616926). Er ist ebenfalls mit säure- und feuerfesten Schamottesteinen ausgekleidet und wird durch Schamotte-etagen in mehrere übereinanderliegende Räume geteilt. Das Erz wird hierbei durch ein Rührwerk abwechselnd nach innen und außen bewegt und durch Öffnungen jeder Platte der nächsten Etage zugeführt. Der Rührer selbst besteht aus einer Hohlwelle, die durch Luft oder Wasser gekühlt werden kann, und an der die Rührarme befestigt sind. Die auswechselbaren Rührzähne an den Armen können unter besonderen Bedingungen ebenfalls aus Schamotte oder anderen hochfeuerfesten keramischen Spezialmassen (z. B. Siliciumcarbid) hergestellt werden.

Eine Verbesserung des *Herreshoff*-Ofens, bei der insbesondere auf die staubfreie Über-führung des Erzes von einer nach der nächsten Etage Gewicht gelegt wird, stellt der siebenetagige Röstofen der Erzröstgesellschaft, Frankfurt a. M.,

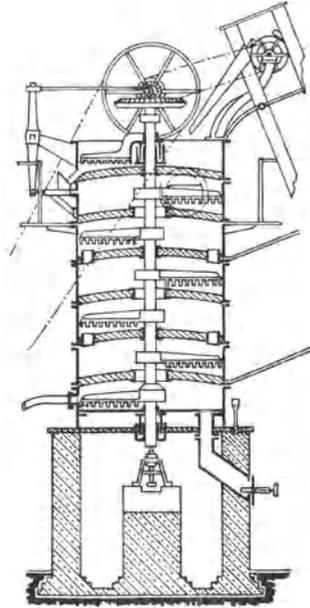


Abb. 1075. *MacDougall*-Ofen. (Nach *Ullmann*, Enzyklopädie d. techn. Chemie [2. Aufl., Bd. 7, Berlin 1931, Urban u. Schwarzenberg].)

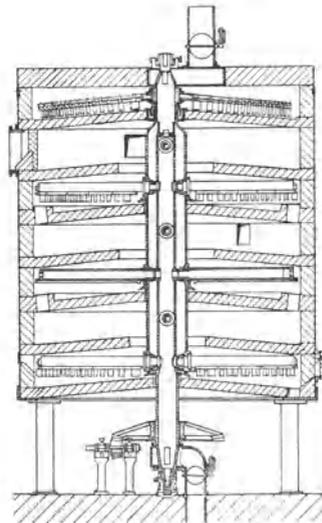


Abb. 1076. Röstofen nach *Herreshoff*. (Nach *Singer*, Keramik.)

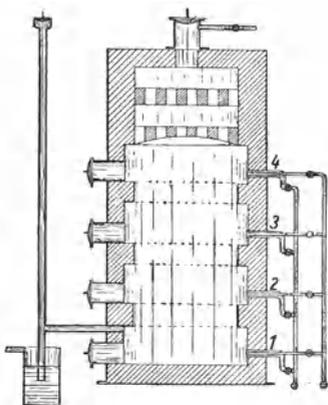


Abb. 1077. Schachtofen nach Messerschmitt. (Nach Singer, Keramik.)

vor, bei dem auch die die Rührarme tragende Welle im Innern des Röstraumes mit Schamotte bekleidet ist.

Die modernste Art der Röstung ist die in Drehrohröfen (s. Drehtrommelapparate; sowie keram. Werkstoffe, S. 816), die sowohl mit Schamottefutter als auch zur ständigen Schaffung neuer Oberflächen meist mit einem gitterförmigen Einbau von Schamottesteinen versehen sind. Durch die Drehung des etwas schräg gelagerten Rohres wird bei diesem Ofen das Material selbsttätig vom Eintritts- nach dem Austragsende transportiert.

Allen Röstöfen angegliedert sind die mit Schamotte- oder Klinkermaterial ausgekleideten Staubkammern oder Kanäle zum Abcheiden des Flugstaubes.

Mit Schamotte ausgekleidete Öfen werden außerdem für eine große Zahl von chemischen Fabrikationsverfahren benutzt. Zu erwähnen sind hier z. B. die Wassergenerator (DRP. 263 391, 266 863, 267 594, 268 339, 284 532, 268 062, 276 132, 274 870, 277 500, 291 902, 276 719, 297 900, 291 603, 306 314). Dies

sind mit feuerfestem Material ausgekleidete Schachtofen (Abb. 1077), die im oberen Teile ein Gitterwerk aus Schamottesteinen enthalten, das mit Eisenoxyd angefüllt ist. Das Eisenoxyd wird durch Erhitzen mit reduzierenden Gasen, z. B. Generatorgas, in Eisenschlamm überführt, der bei dem folgenden Durchleiten von Wasserdampf den Sauerstoff des Wassers an sich reißt und so den Wasserstoff freimacht. Das Verfahren findet in großem Umfange Anwendung.

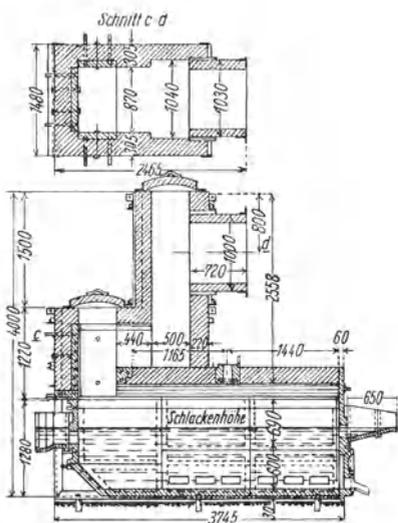


Abb. 1078. Ofen nach Diehl, Gewinnung des Schwefels aus Hochofenschlacken. (Nach Singer, Keramik.)

Bei der Herstellung von Blausäure nach dem Verfahren von Ortlieb und Müller durch Spalten von Trimethylamin werden erhitzte Schamottetorten mit Gittern aus gleichem Material verwendet, durch die technisches Trimethylamin hindurchgeleitet wird und dabei zerfällt. Noch besser als Schamotte hat sich als Baustoff für diese Zwecke geschmolzener Quarz bewährt, weil die Schamottegitter in gewissem Umfange die Blausäure zersetzen.

Bei der Gewinnung des Schwefels aus Hochofenschlacken nach dem Diehlschen Verfahren (DRP. 299 151 und 304 381) wird die den Hochofen verlassende, an Schwefelcalcium reiche Schlacke, die eine Temperatur von

etwa 1600° besitzt, durch Einblasen von Luft durch schräge Bodenöffnungen oxydiert (Abb. 1078). Das Calciumsulfid geht dabei in Calciumoxyd über, das mit dem Metasilicat hierbei Orthosilicat bildet. Der Schwefel verbindet sich mit dem Sauerstoff zu Schwefeldioxyd. Eine wesentlich bessere Ausbeute läßt sich durch Hinzufügung von Gips (DRP. 301613) erreichen, dessen Schwefelgehalt ebenfalls restlos in Dioxyd übergeht. Beide Verfahren werden in Schlackenwannen aus Gußeisen ausgeführt, deren Decke und Aufsatz mit Schamotte ausgekleidet sind.

Auch die Synthese von Schwefel und Kohle zu Schwefelkohlenstoff wird in Schamotteretorten ausgeführt. Bei den neueren *Taylor*schen Verfahren zur Herstellung von Schwefelkohlenstoff (DRP. 150826, 150980, 162629, 172167; *E. R. Taylor*, Trans. Amer. electrochem. Soc., Bd. I [1902], S. 115) wird ein elektrisch beheizter Ofen verwendet (Abb. 1079), der aus säurefesten Steinen erbaut und mit einem starken Eisenmantel umgeben ist. Der durch Elektroden, z. B. *i, l*, beheizte Herd *c* wird mit Bruchstücken von Bogenlichtkohle angefüllt. Die Zuführung von Schwefel in die Ringkanäle *r, s, t, u* geschieht durch die Trichter *w* und *x*. Durch Zusammenwirken der heißen Schwefeldämpfe und der im Schacht aufgefüllten Holzkohle entsteht Schwefelkohlenstoff, der entweicht.

Ein ganz besonders ausgedehntes Anwendungsgebiet besitzt das keramische Material für die Fabrikation der Salzsäure, die fast alle Metalle und deren Legierungen stark angreift und in kurzer Zeit zerstört. Nur die erste Phase der Fabrikation, nämlich die Erhitzung von Schwefelsäure mit Kochsalz, wird in gußeisernen Gefäßen vorgenommen. Der nächste Arbeitsgang, die bei hohen Temperaturen bis zur Rotglut durchgeführte weitere Behandlung des Bisulfats mit dem zurückgebliebenen Kochsalz, ist nur im Flamm- oder Muffelofen mit säurefester Schamotteauskleidung ausführbar (Abb. 1080). Aus der über dem Feuerraum befindlichen Pfanne *d* werden die durch Einwirkung der Schwefelsäure auf Kochsalz entstehenden Salzsäuregase in die Schamottekappe *e* geleitet. Durch eine Schamottetür *h* gelangt der zurückgebliebene Bisulfatbrei in den mit Schamottmaterial ausgekleideten Calciniherd *b*, dessen Erhitzung mittels durchströmender Feuergase unter ständigem Rühren ausgeführt wird.

Die bei der Bearbeitung des Calciniergutes entstehenden HCl-Gase werden, da sie nicht so rein wie die der Pfanne sind, von diesen getrennt weiter verarbeitet.

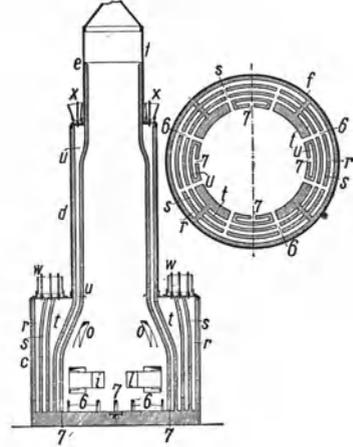


Abb. 1079. Schwefelkohlenstoffofen nach *Taylor*. (Nach *Singer*, Keramik.)

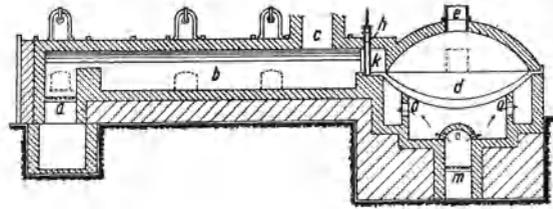


Abb. 1080. Salzsäure-Handofen mit direkter Erhitzung. (Nach *Ullmann*, Enzyklopädie, 2. Aufl., Bd. 9 [1932].)

Ist der Calcinerherd als Muffel (Abb. 1081) ausgebildet, so erfolgt die Erhitzung nicht durch die Flammengase unmittelbar, sondern indirekt durch die Schamottewandungen von unten nach oben. Die Heizgase der Muffel werden zur Erhitzung der Pfanne weiter verwendet. Die Salzsäuregase werden

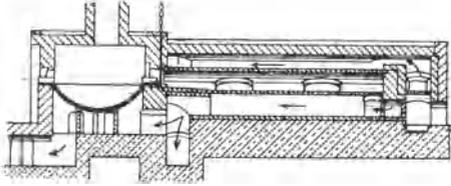


Abb. 1081.
Sulfat-Salzsäure-Muffelofen. (Nach Ullmann,
Enzyklopädie, 2. Aufl., Bd. 9 [1932].)

durch konische, ineinandergesteckte, mit Teer getränkte Schamottetrohre weitergeleitet und gekühlt.

Das bei dem beschriebenen Verfahren erforderliche lästige Rühren des Muffelinhaltes von Hand fällt bei Benutzung des Mannheimer Sulfatofens (DRP. 137 096, 268 450, 325 314) (Abb. 1082) weg. Bei diesem wird das Calciniertgut (Kochsalz und Bisulfat) in der geschlossenen gußeisernen Schale *a* durch das Rührwerk *b*, dessen Rührflügel zweckmäßig aus bester Schamotte bestehen, in ständiger Bewegung gehalten. Die Zuführung der Rohmaterialien erfolgt stetig durch den Schneckenrichter *c*. Zuerst umstreichen die Feuergase die Decke und dann den Boden der Schale *a*. Die Salzsäuregase entweichen durch den Stutzen *e*, der Rückstand (neutrales Sulfat) des Prozesses wird durch den Abfüllstutzen *d* entfernt.

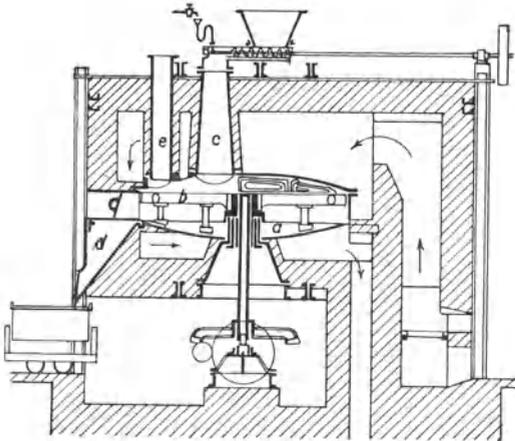


Abb. 1082. Mannheimer Salzsäureofen (Sulfatofen).
(Nach Ullmann, Enzyklopädie, 2. Aufl., Bd. 9 [1932].)

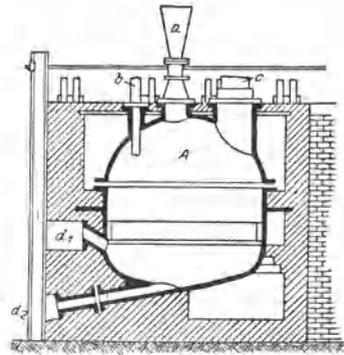


Abb. 1083. Retorte zur Salzsäuregewinnung nach Th. Meyer. (Nach Singer, Keramik.)

Ein wesentlich vereinfachtes Verfahren zur Salzsäureherstellung ist das von Th. Meyer (DRP. 186 398, 288 570, 265 045) (Abb. 1083), nach dem aus Kochsalz und Schwefelsäure Salzsäuregas in einem Arbeitsgange gewonnen werden kann. Bei diesem Verfahren erfolgt eine vollkommene Umsetzung durch Erhitzung des Gemisches in einem Bade von Bisulfat bei etwa 300° . Für den Prozeß genügt eine Schwefelsäure von 60° Bé. Die Retorte *A* ist bis über das Niveau des Bisulfatspiegels mit keramischer Masse ausgekleidet. Durch den Ablaufstutzen *d*₂ wird das fertige Bisulfat abgeleitet, während das theoretisch 100prozentige Salzsäuregas bei *c* in die Kondensation entweicht.

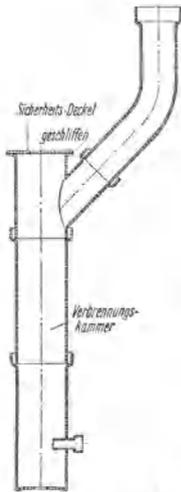


Abb. 1084. Verbrennungskammer aus geschmolzenem Quarz zur Herstellung von Salzsäure aus Chlor und Wasserstoff.

Zur synthetischen Herstellung von chemisch reiner Salzsäure durch Verbrennung von Chlor im Wasserstoffstrom benutzt man zweckmäßig Apparaturen aus geschmolzenem Quarz, um jede Verunreinigung durch Korrosionsprodukte auszuschließen. Hierbei muß aber berücksichtigt werden, daß auch gutes Steinzeug von wasserklarer Salzsäure absolut nicht angegriffen wird, daß sich die chemisch reine Salzsäure also bei Berührung mit gutem Steinzeug nicht gelb färbt.

Eine solche Verbrennungskammer aus geschmolzenem Quarz, wie sie in der Abb. 1084 schematisch dargestellt ist, enthält einen Brenner mit zwei Zuleitungen, durch den Chlor und Wasserstoff zusammengeführt werden, die sich beim Austritt aus dem Brenner entweder selbständig entzünden oder mittels eines Heizdrahtes zur Entzündung gebracht werden. Die entstehenden HCl-Gase werden durch einen

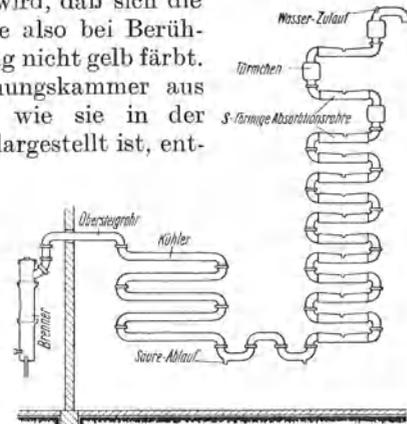


Abb. 1085. Komplette Anlage aus geschmolzenem Quarz zur Herstellung von Salzsäure aus Chlor und Wasserstoff.

seitlichen Abzweig am oberen Ende der Kammer in einen Kühler geleitet und in einer anschließenden Apparatur in destilliertem Wasser absorbiert. Durch ein Sicherheitsventil wird die Gefahr, daß beim etwaigen Auftreten von Explosionen eine Zertrümmerung der ganzen Apparatur erfolgt, verhindert.

Abb. 1085 zeigt eine komplette Anlage zur Herstellung wasserklarer, chemisch reiner Salzsäure aus Chlor und Wasserstoff, bei welcher sämtliche Einzelteile aus geschmolzenem Quarz hergestellt sind. Die dargestellte Anlage leistet $2\frac{1}{2}$ t in 24 Stunden. Ähnliche Anlagen werden zur Zeit bis zu einer Leistung von mehr als 10 t pro Tag in chemischen Fabriken benutzt.

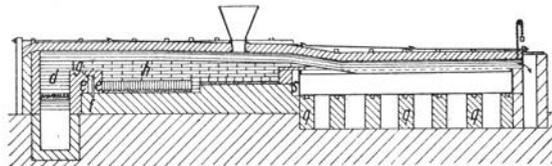


Abb. 1086. Handofen für Sodafabrikation. (Nach Singer, Keramik.)

Auch bei der Salpetersäureherstellung wird in besonders großem Umfange

keramisches Material, in allererster Linie Steinzeug, verwendet, so für die Kondensationseinrichtungen bei der Gewinnung aus Chilesalpeter und Schwefelsäure und für das von *Fahlberg-List* angewendete, dem Salzsäureherstellungsverfahren von *Meyer* analoge Verfahren unter Verwendung eines Bisulfatbades.

Handelt es sich um die Verarbeitung alkalischer Substanzen wie Ätznatron, Soda, Schwefelnatrium oder Schwefelcalcium, so müssen für den Aufbau der Apparaturen möglichst dichte alkalifeste Steine verwendet werden.

Meist verwendet man für deren Herstellung Magnesiumverbindungen oder Dolomit, jedoch haben sich häufig Tonerde, Korundsteine usw. besser bewährt. Bei der Sodafabrikation nach dem *Leblanc*-Prozeß (Abb. 1086) wird Kochsalz durch Schwefelsäure in Natriumsulfat, dieses wiederum durch wiederholtes

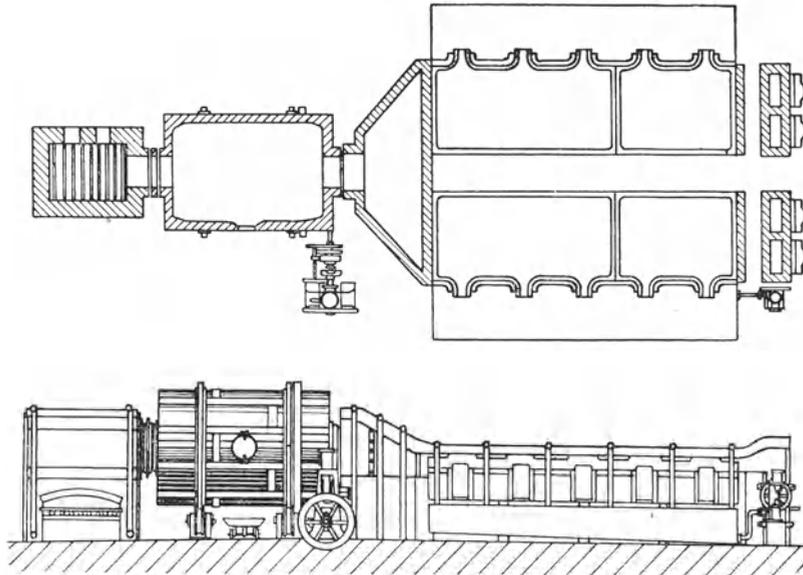


Abb. 1087. Drehofen für Rohsoda mit anschließender Pfanne. (Nach *Ullmann*, Enzyklopädie, 2. Aufl., Bd. 8 [1931].)

Glühen mit Calciumcarbonat und Kohle in Natriumcarbonat und Schwefelcalcium übergeführt und aus dem geglühten Gemisch des Natriumcarbonats ausgelaugt. Um die Sohle des Handofens herum ist eine senkrechte Mauer aus Schamotteziegeln aufgeführt, deren Innenraum mit fein gemahlenem, festgestampftem, alkalifestem Ton oder mit ebensolcher Kreide ausgefüllt ist.

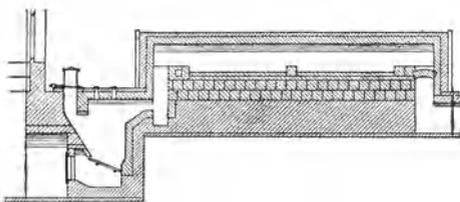


Abb. 1088. Flammofen zur Darstellung von Schwefelnatrium. (Nach *Singer*, Keramik.)

Hierauf kommen auf dem Kopf stehende Schamotteziegel, die mit feuerfestem Ton vermauert werden. Der hintere, etwas erhöhte Teil des Herdes wird ebenfalls mit Kreidepulver bestreut und mit einer Rollschicht von Schamottesteinen versehen. Herdsohle und Herdgewölbe müssen dichtes Gefüge haben und gegen hohe Temperatur und schmelzendes Alkali beständig sein.

In der letzten Zeit zieht man für die Ausführung des *Leblanc*-Schmelzprozesses Drehrohröfen (Abb. 1087) vor, deren Innenraum faßartig geformt ist, um die Entleerung der Schmelze zu erleichtern. In dem Futter befinden sich horizontale Reihen von an den Enden verschieden weit herausragenden Schamotteblöcken, die die Schmelze bei der Rotation des Zylinders brechen

und durchmischen. Ein mit Schamotte ausgefütterter, lose aufgehängter und die Verbrennungsluft hindurchlassender Ring verbindet den Ofen mit der Feuerung. Die über die Schmelze streichenden Heizgase werden nachher zum Eindampfen der Lauge ausgenutzt.

Natriumsulfid gewinnt man ähnlich dem Sodaherstellungsverfahren durch Schmelzen von Natriumsulfat und Kohle in Flammöfen (Abb. 1088),

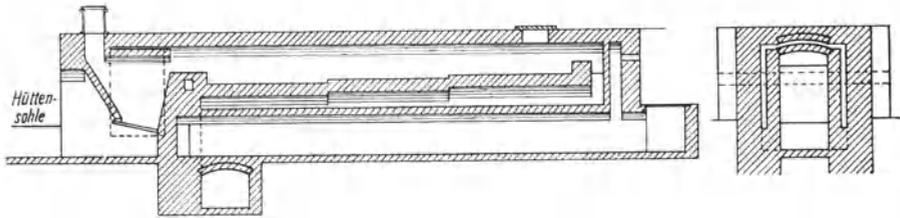


Abb. 1089. Ofen zum Aufschließen des Chromits. (Nach Singer, Keramik.)

deren Herdsohle ebenfalls aus alkalibeständigen, dichten und auch mechanisch sehr widerstandsfähigen Schamottesteinen bestehen muß. Das ständig umgerührte Gemisch ist zuerst dünnflüssig und wird später zäher. Auch hier werden die Schamotteblöcke der Herdsohle durch zwei aufgemauerte Rollschichten von Normal-Schamottesteinen geschützt.

Der Aufschluß von Mineralien und Erzen geschieht häufig mittels Ätzalkalien, z. B. bei der Verarbeitung des Chromits (Abb. 1089), wobei eine Temperatur von 300–600° zur Anwendung kommt, gegenüber 1000° bei der

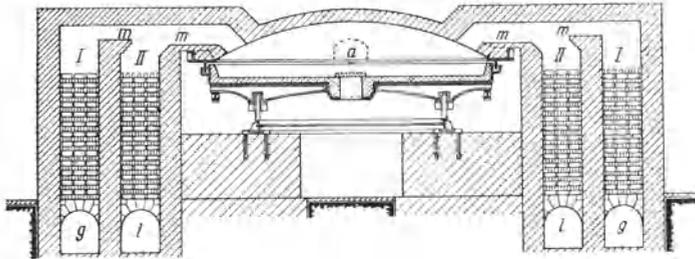


Abb. 1090. Rotierender Tellerofen zum Abrösten von Chromit. (Nach Singer, Keramik.)

gewöhnlichen Aufschließung mit Soda und Kalk. Auch hier werden alkalifeste Steine für den Aufbau der Apparatur benutzt. Man verwendet zur Gewinnung der Metalle aus den sie enthaltenden Mineralien lange und breite, mit Generatorgas erhitze Herde (Abb. 1090), bei denen die Abzugsgase die Verbrennungsluft in Schamottegitterschächten vorwärmen (Regenerativsystem). Dasselbe Verfahren kann in rotierenden, mit Schamotte ausgekleideten Telleröfen oder in Drehrohröfen ausgeführt werden.

Auch bei niederen Temperaturen vor sich gehende Prozesse, bei denen ein Arbeiten mit alkalischen Substanzen in Betracht kommt, erfordern alkalibeständige Gefäße und Maschinen.

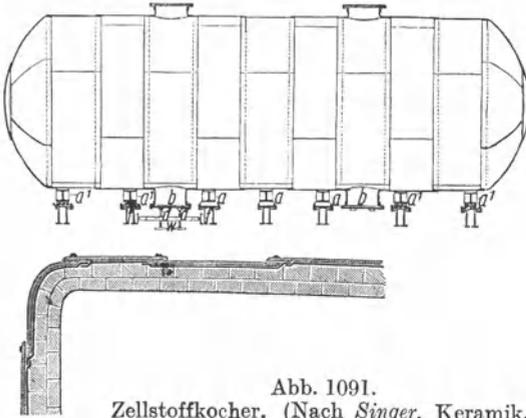


Abb. 1091.
Zellstoffkocher. (Nach Singer, Keramik.)

Zu erwähnen sind hier die Zellstoffkocher (Abb. 1091), die bis zu 70 m³ Fassungsvermögen haben; sie bestehen aus Eisenblech und werden jetzt nicht mehr wie früher mit Bleifolie, sondern mit widerstandsfähigen, dichten keramischen Steinen ausgefütert. Im Innern befinden sich Dampfschlangen, die eine etwa 6-stündige Erhitzung des Soda-Ätznatron-Gemisches bei einem Druck von 8—10 at herbeiführen. Nach dieser Erhitzung wird der Zellstoff in

Diffuseuren (s. Diffusionsapparate) von der Lauge durch Auswaschen befreit, diese in Flammöfen eingedampft und dann weiter in einem Scheibenverdampfer nach Enderlein (Abb. 1092, nach G. Dalén, Chem. Technologie des Papiers [Leipzig 1911, Barth]) zur Rückgewinnung des Ätznatrons eingedickt. Die eingedickte Lauge wird in dem mit feuerfestem und alkalibeständigem keramischem Futter ausgekleideten Drehofen *a* bis zur teilweisen Verkohlung erhitzt und hieraus in dem ebenfalls keramisch ausgemauerten Schmelzofen *b* vollständig verbrannt und geschmolzen. Die hierbei entstehende feurigflüssige Soda kaustiziert man mit Kalk und erhält wieder Ätznatronlauge, die von neuem verwendet wird.

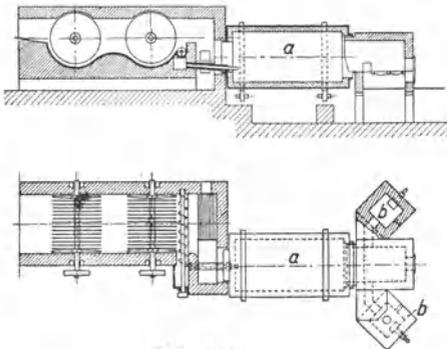


Abb. 1092.
Verdampfapparat nach Enderlein. (Nach Dalén, Technologie des Papiers).

Benutzt man für denselben Prozeß Calciumsulfid in überschüssiger schwefliger Säure, so redet man von einem Sulfitzellstoffverfahren (Abb. 1093). Für dieses benutzt man, der Verarbeitung Schwefliger Säure entsprechend, säurefeste Schamotte als Futter für die aus Eisenblech bestehenden Kessel.

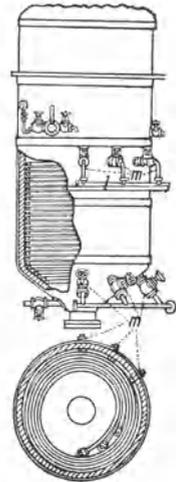


Abb. 1093.
Sulfitzellstoffkocher. (Nach Singer, Keramik.)

Zum Weiterleiten von Gasen, Flüssigkeiten und festen Substanzen dienen Rohre, deren Durchmesser von der zu fördernden Menge, deren Material und Wandstärke vom Verwendungszweck abhängt (F. Singer, Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft [Braunschweig 1923, Vieweg]).

Bei sehr hohen Anforderungen an Gasdichtigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit, wie sie bei Destillations- und Glühprozessen an die Apparaturen

gestellt werden müssen, verwendet man als Werkstoff für Laboratoriums- und kleine Rohrleitungen noch Porzellan, für industrielle Anlagen vorzugsweise Quarzglas oder Quarzglas. Ganz allgemein muß man überall da, wo es auf eine hohe Temperaturwechselbeständigkeit ankommt, das Quarzglas bzw. Quarzglas wegen seines geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten bevorzugen. Andererseits versagt geschmolzener Quarz, sobald es sich um Prozesse handelt, bei denen das Material mit basischen Substanzen in Berührung kommt. Ebensovienig vertragen Gegenstände aus geschmolzenem Quarz eine lang andauernde Erhitzung: bei etwa 1100° beginnen sie zu entglasern, wodurch sie unbrauchbar werden.

Porzellan, das bei weitem nicht so temperaturwechselbeständig wie Quarzglas ist, hat jedoch wegen seiner normalen keramischen Herstellungsverfahren durch Pressen der plastischen Masse in Strangform den Vorteil der Erzeugungsmöglichkeit von Rohren in sehr kleinen Durchmessern. Aus Porzellan hergestellte, glasierte und unglasierte Rohre besitzen auch bei hohen Temperaturen große Dichte und chemische Widerstandsfähigkeit. Dagegen sind Porzellanrohre gegen Beimengungen von Flugstaub in den durchzuleitenden Gasen häufig sehr empfindlich, da dieser leicht mit Masse und Glasur ein Produkt von niedrigem Schmelzpunkt bildet und durch diese Eutektika zu Zerstörungen des Materials Anlaß gibt. Ein weiterer Nachteil des Porzellans ist seine Sprödigkeit im gebrannten Zustand, die eine mechanische Nachbearbeitung sehr erschwert und häufig unmöglich macht. Daher wird dem Porzellan für den Aufbau von komplizierteren Präzisions-Apparaturen, die mechanisch stark beansprucht sind, und bei denen eine Nachbearbeitung des gebrannten Gegenstandes durch Schleifen erforderlich ist, fast immer das Steinzeug vorgezogen. (Neuerdings [August 1935] ist es *F. Singer* auch geglückt, Porzellanrohre billig auf jede gewünschte Genauigkeit zu schleifen.) Steinzeug besitzt vor dem Porzellan den enormen Vorteil der leichteren und absolut zuverlässigen Bearbeitbarkeit durch Meißel, Sandstrahlgebläse, Schleifscheibe, Säge und Poliervorrichtung. Es hat praktisch die gleichen Eigenschaften, läßt sich aber im Gegensatz zu Porzellan in beliebig großen Abmessungen industriell herstellen. Die aus Feinsteinzeug hergestellten Rohre haben eine Wasseraufnahmefähigkeit unter 0,01 Proz. und sind daher äußerst beständig gegen chemische Angriffe aller Art. Auch Temperaturwechsel und starken mechanischen Beanspruchungen sind sie ausgezeichnet gewachsen. Beispielsweise halten sie bei gewöhnlicher Temperatur einen Druck von mehreren at aus und können bis zu 800 mm l. W. in verschiedener Wandstärke bis zu einer Länge von 7 m hergestellt werden. Gewöhnliche Steinzeugrohre, die häufig eine Wasseraufnahmefähigkeit von 1–2 Proz. haben, werden durch Salzglasur, in gewissen Fällen auch durch Lehmglasur, ebenfalls gasdicht.

Steinzeugrohre werden zweckmäßig nur für Temperaturen bis etwa 120° verwendet. Sie sind für Glühprozesse ungeeignet. In den Fällen, in denen es auf eine Beständigkeit gegenüber höheren Temperaturen ankommt, verwendet man die in ihrer Zusammensetzung sich dem Steinzeug nähernde säure- bzw. alkalifeste Schamotte, aus der Rohre in denselben Abmessungen wie Steinzeugrohre, jedoch mit höheren Wandstärken, hergestellt werden können. Das Material ist temperaturwechselbeständig bis zu etwa 500°, jedoch stark porös. Für viele Verwendungszwecke, z. B. diejenigen, wo ein

Gasdurchtritt durch Überdruck oder Diffusion erfolgen soll, ist diese Porosität erwünscht, für zahlreiche andere dagegen von Nachteil. Eine Dichtung des Scherbens durch Glasieren stößt auf Schwierigkeiten, weil die Schutzglasuren auf diesen porösen Massen bei den hohen angewendeten Temperaturen dazu neigen, haarrissig zu werden. Man ist daher in vielen Fällen, insbesondere wenn es sich darum handelt, das Material gegen den Angriff von Mineralsäure-dämpfen zu schützen, gezwungen, behelfsmäßig den Porenraum an der Innenseite der Apparatur mit Teer oder Asphalt zu tränken oder zu überstreichen.

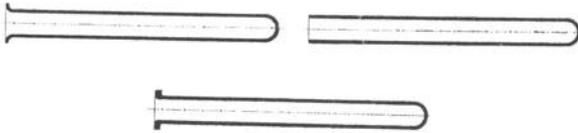


Abb. 1094.

Pyrometer-Außenrohre aus geschmolzenem Quarz (Heraeus).

Keramische Rohre können beliebig zylindrisch oder konisch gestaltet werden. Für besondere Zwecke kann der Querschnitt oval, gestern, gerillt, gerieft, dreieckig oder mehreckig, ein- oder

mehrteilig ausgebildet werden. Außer geraden Rohren lassen sich selbstverständlich auch alle erforderlichen Formstücke, Krümmer, T-Stücke, Ringe, Spiralen u. dgl. herstellen. Die Verbindung der Rohre untereinander erfolgt, sofern es sich um Muffen- oder konische Rohre handelt, durch Ineinandestecken der Enden, wobei für die Abdichtung ein geeignetes Kittmaterial Verwendung findet. Derartige Rohrverbindungen kommen jedoch nur für geringe Überdrücke, hauptsächlich für Gasleitungen in Frage. Für die Fortleitung von Flüssigkeiten, insbesondere zum Befördern von Säuren usw.,

verwendet man zweckmäßig Flanschrohre, deren verschieden ausgeführte Dichtungsflächen unter Einschaltung von Gummi- oder Asbestscheiben aufeinandergestoßen und durch Eisenschellen aneinandergepreßt werden. Für höhere Drücke werden außerdem die Flansche plangeschliffen und mit Rillen versehen. Rohre kleinen Querschnitts werden durch einen über ihre gerillten Enden gestülpten Gummischlauch, über den gegebenenfalls zur Sicherung noch eine Bandschelle aus Eisen geschoben wird, verbunden. Haben die

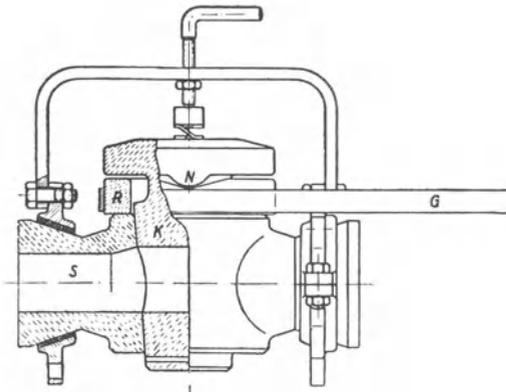


Abb. 1095. „Deuton“-Hahn.

Rohre höhere Innendrucke auszuhalten, so werden sie vielfach mit einem Panzer aus Gußeisen oder Stahl versehen, d. h. mit einem ein- oder mehrteiligen Eisen- oder Blechrohr umhüllt, wobei der Zwischenraum zwischen Panzer und Steinzeugrohr mit Kitt angefüllt werden muß. Sollen weite und enge Rohre zusammengebaut werden, so werden sie an den entsprechenden Enden mit Erweiterungen bzw. Verengungen versehen.

Für sehr hohe Temperaturen verwendet man an Stelle von Muffenrohren konische Rohre aus Schamotte oder geschmolzenem Quarz. Außerdem dienen für diesen Zweck keramische Rohre aus Porzellan oder besonderen Spezial-

massen wie die *Marquardtsche* Masse, deren Zusammensetzung sich dem Mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) nähert. Porzellan ist bis etwa 1300° verwendbar, Rohre aus *Marquardtscher* Masse, die allerdings nicht vollkommen gasdicht ist, sind bis über 1600° beständig. Bei so hohen Temperaturen vollkommen gas- und vakuumdichte keramische Massen zu schaffen, ist eine dankbare, jedoch noch ungelöste Aufgabe. Weitere Verwendung finden Rohre aus wärmebeständigem keramischem Material sowie aus geschmolzenem Quarz als Pyrometerschutzrohre (Abb. 1094), Heizrohre für Reduktionsöfen usw.

Der Transport von Säuren, sauren Gasen und Flüssigkeiten durch Rohrleitungen und Gefäße wird im wesentlichen durch Hähne aus Steinzeug, in seltenen Fällen auch aus Porzellan, in den mannigfaltigsten Ausführungen geregelt. Diese Hähne bestehen im allgemeinen aus einem konisch (selten auch zylindrisch) ausgebohrten Gehäuse, in das ein genau passendes und dicht abschließendes Kükens eingeschliften ist. Nach den besonderen Ausführungen für die verschiedenen Zwecke unterscheidet man Klotzhähne, Schnabelhähne, Durchgangshähne, Dreiweghähne. Diese Steinzeughähne arbeiten noch sicher, d. h. dicht, bei einem Druck von 4 at. Ein Herausspringen der Kükens wird durch federnde Draht- oder Schraubensicherungen verhindert. Der neu herausgebrachte „Deuton“-Hahn (DRGM. 1238896, DRP. 578973) vereinigt in sich nicht nur eine Sicherung, sondern enthält gleichzeitig eine Lösevorrichtung für festsitzende Kükens und bietet durch die Konstruktion der Abdeckplatte in Verbindung mit dem Ring *R* einen um so wirksameren Unfallschutz, als das Kükens auch während des Drehens unter der vollen Wirkung der Sicherung steht (Abb. 1095). Der besondere Vorteil dieses Hahnes liegt darin, daß er infolge der zwangsläufig stattfindenden Zerlegung des Drehmomentes unter der Wirkung der in dem Ring *R* angebrachten schrägen Gleitflächen, in welche die Nocken *N* des Kükens eingreifen, auch während des Drehens dichthält. Die näheren Einzelheiten der Konstruktion zeigt das Schnittbild. Man sieht, daß das Kükens *K* nicht direkt betätigt wird, sondern daß der Drehgriff sich an dem lose auf dem Gehäuse sitzenden Ring *R* befindet, der das Kükens dann nach entsprechender Lockerung mitnimmt. Die wesentlichen Merkmale dieses Hahnes entstammen den Patenten: DRP. 69396, 271030, 444772, 524944, Brit. P. 304482, Amer. P. 1650312. Darüber hinausgehend schützt das DRP. 578973 nur noch die Exzentrizität des Ringes *R*.

Gegen Herausspritzen von Säure u. dgl. schützen feste Schutzglocken, ohne oder mit Ablaufvorrichtungen (Abb. 1096). — Gegen mechanische Beschädigungen schützt man nötigenfalls den Hahn durch eine eiserne Panzerung, wobei Steinzeugkern und Eisenmantel durch eine eingegossene, säurefeste Zwischenlage zu einem Ganzen verbunden sind. Derartig gepanzerte Hähne können auch für heiße Flüssigkeiten verwendet werden. Die Bohrung kann

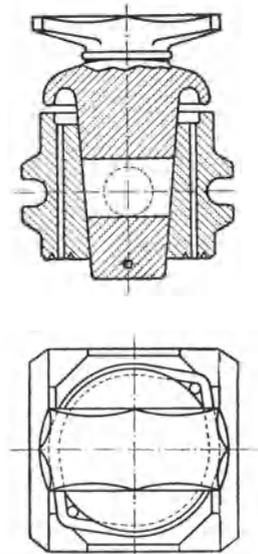


Abb. 1096.
Klotz-Hahn mit fester Schutzglocke und Ablaufvorrichtung.

kreisrunde, quadratische (nach *Rabe*) oder elliptische Form haben. Ein ruhiges Ausfließen der Flüssigkeit bewirken die Strahlfänger nach *Rabe* (Abb. 1097), die entweder mit dem Hahn aus einem Stück bestehen oder mit ihm durch einen Schlauch verbunden sind. Bei den sog. Hahnschiebern (Abb. 1098)

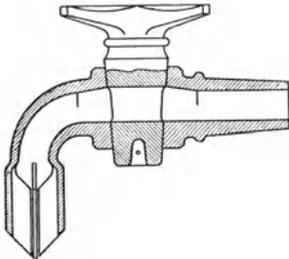


Abb. 1097.
Strahlfänger nach *Rabe*.

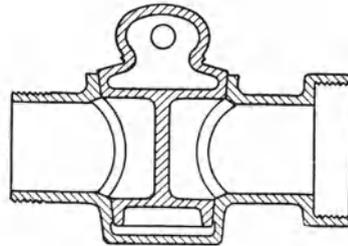


Abb. 1098.
Hahnschieber nach *Cochius*.

nach *Cochius* hat das Küken keine zentrale Durchbohrung, sondern bildet einen Steg, an dessen beiden Seiten der Durchgang stattfindet. Um das Küken im Mantel besser drehbar zu machen, können die Schliffflächen mit Schmiermitteln bestrichen werden. In neuartiger Form erfolgt die Schmierung durch Vermittlung von in die Schlifffläche des Kükens eingebohrten Capillaren, die mit dem Schmiermittel gefüllt werden und dieses ständig und gleichmäßig an die Gleitfläche abgeben (Abb. 1099, DRP. 482 513).

Eine einfachere Lösung sind die „Semper-densum-Hähne“ (Abb. 1100; *L. Melzer*, Absperrhahn mit Schmiervorrichtung in Steinzeug. [„Semper-densum-Hähne“], Chem. Apparatur 1935, Beil. Korr., S. 37). Diese Hähne werden für die verschieden-

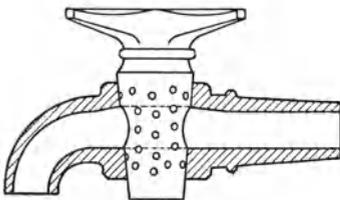


Abb. 1099.
Sicherheitshahn nach DRP. 482 513.

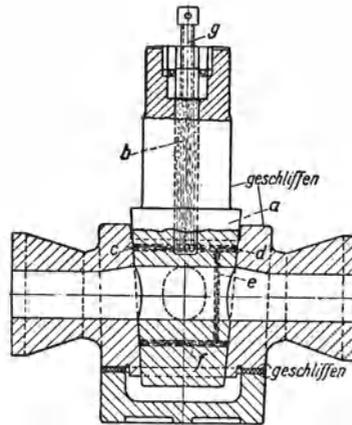


Abb. 1100.
„Semper-densum-Hahn“.

sten Mittel und Zwecke mit eigens dazu hergestellten und seit Jahren erprobten Mitteln von innen geschmiert und verhindern allein aus diesem Grunde ein Festsitzen des Kükens an der Gehäusewand.

Das Küken *a* ist in axialer Richtung innen mit einem Kanal *b* versehen, welcher sich in bestimmter Höhe in zwei horizontale Kanäle *c* und *d* in der Kükenaußenwand fortsetzt, um dann axial *e* und wiederum radial *f* zu verlaufen. Wird nun der Kanal mit einem geeigneten Schmiermittel gefüllt und dieses auf dem gekennzeichneten Wege mittels Stellschraube *g* nach-

gedrückt, so schmiert es jeweils beim Öffnen oder Schließen des Hahnes selbsttätig die beiden dicht aneinander liegenden Wände mit einer hauchdünnen Schicht. Ein Festsitzen auch auf die Dauer ist ausgeschlossen. Es kommt niemals zu einem solchen, wie sich im Dauerbetrieb bei schärfster Beanspruchung erwies. Dabei ist der Schmiermittelverbrauch äußerst sparsam, da weder Verluste entstehen können, noch das Schmiermittel selbst angegriffen wird. Durch die eigenartige Konstruktion kommt nämlich der durchfließende Stoff, sei es Gas oder Flüssigkeit, mit den Schmiermitteln in fast gar keine Berührung. Letztere werden so gewählt, daß sie auch bei höheren Temperaturen von den Säuren oder Alkalien nicht angegriffen werden. Für die Auswahl dieser Schmiermittel ist lediglich nötig, den jeweils durchgehenden Stoff, dessen Temperatur und den jeweiligen Druck anzugeben. Aus diesen Gründen können diese Hähne aus Steinzeug auch dann Verwendung finden, wenn es sich um die Darstellung chemisch reiner Reagenzien handelt.

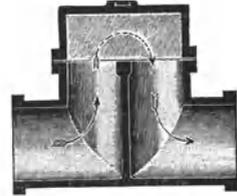


Abb. 1101.
Drehschieber.

Zum Einbauen in Muffen- oder Flanschleitungen dienen die Drehschieber (Abb. 1101). Rohr und aufgeschliffener Deckel erhalten Scheidewände, die den Durchgang der Gase je nach ihrer Stellung regeln bzw. absperren. (Vgl. noch DRP. 516 599.)

Weitere Verwendung für den Abschluß von Rohrleitungen findet das Hartsteinzeug für Rückschlagventile, insbesondere bei automatischen Flüssigkeitshebern, sowie für gewöhnliche Absperrschieber, Drosselklappen und ähnliche Zwecke.



Abb. 1102.
Fächerdeckel.

Für die zur Kondensation von Gasen und Dämpfen bzw. zu ihrer Absorption durch Berieseln mit Flüssigkeiten benutzten Apparaturen ist in zahlreichen Fällen die Verwendung eines säure- bzw. alkalibeständigen keramischen Baustoffes erforderlich, wie ihn die verschiedenen Steinzeug-Spezialmassen vorstellen. In den Kondensations- und Absorptionstürmen gehen die Reaktionen bei gewöhnlicher, erniedrigter oder erhöhter Temperatur zwischen unter sich chemisch und physikalisch gleich- oder andersartigen festen Körpern, Flüssigkeiten oder Gasen, die sich in demselben oder in einem anderen Aggregatzustande befinden, vor sich. Bauart und Baustoffe werden durch die Vorgänge während des Fabrikationsprozesses bedingt. Derartige Türme finden Verwendung bei der Herstellung von Salzsäure, Salpetersäure, Schwefeldioxyd, Brom- und Ameisensäure, ferner als Wasch-, Kühl- und Trockentürme z. B. zum Trocknen von Chlor, Salzsäuregasen und für zahlreiche andere chemisch-technische Zwecke. Es ist zweckmäßig, die in den Reaktionstürmen herabrieselnden Flüssigkeiten in möglichst gleichmäßig verteilter Form in den Turm einzuführen. Zu diesem Zweck baut man sog. Flüssigkeitsverteiler ein, die z. B. als Fächerdeckel (Abb. 1102) mit Glöckchen aus Steinzeug hergestellt sind. Dem gleichen Zweck dienen die aus demselben Material bestehenden Prellknopfplatten (Abb. 1103),

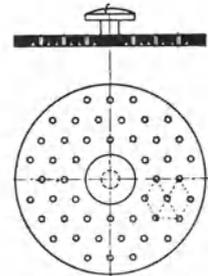


Abb. 1103.
Prellknopfplatte.

die auf die Auflageränder der Turmoberteile aufgelegt werden. Die auf den in der Mitte der Platte befindlichen Knopf auftreffende Flüssigkeit wird

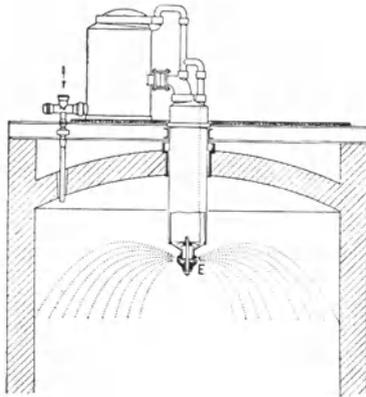


Abb. 1104. Flüssigkeitsverteiler von Rabe. (Nach Singer, Keramik.)

nach allen Richtungen hin radial über die Lochplatte abgelenkt und tropft durch die Löcher nach unten. Die aus Porzellan hergestellte Verteilungsvorrichtung *E* von Rabe (Abb. 1104), die unterhalb der Turmdecke angebracht wird, besteht aus einer Schale mit einem Führungsstab. Der Flüssigkeitsstrahl trifft von oben herab auf die Schale auf und ergießt sich schleierartig gleichmäßig über ihren Rand. Weniger zuverlässig ist die Verteilung durch sich leicht verstopfende Brausen, sowie durch sog. Überlaufverteilungen. Diese letzteren bestehen aus Schalen mit einem mittleren Einlauf, aus denen die Flüssigkeit auf dem ganzen Umfang überläuft, um sich unmittelbar oder durch besondere Rinnen oder Fächer auf die Turmfüllung zu ergießen. Für sehr

reine Flüssigkeiten verwendet man auch Schalen aus porösem keramischem Material, durch das die Flüssigkeit gleichmäßig durchtritt. Eine periodische Verteilung von Berieselungs-

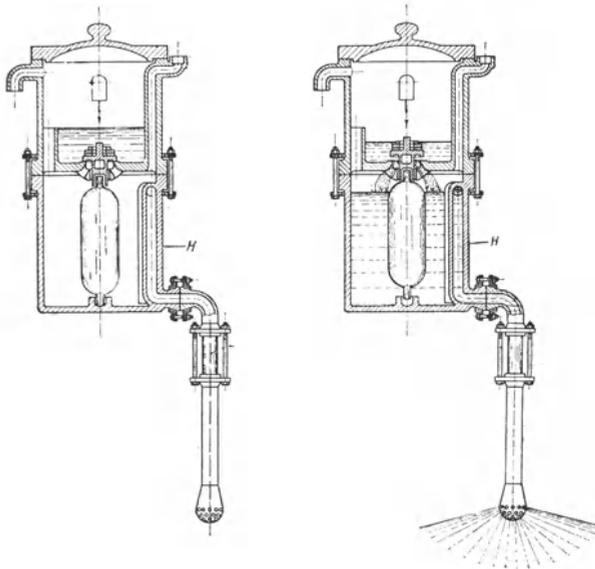


Abb. 1105. Turmberieseler nach Petersen.

flüssigkeit fast gleichmäßig über den ganzen Querschnitt von Türmen bis zu den größten Querschnitten wird mit dem Turmberieseler aus Steinzeug nach Petersen (Abb. 1105) erreicht. Die zu verteilende Flüssigkeit läuft in das obere Gefäß ein und tritt, wenn der Rand des Überlaufrohres erreicht ist, in den unteren Behälter, der ein durch Schwimmer geregeltes Ablaufventil besitzt. Wird dieses geöffnet, so stürzt die Flüssigkeit von oben nach, füllt den unteren Teil, betätigt hierdurch den Heber *H*, der den unteren Behälter

sehr schnell entleert, und sinkt nun schnell, da viel mehr Flüssigkeit abläuft als zugeführt wird. Nach Entleerung fällt der Schwimmer zurück und schließt das Ventil wieder. Bei jedem Spiel des Apparates wird die auslaufende Menge fast gleichmäßig über den ganzen Turmquerschnitt verteilt. Den gleichen

Effekt erzielt man mit dem Turmberieselungsapparat gemäß Abb. 1106, der im Gegensatz zu dem vorstehend beschriebenen Apparat keinerlei Schwimmer oder Ventile zur Steuerung der Flüssigkeit benutzt. Er besteht im wesentlichen aus einem Behälter, der einerseits mit einer periodisch wirkenden Füllvorrichtung und andererseits mit einer Abgabevorrichtung versehen ist, die die Flüssigkeit in Form einer geschlossenen Glocke oder eines Schleiers mit sich dauernd änderndem Durchmesser allmählich auslaufen läßt. Ein mit dem Turminnern verbundenes Überlaufrohr leitet einen unter Umständen eintretenden Überschuß an Flüssigkeit unmittelbar in den Turm. Die zu verteilende Flüssigkeit läuft,

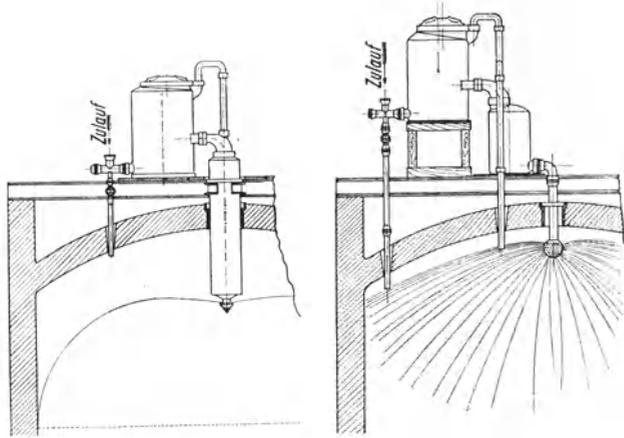
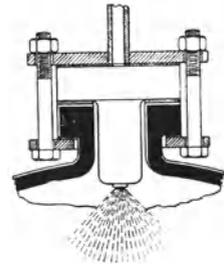


Abb. 1106. Turmberieselungsapparat.

von einem Behälter o. dgl. kommend, der Füllvorrichtung durch eine Leitung in ununterbrochenem Strome zu. Nachdem eine bestimmte Menge Flüssigkeit angesammelt ist, wird diese plötzlich durch eine Leitung dem Abgabefäß zugeführt, aus dem sie in der schon beschriebenen Weise austritt. Der Berieselungsapparat kann, wie der vorbeschriebene nach *Petersen*, mit einem Schleierverteiler oder mit einem Spritzkopf versehen sein.

Eine fast ebenso gleichmäßige Verteilung erreicht man mit umlaufenden, durch den eigenen Rückstoß der austretenden Flüssigkeit betätigten Segnerrädchen, die bei kleinen Abmessungen aus Glas oder Porzellan, bei industriellen Ausführungen aus Steinzeug hergestellt werden.

Von großer Bedeutung für den gleichen Zweck sind die Düsenapparate (Abb. 1107), bei denen die Zerstäubung der Flüssigkeit durch Schleuderwirkung unter Druck erfolgt, und die vorteilhafter arbeiten als gewöhnliche Streudüsen, die die Flüssigkeit häufig nicht genügend fein zerstäuben.

Abb. 1107.
Düsenapparat.

Bei allen in Reaktionstürmen vor sich gehenden chemischen und physikalischen Prozessen ist es wesentlich, eine möglichst schnelle Durchführung des Reaktionsvorganges zu erzielen. Dies erreicht man entweder dadurch, daß man die Reaktion bei erhöhten Temperaturen verlaufen läßt, oder vorteilhafter durch Vergrößerung der Reaktionsoberfläche. Die Oberflächenvergrößerung erreicht man durch den Einbau von Platten oder von Füllkörpern in die Türme, was in mannigfacher Art geschehen kann. Eine der ersten und wegen ihrer vorzüglichen Wirkung lange hervorragend bewährte Methode beruhte auf der Konstruktion der aus Steinzeug hergestellten Plattentürme

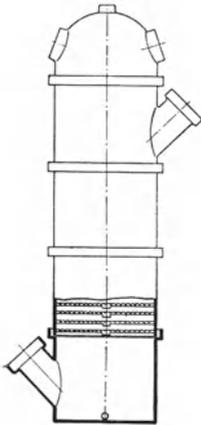


Abb. 1108.
Lunge-Rohrman-
Plattenturm.

nach Lunge-Rohrman (Abb. 1108). Die Platten, die auf Knaggen ruhen, sind leicht einzulegen. Sie sind in kleine Quadrate eingeteilt, die in ihrer Mitte eine Durchgangsöffnung besitzen, die nach oben und unten etwas verlängert ist. Die zwischen Turmwand und Platten entstehenden Zwischenräume werden durch ringförmige Segmente (Dichtungsringe) verschlossen. Durch die zahlreichen Löcher einer jeden Platte werden die von unten durchstreichenden Gase sehr fein verteilt und kommen mit der von oben beim Herabtropfen fein zerstäubten Berieselungsflüssigkeit in innige Berührung.

Nach dem DRP. 414 189 geschieht die Salpetersäureabsorption in einem aus ineinandergeschachtelten Einzeltürmen bestehenden Ringturm. Die Zwischenräume zwischen den konzentrischen Ringen sind als Hohlkanäle ausgebildet und führen die zu absorbierenden Gase von oben wieder nach unten. Wesentliche Vorteile dieser Bauart sind: Vermeidung jedes Gasverlustes durch Undichtigkeiten, Bildung großer Oxydationsräume durch

die weit dimensionierten Hohlkanäle und eine gute Absorption infolge geringer Gasgeschwindigkeit.

Die Sternplattentürme (Abb. 1109) werden ebenfalls aus Steinzeug hergestellt. Sie bestehen aus schräg hintereinander aufgestellten Platten, die sternförmige Erhöhungen aufweisen. In diesen in drei Reihen übereinander angeordneten beckenartigen Vertiefungen sammelt sich etwas Berieselungsflüssigkeit an, die durch zahlreiche Kanäle in die Vertiefungen der nächsten Reihe fließt. Auch hierdurch wird eine sehr große benetzte Oberfläche geschaffen und die Absorption entsprechend begünstigt.

In einfachster und vorteilhaftester Weise vergrößerte man die freie Oberfläche in den Türmen durch Füllkörper, die in mannigfacher Form und Ausführung verwendet werden (vgl. z. B. DRP. 91 815, 97 208, 194 293). Lange dienten Koks, Steinzeugbruchstücke, Hohlkugeln, Vollkugeln, Lochkugeln mit Riefelungen, Kegel, Schalen, Röhrchen usw. aus geschmolzenem Quarz oder Steinzeug diesem Zweck, bis sie fast vollkommen durch eine ebenso einfache wie überraschend wirkungsvolle Erfindung, die Raschig-Ringe, verdrängt wurden. Dieselben bestehen aus Ringen gleicher Höhe und gleichen Durchmessers, die regellos gelagert werden (DRP. 286 122; Abb. 1110). Sie besitzen infolge ihrer großen Oberfläche/Raumeinheit und dauernder Richtungsänderung eine besonders vorteilhafte Wirkung und werden größtenteils aus Porzellan hergestellt. Durch die beim einfachen Einschütten regellos erfolgende Art der Lagerung ohne „tote Räume“ wird erreicht, daß die Berieselungs-

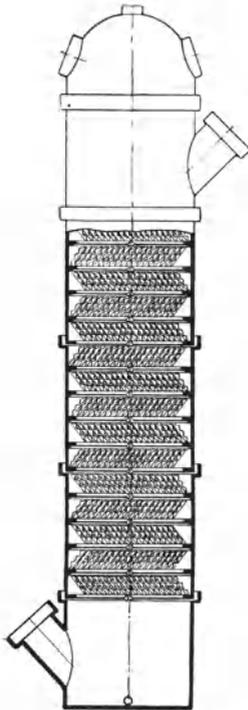


Abb. 1109.
Sternplattenturm.

flüssigkeit sich selbständig und schnell über den ganzen Turmquerschnitt gleichmäßig verteilt und überall eine regelmäßige Flüssigkeitsbewegung stattfindet. Ein senkrechter Durchtritt von Flüssigkeit und Gas ist durch die Füllkörperschichten vollkommen ausgeschlossen, da jeder einzelne Ring sowohl die Flüssigkeit als auch die Gasteilchen beim Durchstreichen aus der ursprünglichen Richtung ablenkt. Der von den Gasen bzw. der entgegenströmenden Flüssigkeit zurückgelegte Weg verläuft zickzackförmig, so daß beide Strecken zurücklegen müssen, die ein Vielfaches der Turmhöhe betragen, wobei der Gasstrom fortwährend mit frischer Berieselungsflüssigkeit in Berührung kommt. Raschig-Ringe von 25 mm Durchmesser bilden infolge ihrer eigenartigen regellosen Lagerung in 1 m³ etwa 220 m² Rieselfläche. Dabei lassen sie aber einen Durchgangsquerschnitt von 90 Proz. frei, so daß der Widerstand, den die Füllung dem aufsteigenden Gasstrom entgegensetzt, kaum in Betracht kommt. Dies zeigt deutlich die ganzen Vorteile dieser Art der Oberflächenvergrößerung durch regellose Lagerung (auch DRP. 292622 und 297379). Die Raschig-Ringe finden ihrer vorzüglichen Wirkungsweise entsprechend eine sehr vielseitige Verwendung. Von den Anwendungsgebieten seien genannt: Waschen von Wassergas oder Leuchtgas zwecks Befreiung von seinem Kohlensäuregehalt; Auffangen des Schwefelsäuregehaltes von Röstgasen, Salzsäure oder nitrosen Gasen in Wasser; Absorption von Schwefeltrioxyddämpfen in Schwefelsäure zur Gewinnung von Oleum. In Kokereien und Gasanstalten dienen Raschig-Ringe dazu, in Rieseltürmen Pech- und Teernebel bei 60–80° aus den Gasen so vollständig abzuscheiden, daß letztere unmittelbar zur Ammoniakabsorption geleitet werden können. Nach dem DRP. 420498 von *F. Raschig* geht die Ammoniakwäsche bei der Leuchtgasfabrikation und die Aufbereitung des rohen Ammoniakwassers in mit Raschig-Ringen gefüllten Türmen vor sich. Auf dieselbe Weise werden Benzol aus Kohlendgasen durch Waschöl (*F. Raschig*, Gas- u. Wasserfach 1922, Heft 41; *Newmann*, Glückauf 1924, Heft 5) oder Benzin aus Erdgasen durch Erdöl herausgewaschen. Auch für Reaktionen zwischen Flüssigkeiten, wie beim Waschen oder Auslaugen derselben, finden Raschig-Füllkörper vorteilhaft Verwendung, z. B. für die Gewinnung von Anilin aus Fabrikationsabwässern mittels Benzol, für die Entphenolung der Kokereiabwässer (*F. Raschig*, Z. angew. Chem. 1918, Heft 79) usw. (DRP. 312539 der I.G. Farbenindustrie A.-G., „Verfahren und Apparat zur fortlaufenden Extraktion von Lösungen“). Zur Entstaubung von Generatorgasen läßt man diese durch Schichten von Raschig-Ringen, durch die Wasser, gegebenenfalls auch geeignete Öle herabrieseln, durchstreichen. Eine in manchen Fällen genügende Entstaubung wird sogar schon bei Fortfall der Berieselung infolge der durch die Füllkörperschicht erzwungenen häufigen Richtungsänderung des Gasstromes erzielt. Andere Verwendungsgebiete der Raschig-Ringe sind die Luft- und Wasserkühlung (*F. Buschmann*, Z. ges. Kälteind. 1926, Heft 1), die Luftbefeuchtung, Wasserklämung (auch von Kesselspeisewasser), Enteisung des Wassers,

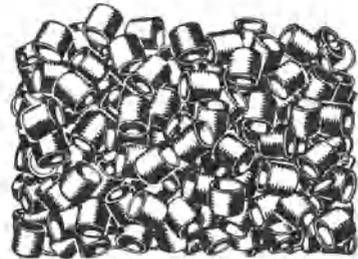


Abb. 1110. Raschig-Ringe.

Entölung von Flüssigkeiten, fraktionierte Destillation, Enttölung von Benzol, Destillation (DRP. 260060) von Teer und Carbolöl (*F. Raschig, Z. angew. Chem.* 1915, Nr. 84) und von

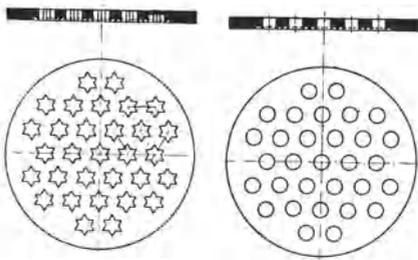


Abb. 1111. Lochplatten zum Tragen des Füllmaterials.

Leichtölen, Erdölen, Spiritus u. a. m. Auch in zahlreichen anderen Fällen hat die Einführung von Raschig-Ringen als regellos gelagerten Füllkörpern revolutionierend auf die chemische Industrie und die Entwicklung ihrer Verfahren gewirkt. — Der regelmäßig in Reaktions-

türme eingebaute Füllkörper der Stellawerke ist zick-zackförmig ausgebildet. Der Sattelfüllkörper nach *Berl* wird in letzter Zeit besonders empfohlen. —

Die Lagerung der Steinzeug-Füllkörper

erfolgt am zweckmäßigsten auf Steinzeug-Lochplatten (Abb. 1111).

Für die Regelung des gleichmäßigen Zulaufes der Flüssigkeit in die Reaktionstürme dienen Steinzeug-Flüssigkeitskontrollapparate verschiedener Konstruktion. *Rabe* benutzte für die Stauung der Flüssigkeit eine auswechselbare Schlitzöffnung mit Einrichtung zur genauen Ablesung der Menge. Der Apparat muß in eine offene Leitung geschaltet werden (Abb. 1112).



Abb. 1112. Flüssigkeitskontrollapparat nach *Rabe*.

Die Temperaturregelung von Reaktionstürmen erfolgt unter gewissen Umständen durch Steinzeug-Kühlelemente. Diese bestehen in der von *Rabe* vorgeschlagenen Bauart (Abb. 1113) aus kurzen, unten und oben geschlossenen Turmzylindern. Durch seitliche Stutzen tritt das Kühlwasser in die Hohlräume ein und aus ihnen heraus. Die Gase treten durch eine große Mittelloffnung hindurch, werden am direkten Aufstieg durch Überdecken der Öffnung mit einer Kappe gehindert und somit gezwungen, einen längeren Weg um die Kappe herum einzuschlagen. Zur Erzielung einer besonders intensiven Kühlung kann man, um die bei starker Absorption, insbesondere bei der Salz- und Salpetersäureabsorption, entstehende Reaktionswärme aufzunehmen, die Türme ausschließlich aus solchen Elementen zusammensetzen.

Bei der Salzsäureherstellung werden auch vielfach Steinzeugtürme verwendet, die durch bis zu 4 m lange, von oben eingehängte Rohre aus geschmolzenem Quarz und Steinzeug gekühlt werden, in denen Wasser zirkuliert. Fertigt man die Kühlrohre aus porösem keramischem Material an (DRP. 353553), so bewirkt das in feiner Verteilung durch die Rohrwand tretende Wasser zugleich die Absorption der Salzsäure; die Rohre dienen also gleichzeitig in zweckmäßiger Weise als Flüssigkeitsverteiler.

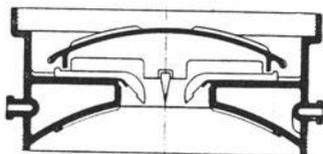


Abb. 1113. Kühlelement nach *Rabe*.

Bei vielen chemischen Prozessen müssen auch die Gase vor der Weiterverarbeitung gekühlt werden. Hierfür benutzt man Kühlschlangen (Abb. 1114), d. h. Rohre aus Steinzeug oder geschmolzenem Quarz, die in Schraubelinien, manchmal auch (für flache Behälter)

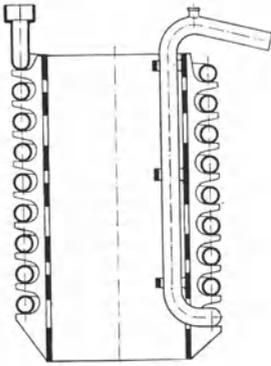


Abb. 1114.
Kühlschlange, lose gelagert.

spiralförmig gewunden und auf einem Gestell (vgl. z. B. DRP. 121815) fest oder lose montiert sind. Bei Schlangen, die als Ablaufkühler dienen, sind die oberen, bei Rückflußkühlern die unteren Windungen am stärksten

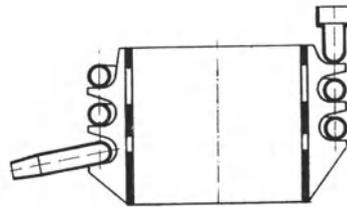


Abb. 1115. Vorschlinge.

beansprucht. Zur Herabminderung der Bruchgefahr schaltet man in solchen Fällen vor den eigentlichen Kühler eine aus wenigen Windungen bestehende Vorschlinge (Abb. 1115), die die erste Hitze aufnimmt. Soll die Kühlfläche ohne nennenswerte Raumbesanspruchung vergrößert werden, so verwendet man Doppel- oder Mehrfach-(Multiplex-)schlangen (Abb. 1116). Diese bestehen aus zwei oder mehreren, parallel

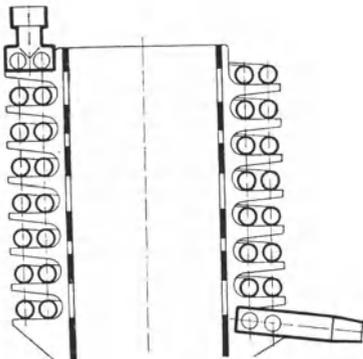
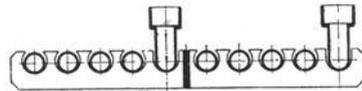


Abb. 1116. Multiplexschlange.

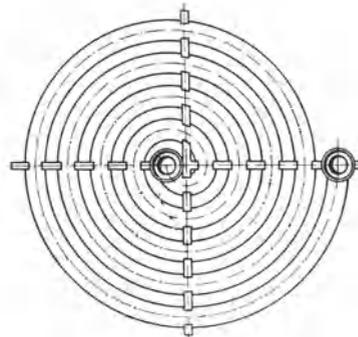


Abb. 1117. Horizontalschlange.

nebeneinander gelagerten Rohren, deren Enden gewöhnlich zu gemeinsamem Ein- bzw. Auslauf vereinigt sind.

Das Kühlen oder Erwärmen von Flüssigkeiten, z. B. bei elektrolytischen Arbeiten, für Bleichlaugen und Säuren, die aus Absorptionstürmen kommen und Reaktionswärme aufgenommen haben, erfolgt durch Horizontalschlangen (Abb. 1117), deren Windungen in einer Ebene spiralförmig angeordnet

sind. Wird besonderer Wert auf große Rohrquerschnitte und Kühlflächen gelegt, so verwendet man Röhrenkühler, die aus einer Anzahl gerader Muffenrohre aus Steinzeug oder geschmolzenem Quarz und bogen- oder S-förmig gebogener Rohre (Tulpenrohre) entweder in liegender oder in stehender Anordnung bestehen. Insbesondere werden solche Kühler bei der Salpetersäurekondensation nach *Guttman* und nach *Uebel* verwendet.

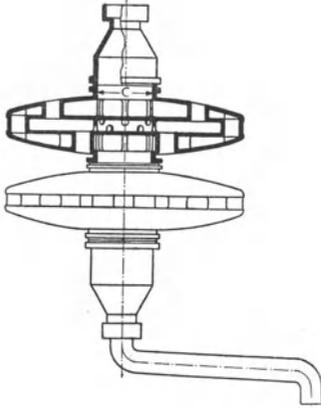


Abb. 1118. Linsenkühler.

Bei den aus einzelnen Elementen bestehenden Steinzeug-Linsenkühlern (Abb. 1118) werden Gase an großen Flächen gekühlt und dabei kondensiert. In jedem Element breiten sich die eintretenden Dämpfe aus, gelangen durch am Rand angeordnete Verbindungsröhrchen in die untere Linse und werden von hier wieder zentral dem nächstfolgenden Kühlelement zugeführt.

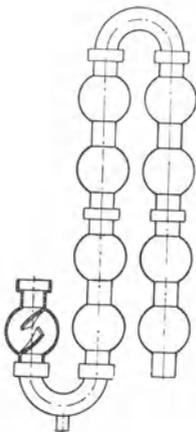


Abb. 1119. Rapid-Wirbelkondensator.

Die Rapid-Wirbelkondensatoren (Abb. 1119) aus Steinzeug bestehen aus Rohren mit kugelförmigen Erweiterungen, die wie gewöhnliche Muffenrohre montiert und zu Kühlern, Kondensations- und Absorptionsapparaten zusammengebaut werden. Jede Kugel hat zwei innere Scheidewände, die die Gase zwingen, auf einem langen Wege unter fortwährendem Richtungswechsel an den Außenwänden entlang zu streichen, und dadurch eine intensive Mischung und starke Kühlung der Gase bewirken. Die untere Scheidewand hat an ihrer tiefsten Stelle eine Durchbohrung, durch die etwaige Kondensate usw. nach unten abfließen können.

Unter Tourills (Turillen, Bombonnes) (s. auch S. 841) versteht man Gefäße verschiedener Form, die zur Kondensation bzw. Absorption von Gasen, besonders bei der Salz- und Salpetersäurefabrikation, dienen. Sie bestehen aus Steinzeug (wie die nachfolgend beschriebenen) oder aus geschmolzenem Quarz und sind mit besonderen Ein- und Austritten einerseits für die Gase und andererseits für die Flüssigkeit versehen; sie werden reihenförmig hintereinander aufgestellt und durch zwischengeschaltete stehende, die Kühlfläche vergrößernde Rohre verbunden. Die Muffen an den Verbindungsstellen werden zwecks Abdichtung mit Teerkitt gefüllt. An Tourills für Absorptionszwecke sind für die Zirkulation der Flüssigkeit in halber Höhe der Gefäße je ein Ein- und Austrittsstutzen angebracht (Abb. 1120). Der Austrittsstutzen ist an ein bis zum Boden des Gefäßes reichendes Rohr angeschlossen, um die konzentriertere Flüssigkeit unmittelbar abzuleiten. Die Stutzen werden mit

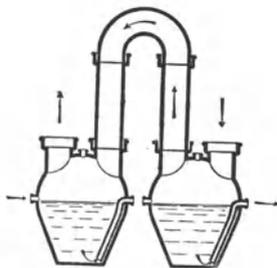


Abb. 1120. Salzsäure-Tourill. (Nach *Singer*, Keramik.)

angeschlossen, um die konzentriertere Flüssigkeit unmittelbar abzuleiten. Die Stutzen werden mit

Gummistopfen und Glasrohren verbunden. Nach *Pützer* (Abb. 1121) sind zum Zwecke der Verhinderung des Ansammelns von Luftblasen und zur Erleichterung der Zirkulation die Übergänge von dem Austrittsstutzen des einen Gefäßes zum Eintrittsstutzen des nächsten schräg nach oben laufend angeordnet. Die Tourills sollen den durchstreichenden Gasen eine möglichst große Berührungsfläche und dabei genügende Kühlfläche gewähren. Die Abkühlung geschieht bei Tourills der gewöhnlichen Topfform durch die Außenluft. Eine besonders günstige und langjährig bewährte Kühlung ergeben die vorzugsweise bei der Absorption von Salz- oder Schwefliger Säure verwendeten Kühlgefäße nach *Cellarius* (Abb. 1122; s. DRP. 106023). Diese besitzen eine im Verhältnis zum Flüssigkeitsinhalt (70–250 l) sehr große Kühlfläche, die vollständig der Wirkung eines Kühlmittels ausgesetzt werden kann. Die eigentümliche Form der Gefäße — im Querschnitt halbringförmig — gestattet, sie bis an die Muffen der Gasstutzen in Kühlwasser einzusetzen. Die an dem einen Ende

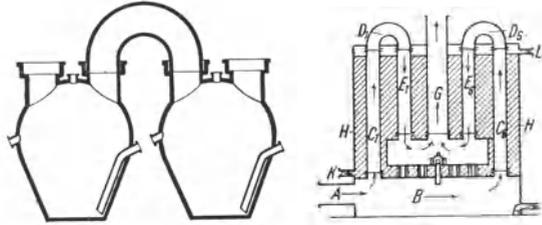


Abb. 1121.

Tourill nach *Pützer*.

Vertikalschnitt.

(Nach *Singer*, Keramik.)

absorption von Salz- oder Schwefliger Säure verwendeten Kühlgefäße nach *Cellarius* (Abb. 1122; s. DRP. 106023). Diese besitzen eine im Verhältnis zum Flüssigkeitsinhalt (70–250 l) sehr große Kühlfläche, die vollständig der Wirkung eines Kühlmittels ausgesetzt werden kann. Die eigentümliche Form der Gefäße — im Querschnitt halbringförmig — gestattet, sie bis an die Muffen der Gasstutzen in Kühlwasser einzusetzen. Die an dem einen Ende

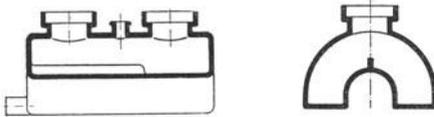
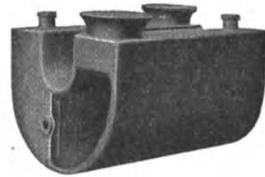
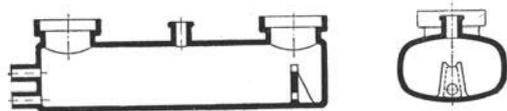


Abb. 1122.

Kühlgefäß nach *Cellarius*.Abb. 1123. Tourill nach *Uebel*.(Nach *Singer*, Keramik.)

eintretenden Gase streichen zwischen der Oberfläche der gekühlten Absorptionsflüssigkeit und der von außen gekühlten Gefäßwand entlang, um am anderen Ende auszutreten. Die Absorptionsflüssigkeit tritt durch einen Stutzen an der Vorderseite ein, geht bis zum hinteren Ende des Tourills, steigt hier im breiten Bande über den von unten gekühlten Sattel und geht auf der anderen Längsseite des Tourills zum Ausgangsstutzen. Ein *Cellarius*-Tourill kommt an Wirkung 2–3 gewöhnlichen Tourills gleich; bei der Verwendung derartiger Tourills in der Salzsäurefabrikation läßt sich eine Säure bis zu 23–24° Bé herstellen.

Abb. 1124. Tourill nach *Meyer*.

Ähnlich wirken die Tourills nach *Uebel* (Abb. 1123) mit einer Kühlfläche von 2–2,6 m², bei denen sich die Stutzen für den Flüssigkeits-Ein- und -Austritt an den Stirnseiten des Gefäßes befinden. Der der ganzen Länge nach hindurchstreichende Gasstrom wird durch die Innenwölbung der oberen Gefäßwand gezwungen, in der ganzen Breite der Gefäße in verlangsamttem Strom dicht an dem Flüssigkeitsspiegel vorbeizustreichen.

Die Absorber nach *Meyer* (Abb. 1124) bestehen aus einem allseitig geschlossenen, etwa $1\frac{1}{2}$ m langen, flachen Rohr, dessen Decke die beiden Gasstutzen trägt, während zwei Stutzen auf der einen Stirnseite für die Zu- und Abführung der Absorptionsflüssigkeit dienen. Der eine von diesen wird bis an das untere Ende des Apparates geführt, so daß die Flüssigkeit nahe der Oberfläche zu- und am Boden abströmt, während das Gas den umgekehrten Weg macht.

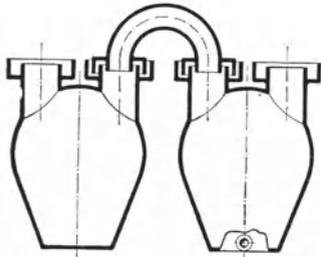


Abb. 1125. Tourill mit Wasserverschlußmuffen.

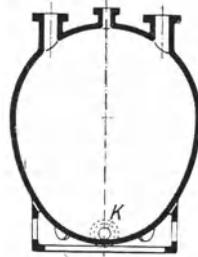


Abb. 1126. Vakuumtourill.

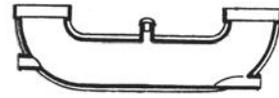


Abb. 1127. Krümmerrohr (Querschnitt). (Nach *Singer*, Keramik.)

Die Spezialtourills für die Salpetersäurekondensation sind wegen der hohen Konzentration der Gase mit engen Gasleitungen und Gasstutzen versehen und können auch mit Wasserverschlußmuffen ausgerüstet werden (Abb. 1125).

Für Destillation im Vakuum verwendet man besondere Vakuumtourills aus Steinzeug (von 75—1200 l Inhalt), die infolge ihrer Bauart mit Sicherheit dem äußeren Luftdruck auch beim höchsten im Betrieb vorkommenden Vakuum widerstehen (Abb. 1126).

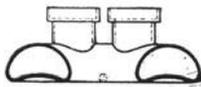


Abb. 1128. Ringgefäß.

Ähnlich wie die Tourills wirken bis zu einem gewissen Grade im Kühlwasser versenkte Steinzeug-Krümmerröhre (Abb. 1127). Sie bestehen aus einem horizontalen Rohr, dessen beide Enden nach oben gekrümmt und zum Anschluß an die Gasleitung mit Muffen versehen sind, während zwei etwa in halber Rohrhöhe angebrachte Stutzen zur Zirkulation der Flüssigkeit dienen.

Ein besonders langer Weg für Flüssigkeiten und Gase wird bei Steinzeug-Ringgefäßen gemäß Abb. 1128 erreicht; diese bestehen aus einem in sich geschlossenen Hohlring und besitzen infolge ihrer geschlossenen Bauart eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber allen im Betrieb auftretenden Beanspruchungen, insbesondere solchen thermischer Art. Der Hohlring ist durch eine allseitig abschließende, zwischen Gasein- und -austrittsstutzen angebrachte Scheidewand unterteilt. Hierdurch werden die Gase, bei Absorptionsgefäßen auch die Flüssigkeiten, die der Richtung des Gasstromes entgegengesetzt durch die Apparatur geführt werden, gezwungen, das Gefäß in seinem ganzen Umfange zu durchstreichen. Durch vier im Innern angebrachte Stauwände wird in dem Gefäß stets ein niedriger Flüssigkeitsstand aufrechterhalten; bei dem jedesmaligen Fall über eine solche Stauwand wird die Flüssigkeit aufgewirbelt, und es werden hierdurch dem entgegenströmenden Gas stets neue Flüssigkeitsteilchen dargeboten, wodurch

eine weitgehende Absorption erreicht wird. Die Gefäße lassen sich auch leicht in Wasserbäder einsetzen.

Die Vorrichtungen zum Fördern von Gasen und Flüssigkeiten lassen sich im wesentlichen einteilen in Druckbirnen, Strahlpumpen, Kolben- und Kreisel-pumpen. Alle diese Apparate werden aus Steinzeug gebaut.

Die Steinzeug-Druckbirnen (Abb. 1129), für welche Druckluft bzw. unter Druck befindliche Gase oder Dampf als Betriebsmittel verwendet werden, sind entweder hand-gesteuert oder selbsttätig und stellen mit der zu fördernden Flüssigkeit gefüllte Steinzeuggefäße dar, aus denen die Flüssigkeit mittels Druckluft durch ein Steigrohr herausgedrückt wird, wobei die erreichbare Förderhöhe, abgesehen von der Spannung der Druckluft, von der Druckfestigkeit des Steinzeugmaterials abhängt.

Das Füllen und Entleeren geschieht bei handgesteuerten Apparaten mittels von Hand bedienter Steinzeug-Absperrhähne. Die automatischen Steinzeug-Druckbirnen, wie z. B. die „Wotan“-Druckbirne (Abb. 1130), füllen sich selbsttätig durch Zulauf aus einem höher stehenden Behälter, wobei die Füll- und Druckperiode durch Steinzeug-Kugelventile automatisch geregelt wird. Ein an dem oberen Stutzen des Lufthahnes eingekittetes Glasrohr zeigt die erfolgte Füllung an.

Die selbsttätigen Steinzeug-Druck-luftheber dienen insbesondere zum Heben von Säuren und ätzenden Flüssigkeiten aller Art. Sie müssen unempfindlich gegen Schwankungen des spez. Gewichtes, der Förderhöhe und des Preßluftdruckes sein. Alle mit den angreifenden Flüssigkeiten usw. in Berührung kommenden Teile bestehen aus widerstandsfähigem, säurefestem Steinzeug.

Bei dem Steinzeug-Säure-Auto-mat nach *Plath* (Abb. 1131) (DRP. 159079; Z. angew. Chem. 1907, S. 1186) wird die zu hebende Säure aus einem etwas höher stehenden Behälter durch ein Zulaufventil, das gleichzeitig als Rückschlagventil wirkt, zugeführt. Zum Schluß der Füllperiode wird die als Steuer- oder Umschaltventil wirkende, geschliffene (linke) Steinzeughohlkugel, deren Raumgewicht unter 1,0 liegt, durch die Flüssigkeit gehoben, öffnet dadurch das Preßluftventil

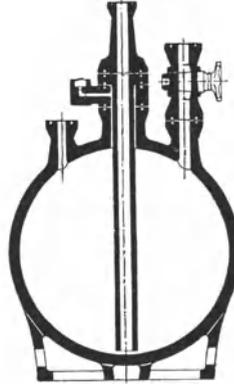


Abb. 1129. Druckbirne.

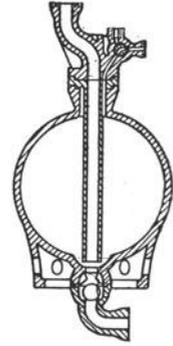


Abb. 1130. Druckbirne „Wotan“.

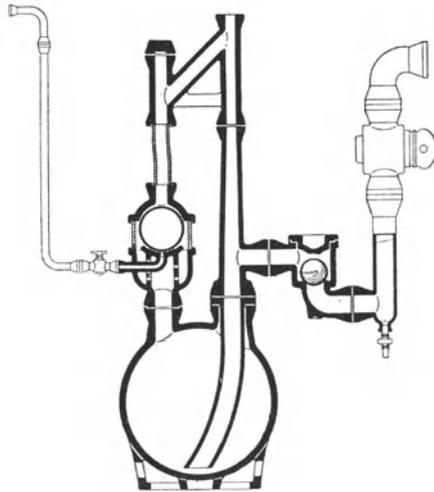


Abb. 1131. Selbsttätige Druckbirne nach DRP. 159079.

und schließt gleichzeitig den Abluftaustritt. Durch die jetzt eintretende Preßluft wird der Druckbirneninhalt durch das Steigrohr hinausgefördert, bis das Gefäß leer ist. Die Ventilkugel senkt sich hierauf wieder, verschließt dabei den Preßluftzutritt und öffnet gleichzeitig den Abluftaustritt, worauf das Spiel neu beginnt (DRP. 506101, 526993, 564277). — Diese sehr zuverlässig arbeitenden Apparate sind für die Förderung heißer Flüssigkeiten im allgemeinen nicht mehr zu empfehlen; sie sind zu kompliziert und durch modernere Maschinen ersetzt. Für besonders starke Beanspruchungen (hohen Betriebsdruck) werden die Druckgefäße mit eisernem Panzer umgeben.

Ist die Fördermenge gering, z. B. bei Turmberieselungen in kleineren Absorptionsanlagen, Regeneratoren u. dgl., so benutzt man den Securius-Automat, bei dem ebenfalls alle mit der Flüssigkeit in Berührung kommenden Teile aus Steinzeug bestehen. Er besitzt eine Stundenleistung von 1–2 m³,

ist sehr einfach gebaut und gestattet eine ständige Kontrolle des Fördervorganges durch ein Glasfenster.

Nach dem gleichen Prinzip arbeitet in vorzüglicher Weise der Steinzeug-Druckautomat gemäß Abb. 1132. Bei der Konstruktion dieses Apparates war der Gedanke leitend, die Anzahl der Einzelteile auf ein Minimum zu beschränken und möglichst wenig Dichtungsstellen anzuwenden. Er setzt sich im wesentlichen aus dem Gefäßkörper *A*, dem Steuerkopf, bestehend aus Unterteil *B*, Deckel *C*, der zwischen beiden liegenden Steuerkugel *D* und dem aus

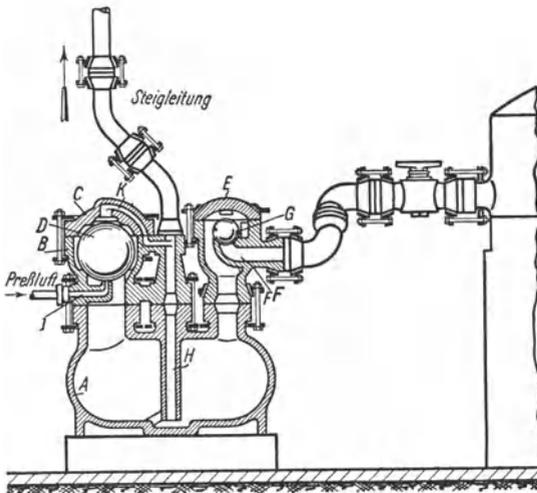


Abb. 1132. Druckautomat.

E, *F* und der dazwischen liegenden Kugel *G* bestehenden Rückschlagventil zusammen. Die Flüssigkeit gelangt durch die mit Gefälle zum Apparat zu verlegende, bei *F* angeschlossene Zulaufleitung in den Gefäßkörper *A*. Die von der eindringenden Flüssigkeit verdrängte Luft entweicht durch *B*, *C* und den Kanal *K*, der mit dem Steigrohr *H* kommuniziert, ins Freie bzw. in das hochstehende Sammelgefäß. Während dieser Zeit hält die Schwimmkugel *D* den Preßluft-eintritt geschlossen. Die Luftleitung ist bei *J* angeschlossen. Sobald nun die Flüssigkeit die Schwimmkugel *D* erreicht hat, wird diese gehoben, gibt damit den Preßluft-eintritt frei und verschließt gleichzeitig den Abluftkanal *K*. Infolge des nun ansteigenden Druckes schließt sich das Rückschlagventil, so daß die Flüssigkeit durch das Steigrohr *H* herausgedrückt wird. Der Flüssigkeitsspiegel im Behälter *A* sinkt, während die Steuerkugel *D* an die Sitzfläche des Deckels *C* so lange angepreßt bleibt, bis von unten her Luft in das Steigrohr *H* eindringt und durch den Kanal *K* ein Druckausgleich herbeigeführt wird. Als Folge davon fällt die Steuerkugel *D* zurück, öffnet damit den Abluftkanal *K* und sperrt den Preßluft-eintritt ab. Der Zulauf beginnt alsdann von neuem.

Zum ununterbrochenen Heben von kleinen Säuremengen, insbesondere Berieselungsflüssigkeiten, für Türme mittels Druckluft verwendet man Steinzeug-Emulseure, die nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren arbeiten.

Zum Heben von Säuren und ätzenden Flüssigkeiten dienen Steinzeug-Elevatoren (Abb. 1133), bei denen die Energie des aus einer Düse ausströmenden Betriebsmittels in Geschwindigkeit umgesetzt wird, wobei die anzusaugende Flüssigkeit mitgerissen wird. Das Betriebsmittel (im allgemeinen Dampf) tritt in die Düse in der Förderrichtung ein. Die Saugleitung wird an einen seitlichen Stutzen angeschlossen. Die zu hebende Flüssigkeit erfährt bei Verwendung von Dampf durch diesen eine geringe Erwärmung, die mit steigender Förderhöhe zunimmt.

Die Steinzeug-Injektoren (Abb. 1134), sog. Saug- und Blasapparate (s. Strahlpumpen), finden Verwendung zum Ansaugen und Fördern von Gasen mit Dampf oder Preßluft, wo geringere Leistungen in Frage kommen; sie dienen insbesondere zur Unterstützung des Zuges in Kondensationsanlagen u. dgl. und arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie die oben beschriebenen Flüssigkeitselevatoren.

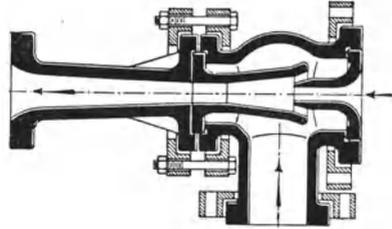
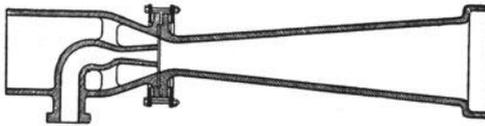
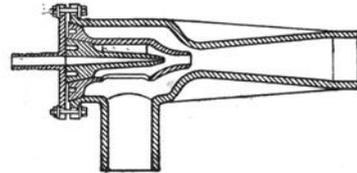


Abb. 1133. Elevator.

Abb. 1134. Zweiteiliger Injektor.
(Nach Singer, Keramik.)Abb. 1135.
Guttman'scher Saugapparat.

Bei den Steinzeug-Injektoren nach Guttman (Abb. 1135) sind sämtliche Einzelteile auswechselbar.

Die als Saug- und Druckpumpen ausgebildeten Steinzeug-Kolbenpumpen für Hand- oder maschinellen Betrieb werden zur Förderung saurer Flüssigkeiten oder Gase jeglicher Art verwendet. Alle mit dem korrodierenden Fördergut in Berührung kommenden Teile, wie Pumpenkörper, Ventilgehäuse und Kolben, bestehen aus Steinzeug, die übrigen Teile, z. B. die Befestigungen und Verbindungen, aus Metall. Der Pumpenkörper kann mit auswechselbaren Ventilgehäusen gebaut werden, um einen leichten Ersatz der einzelnen Stücke zu ermöglichen; die Kolben sind als geschliffene Steinzeugplunger ausgebildet. Der Pumpenzylinder wird an seinem oberen Ende durch eine Stopfbüchse abgedichtet, deren Packung von der Art des Fördergutes abhängt. Die Saug- und Druckventilgehäuse haben für die als Abschlußventile dienenden Steinzeugkugeln geschliffene Sitze und Führungsleisten. Das Raumgewicht der hohlen oder evtl. beschwerten Steinzeugkugeln muß schwerer als das spezifische Gewicht der Flüssigkeit sein. Die Ventilkugeln können für gewisse Spezialbedingungen mit einem Überzug aus Para- oder Hartgummi versehen werden. In das Innere des Ventilgehäuses gelangt man ohne weiteres dadurch, daß man am Saugventil den Deckel, am Druckventil den Windkessel entfernt, der zwecks Regulierung der Flüssigkeitsbewegung

als Puffer eingebaut wird. Die Anschlußstutzen der Pumpen sind zur Verbindung mit der Saug- und Druckleitung mit konischen Flanschen versehen. Beim Verbinden mit elastischen Schläuchen müssen an beiden Anschlußstücken Rillen angebracht werden. Die Steinzeugteile dieser Pumpen werden, wenn es auf hohe Widerstandsfähigkeit gegen Innendrucke ankommt, in einen Eisenpanzer eingepaßt. Bei gepanzerten Steinzeugpumpen mit innen liegender Kolbendichtung für besonders große Druckhöhen ist der Körper innen zylindrisch ausgeschliffen und die Abdichtung des Kolbens erfolgt durch Innenstopfbüchsen. — Beim Betriebe von Steinzeugpumpen werden zweckmäßig plötzliche Temperaturwechsel nach Möglichkeit vermieden.

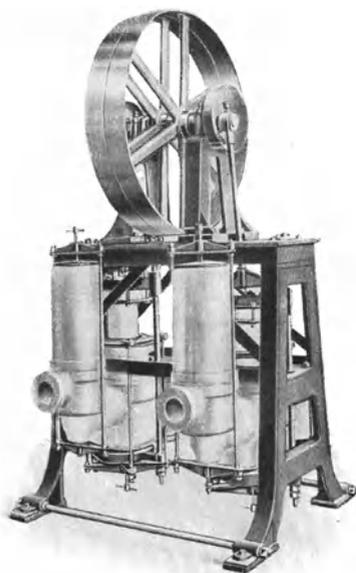


Abb. 1136. Pumpe aus Steinzeug für Hand- oder Riemenantrieb.

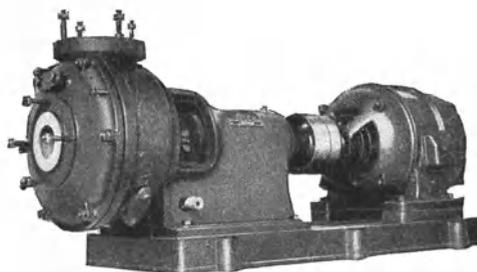


Abb. 1137. Gepanzerte Steinzeug-Kreiselpumpe.

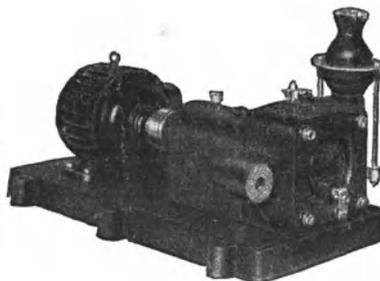


Abb. 1138. Ungepanzerte Kreiselpumpe mit einteiligem Steinzeugblock.

Die Bauart der Steinzeug-Kolbenpumpen (Abb. 1136) für Gase entspricht im wesentlichen derjenigen für Flüssigkeiten; die Gaspumpen unterscheiden sich jedoch von den letzteren dadurch, daß ein zweiter Zylinder zur Aufnahme einer Sperrflüssigkeit vorgeschaltet wird. Durch die Sperrflüssigkeit wird die Bewegung des Steinzeug-Plungers auf das Gas übertragen. Hierbei sinkt der Flüssigkeitsspiegel infolge des beim Hochgehen des Plungers entstehenden Vakuums. Hierdurch öffnet sich das Saugventil und läßt das Gas in den zweiten Zylinder eintreten. Beim Niedergehen des Plungers steigt die Flüssigkeit, schließt sich das Saugventil und öffnet sich das Druckventil, durch welches das Gas in die Druckleitung entweicht. Die Sperrflüssigkeit reicht bis an die Ventile, so daß kein schädlicher Raum vorhanden ist. Die Kompression beträgt 2–3 at.

Kommen größere Leistungen in Frage, so werden Steinzeug-Kreiselpumpen (Abb. 1137) verwendet, die als einstufige Pumpen bis auf Höhen von etwa 60 m,

als zweistufige Pumpen etwa bis 100 m fördern. Neuerdings ist es gelungen, die Korrosionsfestigkeit von Säurekreiselpumpen dadurch ganz erheblich zu steigern, daß man ungepanzerte Steinzeugkreiselpumpen herstellt. Bei diesen besteht Pumpengehäuse und Antriebsbock aus einem Stück Steinzeug. Der Antriebsbock trägt im Innern eine Sicherung von Lager und Welle gegen eindringende Förderflüssigkeit. Der Ablauf derselben erfolgt äußerlich sichtbar über eine Tropfnase, die jederzeit eine leichte Kontrolle des Zustandes der zwangläufig und ohne Nachstellung unter dem gewünschten Betriebsdruck stehenden Packung ermöglicht. Mit dieser neuen Konstruktion ist ein erheblicher Fortschritt im Säurekreiselpumpenbau erzielt worden (Abb. 1138). Der Zusammenbau der Steinzeugteile mit dem Antriebsbock erfolgt mit Hilfe eines gußeisernen Panzers, der eine genaue Zentrierung sichert und gleichzeitig einen vollkommenen Schutz des Steinzeugs bildet. Der Deckel der

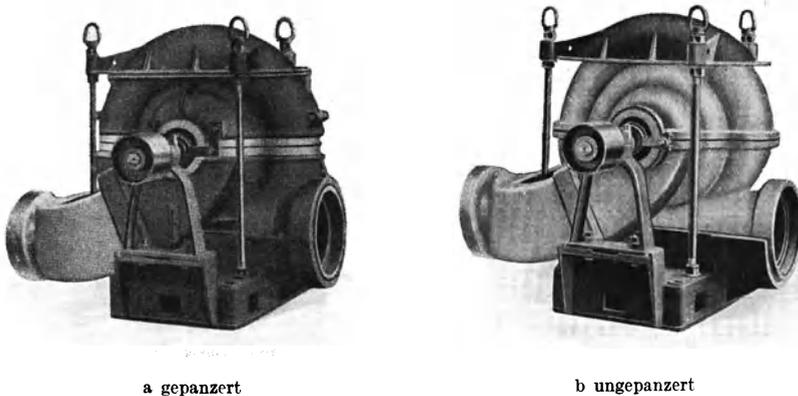


Abb. 1139. Steinzeug-Exhaustor.

Pumpen ist durch Lösen weniger Schrauben leicht abnehmbar, ebenso läßt sich das Flügelrad bei den abgebildeten Pumpentypen leicht auswechseln, ohne daß man gezwungen ist, die Welle auszubauen.

Eine durch geringeren Kraftverbrauch, große Betriebssicherheit und gesteigerte Leistungen ausgezeichnete Sonderausführung der Steinzeug-Kreiselpumpen ist eine Hochleistungspumpe, hergestellt aus einem besonders hochwertigen Steinzeug von außerordentlich großer mechanischer Festigkeit. Die Pumpe ist mit geschlossenem Laufrad ausgeführt, durch dessen auf Grund genauer Berechnungen und Erfahrungen neuartig ausgeführte Gestaltung eine vorzügliche Umsetzung der kinetischen Energie in Druck erzielt wird. Zur möglichsten Entlastung der Stopfbüchse sind auf der Rückseite der Flügelräder Gegenschaukeln angebracht. Auf der Einlaufseite des Flügelrades ist ein Spaltring angeordnet, wodurch erreicht wird, daß der Axialschub stets nach der Lagerseite gerichtet ist und schädliche Zugbeanspruchungen verhindert werden. (DRP. 497 770.)

Auch für andere zu Kondensations- und Absorptionszwecken dienende Apparaturen bildet das keramische Material den geeigneten Werkstoff bei Prozessen, die die Verwendung von Metall als Baustoff seiner geringen Korrosionsbeständigkeit wegen von vornherein ausschließen.

Zum Absaugen von sauren Dämpfen aller Art verwendet man Kreiselsauger oder Exhaustoren aus Steinzeug (Abb. 1139). (*G. Plath*, Z. angew. Chem. 1907, S. 444 und Z. ges. Schieß- u. Sprengstoffwes. 1906; *F. Müller*, Z. angew. Chem. 1921, S. 291; *O. Bechstein*, Chem. Apparatur 1916, S. 76; *P. Friedmann*,

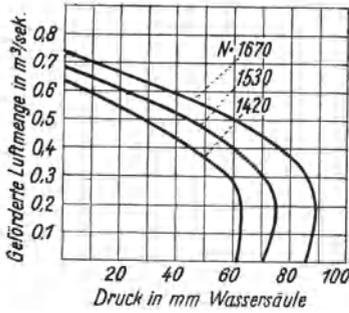


Abb. 1140.

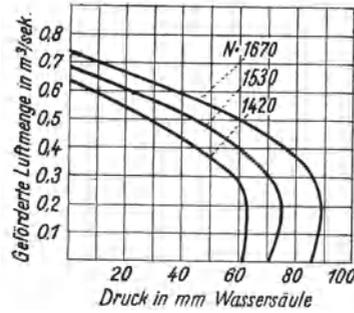


Abb. 1141.

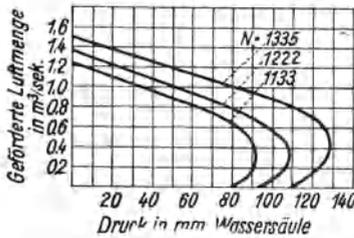


Abb. 1142.

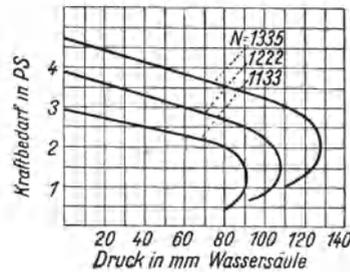


Abb. 1143.

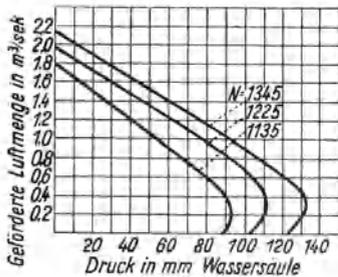


Abb. 1144.

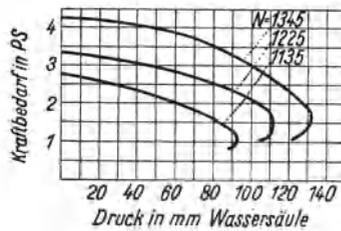


Abb. 1145.

Abb. 1140—1145. Leistungen und Kraftbedarf von Steinzeug-Exhaustoren.

Übersee-Post 1922). In Sprengstoff-, Kunstseide- und Cellulosefabriken dienen sie zur Absaugung der beim Nitrieren entstehenden salpetrigen Dämpfe, ferner finden sie in der Schwefelsäureindustrie, in elektrochemischen Betrieben, Metallbrennereien und Beizereien ausgedehnte Anwendung. Alle mit den zerstörenden Agenzien in Berührung kommenden Teile bestehen aus Steinzeug und sind in eine eiserne Fassung eingebaut, die auch als vollständige

Panzerung ausgebildet sein kann. Die ebenfalls aus Steinzeug oder Korundmasse hergestellten Flügelräder werden auf einer eisernen Welle befestigt. Der Antrieb kann durch Riemen oder direkte Kupplung mit einem Elektromotor erfolgen. Die Umlaufzahl der Flügelräder beträgt bis 2000/min, der Kraftbedarf je nach Leistung $\frac{1}{2}$ –10 PS. Über die Leistungen und den Kraftbedarf von Steinzeug-Exhaustoren geben die Kurven der Abb. 1140 bis 1145 bei verschiedenen Umdrehungszahlen Aufschluß. Die angegebenen Leistungen sind Durchschnittszahlen aus den Messungen einer jeweils größeren Anzahl Exhaustoren und bei freiem Luft-Ein- und -Austritt (O. Scholze-Pillot, Z. angew. Chem. 1907, S. 51).

Bei der Schwefelsäurefabrikation wird das im Röstofen entstandene Schwefeldioxyd durch Oxydation in SO_3 übergeführt und als solches durch gußeiserne, mit Schamotte-radialsteinen ausgefütterte Leitungen zum Glover-Turm geleitet. Vorher muß aber der stets mitgeführte Flugstaub zurückgehalten werden. Dies geschieht durch Hindurchleiten der Gase durch Staubkammern mit geradem oder schrägem Boden, deren Futter aus säure- und feuerfesten Steinen besteht. Durch Anbringung senkrechter und waagerechter, möglichst rauher und nahe aneinander liegender Scheidewände wird der Weg, den die Gase beim Durchgang zurücklegen müssen, ohne merkliche Querschnittsverengung verlängert, und die Abscheidebedingungen werden hierdurch verbessert. Die Reinigung der Kammern geschieht durch Herauskratzen der abgesetzten und zurückgehaltenen Staubteilchen.

Für die Abscheidung von in Nebelform mitgerissenen Schwefelsäureteilchen bei der Salzsäurefabrikation kommen sog. Kondensationskammern aus Steinzeug in Betracht. Die Gasleitungen für solche Kammern bestehen aus mit Teer getränkter Schamotte, die möglichst säuredicht sein muß.

Die vom Flugstaub gereinigten, 200–300° heißen Röstgase gelangen durch mit Schamotte ausgekleidete Leitungen in den Glover-Turm (Abb. 1146), wo sie mit der aus dem Gay-Lussac-Turm kommenden Nitrose und gleichzeitig mit Kammersäure in Berührung gebracht werden. Das Eintrittrohr wird meist aus Schamotteradialsteinen, die mit säurefestem Mörtel verkittet sind, hergestellt. Der Boden und die Wände des Glover-Turmes sind mit Schamotte oder Klinkermaterial ausgekleidet. Die Gase treten von unten ein und begegnen auf ihrem Wege durch die Füllkörper (s. d., sowie S. 826ff.) aus keramischem Material den ihnen von oben entgegenrieselnden Säuren. Die Abgase der Bleikammern, die reich an N_2O_3 und NO_2 sind, gelangen in die Gay-Lussac-Türme, die in ähnlicher Weise wie die Glover-Türme mit keramischem Material ausgekleidet und gefüllt sind, und vereinigen sich in diesen mit der fein herabrieselnden Schwefelsäure zu Nitrosylschwefelsäure.

Die Konzentration der Schwefelsäure kann durch Zerstäuben mittels Porzellandüsen nach Gaillard (Abb. 1147) von statten gehen. Als Material für Düsen kommt noch in besonderen Fällen Steatit in Betracht (DRP. 451345). Die zerstäubte, zu konzentrierende Säure wird in einem mit keramischem

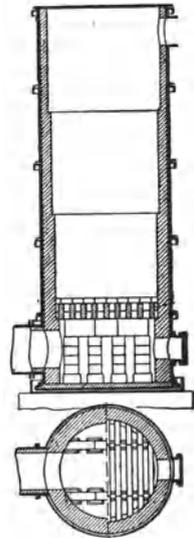


Abb. 1146.
Glover-Turm.
(Nach Singer,
Keramik.)

Material ausgekleideten Turm Feuergasen entgegengeführt, welche die Verdampfung des Wassers bewirken.

Zweckmäßiger geschieht die Konzentration von Schwefelsäure in Schalen und Pfannen aus geschmolzenem Quarz (Abb. 1148). Derartige Anlagen bestehen aus einer Anzahl von kaskadenförmig übereinander aufgestellten Schalen, die in zwei oder mehr nebeneinander liegenden Reihen angeordnet und auf offenen, aus säurefester Schamotte bestehenden, zugleich die Decke des Feuerkanals bildenden Ringunterlagen aufgestellt sind. Als Abschluß des Feuerkanals vom Eindampfraum dient eine Asbestschnurdichtung, die zwischen Schale und Ring eingelegt ist. Die auf Schamotterahmen ruhenden Pfannen der Vorkonzentration bestanden früher allgemein aus Blei. Neuerdings werden sie jedoch durch geschmolzenen Quarz ersetzt. Dieses Material hat den Vorzug, daß es

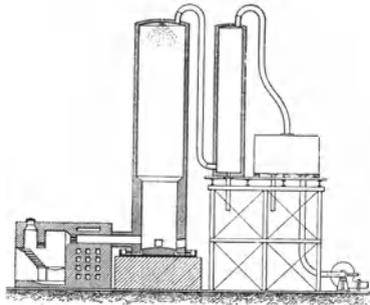


Abb. 1147. Gaillardsche Zerstäubung bei der Schwefelsäurekonzentration. (Nach Singer, Keramik.)

auch von hochkonzentrierter Schwefelsäure absolut nicht angegriffen wird, daher also Verunreinigungen von vornherein ausgeschlossen sind. Außerdem sind diese Anlagen aus geschmolzenem Quarz gegen Temperaturschwankungen unempfindlich; der Verschleiß wird auf ein Minimum herabgedrückt.

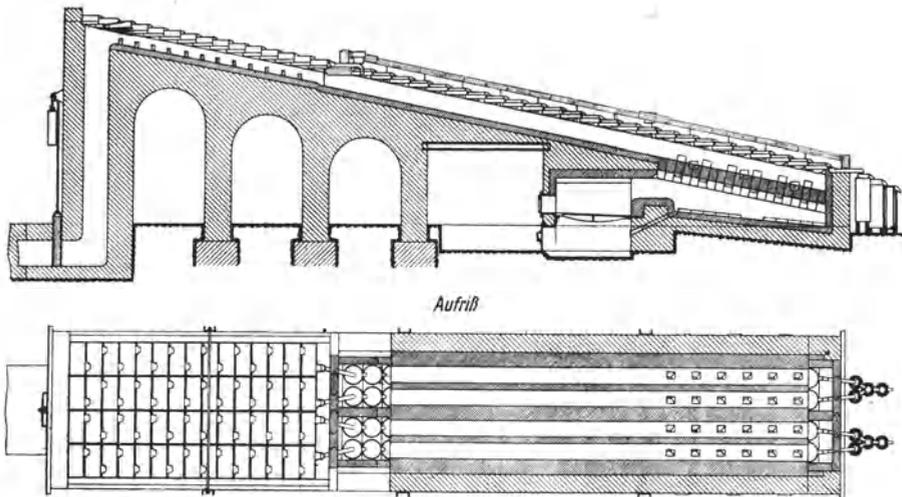


Abb. 1148. Anlage zur Konzentration von Schwefelsäure in Pfannen und Schalen aus geschmolzenem Quarz.

Da diese geschmolzenen Quarzpfannen der unmittelbaren Erwärmung durch die Heizgase ausgesetzt werden, wird der Kohleverbrauch wesentlich vermindert. Die aus der Konzentration ablaufende heiße Säure wird in Töpfen gekühlt, die vorteilhaft gleichfalls aus geschmolzenem Quarz bestehen und mit einem Überlauf und eingesetztem Rohr aus dem gleichen Material

versehen sind. Die Säure tritt durch das Innenrohr ein, gelangt durch unten angeordnete Schlitze in den Raum zwischen Innenrohr und Wand, steigt empor und läuft in das nächste, ebenfalls von außen gekühlte Gefäß. Die Vorkonzentration kann statt in geschmolzenen Quarzpfannen auch in terrassenförmig aufgestellten Töpfen desselben Werkstoffes vor sich gehen. — Bei Einlauf einer kalten Säure von $50\text{--}51^\circ$ Bé leistet eine Anlage, bestehend aus 2 Reihen von je 25 Schalen in Verbindung mit 30 Pfannen als Vorkonzentration in 24 Stunden ungefähr 5000 kg Säure von 66° Bé.

Die Verarbeitung der bei der Salzsäurefabrikation aus dem Handofen kommenden Pfannen- bzw. Muffelgase, die getrennt aufgefangen werden, erfolgt in Apparaturen aus säurebeständigem keramischem Material.

Bei sehr hochprozentigen, z. B. nach dem *Meyerschen* Verfahren gewonnenen Salzsäuregasen erfährt die Apparatur eine gewisse Abänderung (Abb. 1149). Die Gase gelangen hierbei aus dem Ofen *a* durch die Schamotteleitung *b* und den Sandsteinkasten *c* in die aus *Cellarius*-Tourills (s. Abb. 1122, S. 831) bestehende Kühlvorrichtung, von hier durch den Exhaustor *e* und das

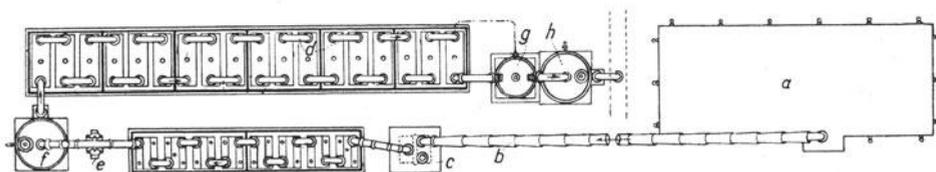


Abb. 1149. Salzsäureanlage. (Nach *Singer*, Keramik.)

Gasfilter *f* in die gekühlten *Meyer*-Absorber (s. Abb. 1124, S. 831 f.). Die Restgase passieren einen mit Raschig-Ringen (s. S. 826 ff.) gefüllten, von oben mit Wasser berieselten Turm *g* und schließlich noch ein Gasfilter *h*, in dem mitgerissene Tröpfchen zurückgehalten werden.

Ein sehr schönes Beispiel, in welchem ausgedehntem Umfang Rohrleitungen, Türme und Maschinen aus Steinzeug in der Apparatechnik der chemischen Industrie Anwendung finden können, wenn seitens des Konstrukteurs die bekannten physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Steinzeugs beachtet und in zweckentsprechender Weise angewendet werden, bietet die Abb. 1150, die eine Salzsäure-Absorptionsanlage „System *Zieren*“ (DRP. 340 213, 383 336) darstellt. Diese Anlage weicht von den bisher üblichen aus Tourillbatterien bestehenden Anlagen grundsätzlich ab. Sie stellt eine reine Turmabsorption mit wirksamen Kühl- und Filtervorrichtungen dar. Die von den Öfen kommenden Salzsäuregase gelangen durch Schamotte- oder Quarzröhren in einen Kühlturm *A* besonderer Konstruktion, der so eingerichtet ist, daß diesem die heißen Ofengase mit Temperaturen von $200\text{--}250^\circ$ ohne Gefahr für das Steinzeug direkt zugeführt werden können. Die Konstruktion des Kühlturmes ist so durchgebildet, daß die äußeren Turmwandungen nur mit bereits gekühlten Gasen in Berührung kommen und dadurch eine Beanspruchung derselben durch gefährliche Temperaturunterschiede vermieden ist. Exhaustoren *C* aus Steinzeug saugen die Gase durch Filter *B*, in denen eine wirksame Gasreinigung stattfindet, und befördern sie in die eigentlichen Absorptionstürme. Je vier dieser Türme *D* sind hintereinandergeschaltet und werden mit geeignetem Füllmaterial aus Steinzeug ausgesetzt. Kreiselpumpen

in Verbindung mit wirksamen Kühlvorrichtungen *E* besorgen eine kräftige Zirkulation und Kühlung der Berieselungsflüssigkeit, wodurch eine weitestgehende Absorption der Salzsäuregase erreicht und eine Salzsäure von besonderer Güte und hoher Konzentration erzielt wird. Die Kühlvorrichtungen gestatten eine so wirksame Abführung der Absorptionsgase, daß die Temperatur in den Absorptionstürmen nicht über 40–50° steigt und damit jede Gefahr für das Zerspringen der benutzten Steinzeugteile vermieden wird. Die Absorption ist durch diese niedrige Temperatur so vollkommen, daß die Endgase praktisch salzsäurefrei sind. Es ist mit derartigen Anlagen gelungen, selbst mit Ofengasen mit nur 7–8 Proz. HCl eine Salzsäure von 22–23° Bé

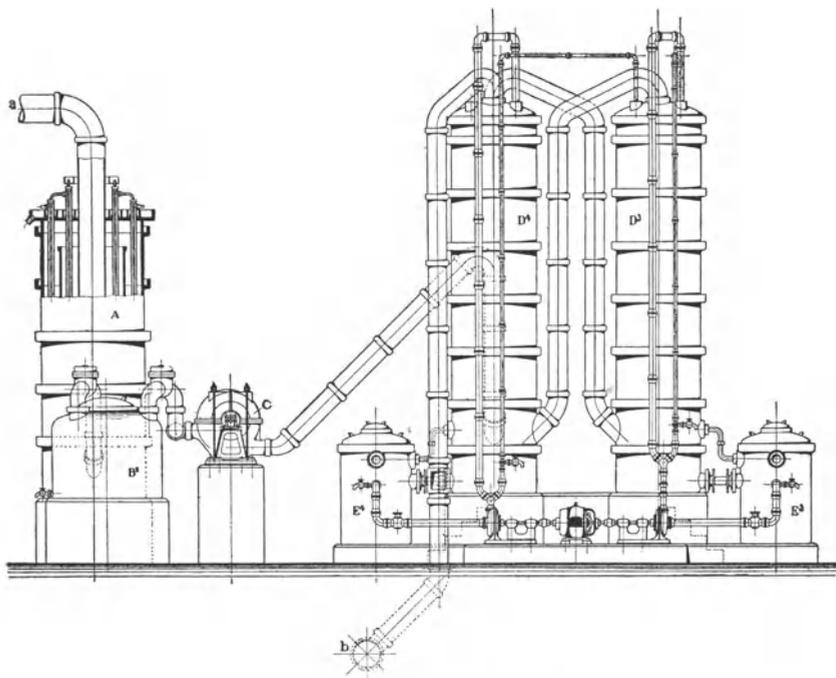


Abb. 1150. Salzsäure-Absorptionsanlage „Zieren“.

zu erzielen und dabei Leistungen von 40000 kg Salzsäure in 24 Stunden mit einem einzigen System zu erreichen. Die Größe der Anlage läßt sich so bemessen, daß Leistungen herunter bis zu 10000 kg in 24 Stunden erzielt werden können. Der Kraftbedarf für die Pumpen und Exhaustoren beträgt insgesamt 5–10 kW, je nach Größe der Anlage. Ein weiterer besonderer Vorzug dieses Systems ist der außergewöhnlich geringe Platzbedarf. Dadurch, daß die Konstruktion des Systems das Auftreten von gefahrbringenden Temperaturerhöhungen vollkommen vermeidet, ist es möglich, eine solche Anlage auch im Freien ohne jeden Gebäudeschutz aufstellen zu können.

Zur Erzielung einer vollkommen reinen Säure stellt man bei kleinen Anlagen die Absorber und Rohrleitungen zweckmäßig aus geschmolzenem Quarz her, der außerdem den Vorteil einer vorzüglichen Temperaturwechselbeständigkeit bietet. Größere Anlagen werden aus eisengehaltfreiem, weißglasiertem Steinzeug erbaut.

Bei der Salpetersäurefabrikation (Abb. 1151) gelangen die in der Retorte gebildeten Salpetersäuregase durch Tourills 1 in die Kühlrohre 2 und, soweit sie hier nicht kondensiert worden sind, in den aus Steinzeug bestehenden Turm 3. In den einzelnen Etappen fließt das Kondensat durch Ausflußöffnungen aus 1 und 2 durch Leitungen in das Sammelgefäß ab. Für die Apparatur verwendet man heute vorzugsweise geschmolzenen Quarz, aus dem die Teile vom Retortenaustritt bis zum Ende der Kühler bestehen, weil dieses Material vollkommen säure- und hitzebeständig ist.

Valentiner führt die Bildung der Salpetersäuregase und ihre Kondensation (DRP. 63 207) im Vakuum in einer Steinzeug-Apparatur aus (Abb. 1152). Ein zwischengeschaltetes Tourill *A* fängt den aus der Retorte mit übergehenden Schaum auf. Durch parallelgeschaltete, übereinander aufgestellte Kühlschlangen *B* wird die Hauptmenge der übergehenden Gase kondensiert. Die gebildete Säure wird in den Tourills *C*, *D*, *E* von möglichst kugelförmiger Gestalt aufgefangen (s. Vakuumtourills, S. 832, Abb. 1126).

Die übrigen Gase gehen durch eine als Rückflußkühler angeordnete Kühlschlange und dann durch eine Anzahl von Waschgefäßen, die zum Schutz der Vakuumpumpe vor dieser aufgestellt sind. Alle mit der Säure in Berührung kommenden Teile der Apparatur bestehen aus Steinzeug. Die durch

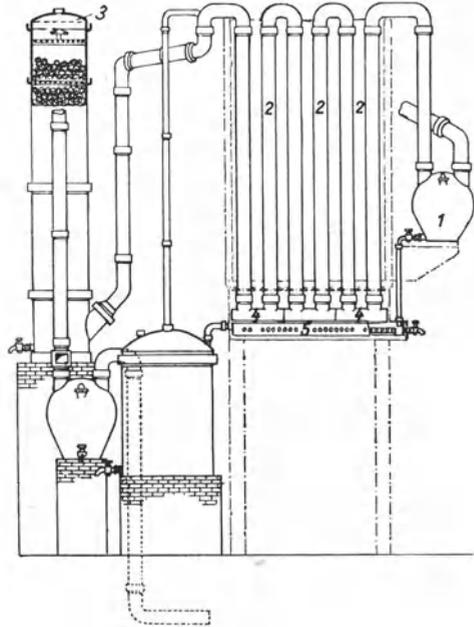


Abb. 1151. *Guttmannsche* Salpetersäureanlage. (Nach *Ullmann*, Enzyklopädie, 2. Aufl., Bd. 9 [1932].)

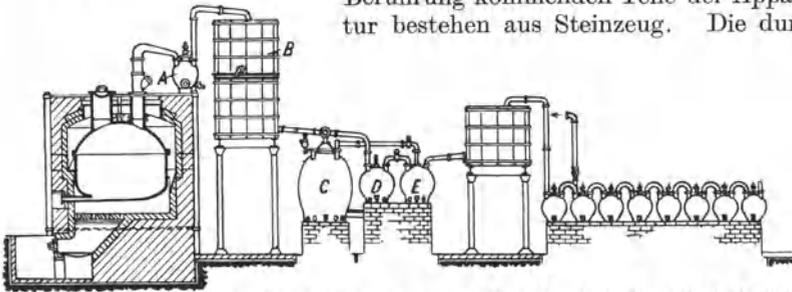


Abb. 1152. *Valentineranlage*. (Nach *Ullmann*, Enzyklopädie, 2. Aufl., Bd. 9 [1932].)

das⁷ Destillieren unter Vakuum bedingte Erniedrigung der Siedetemperatur bedeutet Schonung der Apparatur und größere Sicherheit des Arbeitens. Ein weiterer Vorteil bei dem Vakuumverfahren ist die Unmöglichkeit des Austritts von Säuredämpfen nach außen.

In größeren Abmessungen wird das heute in besonders großem Umfange benutzte Frischersche Verfahren ausgeführt (DRP. 300712), das eine Säure von 94–98 Proz. ergibt.

Für die Denitrierung von nitrosen Abfallsäuren, die bei der Herstellung von Sprengstoffen, Kunstseide u. dgl. entstehen, sowie zur Wiedergewinnung der Salpetersäure in einer Stärke von 36–48° Bé verwendet man mit Vorteil Denitrieranlagen (Abb. 1153), deren Turm mit seinem Füllmaterial und seiner Kühlschlange aus geschmolzenem Quarz hergestellt sind. Die Mischsäure tritt bei diesen Anlagen von oben in den sog. Denitrierturm ein und trifft hier mit von unten eingeführtem Dampf zusammen. Die oben abgehenden Säuredämpfe gelangen in senkrecht stehende Kühlrohre mit getrennten Ableitungen und schließlich in Kondensationstürme. Unten aus dem Denitrierturm fließt die Schwefelsäure ab und wird in gleicher Weise wie Kammersäure konzentriert.

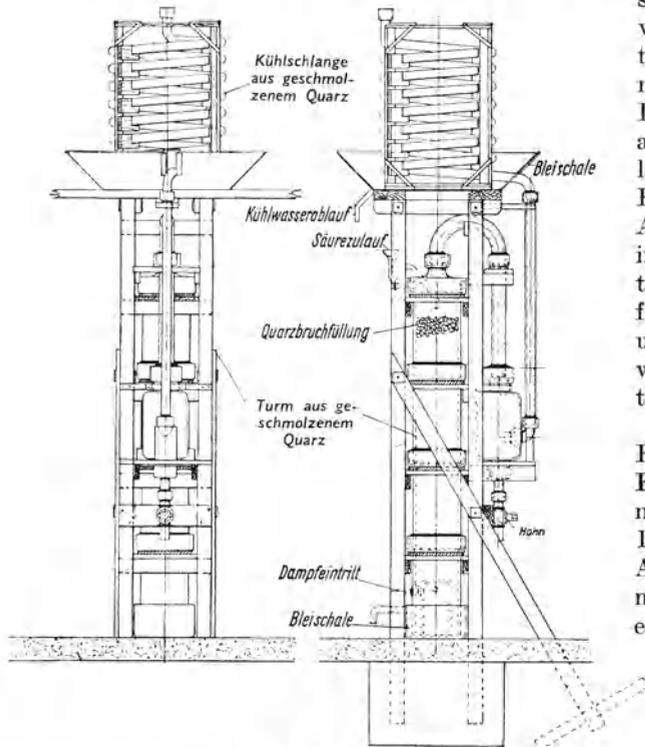


Abb. 1153. Denitrieranlage.

Die für die Herstellung des Essigs aus alkoholischen Flüssigkeiten (Maische) benutzten Essigbildner (Abb. 1154) bestehen in normaler Ausführung aus zwei oder mehreren gleich großen, übereinandergesetzten Steinzeugringen, deren unterster einen Boden hat, und die durch säurefesten Kitt vollkommen dicht miteinander verbunden werden. Der so entstan-

dene Turm ist durch einen Steinzeugdeckel, der ein mittleres Einführungsloch, seitliche Entlüftungslöcher und gegebenenfalls ein Mannloch aufweist, abgeschlossen. Oben und unten sind je eine Siebplatte angebracht, zwischen denen die als Füllung dienenden Buchenholzspäne lose aufgehäuft sind. Das fertiggestellte Essiggut, bestehend aus Essig- und Gärstoffen, wird in feiner Verteilung durch eine Berieselungsvorrichtung (s. S. 823 ff.) eingeführt. Der Prozeß verläuft bei einer Temperatur von 25–35° unter Luftzuführung durch im unteren Teil der Bildner angebrachte Löcher. Der sich unter dem die Spanfüllung tragenden Rost sammelnde Essig fließt durch eine Ablaufleitung ab. Die Abgase, die beträchtliche Mengen an Alkohol und Essigsäure enthalten, werden durch Abzugsrohre von 30–40 mm Weite, die in einen Sammelkanal münden, zu einem Kühler geleitet. In diesem wird der größte Teil des Alko-

hols bzw. Essigs kondensiert und dann einem mit alkoholfreiem kaltem Lageressig beschickten Essigbildner, dem sog. Kondensationsbildner, zugeführt, in dem der alkoholische Anteil zu Essigsäure oxydiert wird. Eine merkliche Kondensation der Abgase findet schon an den Abschlußdeckeln der Bildner statt, von denen das aus Alkohol und Essigsäure bestehende Kondensat nach außen abgeleitet werden kann. Die Bildner bestanden früher gewöhnlich aus Holz. In den letzten Jahren haben aber Bildner aus säurefestem Steinzeug weite Verbreitung gefunden (*H. Wüstenfeld, Dtsch. Essigind. 1927, Heft 30*), die ein sehr reines Produkt ergeben, durch ihre bessere Wärmeleitung vor Wärmestörungen schützen und durch die Dichtigkeit ihres Materials die bei Bildnern aus Holz unvermeidlichen Verdunstungsverluste und Beschädigungen der Arbeitsräume vermeiden, wodurch eine Mehrproduktion des hochwertigen Stoffes gegenüber Holzapparaturen erzielt wird.

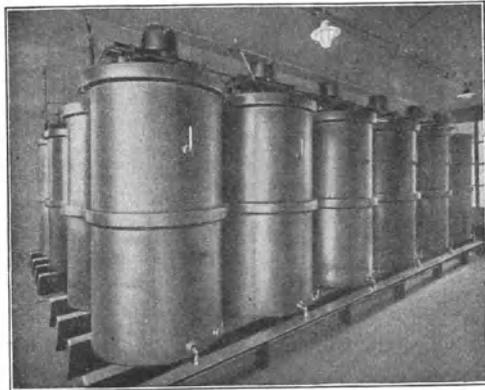


Abb. 1154. Essigbildner-Anlage aus Steinzeug.

Für die Aufbewahrung von Säuren u. dgl. werden wohl ausschließlich Hohlgefäße aus säurebeständigem Steinzeug benutzt. Eine derartige Speicheranlage (Abb. 1155) besteht aus einer Anzahl geschlossener Gefäße mit einem Inhalt von je 1000—3000 l, die durch Heberleitungen so untereinander verbunden sind, daß das Ganze ein kommunizierendes System bildet. Es genügt daher, die Flüssigkeit an einer Stelle der Batterie zuzuführen; für die gleichmäßige Verteilung auf alle Gefäße sorgt die Heberleitung. Durch Leitungen aus säurebeständigem Steinzeug wird die Säure zur Verwendungsstelle geführt. Schaugläser gestatten die bequeme Kontrolle des Betriebszustandes. Durch Standanzeiger kann jederzeit die vorhandene Säuremenge beobachtet werden.

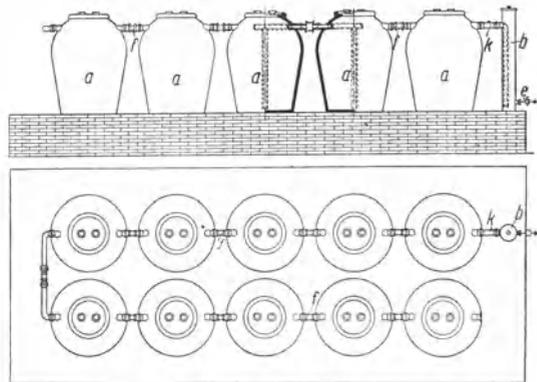


Abb. 1155. Speicheranlage (Hermann Frischer, Köln). (Nach *Singer, Keramik.*)

Transportgefäße aus Steinzeug können konische oder zylindrische Form haben und auch mit einer Ablauftülle am Boden zum Einschleifen eines Steinzeughahnes versehen sein. Große Bruchsicherheit gewähren insbesondere die Transportgefäße nach *van der Zypen* und *Charlier*. Bei diesen ist der Boden innen gewölbt, um seine Festigkeit gegen inneren Druck zu erhöhen,

sowie der untere und obere Rand der Gefäße verstärkt. Im Innern wirken ringförmig angebrachte Verstärkungsränder als Wellenbrecher bei starker Bewegung der Flüssigkeit (Abb. 1156).



Abb. 1156. Transportgefäß, Form von der Zypen u. Charlier.

Behälter von einem 6000l überschreitenden Inhalt stellt man in der Weise her, daß man eiserne Kessel mit Steinzeugplatten absolut dicht auskleidet (Abb. 1157). Die hierfür benutzten kantengeschliffenen Platten sind des besseren Anhaftens wegen auf der Rückseite mit Rillen od. dgl. versehen und werden zumeist mit säurefesten Wasserglaskitten befestigt.

Für größere Säuremengen werden vorteilhaft Lagerbehälter (Abb. 1158) verwendet; z. B. bestehen derartige Behälter aus einem äußeren Eisenbetonbehälter, den man innen mit mehreren Lagen Platten aus säurefestem Steinzeug auskleidet. Bei anderen Behältern ist die Wand aus mit Nut und Feder versehenen säurefesten Steinen aufgebaut, die innen zur wechselseitigen Abdeckung der Fugen mehrere Lagen mit säurebeständigem Kitt verlegter, säurefester Platten tragen. Der gesamte Behälter wird hierbei durch Eisenbandagen gehalten.

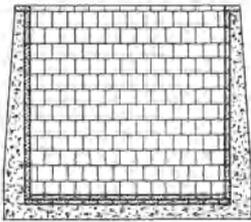


Abb. 1157. Steinzeugbehälter.

Die Entleerung derartig großer Behälter geschieht vorzugsweise durch die den Behälter abdeckende Kuppel mit Hilfe eines Saugrohres. Ein Schwimmer zeigt den jeweiligen Säurestand an. Bei der Lagerung von Säuren ist zu beachten, daß die Höhe des Behälterinnern 5 m nicht überschreitet, damit das für Normaldruck eingestellte Absorptionsgleichgewicht der Salzsäure beim Ansaugen nicht gestört und der Überschuß an Chlorwasserstoffgas nicht entbunden wird, wodurch das Vakuum im Saugraum zerstört würde und die Flüssigkeitssäule abrisse. Im allgemeinen stellt man solche Behälter im Freien auf.

Diaphragmen sind poröse Körper, die im Gegensatz zu Filtern nicht wie diese feste Teilchen aus Lösungen abscheiden sollen, sondern in Flüssigkeiten oder Gasen als poröse Scheidewand dienen. In dieser Funktion trennen sie z. B. bei elektrolytischen Prozessen den Behälter in den Kathoden- und Anodenraum, so daß die an den Elektroden entstandenen Produkte nicht weiter miteinander reagieren können, sondern in ihren abgetrennten Räumen erhalten bleiben. Je nach der Art des Reaktionsverlaufes während der Elektrolyse, der entstandenen Produkte und ihrer Korrosionsfähigkeit wird das Material für die Herstellung der Diaphragmen gewählt: vorzugsweise werden keramische Baustoffe verwendet, die je nach der chemischen Zusammensetzung gegen Säure, Alkalien und Temperaturwechsel beständig sind. Von der Größe und Anzahl ihrer Poren, die möglichst gleichmäßig beschaffen sein sollen, hängt

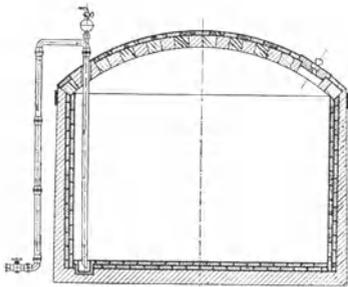


Abb. 1158. Lagerbehälter.

Die Entleerung derartig großer Behälter geschieht vorzugsweise durch die den Behälter abdeckende Kuppel mit Hilfe eines Saugrohres. Ein Schwimmer zeigt den jeweiligen Säurestand an. Bei der Lagerung von Säuren ist zu beachten, daß die Höhe des Behälterinnern 5 m nicht überschreitet, damit das für Normaldruck eingestellte Absorptionsgleichgewicht der Salzsäure beim Ansaugen nicht gestört und der Überschuß an Chlorwasserstoffgas nicht entbunden wird, wodurch das Vakuum im Saugraum zerstört würde und die Flüssigkeitssäule abrisse. Im allgemeinen stellt man solche Behälter im Freien auf.

der Durchgangswiderstand der keramischen Diaphragmen (s. d.) und der Stromverbrauch ab.

Der Durchgangswiderstand errechnet sich nach der Formel

$$w = r \frac{e}{v},$$

wobei w den Durchgangswiderstand, r den Widerstand eines cm^3 der in den Poren enthaltenen Flüssigkeit in Ohm, e die mittlere Länge der Poren in cm und v einen von den Poren erfüllten Anteil eines cm^3 der gesamten Diaphragmenmasse darstellt. Ist i die Stromstärke für 1 cm^2 Diaphragma, so ergibt sich aus dem Ohmschen Gesetz die dazugehörige Spannung mit $E = i r \frac{e}{v}$ oder empirisch, da die mittlere Porenlänge etwa gleich der doppelten Dicke d des Diaphragmas ist, mit

$$E = i r 2 \frac{d}{v} \text{ Volt.}$$

Diaphragmen aus Ton werden zur Trennung der Kathodenräume in Elementen, als Zellen bei elektrochemischen Reduktions-, Oxydations- und Zersetzungsprozessen und zu sehr vielen anderen Zwecken verwandt. Aus Gemischen von Asbest mit reiner Tonerde, aus Korund, Kieselgur usw. hergestellte Diaphragmen finden bei elektroosmotischen Prozessen aller Art, für Dialysationszwecke zur Reinigung von Kolloiden u. dgl. Verwendung, desgleichen zur Reinigung von Trinkwasser (Entkeimung) und Aufbereitung von Ölen, Fetten, Glycerin, Leim, Pflanzenstoffen und Heilseren. Die *Pukallschen* Diaphragmen bestehen aus einer Hartsteingutmasse. Basenbeständige Diaphragmen werden nach dem DRP. 416901 aus Speckstein und Magnesia hergestellt.

Wissenschaftlich interessant ist die Verwendungsmöglichkeit von Diaphragmen als Diffuseure zur Trennung gasförmiger Moleküle ein und desselben Elementes in schwerere und leichtere. Auch auf die Verwendung von Diaphragmen in der Filtertechnik sei hier hingewiesen. Erwähnenswert ist noch, daß Diaphragmen auch aus Stoffen, die an sich unplastisch sind, hergestellt werden können, wenn man das Material vor der Formgebung sehr fein naß vermahlt. Durch Zusatz von Elektrolyten wird die Verformbarkeit wesentlich erhöht (DRP. 274039, 328841; *W. Pauli*, Kolloid-Z. 1922, S. 173; *O. Ruff*, Ber. dtsch. keram. Ges. 1924/25, S. 149; *R. Rieke* in *F. Singer*, Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft [Braunschweig 1923, S. 39, 81]; *Ruff* u. *Lauschke*, Z. anorg. allg. Chem. 1915, S. 73, Sprechsaal Keramik usw. 1916, S. 49; *R. Zsigmondy*, Kolloidchemie 1918, S. 208, 264; *Ruff* u. *Göbel*, Z. anorg. allg. Chem. 1924, S. 220; *Ruff* u. *Moczala*, daselbst 1924, S. 193). Aus dem fein gemahlten und gegebenenfalls elektroosmotisch abgeschiedenen Material kann man ohne Zusatz eines Bindemittels Körper einfacher Form und nicht zu großer Abmessung verformen und brennen. Nach dieser Methode lassen sich vollkommen homogene Diaphragmen aus völlig unplastischen Stoffen, wie Siliciumcarbid, Korund, Quarz usw. herstellen.

Rührwerkskessel (Abb. 1159) aus Steinzeug werden zur Durchführung unzähliger Löse- und Mischprozesse verwandt. Bei allen chemischen Reaktionen, bei denen Säuren benutzt werden oder entstehen, bzw. bei denen

mit Stoffen gearbeitet wird, die Metall oder sonstige Baustoffe angreifen, gelangt sowohl für die Herstellung von Kesseln als auch von Rührern Steinzeug als Werkstoff zur Verwendung. Derartige Kessel werden häufig in einem gußeisernen Mantel so montiert, daß zwischen Mantel und Kessel eine Flüssigkeit eingefüllt werden kann, die durch eine Heizschlange *h* erwärmt wird. Ein durch Kegelräder *e* und Riemenscheibe *f* in Rotation versetzter Steinzeugrührer *c* sorgt für gute Durchmischung. Die fertige Lösung wird durch den Hahn *g* abgezapft. Die Rührer

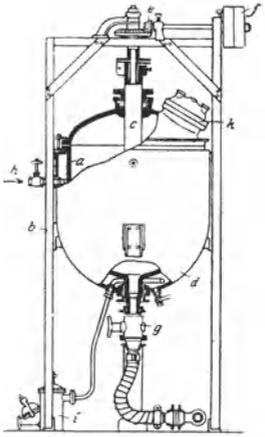


Abb. 1159.
Rührwerkessel
(Nach Singer, Keramik.)



Abb. 1160. Steinzeugrührer. (Nach Singer, Keramik.)

können platten-, schrauben- oder schneckenförmig ausgebildet sein (Abb. 1160).

Für das Auslaugen von Drogen, die ein lebhaftes Durchmischen nicht vertragen, verwendet man Perkolatoren (Abb. 1161). Sie bestehen aus einem Steinzeugkörper *a*, der um die seitlichen Zapfen *b* drehbar ist. Das Füllmaterial wird oben

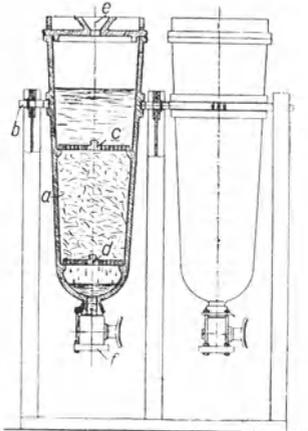


Abb. 1161. Perkolatoren.
(Nach Singer, Keramik.)

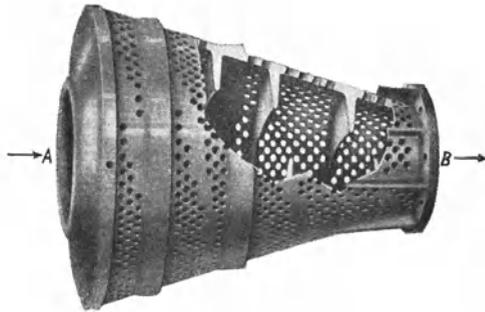


Abb. 1162. Rotierende Steinzeugtrommel für Säurebehandlung metallischer Werkstücke (Doulton).

und unten von den Sieben *c* und *d* begrenzt und durch den Deckeltrichter *e* mit der lösenden Flüssigkeit bedeckt, die nach unten fließt und dabei das auszulaugende Gut durchsickert. Ist die Lösung genügend gesättigt, so wird sie bei *f* abgelassen. Durch die Verwendung korrosionsbeständigen

keramischen Materials (bei industriellen Anlagen wählt man stets Steinzeug) wird jede Gefahr einer Verunreinigung ausgeschaltet.

Für die Säurebehandlung metallischer Werkstücke hat sich die automatische, rotierende, perforierte Trommel der Doulton u. Co. Ltd. (Royal Doulton Pottery), London-Lambeth, aus Steinzeug bestens bewährt (Abb. 1162). Die Trommeln rotieren in einem Säurebad. Die zu beizenden Stücke werden bei *A* eingeführt, wandern durch die Steinzeuginnenspirale nach *B*, wo sie die Trommel verlassen, um in ein Waschbad aus Steinzeug zu gelangen.

Die Herstellung von Kaffee-Extrakt aus gerösteten und gemahlene Kaffeebohnen findet in Diffusions- bzw. Extraktionsanlagen aus Steinzeug statt (Abb. 1163). Der Diffuseur *a* ist, da in ihm ein Druck

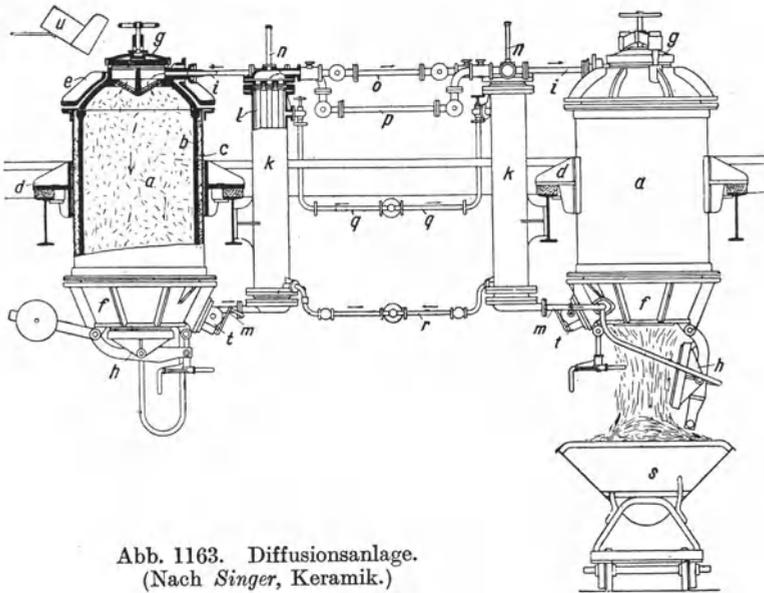


Abb. 1163. Diffusionsanlage.
(Nach *Singer*, Keramik.)

von etwa 2 at herrscht, mit einem Panzer umgeben und mit Steinzeugfutter ausgekleidet. Der untere Klappdeckel *h* läßt sich durch Anbringung eines Gegengewichtes und einer Handwinde *t* leicht öffnen und schließen. Aus der Leitung *p* wird das Auslaugewasser durch den Zwischenwärmer *k* mittels der Leitung *i* in den Diffuseur *a* gedrückt und bedeckt das Füllmaterial. Die angereicherte Lösung gelangt durch den Verschluß *f* in den Wärmer und Diffuseur der nächsten Anlage. Aus dem letzten Diffuseur wird das Restgut durch Öffnen des Verschlußdeckels *h* entfernt. Die Abb. 1163 schematisiert den Verlauf einer Auslaugung, wobei nach dem Gegenstromprinzip das frische Lösungsmittel mit dem am weitesten ausgelaugten Material in Berührung kommt. Das Eindicken und Trocknen des Extraktgutes findet in Vakuumverdampfern bzw. auf Vakuumeintauchtrommeln statt.

Behandelt man eiweißhaltige Stoffe, wie Casein, Knochen u. dgl. mit Salzsäure, so erhält man unter Bildung von Aminosäuren fleischextraktähnliche

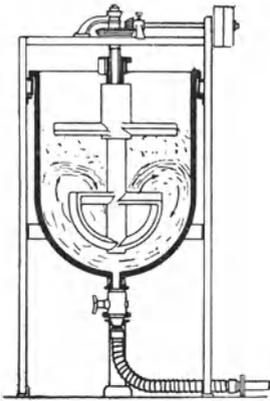


Abb. 1164. Neutralisationsbottich. (Nach Singer, Keramik.)

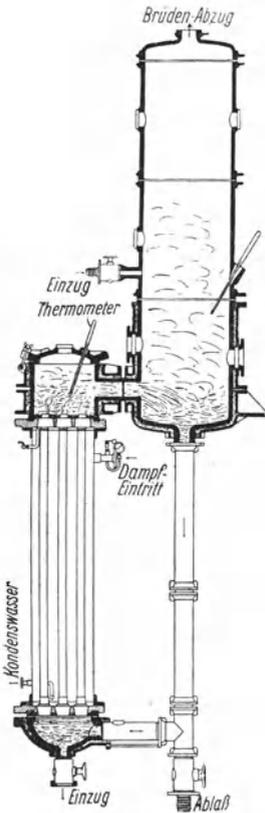


Abb. 1165. Vakuumverdampfer. (Nach Singer, Keramik.)

Stoffe. Eine für solche Zwecke verwendete Apparatur zeigt die Abb. 1164. In dem Steinzeugkessel findet unter gleichzeitiger Rührung die Mischung und Aufschließung der Eiweißsubstanzen statt. Die überschüssige Salzsäure in dem Extrakt wird in dem aus Steinzeug bestehenden Neutralisationsbottich mit Soda unter Bildung von Kochsalz und Entweichen des Kohlendioxyds abgestumpft. Ein Rührwerk mit Armen verhindert die beim Neutralisieren durch die Kohlendioxydbildung sonst immer auftretende Schaumbildung. Die Lösung wird mittels einer Steinzeugpumpe abgesaugt und zu einer aus Holz hergestellten Rahmenfilterpresse geleitet. Aus dem Sammelbehälter gelangt das Filtrat in einen Vakuumverdampfer, wird dort eingedickt und gelangt durch einen Hahn und durch verschiedene Transportgefäße in eine Knetmaschine, wo es mit den nötigen Zusätzen vermischt wird. Durch die Verwendung von Steinzeug für alle Apparateile, die mit aggressiven Substanzen in Berührung kommen, werden Verunreinigungen und auch die geringsten Geschmacksbeeinträchtigungen des ausgebrachten Nahrungsmittels (z. B. Bouillonwürfel) unbedingt vermieden.

Zum Eindampfen von Flüssigkeiten zum Zwecke der Konzentration unter Atmosphärendruck verwendet man offene Schalen aus Porzellan, Steinzeug oder geschmolzenem Quarz und erhitzt sie bis zur Siedetemperatur des zu verdampfenden Lösungsmittels. Wenn Lösungen eine Erhitzung bis zu ihrem Siedepunkt nicht vertragen können, weil bei dieser Temperatur eine Zersetzung oder ein Zerfall des Materials eintritt, verdampft man im Vakuum bei wesentlich erniedrigtem Siedepunkt. Abb. 1165 stellt einen mit Vorteil verwendeten Vakuumverdampfer dar, der mit Steinzeug ausgekleidet ist, und dessen Heizrohre ebenfalls aus diesem Material bestehen. Bei diesem Verdampfer wird eine Leistung von etwa 26 kg Wasser/std. \cdot m² Heizfläche erzielt.

Die für Krystallisationsprozesse aller Art zur Gewinnung von Fettstoffen aus ihren Lösungen benutzten Apparaturen müssen im Interesse einer einwandfreien Beschaffenheit der Produkte sehr korrosionsbeständig sein. Sie werden daher aus Steinzeug oder Porzellan hergestellt. Solche Prozesse werden entweder unter fortschreitender Konzentration der Lösung durch Wärmezufuhr und Eindampfen oder auch durch einfaches Abkühlen

heißer gesättigter Lösungen durchgeführt. Eine für Prozesse der ersten Art geeignete Abdampf- bzw. Krystallisierschale mit Heizbad ist in der Abb. 1166 dargestellt. Die Füllung des Heizbades besteht aus Öl oder hochsiedenden Salzlösungen und wird in geeigneter Weise im allgemeinen direkt erwärmt.

Die mittels einfacher Abkühlung heißer Lösungen durchgeführten Krystallisationsprozesse erleichtert man durch Einhängen von Krystallisierstäben aus Steinzeug (Abb. 1167), wie z. B. bei der Herstellung von Bromsalzen, Citronensäure u. dgl. Zum Abscheiden von Krystallen, die wegen ihres festen Anhaftens an den Gefäßwandungen losgeschlagen werden müssen, verwendet man größere eiserne Behälter, die mit Steinzeugplatten ausgekleidet sind.

Die Auskrystallisation kann in ruhenden oder (für kleine Krystalle) in bewegten Flüssigkeiten ausgeführt werden.

Zum Trennen der Krystalle von ihren Mutterlaugen verwendet man aus Steinzeug bestehende Nutschen, wie sie die Abb. 1168 zeigt. Der Körper *a* ist mit einem Aufsatz *b* und Sieb *c*, das den eigentlichen Filterstoff trägt, versehen. Bei *e* wird das Filter evakuiert; die abfiltrierte Flüssigkeit kann durch den Hahn *f* nach Bedarf abgelassen werden.

Für die Trennung von festen Stoffen und Flüssigkeiten, sowie von Flüssigkeiten und Flüssigkeiten verwendet man ferner Zentrifugen (Abb. 1169) verschiedener Art. Diese werden, wenn es sich um die Verarbeitung von korrosionsgefährlichem Gut handelt, aus keramischem Material, insbesondere Porzellan oder Steinzeug, hergestellt. Wegen der im Betrieb auftretenden großen Zugbeanspruchung pflegt man die Schleudertrommeln zu panzern. Die Schleudern können einen gelochten oder ungelochten Trommelmantel besitzen, je nachdem, ob man eine filternde bzw. entwässernde Wirkung oder eine Entmischung von Flüssigkeiten durch die Zentrifugalkraft erzielen will.

Bei der Reinigung fester Stoffe durch Sublimieren kommt es immer darauf an, jede Gefahr der Verunreinigung des Sublimierproduktes auszuschließen. Man verwendet hierfür Sublimiergefäße aus Steinzeug. Eine derartige Apparatur, z. B. zur Reinigung des Jods

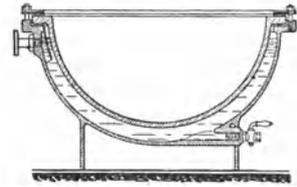


Abb. 1166.
Steinzeug-Abdampfschale.
(Nach Singer, Keramik.)

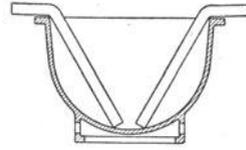


Abb. 1167. Steinzeug-
Krystallisiergefäß.
(Nach Singer, Keramik.)

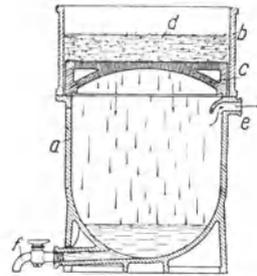


Abb. 1168. Nutsche.
(Nach Singer, Keramik.)

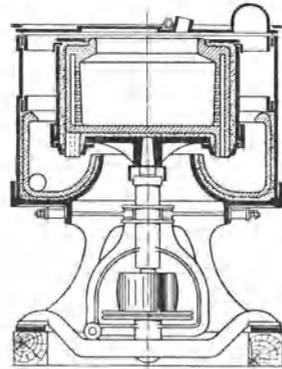


Abb. 1169. Gepanzerte Stein-
zeugzentrifuge. (Nach Singer,
Keramik.)

(Abb. 1170), besteht aus einer Unterschale, die im Sandbad langsam erwärmt wird, und aus einem kälteren Deckel, der die Kondensation der Joddämpfe

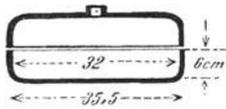


Abb. 1170. Sublimiergefäß aus Steinzeug. (Nach Singer, Keramik.)

in Form feiner Blättchen bewirkt. Falls es im Einzelfall notwendig ist, kann für den Deckel besondere Kühlung durch Wasser vorgesehen werden. Für gewisse Leistungen vereinigt man mehrere bauchige Steinzeugretorten in einem gemeinsamen Sandbad und schließt an den Hals der Retorten gekühlte Steinzeugvorlagen an.

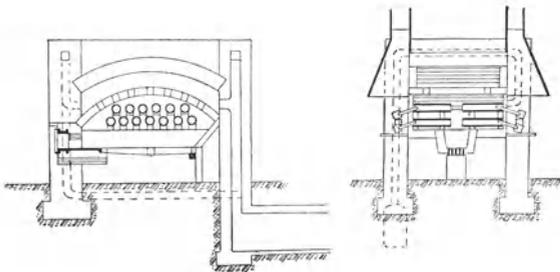


Abb. 1171. Galeerenofen zur Arsengewinnung. (Nach Singer, Keramik.)

Für die Gewinnung des Arsens durch Sublimation aus seinen Rohstoffen, wie Arsenkies oder Arsenkalkkies, benutzt man sog. Galeerenöfen (Abb. 1171). Ein derartiger Ofen wird zwischen zwei Pfeilern, die mit Blechmantel und Esse versehen sind, aufgeführt. An jeder Längsseite des Rostes wird eine Reihe von feuerfesten Schamotteröhren (sog. Arsenikkrügen) aufgestellt, an deren offenen Enden Vorlagen angebracht sind. Um die Bildung von kristallinischem Arsen zu begünstigen, wird ein spiralförmiges Eisenblech in jeden Krug eingeführt, das in die Vorlage hinüberraagt. Die Erwärmung des intermittierend arbeitenden Ofens geschieht mittels Rostfeuerung.

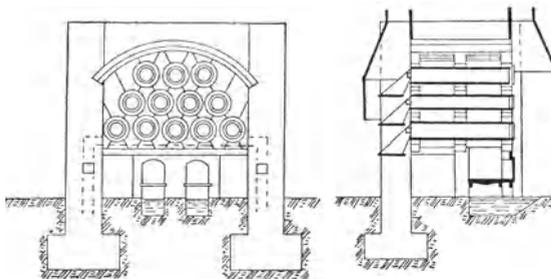


Abb. 1172. Galeerenofen zur Darstellung des Rotglases. (Nach Singer, Keramik.)

Galeerenöfen mit zwölf, auf drei Stockwerke verteilten Retorten aus feuerfester Schamotte finden Verwendung zur Darstellung des Rotglases (Arsensulfid) (Abb. 1172).



Abb. 1173. Destillierblase aus Steinzeug. (Nach Singer, Keramik.)

Destillierblasen (Abb. 1173) für Säuren, Laugen oder andere korrosionsgefährliche Flüssigkeiten werden zweckmäßig aus Steinzeug hergestellt. Die Erhitzung der eigentlichen Destillierblase erfolgt hierbei indirekt durch ein Heizbad. Das verdampfende Destillat gelangt durch die Haube, den Hahn und das Seitenrohr in den Kühler (Schlangen- oder Linsenkühler; s. S. 829 f., Abb. 1114—18), wo die Kondensation erfolgt. Soll gleichzeitig eine Konzentration bewirkt werden, dann setzt man auf die Blase eine mit Füllkörpern (z. B. Raschig-Ringen) beschickte Destillierkolonne (Abb. 1174) auf. Kolonnen und Füllkörper

(s. S. 826ff.) bestehen ebenfalls aus Steinzeug, kleine Raschig-Ringe aus Porzellan.

Auch für Destillationsprozesse im Vakuum, z. B. für die Gewinnung des reinen Essigsäureanhydrids aus Rohanhydrid, werden Destillierapparate aus Steinzeug oder Porzellan verwendet.

Abb. 1175 zeigt einen Vakuum-Dünnschicht-Destillierapparat in Verbindung mit einer Ameisensäure-Kondensationsanlage. In Reaktion treten Natriumformiat und Schwefelsäure (DRP. 204895). An die Vakuumdoppeltrommel *a* schließen sich die Nachrockner *g* und das Auffüllgefäß *l* an. Durch den Stutzen *f* wird das in einem Rührwerkskessel befindliche Reaktionsgemisch mittels Vakuums angesaugt und gelangt auf die dampfgeheizten Walzen *a*. Der Dampf tritt bei *d* ein und das Kondenswasser bei *e* aus. Unter dem gleichzeitigen Einfluß des Vakuums verdampft die Ameisensäure. Das anfallende Natriumsulfat wird durch das Schabemesser *b* abgeschabt und

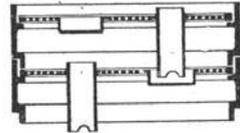


Abb. 1174.
Destillierkolonne. (Nach
Singer, Keramik.)

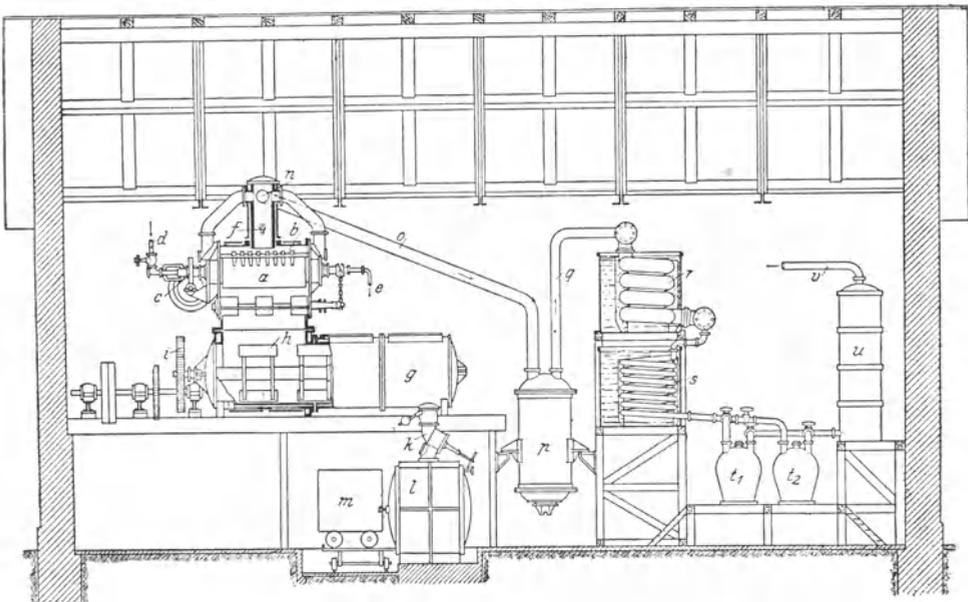


Abb. 1175. Ameisensäure-Gewinnungsanlage. (Nach *Singer*, Keramik.)

fällt in den ebenfalls mit Dampf geheizten Schaufeltrockner *g*, in dem sich ein durch ein Zahnrad *i* angetriebenes Rührwerk *h* befindet. Hier wird der Restgehalt des Natriumsulfats an Ameisensäure abgedampft. Die abgedampfte Säure gelangt durch den Dorn *n* und die Leitung *o* in den aus Steinzeug bestehenden Stauffänger *p* und durch das Rohr *q* zwecks Kondensation in die ebenfalls aus Steinzeug hergestellten Doppelschlangen *r* und *s* und in die Sammelgefäße *t*₁ und *t*₂. Letztere stehen noch mit dem Steinzeugwaschturm *u* in Verbindung, wo die letzten Reste an entweichender Säure aufgefangen werden.

Die Vakuumdestillieranlage nach Abb. 1176 dient zur Abtrennung von Salzsäure aus Fleischextraktlösungen. Aus dem Steinzeugsammlgefäß *a* wird durch den Schlauch *b* das Gemisch in den Vakuumdestillierapparat *d* gesaugt. Die

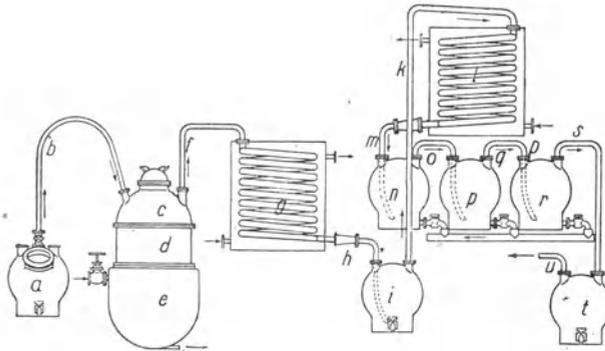


Abb. 1176. Vakuumdestillieranlage.
(Nach Singer, Keramik.)

Heizbadfüllung des gußeisernen Mantels wird durch Dampfchlangen erwärmt. Die Salzsäure wird aus dem Fleischextrakt ausgetrieben, sammelt sich in der Haube *c* an und zieht durch die Steinzeugleitung *f* in die Kühlchlangen *g*, wo sie zum größten Teil niedergeschlagen wird und durch das Rohr *h* in den Auffangetopf *i* gelangt. Der nicht kondensierte

Anteil an Dämpfen geht durch die Steigleitung *k* in die Kühler *l* und von diesen aus durch die Leitung *m* in den Sammeltopf *n*. Eine weitere Absorption der Salzsäuregase findet dann in den angeschlossenen Waschtöpfen *p*, *r* und *t* statt. Der letzte der Waschtöpfe wird zwecks restlicher Absorption der Salzsäure mit einer Laugenlösung beschickt.

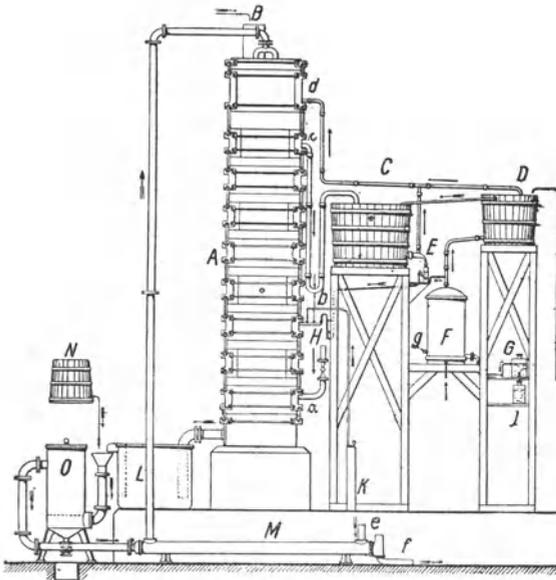


Abb. 1177.
Bromdestillierapparat. (Nach Singer, Keramik.)

Für die Gewinnung des Broms aus Endlaugen durch Chlor oder durch elektrolytische Behandlung ist die Benutzung von Apparaturen aus korrosionsbeständigem Material erforderlich. Man verwendet hierfür säurebeständige Türme, die mit Füllungen aus Steinzeug (*Lunge-Rohrman-Platten*) (s. S. 826) ausgerüstet sind. Über diese rieselt die vorgewärmte Endlauge herab; das Brom wird durch im Gegenstrom nach oben gehendes Chlor (unterstützt durch einen Dampfstrom) ausgetrieben.

Nach dem DRP. 194567 ist der Turm in 8 Kammern geteilt (Abb. 1177), um ein Zurücksinken der schweren Bromdämpfe nach unten zu verhindern. Durch das Rohr *c* gelangen die nur wenig mit Chlor und Wasserdampf verunreinigten Bromdämpfe in die Steinzeug-Kühlschlange des Bottichs *C*, das

Kondensat dieses Gemisches läuft in die Scheideflasche *E* ab, von wo aus der wässrige Anteil in den Turm über *H* zurückfließt. Das Rohbrom geht durch den mit *Lunge*-Rohmann-Platten gefüllten Raffinierturm *F*, der durch ein Dampfbad erwärmt wird. Bei dem Verfahren nach DRP. 174848 kommt hier das Brom mit reinem Bromdampf in Berührung, wird dadurch restlos vom Chlor getrennt und gelangt durch eine luftgekühlte Schlange in das Sammelgefäß *g*. Die aus *A* abfließende Endlauge wird in dem gußeisernen, mit groben Eisenspänen angefüllten Topf *L* und durch nachfolgende Reaktion mit aus dem Vorratsgefäß *N* kommender Natriumthiosulfatlösung von den letzten Bromspuren befreit. Der Säuregehalt wird in dem Gefäß *O* durch Magnesit- oder Kalksteinstücke abgestumpft. Durch den Wärmeaustausch *M* wird ein Teil der der Lauge innewohnenden Wärme zurückgenommen und zur Erwärmung der bei *e* zuströmenden Rohlauge verwendet.

Für die Destillation chemisch reiner Flüssigkeiten, bei denen jede Möglichkeit einer Verunreinigung durch Berührung mit nicht korrosionsbeständigem Material ausgeschlossen werden muß, werden zweckmäßig Apparaturen aus Quarzglas verwendet. Der in der Abb. 1178 gezeichnete rechteckige Destillator kann durch Kessel oder Kolben ersetzt und die Kühlwirkung zwischen Destilliergefäß und Kühlschlange durch Einschalten von Rohren beliebig vergrößert werden.

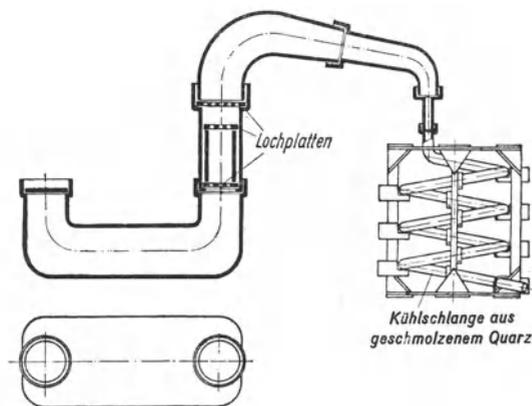


Abb. 1178.
Destillationsanlage aus geschmolzenem Quarz.

Die für die Trennung fester Stoffe von Flüssigkeiten verwendeten Nutschen bzw. Filter (s. d.) werden für Laboratoriumszwecke vielfach aus Porzellan, für industrielle Betriebe stets aus Steinzeug hergestellt. Filter, die bei hohen Temperaturen verwendet werden sollen, stellt man aus Schamotte her. Das gewöhnlich für die Filter verwendete Filtrierpapier, den Asbest, die Glaswolle od. dgl. ersetzt man, wenn es sich um größere Filterflächen handelt, durch Filtersteine, die insbesondere zur Filtration von Citronensäurelösung, Rohanthracen, Säuren, zur Entwässerung von Holz- und Strohstoffcellulose usw. in größeren Bottichen, sowie in den Kanälen unter der Papiermaschinenabpartie und für zahlreiche andere Zwecke verwendet werden.

Aus Hartsteingut besteht die sog. *Pukall*-Filtermasse, die angefeuchtet vakuumdicht ist und sich besonders zur Filtration kolloider Stoffe eignet.

Zur Beschleunigung der Filtration arbeitet man unter Druck, und zwar bei den Nutschenfiltern (s. Filter) unter dem äußeren Luftdruck, bei den Druckfiltern unter demjenigen einer Flüssigkeitssäule oder von Preßluft.

Für besonders starke Beanspruchung schützt man die Druckfilter durch einen gußeisernen Panzer.

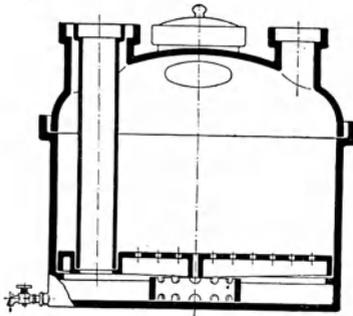


Abb. 1179. Gasfilter.

Gasfilter als Stoßreiner (s. d.) werden zur Reinigung und Entsäuerung von Gasen aller Art, insbesondere in Salzsäure-, Salpetersäure- und Schwefelsäure-, sowie Nitrier- und Denitrieranlagen zur Abscheidung der in den Gasen enthaltenen Flüssigkeitströpfchen und Nebelbläschen verwendet. — Die zu reinigenden Gase werden (Abb. 1179) durch das Einführungsrohr unter die Siebplatte eingeführt, auf der eine Füllung aus säurefesten, scharfkantigen Steinzeugstücken ruht. An den scharfen Kanten und Ecken

werden die Nebelbläschen und Tröpfchen beim Aufstoßen zerrissen. Es findet eine Vereinigung zu größeren Tropfen statt, welche nach unten abfließen, sich unterhalb der Siebplatte ansammeln und durch den Hahn abgelassen werden.

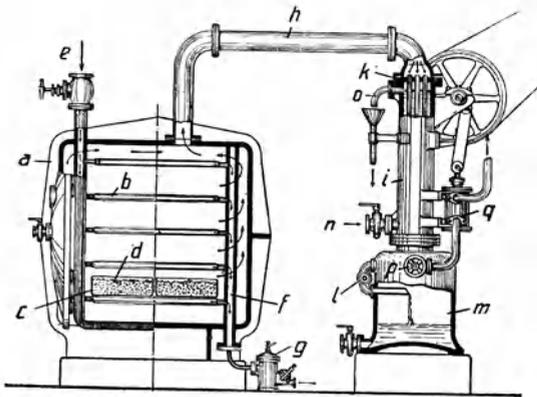


Abb. 1180. Vakuumtrockenschrank.
(Nach Singer, Keramik.)

Zurschnelleren Durchführung von Trockenprozessen aller Art dienen mit Steinzeugfliesen ausgekleidete Vakuum-Trockenschränke. Ein derartiger Trockenschrank (Abb. 1180) besteht aus einem guß- oder schmiedeeisernen, gegen hohen Druck beständigen Gehäuse, in dem sich etagenweise an-

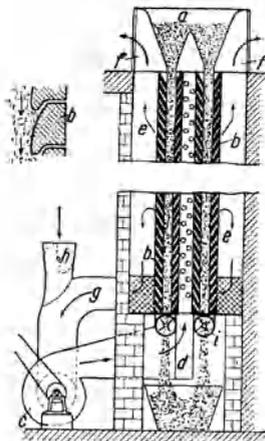


Abb. 1181.
Schachttrockner. (Nach Singer, Keramik.)

gebrachte Heizplatten befinden, die durch das Rohr *e* mit Dampf beheizt werden. Das Kondenswasser gelangt durch das Sammelrohr *f* in den Topf *g*. Die zu trocknende Masse *d* wird auf Trockenhorden *c* gebracht. Durch das Evakuieren wird die Verdampfung der Feuchtigkeit erheblich begünstigt, die Dämpfe entweichen durch das Brüdenrohr *h*.

Sog. „Schachttrockner“ (Abb. 1181) bestehen aus zwei Schächten, die durch die Trichter *a* beschickt werden, und deren seitliche Führungswände zweckmäßig aus Steinzeugkacheln *b* bestehen. Durch den Ventilator *c* wird die Luft in den Mittelschacht *d* gedrückt und hier durch Dampfslangen erwärmt. Die heiße Luft durchströmt das Trockengut und entweicht teilweise bei *f* oder wird aus den Kanälen *e* durch den Ventilator angesaugt, um von neuem — mit Frischluft aus *h* gemischt — in den Kreislauf zurückzukehren.

Steinzeuggefäße für Kochzwecke (Abb. 1182 und 1183) werden zweckmäßig kesselartig mit rundem Boden ausgebildet, weil bei dieser Form die kleinsten Spannungen auftreten, so daß sie sich am besten zur Erwärmung und der dadurch bedingten großen mechanischen Beanspruchung eignen. Jedoch ist Erhitzen von Steinzeuggefäßen auf freiem Feuer nicht statthaft. Man muß darauf achten, daß die Gefäße so hoch mit Flüssigkeit angefüllt sind, wie die direkte Einwirkung der Wärmezufuhr reicht. Das Erwärmen kann durch direktes Einleiten von Dampf oder durch Heizbäder erfolgen. Zur Erreichung einer gleichmäßigen Beheizung muß die Dampfzuführung bei den Dampfbädern langsam in der Weise erfolgen, daß der eintretende Dampfstrahl nicht unmittelbar auf das Steinzeug auftrifft. Bei den Bädern für Wasser, Salzlösungen und Öl erwärmt man die Badfüllung am besten durch eingebaute Dampfschlangen mit sattem oder überhitztem Dampf.

Da die Wirkung eines Katalysators von der Größe seiner Oberfläche abhängig ist, muß dieser möglichst fein verteilt sein. Er kann entweder lose aufgeschüttet sein oder durch bestimmte „Träger“ festgehalten werden. Diese müssen porös, temperaturwechselbeständig, chemisch indifferent, druckfest, raumbeständig und vor allem regenerationsfähig sein. Zum Tragen der auf ihnen angehäuften Katalysatorschichten und gegen Gasdruck muß das Material genügend fest sein, damit es nicht zerbröckelt und somit Durchgänge verstopft. Diesen Anforderungen entsprechen z. B. nicht Asbest und Bimsstein, wohl aber hartgebrannte Steingutkugeln oder Formstücke von porösen keramischen Spezialmassen. Bei den Kontaktprozessen, die zumeist bei sehr hoher Temperatur verlaufen, ist die Temperaturbeständigkeit und Unveränderlichkeit des Trägers von hoher Bedeutung. Er darf z. B. nicht zum Schmelzen oder Sintern kommen, da die als Katalysatoren häufig wirksamen Metallteilchen sonst mit einer Schmelzschicht überzogen, dadurch unwirksam werden und gleichzeitig den Kontaktraum verstopfen. Nach dem DRP. 317979 werden dünnwandige Träger verwendet, die nicht wie starkwandige, infolge der Ausdehnungserscheinungen, Risse und Sprünge bekommen. Wesentlich ist außerdem eine hohe chemische Widerstandsfähigkeit des Trägers sowohl für seine Brauchbarkeit und Lebensdauer im Betrieb, als auch für das Aufbringen der Katalysatoren auf ihn. Eine besonders feine Verteilung erreicht die Elektro-Osmose A.-G. dadurch, daß sie Metallkolloide auf anderen suspendierten Kolloiden wie Kaolin, Ton und Quarz zur Absorption bringt. Treten

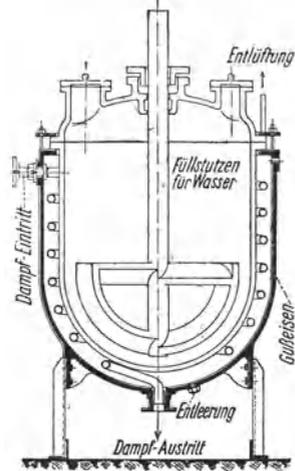


Abb. 1182. Steinzeuggefäß für Kochzwecke.

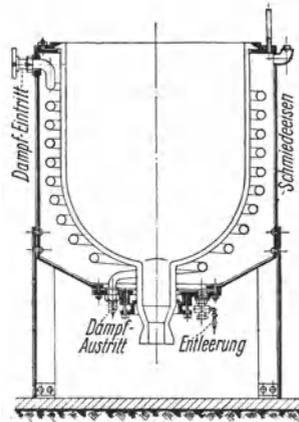


Abb. 1183. Steinzeuggefäß für Kochzwecke.

nach andauerndem Gebrauch Ermüdungserscheinungen des Katalysators auf, so muß die Metallschicht auf dem Träger erneuert werden. Zu diesem Zweck wird er mit geeigneten Flüssigkeiten zwecks Lösung des Katalysators behandelt und muß daher auch gegen solche chemisch lösenden Agenzien beständig sein.

Bei der Schokoladefabrikation ist die Feinheit und Gleichmäßigkeit der Oberfläche des Walzenmaterials von großer Bedeutung. Hierfür werden mit Vorliebe Walzen aus keramischem Material, insbesondere aus Steinzeug, verwendet. Solche Walzen lassen sich mit absoluter Präzision herstellen, sie sind hart und vollkommen dicht gebrannt und können auf ihrer Oberfläche ganz glatt abgeschliffen werden; sie behalten stets eine gute Adhäsionskraft und beeinflussen insbesondere nicht den Geschmack des Mahlgutes, wie dies bei Metallwalzen der Fall ist.

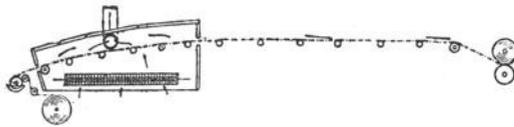


Abb. 1184.
Auftragmaschine. (Nach Singer, Keramik.)

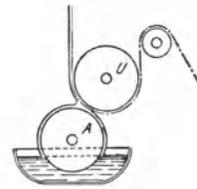


Abb. 1185.
Zweiwalzenauftrag.

Auch zum Auftragen der Emulsion auf photographische Rohpapiere benutzt man Walzen aus keramischem Material. Hierbei ist die Korrosionsbeständigkeit des Materials für die Tauchwalzen von ganz besonderer Bedeutung. Die geringste Verunreinigung der Emulsion mit Metallteilchen würde z. B. ihre Lichtempfindlichkeit sehr ungünstig beeinflussen. Die Tauchwalze *A* der in Abb. 1184 u. 1185 gezeigten Anlage nimmt bei der Drehung auf ihrer Oberfläche eine Schicht von Emulsion mit und gibt diese an die um die Walze *U* laufende Papierbahn ab.

Es sei ausdrücklich betont, daß die obigen Darstellungen nur Beispiele veranschaulichen sollen und die keramische Industrie eine außerordentlich große Anpassungsfähigkeit besitzt. Die verschiedenen Zweige der Keramik werden durch zukünftige Forderungen der chemischen Industrie erfüllt. Unabhängig hiervon befinden sich auch Steinzeug, Porzellan und Steatit in dauernder Weiterentwicklung

Singer.

Kerzenfilter, s. Filter, Kunstfasererzeuger, Spinn Düsen.

Kessel. Zylindrische Gefäße, die meist in waagerechter Lage aufgestellt werden, bezeichnet man auch als Kessel. Sie dienen als Lagerkessel zum Speichern von Flüssigkeiten (s. Behälter) oder auch von Gasen (s. Gasbehälter) oder, wenn sie mit einer Rührvorrichtung (s. d.) versehen sind, auch als Rühr- oder Mischwerke. Durch den Einbau von Beheizungsanordnungen (s. d.) können Kessel den mannigfachsten Zwecken nutzbar gemacht werden, beispielsweise als Destillationsblasen zum Übersieden von Gemischen mit verschiedenen Siedepunkten (s. Destillierapparate) usw. Da die ersten Dampferzeuger, die man zum Betriebe von Dampfkraftmaschinen aufstellte, in Form

eines liegenden zylindrischen Kessels gebaut waren, bezeichnet man heute alle Dampferzeuger als Dampfkessel (s. d.), auch wenn sie mit der ursprünglichen Kesselbauweise nichts mehr gemein haben. — Für die Beförderung von Flüssigkeiten und staubförmigen Gütern auf der Eisenbahn setzt man Kessel üblicher Bauart auf Güterwagenuntergestelle (s. Kesselwagen).

Siehe auch Dampffässer, Kocher, Frederkingapparate.

Th.

Lit. Chem. Apparatur: *A. Lucht*, Inhalte liegender Kessel (1920, S. 163).

Kesselwagen. Zum Versand von Benzin, Erdölen, Sprit, Teer, pflanzlichen Ölen, Schwefelsäure, Salpetersäure, Melasse, Ammoniakwasser, Benzol und von anderen in großen Mengen zu verladenden Gütern verwendet die chemische Industrie besondere Kesselwagen, die im Gebiet des Deutschen Reichs in den Wagenpark der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft als Privatwagen eingestellt werden und den Bestimmungen der Eisenbahnbau- und Betriebsordnung, sowie den sonstigen Vorschriften, beispielsweise den Bestimmungen für Güterwagen im internationalen Verkehr, entsprechen müssen. Nach der Zahl der Achsen unterscheidet man zwei- und mehrachsige Kesselwagen, nach der Behälterzahl auf einem Gestell Kesselwagen mit einem oder mit mehreren Kesseln und nach der Betriebsweise Wagen mit drucklosen oder Überdruck-Kesseln.

Der Kesselinhalt der üblichen drucklosen Behälter liegt zwischen 10 und 30 m³. Das Untergestell der Kesselwagen entspricht mit einigen Änderungen häufig dem Gestell der offenen Güterwagen, die meist als Austauschbauwagen entwickelt sind. Die Höhe der Kessellage über dem Untergestell hängt von der Bauart der unteren Ablaufeinrichtungen ab, die meist einen Innendurchmesser von 100 mm für leichtflüssige oder 200 mm für schwerflüssige Stoffe haben. Das Ablaufventil besteht in der Regel aus einem kegeligen Tellerventil (s. Ventile) und wird von oben durch eine Spindel betätigt. Für leichtflüssige Stoffe sieht man außerdem an den Auslaufrohren besondere Ablaufhähne vor. Einfache Schraubdeckel sichern die Gewindeanschlüsse an den Ablaufstutzen.

Genietete Kessel erhalten eine Wandstärke von 8 mm im Mantel und 10 mm in den Böden. Für Säurekesselwagen betragen diese Werte 10 und 12 mm. Die geschweißte Ausführung ergibt geringere Kesselgewichte.

Kessel, die nicht mit Druckluft entleert werden, prüft man mit Druckwasser von 1 at. — Da die Kessel nicht immer voll gefüllt sind, bringt man im Innern ein oder zwei Schwallbleche an, die Schwingungen des Inhalts abdämpfen sollen.

Die Kessel ruhen auf dem Gestell in Satteln und sind gegen Verschieben durch Schrauben oder Nieten unmittelbar oder durch Zugbänder gesichert. Bei der Befestigung mit Schrauben kann der Kessel an einem Ende längsverschiebbar angeordnet werden, so daß der Längsschub ausschließlich von einem Sattel übertragen wird. Zugbänder sind als Befestigungsmittel zu wählen, wenn die Kesselwandungen nicht angebohrt werden sollen. Oben trägt der Kessel einen Dom, in den das mit einem Deckel verschließbare Mannloch eingeschnitten ist. Am Kesseldom sind, soweit erforderlich, Entlüftungs-, Sicherheits- und Druckausgleichvorrichtungen angebracht. Hierzu gehören

beispielsweise Flammendurchschlagssicherungen (s. Explosionssicherungen), Überdruckventile bei Flüssigkeiten, die unter 50° siedend (s. Sicherheitsventile) und Gaspindelstutzen zum Anschluß von Ausgleichsleitungen. Um schwer-siedende Stoffe leichtflüssig zu machen, kann man eine aus Rohren bestehende Dampfheizung einbauen. Die Heizrohre werden soweit wie möglich nach unten

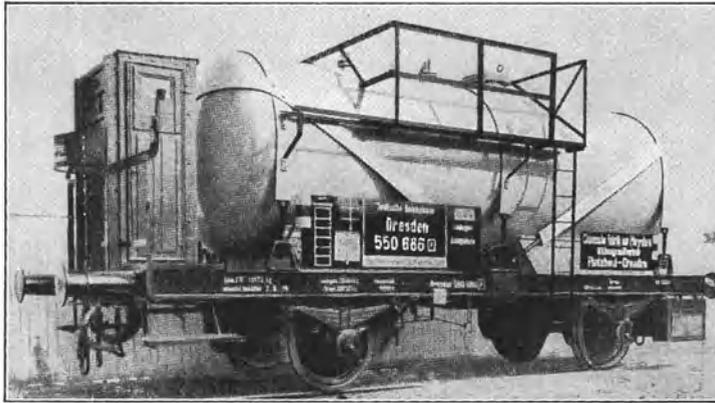


Abb. 1186. Kesselwagen mit Behälter aus Aluminium (Linke-Hofmann-Busch-Werke).

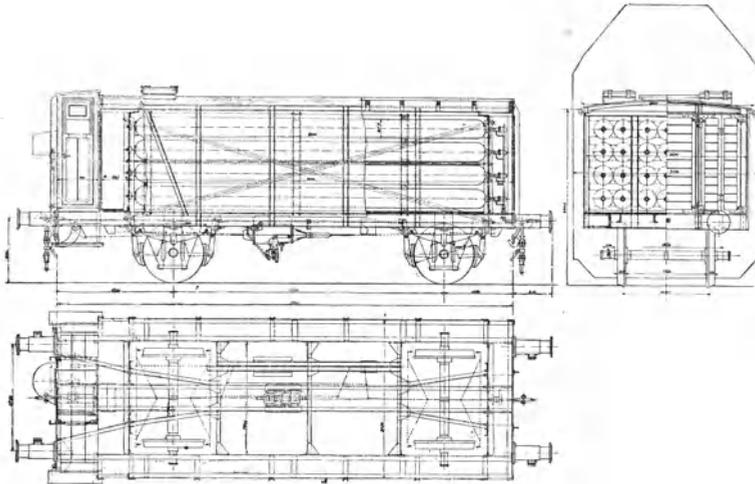


Abb. 1187. Wasserstoffwagen (Westdeutsche Waggonfabriken A.-G.).

mit Gefälle verlegt. Ein Erstarren solcher Stoffe kann außerdem ein Wärmeschutzmantel, beispielsweise aus Magnesiaplatten, Glaswolle usw., der auf der Kesseloberfläche angebracht wird, verzögern.

Einem zweiachsigen Kesselwagen mit einem Kessel aus Aluminium für eine Tragfähigkeit von 20 t zeigt Abb. 1186 (Linke-Hofmann-Busch-Werke, Werdau). Starke Bänder halten den Kessel auf seinen Sätteln. Das 10 mm starke Aluminiumblech hat neben seiner Widerstandsfestigkeit gegen viele chemische

Angriffe im Kesselinnern noch den Vorteil, daß es keinen Außenanstrich erfordert.

Für hohe Drücke sieht man mehrere Behälter vor. Als Beispiel ist auf Abb. 1187 ein Wasserstoffwagen mit 28 Hochdruckbehältern von insgesamt 11000 l Inhalt dargestellt (Westdeutsche Waggonfabriken A.-G., Köln). An einem Wagenende sind die Behälter einer waagerechten Reihe an ein Sammelrohr angeschlossen, das mit Absperrventilen ausgerüstet ist. Die Gaskessel einschl. der Abfüllrohre sind mit einem Holzkasten umgeben, der mit Türen zur Betätigung der Anschlüsse versehen ist. Das Gewicht des Wagens einschl. der Gaskessel beträgt etwa 27 t.

Lit. *A. Karsten*, Kesselwagen für die chemische Industrie (Chem. Apparatur 1930, S. 181). — *H. Bieck*, Normung der Kesselwagen (Z. VDI 1932, S. 311). — *F. Bürk*, Fortschritte im Kesselwagenbau (Chem. Apparatur 1925, S. 209, 232); Neuerungen im Großgüterwagenbau (Chem. Apparatur 1926, S. 42, 79).

Th.

Kesslers Fluote, s. Schutzüberzüge.

Kettenroste, s. Feuerungsanlagen.

Kettentrockner (s. auch *Bandtrockner*, *Kanaltrockner*, *Trockner*). Ähnlich wie die Kanaltrockner arbeiten die Kettentrockner in stetigem Fließbetrieb. In einer aus Stahlblechen oder Mauerwerk hergestellten, oft mit einer wärmeisolierenden Schicht bedeckten Ummantelung bewegen sich endlose, parallel zueinander angeordnete Ketten, die das Feuchtigkeit enthaltende Gut langsam durch den Trockenraum fördern. Das Gut wird mit besonderen Aufhängevorrichtungen (Klammern, Stangen, Haken usw.), die dem Trockengut angepaßt sind, an den Ketten befestigt. Um den Trockenraum besser auszunutzen, können auch mehrere Kettenbahnen übereinander angeordnet

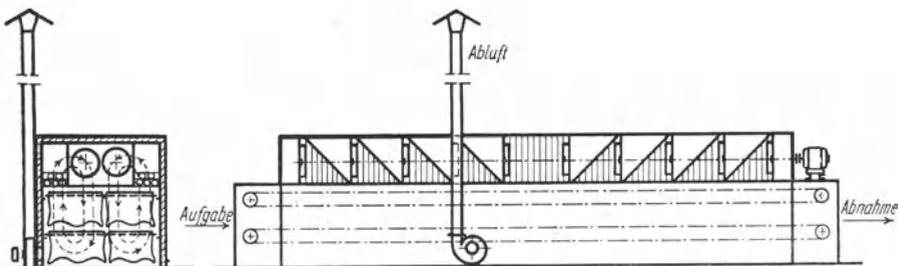


Abb. 1188. Kettentrockner für Leder (Schilde).

werden. Da das an den Tragvorrichtungen hängende Gut senkrechte Flächen bildet, läßt man die Trocknungsluft oft seitlich zuströmen, so daß sie die gesamte Gutfläche umspült.

Einen nach dem Umluft-Stufentrockenverfahren arbeitenden Apparat der Maschinenbau A.-G. Benno Schilde, Hersfeld, für die Trocknung von Leder, zeigt Abb. 1188. Eine gleichmäßige Trocknung bedingt einen kleinen Temperaturunterschied zwischen Saug- und Druckseite des Trockenraums. Zahlreiche Lüfter, die auf einer gemeinsamen Welle über dem Trockner angeordnet sind, bewegen die im Trockenraum in Umlauf zu setzenden Luftmengen.

Ebenso wie die Luftfördereinrichtungen erstrecken sich auch die Heizelemente für die Erwärmung der Umluft auf die ganze Länge des Trockners. Verringert sich die Erzeugung, so setzt man die Temperaturen herab und verlängert die Trockendauer. Hierzu läßt sich die Durchlaufgeschwindigkeit der Ketten in weiten Grenzen regeln.

Einen ebenfalls nach dem Umluft-Stufenverfahren arbeitenden Kettentrockner für Kunstseidenstränge der Benno Schilde A.-G., der auch für Kühlung

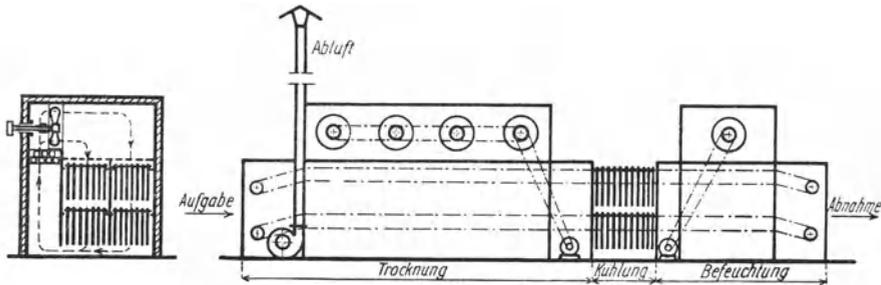


Abb. 1189. Kettentrockner für Kunstseidenstränge (Schilde).

und Wiederbefeuchtung eingerichtet ist, stellt Abb. 1189 dar. Damit die auf den Stäben hängenden Kunstseidenstränge sich nicht verwirren, strömt die Trocknungsluft senkrecht nach unten. Um den Trocknungsverlauf zu beherrschen, rüstet man derartige Trockner oft mit einer Temperaturregelanlage aus (s. Temperaturregler). Dies ist insbesondere erforderlich, wenn der Dampfdruck in den Heizelementen öfters schwankt.

Lit.: Siehe Trockner.

Th.

Kippgefäße. Zähle, teigige oder feste Stoffe oder hoherhitzte Massen kann man aus den Verarbeitungsgefäßen zweckmäßig durch Kippen um eine waagerechte Drehachse entleeren. Dies ist besonders dann erforderlich, wenn das Ausbringen der Stoffe durch Öffnungen im Boden des Gefäßes oder der Verschuß dieser Öffnungen durch Schieber oder Ventile oder das Herausdrücken des Gefäßinhalts durch inneren Überdruck Schwierigkeiten bereitet. In Einzelfällen werden auch dann Kippgefäße bevorzugt, wenn die Flüssigkeiten Schichten bilden oder feste Stoffe absetzen und ein Teil durch Abgießen abgetrennt werden soll. Der Inhalt des Gefäßes läuft dabei über eine Rinne oder Schnauze aus, die sich an eine Aussparung im Gefäßrand anschließt.

Die Kippanordnung von Gefäßen hat den Nachteil, daß die Anbringung von Rohrleitungen und der Antrieb von Rührwerken schwieriger ist als bei der feststehenden Bauart. Heizedampf oder Kühlwasser führt man in der Regel durch Stopfbüchsen mit Hilfe von Rohren zu, die in der Drehachse liegen. Sind mehr als zwei Rohranschlüsse erforderlich, so legt man die Rohre und Stopfbüchsen in der Drehachse meist übereinander oder aber verbindet die Rohre mit den Gefäßen unmittelbar durch leicht lösbare Schraubverbindungen, wenn es sich um geschlossene Gefäße handelt. Zum Füllen führt man bei größeren Gefäßen von oben Rohrleitungen, Rinnen oder Bunkerausläufe über das Gefäß, die so angebracht sein müssen, daß sie die Kippbewegung des Gefäßes nicht behindern.

Soll das Kippgefäß ein Rührwerk erhalten, so ergibt sich eine einfache Bauart mit Einzelantrieb durch Elektromotor, der unmittelbar am Gefäß oder am Rührwerksträger befestigt wird. Wird ein waagerechtes Rührwerk vorgesehen, wie es sich oft bei teigigen oder zähen Stoffen empfiehlt, so legt man zweckmäßig die Antriebswelle des Rührwerks in die Kippachse. Die Wellenden müssen dabei durch Stopfbüchsen durch die Gefäßwände geführt werden. Soll ein Kippgefäß ein Rührwerk mit senkrechter Welle und Antrieb durch Riemenscheiben erhalten, so muß man in der Regel darauf verzichten, die Antriebsscheiben in die Kippachse des Gefäßes zu legen. Man ordnet sie vielmehr wie bei der feststehenden Bauart über dem Gefäß an. Dabei ergibt sich der Nachteil, daß der Riemen nach jeder Kippbewegung neu zu spannen ist.

Besondere Beachtung erfordert die Beanspruchung des Gefäßes auf Biegung durch das Eigengewicht und durch den Gefäßinhalt, wenn es lediglich auf zwei Zapfen gelagert ist. Ist das Gefäß in sich nicht ausreichend starr, so muß es durch einen Ring oder durch Rippen verstärkt werden. Umgibt ein Heiz- oder Kühlmantel das Gefäß, so ergibt dieser meist eine ausreichende Erhöhung der Festigkeit. — Bei sehr großen Gefäßen erfordert die Lagerung auf zwei Drehzapfen oft recht schwere Bauteile. In solchen Fällen ist es günstiger, unter dem Gefäß zwei kreisbogenförmig gestaltete Träger anzubringen, die auf Rollen laufen. Der gewünschte Ausschlag bei der Kippbewegung bestimmt dabei die Länge der Kreisträger unter dem Gefäß.

Zur Durchführung der Kippung kann bei kleinen Gefäßen ein Handhebel dienen, der am Gefäß oder an einem der beiden Drehzapfen befestigt ist. Voraussetzung dabei ist, daß der Schwerpunkt des Gefäßes und seines Inhaltes unterhalb der Drehachse liegt. Bei der am häufigsten zu findenden Bauart ist auf der Welle ein Schneckenrad angebracht, das mit der zugehörigen Schnecke eine große Übersetzung ergibt und infolge der Selbstsperrung das Gefäß in jeder Lage festzuhalten gestattet. — Die zum Kippen notwendige Kraft ist um so kleiner, je dichter der Schwerpunkt von Gefäß und Inhalt an der Drehachse liegt und sich entsprechend weniger während der Kippbewegung von der Drehachse entfernt. Um schon beim Entwurf eines Kippgefäßes dabei möglichst günstige Verhältnisse zu erhalten, muß man die Bewegung des Gesamtschwerpunktes zeichnerisch bestimmen und danach Form des Gefäßes und Lage der Drehachse festsetzen. Bringt man den Schwerpunkt möglichst dicht an die Drehachse, so ergibt sich der Nachteil, daß die Überfallkante der Auslaufrinne beim Kippen eine weite Kreisbewegung ausführt, was das Auffangen des ausfließenden Inhalts erschwert. Um diese Schwierigkeit zu vermeiden, ordnet man an einzelnen Kippgefäßen, insbesondere an kippbaren Öfen, die Drehachse in der Nähe der Auslaufkante an. Die Kippbewegung führt man bei dieser Bauart vielfach durch einen Ketten- oder Seiltrieb durch, der am äußeren Gefäßmantel angreift und diesen anhebt. Das Gewicht des Gefäßes gleicht man dabei durch ein Gegengewicht aus.

Große und schwere Gefäße kippt man durch einen Preßwasserkolben oder durch einen elektrischen Antrieb. Dreht sich dabei das Gefäß mit gleichbleibender Geschwindigkeit, so hängen die aus dem Gefäß in der Zeiteinheit laufenden Mengen, abgesehen von den Stoffeigenschaften des Gefäßinhaltes, von der Form des Gefäßes, der Lage der Drehachse und dem Querschnitt der Auslaufrinne ab. Eine schmale und tiefeingeschnittene Auslaufrinne ergibt im allgemeinen eine gleichmäßige und gut regelbare Ausströmung.

Kippgefäße verwendet der Apparatebau für die verschiedensten Zwecke, beispielsweise bei Destillierapparaten (s. d.), Extraktionsapparaten (s. d.), Knetmaschinen (s. d.), Mischvorrichtungen (s. d.) und Rührvorrichtungen (s. d.). Th.

Kippmesser, s. Flüssigkeitsmesser, Dosiermaschinen.

Kitte sind zu Verbindungsarbeiten benutzte Stoffe. Besonders wichtig sind sie bei der Auskleidung von Reaktionstürmen, Bottichen u. dgl. mit säurefesten Steinen oder Platten. In manchen Fällen sind sie auch als alleiniges Überzugsmaterial brauchbar.

Die Vorgänge des Kittens bedürfen noch der Erklärung. Vorläufig erfolgt die Herstellung von Kitten noch rein erfahrungsmäßig, und nicht alle unter schönen Namen auf den Markt gebrachten Sorten entsprechen bei ihrem Gebrauch den Angaben der Hersteller. Es gibt aber auch Fälle, bei denen der Grund des Versagens eines Kittes nicht beim Erzeuger, sondern beim Verbraucher liegt, der durch zu schnelle Ingebrauchnahme der Apparatur einen Hauptfaktor beim Kitten vernachlässigt: genügende Zeit zum Abbinden und Härten. Ein weiterer Fehler kann darin bestehen, daß die festen Zusätze des Kittes nicht fein genug vermahlen oder die Durchmischung ungenügend waren. Ferner ist darauf zu achten, daß die zu vereinigenden Flächen völlig sauber (frei von alten Kittresten) und trocken sind, daß sie gut aufeinanderpassen und, wenn möglich, etwas aufgeraut sind. Nach der Vereinigung der beiden Kittstellen ist ein mäßiges Zusammenpressen fast immer von Vorteil. Im allgemeinen kann gesagt werden, daß man größere Verkittungsarbeiten, wie sie z. B. bei der Auskleidung mit säurefesten Steinen vorgenommen werden müssen, am besten Spezialfirmen überläßt, die neben der Erfahrung auch die entsprechenden Facharbeiter zur Hand haben.

a) Kitte zur Vereinigung von Metall mit Metall.

Zusammensetzung und Verarbeitung	Bemerkungen
100 Teile Eisenfeile + 1 Teil Salmiak mit wenig Wasser oder Essig anrühren, dann fest einstreichen; oder 400 Teile Eisenfeile mit 280 Teilen gepulvertem fettem Ton u. 200 Teilen feuerfestem Ton mit Salzwasser zu einem dicken Brei mischen.	Diese und ähnliche Mischungen (engl. Sorte „Smooth-On“), die auch noch Mangandioxyd enthalten können, dienen zur guten Verbindung von eisernen Teilen. Mäßig hohe Temperaturen aushaltend, wenn einige Tage erhärtet. <i>Griffiths</i> verwendet sie sogar zum Ausbessern von Salpeter-Destillierblasen. Ziemlich hitzebeständig.
70 Teile Asphalt + 15 Teile Harz + 10 Teile Paraffin + 5 Teile Venetianer-Terpentin.	Besonders zum Ausbessern von Aluminiumgefäßen.
1 Teil Glycerin von 28° Bé + 10 Teile feuchte feinst gemahlene Bleiglätte, Erhärtung in 10 bis 30 Minuten.	Konzentrierte Salpetersäure greift nur sehr langsam, Schwefelsäure, Salzsäure, die meisten organischen Lösungsmittel (Benzin, Benzol usw.) und Wasser greifen nicht oder nur sehr wenig an. Verdünnte Salpetersäure, Essigsäure und Laugen dagegen korrodieren rasch. Temperat. bis 250° werden getragen.
6 Teile Graphit + 3 Teile trocken gelöschter Kalk + 8 Teile Bariumsulfat + 7 Teile Leinölfirnis.	Kitt für Dampfkessel und Gasröhren.

b) Kitte zur Vereinigung von Metall mit keramischen Massen, Glas, Steinen usw.

Zusammensetzung und Verarbeitung	Bemerkungen
50 g Bleiglätte + 6 cm ³ Glycerinlösung (5 Vol. techn. Glycerin + 2 Vol. Wasser).	Zum Ausbessern von beschädigten emailierten Stellen. Vgl. ähnlichen Kitt bei a).
50 g feinst vermahlene Bleiglätte + 8 g wasserfreies Glycerin.	Wasserzusatz zum Kitt ungünstig.
80 Teile Kolophonium + 10 Teile Venetianer-Terpentin + 10 Teile gebrannter Gips oder Ätzkalk (heiß verwenden).	Aufkitten von Metallkappen auf Isolatoren.

Ölkitte nach *Wolff*, bestehend aus:

1. Kittölen.

Zusammensetzung	Glaserkitte				Maschinen- (und Röhren-)Kitte			
Leinöl oder Firnis	65	10	70	20	70	10	—	90
Standöl	15	5	—	—	20	10	—	—
Harzöl (geblasen)	—	—	—	—	—	40	80	—
Mineralöl	20	15	30	40	—	—	—	—
Kolophonium	—	10	—	5	—	5	—	10
Wolffett	—	—	—	20	—	—	—	—
Flüchtige Lösungsmittel	—	30	—	5	5	20	10	—
Kunstharz	—	30	—	10	5	15	10	—

2. Mineralstoffen.

Zusammensetzung	Glaserkitte			Maschinen- (und Röhren-)Kitte								
				Mennigekitt (Röhrenkitt)	Metallkitt	Reortorkitt	Wasser-röhrenkitt	Feuer-fester Kitt	Verschiedene Kitte			
Kreide	100	80	60	40	25	30	10	35	15	20	15	25
Ton	—	—	—	—	25	—	20	40	—	—	50	25
Schwerspat	—	20	40	20	30	—	10	—	—	—	10	—
Bleiweiß	—	—	—	—	—	5	—	3	25	8	—	5
Mennige	—	—	—	40	20	—	—	10	—	—	—	—
Bleioxyd	—	—	—	—	—	5	—	—	—	12	5	—
Eisenoxyd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18	—
Braunstein	—	—	—	—	—	55	—	2	25	—	2	30
Graphit	—	—	—	—	—	—	40	—	25	50	—	—
Zement	—	—	—	—	—	—	—	10	—	—	—	—
Asbest	—	—	—	—	—	—	10	—	—	—	—	—
Eisenpulver	—	—	—	—	—	5	10	—	10	—	—	5

Auf eine der genannten Kittölmischungen kommen gewöhnlich 4—7 Teile der Mineralstoffe.

Recht gute Kitte sind auch die seit den letzten Jahren im Handel zu habenden Säurekitte „Höchst“ (s. Druckschriften der I.-G. Farbenindustrie A.-G., Frankfurt a. M. und Chem. Apparatur 1930, Beil. Korr., S. 26; *Thiel*, Chem. Fabrik 1936, S. 317). Diese sind rasch abbindende und gut erhärtende Wasserglaskitte, deren Druckfestigkeit 120—170 kg/cm² und deren Zugfestigkeit etwa 20 kg/cm² beträgt. Ihre Haftfestigkeit an Eisen ist ausgezeichnet. Naturgemäß sind Überzüge oder Kittungen mit diesen Kitten anfangs nicht flüssigkeitsdicht. Man kann dann in dieser Hinsicht etwas nachhelfen, wenn man

die Behälter mit verdünnter Chlorcalciumlösung füllt oder austreibt und dann mit verdünnter Natriumfluoridlösung nachbehandelt. Meist wird dies jedoch nicht nötig sein, da sich in kurzer Zeit die Poren durch Ablagerungen aus den Reaktionsgemischen oder durch Korrosionsprodukte, die sich beim Zusammentreffen des angreifenden Mediums mit der eisernen Behälterwand bilden, verstopfen. Zur Auskleidung sollen nur solche Behälter verwendet werden, die an sich flüssigkeitsdicht sind. Am besten läßt sich Eisen verkleiden; bei Beton ist eine Asphaltzweischicht einzulegen, oder es ist mit warmer Magnesiumsiliciumfluoridlösung (Lithurin; M. H. Hauenschild, G. m. b. H., Hamburg) vorzustreichen. Bei der Auskleidung von Holzbottichen ist dafür Sorge zu tragen, daß kein Arbeiten des Holzes eintreten kann, eine Bedingung, die so leicht nicht zu erfüllen ist.

Geliefert werden die nachstehenden Sorten:

Säurekitt „Höchst“	SW 10	} Für aggressive Wässer, Fußbodenbeläge. An sich auch beständig gegen Säuren, eine Absäuerung vor dem vollständigen Erhärten dann aber nötig, während sonst diese Notwendigkeit nicht besteht. SW 10 auch für Maurerarbeiten in der Kälte.
„ „	SW 20	
„ „	S 15	} Besonders geeignet für konzentrierte heiße und kalte Säuren, für Säuretürme usw. Absäuern ist unbedingt nötig. S 15 auch für Maurerarbeiten.
„ „	S 25	
„ „	SWK	} Besonders für Schwefelsäure, Essigsäure, Phosphorsäure.

Die Säurekitt „Höchst“ widerstehen allen Säuren (außer Flußsäure), Salzlösungen, Chlor und Brom, und zwar in allen Konzentrationen und bei fast allen Temperaturen, ebenso der Beanspruchung durch Wasser und Dampf. Gegen Alkalien und alkalische Salze sind sie, wenn sie abgesäuert sind, vorübergehend beständig, d. h., nicht zu lange dauernde alkalische Zwischenoperationen können bei gewöhnlicher Temperatur in dem Behälter durchgeführt werden. Stärkeren alkalischen Angriffen sind die Kitte nicht gewachsen. Eine Ausnahme machen nur Chlorkalkbleichlaugen und Ammoniak, die nicht angreifen.

Für die Anwendung dieser Kitte mögen folgende Anweisungen der Herstellerfirma (I.-G. Farbenindustrie) dienen, die sinngemäß auch für die anderen Kitte auf Wasserglasbasis gelten:

Das Anmischen muß sorgfältig erfolgen, und zwar so, daß die Luft aus dem Mehl entweichen kann. Man rührt das Kittmehl in handelsübliche Natronwasserglaslösung (nicht umgekehrt) ein, bis alles Mehl benetzt ist; für 1 kg Kitt sind 250 cm³ bis höchstens 300 cm³ Wasserglaslösung zu verwenden. Das Wasserglas muß folgende Zusammensetzung haben:

Spez. Gewicht 1,33—1,35 oder 36°—38° Bé, für Kitt SWK ist an Stelle von Natronwasserglas Kaliwasserglas spez. Gewicht 1,26 = 30° Bé (Verhältnis K₂O : SiO₂ = 1 : 2,5) zu verwenden.

Verhältnis Na₂O zu SiO₂ wie 1 : 3,20—1 : 3,30.

Diese Zusammensetzung entspricht zwar häufig der handelsüblichen Qualität. Ein Wasserglas mit unrichtiger Zusammensetzung ergibt jedoch unbrauchbare Kittmassen und Kittungen, so daß die Beschaffenheit des Wasserglases immer genau zu prüfen ist.

Um noch aus der fertigen Kittmasse Luftblasen zu entfernen, rüttelt man das Mischgefäß mit dem gründlich durchgearbeiteten Kitt vor dem Vermauern etwa $\frac{1}{2}$ min. Der Kitt wird dann schnell vermauert unter schrägem Aufsetzen, Anschieben und leichtem Anschlagen der Steine, damit sich keine Luftblasen hinter dem Stein halten können. Die Fugen sollen so schmal wie möglich sein, bei kleinen genau passenden Steinen etwa 1 mm, sonst etwas mehr. Soll bzw. kann nachgefugt werden, so müssen die Fugen etwa 5 mm breit sein. Die Fugen der verschiedenen Lagen sind zu versetzen. Die Steine dürfen wohl luftfeucht sein, keinesfalls aber naß oder gefroren; glasierte Flächen reibt man vor dem Vermauern mit dünner Kittmasse gut ein. Ebenso verfährt man bei sehr warmem Mauerwerk.

Den Abbindebeginn erkennt man daran, daß die Kitte beim Aufstreichen nicht mehr sofort haften. Noch nicht verarbeitete Kittmasse wird mit Beginn des Abbindens unbrauchbar; in der Abbindung begriffener Kitt kann durch Zugabe von Wasserglas nicht wieder verarbeitbar gemacht werden. Das Abbinden der Kitte SW 20 und S 25 ist bei einer Temperatur von 20° in 4 std, bei den Sorten SW 10 und S 15 in noch kürzerer Frist soweit vorgeschritten, daß gemauerte Bodenflächen vorsichtig betreten werden können, etwa um die Wandflächen zu vermauern. Bei einer Temperatur von 20° sind die Marken SW 20 und S 25 im wesentlichen nach längstens 4 Tagen, die Marken S 15 und SW 10 nach 2 Tagen bzw. 1 Tag erhärtet. Durch Anwärmen des Stein- und Mörtelmaterials, insbesondere der Wasserglaslösung läßt sich die Erhärtungszeit erheblich abkürzen.

Zum Verfugen sollen nicht mehr als 220 cm^3 Wasserglaslösung für 1 kg Kittmehl verwendet werden. Man verfährt dabei etwa so, daß das Verlegen der Steine mit normalem Mörtel geschieht, wobei soviel Mörtel auf die Rückseite der Platten aufgestrichen wird, daß beim seitlichen Anschieben der Platte nur ganz wenig Kitt in die Fugen hineinquillt. Die auf diese Weise entstehende winkelrechte Aussparung wird dann mindestens 15 mm tief mittels Fugeisen evtl. in 2 Arbeitsgängen mit dem dickeren und dichteren Mörtel vollgedrückt.

Vermischen der Kittmehle mit Zement ist nicht zulässig, die Verarbeitung muß im Originalzustande und unvermischt erfolgen.

Der Bedarf an Säurekitt „Höchst“ richtet sich bei Aus- und Aufmauerungen nach der Art und Größe der verwendeten Platten oder Steine. Durchschnittlich werden bei ebenen Flächen benötigt:

Steingröße	bei einer Lage
$150 \times 50 \times 14 \text{ mm}$	11 kg Kittmehl pro m^2 ,
$200 \times 200 \times 20 \text{ mm}$	15 kg Kittmehl pro m^2 ,
$250 \times 120 \times 30 \text{ mm}$ als Flachschiicht	17 kg Kittmehl pro m^2 ,
$250 \times 120 \times 40 \text{ mm}$ als Flachschiicht	18 kg Kittmehl pro m^2 ,
$250 \times 120 \times 65 \text{ mm}$ als Flachschiicht	20 kg Kittmehl pro m^2 ,
$250 \times 120 \times 65 \text{ mm}$ als Rollschicht	30 kg Kittmehl pro m^2 .

Bei gekrümmten und runden Flächen erhöht sich unter Umständen der Kittbedarf entsprechend.

Für 1 l Mörtelmasse sind 1,4 kg Kittmehl und etwa 560 g Wasserglas nötig. Nach dieser Angabe errechnet sich auch der Bedarf an Kitt bei Verfugungsarbeiten.

Für 1 m^3 Mauerwerk sind rund 200 l Mörtel = 280 kg Kitt je nach Fugenstärke (5–6 mm) nötig.]

Die Säurekitt „Höchst“ haben sich recht gut bewährt, auch als alleiniges Überzugsmaterial. Wesentlich ist dabei, daß der Kitt in dünner Schicht (nötigenfalls wiederholt) aufgetragen wird.

Ein von vornherein flüssigkeitsdichter Kitt ist der Asplitkitt (I.-G. Farbenindustrie A.-G., Frankfurt a. M.). Dieser auf!Kunstharzbasis aufgebaute Kitt dient zum Verfugen von säurefesten Steinen, Glasplatten usw. Soll er als alleiniges Überzugsmaterial für Metalle oder Beton verwendet werden, so ist eine Sonderausführung notwendig, die bei der Herstellerfirma zu erfragen ist. Für das Kitten gibt diese die folgende Vorschrift:

Man mischt je nach dem Verwendungszweck 300—400 cm³ Asplitlösung mit 1 kg Asplitkittmehl, und zwar in diesem Falle so, daß man Lösung zum Mehl gibt (nicht umgekehrt). Die Erhärtung der Kittmasse hängt stark von der Temperatur ab; bei 70° erfolgt die Erhärtung schon nach einigen Minuten, bei 10° erst nach 72 std. Bei tieferen Temperaturen als 15—20° soll das Erhärten der Kittmasse durch gelinde Erwärmung beschleunigt werden. Die Farbe der erhärteten Kittung ist zunächst gelblich und geht dann über rosa in rot über. Die rote Farbe ist das Endstadium. Es darf nur auf trockene Unterlagen gekittet werden; diese sind daher vor dem Aufbringen der Kittmasse gründlich zu trocknen, Fugen bei Reparaturen mit Druckluft trocken zu blasen. Auch während des Erhärtens des Asplitmörtels darf die Kitthaftfläche nicht wieder feucht werden.

Sind die zu bearbeitenden Flächen sehr warm (über 30°), so müssen sie vor Ausführung der Kittungen mit dünnflüssiger Asplitkittmasse vorgestrichen werden.

Fugen müssen winkelrecht und mindestens 15 mm tief mit Kittmasse ausgefüllt werden, wobei seitlich nichts auf die Steine verstrichen werden soll.

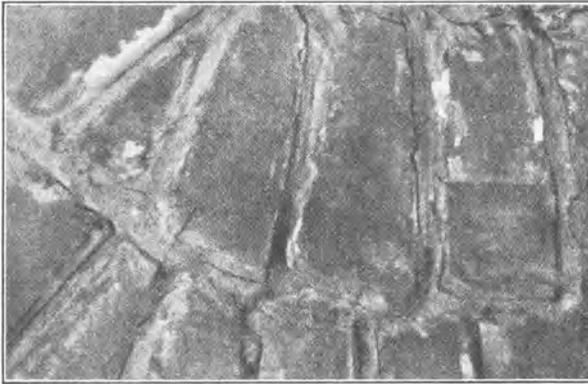


Abb. 1190. Auskleidung eines Zellstoffkochers, verfugt mit Asplitkitt. Nach 12 Monaten noch keine Spur des Angriffs bei starker chemischer und mechanischer Beanspruchung.

Für 1 Liter Asplitmörtel sind etwa 1450 g Asplitkittmehl und etwa 550 g Asplitlösung erforderlich. Für das Verlegen von Steinplatten wird man je nach Steingröße rund 8 Liter Mörtel und für das Verfugen von Steinplatten etwa 2 Liter Mörtel pro Quadratmeter benötigen.

Bei seiner Verarbeitung muß streng darauf geachtet werden, daß sauber und nur mit Werkzeugen gearbeitet wird; Berührung der Substanz mit der Hand ist zu vermeiden, da sonst, besonders bei überempfindlicher Haut, Ausschläge auftreten können.

Für evtl. nötige Reinigung sollen keine Lösungsmittel, sondern nur Seife mit Sägemehl oder Bimsmehlzusatz (Industrieseife) verwendet werden.

Geschlossene Apparate sind gut zu belüften. Alles Asplitmaterial soll sorgfältig trocken gehalten und nur außerhalb der geschlossenen Apparate zum Mörtel gemischt werden.

Bei längerem Stehen scheidet sich oben auf der Asplitlösung etwas Wasser ab; dieses ist vor der Benutzung der Lösung sorgfältig abzugießen.

Asplitkitt ist beständig gegen Salzsäure, Schwefelsäure (bis 50%), Schweflige Säure (s. Abb. 1190), Phosphorsäure, Essigsäure (nicht gegen heißen Eisessig), Oxalsäure, Monochloressigsäure, Salzlösungen, Wasser, Dampf (bis 180°), Sodalösungen, Ammoniak, Benzin, Benzol. Durch Erhitzen auf 150° oder Absäuern mit heißer 40proz. Schwefelsäure wird Asplitkitt auch gegen Alkohol und Aceton widerstandsfähig (500 cm³ Asplitlösung auf 1 kg Kittmehl verwenden!).

Recht beständig gegen viele Chemikalien sind auch die Pacedit-Schmelzkitt (Palatin G. m. b. H., Darmstadt) zum Überziehen von Behältern und die Pacedit-Dichtungsmasse zum Ausbessern und Dichten von Holz- und Betongefäßen.

c) Kitte zur Vereinigung von Metall mit Holz, Leder, Gummi, Gewebe u. dgl.

Zusammensetzung und Verarbeitung	Bemerkungen
80 Teile Harzpech + 12 Teile Kolophonium + 8 Teile Harzöl.	Verkitten von Holz mit Metall (Drechslerpech). Aufkitten von Filz, Tuch, Leder auf Metall.
10 Teile Talg + 150 Teile Kautschuk verschmelzen, dann 10 Teile Mennige oder Kalk eintragen.	
Wachs (weicher, elastischer) + Kolophonium (härter, spröder); Mischung nach Bedarf.	

d) Kitte zur Vereinigung von Glas, Steinzeug, Steinen usw. miteinander.

In diesen Abschnitt fallen, sofern sie nicht schon unter c) angeführt worden sind, die in korrosionschemischer Hinsicht besonders wichtigen Kitte, wie sie bei der Verkleidung metallischer Apparaturen mit säurefesten Steinen zur Anwendung gelangen. Es ist besonders zu bemerken, daß bei der Verschiedenheit der Zusammensetzung der säurefesten Steine die angegebenen Kitte meist nicht allgemein brauchbar sind, sondern daß man von Fall zu Fall am besten den von den Fabriken angegebenen Spezialkitt verwendet.

Zusammensetzung und Verarbeitung	Bemerkungen
„Keralith“. Zusammensetzung unbekannt. In 30 Teile Bindeflüssigkeit „Keralol“ 100 Teile trockene Kittmasse geben und sehr gut verrühren. Verarbeitung hat sofort zu erfolgen. Die saubere, aber rauhe Fläche wird $\frac{1}{2}$ —1 cm dick mit dem Brei bestrichen, und die zu verlegenden mit „Keralol“ an der Rückseite bestrichenen Platten werden hohlraumfrei angedrückt. Nach einigen (3—4) Tagen wird der ausgekleidete Behälter für etwa 1 Tag mit konzentrierter Salzsäure gefüllt, oder, wenn dies nicht möglich ist, werden die Kittfugen 3 Tage lang einmal täglich mit konzentrierter Salzsäure bestrichen. 14 Tage nach der „Absäuerung“ kann die Apparatur in Betrieb genommen werden.	Nach Angaben der Herstellerin (Kerachemie G. m. b. H., Gießen) völlig säurefest, wenn die Verarbeitung sachgemäß erfolgt. Die geeigneten Platten werden von der gleichen Firma geliefert. Die Lagerung des „Keralols“ hat frostfrei zu erfolgen.
Säurefester Kitt „Securit A“, säurefester Zement „Securit B“. „Securit A“ wird mit Natronwasserglas (28° Bé) zu einem Mörtel verrührt. Trocknen und Abbinden dauert etwa 14 Tage.	Nach Angaben der Herstellerin (Securit G. m. b. H., Mannheim) zum Verkitten von säurefesten Klinkern, Ton, Steinzeug usw. Gegen Säuren aller Art und Konzentration beständig. Nach 24-stündigem Kochen in 60proz. Schwefelsäure nur sehr geringer Angriff. Außer gegen andere Salzlösungen nach Angaben von <i>Vaubel</i> und <i>Kleinlogel</i> auch gegen Mononatriumphosphatlösungen beständig. Firma liefert auch säurefeste Klinker.

Zusammensetzung und Verarbeitung	Bemerkungen
Kitte der Fa. Rössler, Bensheim a. Bergstr. Es werden langsam und rasch abbindende Kitte geliefert.	Nach Versuchen von <i>Kleinlogel</i> gibt es 2 Sorten, solche, die gegen alle heißen oder kalten Mineralsäuren beständig sind, und solche, die von Schwefelsäure angegriffen werden, Verwendung für Plattenauskleidungen usw.
Säurefester Kitt „Elasticon“ der Berg & Co. G. m. b. H., Andernach.	Verbindung der Klinkerplatten (mit Schwalbenschwänzen) durch Bestreichen mit „Elasticon“, dann mit Wasserglas nachgestrichen. Nach Angaben der Herstellerin gegen Säuren und schroffen Temperaturwechsel beständig.
„Stella-Kitte“ der Stella-Werke A.-G., Berg. Gladbach b. Köln.	Außer säure- und laugenfesten Spezialsteinen werden verschiedene Spezialkitte geliefert, so für Schwefelsäure, Salpetersäure, für Benzolwascher und Zellstoffkocher. Gegen Flußsäure und Kieselflußsäure sind diese Kitte nicht beständig.

Weiterhin sind die Kautschukkitte anzuführen, die im Handel häufig unter dem Namen „Marineleim“ käuflich sind. Die Haftfestigkeit und Elastizität dieser Produkte ist recht gut, ferner sind sie sehr beständig gegen die meisten Chemikalien (s. Gummi). Ihr einziger Nachteil besteht in der geringen Wärmefestigkeit. Mit Mennige, Kreide usw. sowie mit Schwefel gemischt, erhalten wir die „Kautschukzemente“. Eine Zusammenstellung verschiedener solcher Kitte gibt folgende Tabelle:

	Glas		Kautschuk und Leder		Marineleim		Universal- kitt
Kautschuk	2	5	17	10	15	10	15
Chloroform	65	80	—	—	—	—	—
Benzol	13	—	—	—	—	—	35
Benzin	—	—	—	—	70	45	—
Mastix	20	15	5	—	—	—	—
Kolophonium	—	—	8	10	—	—	7
Terpentinöl	—	—	70	—	—	—	—
Schellack	—	—	—	10	15	—	—
Schwefelkohlenstoff	—	—	—	70	—	—	35
Asphalt	—	—	—	—	—	—	8
Leinöl oder Firnis	—	—	—	—	—	45	—

e) Kitte zur Vereinigung von Glas, keramischen Massen usw. mit Holz, Leder, Gewebe usw.

Für diese Zwecke können die unter d) genannten Kautschukkitte (besonders Universal-kitt) verwendet werden, außerdem seien noch genannt:

Zusammensetzung und Verarbeitung	Bemerkungen
1 Teil Borax + 8 Teile Casein + 40 Teile Wasser heiß vermischen.	Aufkleben von Gewebe auf Glas.
Zu dünnflüssiger kochender Leimlösung wird gesiebte Holzrasche oder ein Gemenge gleicher Teile Bimsstein + Schellack bis zur sirupö- sen Konsistenz gesetzt. Warm aufstreichen.	Kitten von Glas auf Holz. Wasserbestän- digkeit gut.

f) Kitte zur Vereinigung von Holz, Leder usw.
mit- und untereinander.

Zunächst kommt der gewöhnliche Leim in Frage. Dann sind wieder die Kautschukkitte (s. unter d) zu nennen. Vgl. ferner die nachstehenden Angaben:

Zusammensetzung und Verarbeitung	Bemerkungen
<p>1 Teil Kolophonium schmelzen + 1 Teil Venetianer-Terpentin (Vorsicht! Feuergefahr beim Eintragen) + 2 Teile Ziegelmehl oder Schamottepulver. Im Schmelzzustand auftragen.</p> <p>Bleiglätte + Glycerin.</p>	<p>Holz kitt. Auch gut als Füllmaterial. Witterungsbeständig.</p> <p>Zum Abdichten von Holzgefäßen, die für Benzol oder ätherische Öle gebraucht werden.</p>

Lit.: *P. Kraus*, Werkstoffe, Stichwort Kitte und Klebstoffe von *H. Wolff* (Leipzig 1921, Barth). — *O. Lange*, Chemisch-technische Vorschriften (3. Aufl., Leipzig 1923/24, Spamer). — *C. Herzog*, Industrielle Materialkunde (München 1924, Oldenbourg). — *H. Wolff*, Harze, Kunstharze, Firnisse und Lacke (Leipzig 1921, Göschen). — *C. Breuer*, Kitte und Klebstoffe (2. Aufl., Leipzig 1922, Jänecke). — *E. Rabald*, Werkstoffe u. Korrosion II (Leipzig 1931, Spamer). — *S. Lehner*, Die Kitte und Klebmittel (Wien u. Leipzig 1932, Hartleben). — *H. Griffiths*, Materials of Chemical Plant Constructions: Non Metals (London 1922, Benn Brothers). — *A. Tede*, Kitte und Klebstoffe. Eine zusammenfassende Zusammenstellung neuzeitlicher Vorschriften für Kitte und Klebstoffe (Augsburg 1935, Verlag für Chemische Industrie). — *T. R. Olive*, Chem. metallurg. Engng. 1934, S. 537. — *Fr.*, Chem. Apparatur 1936, Beil. Korr., S. 15.

Rabald.

Klappdeckelwagen sind gedeckte Eisenbahn-Güterwagen mit einem kastenartigen, durch Klappdeckel verschlossenen Aufbau mit einem Regelladegewicht von 15 t. Sie sind vorzugsweise für die Beförderung von Kalk,

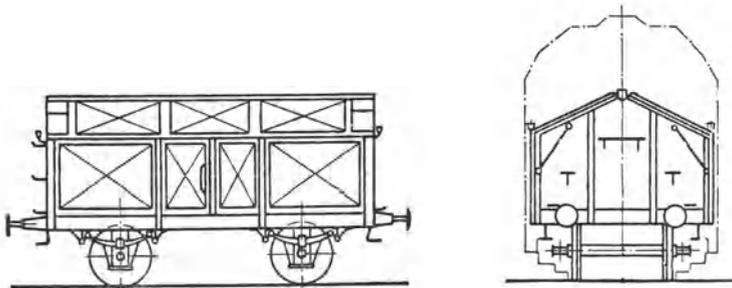


Abb. 1191. Klappdeckelwagen.

Kalkmergel, gemahlenem Kalkstein, Soda, Salzen und Gesteinsstaub zu verwenden. Im Gebiet des Deutschen Reiches werden sie von der Deutschen Reichsbahn auf Antrag auch für andere geeignete Güter gestellt. Die normale Bauart eines Klappdeckelwagens ohne Bremse ist in Abb. 1191 dargestellt.

Klappdeckelwagen werden auch mit einem Mindestladegewicht von 30 t und mit Einrichtung zur Selbstentladung als Großgüterwagen gebaut. Einen

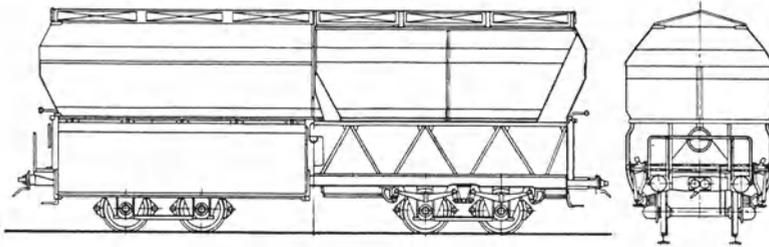


Abb. 1192. Vierachsiger Klappdeckelwagen mit Selbstentleerung.

vierachsigen Wagen, der zur Beförderung von Koks und gebranntem Kalk bestimmt ist, zeigt Abb. 1192. Er hat einen Inhalt von 91 m³ und ein Leergewicht von 22,5 t. Der Achsdruck beträgt bei voller Ausnutzung der Tragfähigkeit 20 t. Zur Entleerung nach unten dienen breite Klappen. Für die Verschlusseinrichtung dieser Klappen ist eine Einheitsbauart entwickelt worden. Das eigentliche Tragwerk bildet der Sattel und das in ihm eingebaute Fachwerk. Oberhalb der Klappen zieht sich ein waagerechter Versteifungsrahmen um den Wagen herum.

Lit.: Die Güterwagen der Deutschen Reichsbahn, herausgegeben im Auftrage der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft, Hauptwagenamt in Berlin (Berlin 1933, VDI-Verlag). — H. Bieck, Neuerungen im Güterwagenbau (Z. VDI 1932, S. 1053). Th.

Klappen, s. Explosionssicherungen, Ventile.

Klappenventile, s. Rückschlagklappen, Ventile.

Klärvorrichtungen, s. Dekantierapparate.

Klassierer (Klassierapparate; s. auch Naßklassierer und Naßsortierer) im engeren Sinne sind Vorrichtungen zur Trennung des aufzubereitenden Gutes nach verschiedenen Korngrößen (Klassen) auf nassem Wege (Naßklassierer), im weiteren Sinne aber auch auf trockenem Wege (Trockenklassierer), wie Roste (s. d.), Siebe (s. d.), Windsichter (s. d.). Zur Trennung nach Sorten (z. B. Erz und Gestein) werden Sortierer verwendet, die gewöhnlich naß arbeiten (Naßsortierer); hierzu gehören die Herde, Setz-, Strom- und Flotationsapparate, Magnetscheider (naß und trocken arbeitend) usw. Auch Dekantierapparate (s. d.) kann man als Sortierer bezeichnen.

Kletterapparate, s. Verdampfer.

Knetmaschinen (Knetter; s. auch Mischvorrichtungen) dienen dazu, teigige und zähe Stoffe mit geringem Feuchtigkeitsgehalt zu durchmischen. Die Eigenart der Stoffe bedingt kräftige Bauart infolge der großen Kräfte, die zur Durcharbeitung des Gutes notwendig sind, und hohen Kraftbedarf im Verhältnis zur zu verarbeitenden Gutmenge. Für die Beurteilung der verschiedenen Knetmaschinenbauarten sind folgende Eigenschaften von Wichtigkeit: gleichmäßiges Durchmischen des Gutes, leichte Beschickungs-, Entleerungs- und Reinigungsmöglichkeit, geringe, von den Knetwerkzeugen nicht erreichte Toträume, unfallsicheres Arbeiten, Möglichkeit zum Heizen, Kühlen oder Absaugen von Dämpfen, beispielsweise zwecks Wiedergewinnung von Lösungsmitteln.

Die einfachste Knetvorrichtung, die besonders in Nahrungsmittelbetrieben weiteste Verbreitung gefunden hat, ist der Armkneteter. Das Gut befindet sich in einem runden Trog und wird durch einen auf- und abgehenden Arm, dessen äußerstes Ende mit einem Querstück oder einem anderen Werkzeug versehen ist, durchgearbeitet. Eine derartige Armknetmaschine zeigt Abb. 1193. Der kreisrunde Trog *t* dreht sich langsam um eine senkrechte Achse. Der Deckel *d* ist nicht drehbar und enthält einen Schlitz für den Knetarm *a*. Die Antriebswelle ist mit den Riemscheiben *b*, dem Handrad *c* und zwei verdeckt liegenden

Stirnrädern versehen, die zwei Stirnräder auf der Kurbelwelle *e* drehen. Diese besteht aus zwei Wellenstücken, auf denen die soeben genannten Stirnräder festsitzen, und einem beide Räder verbindenden Bolzen, der als Kurbelwarze dient. Das Triebwerk ist auf Abb. 1194 nochmals dargestellt, wo *e* die Kurbelwellenmitte und *k* den Bolzen, der die beiden Stirnräder als Kurbelwarze verbindet, bedeuten. Um diese Kurbelwarze kann der Knetarm *a* frei schwingen; *a* ist mit dem Hebel *i* verbunden. Bewegt sich die Kurbelwarze *k* in der Richtung des eingezeichneten Pfeiles, so beschreibt das äußerste Ende des Knetarmes *a* die in Abb. 1194 gestrichelte Kurve, d. h., das Knetarmende bewegt sich längs des Trogbodens in fast gerader Linie nach außen, erhebt sich dann rasch bis über den Trogrand und sinkt wieder bis zum Trogboden. Der Knetarm schiebt also den in seinem Bereich befindlichen Troginhalt gegen die Trogwand.

Die Schaufelknetmaschinen arbeiten mit einer oder zwei sich in einem Trog gegen einander drehenden Knetwellen beispielsweise nach Abb. 1195. Das dem einen Flügel ausweichende Gut gelangt zum Teil in den neben ihm befindlichen Hohlraum und wird dann wieder zurückgedrängt. Die beiden Flügel drehen sich mit verschiedenen Geschwindigkeiten, die etwa im Verhältnis 1 : 2 stehen.

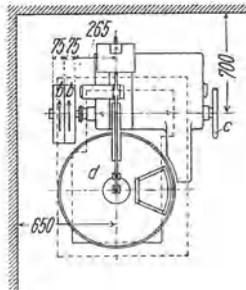
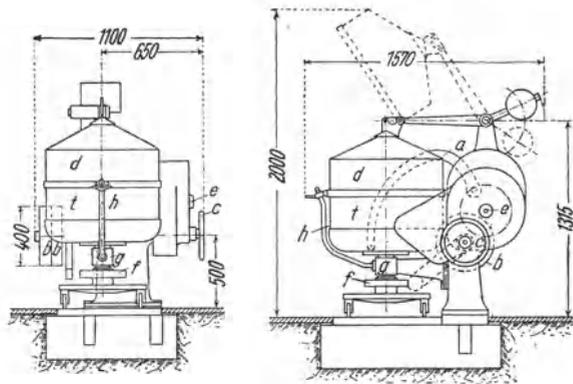


Abb. 1193.

Armknetmaschine.

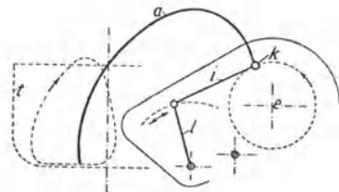
(Nach Fischer-Nachtweh,
Mischen, Rühren, Kneten.)

Abb. 1194.

Triebwerk eines Armkneters.

a Knetarm, *k* Kurbelbolzen,
e Kurbelwellenachse, *l* Lenker,
i Hebel, *t* Trog.

Schaufelknetmaschinen werden nicht nur zum Kneten teigiger, zäher Massen, wie Kitten, Pasten usw., sondern auch zum Durchmischen feinkörniger oder staubförmiger Stoffe insbesondere dann verwendet, wenn diese zur Klumpenbildung neigen. So werden bisweilen Glasmassen für Sondergläser in Schaufelknetmaschinen verarbeitet.

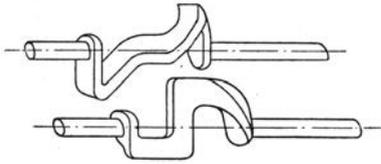


Abb. 1195. Knetwellen.

Eine normale Schaufelknetmaschine ist auf Abb. 1196 dargestellt. Die beiden Antriebsscheiben *b* und *c*, deren Drehzahl etwa 150/min beträgt, drehen sich, wie durch Pfeile angedeutet ist, in entgegengesetzter Richtung, indem sie durch einen offenen und einen ge-

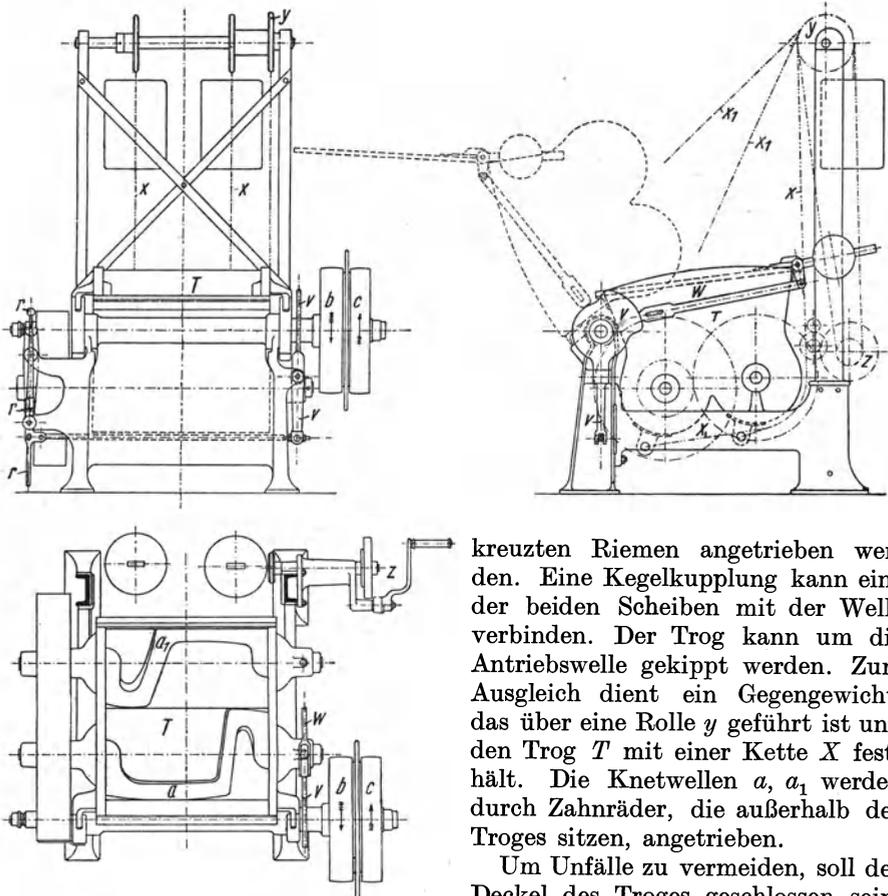


Abb. 1196. Schaufelknetmaschine.
(Nach Fischer-Nachtweh.)

kreuzten Riemen angetrieben werden. Eine Kegelkupplung kann eine der beiden Scheiben mit der Welle verbinden. Der Trog kann um die Antriebswelle gekippt werden. Zum Ausgleich dient ein Gegengewicht, das über eine Rolle *y* geführt ist und den Trog *T* mit einer Kette *X* festhält. Die Knetwellen *a*, *a*₁ werden durch Zahnräder, die außerhalb des Troges sitzen, angetrieben.

Um Unfälle zu vermeiden, soll der Deckel des Troges geschlossen sein, solange die Knetwellen sich drehen, was dadurch erreicht wird, daß es unmöglich gemacht ist, in der Arbeitslage des Troges die Maschine einzurücken, bevor der Deckel geschlossen ist, und ebenso den Deckel zu öffnen, solange die Werkzeuge arbeiten. Auch

der Deckel ist mit einem Gegengewicht versehen. An einem Hebel an der Deckelachse ist die Stange w angelenkt, die am Trog durch einen in einen Schlitz der Stange w greifenden Stift geführt wird. Die Stange w ist an ihrem unteren Ende gegabelt. Das obere Ende des Hebels V ist zu einer Platte ausgebildet, die am Außenrande als Daumenscheibe gestaltet ist. Das gabelförmige Ende der Stange w liegt nun dieser Daumenscheibe so gegenüber, daß in der Mittellage dieser, wenn also der Betrieb ruht, die Gabel über die Daumenscheibe geht, der Deckel also nach Belieben geöffnet werden kann. Ist jedoch die Maschine eingerückt, befindet sich also der Hebel V mit der Daumenscheibe in einer Endlage, so hindert diese das Öffnen des Deckels oder, wenn der Deckel offen ist, das Einrücken des Getriebes. Das Entleeren des Troges können die Mischwerkzeuge unterstützen, weshalb die Gestalt der Daumenscheibe so gewählt ist, daß die Wellen bei aufgekipptem Trog auch bei geöffnetem Deckel sich drehen können. (Siehe auch *Fischer-Nachtweh*, S. 28, 29.)

Die Ansicht einer Schaukelknetmaschine von Werner & Pfeleiderer, Stuttgart-Cannstatt, mit Dreischeiden - Wendegetriebe für etwa 38 l Fassungsvermögen mit geöffnetem Schutzdeckel und mit gekipptem Trog, mit der man pulver- und teigartige Stoffe etwa bis zur Zähigkeit des Glaserkittes verarbeiten kann,

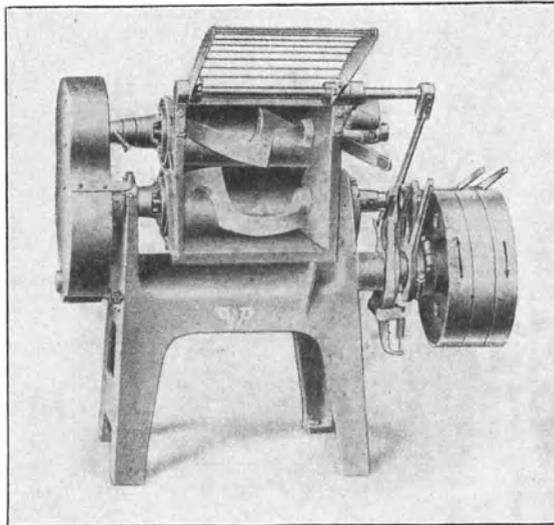


Abb. 1197. Knetmaschine (Werner & Pfeleiderer).

zeigt Abb. 1197. Sie kann mit Heizung oder Kühlung, mit Einsätzen aus verschiedenen Baustoffen und mit dichtschießendem Deckel geliefert werden.

Ein Gummikneter, der etwa 180 kg Rohkautschuk oder 200—400 kg Mischung verarbeiten kann, ist auf Abb 1198 in gekippter Lage dargestellt (Werner & Pfeleiderer). Die Knetdauer beträgt etwa 45 min, der höchste Kraftbedarf etwa 200—250 PS und der gesamte Energieverbrauch bei einer Knetung etwa 60—70 kWh. Der Aufwand für Bedienung ist gegenüber den sonst in der Gummiindustrie üblichen Walzwerken erheblich vermindert. — Für bestimmte Zwecke kann es vorteilhaft sein, mit Überdruck zu kneten. Da man dann den Inhalt des Trogs mit Überdruck hinein- und herausdrücken kann, braucht der Trog nicht kippbar zu sein. Die Ausführung eines Hochdruckkneters (Gummikneters) von Werner & Pfeleiderer, siehe Chem. Apparatur 1933, S. 48. Trogehäuse und (fest aufschraubbarer) Deckel bestehen aus Stahlguß und sind mit kräftigen Rippen versehen. Zur Entleerung sind vier Ventile am Trogboden vorgesehen. Ähnliche Maschinen dienen auch zum Kneten unter Unterdruck.

Zur Herstellung von Viscose in geschlossener Apparatur dient die auf Abb. 1199 dargestellte Vakuum-Xanthat-Knetmaschine (Chem. Apparatur 1936, S. 157), die in einem Arbeitsgang Viscosemengen bis zu 15000 l erzeugen kann (Werner & Pfeleiderer). Sie wird ausgeführt für einen Zellstoffeinsatz von 230—250 kg mit 2700 l, für 500—550 kg mit 5700 l, und für 1250 bis 1500 kg mit 15000 l Inhalt. Ähnlich wie bei den oben beschriebenen Maschinen drehen sich in einem rechteckigen Trog, der unten in einen aus zwei Halbzylindern gebildeten Boden übergeht, zwei Knetwellen aus Stahl. Der vor-

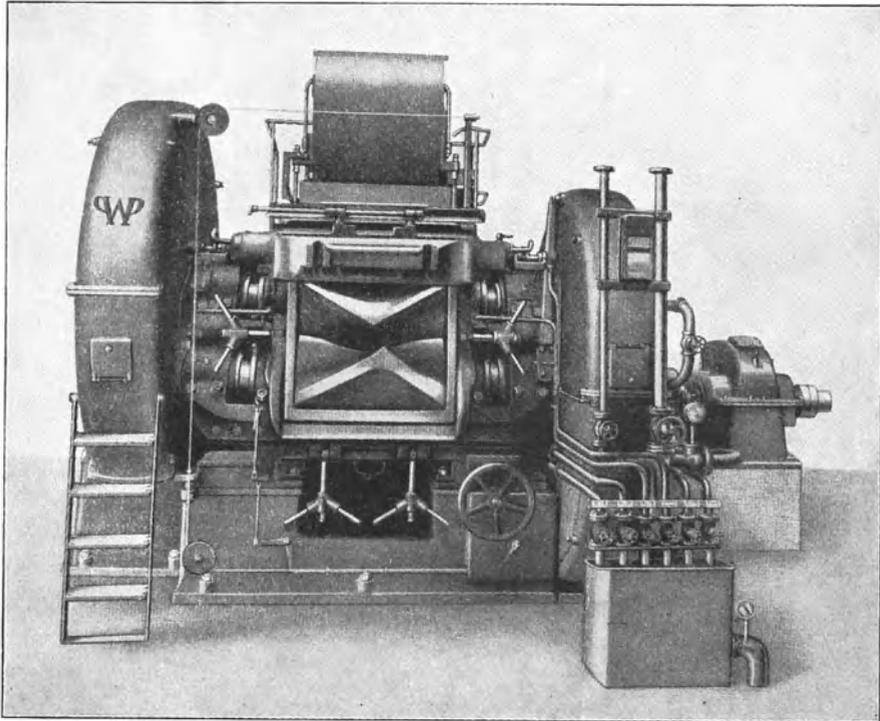


Abb. 1198. Gummiknetter (Werner & Pfeleiderer).

dere Knetflügel macht rund 23, der hintere rund 16 Umdrehungen in der Minute. Mit Hilfe eines geeigneten Motors kann die Geschwindigkeit während des Lösevorganges zur Beschleunigung der Homogenisierung verdoppelt werden. Zur Unterstützung des Lösens ist ferner oberhalb der Knetflügel ein senkrecht angeordnetes Rührwerk angeordnet, dessen Antriebsmotor auf dem Trogdeckel sitzt. Das Rührwerk kann von Hand hoch- oder heruntergedreht werden, um eine gute Durchmischung der oberen und unteren Schichten im Trog zu erreichen. Zur Entleerung des Kneters befinden sich an der tiefsten Stelle der beiden Mulden zwei Bodenventile, die mit einem Dreiweghahn (s. Hähne) verbunden sind, um die fertige Viscose in die Sammelleitung zu geben, oder beim Auswaschen das Spülwasser in den Kanal zu leiten. Die Stopfbüchsen sind nach innen angeordnet. Als Packung hat sich Talkum-

Asbestschnur bewährt. Für einen Zellstoffeinsatz von 230 kg steigt der Kraftbedarf des Antriebsmotors während der Sulfidierung von 10,5 kW auf 17,5 kW. (S. auch *A. Wehrung*, Chem. Apparatur 1936, S. 157.)

Bei den Schaufelknetmaschinen werden bisweilen die vier Stopfbüchsen, die zur Abdichtung der Durchführungen der Knetwellen durch die Trogwände erforderlich sind, als Nachteil empfunden. So rührt man beispielsweise in der Dynamitindustrie das Nitroglycerin von Hand mit den Zuzuspulvern an, bevor man es in Schaufelknetmaschinen gibt, da das Eindringen von Nitroglycerin in die Stopfbüchsen gefahrbringend ist.

Die Stopfbüchsen werden durch Verwendung senkrechter Knetwellen vermieden. (Abb. 1200). Der fahrbare Trog ist für Heizung oder Kühlung eingerichtet.

Die Knetwellen können gehoben und gesenkt werden. Diese Maschine hat besonders in der Dynamitindustrie weite Verbreitung gefunden.

Eine andere Bauart ist die der Schraubenflügelknetter, bei denen eine Anzahl schräggestellter Schaufeln an einer senkrechten Welle befestigt sind. Damit sich das Gut nicht mitdreht, sind an den Wänden oft feststehende Flügel oder Rippen angebracht. Das Gut wird oben eingeschaufelt und verläßt durchgeknetet unten durch die Austrittsöffnung die Maschine. Die Welle macht etwa 60–120 U/min. Der Kraftbedarf beträgt bei einem Zylinderdurchmesser von 350 mm etwa 3 PS, bei einem Durchmesser von 800 mm etwa 9–12 PS, wobei die stündliche Durchschnittsleistung im ersten Fall etwa 2 m³, im zweiten etwa 10 m³ Gut beträgt. Derartige Knetmaschinen werden besonders in der Ton- und Schamotteindustrie verwendet. Sind Steine oder harte Knollen in dem Gut vorhanden, so muß dieses erst auf Kollergängen oder anderen Zerkleinerungsmaschinen vorbereitet werden, bevor es in die Knetmaschinen gebracht wird. Ein derartiger Schraubenknetter ist schematisch auf Abb. 1201 dargestellt. Zu diesen Maschinen gehören auch die sogenannten Strangpressen, die das Gut mit Hilfe schneckenartiger Wellen ununterbrochen aus einem Mundstück nach Art einer Düse herauspressen, und die sogenannten Wölfe, bei

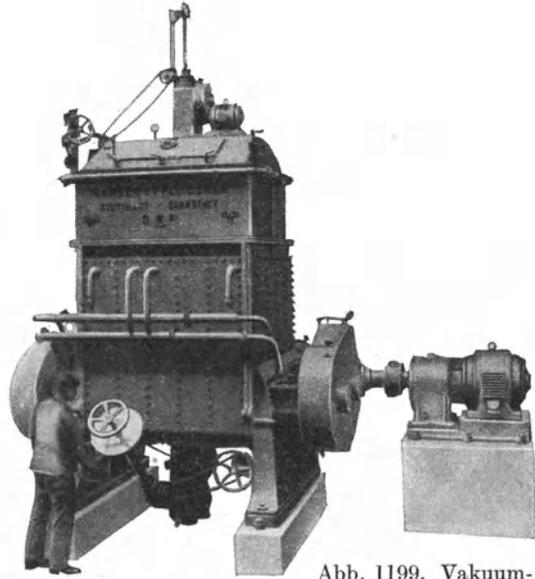


Abb. 1199. Vakuum-Xanthat-Knetmaschine (Werner & Pfleiderer).

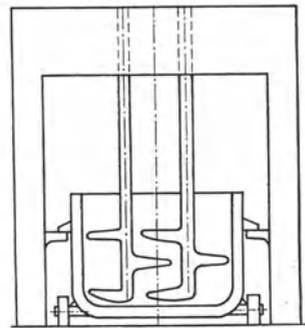


Abb. 1200. Knetmaschine mit senkrechten Wellen.

denen das Knetgut mit Hilfe einer Schnecke durch eine mit Löchern versehene Scheibe gedrückt wird. Die Schraubenknetter werden sowohl mit waagerechter als auch mit senkrechter Welle ausgeführt, die Strangpressen in der Regel nur mit liegender Welle.

Zum Durcharbeiten von keramischen Massen und Fetten dienen Knetmaschinen, die auf einem waagerechten, sich drehenden Teller das zu knehende Gut in Form eines Ringes oder einer Scheibe aufnehmen und dieses mit Walzen oder mit Schaufeln besetzten Walzen solange bearbeiten, bis der gewünschte Endzustand erreicht ist. Bei solchen Maschinen sind beispiels-

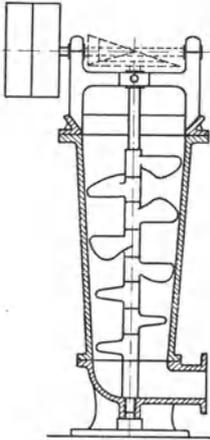


Abb. 1201.
Schraubenknetter.

wise waagerechte und senkrechte Walzen nacheinander angeordnet, so daß der auf dem Teller umlaufende Massering in ständigem Wechsel gestaut und wieder zusammengedrückt wird. Dabei kommt es vielfach lediglich darauf an, eine gleichmäßig dichte und von Luftblasen freie Masse zu erhalten. In der Margarineindustrie verwendet man zum Kneten Walzen, die mit Vorsprüngen oder schaufelartigen Erhebungen versehen sind.

Zum Durchmischen pulverförmiger Stoffe mit Flüssigkeiten und besonders zum Durchkneten sehr zäher, elastischer Massen werden oft Walzenstühle (s. Walzwerke) verwendet, wobei es meist weniger auf die Durchmischung als auf eine nochmalige Zermahlung der festen Stoffe ankommt. Derartige Walzenstühle benutzt man in der Farben-, Seifen-, Schuhcreme-, Linoleum-, Gummi- und Schokoladenindustrie. Die Walzen werden oft heiz- oder kühlbar eingerichtet.

Zum Kneten von Kautschukmassen dienen in der Gummiindustrie als sog. Mastikatoren auch Maschinen, bei denen eine Walze in einem kräftig gebauten Trog umläuft. Der Knetvorgang wird dabei zwischen der Walze und den Trogwänden durchgeführt.

Lit.: *H. Fischer u. A. Nachtweh*, Mischen, Rühren, Kneten (2. Aufl., Leipzig 1923, Spamer). — *Eckelt-Gassner*, Projektierungen und Apparaturen für die chemische Industrie, I. Gr. (Leipzig 1926, Spamer).
Thormann.

Kobalt wurde während des Weltkrieges als Ersatz für Nickel für Überzüge auf Eisen verwendet. Da es teurer ist als Nickel, dürften Kobaltüberzüge kaum noch in Verwendung sein. In ihrer chemischen Beständigkeit sind sie den Nickelüberzügen gleichzustellen. Als selbständiger Werkstoff hat Kobalt keine Bedeutung, wohl aber als Legierungszusatz (s. auch Hartstoffe, Stellite).

Kobaltlegierungen, s. Stellite.

Ra.

Kocher. Als Kocher bezeichnete Apparate dienen in den verschiedensten Ausführungsarten zur Wärmebehandlung fester Stoffe mit Flüssigkeiten. Sie bestehen aus einem Gefäß oder einem Behälter und sind mit einer Feuerung (s. Feuerungsanlagen) verbunden oder mit einer geeigneten anderen Beheizungs- vorrichtung (s. d.) versehen. Entsprechend den jeweiligen Verwendungszwecken haben sich zahlreiche Bauformen eingeführt. So kann man feststehende und kippbare, offene und geschlossene Kocher unterscheiden. Neigt die Flüssigkeit zum Überkochen, beispielsweise durch Schäumen, so ist ein hoher Steigraum

erforderlich. Ist dies nicht der Fall, so kann eine flache, schalenartige Ausführung zweckmäßig sein. Für einfache, mit atmosphärischem Druck betriebene Kocher sieht man der einfachen Ausführung wegen oft Doppelböden (s. d.) vor.

Einen kleinen kippbaren Kochkessel der Firma Fr. Neumann, Berlin, den man in zahlreichen Gewerbezweigen

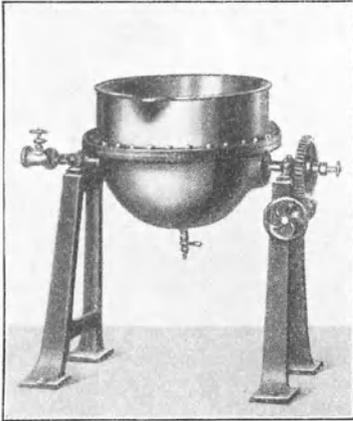


Abb. 1202. Kippbarer Kochkessel (Neumann).

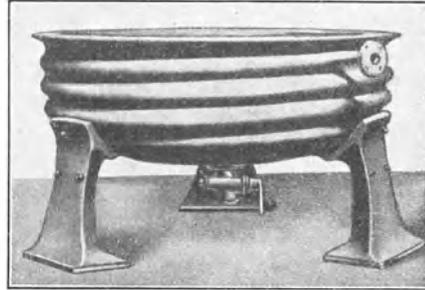


Abb. 1203. Kochapparat mit angeschweißten Heizkanälen (Neubäcker).

für die verschiedensten Zwecke verwendet, zeigt Abb. 1202. Flache, größere Kocher erhalten zur Entleerung an der tiefsten Stelle meist einen Auslaufhahn, beispielsweise nach Abb. 1203 (Paul Neubäcker, Danzig). Dieser Kocher ist mit angeschweißten Heizkanälen versehen.

Für viele Zwecke haben sich Frederking-Apparate (s. d.) bewährt.

Soll die zu kochende Masse in Bewegung gehalten werden, so baut man eine Rührvorrichtung (s. d.) ein oder bildet den Apparat als Kugelkocher (s. unten) aus. — Einen Apparat, der so wohl zum Kochen als auch zum Mischen brauchbar ist, zeigt Abb. 1204 (Volkmar, Hänig & Co., Heidenau). Der Kochkessel ist kippbar eingerichtet. Das Rührwerk sowie den Schutzdeckel muß man vor dem Kippen heraus-schwenken.

Zum Einleiten von Dampf beim Kochvorgang dienen Einblasrohre (s. d.). Kocher, die mit Überdruck betrieben werden, gelten im Sinne der polizeilichen Vorschriften als Dampfässer (s. d.). Zum Kochen unter Hochdruck benutzt man sog. Autoklaven (s. d.) oder, wenn Wasserdampf einzuleiten ist, auch Dämpfer (s. d.) verschiedener Bauart.

Die größten Kocher verwendet die Zellstoffindustrie zum Aufschließen von Holz oder cellulosehaltigen Stoffen. Für die meist übliche Sulfitkochen benutzt man in der Regel stehende, aus Stahlblechen genietete Behälter, die mit einer säurefesten Ausmauerung versehen sind, wie Abb. 1205 mit einem

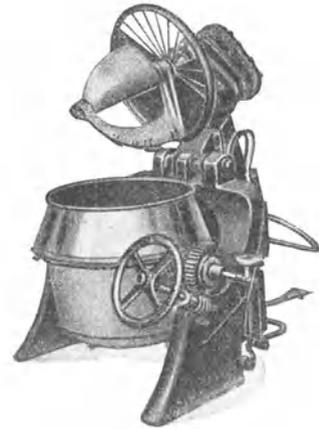


Abb. 1204. Koch- und Mischmaschine für elektrischen Antrieb (Volkmar, Hänig & Co.).

Beispiel der Tonwarenfabrik Biebrich A.-G., Biebrich a. Rh., zeigt. Zum Füllen der Kocher aus den über ihnen angeordneten Bunkern hat man besondere Kocherfüllapparate entwickelt, die mit Druckluft oder Dampfstrahl die Späne in den Kocher treiben. Während des Kochens verschließt ein mit Schrauben gehaltener Deckel die obere Öffnung und ein großes Ventil die untere Ausblaseleitung. Vor dem Einlassen der Lauge treibt man die Luft durch Einblasen von Dampf aus. Die für die Kochung notwendige Wärme führt man durch unmittelbares Einleiten von Dampf oder mittelbar durch Heizschlangen zu, die sich im Kochgefäß befinden. Die Gesamtkochzeit hängt von der Größe des Kochers und dem Kochverfahren ab. Bei dem Ritter-Kellner-Verfahren beträgt sie etwa 8—9 Stunden. Um im gesamten Kocherraum gleiche Reaktionsbedingungen, insbesondere eine gleichmäßige Temperaturverteilung bei möglichst großer Füllhöhe zu erhalten, kann man die Kochlauge im Kocher zwangsläufig umlaufen lassen, indem man sie mit einer Pumpe, beispielsweise am unteren Ende des Kochers, über ein Sieb ansaugt und an der entgegengesetzt liegenden Stelle, also z. B. oben, wieder in den Kocher hineindrückt. Umlaufleitung und -pumpe kann man unmittelbar in den Kocher einbauen. Zweckmäßiger ist es, sie aus dem Apparat herauszuführen und die Pumpe außerhalb des Apparates aufzustellen. Man kann dann in die Leitung einen Röhrenerhitzer einbauen und so mittelbar Wärme zuführen, ohne daß die Kochlauge sich verdünnt, wobei man gleichzeitig den Vorteil hat, daß das Kondenswasser wieder zur Kesselspeisung verwertet werden kann. Einen derartigen nach dem Brobeck-Verfahren arbeitenden Kocher zeigt Abb. 1206 (Z.VDI 1933, S. 1193).

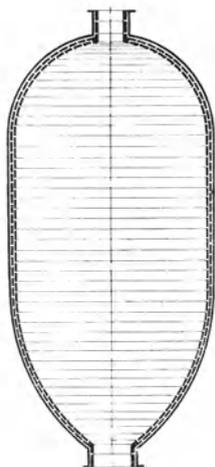


Abb. 1205. Säurebeständige Auskleidung eines Cellulosekochers mit doppelter Plattenlage (Thonw. Biebrich A.-G.).

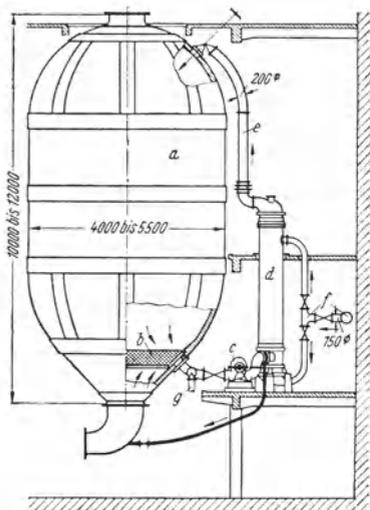


Abb. 1206. Kocher nach Brobeck.
 a Kocher, e Umlaufleitung,
 b Ringsieb, f Dampfzuleitung,
 c Pumpe, g Saugleitung,
 d Röhrenerhitzer,

Festigkeitsverhältnisse und damit geringe Wandstärken. Weiterhin ist die Kugelform besonders geeignet zur Aufnahme einer Steinauskleidung zum

Schutze der inneren Wandungen gegen chemische Angriffe. Infolge der Drehung verteilt sich die Kochlauge gleichmäßig über den gesamten Kocherinhalt. Bisweilen sind im Inneren noch Mitnehmer angebracht, die ein Zusammenballen des zu kochenden Stoffes verhindern sollen. Zum Antrieb ist auf einem der beiden Drehzapfen ein Schnecken- oder Zahnrad aufgesetzt. Zum Füllen und Entleeren sind meist zwei gegenüberliegende Mannlöcher vorgesehen, die während des Kochvorgangs durch angeschraubte Deckel verschlossen sind. Die Laufzapfen enthalten Bohrungen zur Aufnahme der Dampfzuführungen, die mit Stopfbüchsen nach außen abgedichtet sind. Nach Bedarf sind in den Zapfen auch Rohre zur Abführung entstehender Gase angeordnet.

Kugelkocher eignen sich ihrer Bauart nach nur für kleinere Leistungen. Sind große Mengen zu verarbeiten, so ist man gezwungen, mehrere Kugelkocher nebeneinander aufzustellen.

Der Kochvorgang hat oft den Zweck, den Wassergehalt der Kochflüssigkeit durch Verdampfen eines Teiles der Flüssigkeit zu verringern. Hierzu dienen außer den einfachen Kochern, die sich für derartige Zwecke nur in beschränktem Umfang eignen, Abdampfvorrichtungen (s. d.) verschiedener Art, insbesondere Abdampfschalen (s. d.) und Einkörperverdampfer (s. d.) neben den sonstigen Verdampfern (s. d.).

Siehe auch Keramische Werkstoffe (Abschnitt IV).

Thormann.

Lit. Chem. Apparatur: *W. Bergs*, Über die Ausmauerung von Sulfitzellstoffkochern (1916, S. 109).

Kohlenstoff ist ein im Apparatebau häufig gebrauchter Baustoff. Erinne-
 re sei nur an die Verwendung für Elektroden der verschiedensten Art. Schleifkontakte, Tiegel, Rohre, Kohlenstoffsteine und Dichtungsringe.

Von den Modifikationen des Kohlenstoffes kommt nur die graphitische (trigonale) für die Verwendung in Betracht, wobei unter graphitisch der eigentliche Graphit und auch der sog. amorphe Kohlenstoff zu verstehen sind.

Der Graphit ist ein Naturprodukt, dessen hauptsächlichste Fundorte Ceylon, Madagaskar und in Deutschland Bayern (Passau) sind. Die ebenfalls verwendete Retortenkohle entsteht als Nebenprodukt bei Vergasung von Kohle. Ihre Menge und namentlich ihre Form genügen aber den Ansprüchen der Technik nicht, so daß man zur Herstellung künstlicher Kohlen übergegangen ist. Zu diesem Zwecke werden gemahlene Retortenkohle, Anthracit, Petrolkoks und etwaige andere kohlenstoffhaltige Materialien allein oder in Mischung mit einem Bindemittel (gewöhnlich Steinkohlenteer, aber auch Zuckerlösungen, Melasse u. dgl.) unter hohem Druck (bis 500 at) in Formen gepreßt und — durch Kohlepulver geschützt — in Öfen auf 1200—1400° erhitzt. Durch die vielen möglichen Variationen im Herstellungsgang kann man natürlich die verschiedensten Produkte erzeugen und dann für die jeweilige Verwendung die beste Auswahl treffen. Für die Zwecke des Apparatebaues sind feste, aber noch bearbeitbare, möglichst wenig poröse Sorten (über Durchlässigkeit s. *F. Hoffmann*, Chem. Fabrik 1936, S. 96) die brauchbarsten. Durch nochmaliges hohes Erhitzen (Widerstandsheizung, Elektroden dienen als Widerstände) gelang es *Acheson*, die künstlichen Kohlen in Graphit überzuführen und dadurch eine weitere Verbesserung ihrer Eigenschaften zu erzielen.

Physikalische Eigenschaften. Wärmeleitfähigkeit:

Graphit (Krystall)	0,1055 cal/cm · sek · Grad bei 50°,
Retortenkohle	0,0103 cal/cm · sek · Grad bei 0°.

Die aus Graphit hergestellten Gefäße und Elektroden haben nicht die hohe Wärmeleitfähigkeit wie der oben angegebene Graphitkrystall. Vielmehr ist diese Eigenschaft von der Pressung und Mischung des verwendeten Graphits abhängig. Gewöhnlich liegt der Wert 10—20 Proz. über dem von Retortenkohle.

Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient:

Lichtkohle I	0,0000015.
Lichtkohle II	0,00000032.
Kohlenstoffplatten (zum Ausmauern)	0,0000050—54.
Graphit	0,0000244 von — 190 bis + 17°.

Elektrischer Widerstand:

Gasretortenkohle	0,0069 Ohm/cm bei 0°.
Sibirischer Graphit	0,00122 Ohm/cm bei 0°.
Bogenlichtkohle	0,00403 Ohm/cm bei 0°.
Kohlen von Siemens	0,0095 Ohm/cm bei 0°.

Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes:
0,0008/Grad.**Wärmeleitfähigkeit von Kohlenstoffplatten:**

3,5—4 kcal/m · h · Grad bei 100—200°.

Druckfestigkeit von Kohlenstoffplatten:

500—600 kg/cm².

Korrosion. Kohlenstoff ist chemisch sehr widerstandsfähig. Bei gewöhnlichen Temperaturen wirken nur einige Agenzien auf Kohlenstoff ein (z. B. Fluor, Chromsäure und Unterchlorige Säure). Bei etwas erhöhter Temperatur reagiert Graphit nur mit den stärksten Oxydationsmitteln, wie mit Mischungen von Salpetersäure + Kaliumchlorat (Bildung von Graphitsäure und Mellithsäure) und mit Permanganatlösungen. Von 300° ab wirken auch Sauerstoff und Wasserdampf auf Kohlenstoff ein.

Es interessiert an dieser Stelle hauptsächlich das Verhalten von Kohlenstoff in anodischer Beziehung. Molekularer Sauerstoff reagiert, wie schon erwähnt, unter gewöhnlichen Umständen mit Kohlenstoff ähnlich wie Schwefel, Wasserstoff und Metalle erst bei hohen Temperaturen. Anders verhält sich der anodische Sauerstoff, der stets in geringerem oder größerem Maße die Kohleelektroden verbrennt. Über die hier vorliegenden Verhältnisse berichtet *F. Foerster* (Elektrochemie wässriger Lösungen [Leipzig 1922, Barth]), dessen Angaben die nachstehenden Ausführungen zugrunde liegen. In 20 Proz. Schwefelsäure werden bei gewöhnlicher Temperatur 90 Proz. des entwickelten Sauerstoffs durch Verbrennung der Elektrodenkohlen verbraucht. In Natronlauge (10 Proz.) ist der Angriff geringer (40—75 Proz. O₂ verbraucht), steigt aber mit der Temperatur stark an, so daß bei 50—60° aller Sauerstoff zur Verbrennung der Kohle verbraucht wird. Die Stärke der Oxydation hängt von der Art der Kohlen ab. Poröse und aus Kohlenstoff in fein zerteiltem Zustande (sog. amorphem Kohlenstoff) bestehende Elektroden werden stärker korrodiert als solche, die aus dichterem und gröber krystallinem Material (Graphit) bestehen. Gleichermassen sind aschearme Produkte den aschereicheren vorzuziehen. Bei ungleichmäßigem Material geht noch eine mechanische Zerstörung parallel durch

Abfallen unversehrter Elektrodenteilchen, die von leichter angreifbarem Material umgeben waren. Eine Abspaltung von Teilchen durch Gasentwicklung tritt kaum ein, da kathodisch entwickelter Wasserstoff eine solche Wirkung nicht auslöst. Die Oxydation geht dabei wahrscheinlich über die Adsorption. Graphit wird als schlechter adsorbierendes Material weniger angegriffen als die aus amorphem Kohlenstoff hergestellten Elektroden. Ferner kann durch Imprägnation mit Platinsalzlösungen und nachheriges Glühen oder einfaches Tränken mit Kobaltsalzlösung (Abscheiden von Kobaltsuperoxyd in den Poren während der Elektrolyse) die Haltbarkeit auf das Doppelte bis Dreifache gesteigert werden. Außer einer Porenverstopfung wird durch diese Zusätze die Sauerstoffentwicklung erleichtert und die Einstellung des Adsorptionsgleichgewichtes erschwert. Um die Porosität zu beseitigen, imprägniert *Pomilio* die Elektroden mit Naphthalin oder Chlornaphthalin (Leinöl nicht bewährt). Über den Einfluß der Oxydationsprodukte (Kohlensäure, organische Säuren) sowie über die Wirkung der Porosität (Elektrolyse findet nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Elektrodenmaterial statt) auf die Badzusammensetzung und die Ausbeuten an den gewünschten Stoffen ist bei *Foerster* nachzulesen.

In Amerika wird gesinterter Kohlenstoff namentlich beim Bau von *Cottrell*-Anlagen zur Gewinnung des Phosphorperoxydstaubes bei der Phosphorsäureherstellung sowie bei der Schwefelsäure- und Flußsäurefabrikation verwendet (*C. L. Mantell*, Ind. Engng. Chem. 1932, S. 1255; *F. Hoffmann*, Chem. Fabrik 1936, S. 96). Weiterhin haben sich Kohlenstoffplatten bei der Ausmauerung von Zellstoffkochern bewährt (*F. Hoffmann*, s. oben). Vor den keramischen Platten haben sie den Vorteil größerer Temperaturwechsel-Beständigkeit (also geringere Zermürbung) und chemischer Beständigkeit. Da der zur Ausmauerung notwendige Kitt (z. B. Säurekitt „Höchst“, s. Kitte) auf unbehandelten Platten nicht so gut haftet, ist ein Vorstreichen mit Wasserglaslösung sehr von Vorteil.

Lit.: *Acheson*, Electrochem. Ind. 1903, S. 52. — *F. Foerster*, Z. Elektrochem. 1902, S. 143; Chem. Ind. 1903, S. 86, ref. Z. Elektrochem. 1903, S. 286. — *N. Pomilio*, G. Chim. ind. appl. 1925, S. 63. — *E. Schlumberger*, Metallbörse 1926, S. 2411, 2522. — *K. Arndt*, Die künstlichen Kohlen für elektrische Öfen, Elektrolyse und Elektrotechnik (Berlin 1932, Springer). — *F. Foerster*, Elektrochemie wässriger Lösungen (Leipzig 1922, Barth). — *P. Kraus*, Werkstoffe, Abschnitt Kohlenstoff v. *Groschuff* (Leipzig 1921, Barth). — *E. Rabald*, Werkstoffe u. Korrosion II (Leipzig 1931, Spamer). — *E. Ryschkewitsch*, Graphit (Leipzig 1926, Hirzel). — *H. G. Schuchardt*, Beiträge zur Kenntnis der Fabrikation u. Untersuchung von Kohlelektroden (Halle a. S. 1927, Knapp); Kohlelektroden für elektrische Öfen (Berlin 1928, Seydel).

Rabald.

Kohlenstoffstähle, s. Eisen-Kohlenstoff-Legierungen.

Kolbengebläse (s. auch *Gebläse*). Als Kolbengebläse bezeichnet man Kolbenverdichter, die auf der Verdrängerwirkung eines geradlinig hin- und hergehenden Kolbens beruhen und zur Förderung großer Luft- oder Gasmengen auf verhältnismäßig geringe Drücke bestimmt sind. Sie sind grundsätzlich in ihrem Aufbau den Kolbenkompressoren (s. d.) ähnlich. Insbesondere bezeichnet man als Kolbengebläse die Verdichter, die den Wind zum Betrieb von Hochöfen und anderen Öfen liefern. Da es sich dabei meist um Sonderbauarten für die Metallurgie handelt, soll hier auf diese nicht weiter eingegangen werden. Für andere Öfen, beispielsweise Kalköfen, bevorzugt man, wenn künstlicher Zug erforderlich ist, Gebläse mit umlaufenden Teilen (s. *Gebläse*). Th.

Kolbenkompressoren (Kolbenpresser, Kolbenverdichter; *s. auch Gebläse, Kältemaschinen*). Zum Verdichten von Gasen oder Dämpfen auf höhere Drücke benutzt man Kompressoren, die mit einem hin- und hergehenden Kolben arbeiten, der in einem druckfesten Zylinder läuft. Zum Einlaß der angesaugten und zum Austritt der verdichteten Gase dienen meist selbsttätige Ventile, die im Zylinder oder in den Zylinderdeckeln untergebracht sind. Die Hin- und Herbewegung des Kolbens übernimmt in der Regel ein Kurbeltriebwerk, dessen Welle unmittelbar mit einer Kraftmaschine oder mittelbar durch ein anderes Triebwerk mit dieser gekuppelt ist.

Die Kolbenkompressoren führt man für geringe Drücke einstufig, für höhere Druckunterschiede mehrstufig aus, so daß dann die zu verdichtenden Gase nacheinander zwei oder mehrere Verdichtungsräume durchlaufen und so allmählich den Enddruck erreichen. Die Unterteilung des zu überwindenden Druckgefälles in zwei oder mehrere Stufen hat den Vorteil, daß man Zwischenkühler zur Abfuhr der Verdichtungswärme zwischen die einzelnen Stufen einbauen kann und daß die Kolbenkräfte geringer ausfallen, so daß die einzelnen Teile der Maschine leichter werden. Um den Arbeitsbedarf und die Verdichtungstemperaturen möglichst niedrig zu halten, führt man die Druckverhältnisse in allen Stufen ungefähr gleich groß aus. Das zu wählende Druckverhältnis ergibt sich für x Stufen durch die x -te Wurzel aus dem gesamten Druckverhältnis. Die entstehende Verdichtungstemperatur und Rücksichten, die sich durch das Anwachsen der Herstellungskosten ergeben, begrenzen in der Regel das für eine Stufe ausführbare Druckverhältnis.

Kolbenkompressoren führt man meist in liegender Bauart aus. Nur für schnellaufende Maschinen kleinerer Leistung sieht man auch die stehende Ausführung vor. Mehrstufige, liegende Maschinen baut man mit ein oder zwei Kurbeln, stehende Maschinen mit bis zu 4 Kurbeln. Einstufige Kompressoren kleinerer Leistung für Luft erhalten einen einfachwirkenden Zylinder; für größere Leistungen und für giftige oder riechende Gase sind für diese Maschinen doppeltwirkende Zylinder zweckmäßig. Zweistufige Maschinen führt man entweder mit einem Zylinder und einem abgestuften Kolben oder mit zwei hintereinandergeschalteten Zylindern aus, die mit einem oder zwei Kurbeltrieben verbunden sind. Mehrstufige Kompressoren arbeiten meist mit Stufenzylindern. Mit derartigen abgesetzten Kolben kann man beispielsweise fünfstufige Einkurbelkompressoren mit nur einer Stopfbüchse ausführen, wobei man die Kolbenkräfte weitgehend ausgleichen kann. Sechstufige Kompressoren erhalten meist 2 Kurbeln.

Der Werkstoff der Zylinder besteht bei Drücken bis zu 50 at in der Regel aus Gußeisen, bei über 50 at wendet man Schmiedestücke oder Stahlguß für den Bau der Zylinder an. Derartige Zylinder erhalten meist Laufbüchsen aus Gußeisen.

Der Kolben wird in der üblichen Weise durch Kolbenringe abgedichtet. Nur für sehr hohe Drücke sieht man glatte Plungerkolben vor.

Die Arbeitsweise der Kolbenkompressoren bedingt die Anwendung von Ventilen, die in der Regel selbsttätig arbeiten und meist aus dünnen, federbelasteten Stahlblechplatten bestehen. Die Saugventile öffnen sich, sobald der Druck im Zylinder etwas geringer geworden ist als der Druck vor den Saugventilen, was erst eintritt, wenn die im schädlichen Raum vorhandene zusammengedrückte Luft sich auf die Saugspannung ausgedehnt hat.

Die Druckventile öffnen sich, sobald der Druck im Zylinder größer ist als der in der Druckleitung.

Damit der gewünschte Enddruck nicht überschritten wird, müssen die Kompressoren mit einer Regelung versehen sein. Sie kann durch Offenhalten der Saugventile erfolgen, so daß die angesaugte Luft nach Umkehr des Kolbens wieder in den Saugraum ausgestoßen wird. Eine derartige Leerlaufvorrichtung, die die Kompressorleistung dem jeweiligen Bedarf selbsttätig anpaßt, ist in Abb. 1207 und 1208 dargestellt. Die wesentlichen Teile sind der Druckregler (Abb. 1207) und die Greiferapparate (Abb. 1208), welche die Saugventilplatten anheben (A. Borsig, Berlin). Der Druckregler besteht aus dem Kolben *l*, dem Reglergehäuse *m* und den Reglergewichten *r*, mit denen jeder gewünschte Druck zwischen 2 und 10 at je nach der Zahl der aufgelegten Gewichtplatten eingestellt werden kann.

Der untere Teil des Reglers ist durch eine Rohrleitung mit dem Windkessel zu verbinden. Bei Überschreitung der eingestellten Spannung drückt die Preßluft den Reglerkolben in die Höhe, strömt zu den Greiferapparaten und bewirkt dort, daß die Greifer die Saugventile öffnen. Hierdurch wird die angesaugte Luft beim Rückgang des Kompressorkolbens durch die Saugventile wieder ausgestoßen, so daß der Kompressor leerläuft. Sinkt der Windkesseldruck infolge Luftentnahme, so drücken die Reglergewichte den Reglerkolben in die Anfangsstellung, so daß er die Verbindung zum Windkessel abschließt. Die hinter dem Greiferkolben befindliche Druckluft entweicht durch einen besonderen Kanal selbsttätig ins Freie; die Maschine fördert dann wieder in normaler Weise Preßluft. Muß der Kompressor aus der Ruhe gegen vollen Windkesseldruck anlaufen, so ist er bei Antrieb durch Elektromotor in der Regel zunächst durch Öffnen des Hahnes *v* in der Umlaufleitung *t—v* so lange auf Leerlauf zu schalten, bis der Antriebsmotor seine volle Umlaufzahl erreicht hat. Hierauf ist der Hahn *v* zu schließen.

Bei Antrieb durch Elektromotor ist auch die Anordnung eines selbsttätigen Anlagers möglich,

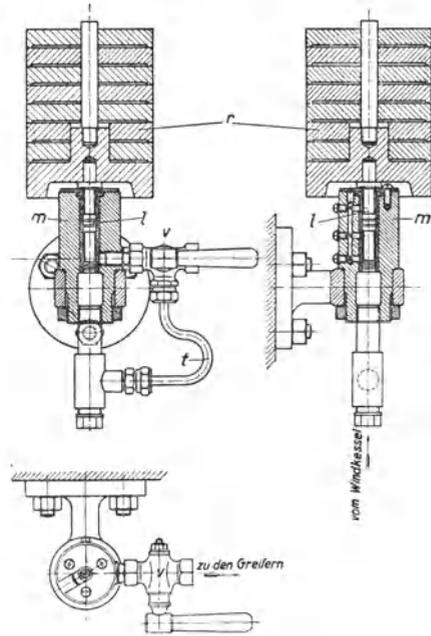


Abb. 1207. Druckregler (Borsig).

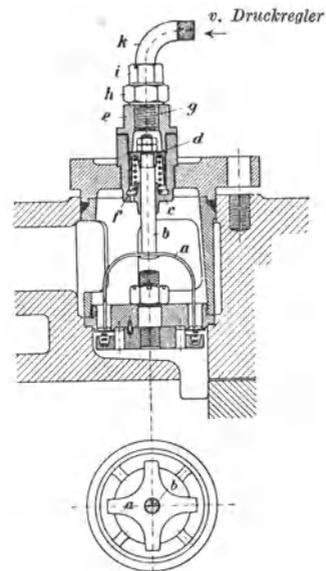


Abb. 1208. Greiferapparat (Borsig).

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| <i>a</i> Greifer, | <i>g</i> Anschlußge- |
| <i>b</i> Greiferstange, | <i>h</i> winde, |
| <i>c</i> Zylinder, | <i>i</i> Mutter, |
| <i>d</i> Kolben, | <i>k</i> Gegenmutter, |
| <i>e</i> Deckelmutter, | <i>f</i> Feder, |

der den Antriebsmotor abschaltet, sobald der Höchstdruck erreicht ist, und einschaltet, sobald ein Mindestdruck unterschritten wird. Bei Antrieb durch Dampfmaschine kann man den Regler der Maschine mit einem Druckregler verbinden und so dauernd die zu liefernde Luft- oder Gasmenge dem Bedarf anpassen. Die Regelung durch Änderung der Drehzahl ist am wirtschaftlichsten. Je mehr die Drehzahl dabei sinkt, um so schwerer muß dabei das Schwungrad des Kompressors sein.

Eine andere Regelungsmöglichkeit besteht darin, daß man die Saugleitung absperrt. Sie kommt jedoch vorwiegend nur für kleine Maschinen in Betracht. Nach Sperrung der Saugleitung hört die Förderung nicht sofort, sondern allmählich auf, bis der zum Regelventil führende Raum nahezu luftleer ist.

Um den Kompressor zur Regelung leerlaufen zu lassen, kann man Umläufe anordnen, die vom Druckstutzen zum Saugstutzen führen und mit einem Ventil verschlossen sind. Öffnet die Regelvorrichtung dieses Ventil, so laufen die Gase hin und her durch die Maschine, die dann lediglich die Strömungswiderstände zu überwinden hat.

Auch den schädlichen Raum, der in den Totpunkten vor dem Kolben noch vorhanden ist, kann man zur Regelung des Kompressors verwenden, indem man den Zylinder durch ein besonderes Ventil mit einem geschlossenen Raum verbindet und damit die angesaugte Gasmenge vermindert. An größeren Maschinen verbindet man häufig eine Greiferregelung mit Zuschaltäumen.

Schließlich kann man in den Zylinderwänden Bohrungen vorsehen, die mit Ventilen verschlossen sind und nach ihrer Öffnung einen Teil der Gase in den Saugraum zurückströmen lassen.

Bei mehrstufigen Kompressoren regelt man vielfach nur in der ersten Stufe.

Zum Ausgleich des Luftverbrauchs schaltet man in die Druckleitung Druckwindkessel ein. Vor die Saugleitung werden zweckmäßig zur Entfernung des Staubes Luftfilter eingebaut.

Die anzusaugende Luftmenge kann in folgender Weise aus den Hauptabmessungen berechnet werden. Es sei:

Q = anzusaugende Luftmenge in m^3/sek .

F = Kolbenfläche (bei mehrstufigen Kompressoren die des Niederdruckkolbens) in m^2 .

s = Hub in m .

η_{vol} = volumetrischer Wirkungsgrad = Verhältnis der angesaugten Menge zum Hubraum.

λ = Lässigkeitzziffer (im Mittel = 0,95, berücksichtigt Verluste durch Undichtheiten usw.).

i = Zahl der arbeitenden Kolbenseiten.

n = Drehzahl/min.

Dann ist:

$$Q = \frac{i F s n \lambda \eta_{\text{vol}}}{60}$$

η_{vol} kann aus einem Druckvolumen-Schaubild für die jeweils gegebenen Werte bestimmt werden, liegt zwischen 0,8 und 0,95 und ist um so kleiner, je größer der schädliche Raum und der Verdichtungsdruck ist. Der Arbeitsbedarf kann berechnet werden, wenn man die Annahme macht, daß die Verdichtung adiabatisch oder polytropisch vor sich geht. Er ist bezogen auf

eine bestimmte Luftmenge und ist nur von dem Anfangs- und von dem Enddruck abhängig. Um 1 m^3 Luft von 1 Atm. auf einen Druck p Atm. zu bringen und fortzudrücken, sind erforderlich:

Enddruck p Atm.	1,5	2	3	4	5	8	10
Arbeitsbedarf für adiabatische Verdichtung mkg	4300	7700	12900	17100	20500	28600	32700
Endtemperatur bei adiabatischer Verdichtung (10° Anfangstemperatur)	45	73	117	151	179	245	279

Würde man bei der Verdichtung die Anfangstemperatur unveränderlich halten können (isothermische Kompression), so wäre der Kraftbedarf erheblich geringer. Man kühlt daher die Kompressoren, insbesondere Zylinder und

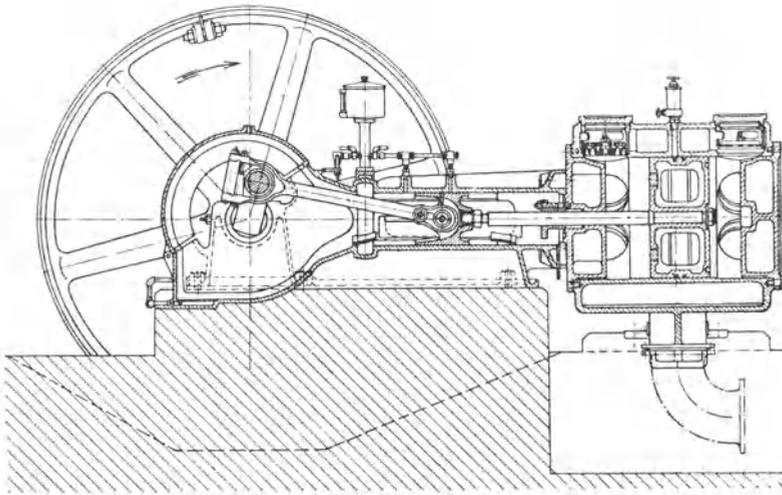


Abb. 1209. Doppeltwirkender Kompressor (Borsig).

Deckel, und sieht außerdem in mehrstufigen Kompressoren Zwischenkühler (s. S. 884) vor, durch welche die von einer Stufe zur nächsten gehende Luft strömt. Mit Zwischenkühlung verläuft die Verdichtung nahezu nach einer Isothermen. Der Kühlwasserbedarf eines Kompressors beträgt etwa 2500 l für 1000 m^3 angesaugte Luft.

Für größere Leistungen werden die Kolbenkompressoren doppeltwirkend gebaut (Abb. 1209). Die Ventile und Anschlußstutzen sind im Zylinder untergebracht, so daß für den Ausbau des Kolbens nur der hintere Zylinderdeckel abzunehmen ist. Von einer Kühlung ist, da der Kompressor nur für Drücke bis zu 1,2 at gebaut ist, abgesehen.

Für Spannungen über etwa 5 at oder 6 at und für Leistungen von etwa $2,4 \text{ m}^3/\text{min}$ werden zweistufige Kompressoren verwendet (Abb. 1210). Zunächst wird die Luft durch die hintere volle Kolbenseite auf den Zwischendruck verdichtet, geht dann durch den Zwischenkühler und wird darauf durch den ringförmigen Kolbenraum auf die Endspannung gedrückt. Der Stufenkolben ist vorn offen und ohne Kolbenstange und Kreuzkopf mit der Kurbelwelle unmittelbar durch die Pleuelstange verbunden.

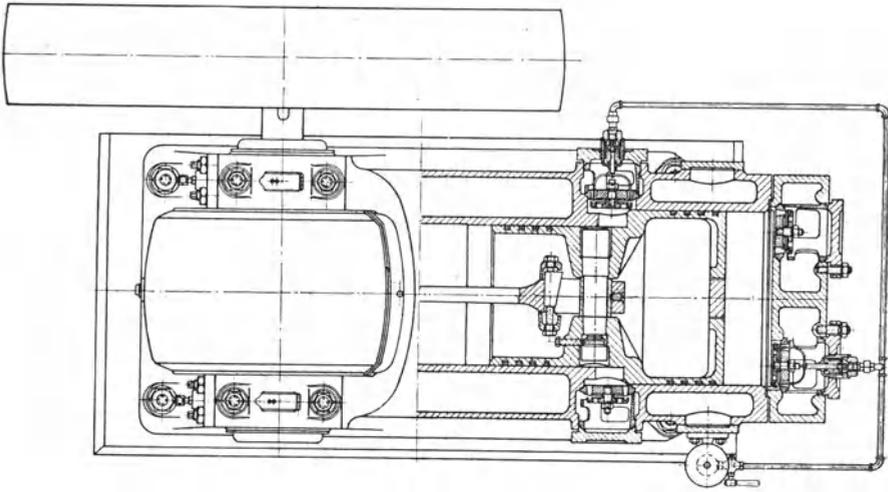


Abb. 1210. Zweistufiger Kompressor (Borsig).

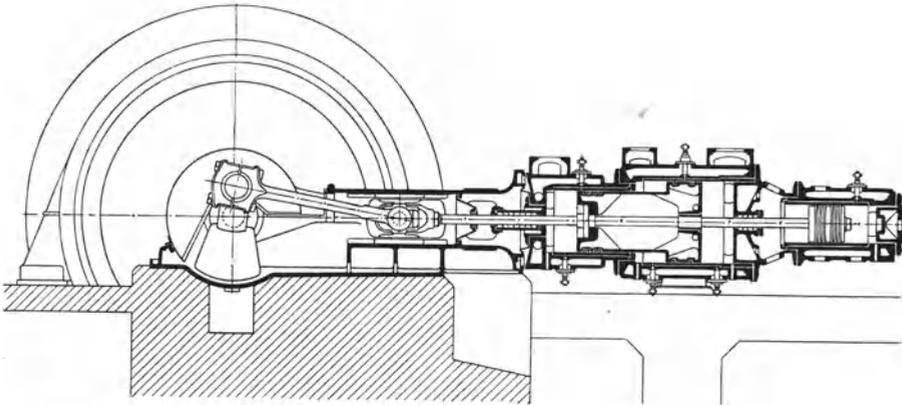


Abb. 1211. Sechsstufiger Gaskompressor, Mitteldruckseite (Gebr. Sulzer).

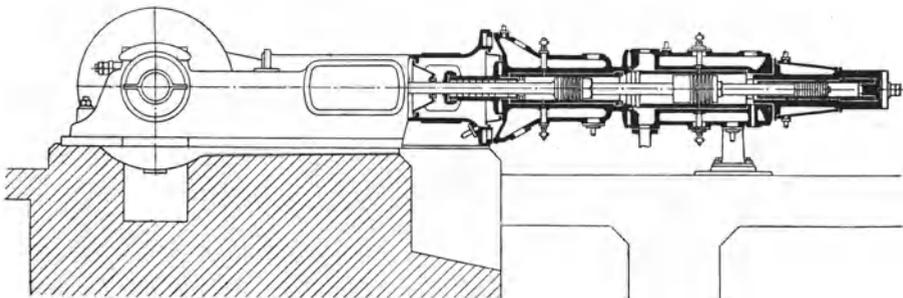


Abb. 1212. Sechsstufiger Gaskompressor, Höchstdruckseite (Gebr. Sulzer).

Auch die vielstufigen Kompressoren, die für die höchsten in der Technik vorkommenden Drücke gebaut werden, haben ähnlich abgestufte Kolben. Einen sechsstufigen Gaskompressor für die Stickstoffindustrie (Bauart Gebr. Sulzer, Ludwigshafen a. Rh.), der für einen Enddruck von 300 at bestimmt ist, zeigt Abb. 1211 und 1212 (Chem. Apparatur 1929, S. 257). Die Maschine ist unmittelbar mit einem Elektromotor gekuppelt und arbeitet mit 2 Kurbeln und entsprechend 2 Zylindergruppen. Alle Zylinder sind mit Kühlmänteln versehen und so angeordnet, daß die Zahl der erforderlichen Stopfbüchsen einen Geringstwert erreicht.

Bei der Beurteilung der Betriebsverhältnisse eines Kolbenkompressors richtet man sich nach den VDI-Regeln für Abnahme- und Leistungsversuche an Verdichtern, die insbesondere für die Feststellung von Gewährleistungen wichtig sind.

Lit. (s. auch bei Gebläse): *A. Hinz*, Thermodynamische Grundlagen der Kolben- und Turbokompressoren (2. Aufl., Berlin 1927, Springer). — *P. Ostertag*, Kolben- und Turbokompressoren (3. Aufl., Berlin 1923, Springer). — *H. Voigt*, Kompressoren für große Kälteleistung (Z. VDI 1927, S. 1145). — *B. W. Müller*, Sulzer Gaspresser für die Herstellung synthetischen Ammoniaks (Chem. Apparatur 1929, S. 257).

Thormann.

Lit. Chem. Apparatur: *F. Bürk*, Die Notwendigkeit der Kühlung an Luftkompressoren und Vakuumpumpen (1921, S. 177). — *E. Krahenen*, Leistungsregler für Luft- und Gaspresser (Kompressoren) (1923, S. 112). — *G. Lehner*, Ausrückvorrichtung für Kolbenluftpresser (1924, S. 98).

Kolbenmesser, s. Flüssigkeitsmesser.

Kollergänge (Rollquetschen; s. auch *Zerkleinerungsmaschinen*) dienen zum Zerkleinern von kopfgroßen Stücken bis zu Feinmehl, hauptsächlich zur Vermahlung von Drogen, Roh- oder Fertigstoffen der chemischen und Sprengmittelindustrie. Die arbeitenden Teile sind die Läufer und die Mahlbahn. Die Läufer sind auf waagerechter Achse drehbar angeordnete, schwere kreisrunde Scheiben oder Räder, auch Kollersteine oder Koller genannt. Die Mahlbahn ist ein flacher kreisrunder Teller, auch Mahlteller oder Bodenstern genannt, der mit einem lotrechten Rand oder Bord versehen ist, um das Abfallen des Mahlgutes zu verhindern. Die Kollersteine üben durch ihr Gewicht einen Druck und durch die Drehbewegung eine reibende Wirkung aus, weil alle Punkte der Räder die gleiche Umfangsgeschwindigkeit haben, sich aber über verschiedenen Durchmesser der Mahlbahn bewegen, woraus sich verschiedene relative Geschwindigkeiten und ein Gleiten anstatt eines Abwälzens ergeben. Die Druckwirkung besorgt die Vorzerkleinerung, die Reibwirkung die Fertigzerkleinerung (Mahlwirkung). Die Drehbewegung erfolgt entweder durch Antrieb der Läuferachse, die die Kollersteine mitnimmt und dadurch das Abwälzen derselben auf der feststehenden Mahlbahn erzeugt, oder durch Antrieb des Mahltellers bei feststehender Läuferachse, wobei die Kollersteine durch Reibung mitgenommen und gedreht werden. Die Kollergänge arbeiten entweder trocken, wobei der Rand des Mahltellers mit Sieben versehen sein kann, oder naß, in welchem Falle die Mahlbahn mit Rosten versehen ist, durch die das zerquetschte Mahlgut, z. B. feuchter Ton, hindurchgedrückt wird. Zum Mahlen im warmen Zustande, z. B. von Teer, Asphalt usw., kann der Mahlteller mittels Dampf erwärmt werden.

Einen Kollergang mit feststehender Mahlbahn zeigt Abb. 1213 in einer freistehenden Ausführung von Joseph Vögele A.-G., Mannheim. Der Mahlteller a besteht aus einzelnen, auswechselbaren Hartgußplatten und ist auf drei Säulen aufgeschraubt. Die Läufer b_1 und b_2 werden durch zwei Schleppkurbeln e_1 (vorn) und eine zweite (hinten, in der Abb. nicht sichtbar) von der Königswelle d mitgenommen, die ihren Antrieb von unten mittels der Kegelräder e_1 und e_2 und der Fest- und Losscheibe f_1 und f_2 erhält (Unterantrieb). Der Läufer b_1 befindet sich näher zur Königswelle als der Läufer b_2 , damit sich der Mahlvorgang auf die ganze Breite der Mahlbahn verteilt. Scharreisen oder Schaber g verteilen das Mahlgut möglichst gleichmäßig auf der Mahlbahn. Ein Scharreisen ist so gestellt, daß das Mahlgut nach dem Aus-

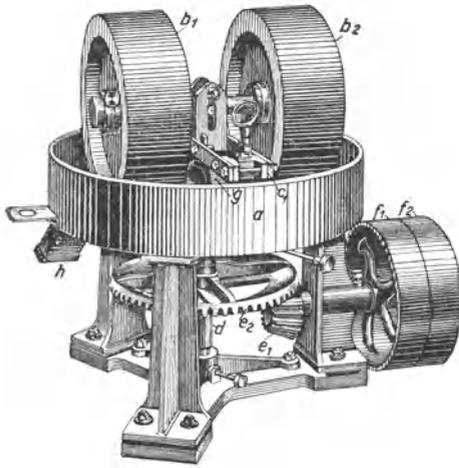


Abb. 1213. Kollergang mit feststehender Mahlbahn für absatzweises Arbeiten (Vögele).

lauf h befördert wird, wo sich ein Sieb befindet, das auf die gewünschte Korngröße eingestellt bzw. gewählt ist. Die größeren Stücke werden weiter befördert und vom zweiten, nach innen gerichteten Scharreisen den Kollersteinen zur wiederholten Bearbeitung zugeführt. Die Scharreisen laufen mit den Läufern um und sind in der Höhe und in der Umlaufrichtung ein- und nachstellbar. Bei diesen kleineren Kollergängen werden die Läufer aus einem Stück mit Hartgußauflfläche ausgeführt. Die beschriebene Ausführung mit Sieb dient für stetige Arbeitsweise, indem das der Maschenweite des Siebes entsprechend gekollerte Mahlgut selbsttätig ausgetragen

wird. Verschließt man jedoch die Austragsöffnung h mit einem Schieber, so arbeitet der Kollergang absatzweise, d. h. solange, bis das ganze aufgegebene Mahlgut die gewünschte Feinheit (Korngröße) aufweist, worauf der Schieber zur Austragung geöffnet wird. Solche freistehende Kollergänge werden mit Läufern von 500—1000 mm Durchmesser und 200—350 mm Breite bei einem Läufergewicht von 200—1000 kg gebaut; die stündliche Leistung beträgt etwa 5000—9000 kg bei einem Kraftaufwand von 0,2—4 PS. Für Naßmahlung werden die Kollergänge mit gemauertem Trog und eingelegten eisernen Bodenplatten ausgeführt. Abb. 1214 zeigt einen solchen in größerer Bauart mit Oberantrieb der Joseph Vögele A.-G. Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung wie in Abb. 1213. Die Schleppkurbeln sind mittels Stahlzapfen an einem zweiseitigen Kopfstück der Königswelle leicht beweglich angeordnet, wodurch jeder Läufer unabhängig für sich auf und ab gehen kann, wenn es die Korngröße des Mahlgutes bedingt. Die Läufer haben einen schweren Gußkern mit auswechselbarem Kokillenhartgußring. Der Läuferdurchmesser beträgt 1200—1800 mm, die Breite 325—450 mm, das Läufergewicht 1500—3000 kg und der Kraftaufwand 6—15 PS.

Die Kollergänge mit fester Mahlbahn finden im allgemeinen beschränkte Anwendung, und zwar zumeist für kleinere Leistungen, da die umlaufenden Läufer infolge ihres großen Gewichtes eine ziemlich hohe Fliehkraft entwickeln, was einen großen Kraftverbrauch, Erschütterungen und vorzeitige Abnutzung der Lagerungen zur Folge hat. Darum sind die Kollergänge mit umlaufender Mahlbahn und fest gelagerten Läufern mehr in Anwendung und hinsichtlich Größe und Leistungsfähigkeit auch weniger beschränkt. Wie Abb. 1215 in einer Ausführung der Esch-Werke, Duisburg, zeigt, ist die Mahlbahn *a* auf der Königswelle *b* aufgekeilt und wird über die Kegelräder *c*₁ und *c*₂ von der Fest- und Losscheibe *d*₁ und *d*₂ angetrieben. Die Läufer *e*₁ und *e*₂ sitzen drehbar auf den beiden Läuferachsen *f*₁ und *f*₂, die in der Mitte mit einer lose um die Königswelle gelegten Schelle *g* verbunden und an den Seitenständern *h*₁ und *h*₂ in lotrechten Führungen *i*₁ und *i*₂ auf und ab beweglich sind. Der Spielraum der Schelle *g* um die Königswelle herum erlaubt den Läuferachsen, sich schräg zu stellen, damit sich die Läufer entsprechend der Korngröße beliebig einstellen können. Ein Querriegel *k* trägt die Scharreisen (s. auch Abb. 1216 mit den Scharreisen *l*₁ und *l*₂), deren Zweck und Wirkungsweise dieselben wie bei den bereits besprochenen Kollergängen sind. Der Mahlteller in Abb. 1215 hat am äußeren Umfang eine Siebbahn *m* zur Aufnahme des Mahlgutes und ist mit auswechselbaren Platten aus Manganhartstahl, Stahlguß oder Kokillenhartguß versehen; die Siebbahn besteht aus auswechselbaren Stahlguß-Siebrahmensegmenten mit aufgenieteten Siebblechen in Hartstahlblech. Die Läufer haben einen gußeisernen Kern *n*, auf dem die Läuferferringe *o* aus Mangan-

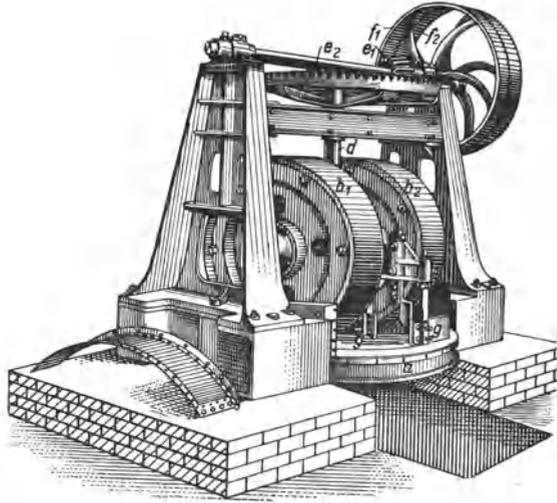


Abb. 1214. Kollengang mit feststehender Mahlbahn für Naßmahlung (Vögele).

Abb. 1215: Kollengang mit umlaufender Mahlbahn und Unterantrieb (Esch-Werke)."/>
 A detailed cross-sectional view of a millstone mill. It shows the millstone (a) on a central shaft (b). The millstone is driven by a pair of bevel gears (c1, c2) connected to a vertical shaft. The millstone has a rotating grinding surface. The millstone is supported by a heavy frame with side stands (h1, h2) and guides (i1, i2). The millstone has a fixed grinding surface. The millstone is supported by a heavy frame with side stands (h1, h2) and guides (i1, i2). The millstone has a fixed grinding surface.

Die Läufer *e*₁ und *e*₂ sitzen drehbar auf den beiden Läuferachsen *f*₁ und *f*₂, die in der Mitte mit einer lose um die Königswelle gelegten Schelle *g* verbunden und an den Seitenständern *h*₁ und *h*₂ in lotrechten Führungen *i*₁ und *i*₂ auf und ab beweglich sind. Der Spielraum der Schelle *g* um die Königswelle herum erlaubt den Läuferachsen, sich schräg zu stellen, damit sich die Läufer entsprechend der Korngröße beliebig einstellen können. Ein Querriegel *k* trägt die Scharreisen (s. auch Abb. 1216 mit den Scharreisen *l*₁ und *l*₂), deren Zweck und Wirkungsweise dieselben wie bei den bereits besprochenen Kollergängen sind. Der Mahlteller in Abb. 1215 hat am äußeren Umfang eine Siebbahn *m* zur Aufnahme des Mahlgutes und ist mit auswechselbaren Platten aus Manganhartstahl, Stahlguß oder Kokillenhartguß versehen; die Siebbahn besteht aus auswechselbaren Stahlguß-Siebrahmensegmenten mit aufgenieteten Siebblechen in Hartstahlblech. Die Läufer haben einen gußeisernen Kern *n*, auf dem die Läuferferringe *o* aus Mangan-

Abb. 1215. Kollengang mit umlaufender Mahlbahn und Unterantrieb (Esch-Werke).

hartstahl aufgezogen und mittels Holzkeilen sicher und elastisch befestigt sind. Der Hohlraum der Läufer dient als Ölbehälter, aus dem ein Schöpfrohr

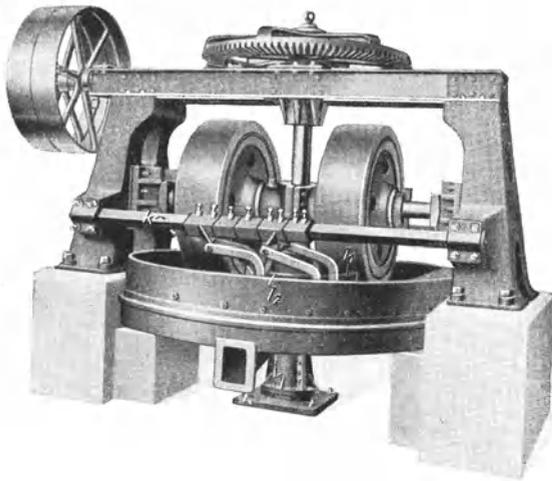


Abb. 1216. Kollergang mit umlaufender Mahlbahn und Oberantrieb (Esch-Werke).

beim Eintauchen in das beständig unten stehende Ölbad eine bestimmte Ölmenge entnimmt und bei der Weiterdrehung auf die Mitte der Lagerstelle ergießt. Das Öl verteilt sich mittels Schmiernuten auf das ganze Lager und fließt an den Lagerenden in den Ölbehälter zurück. Nach einer anderen Ausführungsart (Abb. 1217) sind die Läufer in Gabelhebeln p_1 und p_2 gelagert, die um kräftige Achsen q_1 und q_2 schwingen können. Diese Bauart ermöglicht, daß die beiden Läufer sich unabhängig voneinander heben

und senken können, was beim Vorkommen großer Stücke vorteilhaft ist; außerdem bewegen sich die Läufer in lotrechten Ebenen, also mit waagrecht bleibenden Achsen, wodurch die Abnutzung gleichmäßig vor sich geht. Diese Kollergänge werden mit Läufern von 1000—1800 mm Durchmesser, 300—450 mm Breite und 1200—9000 kg Gewicht ausgeführt; der Tellerdurchmesser beträgt 2000—3400 mm, die stündliche Leistung 2000—5000 kg (je nach der Sieblochung und der Beschaffenheit des Mahlgutes), der Kraftaufwand 10—40 PS.

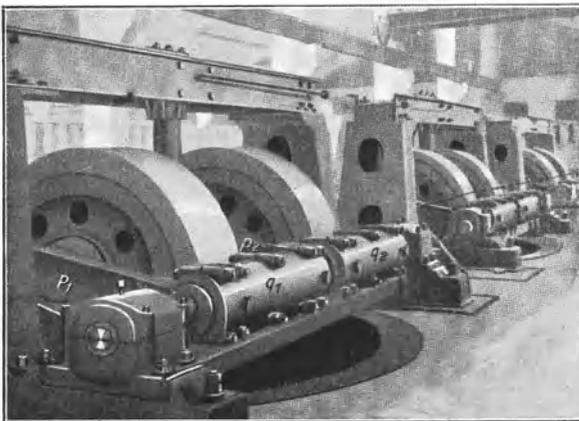


Abb. 1217. Kollergang mit umlaufender Mahlbahn und Lagerung der Läufer in Gabelhebeln (Esch-Werke).

Die zur Überwindung des Gleitwiderstandes eines Läufers erforderliche Arbeit berechnet C. Naske (Zerkleinerungsvorrichtungen und Mahlanlagen [4. Aufl., Leipzig 1926, Spamer]) in folgender Weise. Bezeichnet man mit r_m den Abstand der Läufermitte von der Mittellinie der Königswelle, mit n die minutliche Umlaufszahl (z. B. der Mahlbahn), so ist die mittlere Geschwindigkeit/sek

$$v_m = \frac{2 r_m \cdot \pi \cdot n}{60} .$$

Nimmt man ferner den Koeffizienten der gleitenden Reibung mit μ , die Läuferbreite mit b und das Läufergewicht mit Q an, so ist die Kraft K zur Überwindung des Gleitwiderstandes

$$K = \frac{\mu b Q}{4 r_m}$$

Daraus folgt, daß der Gleitwiderstand mit der Läuferbreite zunimmt, aber mit dem Bahndurchmesser abnimmt. — Für beide Läufer berechnet sich dann die Leistung zur Überwindung des Gleitwiderstandes mit

$$L = 2 K \frac{v_m}{75} \text{ PS.}$$

Für $r_m = 0,51 \text{ m}$, $b = 0,38 \text{ m}$, $Q = 3750 \text{ kg}$, $\mu = 0,34$ und $n = 11 \text{ U/min}$ ergeben sich folgende Werte: $v_m = 0,587 \text{ m/sek}$, $K = 206 \text{ kg}$ und $L = 3,22 \text{ PS}$. Das ist immerhin ein beträchtlicher Arbeitsaufwand, der jedoch bei einer weitgehenden Zerkleinerung bis zum Feinmehl völlig in nutzbare Arbeit umgesetzt wird.

Kolloidmühlen (Dispersionsmühlen; s. auch Zerkleinerungsmaschinen).

Die Aufbereitung von Kaolin, Schwefel, Graphit, von Füllstoffen der Papier-, Gummi- und kosmetischen Industrie, ferner die Herstellung gewisser Anstrichfarben, Emaillen und kolloider Lösungen fester Körper erfordern eine ganz außerordentlich weit getriebene Zerkleinerung, deren Intensität weit jenseits der Grenze der sonst gebräuchlichen Siebbestimmungen liegt und nur durch Sedimentationsanalyse oder Messungen mittels des Mikroskopes und des Ultramikroskopes feststellbar ist. Handelt es sich doch hier um Feinheiten, die in Mikronen ($1 \mu = \frac{1}{1000} \text{ mm}$) und Ultramikronen ($1 \mu\mu = \frac{1}{1000000} \text{ mm}$) ausgedrückt werden, wogegen die Sieböffnung des feinsten Normensiebes mit 10000 Maschen/cm² noch 60μ , jene des der Schlämmanalyse mit $0,4 \text{ mm/sek}$ Geschwindigkeit gleichwertigen, idealen 60000-Maschen-Siebes noch $24,5 \mu$

beträgt. Das mikroskopische Gebiet umfaßt Größen von etwa 1 mm bis $0,2 \mu$, das ultramikroskopische solche von $0,2 \mu$ bis $15 \mu\mu$ im Bogenlampenlicht, bis $5 \mu\mu$ im Sonnenlicht. Was oberhalb des mikroskopischen Gebietes liegt, wird als makroskopisch, was unterhalb des ultramikroskopischen Gebietes liegt, als amikroskopisch bezeichnet. Die unterhalb der mikroskopischen Erkennungsgrenze liegenden Teilchen heißen Submikronen, die amikroskopischen Amikronen. Die praktische Grenze für sedimentationsanalytische Bestimmungen ist — je nach dem spezifischen Gewicht der Teilchen — 1μ bis $0,2 \mu$ (s. Abb. 1218).

Um zu dem Begriff „kolloide Feinheit“ im allgemeinen zu gelangen, ist es erforderlich, zu wissen, was man unter einem „Kolloid“ überhaupt zu ver-

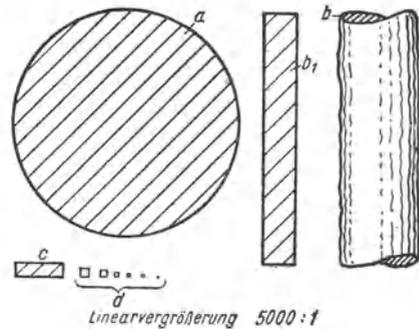


Abb. 1218. Mikroskopische Teilchen, verglichen mit Ultramikronen.

a Blutkörperchen $7,5 \mu \varnothing \cdot 1,6 \mu$, b Spinnwebefaden $2,5 \mu \varnothing$, b₁ Milzbrand-Bazillus $8 \mu \cdot 1 \mu$, c Teilchen einer Kaolinsuspension $1,5 \mu \cdot 0,5 \mu$, d Teilchen von Goldsuspensionen $0,2 \mu$ bis $6 \mu\mu$.

stehen hat. Nach einer von *Th. Graham* (Liebigs Annalen 1862, Bd. 121, S. 77) herrührenden Einteilung unterscheidet man zwischen krystalloiden und kolloiden Stoffen. Zu den krystalloiden gehören diejenigen Körper, die, gelöst, ein beträchtliches Diffusionsvermögen haben und fähig sind, durch Membranen aus Pergamentpapier zu dringen. Zu der anderen Gruppe gehören diejenigen Stoffe, die ein sehr geringes Diffusionsvermögen aufweisen, und denen die Fähigkeit abgeht, durch Pergamentpapier oder Gallerte zu diffundieren. Infolge der Existenz der zahlreichen Übergänge, die von den krystalloiden zu den kolloiden Lösungen hinüberführen, läßt sich jedoch eine prinzipielle Scheidung zwischen beiden nicht durchführen. An sich kolloide oder krystalloide Stoffe gibt es in der Natur nicht, denn es kann — nach *R. Zsigmondy* (Kolloidchemie [5. Aufl., Leipzig 1925, Spamer]) — jeder beliebige Stoff in beiden Formen auftreten, sofern die physikalisch-chemischen Bedingungen dazu wirklich erfüllt sind.

Streng genommen ist der kolloide Zustand einer Substanz nicht allein durch eine bestimmte Größenordnung der Teilchen ausgezeichnet, sondern gleichzeitig auch durch eine gewisse Stabilität des Verteilungszustandes bei Anwesenheit eines Lösungsmittels. Diese Stabilität kommt durch eine sog. Mizellenbildung, eine eigentümliche physikalisch-chemische Bindung des Lösungsmittels an der Oberfläche der Teilchen, zustande. — Da man das bloße Zerteilen bis zu den oben angegebenen Dimensionen als „dispergieren“ bezeichnet, wäre es zutreffender, den Ausdruck „Dispersionsmühlen“ anstatt Kolloidmühlen zu verwenden (Der Chemie-Ingenieur, Bd. I, 2. Teil, S. 76 [Leipzig 1933, Akad. Verlagsges.]).

Nach *Zsigmondy* kann man als obere Grenze der Sole (Sol = Lösung eines Kolloides in einer Flüssigkeit) eine Teilchengröße von $0,1 \mu$ einsetzen und folgende Abgrenzung treffen:

- Echte Suspensionen mit Teilchen von etwa $0,1 \text{ mm}$ bis herab zu $0,1 \mu$.
- Hydrosole (kolloide Lösungen und Trübungen) mit Teilchen zwischen $0,1 \mu$ bis $1 \mu\mu$.
- Moleküle der Krystalloide mit Teilchen zwischen $1 \mu\mu$ bis $0,1 \mu\mu$ (= \varnothing des Wasserstoffmoleküls).

Diese Abgrenzung soll aber nur einen ungefähren Überblick geben, weil die Eigenschaften der zerteilten Materie nicht bloß von der Teilchengröße, sondern auch von einer Reihe anderer Faktoren abhängen (s. auch die Zusammenstellung von *B. Block*, Chem. Apparatur 1930, S. 88). Eine Zerteilung wird (nach *Zsigmondy*) dann als ein Kolloid angesehen werden können, wenn an ihr die sog. „*Brownsche* Bewegung“ festgestellt werden kann, die mit der Kleinheit der Teilchen wächst, also um so lebhafter wird, je mehr sich dieselbe der amikroskopischen, molekularen Grenze nähert. Diese merkwürdige, zitternde Bewegung hat seit ihrer Entdeckung (1827) vielerlei voneinander abweichende Erklärungen gefunden, deren jüngste und zweifellos auch zutreffendste auf der kinetischen Gastheorie beruht, wonach der Druck des Gases als die ballistische Wirkung der Einzelstöße der Moleküle gegen die Gefäßwand und die Temperatur als die kinetische Energie der bewegten Moleküle aufzufassen sind (VDI-Nachrichten 1930, S. 2). Setzt man nun an Stelle der Gefäßwand das „Dispersionsmittel“, d. h. das Medium, in dem sich die dispergierten Teilchen befinden, deren Gesamtheit die „disperse Phase“ im

„Dispersoid“ ausmacht, und an Stelle der Moleküle die der molekularen Grenze sich mehr oder weniger nähernden Teilchen, so bietet sich — da die letzteren sich so verhalten, als ob sie selbständige Gasmoleküle von normaler kinetischer Energie wären — dasselbe Bild wie zuvor: das Trommelfeuer der bewegten Teilchen auf das umgebende Dispersionsmittel, das die Ausschaltung der Schwerkraft und dadurch das Schweben der dispersen Phase im Medium bewirkt.

Die Größe der Submikronen läßt sich bei der ultramikroskopischen Betrachtung an der Lebhaftigkeit der Brownschen Molekularbewegung schätzen unter Zuhilfenahme der von *A. Einstein* gegebenen Formel (*R. E. Liesegang*, Kolloidchemische Technologie, S. 189 [Dresden 1927, Steinkopff]):

$$r = \frac{t}{x} \cdot \frac{RT}{3\pi\eta N},$$

worin r = Radius eines Teilchens, x die mittlere Verschiebung desselben, η = Zähigkeit des Mediums, t = Zeit für den Weg x in sek, R die Gaskonstante und N die *Avogadro*sche Zahl (die wirkliche Anzahl der Moleküle im Grammolekül) bedeutet. Setzt man beispielsweise $\eta = 0,01$ (Wasser von 20°) und T (absol. Temp.) = 293° , so ergibt sich

$$r = 3,7 \cdot 10^{-13} \frac{t}{x}.$$

Zur Herstellung kolloider Lösungen gibt es zwei Verfahrensarten: das Kondensationsverfahren, das entweder in der einfachen Auflösung des trockenen Kolloides in einem Lösungsmittel (z. B. Gummi arabicum in Wasser) oder in der Peptisation von Gelen (d. h. Zurückverwandlung von Gelen in Sole durch den Einfluß fremder Stoffe) besteht. Befreit man ein Sol von dem Lösungsmittel des Kolloids, oder läßt man Salze oder andere Fremdkörper auf eine kolloide Lösung wirken, so geht diese in ein halbfestes, gallertartiges Gebilde über. Aus Hydrosolen erhält man auf diese Weise Hydrogele oder, allgemein, Gele. — Das andere, das Dispersionsverfahren, bedeutet feinste Zerteilung, z. B. durch elektrische Zerstäubung oder durch mechanische Mittel. Die letzteren sind es, die uns hier beschäftigen sollen.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß kolloidale Feinheiten mit gewöhnlichen Hilfsmitteln nicht zu erzielen sind. So berichtet *H. Fischer* (Technologie des Scheidens, Mischens und Zerkleinerns, S. 247 [Leipzig 1920, Spamer]), daß es einer zwölfstündigen Arbeit einer Kugelmühle bedurfte, um in einem Glaspulver, das als Flußmittel für Porzellanfarben dient, 51% Körner auf $6-38 \mu$ und 49% Körner auf $1,5-4 \mu$ zu zerkleinern. Erst nach 24-stündigem Mahlen wurde eine Feinheit von 6% Körner von $10-26 \mu$ und 94% Körner von $1,2-2,5 \mu$ erreicht. Um also auf die von *Zsigmondy* für Hydrosole angegebene oberste Grenze von $0,1 \mu$ zu kommen, müßte die Kugelmühle, da die Mahldauer mit zunehmender Annäherung des Gutes an die kolloidale Feinheit wahrscheinlich im geometrischen Verhältnis wächst, wochenlang mahlen, und auch dann wäre der Erfolg noch zweifelhaft.

Eine wesentliche Beschleunigung und Erleichterung des Mahlvorganges erzielt man durch das Naßmahlen mit Wasser, Alkohol, Äther, Benzin oder mit Gemischen aus diesen Stoffen, doch nimmt man vielfach damit die Notwendigkeit auf sich, aus den so gewonnenen Solen die Flüssigkeit wieder zu entfernen.

Nach *H. Plauson* (Chem.-Ztg. 1920, S. 554) haben Versuche ergeben, daß die Beschaffenheit des Dispersionsmittels einen großen Einfluß auf die Dispergierung hat. So läßt sich z. B. ein Körper mit dem einen Dispersionsmittel in kurzer Zeit sehr weitgehend dispergieren, während mit einem anderen sehr lange Zeit dazu erforderlich ist bzw. ein gewisser Dispersitätsgrad nicht überschritten werden kann. Ferner hat sich gezeigt, daß der Dispersionsvorgang durch Zusatz von gewissen Stoffen (z. B. Glycerin zu Schwefel, Glykol zu Quecksilber usw.) beschleunigt, in Gegenwart von anderen Stoffen mitunter ganz erheblich verlangsamt wird, wie z. B. von Säuren und Elektrolyten, die ganz allgemein hemmend auf die Dispergierung wirken. Man setzt in solchen Fällen sog. „Schutzkolloide“ zu. Darunter versteht man (*Liesegang*, a. a. O., S. 8) solche Kolloide, die gegenüber der Koagulation (Gerinnung) durch Elektrolyte weitgehend immun sind und diese Eigenschaft auch auf elektrolytempfindliche Kolloide übertragen können. Leim, Gelatine, Eiweißstoffe usw. gehören zu der ersten Gruppe von Kolloiden, kolloides Gold, Platin usw. zu der zweiten. Wie diese Schutzwirkung im einzelnen zustande kommt, ist bisher mit Sicherheit noch nicht entschieden.

Zsigmondy definierte zur Charakterisierung der Schutzkolloide die sog. „Goldzahl“ (Z. anal. Chem. 1901, S. 697), worunter er diejenige Anzahl Milligramm Schutzkolloid versteht, die eben nicht mehr ausreicht, den Farbumschlag von 10 cm³ hochroter Goldlösung gegen Violett oder dessen Nuancen zu verhindern, der ohne Kolloidzusatz durch 1 cm³ 10proz. Kochsalzlösung bewirkt wird.

Von Wichtigkeit ist in der Kolloidmüllerei ferner das Mengenverhältnis des Dispersionsmittels zur dispersen Phase. Ganz allgemein läßt sich dazu sagen, daß die Wirkung bei dünneren Mischungen gewöhnlich besser ist als bei an Feststoffen reicheren, und daß Flüssigkeiten von höherer Viscosität einen größeren Zusatz gestatten. Es ist übrigens, falls nicht bereits Erfahrungswerte zur Hand sind, Sache des praktischen Versuches, das günstigste Mischungsverhältnis herauszufinden.

Das Naßmahlen ist heute noch die allgemein angewandte Art zur Herstellung von kolloidalen Dispersionen, und erst seit kurzem sind Bestrebungen im Gange, dasselbe Ziel durch Trockenmahlung zu erreichen. Davon wird weiter unten noch die Rede sein.

Von der bekannten Gedankenverbindung: Große Geschwindigkeit = hohe Feinheit, ausgehend, ist man dem Problem der Feinstmahlung zuerst durch sehr rasch laufende Schlagmühlen zu Leibe gegangen, von denen man wußte, daß ein mit 5000 Umdrehungen in der Minute arbeitender Dismembrator Weizenmehl bis auf 2 μ Korngröße zu vermahlen imstande war. Dieses war aber auch die alleräußerste, durch Trockenmahlung in Schlagmühlen zu erzielende Feinheit, deren Steigerung bis auf die wirklich kolloidale Stufe in erster Linie deswegen nicht möglich ist, weil die im Mahlraum schwebenden Teilchen dem Schläge nach allen Richtungen auszuweichen vermögen, so daß die in den Schlägern aufgespeicherte Energie sich nicht voll auswirken kann.

Diesem Übelstand begegnete *Plauson* durch die oben erwähnte Naßmahlung, indem er die Schläger seiner Mühle auf eine Flüssigkeitsoberfläche, als eine vollkommen unelastische Unterlage, auftreffen ließ, so daß die zu zerkleinernden Teilchen nicht ausweichen konnten und deshalb zertrümmert werden mußten. Die Abb. 1219 zeigt zwei (Z. VDI 1921, S. 495; Chem.

Apparatur 1927, S. 145) schematische Schnitte durch die *Plausonsche* Kolloidmühle, an deren erster konstruktiver Gestaltung *B. Block* hervorragend beteiligt gewesen ist. In dem ringförmigen Gehäuse *a* ist eine mit Armen besetzte Trommel *b* gelagert, die schlagend auf die Flüssigkeit wirkt, sie dabei gegen Aufhalter *c* wirft und so eine starke, hämmernde Zerkleinerungsarbeit leistet. Alle Flüssigkeit wird von den Armen abgeschleudert, und um die Trommel entsteht ein leerer Raum. Um die Arme bildet sich ein Flüssigkeitskranz, der durch den inneren Unterdruck immer wieder angesaugt wird. Dadurch kommen stets neue Teilchen, mit Flüssigkeit vermischt, in den Bereich der Arme und werden einer sehr heftigen Schlagwirkung ausgesetzt, da die Arme mit 60 und mehr m/sek umlaufen. Die Flüssigkeit wird also beständig eingesaugt und herausgeworfen. Zu dieser außerordentlich starken

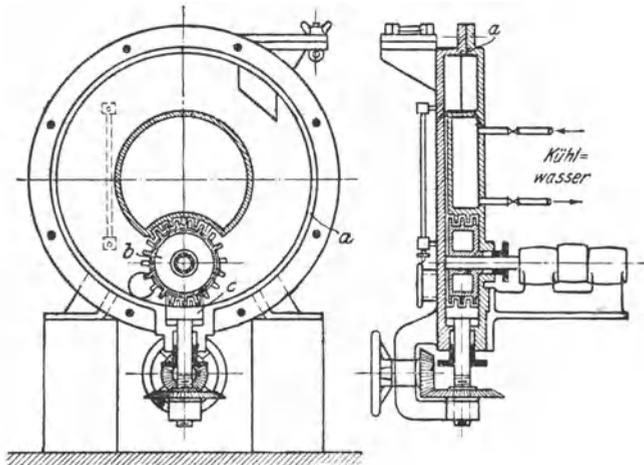


Abb. 1219. Kolloidmühle von *Plauson*.

rein mechanischen Wirkung gesellt sich die Wirkung der plötzlich freiwerdenden Wärmemengen, die so groß ist, daß, wie beim Sublimieren oder Verdampfen, der körperliche Zusammenhang zerrissen und aufgehoben wird. Endlich treten noch reibungselektrische Wirkungen ein, welche die Zerstäubung unterstützen. Die Ultramikronen werden elektrisch aufgeladen. Dadurch werden die Teilchen auseinandergehalten, und ihr Zusammenhang wird gelockert. — Obzwar *Plauson* und *Block* bei der Konstruktion dieser Mahlvorrichtung von zweifellos richtigen Erwägungen ausgegangen waren, hat sich die Mühle in der Praxis doch nicht in dem erwarteten Maße durchzusetzen vermocht. Es zeigte sich nicht nur, daß ihr Kraftverbrauch außergewöhnlich hoch war, sondern auch, daß der weitaus größte Teil der angewendeten Kraft lediglich zur Überwindung der Reibung zwischen Mahlgut und der Gehäuseinnenwandung diente (*O. Auspitzer*, *Z. angew. Chem.* 1927, S. 1337). An der Innenseite des Mantels bildeten sich demzufolge Ausschauerungen, die ausahen, als hätte nicht Wasser, sondern ein Sandstrahlgebläse sie bewirkt. Der an sich gute Gedanke der exzentrischen Lagerung des Schlägerwerkes im Gehäuse, der das Umlaufen des Mahlgutes verhindern sollte, hat sich damit als nicht genügend wirkungsvoll erwiesen.

Die andauernde Beobachtung der in der *Plauson*-Mühle auftretenden Korrosionen führte die Oderberger Chemischen Werke, Oderberg, zur Konstruktion einer Mühle, die in Abb. 1220 schematisch dargestellt ist und auf dem Grundsatz beruht, daß man, da das Umlaufen des Mahlgutes den Kraftverbrauch offenbar unmäßig erhöht und die Abnutzung steigert, dem Mahlgut Gelegenheit geben muß, den Mahlraum gleich hinter der Schlagstelle zu verlassen. Das bei *b* in flüssiger Form eintretende Gut unterliegt bei *h* der Einwirkung des Schlagkreuzes *d* und verläßt die Mühle durch den tangential an den Umkreis von *d* angelegten Rohrstutzen *c*, ohne — abgesehen von etwaigem Schaum und unbedenklichen Spritzern — im Gehäuse *a* mit herumgeschleudert zu werden und die bemängelten schädlichen Wirkungen auszuüben. Der Stutzen *c* ist bei *g* erweitert, um allen schädlichen Bremsgedruck auf das Schlag-

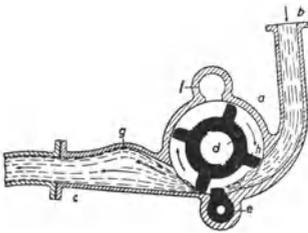


Abb. 1220. Schematischer Längsschnitt durch die Oderberger Kolloidmühle.

a Gehäuse, *b* Zulaufrohr, *c* Ablaufrohr, *d* Schlagkreuz, *e* Gegenhalter, *f* Ausbuchtung für einen zweiten Gegenhalter, *g* Rohrerweiterung.

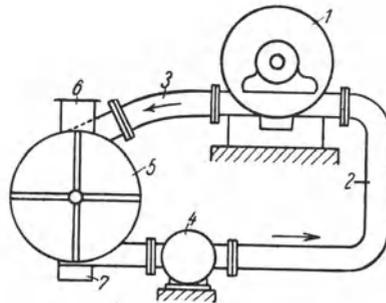


Abb. 1221. Schema des Einbaues der Oderberger Kolloidmühle.

1 Mühle, 2 Zuflußleitung zur Mühle, 3 Abflußleitung von der Mühle, 4 Pumpe, 5 Behälter, 6 Zulauf, 7 Ablauf.

kreuz unmöglich zu machen. Durch den Gegenhalter *e* wird die Schlagwirkung kräftig unterstützt; ein gleicher Gegenhalter kann, um die Wirkung zu erhöhen, auch noch bei *f* angebracht werden.

Die Oderberger Kolloidmühle (die von Emil Paßburg und Berthold Block, G. m. b. H., Berlin-Charlottenburg, in 7 verschiedenen Größen, alle mit Breitarm-Schlägern, Bauart *Block*, darunter auch in einer Laboratoriumsausführung geliefert wird) arbeitet in Verbindung mit einem Behälter 5 (s. Abb. 1221) (Chem. Apparatur 1930, Beil. Korr., S. 1, 9) und einer Pumpe 4 in der Regel absatzweise. Macht man jedoch den Behälter 5 groß genug und läßt bei 6 beständig zu- und bei 7 beständig abfließen, so ist auch ein unausgesetztes Arbeiten möglich. Zu achten ist in allen Fällen auf eine sehr geringe Geschwindigkeit des Gutes in der Rohrleitung 2—3, damit die Differenz zwischen dieser und der Umfangsgeschwindigkeit der Schlegelemente möglichst groß, die Arbeitsweise der Mühle also jener eines auf einen ruhenden Amboß mit großer Geschwindigkeit herabsausenden Hammers möglichst ähnlich werde. Tatsächlich bewegt sich das flüssige Gut bei praktischen Ausführungen dieser Mühle mit nur 0,7 m/sek durch das Gehäuse hindurch, während die Schlagscheibe die enorme Umfangsgeschwindigkeit von rund 188 m/sek besitzt.

Über die an der Oderberger Kolloidmühle auftretende Abnutzung hat *H. Winkelmann* (Chem. Apparatur 1930, Beil. Korr., S. 1, 9) interessante

Beobachtungen angestellt. Er berichtet, daß eine solche nach längerer Betriebszeit am Gehäuse überhaupt nicht, am Gegenhalter nur wenig und am stärksten am Schlagkreuz sichtbar war, was ja auch ganz der geschilderten Wirkungsweise dieser Mühle entspricht. Nach ihm hält das aus einem Spezialstahl hergestellte Schlagkreuz die Verarbeitung von 15000 kg Material aus; die Erneuerungskosten sind daher verhältnismäßig sehr gering.

Eine Ausführungsform der Oderberger Kolloidmühle mit 4 Gegenhaltern (gebaut von der Deutschen Vacuumapparate Ges., Erfurt) zeigt Abb. 1222; die Welle macht 9000—12000 U/min und wird von einem Elektromotor mit Zahnräderübertragung angetrieben.

Für viele Zweige der chemischen Industrie — z. B. zur Herstellung hochwertiger, hetero-disperser Farb- und Rostschutzpigmente — wird die Oderberger Kolloidmühle sehr geschätzt. Die Abb. 1223 zeigt eine Anlage (Mühle mit einer Dampfturbine gekuppelt) in einer chemischen Fabrik. Die Leistung beträgt 20—300 kg/std. Dagegen verwendet man diese ebenso wie die *Plauson*-Mühle nicht gern zu Zerteilungen in leichtflüchtigen Dispersionsmitteln (wie z. B. in Äther oder Benzin), da infolge der sehr hohen Drehzahl eine örtliche Erwärmung leicht eintreten kann. Für solche Fälle eignen sich häufig langsam laufende Kugelmühlen besser.

Kugelmühlen darf man aber nicht als Fallmühlen, sondern muß sie als Reibvorrichtungen verwenden. Dies geschieht dadurch, daß man die Mühle so langsam laufen läßt, daß die Kugeln nicht zum freien Fall kommen, sondern sich in der Mahltrommel nur umwälzen und auf das Mahlgut einzig und allein durch Reibung wirken. In einer „Notiz zur Technik der mechanischen Herstellung hochdisperser Lösungen fester Stoffe in Kugelmühlen“ (Kolloid-Z. 1928, S. 53) haben *K. Bergl* und *J. Reitstötter* die theoretische Begründung dafür gegeben.

Danach gilt für die Fallzeit die Beziehung:

$$t = \sqrt{\frac{r}{g}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)\sin^2\varphi}},$$

worin r den Halbmesser der Mahltrommel, α den Winkel zwischen dem Leitstrahl der Mahlkugel und der Lotrechten, φ den Reibungswinkel und g die Erdbeschleunigung (9,81 m/sek²) bedeutet. Der obige Ausdruck kann unbedenklich durch die Näherungsformel

$$t = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{r}{g}}$$

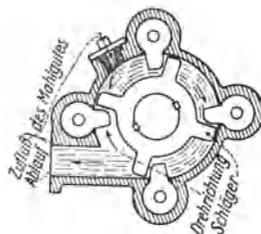


Abb. 1222. Oderberger Kolloidmühle (Deutsche Vacuumapparate Ges.).

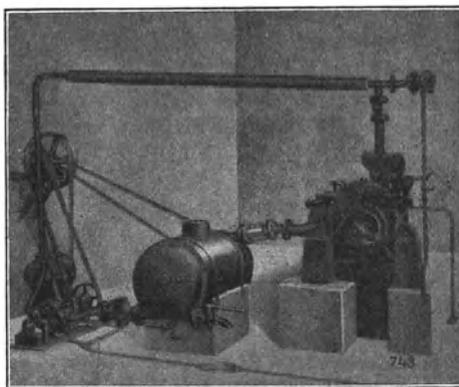


Abb. 1223. Aufstellung einer Oderberger Kolloidmühle in einer chemischen Fabrik.

ersetzt werden. Da der Weg s durch die Kreisbogenlänge $\frac{\alpha \pi r}{180}$ gegeben ist, so läßt sich die Geschwindigkeit $\frac{ds}{dt}$ jederzeit leicht errechnen. Diese Geschwindigkeit der Mahlkugeln durch den Kreisbogen muß nun immer größer sein als deren jeweilige Fliehgeschwindigkeit, so daß diese eben nicht von der Trommelwand mitgenommen werden und daher nicht zu freiem Fall kommen.

Zur Ergänzung der „Notiz“ wäre jedoch zu bemerken, daß man die zur Erzielung der besten Wirkung der Kugelmühle geeignete Drehzahl am einfachsten praktisch ausprobiert, denn die von den Verfassern zu diesem Behufe angegebene theoretische Formel setzt weitgehende Kenntnis der höheren Mathematik voraus, was nicht jedermanns Sache ist. Ein sicherer Anhalt erscheint übrigens schon dann gegeben, wenn man weiß, daß die beste Umdrehungszahl n unterhalb der durch die bekannte Formel (in der D den Durchmesser der Mahltrommel in m bedeutet)

$$n = \frac{23 \text{ bis } 28}{\sqrt{D}}$$

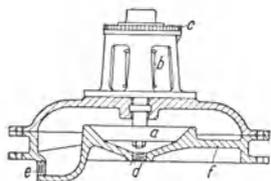


Abb. 1224. Premier-Mill.

a Rotor, *b* Riemenscheibe oder Elektromotor, *c* Mikrometerkopf, *d* Zufluß, *e* Abfluß, *f* Gehäuse.

ausgedrückten Grenzzahl zu suchen ist.

Nach *F. Hebler* (Chem. Fabrik 1928, S. 665) werden Kugelmühlen im genannten Sinne schon lange und mit gutem Erfolg verwendet; ihm selbst ist es gelungen, Sole von Schwefel und Graphit auf diese Weise mit einem kolloiden Anteil von oftmals über 90% herzustellen, was als ein ganz außergewöhnliches Ergebnis bezeichnet werden muß.

Zur Beurteilung der qualitativen Leistungsfähigkeit der Kugelmühlen mögen ferner noch folgende Angaben von *Reitstötter* (Mitteilung) dienen:

Eine Kugelmühle aus Porzellan, von 220 mm Durchmesser, zur Hälfte mit Porzellankugeln von 10 mm Durchmesser gefüllt, $n = 30$ U/min, vermahlt:

1. 2-gew.-proz. Suspension von Schwefel in Glycerin, Mahldauer = 150 Stunden, Zerteilung = $0,1 \mu$.
2. 5-gew.-proz. Ausschwemmung von Chromgrün in Benzin, Mahldauer = 200 Stunden, Zerteilung = $0,5$ bis $0,1 \mu$.
3. 10-proz. Aufschwemmung von Kaolin in Berliner Leitungswasser, Mahldauer = 150 Stunden, Zerteilung = $0,3$ bis $0,1 \mu$.

Die qualitativen Ergebnisse sind somit befriedigend; auch sind die Ansprüche der Kugelmühle an Wartung bekanntlich äußerst bescheiden und die Erneuerungskosten nur gering. Diesen Vorzügen steht aber als Nachteil die sehr lange Mahldauer gegenüber, die neuerdings zu Mahlversuchen mit langsam, also als Reibvorrichtung laufenden Rohrmühlen Veranlassung gegeben hat, die so gut ausgefallen sind, daß — nach *Hebler* (Chem. Fabrik 1928, S. 665) — in den Fällen, in denen es auf große Leistung bei niedrigen Kosten und nicht zu hohen Ansprüchen an den zu erreichenden Dispersionsgrad ankommt, die Rohrmühle als die dafür geeignete Vorrichtung anzusehen ist.

Ganz auf Reibung eingestellt ist auch die in England und den Vereinigten Staaten verbreitete, durch die Abb. 1224 veranschaulichte Premier-Mill (Chem. Apparatur 1924, S. 175), die aus einem Gehäuse *f* mit einem mittleren konischen Sitz besteht, in dem ein auf einer senkrechten Welle befestigter Rotor *a* im Abstand von nur einem Bruchteil eines Millimeters mit großer Ge-

schwindigkeit (von 25–125 m/sek) umläuft. Das bei *d* eintretende flüssige Mahlgut wird zwischen konischem Sitz und *a* in inniger Weise bearbeitet und tritt bei *e* aus. Der Abstand zwischen Sitz und Rotor ist von 0,025 mm aufwärts mittels des Mikrometerkopfes *c* regelbar. *b* ist eine Riemenscheibe oder ein Elektromotor. Von den vier verschiedenen Modellgrößen der Premier-Mill (von 5''–21'' = 125–530 mm Durchmesser des Rotors) leistet die als „Standard“ bezeichnete 15''-Mühle 225–450 l/std an Farben und Emailen und, je nach der Viscosität, 5000–6800 l/std Bitumen- oder sonstige Emulsionen. Bemerkt sei noch, daß der Sitz der Premier-Mill je nach Bedarf durch Wasser gekühlt oder durch Dampf erwärmt werden kann, was in manchen Fällen überhaupt erst ein störungsfreies Arbeiten ermöglicht. Nach *J. Alexander* (Ber. d. Ges. d. Chem. Ind. 1923, S. 340) ist die Premier-Mill jedoch nicht überwiegend zur Hervorbringung richtiger Kolloide bestimmt.

Während die Premier-Mill das in Form eines dünnen Films durch den engen Spalt zwischen Rotor und Sitz fließende Gut zerreibt und zerreißt, ist die in Abb. 1225 dargestellte Kolloidmühle der Charlotte Chemical Laboratories Inc., New York, derart eingerichtet, daß bei ihr außerdem noch eine durchknetende (?), gewissermaßen walkende Einwirkung auf das Mahlgut ausgeübt werden soll. Dies soll dadurch geschehen, daß man die beiden Mahlkörper *a* und *b* (wovon *a* mit großer Geschwindigkeit umläuft und bei schwach konischer Gestaltung in der Achsrichtung einstellbar ist) mit einer gleichen Anzahl Nuten versieht, die breiter als die zwischen ihnen belassenen Stege ausgeführt sind, so daß außer dem achsparallelen Durchgang des Mahlgutes ein wellen- oder schraubenförmiges Fortschreiten desselben in der Spaltkreisrichtung auf dem ganzen Umfange herbeigeführt wird, wodurch die oben gekennzeichnete zusätzliche Wirkung auf das Mahlgut, das bei *c* eintritt und die Mühle bei *d* verläßt, sich einstellen soll.

Weiter ist die Kolloidmühle von *G. C. Hurrell* (Techn. Blätter d. Dtsch. Bergw.-Ztg. 1928, S. 450) bekannt geworden, die in Abb. 1226 in einem Längsschnitt und in einer Seitenansicht dargestellt ist. Sie emulgiert oder zerteilt Festbestandteile, die in einer Flüssigkeit dünn aufgeschlämmt sind, in der Art,

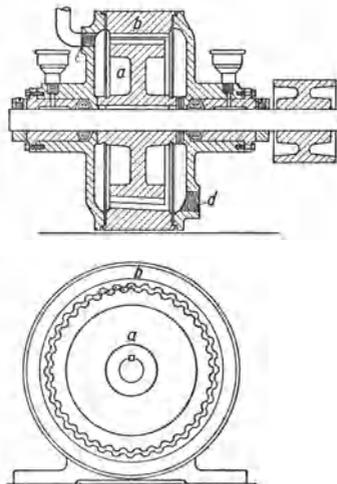


Abb. 1225. Kolloidmühle der Charlotte Chemical Laboratories Inc.

a Rotierender Mahlkörper, *b* Feststehender Mahlkörper (Gehäuse), *c* Zuflußstutzen, *d* Abflußstutzen.

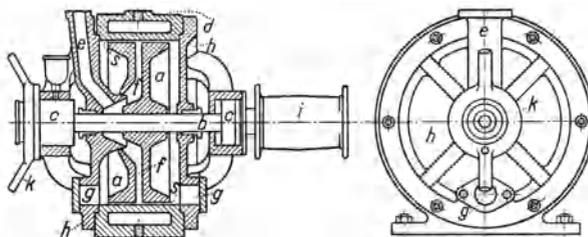


Abb. 1226. Hurrell-Mühle.

a Rotor, *b* Welle, *c* Kugellager, *d* Gehäuse, *e* Zufluß, *f* Hohlraum, *g*, *g* Ablauf, *h*, *h* Seitendeckel, *i* Riemenscheibe, *s* Ringspalt, *k* Handrad.

daß sie die zu verarbeitende Masse mittels der Fliehkraft durch einen sehr engen, kreisrunden Spalt preßt, wobei die einzelnen Teilchen zerkleinert und durcheinandergewirbelt werden. Die Vorrichtung besteht in der Hauptsache aus einem zweiteiligen Rotor *a* mit Welle *b*, die von den Kugellagern *c* getragen wird, und aus einem mit den Seitendeckeln *h, h* abgeschlossenen Gehäuse *d*, in dem sich der Rotor mit großer Geschwindigkeit dreht. Rotor und Gehäuse sind so genau ineinandergespaßt, daß die Weite des zwischen beiden bestehenden, konisch verlaufenden und mittels des Handgriffes *k* einstellbaren Ringspaltes *s* nur wenige hundertstel Millimeter beträgt. Die Einstellung erfolgt durch Verschieben des Rotors in axialer Richtung. Das Mahlgut läuft

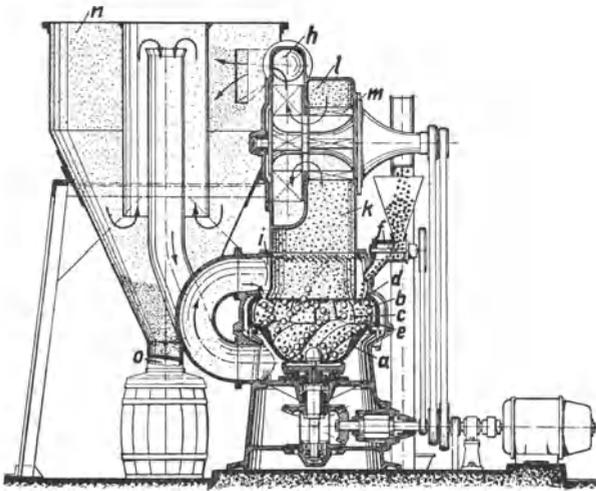


Abb. 1227. Hildebrandt-Mühle (Wüfel).

a Mahlschüssel, *b* Mahlbahn, *c* Mahlraum, *d* Kugeln, *e* Leitbahn, *f* Speisevorrichtung, *h* Gebläse, *i* Saugrohr, *k, l* Sichter aufsatz, *m* Drosselklappen, *n* Staubabscheider, *o* Absackstützen.

durch die Leitung *e* zu und gelangt in den von den beiden Rotorplatten gebildeten Hohlraum *f*, aus dem es von der durch den Rotor entwickelten Fliehkraft gegen die innere Gehäusewand geschleudert und dann nach beiden Seiten durch den Ringspalt *s* gedrückt wird. Die verarbeitete Masse tritt durch die beiden seitlichen, verschließbaren Öffnungen *g* aus. Die Hurrell-Maschine, die sowohl absatzweise als auch stetig arbeiten kann, wird von Wilh. G. Schröder Nachfl.

A.-G., Lübeck, in 3 Mo-

dellgrößen gebaut, wovon die kleinste mit im Mittel 9000 U/min und einem Kraftbedarf von 1–2 PS als Laboratoriumsmaschine anzusehen ist.

Wie weiter oben schon bemerkt wurde, ist die Zerkleinerung auf kolloide Feinheit heute noch immer gleichbedeutend mit einer Vermahlung auf nassem Wege, bei der das Dispersionsmittel die disperse Phase mengenmäßig um das Fünf-, Zehn- oder noch Mehrfache übertrifft. Das bedingt, falls der gewonnene Schlamm — was meist zutreffen wird — nicht ohne weiteres gebrauchsfähig ist, hinterher ein scharfes Trocknen des Schlammes mit darauffolgendem „Auflösen“ (Zerstäuben) der wieder festgewordenen Masse.

Es liegt auf der Hand, daß es weit wirtschaftlicher und einfacher wäre, Materialien, die eine mäßige Erwärmung beim Zerkleinern vertragen, und deren Staub nicht zur Bildung von explosiblen Gemischen neigt, auf trockenem Wege in den erwünschten Feinheitsgrad zu versetzen. Dahingehende Bestrebungen sind in recht vielversprechender Weise in der Hildebrandt-Mühle des Eisenwerks Wüfel, Hannover-Wüfel, verkörpert, die sich bisher als Zerkleinerungsmaschine bei der Erzeugung sog. „unfühlbarer“ Mehle, also von Pulvern, die auf dem feinsten DIN-Sieb (Nr. 100 = 10000 Maschen/cm²)

keinen Rückstand hinterlassen, aus Farberden, Mineralien, Graphit, Holzkohle, Glas usw. gut bewährt hat. Diese Mühle, Abb. 1227, besteht (Z.VDI 1929, S. 1785) aus der Mahlschüssel *a*, der daran anschließenden Mahlbahn *b* und der Leitbahn *e*. Als eigentliche Mahlteile dient eine große Anzahl (1000—100000) Kugeln *d* von 8—15 mm Durchmesser, die bei der raschen Umdrehung von *a* den in der Abbildung angedeuteten Weg zurücklegen, wobei sie mit hoher Geschwindigkeit gegen *b* und über den Rand von *e* geschleudert werden und in der Minute Millionen von Schlägen gegen die Leitbahn *b* und gegen das denselben Weg wie die Kugeln beschreibende Mahlgut vollführen, das von der Speisevorrichtung *f* herangebracht wird. Die zur Entfernung des fertigen Gutes aus dem Mahlraum *c* dienende Luftstromsichtvorrichtung besteht aus dem Gebläse *h* mit dem Saugrohr *i*, dem Sichteraufsatz *k*, *l* mit den Drosselklappen *m* und dem Abscheider *n* mit dem Absackstutzen *o*.—Mikroaufnahmen von auf einer *Hildebrandt*-Mühle vermahlenem Kohlenstaub und Schwespat zeigen eine mittlere Korngröße von 2 bis $4\ \mu$ neben vielen feineren Teilchen bis an die ultramikroskopische Grenze herunter. Diese Feinheit wurde — was bemerkenswert ist — in einem einmaligen Durchgange erzielt. Es ist anzunehmen, daß ein zwei- bis dreimaliges Aufgeben in Verbindung mit einem abnormalstark vergrößerten Sichteraufsatz und Staubabscheider, oder absatzweises Mahlen überhaupt, die Wirkung nach der qualitativen Seite noch wesentlich verbessern wird.

Als sehr aussichtsreich für allerfeinste Zerkleinerung erweist sich in neuester Zeit das Prinzip der Schwingmahlung, das darin besteht, daß man liegenden Rohren oder Trögen mit den Mitteln der Schwingungstechnik (Unbalanz) kreisförmige Schwingungen von natürlich nur sehr kleiner Amplitude (etwa 3 mm) aufzwingt (Verfahrenstechnik 1936, S. 3). Es entsteht auf diese Weise eine sozusagen ins Makroskopische übertragene *Brownsche* Bewegung mit Auslösung erheblicher Mahlkörper-Scherkräfte, die, der hohen Antriebsfrequenz entsprechend, sehr viel häufiger wirksam sind als in gewöhnlichen Rohrmühlen. — Abb. 1228 veranschaulicht eine Schwingmühle „Vibratom“ der Siebtechnik-G. m. b. H., Mühlheim-Ruhr, mit unmittelbarem Antrieb durch einen Elektromotor, die sowohl trocken als auch naß mahlen kann. Die ersten qualitativen Ergebnisse dieser Mühle sind für den Anfang recht günstig. Auch für Naßmahlung von Graphit und organischen Präparaten sind mit kurzen Mahldauern befriedigende Ergebnisse erhalten worden, wobei es meist zweckmäßig war, wenn man die bekannten zerkleinerungs-chemischen Kunstgriffe anwandte (vgl. *Chwala*, Kolloidchemische Beihefte 1930, Bd. 31, Heft 6/8).

Nach der vorausgegangenen ausführlichen Darstellung der heute gebräuchlichen, in der Hauptsache in Schlagmühlen und Reibmühlen zerfallenden Vorrichtungen zur äußersten Feinmahlung fester Stoffe erscheint es an-

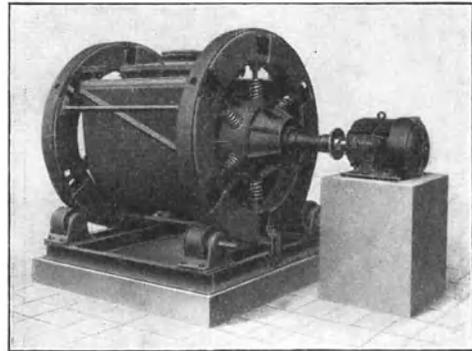
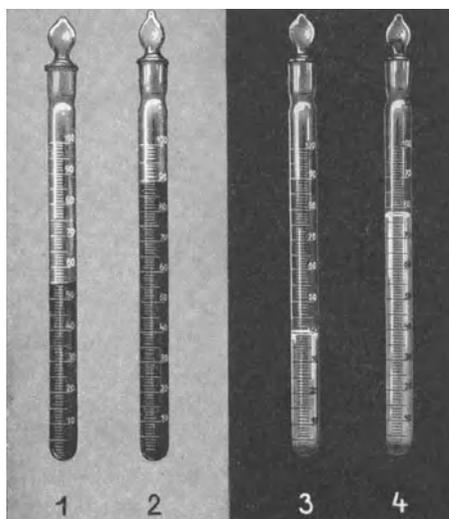


Abb. 1228. Schwingmühle „Vibratom“
(Siebtechnik G.m.b.H.).

gebracht, der indirekten Wirkung sowie dem Kraftverbrauch der Feinstvermahlung noch einige Worte der Betrachtung zu widmen.

Es ist bekannt, daß eine selbst nur in den Grenzen einer verhältnismäßig groben Bestimmbarkeit (mittels des 70-er Normensiebes = 4900 Maschen/cm²) um einige Hundertstel höher getriebene Feinstmahlung neben einer vielfach kaum merklichen Erhöhung des Schüttvolumens, die mit der Erniedrigung des sog. Litergewichtes identisch ist, bereits ein schärferes Hervortreten charakteristischer Eigenschaften des Stoffes bewirkt, so z. B. der Festigkeit, der Erhärtungsdauer und der Temperaturzunahme beim Abbinden des Port-

landzementes und anderer Mörtelbildner. In weit höherem Maße stellen sich ähnliche und noch viel weitergehende Erscheinungen als Folge der Feinstvermahlung ein. So berichtet *E. Ditmar* (*Z. angew. Chem.* 1927, S. 827), daß auf kolloidale Feinheit gebrachtes Kaolin Eigenschaften zeigt, die ihm für gewöhnlich ganz und gar abgehen, oder die es nur schwach entwickelt besitzt, so unter anderem eine Adsorptionskraft, die es befähigt, als vollwertiger Ersatz des Lycopodiums in der Gummiindustrie zu dienen. Ein anderes Beispiel gibt *Auspitzer* (*Ind. Engng. Chem.* 1928, S. 413) in dem Minium, von dem zum Grundanstrich von 1 m² Eisenblech 179 g, in der gewöhnlichen Kugelmühle vermahlen, aber nur 76 g, auf der Oderberger Kolloidmühle vermahlen, nötig sind, da sein Schüttvolumen sich durch die Feinstvermahlung mehr als verdoppelt hat (s. Abb. 1229).



Minium aus		Kaolin aus	
Kugel-	Kolloid-	Kugel-	Kolloid-
mühle	mühle	mühle	mühle

Abb. 1229. Unterschiede des Schüttvolumens.

Diese Beispiele ließen sich beliebig vermehren.

Was nun endlich den Kraftverbrauch für die Feinstvermahlung anlangt, so läßt sich darüber auf Grund der bisher vorliegenden spärlichen Veröffentlichungen bloß sagen, daß er bei im allgemeinen nur geringen Erzeugungsmengen je Zeiteinheit und Mahlvorrichtung absolut niedrig, relativ aber sehr hoch ist. Das erscheint auch ganz natürlich, weil, wie bereits oben bemerkt, der Kraftbedarf mit der sich den höchsten Stufen nähernden Feinheit der Mahlung in einer geometrischen, im übrigen uns vorderhand gänzlich unbekanntem Progression wächst. Etwas ausgedehntere, vergleichende Kraftmessungsversuche sind durch *Hebler* (*Chem. Fabrik* 1928, S. 581) bekannt geworden; leider weichen aber die einzelnen Ergebnisse so weit voneinander ab, daß es sehr schwer ist, verallgemeinernde Schlüsse daraus zu ziehen. Es ist dies vielleicht dadurch zu erklären, daß die Versuchsmaschine (eine gewöhnliche Schlagkreuzmühle, von der wichtige Beurteilungszahlen, wie Drehzahl, Schlagkreuzdurchmesser, Form und Abmessungen des Gehäuses, fehlen) wäh-

rend der Versuchsdauer mehrfach umgebaut worden ist und daher unter jeweils verschiedenen Bedingungen arbeitete, die einen sicheren Vergleich unmöglich machten. Bei einem durch Sedimentationsanalyse ermittelten durchschnittlichen kolloiden Anteil des Sols von 28% wurden für die Verarbeitung von 100 kg festem Stoff bei 4 Versuchsreihen (die von *Hebler* als die „besten“ bezeichnet werden) 275, 80, 97 und 222 kWh, also je 1 kg 2,75 bzw. 0,8 bzw. 0,97 bzw. 2,22 kWh verbraucht. Davon scheidet die erste Zahl wegen zu weitgehender Verdünnung des Sols aus, und auch die letzte erscheint in hohem Maße unzuverlässig, da *Hebler* davon spricht, daß das Dispersionsmittel dabei zum Kochen gebracht worden sei, was bei den anderen Versuchen nicht der Fall und somit ein Ausnahmezustand war. Es bleiben daher nur die beiden mittleren Werte, die im übrigen gut mit dem bei der Oderberger Mühle angegebenen Wert (Flugblatt Nr. 445 von Emil Paßburg und Berthold Block G. m. b. H., Charlottenburg) ($28 : 32 = 0,875$) übereinstimmen.

Das den spezifischen Kraftverbrauch bezeichnende arithmetische Mittel aus den drei obigen Zahlen (0,8 — 0,97 — 0,875) ergibt 0,882, wofür man praktisch 1 kWh/kg setzen wird. Vergleicht man diesen Wert und den von *Hebler* (Chem. Fabrik 1928, S. 665) als Ergebnis eines Kugelmühlen-Mahlversuches ermittelten Wert von 0,7 kWh/kg mit auf anderen Gebieten der Hartmüllerei gefundenen Werten (z. B. 0,03 kWh/kg für Eisenportlandzement mit 4% Rückstand auf dem Prüfsieb mit 4900 Maschen/cm², also nur etwa $\frac{1}{33}$ des ersten), und berücksichtigt man, daß der wirkliche kolloide Anteil wohl selten mehr als 30—40% des Sols, häufig aber noch viel weniger, beträgt, so wäre die Nutzwirkung der Kugel- und Schlägermühlen scheinbar gering. Jedoch wäre ein ungünstiges Urteil voreilig und ungerecht, zum mindesten so lange, bis durch groß angelegte und sehr weit ausgedehnte Versuche die Bedingungen für eine rationelle Art der Feinstvermahlung in einer jeden Irrtum ausschließenden Weise festgestellt sind.

Lit.: *R. Zsigmondy*, Kolloidchemie (5. Aufl., Leipzig 1925, Spamer). — *R. E. Liesegang*, Kolloidchemische Technologie (2. Aufl., Dresden 1932, Steinkopff). — *C. Naske*, Zerkleinerung fester Materialien in „Der Chemie-Ingenieur“ (Leipzig 1933, Akad. Verlagsges.); Die Kolloidmühle und ihre Verwendung für die Chemische Großtechnik (Z. VDI 1921, S. 495); Neuerungen der Hartzerkleinerung (Z. VDI 1929, S. 1786); Kolloidmühlen (Chem. Apparatur 1930, S. 157, 195). — *H. Fischer*, Technologie des Scheidens, Mischens und Zerkleinerns (Leipzig 1920, Spamer). — *H. Plauson*, Ein neues großtechnisches Verfahren (Chem.-Ztg. 1920, S. 553). — *B. Block*, Die Antriebe der *Plausonschen* Kolloidmühlen (Chem. Apparatur 1922, S. 29, 42); Verbesserungen an der Kolloidmühle (Chem. Apparatur 1927, S. 145, 158). — *H. Winkelmann*, Die Kolloidmühle, ihre Wirkung und Abnutzung während des Betriebes (Chem. Apparatur 1930, Beil. Korr., S. 1, 9). — *F. Hebler*, Zur Technik und Wirtschaftlichkeit mechanischer Dispergierungsverfahren (Kolloid.-Z. 1928, S. 225; Chem. Fabrik 1928, S. 665). — *K. Bergl* u. *J. Reitsötter*, Notiz zur Technik der mechanischen Herstellung hochdispenser Lösungen fester Stoffe in Kugelmühlen (Kolloid.-Z. 1928, S. 53). — *F. Meyer*, Die Premier-Kolloidmühle (Chem. Fabrik 1927, S. 31). — *O. Auspitzer*, Sechs Jahre Erfahrungen mit Kolloidmühlen (Chem. Fabrik 1927, S. 1337); A New Colloid Mill (Ind. Engng. Chem. 1928, S. 413). — *S. Kießkalt*, Aus der Entwicklung schwingender Arbeitsmaschinen für die Verfahrenstechnik (Z. VDI, Beiheft Verfahrenstechnik 1936, S. 3).

Naske.

Kolonnenapparate (Kolonnen, Trennsäulen, Waschtürme) dienen zur Durchführung von Austauschvorgängen im Gegenstrom zwischen auf-

steigenden Gasen oder Dämpfen und einer Flüssigkeit, die diesen über Verteilvorrichtungen entgegenfließt, und gehören daher zu den Gegenstromapparaten (s. d.). Sie bestehen aus einem senkrechten rohr- oder turmartigen Mantel, der aus einem Stück bestehen kann oder aus einzelnen Teilen zusammengesetzt ist, und den Einbauten, die die Aufgabe haben, Flüssigkeit, Gase oder Dämpfe zu zerteilen und mit möglichst großen Oberflächen in Berührung zu bringen. Hierzu dienen Böden von verschiedener Bauart (s. Destillierapparate), Füllkörper (s. d.), Horden (s. d.) oder Vereinigungen dieser Mittel. Als wichtigste Anwendungsgebiete der Kolonnenapparate seien die Absorptionsapparate (s. d.), Destillierapparate (s. d.), Gasverflüssigungsapparate (s. d.), Rektifizierapparate (s. d.) und Skrubber (s. d.) genannt. Einem Sonderzweck dienen die Apparate zum Geruchlosmachen von Ölen (Desodorisationskolonnen; s. auch *H. Meyer*, Chem. Apparatur 1933, S. 113). Th.

Lit. Chem. Apparatur (s. auch Lit. Chem. Apparatur bes. bei Destillierapparate): *W. Bergs*, Über die *Kubierschky*apparatur und ihre Verwendung in verschiedenen Zweigen der chemischen Industrie (1916, S. 173, 181, 191). — *Kubierschky* zu seinem 75. Geburtstag am 24. Dez. 1935 (1935, S. 213).

Kompensatoren, s. Rohrleitungen.

Kompressoren, s. Gebläse, Kolbenkompressoren.

Komprimiermaschinen, s. Tablettenkomprimiermaschinen.

Konchen, s. Verreibwerke.

Kondensatoren (s. auch *Oberflächenkondensatoren*, *Mischkondensatoren*, *Vakuumkühler*, *Kühler*) dienen dazu, Dämpfe durch Entziehung von Wärme in den flüssigen Zustand zu überführen, um dadurch eine Luftleere in einem gegebenen Raum zu erzeugen oder um die dampfförmigen Stoffe als Flüssigkeiten zu gewinnen. Als Kühlmittel werden kaltes oder zurückgekühltes Wasser, seltener Luft oder, wenn es sich um die Kondensation sehr niedrigsiedender Stoffe handelt, auch künstlich gekühlte Sole oder verflüssigte Gase verwendet. Die Kondensation führt man so durch, daß man die den Dämpfen zu entziehende Wärme durch Flächen auf Kühlwasser überträgt, auf deren einer Seite das Kühlwasser, auf deren anderer Seite sich Dämpfe und Kondensat befinden, oder so, daß man Kühlwasser und Dämpfe unmittelbar zusammenbringt. Im ersten Fall spricht man von Oberflächenkondensatoren (s. d.), im zweiten von Misch- (s. d.) oder Einspritzkondensatoren. Die Mischkondensation hat den Vorteil, daß man das bei der Kondensation entstehende Gemisch in einfacher Weise mit einem barometrischen Fallrohr abführen kann. Sie hat jedoch den Nachteil, daß das Kondensat, wenn es sich um wasserlösliche Stoffe handelt, und es sich mit dem Kühlwasser mischt, nicht mehr wiedergewonnen werden kann. Bei allen Kondensationsvorgängen ist man bestrebt, das austretende Wasser so weit wie möglich bis an die Dampftemperatur zu erwärmen und die nicht kondensierbaren Gase so weit wie möglich bis an die Kühlwasseranfangstemperatur zu kühlen. Der letzte Punkt ist besonders wichtig, da die zu entfernenden Gas- und Luftmengen in chemischen Apparaturen oft größer sind als bei den Kondensatoren der Dampfmaschinen. Man kann auch mehrere Apparate mit einem gemeinsamen Kondensator betreiben, wodurch sich die Anlagekosten vermindern

können. Es ist dann in jeder Zuleitung ein Absperrventil anzubringen, damit jeder Apparat ausgeschaltet werden kann. Je nach der Führung von Kühlmittel und Dampf unterscheidet man zwischen den im Gleich- und den im Gegenstrom arbeitenden Kondensatoren. Besondere Bauarten sind in der Kältemaschinenteknik entwickelt worden (s. Kältemaschinen).

Sollen flüchtige Stoffe, wie beispielsweise Lösungsmittel, niedergeschlagen werden, so ist zu beachten, daß die in den Dämpfen immer mehr oder weniger enthaltene Luft durch Kondensation nur einen Teil der Dämpfe abgeben kann, der von den vorhandenen Sättigungsgraden und den Temperaturverhältnissen abhängt. Ein Kubikmeter Luft von 30° kann zum Beispiel bei voller Sättigung 2780 g Ätherdämpfe aufnehmen; wird diese Luft durch Wasser von 15°, das dabei auf etwa 18° erwärmt wird, gekühlt, so wird sie, da 1 m³ Luft bei dieser Temperatur nur noch etwa 1700 g Ätherdämpfe enthalten kann, eine Ausscheidung von etwa 1080 g flüssigem Äther geben, was einer Ausbeute von etwa 39 Proz. entsprechen würde. (Chem. Fabrik 1929, S. 471). Will man also beispielsweise durch Kondensation flüchtige Lösungsmittel aus Luft oder Gasen wiedergewinnen, so muß man die Luft stets wieder im Kreislauf durch die Apparatur zurückführen. Reicht die vorhandene Temperatur des Kühlmittels zur Kondensation der Dämpfe nicht aus, wie es bei sehr niedrig siedenden Flüssigkeiten der Fall ist, so kann man zur Erhöhung der Kondensationstemperatur mit Überdruck arbeiten. Über die Kondensationsapparaturen zur Wiedergewinnung flüchtiger Lösungsmittel s. Lösungsmittelrückgewinnungsanlagen.

Lit.: *K. Hoefler*, Die Kondensation bei Dampfkraftmaschinen (Berlin 1925, Springer). — *W. Greiner*, Verdampfen und Verkochen (2. Aufl., Leipzig 1924, Spamer). — *E. Hausbrand* u. *M. Hirsch*, Verdampfen, Kondensieren, Kühlen. (7. Aufl., Berlin 1931, Springer). — *J. F. Weiß*, Kondensation (Berlin 1910, Springer). — *J. Sim*, Steam Condensing Plant in Theory and Practice (London 1925, Blackie). — *A. Wright*, Modern Practice in Steam Condensing (London 1925, Crosby-Lockwood). — *Robinson*, Condensing Plant (London 1926, Pitman). — *W. Seifert*, Neue Wege für die Wärmung, Kühlung und Kondensation in der chemischen Fabrik (Chem.-Ztg. 1935, S. 902).

Th.

Lit. Chem. Apparatur: *H. Friedrich*, Eine neue Apparatur zur Kondensation von Salzsäure (1914, S. 38). — *F. Ludwig*, Vorrichtung zur dauernden Reinhaltung der Röhren von Kondensatoren und anderen Röhrenkühlern (1918, S. 121). — *E. Hahn*, Kondensationsverfahren ohne besondere Luftpumpe mit gleichzeitiger Entlüftung des Kühlwassers (1923, S. 95). — *A. Martos*, Theorie und Konstruktionsgrundsätze der Diffusionsluftpumpen (1933, S. 101). — *M. Jakob*, Amerikanische und holländische Versuche über Tropfenkondensation. Einflüsse auf den Wärmeübergang (1934, S. 53); Amerikanische Versuche über die Rolle der Flüssigkeitshaut bei der Kondensation (1934, S. 161).

Kondenstöpfe (Kondenswasserschleusen, Kondenswasserableiter; s. auch Rückleiter). Aus allen Räumen, in denen Wasserdampf durch Kondensation niedergeschlagen wird, wie Heizkammern, Heizschlangen, Kondensatoren, Wasserabscheidern usw., muß das Kondensat ständig entfernt werden. Bei sehr großen Leistungen und dann, wenn das Kondensat gegen ein Druckgefälle zu fördern ist, wendet man meist Pumpen an; bei mittleren und kleineren Leistungen können zur Entfernung des Kondensats und zur Absperrung der Leitung Rückleiter und Kondenstöpfe benutzt werden. Rückleiter werden eingebaut, wenn das Wasser in einen Raum mit höherem Druck gefördert

werden soll, Kondenstöpfe, wenn es in einen Raum mit geringerem Druck fließen soll.

Den Kondenstöpfen strömt das Wasser mit eigenem Gefälle zu. Das Druckgefälle vor und hinter dem Topf fördert das Wasser aus dem Topf. In diesem ist daher eine Vorrichtung angebracht, die nur das Kondenswasser, nicht den Dampf herausläßt, weil sonst ein großer Wärmeverlust eintreten würde. Die Vorrichtung, die den Austritt von Dampf verhindert, arbeitet entweder mit einem Schwimmer oder mit einer Einrichtung, die durch Temperaturänderungen betätigt wird; diese treten ein, je nachdem, ob sich Kondenswasser oder Dampf in dem Apparat befindet.

Die mit Schwimmer arbeitenden Kondenstöpfe benutzen entweder das Gewicht oder den Auftrieb des Wassers zur Öffnung des Wasseraustritts.

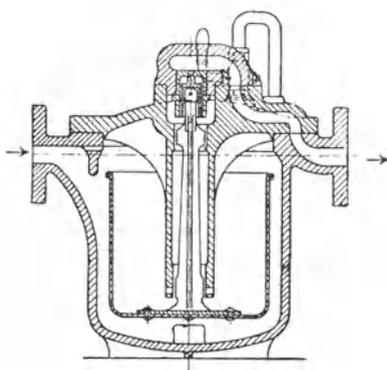


Abb. 1230. Einventil-Kondenstopf.

Man unterscheidet demnach Kondenstöpfe mit offenen oder geschlossenen Schwimmern. Die Kondenstöpfe mit offenem Schwimmer werden entweder mit einem Ventil oder mit zwei, meist ineinander angeordneten Ventilen gebaut. Der Überdruck muß mindestens $\frac{1}{2}$ at betragen, damit sie sicher wirken. Mit ihrer Hilfe kann das Wasser auch hochgedrückt werden.

Für die Wahl der Topfgröße sind die abzuleitenden, im Höchstfalle auftretenden Kondensatmengen und die Dampfspannung in dem zu entwässernden Raum maßgebend.

— Da die Kondenstöpfe mit beweglichen und teilweise auch mit empfindlichen Teilen arbeiten, müssen sie im Betriebe ständig überwacht werden, weil bei ihrem Versagen leicht erhebliche Dampfverluste entstehen können. Die Beobachtung wird erleichtert, wenn sich die beweglichen Teile in einfacher Weise ausbauen lassen. An größeren Kondenstöpfen kann man außerdem einen Wasserstandsanzeiger anbringen, um laufend im Betrieb einen Anhalt über die Arbeitsweise des Topfes zu haben. — Wird das Kondensat wieder verwendet, so empfiehlt es sich, mindestens größere Kondenstöpfe gegen Wärmeverluste zu isolieren.

Einen einfachen Einventilkondenstopf mit offenem Schwimmer zeigt Abb. 1230 (Chem. Apparatur 1927, S. 262). Ist der Topf geleert und strömt das Wasser allmählich nach, so wird der Schwimmer zunächst durch den Auftrieb des sich ansammelnden Wassers gehoben. In dem Schwimmer befindet sich eine Stange, die oben einen Ventilkegel trägt. Die Stange dient gleichzeitig zur Führung, indem sie sich in einem am Deckel angegossenen Rohr bewegt. Dadurch, daß der Schwimmer infolge des Auftriebs gehoben wird, verschließt das Ventil die im Deckel in einer eingeschraubten Buchse befindliche Austrittsöffnung, so daß dem Dampf der Weg nach außen versperrt ist. Ist der äußere Ringraum des Gehäuses mit Wasser gefüllt, so fällt dieses über den Rand des Schwimmers, so daß dieser sich füllt und, wenn er nahezu vollgelaufen ist, plötzlich nach unten fällt. Hierbei gibt der Ventilkegel die Austrittsöffnung frei, so daß das im Schwimmer befindliche Wasser durch das Führungsrohr infolge der im Topf herrschenden hohen Dampfspannung herausgedrückt wird. Dann

schließt der aufsteigende Schwimmer wieder das Ventil, und das gleiche Spiel beginnt.

Die Austrittsöffnung der Einventiltöpfe darf naturgemäß nicht zu groß sein, da sonst die im Topf vorhandene Dampfspannung das Abschlußventil dauernd gegen seinen Sitz drücken und daher den Topf unwirksam machen könnte. Dadurch, daß die Austrittsöffnung der Einventiltöpfe sehr klein gehalten werden muß, wird naturgemäß auch ihre Leistung stark verringert. Um die Austrittsöffnung zwecks Steigerung der Leistung möglichst groß ausführen zu können, ordnet man in den Kondenstöpfen mit offenem Schwimmer meist zwei Ventile derart an, daß das eine Ventil einen mehrfach kleineren Querschnitt hat als das andere. Das kleinere wird immer zuerst geöffnet und führt dabei den Druckausgleich herbei, der notwendig ist, um das größere Ventil mit Sicherheit zu öffnen.

Bei dem auf Abb. 1231 dargestellten Doppelventilkondenstopf (Klein, Schanzlin & Becker A.-G., Frankenthal) tritt das Wasser in der durch den Pfeil angegebenen Richtung ein und füllt den Ringraum im Gehäuse, bis es über den Rand des Schwimmers fällt. Die am Schwimmerboden befestigte Führungsstange trägt oben ein Hilfsventil von kleinerem Durchmesser, dessen Sitz in dem über dem Hilfsventil sich befindlichen Ausflußventil angeordnet ist; letzteres ist durchbohrt, um den Druckausgleich zu ermöglichen. Die Schwimmerstange trägt oben einen Führungsstift, der in

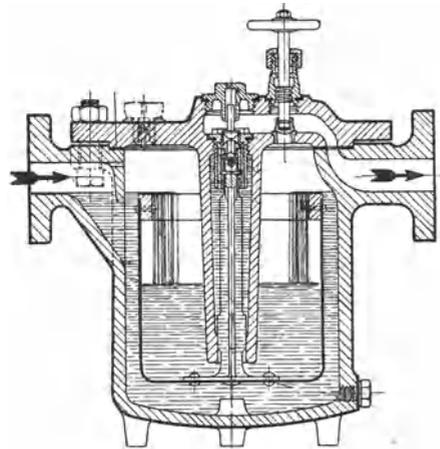


Abb. 1231. Doppelventilkondenstopf (Klein, Schanzlin & Becker).

zwei entsprechende Nuten im Schaft des Ausflußventils hineinragt und beim Fallen des Schwimmers das Hauptventil mitreißen soll. Sobald das Gewicht des Schwimmers größer ist als sein Auftrieb zuzüglich der durch den Dampfdruck hervorgerufenen Belastung des Hilfsventils, sinkt er und öffnet das kleine Hilfsventil. Der im Kondenstopf herrschende Druck hebt das im Schwimmer angesammelte Kondenswasser durch das senkrechte Steigrohr und das kleine Hilfsventil in den Ablaufstutzen. Nach Entleerung des Schwimmers schließt er das Hilfsventil wieder ab. Dieses Spiel wiederholt sich innerhalb kurzer Zeiträume. Geringe Kondenswassermengen werden abgeleitet, ohne daß das große Ausflußventil in Tätigkeit tritt. Bei größeren Kondenswassermengen füllt sich der Schwimmer schneller. Die hierdurch auf ihn einwirkende, größere Wassermenge verursacht ein schnelleres Sinken, wodurch nicht nur das kleine Hilfsventil geöffnet, sondern auch das große Ausflußventil durch den bereits erwähnten Führungsstift stoßweise abgehoben wird. Hierdurch ist die volle Austrittsöffnung des großen Ventils freigegeben, so daß auch der Abfluß größerer Kondenswassermengen schnell vor sich geht. Der nach der Entleerung von neuem nach oben getriebene Schwimmer schließt beide Ventile, die dann durch die im Kondenstopf herrschende Dampfspannung und den Schwimmerauftrieb so lange auf ihren Sitz gepreßt werden, bis die nächste Kondenswasser-

entleerung erfolgt. Unmittelbar über dem großen Ausflußventil ist ein Rückschlagventilkegel angeordnet, der in Wirksamkeit tritt, wenn das ausgestoßene Kondenswasser nicht unmittelbar abfließen kann, sondern einer höher liegenden Abflußstelle zugeführt oder in ein unter Druck stehendes Gefäß geleitet wird. Hierbei muß natürlich der Gegendruck geringer sein als die Dampfspannung innerhalb des Kondenstopfes.

Nach jeder Betriebsunterbrechung ergibt sich an allen Dampfverbrauchsstellen eine größere Kondenswasseransammlung, die möglichst schnell abfließen muß. Hierzu bedient man sich des an jedem Doppelventilkondenstopf angeordneten Umgangsventils, das bei jeder Inbetriebnahme auf einige Zeit zu öffnen ist, damit die vorhandenen Kondenswassermengen auf direktem Wege, ohne den Kondenstopf selbst arbeiten zu lassen, ausfließen können.

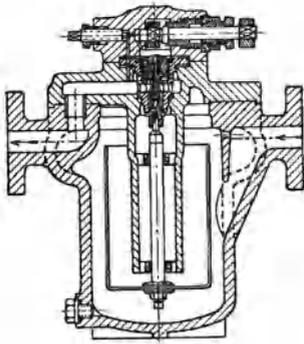


Abb. 1232.
Hochdruckkondenstopf
(Schneider & Helmecke).

Hierbei werden auch die zunächst im Apparat befindlichen Luftmengen herausgeblasen.

Die auf Abb. 1232 dargestellte Ausführungsart (Schneider & Helmecke, Magdeburg) mit offenem Schwimmer ist besonders für hohe Drücke geeignet. Die Schwimmerstange trägt an ihrem oberen Ende einen Nadelkegel aus nichtrostendem Stahl. Das eigentliche Auslaßventil bildet eine in der Mitte im Deckel eingehängte Buchse, die als Sitz für den Auslaßkegel dient. Der einsitzige Auslaßkegel besitzt an seinem oberen Ende einen Entlastungskolben, der mit Spiel in die Kolbenführung eingepaßt ist. Eine zentrale Bohrung im Kolbenkegel läßt das Kondensat in den Entlastungsraum eintreten, der durch das Anlüftgehäuse gebildet wird. Dieser Entlastungsraum steht mit

dem Auslaßkanal durch eine Bohrung in Verbindung, deren Querschnitt durch eine Regulierschraube verändert werden kann. Im Anlüftgehäuse sitzt die aus Welle, Daumen und Hebel bestehende Anlüftvorrichtung. Eine Entlüftungsschraube auf dem Topfdeckel gestattet die Abführung der im Topf enthaltenen Luftmengen bei Inbetriebnahme. Diese Töpfe besitzen keine Umföhrung, da der Sitzquerschnitt des Auslaßventils reichlich bemessen ist und die Möglichkeit besteht, das Auslaßventil mit Hilfe der Anlüftvorrichtung im geöffneten Zustand zu halten. Das Kondensat tritt in der Pfeilrichtung ein, füllt den Raum zwischen Schwimmer und Wandung, hebt diesen und schließt so das Auslaßventil. Das weiter zufließende Kondensat dringt über den Rand in den Schwimmer und bringt diesen zum Sinken, ohne zunächst den Nadelkegel von seiner Sitzbohrung zu entfernen. Sobald dieses bei weiterer Füllung des Schwimmers der Fall ist, tritt das Kondensat durch die Bohrung des Hauptkegels über den Entlastungskolben, dessen Durchmesser größer ist als der Sitzdurchmesser des Hauptkegels. Der Kolben wird durch das Kondensat nach unten gedrückt; das Auslaßventil öffnet sich, so daß die Kondensatmenge, die oberhalb des Schwimmerandes steht, und ein Teil des Schwimmerinhalts ausgestoßen werden. Der Schwimmer bekommt dann wieder Auftrieb und schließt das Auslaßventil, so daß ein neues Spiel beginnen kann.

Ist der Dampf hoch überhitzt, so kann sich bei Verwendung eines offenen Schwimmers der Übelstand ergeben, daß das hereintretende Wasser verdampft,

wodurch der Auftrieb des Schwimmers verhindert wird und das Ventil sich nicht schließt.

Die Arbeitsweise der Kondenstöpfe mit offenem Schwimmer ist eine ab-satzweise und beruht auf dem Gleichgewicht zwischen dem Auftrieb des Schwimmers, dessen Gewicht und dem Gewicht des in den Schwimmer ein-tretenden Kondenswassers. Kondenstöpfe mit ge-schlossenem Schwimmer arbeiten stetig. Das Aus-flußventil wird hier lediglich vom Schwimmer be-tätigt. Sobald dieser durch das eingetretene Kondens-wasser genügend Auftrieb erhalten hat, öffnet er die mit ihm zwangsläufig in Verbindung stehende Ab-sperrvorrichtung, und die im Topfgehäuse herrschende Dampfspannung drückt das ständig zulaufende Kon-denswasser ununterbrochen fort. Erst bei geringerem oder völlig unterbrochenem Kondenswasserzufluß schließt der sinkende Schwimmer das Ausflußventil wieder ab und hält es so lange geschlossen, bis neu eintretendes Kondenswasser den Schwimmer wieder anhebt. Kondenstöpfe mit geschlossenem Schwimmer können besonders dann angewendet werden, wenn größere Kondenswasser-mengen abzuleiten sind, wenn das zufließende Kondenswasser andauernd, also nicht zeitweise, abgeführt werden soll, wenn der Dampf hoch über-hitzt ist, oder wenn der Überdruck auch geringer als $\frac{1}{2}$ at ist. Sind die Drücke sehr hoch, so fällt die Schwimmerkugel entweder sehr groß oder die Durchflußöffnung sehr klein aus. Eine Gefahr kann ein Undichtwerden der Schwimmerkugel, z. B. durch Korrosion, zur Folge haben, da sie sich dann mit Wasser füllt. — Die Absperrvorrichtung kann entweder die Form eines Ventils oder eines Schiebers erhalten.

Bei dem in Abb. 1233 dargestellten Topf sind an einer mit der Schwimmerkugel befestigten Stange zwei Ventilkegel angeordnet, so daß sich die zum Anheben der Kugel notwendige Kraft in-folge des dadurch erreichten Ausgleiches verringert.

Meist wendet man, damit der Schwimmer nicht zu groß wird und sich dennoch eine ge-nügende Schließ- und Öffnungskraft ergibt, eine Hebelübersetzung zur Betätigung des Abschluß-organs an. — Um bei der ersten Inbetrieb-setzung die Luft und die zunächst entstehenden großen Wassermengen schnell ableiten zu können, führt man die Kondenstöpfe mit geschlossenem Schwimmer meist mit Anlüftehebeln aus, mit denen die Austrittsöffnung durch An-heben des Ventils einen Augenblick offengehalten werden kann.

Bei dem in Abb. 1234 dargestellten Kondenstopf ist ein doppelsitziges Schraubenventil verwendet, wodurch eine besonders große Übersetzung er-reicht wird. An dem gußeisernen, oben geschlossenen Gehäuse ist zur Einführung der inneren Teile seitlich ein Stutzen angebracht. An seinem Deckel ist das liegende, entlastete Doppelsitzventil mit Schraubebewegung

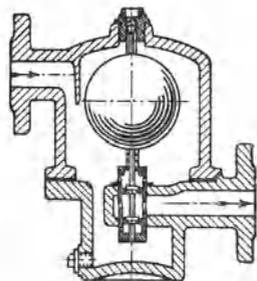


Abb. 1233. Kondenstopf mit Kugelschwimmer.

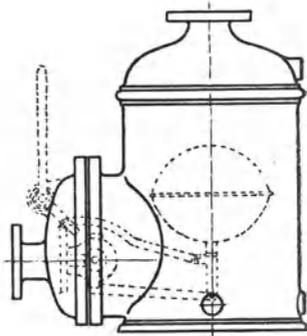


Abb. 1234. Schraubenventilschwimmer-topf (Schneider & Helmecke).

befestigt. Seine Betätigung erfolgt durch einen schmiedeeisernen, geschweißten, geschlossenen Schwimmer, der an einem parallelogrammartig ausgebildeten Hebelwerk angreift. Im Innern des Topfes befindet sich unter dem Eintrittsstutzen eine Prellhaube, die das unmittelbare Aufschlagen des eintretenden Kondensates auf den Schwimmer verhütet.

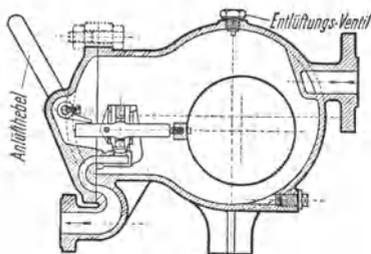


Abb. 1235. Niederdruckschwimmer-topf (Klein, Schanzlin & Becker).

Eine andere Bauart, die bis etwa 2 at Überdruck angewendet werden kann, zeigt Abb. 1235. Der Ventilkegel befindet sich in einem am Deckel angebrachten Ventilgehäuse. Der Schwimmerhebel ist durch eine Öffnung im Ventilzapfen hindurchgesteckt und im Führungsgehäuse für den Ventilkegel gelagert. Nach Abnehmen des

Deckels sind alle Teile frei und zugänglich. Ähnlich ist auch der in Abb. 1236 dargestellte Okuli-Kondenstopf (Bühring A.-G., Landsberg) gebaut. In der Abbildung bedeuten: 1 Gehäuse, 2 lösbarer Deckel, 3 Schwimmer, 4 Verbindungshebel, 5 Ventil, 6 Schauglas mit Verschraubung, 7 Anflüßhebel.

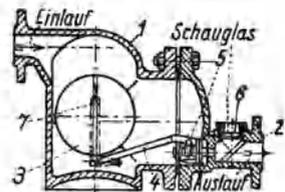


Abb. 1236. Okuli-Kondenstopf (Bühring).

Einen Kondenstopf, bei dem ein schieberartiges Abschlußstück den Ausfluß sperrt, zeigt Abb. 1237 (Chem. Apparatur 1927, S. 263). Das Schieberstück wird gabelartig von dem Hebel umfaßt, dessen unteres Ende bei der Bewegung des Schwimmers eine Kreisbewegung ausführt. So-

wohl die untere Fläche des Schiebers als auch die Dichtungsfläche des Schiebersitzes sind eben gestaltet. Beim Öffnen und Schließen schleift sich daher der Schieber auf seinem Sitz dauernd ein, so daß Dampfverluste durch Undichtheiten kaum möglich sind. Derartige Kondenstöpfe werden auch nach Abb. 1238 mit unmittelbarer Wasserumführung gebaut. Das Doppelventil zur Wasserumführung ist rechts oben im Seitenriß nochmals dargestellt.

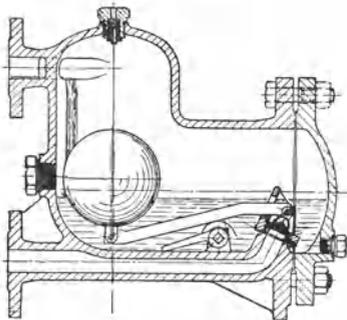


Abb. 1237. Schnitt durch Schieberkondenstopf (Klein, Schanzlin & Becker).

Einen Kondenstopf mit einem ähnlichen Absperrorgan, der für Drücke über 100 at gebaut ist, zeigt Abb. 1239. Das Gehäuse besteht aus einem geschmiedeten Stahlhohlkörper, die Schwimmerkugel ist, damit sie durch die hohe Spannung nicht zusammengedrückt wird, aus starkem Stahlblech hergestellt und durch ein Gegengewicht aus-
gewogen. (Arch. Wärmewirtsch. 1928, S. 158).

Alle Kondenstöpfe müssen mit Entleerungsschrauben oder -hähnen versehen sein. Die vollständige Entleerung ist besonders bei eintretendem Frost notwendig, um Einfrieren zu vermeiden.

Die durch Temperaturänderung betätigten Kondenswasserableiter benutzen entweder die Ausdehnung metallischer Körper oder die Längenänderung

von vollständig abgeschlossenen Hohlkörpern, die mit leicht siedenden Flüssigkeiten gefüllt sind und durch besondere Einrichtungen in erwärmtem Zustand den Wasseraustritt verschließen. Das sich ansammelnde Kondenswasser kühlt das Dehnungselement ab, wobei dieses den Wasseraustritt so lange geöffnet hält, bis sich der Hohlkörper durch den nachströmenden Dampf von neuem erwärmt, und die Abflußöffnung wieder selbsttätig schließt. Die Wirkungsweise bedingt, daß diese Apparate nicht gegen Wärmeverluste isoliert werden dürfen. Derartige Dehnungsableiter finden besonders bei kleineren Leistungen, z. B. für Dampfheizungen, Verwendung. Ihr wichtigster Vorzug ist ihre Billigkeit. Ihre Lebensdauer ist meist geringer als die der Schwimmertöpfe. Sie können gleichzeitig eine Belüftung der Apparate selbsttätig bewirken.

Die Wirkungsweise des in Abb. 1240 dargestellten

Dehnungskondenstopfes (Schäffer & Budenberg A.-G., Magdeburg) beruht auf der Ausdehnung eines eingebauten Elementes, eines hufeisenförmigen Hohlkörpers, der mit einer leicht siedenden Flüssigkeit gefüllt und vollständig verschlossen ist. Eine andere Bauart, bei der ein elastisches Wellrohr als Dehnungselement benutzt wird, zeigt Abb. 1241. Das federnde Wellrohr wirkt

nach Art eines Thermostaten und verschließt mit dem an ihm befestigten Kegel die Austrittsöffnung, sobald Dampf in das Gehäuse gelangt und das Dehnungselement erwärmt. Füllt sich der Topf mit Wasser und kühlt sich dieses infolge der Wärmeverluste um einige Grade ab, so zieht sich das Dehnungselement wieder zusammen, so daß der Kegel die Auslaßöffnung freigibt, und das Wasser ausströmen kann.

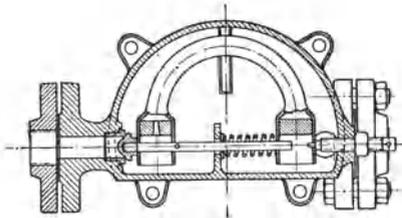


Abb. 1240. Dehnungskondenstopf (Schäffer & Budenberg).

*Kieser, Handbuch.

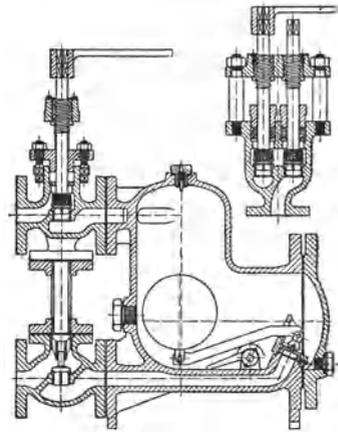


Abb. 1238.

Kondenstopf mit Schieberabschluß und Wasserumführung (Klein, Schanzlin & Becker).

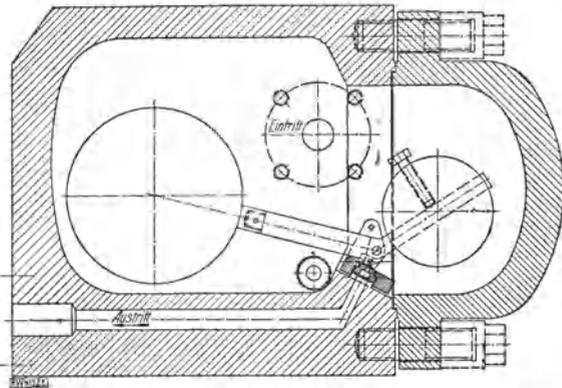


Abb. 1239. Hochdruckkondenstopf (Klein, Schanzlin & Becker).

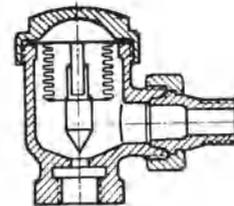


Abb. 1241. Kondenstopf mit Thermostat.

Lit.: *F. Bürk*, Die Brauchbarkeit der Kondenstöpfe in Destillieranlagen (Chem. Apparatur 1921, S. 49). — *W. Heubeling*, Die Brauchbarkeit der Kondenstöpfe in Destillieranlagen (Chem. Apparatur 1921, S. 96). — *Eckelmann*, Einiges über Kondensstöpfe (Chem. Apparatur 1927, S. 262). — *A. Gramberg*, Konstruktion und Verwendung der Wasserableiter (Z. VDI 1924, S. 1037).

Thormann.

Konglomeratrinnen, s. Krystallisierapparate.

Konstantan, s. Kupfer-Nickel-Legierungen.

Kontaktapparate, s. Gasreaktionsapparate.

Kontrollapparate. I. Allgemeines. Größte Wirtschaftlichkeit kann nur durch dauernde Betriebsüberwachung erreicht werden; diese geschieht durch Kontrollapparate, die, dauernd und selbsttätig die für einen chemischen Vorgang maßgebenden physikalischen Größen anzeigend und aufzeichnend, das Betriebspersonal zu größter Wachsamkeit erziehen und so dazu beitragen, daß Störungen und Unfälle vermieden, gleichmäßige Erzeugnisse gewährleistet und die Wirtschaftlichkeit erhöht werden. Voraussetzung dafür ist allerdings die sorgfältige und regelmäßige Überwachung und Pflege aller Kontroll-, Meß- und Regeleinrichtungen, die — wenigstens bei größeren Betrieben — zweckmäßig von einer zentralen Meßstelle aus erfolgen wird. — Bestimmte Kontrollapparate sind in behördlichen Vorschriften zwingend vorgeschrieben (s. Dampffässer).

Alle zur praktischen Betriebskontrolle gebräuchlichen Apparate bauen sich aus einer oder aus mehreren der nachstehend aufgeführten Einrichtungen auf.

1. Anzeigevorrichtungen, die alle Veränderungen anzeigen, die Druck, Temperatur, Geschwindigkeit, Feuchtigkeit, Menge usw. erleiden; sie werden zweckmäßig an der betreffenden Apparatur selbst angebracht und dienen im wesentlichen der Einzelkontrolle und für Stichproben.
2. Analysenvorrichtungen zur Überwachung der Zusammensetzung von Gasgemischen als Ersatz für Handanalysen.
3. Schreib- (Registrier-) Vorrichtungen, durch die auf einer Schreibtrommel oder einem Diagrammstreifen die Meßergebnisse der unter 1. und 2. genannten Vorrichtungen laufend aufgezeichnet und in Diagrammen (meist abhängig von der Zeit) dargestellt werden. Sie ermöglichen neben der augenblicklichen Kontrolle der Anzeigevorrichtungen die Erkenntnis des zeitlichen Verlaufs eines Vorganges und geben so für einen bestimmten Zeitabschnitt eine gute Übersicht über einen Betriebsvorgang.
4. Fernanzeigevorrichtungen übertragen das Meßergebnis von der Apparatur weg auf beliebig große Entfernungen, z. B. ins Büro des Betriebsleiters oder in die Meßzentrale, und gestatten so die zentrale Überwachung des ganzen Betriebs von einer Stelle aus.
5. Alarm- und Signaleinrichtungen geben bei eintretenden Unregelmäßigkeiten optische oder akustische Signale und veranlassen das Betriebspersonal zu sofortigem Eingreifen.
6. Regelvorrichtungen werden von den Kontrollapparaten selbsttätig gesteuert und veranlassen die automatische Änderung eines Betriebszustandes.

Verschiedene der vorgenannten Vorrichtungen können an Kontrollapparaten für die verschiedensten Zwecke verwendet werden und sollen daher zunächst im Zusammenhang behandelt werden. Hierher gehören zunächst alle Einrichtungen zum Aufzeichnen des Meßergebnisses (Schreibvorrichtungen) auf einem Diagrammstreifen, der entweder auf eine Trommel (1 U/24 std oder weniger) aufgezogen wird oder als laufendes Band, für längere Zeit (meist 4 Wochen) ausreichend, abläuft. Der Papiervorschub der Diagrammstreifen (für die meisten Zwecke werden 20 mm/std ausreichen) wird entweder durch ein Uhrwerk oder durch einen kleinen Synchronmotor zum Anschluß an Spannungen von 220, 380 oder 440 V Wechselstrom angetrieben. Durch Auswechseln von Zahnrädern können zuweilen verschiedene Vorschubgeschwindigkeiten eingestellt werden. Der Antrieb mehrerer Schreiber kann auch durch elektromagnetische Schaltwerke erfolgen, die von einer gemeinsamen Kontaktuhr fortlaufend geschaltet werden. Die angeschlossenen Schreiber laufen dann zeitlich genau übereinstimmend. Ebenso können die Aufzeichnungen mehrerer Meßstellen auf einem gemeinsamen Diagramm erfolgen, wenn geeignete Umschaltvorrichtungen eingebaut werden. Diagrammstreifen und Papiervorschübe sind genormt (DIN 1508 bis 1510). Bei genügend großer Verstellkraft des Meßwerks (mindestens 4 cm · g) können Linienschreiber oder Flächenschreiber verwendet werden. Beim ersteren (Abb. 1242) geschieht die Aufschreibung des Meßergebnisses in

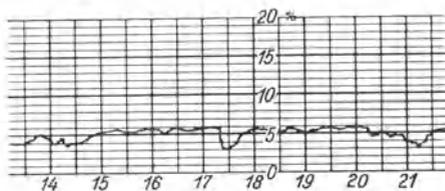


Abb. 1242. Diagramm eines Linienschreibers.

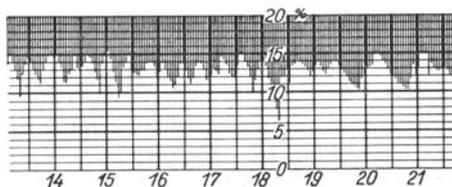


Abb. 1243. Diagramm eines Flächenschreibers.

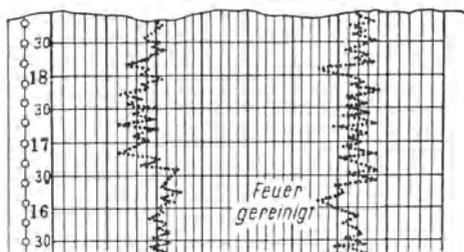


Abb. 1244. Diagramm eines Punktschreibers.

Form eines fortlaufenden Linienzuges, bei letzterem (Abb. 1243) kehrt der Schreibstift nach jeder Messung in die Ausgangslage zurück und verzeichnet jede Messung durch einen Strich; diese Striche ergeben zusammen eine Fläche, deren Einhüllende ein Bild von dem Verlauf der Messungen ergibt. Die geringe Verstellkraft, welche die meisten elektrischen Kontrollapparate aufweisen, läßt nur die Verwendung eines Punktschreibers zu (Abb. 1244). Hierbei wird der elastische Zeiger in regelmäßigen Abständen von meist 30 sek von einem elektrisch oder durch ein Uhrwerk angetriebenen Fallbügel (s. S. 918) kurz auf den Diagrammstreifen und ein darunter angebrachtes Farbband gedrückt, so daß ein feiner Punkt markiert wird. Sehr gedrängt und leicht zu übersehen, aber nur mit Radialplanimeter auswertbar,

sind kreisförmige Diagrammblätter (Abb. 1245), meistens für 24-Stunden-gang eingerichtet.

In den Fällen, in denen ein linearer Zusammenhang zwischen den Ausschlägen des Meßinstrumentes und der zu messenden Größe nicht vorhanden (z. B.

bei der Mengemessung von Flüssigkeiten und Gasen mit Stageräten) oder nicht erwünscht ist (z. B. bei Beschränkung der Anzeige auf einen bestimmten Meßbereich

oder bei unterdrücktem Nullpunkt), muß durch geeignete Einrichtungen (Lenkervorrichtungen, Integriereinrichtungen, besondere elektrische Schaltungen u. dgl.) das gewünschte Diagramm erzielt werden.

Als Beispiel einer mechanischen Integriereinrichtung sei die eines Gasmengenmessers von R. Fueß, Berlin-Steglitz, (Abb. 1246) kurz beschrieben: Von einem kleinen Uhrwerk wird minutlich ein zweites Laufwerk ausgelöst, das durch die Kurvenscheibe *G* einen Hebel *H* freigibt, der während seines

Falls durch die Sperrklinke *K* ein Zählwerk *N, Z* weiterschaltet. Die Fallhöhe des

Hebels *H* ist von einer auf dem Zeiger des Registrierwerks *R* sitzenden und an dessen Bewegung um *F* teilnehmenden Kurve *C* abhängig, deren Form der Gasgeschwindigkeit und dem Querschnitt der Rohrleitung angepaßt ist. Der Zeiger wird vom Meßwerk (hier von der Meßglocke *A, D* eines Differentialdruck-

messers *B*) unmittelbar angetrieben.

Der Wunsch, ein Meßergebnis vom Ort der Messung weg an einer anderen geeigneten Stelle zu überwachen oder die Anzeigen mehrerer Meßstellen in einer Zentrale zu vereinigen, führte zur Entwicklung von Einrichtungen, die das Meßergebnis auf beliebig große Entfernungen zu übertragen gestatten (Fernmeßvorrichtungen). Diese Aufgabe ist einfach zu lösen, wenn die Messung selbst elektrisch erfolgt, z. B. bei Widerstandsthermometern, Thermo-

elementen, Brückenschaltungen zum Messen der Wärmeleitfähigkeit oder der Wärmetönung (s. Gasuntersuchungsapparate). Wenn jedoch die als Geber dienende Meßeinrichtung die zur Fernmessung erforderliche Energie nicht liefert, müssen fremde Stromquellen benutzt werden. Es ist hier nicht der Ort, auf die vielen Einzelkonstruktionen einzugehen, die zur Betätigung von Fernmeßvorrichtungen

angetrieben.

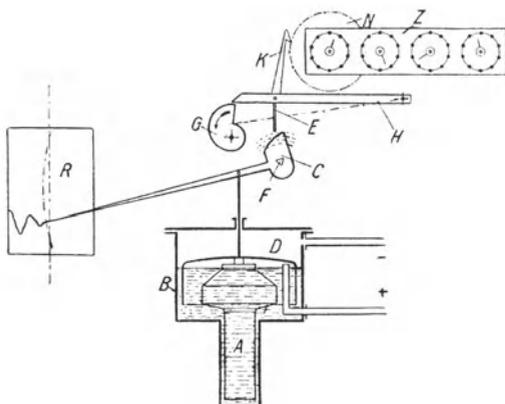


Abb. 1245. Kreisdiagramm eines Druckschreibers.

Abb. 1246. Zähl- und Schreibwerk eines Gasmengenmessers (Fueß).

angetrieben.

erdacht worden sind, und es sei daher auf das angeführte Schrifttum verwiesen. Für den vorliegenden Zweck mag es genügen, wenn im folgenden als Beispiel einer solchen Einrichtung die Fernübertragung des Meßergebnisses der Mono-Gasuntersuchungsapparate (H. Maihak A.-G., Hamburg) näher beschrieben wird. Abb. 1247 zeigt den Geber mit angeschlossenem Fernanzeiger.

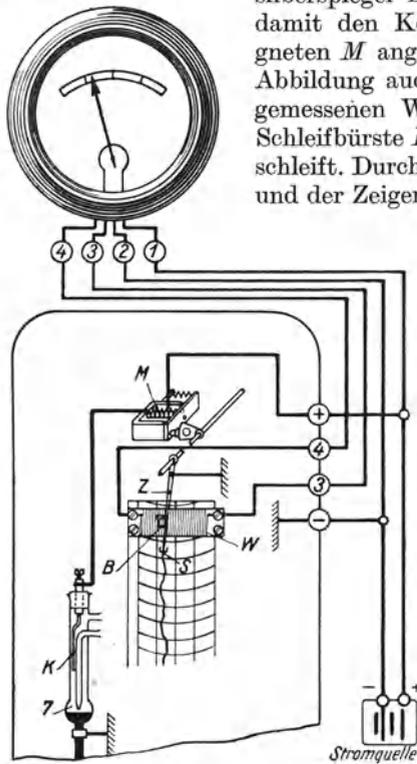


Abb. 1247. Geber und Fernanzeiger eines Rauchgasprüfers (Maihak).

In dem Glasrohr 7 geht der Quecksilberspiegel, der für die Analysen verwendet wird, abwechselnd auf- und abwärts. Bei beendeter Analyse ist der Quecksilberspiegel in seiner höchsten Stellung und schließt damit den Kontakt K , wodurch der Anker des Magneten M angezogen wird und der Zeiger Z , der in der Abbildung auch die Schreibfeder S trägt, sich auf den gemessenen Wert einstellt. Auf dem Zeiger ist eine Schleifbürste B angebracht, die über den Widerstand W schleift. Durch die Bürste wird dieser Widerstand geteilt, und der Zeiger des Fernzeiginstrumentes stellt sich auf

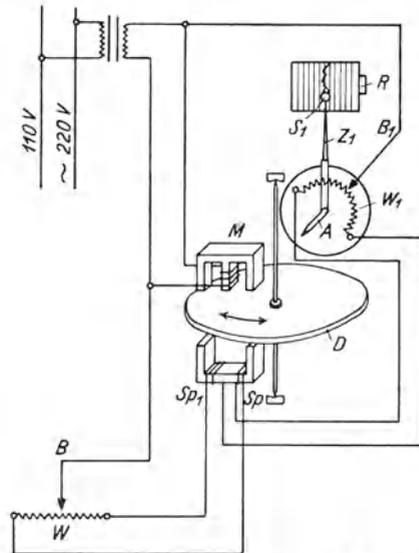


Abb. 1248. Fernempfänger eines Rauchgasprüfers (Maihak).

seiner Skala genau so ein wie die Schreibfeder S auf dem Diagramm. In den meisten Fällen erhält (im Gegensatz zu Abb. 1247) der Geber keine Registrier-
vorrichtung, sondern diese wird im Ferninstrument untergebracht. Dann muß
dieses mit einer besonderen Empfängereinrichtung ausgerüstet werden, die in
Abb. 1248 schematisch dargestellt ist. Im wesentlichen besteht der Fern-
schreiber aus dem Meßsystem eines Wechselstromzählers, einem Empfänger-
Widerstand W_1 mit der Bürste B_1 und dem Schreibwerk R . Durch die Bürste B
wird der Widerstand W im Geber (vgl. Abb. 1247) geteilt; durch die auf der
Achse A drehbare Bürste B_1 erfolgt die Teilung des Widerstandes W_1 . Die Dreh-
scheibe D des Motors M befindet sich in Ruhe, solange die zwischen den Wider-
ständen W und W_1 über die Spulen Sp und Sp_1 fließenden Teilströme sich das

Gleichgewicht halten. Sobald dieses Gleichgewicht gestört wird, dreht sich die Scheibe D so lange in der einen oder der anderen Richtung, bis durch die Bürste B_1 auf dem Widerstand W_1 das umgekehrte Teilungsverhältnis wie beim Widerstand W hergestellt ist. Der Zeiger Z_1 , der mit der Bürste B_1 fest verbunden ist, folgt daher jeder Bewegung der Bürste B und bewegt entsprechend dem Meßergebnis am Geber die Schreibfeder S_1 über das Diagramm des Schreibwerks R . Diese Art der Übertragung ist von Spannungs- und Frequenzschwankungen unabhängig; sie kann aber nur bei Wechselstrom verwendet werden und erfordert einen Schutztransformator von 110/220 auf 40 V.

Alarm- und Signaleinrichtungen sollen beim Eintritt von Unregelmäßigkeiten oder bei Erreichung eines bestimmten Zustandes das Betriebs-

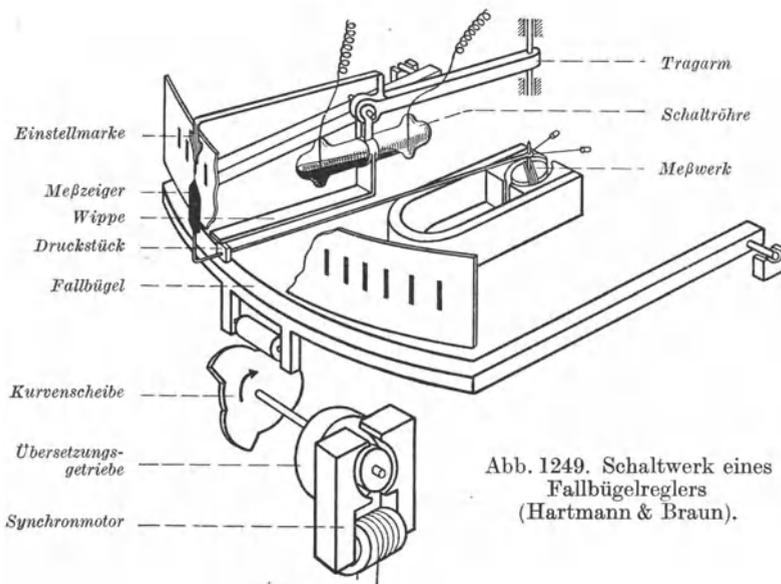


Abb. 1249. Schaltwerk eines Fallbügelreglers (Hartmann & Braun).

personal durch Abgabe eines akustischen oder eines optischen Signals zum Eingreifen veranlassen. Vielfach kann aber die Anlage gleich so ausgebaut werden, daß mit oder ohne gleichzeitiger Signalabgabe eine selbsttätige Reglevorrichtung zur Wirkung kommt, die ohne Eingreifen des Bedienungspersonals die erforderliche Änderung eines Betriebszustandes veranlaßt. In einfachen Fällen, wenn bei Zeigerinstrumenten der Weg des Zeigers an der Kontaktstelle beendet sein kann, kann für die Auslösung des Alarms ein einfacher Erdkontakt verwendet werden. Bei elektrischen Zeigerinstrumenten ist aber die Verstellkraft zu klein, um den erforderlichen Kontaktdruck zu erzeugen; man verwendet daher meist Fallbügelinstrumente zur Kontaktgabe, die in vielen Fällen auch zur Einleitung eines Reguliervorganges benutzt werden können. Der in Abb. 1249 dargestellte Fallbügelregler von Hartmann & Braun A.-G., Frankfurt a. M., dient in erster Linie zur selbsttätigen Temperaturregelung von Industrieöfen aller Art und bei Trocknungs- und Kochprozessen, kann aber auch für andere Regelvorgänge verwendet werden. Die zu regelnde Meßgröße wird elektrisch auf ein Meßwerk übertragen, dessen

jeweilige Stellung von einem Tastwerk abgetastet wird. Entsprechend dem durch eine Marke eingestellten Sollwert tritt das Schaltwerk in Tätigkeit, sobald die Meßgröße vom Sollwert abweicht. Für Impulskontaktabgabe wird der Fallbügel in regelmäßigen Zeitabständen durch eine von einem kleinen Synchronmotor angetriebene Kurvenscheibe gehoben und gesenkt und hebt dabei den vor der Skala schwingenden Zeiger an. Steht der Zeiger gerade unter der einem Regelwert entsprechenden Einstellmarke (wie in Abb. 1249 gezeichnet), dann wird durch sein Druckstück die Kontaktwippe in Schräglage gekippt, in der Quecksilber-Schaltröhre der Kontakt des Stromkreises geschlossen und der entsprechende Regelvorgang eingeleitet. Beim Sinken des Fallbügels wird der Zeiger wieder freigegeben und die Schaltröhre kippt in ihre Ausgangsstellung zurück. Die der Regelung dienenden Schaltröhren und die zur Signalabgabe bei Überschreitung des Sollwertes dienende Schaltröhre werden meist auf einem über die ganze Skala schwenkbaren Tragarm angeordnet, während eine weitere Signalaröhre dem Skalenanfangswert fest zugeordnet ist. Sie schaltet einen Alarmkreis oder unterbricht den ganzen Steuerkreis für die Regelung, wenn z. B. bei Zerstörung des Fühlorgans oder bei Bruch der Meßleitung das Meßwerk stromlos wird. Für Sonderzwecke kann der Regler auch mit mehreren, gegeneinander verstellbaren Tragarmen geliefert werden, die mit je einer Röhre oder auch mit mehreren Röhren bestückt werden können. Für Dauerkontaktabgabe liegt die Wippe mit der Schaltröhre, solange der Zeiger nicht unter ihr steht, in ihrer Grundstellung, in der die Energie durch die Röhre eingeschaltet ist. Sobald der Sollwert erreicht wird, tritt der Zeiger unter die Wippe, die beim nächsten Hub des Fallbügels angehoben und in dieser Stellung verklinkt wird; die Energie ist damit abgeschaltet. Geht der Zeiger wieder unter den Sollwert zurück, wird die Wippe beim nächsten Hub des Fallbügels wieder entklinkt und damit die Energie wieder eingeschaltet. Auch bei dieser Ausführung können mehrere Schaltröhren auf eigenen Wippen vorgesehen werden.

Wenn es sich bei einem Regelvorgang nicht darum handelt, einen konstanten Zustand aufrechtzuerhalten, sondern z. B. darum, bei einem Erwärmungs- oder bei einem Kühlvorgang einen zeitlich genau vorgeschriebenen Temperaturverlauf einzuhalten, kann der Fallbügelregler durch Verbindung mit einem Programmgeber zu einem Programmregler ausgebaut werden. Der Programmgeber (Abb. 1250) besteht dabei im wesentlichen aus einer Kurvenscheibe (Programmscheibe, in der Abbildung oben sichtbar), die von einem Uhrwerk oder besser von einem Synchronmotor über ein Getriebe angetrieben wird, und aus einem Fühlhebel, dessen Gleitrolle sich an den Rand der Scheibe anlegt. Die von der Form der Kurvenscheibe abhängige Bewegung des Fühlhebels wird mechanisch auf den Tragarm des Fallbügelreglers übertragen, der sich daher auf die im Programm festgelegten Regelwerte nach den festgelegten Zeiten einstellt; der Fallbügelregler steuert dann die Energie gemäß diesem Programm.



Abb. 1250.
Programmgeber
(Hartmann & Braun).

Häufig reichen die geringen Verstellkräfte der Kontrollapparate nicht aus, um einen Regelvorgang einzuleiten, so daß für die Durchführung der Regelung eine zusätzliche Kraftquelle erforderlich wird, deren Steuerung durch das Meßinstrument erfolgt. Ein Beispiel der zahlreichen für diesen Zweck entwickelten Apparaturen ist der in Abb. 1251 dargestellte hydraulische Kraftbügelregler von *Reineke* (Thermotechnik G. m. b. H., Berlin-Lichterfelde)

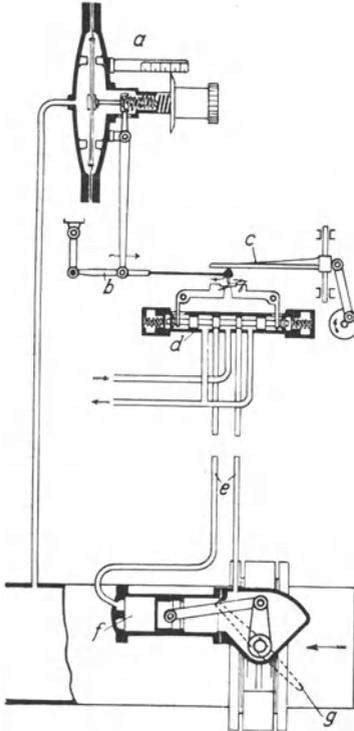


Abb. 1251. *Reineke*-Kraftbügelregler (Thermotechnik).

a Meßsystem, *b* Zeiger, *c* Kraftbügel, *d* Steuerkolben, *e* Steuerleitungen, *f* Kraftzylinder (Servomotor), *g* Regelorgan (Drosselklappe).

für selbsttätige Druckregelung. Als Regelorgan dient hierbei eine Drosselklappe, die von einem durch Druckwasser oder durch Drucköl gesteuerten Servomotor betätigt wird. Die Wirkungsweise ist folgende: Als Meßsystem wird beispielsweise ein Membrandruckmesser *a* benutzt, der durch eine Belastungsfeder auf einen bestimmten Sollwert des Druckes eingestellt werden kann. Der von der Membran beeinflusste Zeiger *b* kann frei unter einem Fallbügel (Kraftbügel) *c* spielen. Dieser wird durch einen Antriebsmotor in gleichen Zeitabständen auf- und abwärts bewegt, wobei der federnde Zeiger beim Sollwert in den freien Spalt, bei Druckabweichungen auf einen der beiden Kniehebel gedrückt wird, die den Steuerkolben *d* verschieben und so der Druckflüssigkeit den Weg durch die Steuerleitungen *e* nach der einen oder der anderen Seite des Kraftkolbens im Servomotor *f* freigeben. Dieser wird so nach rechts oder nach links bewegt und schließt oder öffnet die Drosselklappe *g*, bis der gewünschte Druck in der Rohrleitung wiederhergestellt ist. Dadurch, daß die Regelgeschwindigkeit stets proportional der Druckabweichung vom Sollwert ist, wird ein vollkommen pendelfreies Arbeiten erreicht. Die Hubzahl des Kraftbügels kann je nach dem Verwendungszweck eingestellt werden. Sie beträgt 60 bis 75/min bei stark schwankenden Drücken und geht bei Temperatur- oder bei Heizwertregelung auf 5–10/min herunter. Der Kraftbügel-

regler ist praktisch nicht nur zur Druckregelung, sondern auch zur Regelung von Temperaturen, Mengen, Heizwerten, Gasgemischen u. a. zu verwenden. Entsprechend dem Zweck der Regelung ist das Meßsystem auszubilden, wobei auch elektrische Fernübertragung des Regelwertes auf den Zeiger angewendet werden kann.

II. Übersicht über die gebräuchlichen Kontrollapparate. Bei der folgenden Zusammenstellung der für die praktische Betriebskontrolle üblichen Meßmethoden sollen nur diejenigen Verfahren Berücksichtigung finden, die in größerem Umfang Eingang in die Betriebsmessung gefunden haben. Ausgenommen sind alle ausgesprochenen Laboratoriumsgeräte, ferner alle Untersuchungsmethoden für Messungen an Kraftmaschinen, bezüglich derer auf die

ausführlichen Werke von *Gramberg* und von *Seufert* verwiesen sei, und alle Meßeinrichtungen zur Bestimmung elektrischer Größen, worüber in den angeführten Werken von *Jaeger*, *Keinath* u. a. alles Wissenswerte zu finden ist (s. Lit. am Ende des Abschnittes).

Temperaturmessung. Für einfache Verhältnisse und dort, wo eine fortlaufende Überwachung nicht erforderlich ist, sondern gelegentliche Ablesungen genügen, reichen Quecksilberthermometer (s. Thermometer) aus, die für Temperaturen zwischen -30 und $+500^{\circ}$ verwendbar sind. Ihre Anzeigegenauigkeit (abhängig vom Beobachter) beträgt günstigstenfalls $\pm 1\%$; bei den Quecksilber-Feder-Thermometern ist Übertragung des Meßergebnisses auf kurze Entfernungen (bis 50 m) möglich.

Besser, weil subjektive Fehler und Unsicherheit vermeidend, sind Widerstandsthermometer und Thermoelemente. Der Meßbereich der Widerstandsthermometer reicht von -200 bis $+600^{\circ}$, ihre Meßgenauigkeit beträgt $\pm 1\%$. Gemessen wird die absolute Temperatur mit Hilfe von Widerständen aus feinen Platindrähten in Brückenschaltung; wenn chemische Einflüsse auf die Widerstände ausgeschlossen sind, können auch solche aus Eisen, Kupfer oder Nickel verwendet werden.

Im Gegensatz zum Widerstandsthermometer wird beim Thermoelement eine Temperaturdifferenz gemessen; die tatsächliche Temperatur ist gleich derjenigen an der kalten Lötstelle plus Temperaturdifferenz zwischen kalter und warmer Lötstelle. Wichtig ist daher die Konstanthaltung der Temperatur an der kalten Lötstelle. Die Thermoelemente haben den Vorteil, daß sie keine fremde Stromquelle wie die Widerstandsthermometer brauchen und daß leicht mehrere Meßstellen an ein gemeinsames Registrierinstrument (Mehrfachschreiber) angeschlossen werden können; auch gleichzeitiger Anschluß von Widerstandsthermometern an den Mehrfachschreiber ist möglich. Der Meßbereich geht bei Elementen aus Eisen und Konstantan bis 800, bei solchen aus Nickel und Nickelchrom bis 1100, bei Platin und Platinrhodium bis 1700 $^{\circ}$; die Meßgenauigkeit beträgt im allgemeinen $\pm 1\%$, bei Edelmetallen $\pm 0,5\%$. Die Übertragung des Meßergebnisses auf beliebige Entfernungen ist sowohl bei Widerstandsthermometern als auch bei Thermoelementen ohne Schwierigkeit möglich.

Für die Messung der höchsten praktisch vorkommenden Temperaturen (von etwa 600 $^{\circ}$ aufwärts) kommen nur Strahlungs-pyrometer (s. Pyrometer) in Frage. Sie beruhen auf der Messung der Strahlung eines erhitzten Körpers, wobei indessen zu berücksichtigen ist, daß diese nicht nur von der Temperatur, sondern auch vom Emissionsvermögen des betreffenden Körpers abhängt. Für praktische Betriebskontrolle kommen überwiegend Gesamtstrahlungs-pyrometer in Betracht, weil bei den sog. Teilstrahlungs-pyrometern eine Aufzeichnung und Fernübertragung des Meßergebnisses nicht möglich ist. Die Meßgenauigkeit beträgt etwa $\pm 2\%$.

Druckmessung. Die gebräuchlichen Einrichtungen zur Druckmessung (s. Druckmesser) — bei Drücken, die über dem Atmosphärendruck liegen, meist Manometer, bei solchen unter dem Atmosphärendruck Vakuummeter genannt — zeigen nicht den absoluten Druck, sondern einen Druckunterschied an, und zwar ist, da der Druckmesser meist mit der Atmosphäre in Verbindung steht, der absolute Druck gleich dem gemessenen Überdruck plus Barometerstand oder (bei Unterdruck) gleich Barometerstand minus

gemessener Unterdruck. Man verwendet überwiegend entweder Flüssigkeitsmanometer mit Wasser- oder mit Quecksilberfüllung oder Metallmanometer, wobei die Druckhöhe entweder (bei kleinen Drücken) in mm Wassersäule (kg/m^2) oder in mm Quecksilbersäule oder (bei größeren Drücken) in kg/cm^2 angegeben wird. Zum Messen sehr kleiner Drücke werden als Füllflüssigkeiten solche verwendet, deren spez. Gewicht unter 1 liegt (z. B. Methylalkohol, Benzol, Toluol, Xylol, Petroleum u. a.).

Die Flüssigkeitsmanometer werden entweder zweiseitig als U-Rohr-Manometer ausgeführt, wobei stets die Höhe beider Flüssigkeitssäulen abgelesen werden muß, oder man verwendet sog. Gefäßmanometer, bei denen ein Manometerrohr an ein Vorratsgefäß mit größerem Querschnitt angeschlossen ist. Letztere haben den Vorteil, daß mehrere Manometer an ein gemeinsames Gefäß angeschlossen werden können. Bei genügend reichlicher Bemessung des gemeinsamen Flüssigkeitsbehälters kann das Sinken des Flüssigkeitsspiegels in diesem unberücksichtigt bleiben, wodurch das Ablesen dieser Instrumente einfacher wird. Gefäßmanometer haben ferner den weiteren Vorteil, daß sie mit Hilfe eines Schwimmers leicht mit Anzeige- oder mit Registriereinrichtungen versehen werden können. Alle diese Manometer haben den Nachteil, daß sie kleinere Ablesungen als 0,5 mm WS nicht mehr zulassen. Die Ablesung kleinerer Druckunterschiede kann aber mit einem U-Rohr ermöglicht werden, wenn man zwei Flüssigkeiten von verschiedenem spez. Gewicht benutzt.

Bei geringen Drücken von wenigen mm WS reichen aber auch solche Instrumente nicht mehr aus, um eine befriedigende Ablesegenauigkeit zu erhalten. Für diese Fälle dienen Mikromanometer, mit denen man eine Ablesegenauigkeit von 0,05—0,01 mm erreichen kann. Bei diesen, ebenfalls auf dem Prinzip der kommunizierenden Röhren beruhenden Geräten wird die höhere Ablesegenauigkeit durch (feste oder verstellbare) Neigung des einen Schenkels erreicht. Da die Mikromanometer meist als Gefäßmanometer gebaut sind, wobei der Querschnitt des Manometergefäßes gegenüber dem des Meßschenkel sehr reichlich bemessen ist, genügt praktisch die Ablesung an einem Schenkel. Zur Erweiterung des Meßbereichs werden statt der geraden auch gleichförmig oder ungleichförmig gebogene Meßrohre verwendet. Letztere Methode wendet man in der Regel dann an, wenn man bei den niederen Drücken eine größere Empfindlichkeit erreichen will als bei den höheren; gleichförmige Krümmung des Meßrohres ergibt gleichbleibende Empfindlichkeit über den ganzen Meßbereich. Man erhält so das Kreisrohrmanometer (Ringwaage, Druckwaage), ein Flüssigkeitsmanometer, dessen Schenkel sich auf einer im Kreismittelpunkt angeordneten Schneide drehen, so daß auch geringe Druckunterschiede bereits erhebliche Ausschläge ergeben.

Zu den Flüssigkeitsmanometern gehören auch die Glockendruckmesser, die den Vorteil haben, daß man mit ihnen durch entsprechende Ausbildung der Glocke den gemessenen Druck stark vergrößert anzeigen oder auch aufzeichnen kann; daher bezeichnet man diese Geräte auch als Druckschreiber. Durch Anordnung mehrerer Glocken in einem gemeinsamen Behälter läßt sich dieser Apparat auch als Mehrfachschreiber einrichten.

Zur Messung von Drücken über 2 kg/cm^2 werden die Flüssigkeitsdruckmesser, auch bei Verwendung von Quecksilber als Sperrflüssigkeit, zu unhandlich; hierfür kommen daher nur Metallmanometer in Betracht, wenn auch deren Anzeigenauigkeit durch die auftretende Reibung und andere Einflüsse

weniger groß ist. Man verwendet zur Messung kleinerer Drücke und von Unterdruck meist Plattenfeder-Manometer, bei denen die Durchbiegung einer eingespannten Metallmembran auf ein Zeigerwerk übertragen und so für die Druckmessung benutzt wird. Für höhere Drücke eignen sich nur Röhrenfeder-Manometer, da bei diesen die Proportionalität zwischen Formänderung und Druck in weiteren Druckgrenzen bestehen bleibt. Diese Geräte können auch mit einer Schreibvorrichtung zum Aufzeichnen der gemessenen Drücke auf einem Diagrammstreifen ausgerüstet werden.

Alle diese Geräte können auch als Differenzdruckmesser verwendet werden, wenn sie statt an die freie Atmosphäre an eine zweite Meßstelle angeschlossen werden. Solche Differenzdruckmesser kommen insbesondere als Anzeigergeräte für die dynamische Mengenmessung in Frage. Da hierbei die Durchflußmenge der Quadratwurzel der Differenz der Drücke vor und hinter der Meßstelle proportional ist und sich daher keine lineare Einteilung der Skala ergibt, werden solche Differenzdruckmesser häufig mit einer mechanischen oder elektrischen Radiziereinrichtung verbunden, um planimetrierbare Diagramme zu erhalten (s. Gasmesser, Staurohre, Venturimeter).

Dichtemessung (s. Dichtemesser). Das einfachste Gerät zur Messung der Dichte einer Flüssigkeit ist die auf dem archimedischen Prinzip beruhende Senkwaage (Aräometer, s. Spindeln); sie kommt als Kontrollgerät überall dort in Frage, wo Stichproben genügen und auf laufende Aufzeichnung der Messung kein Wert gelegt wird. Für diesen Zweck stehen Geräte zur Verfügung, bei denen die Dichtemessung mit Hilfe einer Vergleichsflüssigkeit bekannter Dichte durchgeführt wird, oder im Aufbau einfachere Geräte, die auf dem Prinzip der Neigungswaage beruhen, wobei das Gewicht eines konstanten Flüssigkeitsvolumens dauernd angezeigt oder auf einem Diagrammstreifen laufend aufgezeichnet wird. Für Flüssigkeiten, deren Temperatur stark schwankt, kann das Gerät mit Temperaturkompensation eingerichtet werden.

Für die Dichtemessung von Gasen wird entweder das Gewicht einer konstanten Gassäule in einer Gaswaage gemessen, oder man benutzt ein Vergleichsgas bekannter Dichte und mißt die dynamischen Drücke der beiden Gase, die sich bei gleicher Gasgeschwindigkeit wie die Dichten verhalten. Endlich kann die Dichte eines Gasgemisches auch bestimmt werden aus dem Verhältnis der kinetischen Energie dieses und eines bekannten Vergleichsgases (z. B. Luft) bei gleicher Geschwindigkeit. Durch eine besondere Einrichtung kann der Einfluß der Feuchtigkeit des Meßgases kompensiert werden.

Feuchtigkeitsmessung (s. Feuchtigkeitsmesser). Zur Messung der Feuchtigkeit kann die Eigenschaft hygroskopischer Stoffe benutzt werden, ihre Länge entsprechend der Feuchtigkeit zu verändern (Menschenhaare, Darmsaiten); die darauf beruhenden sog. Haarhygrometer können für Temperaturen bis 80° und bei einem Feuchtigkeitsgehalt von über 25% mit einer Genauigkeit von ± 1 —2% verwendet werden. Für genaue Messungen, auch bei höheren Temperaturen, kann die Taupunktmethode benutzt werden, wobei aus Taupunkttemperatur und Vergleich mit der Lufttemperatur die Feuchtigkeit bestimmt wird. Sehr zuverlässig ist ferner das Psychrometerverfahren, bei dem die Feuchtigkeit aus dem Temperaturunterschied bestimmt wird, der an einem trockenen und einem zweiten, stets feucht gehaltenen Thermometer abgelesen wird. Wird der hierbei über beide Thermo-

meter streichende Luftzug durch einen besonderen Ventilator erzeugt, so bezeichnet man die Geräte als Aspirationspsychrometer. In beiden Fällen können an Stelle von Quecksilberthermometern auch Thermoelemente oder elektrische Widerstandsthermometer verwendet werden, wodurch Fernübertragung des Meßergebnisses möglich wird. Durch besondere Schaltungen kann hierbei erreicht werden, daß der Feuchtigkeitsgehalt ohne Benutzung von Zahlentafeln oder von Schaubildern unmittelbar angezeigt oder aufgezeichnet oder auf beliebige Entfernung übertragen wird.

Heizwertmessung. Für die laufende Kontrolle des Heizwertes von Gasen ist das beste Gerät immer noch das selbsttätige Calorimeter von Junkers: Durch die Kupplung von Wassermesser und Gasuhr wird das Verhältnis von Wassermenge und Gasmenge selbsttätig konstant gehalten, so daß der Heizwert direkt proportional der gemessenen Temperaturdifferenz ist. Durch Einbau einer Reduziereinrichtung kann erreicht werden, daß das Instrument unmittelbar den auf 0° und 760 mm Barometerstand reduzierten Heizwert aufzeichnet.

Gasanalyse. Das gemeinsame Kennzeichen aller selbsttätigen Gasuntersuchungsapparate (s. d.) ist, daß von der betreffenden Apparatur selbsttätig eine Analyse nach der anderen (je nach Konstruktion und Wirkungsweise in größeren oder kleineren Zeitabständen) ausgeführt und das Meßergebnis fortlaufend aufgezeichnet wird. Dabei kommen zunächst zwei Meßverfahren überwiegend zur Anwendung: einmal ein volumetrisches, bei dem die zu untersuchende Gasprobe zunächst genau abgemessen und einer dem zu bestimmenden Gasanteil angepaßten Reaktionsvorrichtung zugeführt wird; die nach der Reaktion eingetretene Volumenverminderung ist das Maß für den festzustellenden Gasbestandteil und wird durch eine geeignete Vorrichtung angezeigt und auf einem Diagrammstreifen aufgezeichnet. Dabei geschieht die Messung durch zwei verschiedene, von der Beschaffenheit des betreffenden Gasbestandteiles abhängige Reaktionsverfahren, nämlich durch Absorption (z. B. zur Bestimmung von CO_2 , SO_2 , Cl_2 , NH_3 usw.) oder durch Verbrennung (z. B. bei O_2 , H_2 , CO , C_nH_m u. a.).

Bei dem zweiten, dem physikalischen Meßverfahren dienen physikalische Eigenschaften der Gase, nämlich ihre Wärmeleitfähigkeit und ihre Wärmetönung, als Grundlage der Messung. Erstere kann immer dann benutzt werden, wenn die Wärmeleitzahlen der Teile des Gasgemisches genügend voneinander verschieden sind, um eine zuverlässige Messung zu gestatten. Die Wärmetönung eignet sich dagegen zur Untersuchung aller der Gasgemische, die katalytische Reaktionen eingehen. In beiden Fällen kann die Bestimmung der Gaskonzentration auf die sehr genau durchführbare und außerordentlich einfache Widerstandsmessung in der *Wheatstoneschen* Brückenschaltung zurückgeführt werden. Für den Nachweis kleinster Mengen von CO kann die katalytische Verbrennung als Meßgrundlage benutzt werden, indem das vorhandene CO an Hopkalit bei 100° katalytisch verbrannt und die entstehende Verbrennungswärme thermoelektrisch gemessen wird.

Die Menge eines durch Absorption entfernten Gasbestandteils kann auch auf manometrischem Wege gemessen werden, indem nach Beendigung der Absorption für kurze Zeit ein empfindliches Mikromanometer (z. B. eine Ringwaage) angeschlossen und der entstandene Unterdruck angezeigt oder aufgeschrieben wird.

Endlich können für die qualitative Bestimmung kleiner Gasbeimengungen auch colorimetrische Methoden angewandt werden, wobei die Färbung eines mit einem entsprechenden Reagensmittel behandelten Papierstreifens zur Messung benutzt und an Hand einer Farbskala je nach dem Grade der eingetretenen Färbung auf die ungefähre Menge des betreffenden Gasbestandteils geschlossen wird. Auf diese Weise können auch Gasspuren noch einwandfrei nachgewiesen werden.

Mengenmessung. Die praktisch angewendeten Methoden der Mengemessung sind außerordentlich zahlreich und verschieden, je nach dem Meßgut und je nach der Genauigkeit, die bei der Messung angestrebt werden muß. Für alle Stoffe, feste, flüssige und gasförmige, kann die Menge durch Bestimmung des Volumens, für feste und flüssige auch durch Wägung festgestellt werden. Die Mengemessung von Flüssigkeiten, Gasen und Dämpfen geschieht jedoch meist, weil die Volumenmessung größerer Mengen zu außerordentlich umfangreichen und teureren Einrichtungen führt, mittelbar durch Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit, und zwar entweder durch unmittelbare Geschwindigkeitsmessung mittels Flügelräder oder durch mittelbare mit Hilfe von Staugeräten, Meßflanschen, Venturirohren oder Schwimmern.

Zur volumetrischen Mengemessung von Schüttgütern (s. Dosiermaschinen) kann bei bescheidenen Ansprüchen an die erreichbare Genauigkeit ein zwischen seitlichen Wänden laufendes Transportband benutzt werden, auf dem die Höhe des Schüttgutes durch einen in der Höhe einstellbaren Schieber konstant gehalten wird. Genauere Ergebnisse gewähren die sog. Abzugsgapparate, bei denen die Verbindung zwischen Ein- und Auslauf durch Rohre erfolgt, in denen die Abzugsschnecken liegen. Aber auch hier können Meßfehler bis 20% vorkommen, da unter Umständen das Meßgut einfach durch die Schneckenwindungen hindurchläuft. Zur Vermeidung dieses „Schießens“ verwendet man Zellenräder, mit denen fein gemahlene Stoffe einwandfrei gemessen werden können. — Zur Nachprüfung des Standes von Schüttgütern dienen die Bunkerstandanzeiger (s. Bunker).

Die einfachsten Volumenmesser für Flüssigkeiten sind die Kippwasser-messer (s. Flüssigkeitsmesser), kippbare Behälter mit zwei Meßkammern, deren konstanter Inhalt durch einen Überlauf begrenzt wird, und von denen sich immer eine füllt, während sich die andere entleert. Umschaltung und Zählung erfolgen selbsttätig. Häufig benutzt man auch zwei feststehende Meßgefäße, deren abwechselnde Füllung und Entleerung durch Schwimmer gesteuert wird. Ähnlich arbeiten auch die Trommelmesser, bei denen eine in mehrere Meßkammern unterteilte Trommel durch deren abwechselnde Füllung und Entleerung in Drehung versetzt wird. Zum Messen von Flüssigkeiten verwendet man auch Kolbenmesser, bei denen die in einem oder in mehreren Meßgefäßen vorhandene Flüssigkeit durch abwärts gehende Kolben verdrängt wird. Die bekanntesten Volumenmesser für Flüssigkeiten sind die Kapsel- und die Scheibenmesser. Die ersteren (auch Kolbenscheibenmesser genannt) können auch zur Messung von heißem Wasser verwendet werden. Sie arbeiten mit einem T-förmigen Ringkolben, der durch die durchfließende Flüssigkeit in Drehung versetzt wird. Bei den Scheibenmessern rollt eine sog. Taumelscheibe auf einer Kegelfläche in der Meßkammer ab und läßt so bei jeder Umdrehung ein entsprechendes Flüssigkeitsvolumen hindurchfließen.

— Zur Prüfung des Flüssigkeitsstandes in Behältern dienen die Flüssigkeitsstandanzeiger (s. d.).

Die Volumemesser für Gase (s. Gasmesser) werden als nasse oder als trockene Gasmesser bezeichnet, je nachdem, ob sie mit oder ohne Sperrflüssigkeit arbeiten. Die nassen Gasmesser (bis zu einem Durchgang von etwa 6000 m³/std) arbeiten mit der von *Crosley* angegebenen Trommel mit vier Meßkammern, die sich in einem teilweise mit Wasser oder einer anderen geeigneten Sperrflüssigkeit gefüllten Gehäuse dreht, wobei die auf ein Zählwerk übertragene Anzahl der Trommelumdrehungen das Maß für die hindurchgegangene Gasmenge ergibt. Die nassen Volumengasmesser arbeiten (bei entsprechender Wartung) mit einer Meßgenauigkeit von $\pm 2\%$; ihr Nachteil ist hauptsächlich der, daß sie für große Leistungen sehr umfangreich und teuer werden. Für kleinere Gas Mengen (bis etwa 500 m³/std) werden vielfach trockene Gasmesser verwendet, die im Betrieb keinerlei Wartung brauchen und daher trotz ihrer geringeren Meßgenauigkeit die nassen Gasmesser teilweise verdrängt haben. Die trockenen Gasmesser arbeiten meist mit zwei Blasbälgen aus Leder oder einem imprägnierten Stoff, die zusammen mit dem sie umschließenden Gehäuse vier Meßkammern bilden, die sich abwechselnd mit Gas füllen und wieder entleeren. Die Bewegung der Blasbälge wird durch Ventile gesteuert und auf ein Zählwerk übertragen. Von den verschiedenen neueren Konstruktionen von Volumengasmessern für große Leistungen hat sich besonders der Drehkolbenmesser bewährt, der nach dem Prinzip des *Root*-Gebläses gebaut ist und für Leistungen bis 9000 m³/std geliefert wird. Seine Meßgenauigkeit beträgt 1—2%.

Die Mengennmessung durch Wägung kommt sowohl für feste Stoffe als auch für Flüssigkeiten in Frage. Für feste Stoffe werden vor allem Laufgewicht- und Balkenwagen (s. Dosiermaschinen) verwendet, und zwar kommen für laufende Messungen fast ausschließlich selbsttätige Waagen in Betracht. Balkenwaagen werden dann verwendet, wenn eine innerhalb enger Grenzen gleichbleibende Menge gemessen werden soll, während die Laufgewichtswaagen das gerade zufällig anfallende Wiegegut verwiegen. Letztere eignen sich daher auch für den Einbau in Bandförderer und ähnliche stetig arbeitende Transportvorrichtungen. Für das selbsttätige Verwiegen von Flüssigkeiten kommen Balkenwaagen und Kippwaagen in Betracht, die für den besonderen Zweck mit entsprechenden Zu- und Abflußeinrichtungen ausgestattet sein müssen. (Siehe Waagen.)

In neuerer Zeit haben sich die indirekten Meßmethoden stark entwickelt, von denen die Geschwindigkeitsmessung für die praktische Betriebskontrolle die größte Bedeutung erlangt hat. Für Gase und Flüssigkeiten stehen Flügelradgasmesser zur Verfügung. Die Flügelradgasmesser, die nach dem Prinzip des Anemometers arbeiten und für Gas Mengen bis 20000 m³/std hergestellt werden, haben den Nachteil, daß ihre Meßgenauigkeit sehr nachläßt, sobald der Gasdurchgang unter $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{10}$ der normalen Zählerleistung sinkt. Sie eignen sich daher besonders zur Messung annähernd gleichbleibender Mengen und für reine Gase, da mitgebrachte Unreinigkeiten den Mechanismus sehr schnell verschmutzen und damit die Meßgenauigkeit verschlechtern. Dagegen haben für Flüssigkeitsmessung Flügelrad- und *Woltman*-Wassermesser (s. Flüssigkeitsmesser) ausgedehnte Anwendung gefunden. Bei den Flügelradwassermessern unterscheidet man Trocken- und Naßläufer; bei den

ersteren ist das Zählwerk vom eigentlichen Meßraum durch eine Stopfbüchse abgetrennt, so daß die Gefahr der Verschmutzung weniger besteht als bei den Naßläufern, bei denen das Zählwerk vom Meßraum nicht getrennt ist und ständig von der Meßflüssigkeit umströmt wird. Der Vorteil des *Woltman-Messers* besteht darin, daß die Meßflüssigkeit geradlinig hindurchfließt, ohne eine Ablenkung zu erfahren. Beim Einbau ist aber darauf zu achten, daß durch einen eingebauten Strahlregler eine einwandfreie Strömung erreicht wird, wenn der Messer selbst nicht einen solchen Regler enthält. Regelmäßige Nacheichungen sind für alle Flügelradmesser dringend zu empfehlen.

Wegen ihrer auch bei großen Durchgangsmengen verhältnismäßig geringen Beschaffungskosten erfreuen sich die Geräte, bei denen die Geschwindigkeitsmessung mittelbar mit Hilfe eines Staugeräts erfolgt, zunehmender Beliebtheit. Als Staugeräte kommen zunächst Blenden und Meßdüsen (s. Meßflansche) in Betracht. Die Abmessungen dieser Geräte sind genormt (vgl. Regeln für die Durchflußmessungen mit genormten Düsen und Blenden [Berlin 1932, VDI-Verlag]), so daß sie im allgemeinen ohne besondere Eichung benutzt werden können. Dies trifft besonders für die Normdüse zu, deren Beiwert (Durchflußziffer) annähernd gleich 1 ist. Wenn der durch die Drosselung hervorgerufene Druckverlust möglichst vollständig zurückgewonnen werden soll, verwendet man als Staugerät das Venturirohr (s. Venturimesser), dessen geringer Druckverlust dadurch erreicht wird, daß sich der Querschnitt an der Staustelle allmählich wieder in Gestalt eines langen Kegels auf den Eintrittsquerschnitt erweitert. Da die hierdurch bedingte, verhältnismäßig große Baulänge beim Einbau in vorhandene Rohrleitungen manchmal Schwierigkeiten macht, werden auch sog. Kurzventurirohre verwendet, bei denen der Ausgangskegel nicht bis zum ursprünglichen Rohrquerschnitt fortgesetzt wird. Ihr Energieverlust ist nicht wesentlich größer als der der normalen Venturirohre. Als sonstige Staugeräte kommen auch Staurohre (s. d.) nach *Brabée* oder *Prandtl* in Frage; doch werden sie meist nur für vorübergehende Messungen angewendet. Wichtig ist, daß das Staurohr möglichst genau in Achsrichtung in die Rohrleitung eingesetzt wird, weil sich sonst ihr durch Eichfestzustellender Beiwert nicht unwesentlich ändert, was zu Meßfehlern Veranlassung gibt. Die Bestimmung der Durchflußmenge geschieht bei allen Staugeräten durch einen entsprechend geeichten Differentialdruckmesser, der mit Anzeige- und Registriervorrichtung versehen sein kann. (Siehe Venturimesser.)

Endlich kann die Durchflußgeschwindigkeit von Flüssigkeiten, Gasen und Dämpfen auch mit sog. Schwimmermessern festgestellt werden (s. Dampfmesser, Flüssigkeitsmesser, Gasmesser). Ihre Wirkungsweise beruht darauf, daß durch die strömende Flüssigkeit ein Schwimmer in einem besonders, meist konisch gebohrten Rohr soweit angehoben wird, bis die auf den Schwimmer ausgeübte Kraft gleich ist dem Schwimmergewicht. Die jeweilige Hubhöhe des Schwimmers bildet so das Maß für die Durchflußmenge. Für kleinere Durchflußmengen bewegt sich der Schwimmer vielfach in einem Glasrohr, so daß seine Hubhöhe unmittelbar abgelesen werden kann; für größere Mengen, besonders zur Dampfmessung, wird die jeweilige Schwimmerstellung aufgezeichnet. Die Geräte werden auch mit Einrichtungen zur selbsttätigen Integration ausgeführt. — Handelt es sich lediglich um die Beobachtung einer Strömung, so verwendet man Durchflußprüfer (s. d.) oder baut in die fragile Leitung eine Laterne (s. d.) ein.

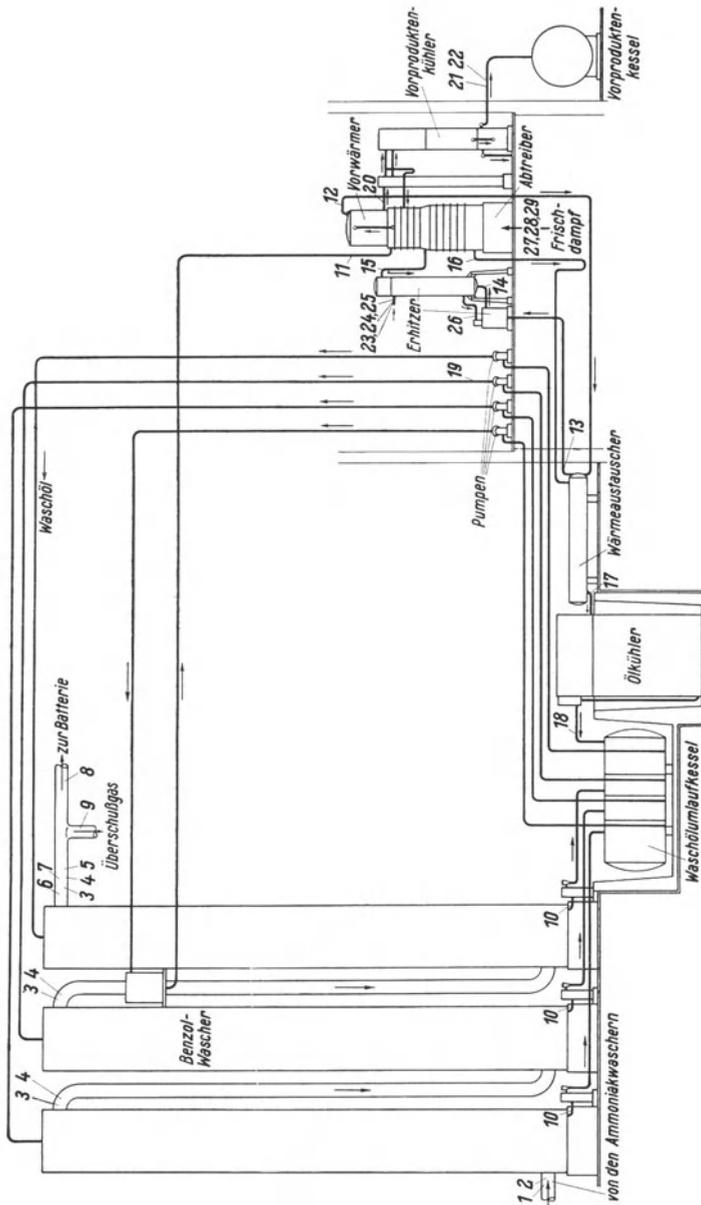


Abb. 1252. Meßtechnische Überwachung einer Benzolgewinnungsanlage (Siemens & Halske).

III. Beispiel der meßtechnischen Überwachung. Zusammenfassend soll im nachstehenden an dem Beispiel einer Benzolgewinnungsanlage (Abb. 1252) der Aufbau des gesamten betrieblichen Meßwesens gezeigt werden (vgl. *W. Liesegang* u. *O. Haeseler*, Die meßtechnische Überwachung von Nebengewinnungsanlagen in Kokereien [Bergbau 1932, S. 74, 88, 99]). Überwacht werden die Menge des Wäschöls, die Wäschöltemperatur hinter jedem Wäscher,

ferner die Arbeitsweise des Vorwärmers, des Wärmeaustauschers, des Ölkühlers, des Hoch- und Niederdruckerhitzers und des Abtreibers; an letzterem findet außerdem eine selbsttätige Regelung der Dampfzufuhr in Abhängigkeit von der Temperatur des den Abtreiber verlassenden Benzoldampfes statt. Diese Regelung geschieht nach Abb. 1253 mittels eines elektrischen Fallbügelreglers, dessen Meßwerk *M* an ein Widerstandsthermometer angeschlossen ist. Bei dem den dritten Benzolwascher verlassenden Endgas werden die Gasmengen der einzelnen angeschlossenen Gasverbraucher, sowie der Heizwert des Endgases gemessen. Sofern es die Betriebsverhältnisse verlangen, können für das Endgas noch selbsttätige

Gasuntersuchungsapparate und Dichtemesser in Frage kommen. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die einzelnen Meßstellen und die verwendeten Meßgeräte; hinsichtlich der Einzelheiten sei auf die angegebene Quelle verwiesen.

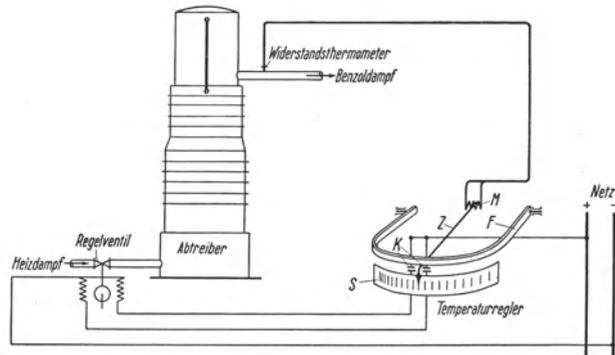


Abb. 1253. Temperaturregler am Abtreiber einer Benzolgewinnungsanlage (Siemens & Halske).

Meßstelle	Meßgröße	Meßgerät	Bemerkung
1, 11, 14, 16, 21, 23, 27	Temperatur	Widerstandsthermometer	Anzeige
3, 4	Temperatur, Druck	Widerstandsthermometer, Plattenfedermanometer	Anzeige, Aufzeichnung für Wascher 3
10	Temperatur	Widerstandsthermometer	Anzeige, Aufzeichnung für Wascher 1
12, 13, 15, 17, 18	Temperatur	Widerstandsthermometer	Anzeige und Aufzeichnung
20	Temperatur	Widerstandsthermometer	Anzeige und Regelung
2, 26	Druck	Plattenfedermanometer	Anzeige
28	Druck	Plattenfedermanometer mit Ferngeber	Anzeige und Aufzeichnung
24	Druck	Röhrenfedermanometer mit Ferngeber	Anzeige und Aufzeichnung
5	Durchfluß	Normblende mit Ringwaage	Zählung
8, 9	Durchfluß	Normblende mit Ringwaage	Zählung, Aufzeichnung
19, 29	Durchfluß	Schwimmernesser	Aufzeichnung
22	Durchfluß	Scheibenflüssigkeitsmesser	Zählung
25	Durchfluß	Venturirohr mit Schwimmer- manometer	Zählung und Aufzeichnung
6	Heizwert	Junkers-Calorimeter	Anzeige, Aufzeichnung
7	H ₂ -Gehalt	Selbsttätiger Gasuntersucher	Anzeige, Aufzeichnung

Für die Druckmessung werden Membran- und Ringwaage-Druckmesser, Platten- und Röhrenfedermanometer verwendet. Die Temperaturen werden mit elektrischen Widerstandsthermometern, die Gas- und Flüssigkeitsmengen mit Blenden oder mit Schwimmernessern gemessen. Die wichtigsten Meß-

ergebnisse, die für die Bedienung von Interesse sind, werden in entsprechenden Anzeigegeräten auf einer gemeinsamen Meßtafel vereinigt, wobei man die Anzahl der Instrumente durch weitgehende Verwendung von Umschaltern möglichst niedrig hält. So sind z. B. in der vorliegenden Anlage jeweils die Meßstellen 1 und 3, 10—18, sowie 20, 21 und 27 auf ein Anzeigeelement geschaltet. Daneben werden Schreibgeräte und Zähler zweckmäßig in einer besonderen „Wärmewarte“ vereinigt, um der Betriebsleitung einen raschen Überblick über den ganzen Betrieb zu ermöglichen, und die für die nachträgliche Verrechnung und die Aufstellung der Wärmebilanz erforderlichen Unterlagen zu liefern. Auch hier werden durch Verwendung von Mehrfachschreibern zusammengehörige Meßgrößen in einem Instrument vereinigt. Sämtliche Schreibgeräte werden durch elektrische Klinkwerke von einer gemeinsamen Kontaktuhr aus angetrieben.

Über die Kontrolle der Wasserstoffionenkonzentration (des p_{H} -Wertes) siehe p_{H} -Meßvorrichtungen.

Lit.: *A. Eucken* u. *M. Jakob*, Der Chemieingenieur, Bd. II, Physikalische Kontrolle und Regulierung des Betriebes (Leipzig 1932, Akad. Verlagsges.). — *E. Berl*, Chemische Ingenieur-Technik, Bd. I (Berlin 1935, Julius Springer). — *G. Wunsch* u. *H. Rühle*, Meßgeräte im Industriebetrieb (Berlin 1936, Julius Springer). — *A. Gramberg*, Maschinentechnisches Versuchswesen (Berlin 1923/24, Julius Springer). — *F. Seufert*, Versuche an Dampfmaschinen, Dampfkesseln, Dampfturbinen und Verbrennungskraftmaschinen (Berlin 1927, Julius Springer). — *J. Brand* u. *F. Seufert*, Technische Untersuchungsmethoden zur Betriebsüberwachung (Berlin 1930, Julius Springer). — *W. Jaeger*, Elektrische Meßtechnik (Leipzig 1928, Barth). — *G. Keinath*, Die Technik der elektrischen Meßgeräte (München 1928, Oldenbourg). — *W. von Krukowski*, Grundzüge der Zählertechnik (Berlin 1930, Julius Springer). — *W. Skirl*, Elektrische Messungen (Berlin 1928, Göschen). — *P. B. A. Linker*, Elektrotechnische Meßkunde (Berlin 1932, Julius Springer).
Moser.

Lit. Chem. Apparatur: *M. Herber*, Neuerungen auf dem Gebiete der Wärme- und Feuchtigkeitsmesser, Thermostate, Wärmeregler für allgemeine Verwendung, Wärmeschranke (1917, S. 67, 73, 83). — *F. Moser*, Apparate zur Betriebskontrolle (1918, S. 1, 11, 25, 67, 75, 113, 137, 170, 179, 185). — *F. M. Bayer*, Neuerungen an Meßapparaten für Gase, Dämpfe, Flüssigkeiten und Körnergut (1918, S. 73, 83, 89, 99, 106, 122, 129; 1920, S. 9, 41, 83, 89, 99, 115; 1921, S. 59, 67, 88, 94, 161, 170, 179; 1922, S. 22, 52). — *F. Ludwig*, Elektrische Schwachstromtechnik und chemische Apparatur (1922, S. 32). — *G. Weißenberger* u. *L. Piatti*, Graphische Methoden der Betriebskontrolle bei Absorptionsanlagen (1926, S. 233, 260). — *H. Löffler*, Handapparat „Karposkop“ zur Rauchgasüberwachung (1930, S. 136). — *B. Waeser*, Apparaturen der anorganisch-chemischen Großindustrie. Laboratoriumsinstrumente und Betriebskontrolle. Schwefelsäure (1934, S. 181). — *G. Hönnicke*, Betriebsüberwachung von satzweise arbeitenden Eindampfern, Trocknern usw. (1936, S. 4).

Korbflaschen (Demijohns). Zur Aufbewahrung und zur Versendung von Säuren, Laugen usw. in kleineren Mengen verwendet man Flaschen aus Glas wegen der chemischen Beständigkeit und des geringen Preises dieses Baustoffes, die häufig mit einem Korb als schützende Hülle umgeben sind und daher als Korbflaschen bezeichnet werden. Sie haben meist einen Inhalt von etwa 30 bis 70 l. Um die Flaschen gegen mechanische Beanspruchung möglichst widerstandsfähig zu machen, erhalten sie eine kugelige Form, die im unteren Teil in eine schmale Standfläche übergeht. Der Korb besteht aus grünem Weidengeflecht, aus gewelltem Stahlblech oder Blechstreifen. Den

Raum zwischen Schutzhülle und Flasche füllt eine Schicht aus Stroh, Holz- wolle, Torf oder einem ähnlichen elastischen Stoff aus, um die Wirkung von Stößen abzuschwächen. Zur Entleerung der Korbflaschen benutzt man Heber (s. d.) oder Kippvorrichtungen verschiedener Art. Letztere bestehen aus einer Aufnahmevorrichtung für die Flasche, einer Schwenkeinrichtung und dem diese tragenden Gestell.

Entwickeln die in der Flasche befindlichen Stoffe einen Dampfdruck, der bei Erwärmung eine Drucksteigerung herbeiführen kann, so muß der Verschußstopfen eine feine Öffnung, beispielsweise ein Glasröhrchen, enthalten, die ständig offen ist und die sich bildenden Gase oder Dämpfe ableiten kann.

Th.

Korkmaschinen (Flaschenkorkmaschinen). Zum Einpressen von Korken in Glasflaschen verwendet man besondere Korkmaschinen, die den Kork in einem Arbeitsgang mit besonderen Vorrichtungen über der Flaschen- öffnung zusammendrücken und ihn dann mit einem auf- und abgehenden Stempel in den Flaschenhals schieben, wo sich der Kork wieder ausdehnt. Zur Betätigung der Korkhalteeinrichtung und des Stempels dient entweder ein Handhebel oder bei größeren Leistungen ein mechanischer Antrieb durch Riemenscheibe oder Elektromotor. Diese Maschinen können in der Zeit- einheit etwa drei- bis viermal soviel Flaschen verkorken als die von Hand betätigten Geräte.

Die Korke müssen vor dem Einpressen einige Stunden in Wasser gequell werden. Beim Einbringen des Korkes muß eine besondere Vorrichtung das an dem Kork haftende und beim Zusammenpressen aus den Poren heraus- dringende Wasser auffangen und abführen. Bei der Einführung des Korkes soll die im oberen Teil der Flasche vorhandene Luft entweichen können. Diese Aufgabe kann eine sogenannte Luftnadel übernehmen, die an einer Seite mit dem Kork zusammen in die Flasche eingeführt wird. Einzelne Korkmaschinen arbeiten ohne Luftnadel mit einem besonderen Entlüftungs- mundstück, wobei die aus der Flasche verdrängte Luft durch Nuten ent- weicht. Auch die Vorrichtungen, die den Kork vor dem Einschieben zu- sammendrücken, wirken in verschiedener Weise. So verwendet man hierzu Rollen, Backen, Keile oder ähnliche Bauelemente, die bisweilen auch nach- stellbar eingerichtet sind. Um die Flasche beim Verkorken in die richtige Stellung zu bringen, haben einzelne Korkmaschinen besondere Stütz- oder Haltevorrichtungen für die Flasche. Diese ruht unten auf einem Teller, der durch eine Zahnstange oder eine Schraubenspindel entsprechend der Größe der Flasche nach oben oder unten verstellt werden kann. Auf dem Teller be- findet sich in der Regel eine Schale, die den Flascheninhalt und die Glas- scherben bei einem Flaschenbruch auffängt. Die selbsttätigen Korkmaschinen besitzen außerdem besondere Korkzuführungsvorrichtungen. Aus einem Schütteltrichter gelangen die Korke dabei durch eine Führung zur Preß- vorrichtung.

(Siehe auch: *H. Wüstenfeld*, *Trinkbranntweine und Liköre* [Berlin 1931, Parey].)

Th.

Korkmetall ist eine sehr leichte Legierung (Dichte 1,76) des Magne- siums mit Silicium und Zinn.

Ra.

Korrosion (Zernagung). Unter Korrosion (corrodere = zernagen, fort-nagen) versteht man nach den heutigen Anschauungen den unbeabsichtigten, von der Oberfläche ausgehenden chemischen oder elektrochemischen Angriff eines Stoffes auf einen Werkstoff. Ihren äußeren Erscheinungsformen nach kann die Korrosion eingeteilt werden in allgemeine und in örtliche Korrosion; die letztere, wesentlich häufiger auftretende, ist die weitaus gefährlichere, ganz besonders, wenn sie an den Korngrenzen der Werkstoffe auftritt. Bei Vorliegen von örtlicher Korrosion ist der größere Teil des Werkstückes nur wenig angegriffen und nur einige Stellen sind stark bevorzugt korrodiert. Tritt die örtliche Korrosion in Form von vielen einzelnen kleinen Löchern auf (wie z. B. bei Kondensatoren), so werden diese wohl auch als „pittings“ bezeichnet.

Wie in der obigen Begriffsbestimmung schon angeführt, sind es chemische oder elektrochemische Vorgänge, die die Korrosion verursachen. Meist treten beide Vorgänge gemeinsam auf. Rein chemische Korrosion liegt gewöhnlich dann vor, wenn die Apparaturen hohen Temperaturen ausgesetzt sind (z. B. Verzundern des Eisens bei hohen Temperaturen in Luft), oder wenn Nichtmetalle angegriffen werden. Elektrochemische Korrosion ist fast immer zu verzeichnen, wenn tropfbar flüssiges Wasser und Metalle zugegen sind.

Nach *Nernst* ist allen Metallen ein gewisser Lösungsdruck eigen, der das Metall zwingt, positive Ionen auszusenden. Diesem Lösungsdruck wirkt der osmotische Druck der bereits in Lösung vorhandenen Ionen des Metalles entgegen. Aus dem Wechselspiel beider Drücke bildet sich an der Berührungsstelle Metall-Flüssigkeit, ein elektrochemisches Potential, aus, das folgendem, von *Nernst* aufgefundenem Gesetz gehorcht:

$$\varepsilon = \frac{RT}{n_e F} \ln \frac{P}{p} \left(= \frac{0,058}{n_e} \lg \frac{P}{p} \text{ bei } 18^\circ \right).$$

ε = elektrochem. Potential, R = Gaskonstante,
 T = absolute Temperatur, n_e = Wertigkeit des Metalles,
 F = *Faradaysche Zahl*, P = Lösungsdruck des Metalles,
 p = osmotischer Druck der in der Lösung vorhandenen Ionen des Metalles.

Werden die Potentiale der verschiedenen Metalle in ihren 1,0 normalen Lösungen gemessen, und wird der für Wasserstoff gefundene Wert willkürlich = 0 gesetzt, so ergibt sich die folgende Reihe der sog. Normalpotentiale, die auch als elektrochemische Spannungsreihe bezeichnet wird:

	Volt		Volt
K → K ⁺	- 3,2	Ni → Ni ⁺⁺	- 0,22
Na → Na ⁺	- 2,8	Pb → Pb ⁺⁺	- 0,12
Mg → Mg ⁺⁺	- 1,55	Sn → Sn ⁺⁺	- 0,10
Al → Al ⁺⁺⁺	- 1,5 (etwa)	H ₂ → 2H ⁺	∓ 0,00
Zn → Zn ⁺⁺	- 0,76	Cu → Cu ⁺⁺	+ 0,34
Fe → Fe ⁺⁺	- 0,43	Ag → Ag ⁺	+ 0,80
Cd → Cd ⁺⁺	- 0,40	Hg → Hg ⁺⁺	+ 0,86
Tl → Tl ⁺	- 0,32	Au → Au ⁺	+ 1,5
Co → Co ⁺⁺	- 0,29		

Taucht man zwei verschiedene Metalle in eine elektrisch leitende Flüssigkeit und verbindet die beiden Metalle leitend miteinander, so haben wir eine elektrochemische Kette oder ein galvanisches Element vor uns, deren bzw. dessen elektromotorische Kraft vorzugsweise von den Potentialsprüngen an der Berührungsstelle der Metalle mit der Flüssigkeit abhängig ist, so daß man praktisch genau genaug ansetzen kann:

$$E = \varepsilon_1 - \varepsilon_2.$$

E = elektromotorische Kraft,

ε_1 = Potentialsprung an der Berührungsstelle der Flüssigkeit mit dem Metall 1,

ε_2 = Potentialsprung an der Berührungsstelle der Flüssigkeit mit dem Metall 2.

Bei Betätigung einer Kette geht dann gewöhnlich das Metall mit dem negativeren (unedleren) Normalpotential in Lösung (Lösungselektrode oder Anode), während das edlere an der Kathode abgeschieden wird (wie z. B. beim Daniell-Element Zink in Lösung geht und Kupfer niedergeschlagen wird). Hierbei muß aber bemerkt werden, daß dies nur eine gewisse Handregel vorstellt, da aus der *Nernstschen* Gleichung (s. oben) leicht ersichtlich ist, daß einem Metall mit relativ unedlem Normalpotential unter besonderen Verhältnissen des osmotischen Druckes, bzw. der Konzentration seiner Ionen, auch ein verhältnismäßig edles Potential zukommen kann. Für die Praxis ist die Bildung von elektrochemischen Ketten oder Elementen deshalb besonders wichtig, weil wir es nie mit chemisch reinen Werkstoffen zu tun haben, so daß sich zwischen diesen und ihren Beimengungen derartige Elemente ausbilden, deren Wirkung zu Korrosionen führt. Wird ein technisches Metall von einer elektrisch leitenden Flüssigkeit berührt, so finden sich je nach der Reinheit auf der Oberfläche in mehr oder weniger großer Zahl kleine Elementchen, die von *de la Rive* als „Lokalelemente“ bezeichnet worden sind, und deren Wirkung für die Korrosionsgeschwindigkeit von großer Bedeutung ist. Zur Entstehung derartiger Ketten ist aber das Vorhandensein von Beimengungen gar nicht einmal nötig. Es genügt, wenn ein und dasselbe Metall in physikalisch inhomogenem Zustand (z. B. verformt und nicht verformt) vorliegt, oder wenn das homogene Metall zu gleicher Zeit in verschiedenen konzentrierte Lösungen des gleichen Elektrolyten taucht (Konzentrationsketten). Oft führt auch die verschiedene Belüftung zur Ausbildung von Ketten. So verhält sich nach Abb. 1254 der obere Teil einer in Natriumchloridlösung getauchten Zinkplatte edler (kathodisch) als der untere weniger gut belüftete Teil (s. dazu besonders *U. R. Evans* u. *E. Honegger*, Die Korrosion der Metalle [Zürich 1926, Füßli]).

Bei den besprochenen Vorgängen verhält sich der Wasserstoff wie ein metallisches Element. Es sind deshalb bei Gegenwart von Wasser die Konzentration der Wasserstoffionen und das Potential des Wasserstoffes von besonderer Bedeutung. Da die meisten der gebräuchlichen Metalle unedler als Wasserstoff

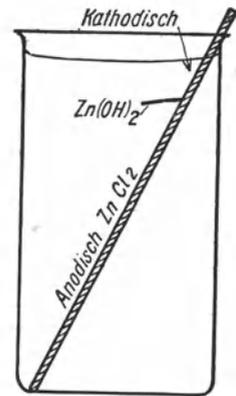


Abb. 1254. Bildung eines galvanischen Elements durch verschiedene Belüftung. (Nach *Evans*.)

sind, kommt es sehr häufig zur Entstehung von Wasserstoff, nämlich immer dann, wenn das Potential des Wasserstoffes in der Lösung vermindert um das Potential des Metalles in der Lösung einen höheren Wert als 0 ergibt. Die Differenz der beiden Potentiale darf jedoch einen gewissen Wert nicht unterschreiten, wenn die Entwicklung von gasförmigem Wasserstoff auftreten soll. Dieser Wert, der von der Beschaffenheit der Kathode abhängt, wird „Überspannung“ genannt. Wird diese unter den betreffenden Umständen nicht erreicht oder der gebildete Wasserstoff nicht auf andere Weise beseitigt, so tritt Stillstand der Korrosion ein. Erscheinungen wie diese, bei denen durch Anhäufung von Korrosionsprodukten die Arbeitsfähigkeit eines galvanischen Elements gehemmt oder völlig gestört wird, werden als „Polarisation“ bezeichnet. Der sich an der Kathode entwickelnde Wasserstoff kann aber auch durch Sauerstoff, der im korrodierenden Mittel vorhanden ist, wegoxydiert werden, so daß die Korrosion auch ohne Entwicklung von gasförmigem Wasserstoff weiter fortschreiten kann. In diesem Falle spielt der Sauerstoff die Rolle eines „Depolarisators“. Die Korrosionsgeschwindigkeit hängt dann von der Diffusionsgeschwindigkeit des Sauerstoffes zur Kathode ab.

Die bisher entwickelte elektrochemische Theorie erklärt eine ganze Reihe von Korrosionserscheinungen recht gut, ist aber keineswegs ausreichend. Für den Korrosionsvorgang sind vielmehr schon vorhandene oder sich ausbildende Deckschichten von der gleichen Bedeutung. Ohne diese wäre beispielsweise die Verwendung eines elektrochemisch so unedlen Metalles wie Aluminium überhaupt nicht möglich. Aber auch die anderen Metalle überziehen sich beim Liegen an der Luft mit mehr oder minder schützenden Deckschichten. Nach den neuesten Forschungen von *W. J. Müller* (Ber. dtsch. chem. Ges. 1935, S. 989) besitzt sogar das Gold eine derartige Schutzschicht. Der Schutzwert dieser Schichten hängt von ihrer Porosität ab (s. dazu besonders *W. J. Müller*, Korrosion u. Metallschutz 1932, S. 253; 1933, S. 197; 1935, S. 27; 1936, S. 132; *U. R. Evans*, J. chem. Soc. 1927, S. 1020; 1929, S. 92, 111, 2651). Durch Eintauchen in einen Elektrolyten können diese natürlichen Deckschichten im günstigen und ungünstigen Sinne beeinflusst werden. Die Poren können vergrößert oder vermehrt werden. Die Deckschicht kann gelockert (Quellung) oder völlig abgelöst werden. Es kann aber auch durch die sich bildenden Korrosionsprodukte zu einer Verengung der Poren oder zur Verminderung der Porenzahl kommen. In allen den Fällen, in denen wenigstens am Anfang nur das unbedeckte Metall angegriffen wird, während die nichtempfindliche Deckschicht die unangreifbare Kathode der Lokalelemente darstellt, kommt es dadurch zu einer Verzögerung oder zu einem Stillstand des Angriffes. Der letztere Vorgang wird als „Passivierung“ oder, nach *W. J. Müller*, als „Selbstpassivierung“ bezeichnet. Diese verläuft in zwei Stufen: Zunächst wird die gesamte Porenfläche kleiner („Flächenbedeckung“); ist dies bis zu einem gewissen Maße erfolgt, so tritt nicht ein völliger Verschluß aller Poren ein, sondern die Deckschicht wird dicker („Tiefenbedeckung“ nach *W. J. Müller*). Über die chemische Seite der Deckschichten kann noch nicht allzu viel ausgesagt werden. Beim Liegen an der Luft sind es wohl Oxyde oder Hydroxyde, während in Säure-, Salz- oder Laugenlösungen auch Salze in Frage kommen. Die Dicke, der meist nicht ohne weiteres erkennbaren Schichten wird auf 10^{-6} — 10^{-4} cm geschätzt. Sie kann auf optischem (*Freundlich*, *Patscheke* u. *Zocher* [Z. physik. Chem. Abt. A 1927, Bd. 128, S. 321; Bd. 130, S. 289] sowie

W. J. Müller) und auf chemischem Wege (*U. R. Evans*, J. chem. Soc., s. oben) nachgewiesen werden. Die mit dem Auge sichtbaren Schichten sind in den meisten Fällen so porös, daß ihnen keine erhebliche Schutzwirkung zukommt. Bei der atmosphärischen Korrosion wirken sich diese häufig ungünstig aus, da sie die Feuchtigkeit zurückhalten oder, wenn sie hygroskopisch sind (z. B. Zinkchlorid), sogar Luftfeuchtigkeit anziehen.

Außer diesen beim Korrosionsvorgang sich bildenden Schutzschichten können sich aber auch aus dem korrodierenden Mittel Bestandteile abscheiden, die schützende Deckschichten bilden. Das ist z. B. der Fall, wenn aus einem stark Calciumbicarbonat haltigen Wasser in Wasserrohren eine Schutzschicht von neutralem Calciumcarbonat entsteht.

Die Ausbildung der Deckschichten ist bei den einzelnen Metallen recht verschieden. Bei Eisen entstehen meist nur recht wenig schützende Deckschichten, Chrom und Aluminium sind dagegen befähigt, besonders brauchbare Schutzschichten auszubilden. In bezug auf die korrodierenden Mittel ist zu sagen, daß Chlorionen die Deckschichten meistens ungünstig beeinflussen; außerdem haben sie einen verhältnismäßig kleinen Ionenradius und können deshalb auch noch in feinere Poren (mittlere Fläche der Einzelpore etwa $1,2 \cdot 10^{-13} \text{ cm}^2$ nach *W. J. Müller*, Die Bedeckungstheorie der Passivität der Metalle und ihre experimentelle Begründung [Berlin 1933, Verlag Chemie]) eindringen als Ionen mit größerem Durchmesser. Ionen mit oxydierenden Eigenschaften (z. B. Chromationen) bewirken dagegen meist eine Verbesserung der Deckschicht. — Als weitere Korrosionsursache sind die sog. vagabundierenden Ströme zu nennen, die immer dann auftreten, wenn stromführende Leitungen oder Maschinenteile nicht genügend isoliert sind, so daß sich von ihnen Ströme abzweigen können, unter deren Einfluß die von ihnen durchflossenen Metalle an der Eintrittsstelle des Stromes (Anode) korrodiert werden.

Für die **Messung der Korrosion** (s. hierzu auch den Entwurf: Richtlinien für die Vereinheitlichung der Versuchsbedingungen von Korrosionsversuchen, Chem. Fabrik 1936, S. 179) gilt als oberster Grundsatz, die Versuche auch in ihren geringsten Einzelheiten den später in der Praxis vorliegenden Bedingungen anzugleichen. Ändert man willkürlich die Bedingungen (z. B. Verwendung von reinem Sauerstoff an Stelle von Luft, Aufprägung eines äußeren Stromes), wie es für die Ausführung von Kurzversuchen manchmal notwendig ist, so muß man sich über die dabei auftretenden Fehler Rechenschaft geben. Ein außerordentlich häufig gemachter Fehler bei Korrosionsuntersuchungen ist das Einschlagen von Zahlen und Zeichen in die Versuchsstücke. Durch diese Maßnahme wird an diesen Stellen das Material verändert, und die Ergebnisse werden gefälscht. Für die Beschreibung von Korrosionsversuchen sind notwendig:

1. Angaben über den Reinheitsgrad des betreffenden Baustoffes und die genaue Zusammensetzung des korrodierenden Agens. Hier soll niemals versäumt werden, auch die geringste Menge von Beimengungen zu nennen und, wenn möglich, gewichtsmäßig anzugeben.

2. Angaben über die Herstellungsart und den physikalischen Zustand des Materials, ob es gepreßt, gezogen, gewalzt, geschmiedet usw. worden ist und ferner, ob ein Härten, Anlassen, Kaltstrecken usw. stattgefunden hat.

3. Angaben über die äußere Form: Rohr, Blech, Draht, Profil usw.

4. Angaben über die Korngröße des Materials. Für die rasche Bestimmung des mittleren Korndurchmessers kann folgende mikroskopische Methode dienen (Abb. 1255; *E. Goos*, *Korrosion und Metallschutz* 1926, S. 121), nach der der Durchmesser d berechnet werden kann:

$$d = \frac{ln}{zv}$$

l = Länge der Linie,

n = Anzahl der Linien,

z = Anzahl der geschnittenen Körner,

v = lineare Vergrößerung.

5. Angaben über die Oberflächenbeschaffenheit. Sind noch Walz- oder Gußhaut vorhanden? Ist das Material vorher gebeizt, geschmirgelt,

gefeilt, poliert, gefräst oder mit anderen spanabhebenden Werkzeugen behandelt worden? Auf das Vorhandensein von Hohlkanälen ist ebenfalls zu achten. *Tammann* und *Bredemeyer* (*Z. anorg. allg. Chem.* 1925, Bd. 142, S. 54) messen die Menge und Größe derselben dadurch, daß sie die Probe der Einwirkung einer Eosinlösung unter dem Druck von 2500 kg/cm² aussetzen, das Stück dann zerfeilen und im Feilicht die eingedrungene Menge Eosin colorimetrisch bestimmen. Bei Email und keramischen Produkten kommen auch Pulver zur Untersuchung, deren Oberfläche wenigstens relativ durch die Korngröße wiedergegeben werden muß.

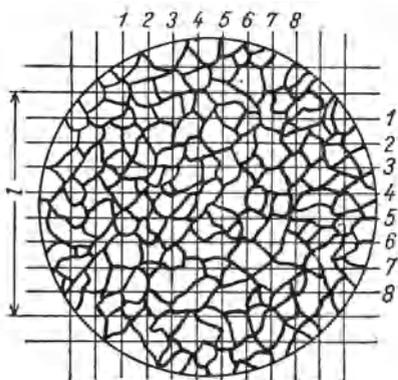


Abb. 1255. Ermittlung der Korngröße nach Goos.

6. Angaben über die Oberflächengröße und das Verhältnis der Schnittkanten und Schnittflächen zu ihr. Die letzteren sind, da sie Stellen veränderten Materials darstellen, gegebenenfalls abzudecken. Doch kann bei einem nichtextremen Verhältnis diese Maßnahme auch unterbleiben.

7. Angaben über Volumen bzw. Menge und Konzentration des korrodierenden Agens. Besonders wichtig ist das Verhältnis der Metallmenge zur Menge des korrodierenden Stoffes. Es muß dafür Sorge getragen werden, daß eine merkliche Veränderung der Konzentration nicht oder nur in dem gewünschten Maße eintritt. Nach *Calcott*, *Whetzel* und *Whittaker* (s. Buchlit. am Ende des Abschnittes) genügen für etwa 30 cm² 250 cm³ selbst bei einer nicht unbeträchtlichen Anfressung, wie sie der Verlust einer Schichtdecke von 0,26 mm/Monat darstellt. Selbstverständlich sind das nur Richtzahlen, und es muß auf die Anfangskonzentration des Reagens Rücksicht genommen werden. Bei erhöhten Temperaturen ist durch Anbringen von Rückflußkühlern für konstante Konzentration Sorge zu tragen. Ferner können durch erhöhten oder erniedrigten Druck wesentlich andere Korrosionswerte erhalten werden als unter normalen Bedingungen, so daß für diesen Fall auch ein entsprechender Vermerk zu machen ist.

8. Angaben über die Temperatur. Die Temperatur soll nach *Calcott*, *Whetzel* und *Whittaker* (s. o.) auf $\pm 1^\circ$ definiert sein, und man muß sagen, daß von dieser Forderung kaum abgegangen werden darf, da der Temperaturkoeffizient der Korrosion meist sehr hoch ist. Anders liegt natürlich der Fall, wenn z. B. die täglichen Temperaturschwankungen mit im Korrosionsbefund enthalten sein sollen.

9. Angaben über den Bewegungs- bzw. Ruhezustand des korrodierenden Mittels oder der Korrosionsprobe. Bei strömenden Flüssigkeiten oder Gasen, namentlich wenn sie feste Teilchen enthalten, ist auf erodierende (Angriff durch mechanische Beanspruchung, wie Reibung) Einflüsse Rücksicht zu nehmen.

10. Angaben über die Dauer der Korrosionsversuche. Es ist unbedingt zu fordern, daß die Versuche erst abgebrochen werden, wenn die Korrosionsrate konstant geworden ist, da sonst, wie Abb. 1256 zeigt, eine Extrapolation (z. B. bei *a* und *b*) zu vollkommen falschen Werten führen kann. Die Kurven I, II, III stellen die Haupttypen von Korrosions-Zeitkurven bei sonst konstanten Bedingungen dar, wenn man von Erscheinungen, wie die der periodischen Passivität und Aktivität, absieht. Am einfachsten liegt der Fall beim Typ III. Hier ist nach kurzer Zeit ein konstanter Angriff festgestellt worden, und die Versuche können abgebrochen werden. Typ I entspricht einem anfänglich stärkeren Angriff; dieser kann z. B. auf die Auflösung einer dünnen Oxydschicht, bei Gußkörpern auf die leichter lösliche Gußhaut usw., zurückgeführt werden, oder aber es bildet sich mit der Zeit eine schützende Schicht, die zu einer Verlangsamung des Angriffs führt. Typ II ist für nicht berechnete Extrapolationen am gefährlichsten; denn es ist nicht schlimm, wenn die Korrosion wie bei I nachläßt, wohl aber, wenn sie Steigerungen erfährt.

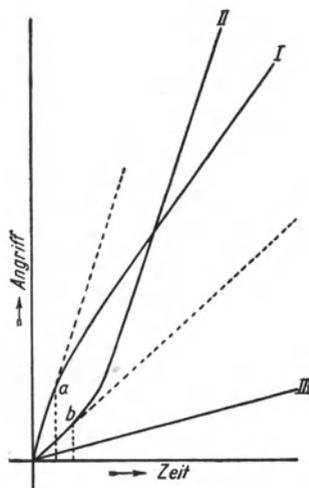


Abb. 1256. Typen von Korrosions-Zeitkurven (schematisch).

Typ I entspricht einem anfänglich stärkeren Angriff; dieser kann z. B. auf die Auflösung einer dünnen Oxydschicht, bei Gußkörpern auf die leichter lösliche Gußhaut usw., zurückgeführt werden, oder aber es bildet sich mit der Zeit eine schützende Schicht, die zu einer Verlangsamung des Angriffs führt. Typ II ist für nicht berechnete Extrapolationen am gefährlichsten; denn es ist nicht schlimm, wenn die Korrosion wie bei I nachläßt, wohl aber, wenn sie Steigerungen erfährt.

11. Angaben über die mechanischen Eigenschaften, wie Zug- und Druckfestigkeit, Härte usw. Da die zu verwendenden Materialien späterhin mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind, so ist ein Vergleich der diesbezüglichen Eigenschaften vor und nach dem Korrosionsversuch fast immer von großem Wert.

12. Angaben über das mögliche Hinzutreten von Luft und anderen Gasen. Wesentlich ist auch ein Vermerk über die Eintauchtiefe.

13. Angaben, obessich um Laboratoriums- oder Großversuche handelt.

14. Angaben über die durch Korrosion veränderte Oberfläche. Jede Korrosionsprobe ist mit dem Auge oder besser noch mit Hilfe des Mikroskops daraufhin zu prüfen, ob der Angriff gleichmäßig oder örtlich eingesetzt hat (Lochfraß, Warzen), ob bestimmte Gefügebestandteile (namentlich die interkristallinen Massen) eine besonders starke Korrosion erfahren haben. Auf das Vorhandensein von Filmen und Häuten aus Korrosionsprodukten ist ebenfalls hinzuweisen.

15. Außer diesen in allen Fällen nötigen Mitteilungen sind von Fall zu Fall noch spezielle Angaben zu machen. So ist es bei atmosphärischen Korrosionsversuchen nötig, die klimatischen Verhältnisse (Landklima, Seeklima, Tropen usw.), die Belichtung (Sonnenlicht, zerstreutes Tageslicht), Aufstellungsart (senkrecht, geneigt usw.) und Aufstellungsrichtung, sowie Windstärke und Windrichtung mit anzugeben. — Kommen in der Apparatur geschweißte oder gelötete Stellen vor, so sind auch in dieser Richtung Versuche zu unternehmen. Auch auf das Zusammentreffen zweier Baustoffe bei Gegenwart von korrodierenden Agenzien ist Rücksicht zu nehmen. Da die Apparaturen im Betrieb meist nicht völlig gefüllt sind, ist es oft wesentlich, Versuche mit halb eingetauchten Proben zu machen, weil die Korrosion in der Gasphase häufig anders verläuft, und die Grenzschichten von verschiedenen Phasen besondere Korrosionsverhältnisse ergeben. — Bei der Ausführung von Korrosionsversuchen ist darauf zu achten, daß jede Probe möglichst in einem Versuchsgefäß für sich untersucht wird. Allenfalls ist noch die Prüfung mehrerer Versuchsstücke des gleichen Materials in einem Gefäß zu gestatten. Niemals ist aber die Anwesenheit zweier Proben verschiedenen Materials in einem solchen zulässig, ausgenommen, wenn gerade der dadurch auftretende Effekt untersucht werden soll. Die Aufhängung der Versuchsstücke erfolgt, wenn zugänglich, am besten an Roßhaarfäden, da diese in allen Fällen unschädlich sind und eine gute mechanische Haltbarkeit besitzen. Dünne Glasfäden verhalten sich ähnlich, brechen aber leicht ab; bei der Anwendung dickerer besteht die Gefahr der verschiedenen Belüftung und der Ausbildung von schwer zugänglichen Stellen an der Auflage des Metalles auf dem Glas. Selbstverständlich besteht die Forderung, mehrere Versuche der gleichen Art anzustellen.

Die verschiedenen Untersuchungsmethoden können eingeteilt werden in:

1. Visuelle und optische Prüfungen.

Bei groben Einwirkungen ist bereits das Auge in der Lage, eine Auswahl zu treffen. Durch Anwendung des Mikroskops, des Stereomikroskops und von Photogrammen kann der Meßbereich noch stark erweitert werden. Besonders wichtig ist das Auszählen und Ausmessen der Löcher (vgl. S. 936, 4. Korngröße) bei örtlichen Korrosionen.

2. Gravimetrische Prüfungen.

Zusammen mit den visuellen Methoden ist die gravimetrische Methode die am meisten angewendete und am besten anwendbare. Sie gibt zum Unterschied von der ersteren in der Regel quantitative Werte und ist darum meist unerlässlich. Bei festhaftenden Schichten von Korrosionsprodukten wird dies allerdings in Frage gestellt, und man kann dann meist nur qualitative Schlüsse ziehen.

In den weitaus meisten Fällen wird die gravimetrische Methode in der Bestimmung des Gewichtsverlustes bestehen, und nur selten wird es sich um die Ermittlung von Gewichtszunahmen handeln. In manchen Fällen wird man auch die Menge des in Lösung gegangenen Werkstoffes analytisch bestimmen.

Leider gehen bei den vielen schon durchgeführten gravimetrischen Bestimmungen die benutzten Maßeinheiten bunt durcheinander, so daß Vergleiche

außerordentlich erschwert werden. Völlig zwecklos ist die Angabe des Proz.-Verlustes ohne Angabe der Oberfläche. Relative Angaben (kleinster Angriffswert als Einheit benutzt) und Aufstellung von Bewertungsziffern (s. z. B. Tabelle für Eisen und seine Legierungen) können ganz nützlich sein, wenn man sich auf genaue Werte nicht festlegen will.

Klasseneinteilung von Eisen und seinen Legierungen nach dem Verhalten gegen chemischen Angriff (nach Angaben der Fried. Krupp A.-G.).

Bewertungsziffer	Pro Tag aufgelöste Menge in g/m ²	Zeitdauer bis zur Auflösung einer Schicht von 1 mm Dicke	Beurteilung
I	bis 1	über 10000 Tage	praktisch vollkommen beständig
II	1 ÷ 10	über 1000 „	genügend beständig
III	10 ÷ 100	über 100 „	wenig beständig
IV	über 100	unter 100 „	unbeständig

Um einen unnötigen Arbeitsaufwand für die Umrechnung von verschiedenen Maßeinheiten zu vermeiden, sind von der Dechema Normen vorgeschlagen worden (s. *F. Tödt*, Chem. Fabrik 1936, S. 178). Man unterscheidet in diesem Normenblatt-Entwurf (DIN E 4851) eine „analytische Maßeinheit“, die den Gewichtsverlust durch Korrosion in g/m² · Tag ausdrückt, und eine „konstruktive Maßeinheit“, bei der die Dickenabnahme in mm/Jahr angegeben wird. Beide sind durch folgende Beziehung miteinander verbunden:

$$\text{Konstruktive Maßeinheit (Dickenabnahme in mm/Jahr)} = \frac{\text{Gewichtsverlust in g/m}^2 \cdot \text{Tag}}{1000 \cdot \text{Raumgewicht}} \cdot 365.$$

Es ist dringend zu wünschen, daß künftige zahlenmäßige Ergebnisse von Korrosionsversuchen in diesen Einheiten angegeben werden, damit eine schnelle Vergleichsmöglichkeit besteht. Voraussetzung für den Wert dieser Angaben ist die praktische Gleichmäßigkeit des Angriffes und Aufstellung einer Korrosionskurve (s. Abb. 1262), die den zeitlichen Verlauf der Korrosion erkennen läßt. Ein weiterer Normenblattentwurf zur Durchführung von Korrosionsversuchen für die Abnahme und den Vergleich von Werkstoffen ist in Arbeit.

Vor Anstellung der Korrosionsversuche müssen die Proben durch Behandeln mit Benzol und ähnlichen Substanzen von Fett und Öl befreit werden. Die Reinigung erfolgt am besten mit Alkohol, gegebenenfalls mit Äther, und nachfolgendem Trocknen im Vakuum. Für die Wägung und Aufbewahrung gelten die für die analytischen Bestimmungen einzuhaltenden Regeln. Die Größe der verwendeten Oberflächen richtet sich nach den zur Verfügung stehenden Gefäßen usw. Im allgemeinen soll die Gesamtoberfläche nicht unter 20 bis 30 cm² sein.

Von den vielen im Gebrauch befindlichen Korrosionsapparaturen seien die in Abb. 1257 bis 1261

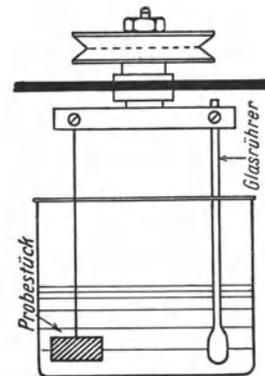


Abb. 1257. Apparat zur Prüfung der Korrosion nach Duffek.

dargestellten angeführt, deren Wirkungsweise meist ohne weitere Erklärung verständlich ist.

Der von *Fetzer* (Ind. Engng. Chem. 1925, S. 788) beschriebene Apparat (Abb. 1258) hat sich bei der Untersuchung der Korrosion in der Nahrungsmittelindustrie gut bewährt. Er besteht im wesentlichen aus einem mit Bohrungen versehenen Holzblock, in dessen Bohrungen sich die Versuchsgläser mit Versuchsstücken befinden, und der im Thermostaten in schaukelnde Bewegung gesetzt wird.

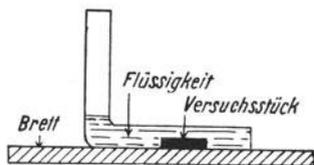


Abb. 1258. Apparat zur Prüfung der Korrosion nach *Fetzer*.

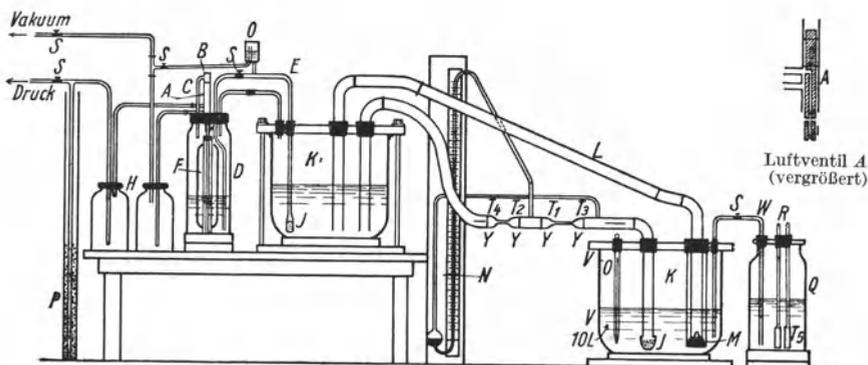


Abb. 1259. Apparat zur Prüfung der Korrosion (auch bei strömenden Flüssigkeiten) nach *Calcott, Whetzel u. Whittaker*.

- | | |
|--|--|
| <p>A Luftventil.
 B Öler des Luftventils.
 C Ausgleichsrohr für den Luftdruck.
 D Behälter für den Schwimmer.
 E Heber.
 F Glasschwimmer.
 G Luftrohr.
 H Vorschaltflaschen.
 J Filter aus Glaswolle.
 K Behälter für angreifende Flüssigkeit.
 L Rückleitung für angreifende Flüssigkeit.
 M Rückschlagventil.
 N Manometer.
 O Vorrichtung, um die Heber luftleer zu machen.</p> | <p>P Druckregler (Hg oder H₂O).
 Q Flasche mit Überlauf.
 R Glashahn für die Versuchsstücke.
 S Quetschhähne.
 V Marke für 10 l.
 W Heber.
 Y Reduzierstücke aus Glas.
 T₁ enges Versuchsrohr (hohe Geschwindigkeit).
 T₂ weites Versuchsrohr (mittlere Geschwindigkeit).
 T₃ Versuchsstück (geringe Geschwindigkeit, atmosphärischer Druck).
 T₄ Versuchsstück (geringe Geschwindigkeit, Vakuum).
 T₅ Versuchsstück (ruhend).</p> |
|--|--|

3. Volumetrische Untersuchungsmethoden.

Die volumetrischen Methoden sind überall da möglich, wo Gase erzeugt oder verbraucht werden. So ermittelt *Kröhnke* (Über das Verhalten von Guß- und Schmiederohren in Wasser, Salzlösungen und Säuren [München 1911, Oldenbourg]) den Rostfortschritt von Eisen in der in Abb. 1260 wiedergegebenen Apparatur. Nach Einhängen der Versuchsstücke wird der mittlere Glashahn geöffnet, damit sich Atmosphärendruck einstellt. Dann werden die Hähne geschlossen, der Dreiweghahn nach dem Manometer hin geöffnet und die mit der Zeit sich einstellende Druckabnahme gemessen. Ist der gesamte Luftsauerstoff verbraucht, so kann die Luft dadurch ersetzt werden, daß man die beiden einfachen Hähne öffnet und einen Luftstrom durch die Apparatur

schiekt. In ganz ähnlicher Weise wird verfahren, wenn man zwecks Beschleunigung der Versuche mit reinem Sauerstoff arbeiten will. Es ist natürlich notwendig, daß die Apparatur während des Versuches in einem Thermostaten untergebracht wird.

Von *Duffek* (Chem. Apparatur 1927, Beil. Korr., S. 15, 17, 38; 1928, S. 5; 1929, S. 9; Korrosion u. Metallschutz 1926, S. 149, 183; 1927, S. 49) ist eine Apparatur angegeben worden, in der man die Korrosion gravimetrisch, volumetrisch und potentiometrisch verfolgen kann (Abb. 1261).

Der Probekörper *P* in den Dimensionen $10 \times 10 \times 80$ mm wird in ein Gefäß mit Wasser getaucht. Über diesem Gefäß befindet sich eine Glasglocke, die in einer kreisförmigen Zarge der Hartgummiplatte *T* steht. Diese Zarge wird mit Quecksilber gefüllt, um den Raum innerhalb der Glocke vollkommen abzudichten. Im oberen Teil der Glocke befinden sich drei Tubi. In den linken Tubus ist die Quecksilberelektrode, durch einen Kautschukstopfen gedichtet, eingesetzt, der mittlere trägt das Rohr *O* zum Einleiten des Sauerstoffes oder der Luft und ein *S*-förmiges Glasrohr, das durch eine syphonartige Quecksilberdichtung die Stromableitung von der Probe *P* ermöglicht; der rechte eingeschlifene Tubus enthält einen Ansatz mit einem Dreiweghahn, der es gestattet, den in der Glocke befindlichen Gasdruck durch ein bei *M* angeschlossenes Manometer zu messen, oder den Sauerstoff bei *D*

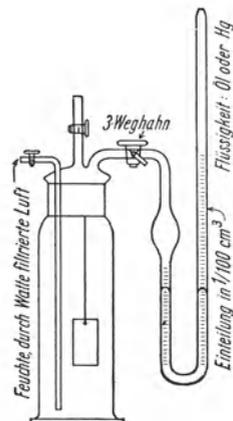


Abb. 1260. Messung der Korrosion an Hand der Gasentwicklung nach *Kröhnke*.

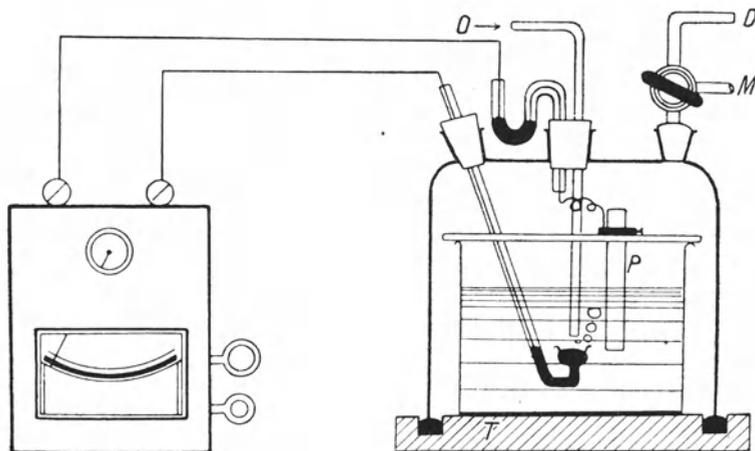


Abb. 1261. Rostapparat nach *Duffek*.

durch einen Blasenähler zu schicken. Die Stahlprobe *P* wird durch eine über den Rand des Wassergefäßes gelegte Glasplatte, die mit einer Aussparung für den Versuchskörper versehen ist, durch eine Klemme so gehalten, daß sich bei allen Versuchen 4 cm der Probe in 400 cm^3 Wasser befinden. Die

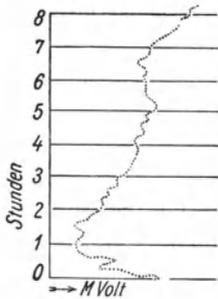


Abb. 1262.
Rostdiagramm von
Elektrolyteisen mit
0,02 Proz. C.

an den Elektroden abgenommene Spannung wird mit einem Siemens & Halske-Registrier-Millivoltmeter (Instrumentenwiderstand 4000 Ohm) gemessen, das jede zweite Minute den Spannungswert aufzeichnet.

Durch Zuführung von Sauerstoff anstatt Luft werden die Rostgeschwindigkeiten erhöht, und die Untersuchung wird beschleunigt. Man kann in dieser Apparatur mit konstantem oder abnehmendem Sauerstoff- bzw. Luftdruck messen. Das Diagramm Abb. 1262 gibt den potentiometrischen Verlauf des Rostvorganges an einer Eisensorte wieder. Die auftretenden Schwankungen sind durch die anhaftende Rostschicht zu erklären, die das Eisen mehr oder weniger gut bedeckt und das Potential nach der edlen Seite hin verschiebt.

4. Mechanische Untersuchung der korrodierten Proben.

Der Korrosionsgrad wird in diesem Falle durch die Verminderung der Zugfestigkeit, Torsionsfestigkeit usw. bestimmt.

5. Elektrochemische Prüfungen.

Vgl. den unter 3. beschriebenen Apparat von *Duffek*. Nach *Tödt* (s. *Köhler*, Chem.-Ztg. 1929, S. 567) ist die Korrosion in vielen Fällen abhängig von dem Hinzudiffundieren von Sauerstoff zur Kathode. Auf diesem Prinzip beruht das von ihm konstruierte Oxydimeter. Bei diesem wird eine Platinelektrode dem zu untersuchenden Metall gegenübergestellt, und beide werden mit einem empfindlichen Ampèremeter verbunden. Aus der gemessenen Stromstärke wird dann die in Lösung gegangene Menge Metall errechnet. Um vergleichbare Resultate zu erhalten, müssen dabei Eintauchtiefe und Oberflächengestaltung der Platinelektrode konstant gehalten werden, desgleichen die Größe des Flüssigkeitsspiegels und das Verhältnis von Flüssigkeitsoberfläche zum Flüssigkeitsvolumen. Besteht die Möglichkeit der Deckschichtenbildung, so wird das zu untersuchende Metall als Kathode geschaltet und mit einer unedleren Anode kombiniert.

6. Prüfung mit Indicatoren.

Hierher gehört vor allem die Prüfung von Eisen mit dem Ferroxyindicator. Dieser besteht aus einer neutralen Salzlösung (etwa 1proz. Kochsalzlösung), der geringe Mengen von Phenolphthalein (1proz. alkoholische Lösung) und Kaliumferricyanidlösung (1proz. wäßrige Lösung) zugesetzt worden sind. Beim Einlegen des Versuchsstückes in die Lösung oder beim Überziehen des Werkstückes mit einer Gelatinelösung des Indicators scheidet sich an den unedleren (anodischen) Stellen blaues Ferroferricyanid (Turnbulls Blau) ab, während die edleren (kathodischen) Stellen eine Rotfärbung zeigen.

Betrachtet man die Mittel zur **Bekämpfung der Korrosion**, so kommt man zu folgender Gliederung:

A. Maßnahmen beim Werkstoff.

1. Wahl des geeigneten Werkstoffes. Was den Preis betrifft, so sollte der anfängliche Preisunterschied niemals maßgebend sein. Erst wenn alle Möglichkeiten, wie Fabrikationsunterbrechung durch Auswechseln und Aus-

bessern von korrodierten Apparate­teilen, die Möglichkeit von Unfällen usw., mit in die Kalkulation einbezogen worden sind, kann ein richtiger Preisvergleich erfolgen, und oft wird dann der anfänglich teure, aber beständigere Werkstoff in Wirklichkeit der billigere sein.

Für die elementaren Metalle ist bei der Auswahl ihr möglichst hoher Reinheitsgrad (Lokalelemente!) bestimmend. Bei den Legierungen muß auf gute Einhaltung der günstigen prozentualen Zusammensetzung und die Vermeidung von Seigerungen und anderen Inhomogenitäten geachtet werden. Metalle und Legierungen, die zur Ausbildung von schützenden Deckschichten Veranlassung geben, werden in fast allen Fällen zu bevorzugen sein. Legierungen, bei denen Mischkristallbildung vorliegt, gewährleisten die beste Homogenität und sind demgemäß für Ansprüche an Korrosionsfestigkeit die geeigneteren.

2. Vorsichtsmaßregeln bei der Herstellung und Verarbeitung des Werkstoffes und bei der Konstruktion. Schon bei der Herstellung der Werkstoffe kann wesentlich zur Verminderung ihrer Korrosion beigetragen werden. Die Reinheit der Rohmaterialien, die Sorgfalt bei der Gewinnung und die Lagerung der Fertigprodukte sind von größter Bedeutung für ihr späteres Verhalten. Bei der Verarbeitung ist darauf zu achten, daß Spannungen, wie sie z. B. durch Kaltreckung entstehen, durch Ausglühen (nicht überhitzen) zu beseitigen sind, wobei zu beachten ist, daß die Abkühlungsgeschwindigkeit und die Glüh­temperatur häufig für das Verhalten der Metalle von größter Bedeutung sind (s. z. B. Chrom-Nickel-Stähle). In manchen Fällen hat sich die Gußhaut als besonders widerstandsfähig gezeigt, so daß sie auf dem Werkstück belassen werden kann. Die Walzhaut dürfte allerdings selten ein ähnliches Verhalten zeigen. Verletzungen und Inhomogenitäten der Oberfläche, wie Walzrisse, Poren bei Gußkörpern, Ziehriefen (bei Messing) usw., sind tunlichst zu vermeiden. Polieren der Oberflächen hat sich als günstig erwiesen, dürfte aber meist zu teuer und manchmal auch nicht ausführbar sein.

Auch der Konstrukteur kann zur Bekämpfung der Korrosion beitragen. Ihm fällt die Aufgabe zu, die Apparatur möglichst zugänglich zu gestalten, unnütze Spannungen verschiedener Apparate­teile auszuschalten, scharfe Profilierungen und Kanten, sowie zwecklose Verzierungen zu vermeiden. Das Zusammen­treffen verschiedener metallischer Werkstoffe wird nicht immer zu umgehen sein, jedoch soll es auf das irgendwie mögliche Mindestmaß herabgedrückt werden, besonders an Stellen, wo elektrochemische Korrosion möglich ist. Auch sollen capillare Räume, wie sie bei Dichtungen und Gummiverbindungen entstehen können, vermieden werden, da die Korrosion an diesen Stellen durch Änderung der Konzentrationsverhältnisse häufig besonders stark einsetzt.

3. Schutz durch Überzüge (s. auch Schutzüberzüge). Überzüge gewähren niemals die gleiche Sicherheit wie ein korrosionsfester Werkstoff selbst. Der Nachteil der Überzüge liegt darin, daß sie schon vom Anfang an oder im Laufe des Betriebes undichte Stellen aufweisen, an denen dann die Korrosion des Grundwasserstoffes einsetzt; es kommt zu lochartigen Anfrassungen. Zuweilen wird auch der ganze übrige Überzug von innen her abgesprengt (z. B. bei mit säurefesten Platten ausgekleideten Gefäßen).

a) Metallische Überzüge können in bezug auf das Unterlagsmetall in zwei Gruppen eingeteilt werden. In einem Falle sind sie elektrochemisch edler, im andern unedler als dieses. Beachtet man, daß es äußerst schwierig ist, völlig porenfreie Überzüge zu erzielen und während des Betriebes zu erhalten,

so wären die unedleren Überzüge insofern vorzuziehen, als bei eintretenden Verletzungen der Grundwerkstoff auf ihre Kosten vor Korrosion geschützt würde. Das ist aber nicht immer der Fall, da die gebildeten oxydischen Korrosionsprodukte häufig als Kathoden wirken und diesen Schutz illusorisch machen. Ein weiterer Nachteil der unedleren Überzugsmetalle ist darin zu erblicken, daß sie stärkeren chemischen Anforderungen nicht genügen. Man ist daher genötigt, auf edlere Überzugsmetalle zurückzugreifen, und die Möglichkeit, daß sich zwischen Schutzmetall und zu schützendem Metall Elemente bilden, in denen das letztere die Anode ist, mit in Kauf zu nehmen. — Die gebräuchlichsten Überzugsmetalle sind Zink, Zinn, Blei und Nickel. Nicht ganz so häufig werden Kupfer, Messing, Kobalt und, ihres Preises wegen, die Edelmetalle Gold, Silber und Platin verwendet. Neuerdings kommen noch Cadmium und Chrom hinzu, die in vieler Hinsicht aussichtsreiche Ergebnisse gezeitigt haben. Bezüglich der Einzelheiten ihrer Schutzwirkung wird auf die einzelnen Metalle verwiesen. — Die Herstellung von Überzügen kann geschehen: 1. Durch Aufwalzen, Ausschlagen, Auflöten usw.; 2. durch Eintauchen in geschmolzenes Metall (auch Aufbürsten von geschmolzenem Metall); 3. durch Aufspritzen nach *Schoop*; 4. durch Eindiffundieren (z. B. *Sherardisieren*); 5. elektrochemisch.

b) Nichtmetallische Überzüge (s. auch Schutzüberzüge). Bei ihnen lassen sich solche allgemeingültige Aussagen wie bei den metallischen nicht machen. Es handelt sich hier u. a. um chemische Veränderungen, die an der Oberfläche des Werkstückes selbst vorgenommen werden (*Coslettisieren*, Überziehen mit einer Aluminiumoxydschicht usw.), ferner um das Verkleiden mit beständigeren Werkstoffen (z. B. säurefesten Steinen), das Anstreichen und Imprägnieren, und schließlich kann, wie es beim Schutz der feuerfesten Steine gemacht wird, durch Kühlen des der Korrosion ausgesetzten Mauerwerkes eine Schutzschicht aus den Korrosionsprodukten (z. B. Schlacken) erzeugt werden.

B. Maßnahmen beim korrodierenden Mittel.

1. Maßnahmen zur Vermeidung und Beseitigung stark angreifender Stoffe. Was die Vermeidung korrodierender Stoffe anlangt, so sind die möglichen Maßnahmen ziemlich beschränkt, da das korrodierende Mittel gewöhnlich als gegeben angesehen werden muß. Es ist der gleiche Fall wie bei den Korrosionsbedingungen (Druck, Temperatur usw.), die meistens auch schon festliegen. Immerhin ist manchmal eine gewisse Auswahl möglich. Wichtiger ist die zweite Maßnahme: die Beseitigung stark angreifender Stoffe. Hier ist vor allem die Entlüftung des Wassers zu erwähnen, die ein wirksames Mittel zur Bekämpfung der Korrosion darstellt.

2. Schutz durch korrosionshindernde Zusätze (s. *E. Rabald*, Chem. Fabrik 1936, S. 310). Auswahl und Wirkung dieser Zusätze ist recht verschieden. Als Beispiele sollen angeführt werden: a) Zusätze, die die Acidität vermindern. Hier ist die Erdöldestillation zu nennen, bei der sich der Gehalt des Rohöles an Magnesiumchlorid recht unangenehm bemerkbar macht. Zum Schutze gegen die abgespaltene Salzsäure wird deshalb den Dämpfen Ammoniak beigemischt. b) Zusätze, die einen sichtbaren oder unsichtbaren Schutzfilm erzeugen und passivierend wirken. Hierher gehören hauptsächlich Zusätze von oxydierend oder basisch wirkenden Stoffen. Für Schwefelsäure, die zur Bereitung von Mischsäure dienen soll, ist z. B. die Tatsache

wichtig, daß ein Zusatz von 15—20 Proz. Salpetersäure einen Angriff der eisernen Transportwagen verhindert. Geringe Mengen Natriumsilicat (Wasserglas), wie 1 Tl. auf 200 000 Tle., vermögen die Korrosion von eisernen und bleiernen Wasserleitungen weitgehend einzuschränken.

3. Änderung der Bedingungen, unter denen sich das korrodierende Mittel befindet, z. B. Vermeidung von Konzentrationsketten (s. S. 933) durch Rühren, Durchführung der Reaktionen im Vakuum (*E. L. Holland-Merten*, Dechema-Monographien 8 [Berlin 1936, Verlag Chemie]).

C. Elektrochemische Schutzmaßnahmen.

Streng genommen fallen die Überzüge aus unedleren Metallen auf edlerem Grundmetall auch mit unter den Abschnitt elektrochemische Schutzmaßnahmen; denn ihre Schutzwirkung beruht teilweise auf elektrochemischen Grundlagen. Es ist bei dieser Gelegenheit schon erwähnt worden, daß von zwei elektrochemisch verschiedenen Materialien, die miteinander leitend verbunden sind, das edlere auf Kosten des unedleren geschützt wird. Durch Einhängen von Zink- und Stahlplatten (auch Magnesium- und Aluminiumlegierungen) in Kessel- und Kondensatorsysteme macht man von dieser Tatsache zur Vermeidung von Korrosionen Gebrauch.

Zuweilen ist es nötig, Rohre verschieden edler Metalle miteinander zu verbinden. Stehen diese sehr weit in der elektrochemischen Spannungsreihe auseinander, so können sehr starke Korrosionen auftreten. Man hilft sich dann so, daß man ein Rohrstück aus einem Metall dazwischenschaltet, das seinem elektrochem. Verhalten nach zwischen beiden Metallen liegt und möglichst ein guter Leiter ist; dies vermeidet übermäßig hohe Potentialdifferenzen.

Die Wirkung aller dieser Schutzmaßnahmen ist nicht besonders groß, da nur geringe Ströme entstehen, und die Wirkung durch Verkrustung der Oberfläche nachläßt. Man ist daher dazu übergegangen, den zur Schutzwirkung nötigen Strom aus einer äußeren Stromquelle zu entnehmen. Das zu schützende Metall wird dabei als Kathode geschaltet, während die leicht ersetzbare Anode dem Angriff preisgegeben wird (z. B. beim *Cumberland*-Verfahren). — Es sei hervorgehoben, daß den elektrochemischen Schutzverfahren bisher nur Teilerfolge beschieden gewesen sind, und daß ein endgültiges Urteil über ihren Wert heute noch nicht gegeben werden kann.

Literatur: Gesellschaften, Institute u. dgl., sowie Zeitschriften, die dem Werkstoff- und Korrosionsproblem eine bevorzugte Behandlung angedeihen lassen: American Society for Testing Materials, Philadelphia; Aluminiumzentrale G. m. b. H., Berlin; Bureau of Standards, Washington U.S.A.; Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen (Dechema), Berlin; Deutsche Gesellschaft für Metallkunde (i. Ver. Deutscher Ingenieure), Berlin; Institute of Metals, London; Nickel-Informationsbüro, Frankfurt a. M.; Reichsausschuß für Metallschutz, Berlin; Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf. — Zeitschriften: Aluminium (Aluminiumzentrale), Berlin; Apparatebau, Hannover; Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, Berlin; Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft, Berlin; Chemisches Zentralblatt, Berlin; Chemische Apparatur (Beilage Werkstoffe u. Korrosion), Leipzig; Chemische Fabrik (Werkstoffblätter), Berlin; Chemical and Metallurgical Engineering, New York; Chimie et Industrie, Paris; Engineering and Mining Journal, New York; Farbe und Lack, Hannover; Farben-Zeitung, Berlin; Feuerfest-Ofenbau, Leipzig; Giornale di Chimica Industriale ed Applicata, Mailand; Glastechnische Berichte, Frankfurt a. M.; Journal of the American Ceramic Society, Columbia (Ohio); Journal of the Institute of Metals, London;

Journal of the Society of Chemical Industrie, Chemistry and Industry, London; Keramische Rundschau, Berlin; Korrosion (Beilage zur Chem. Apparatur), Leipzig; Korrosion und Metallschutz, Berlin; Kruppsche Monatshefte, Essen; Kunststoffe, München; Metals and Alloys, East Stroudsburg, Pa.; Metal Industry, London; Metal Industry, New York; Metall, Berlin; Metallbörse, Berlin; Mining and Metallurgy, New York; Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt zu Berlin-Dahlem; Nickel-Berichte (Nickel-Informationsbüro), Frankfurt a. M.; Proceedings of the American Society for Testing Materials, Philadelphia; Science Reports of the Tôhoku Imperial University, Tokyo; Stahl und Eisen, Düsseldorf; Transactions of the American Society for Steel Treating, Cleveland; Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, Berlin; Zeitschrift für Elektrochemie, Berlin; Zeitschrift für Metallkunde, Berlin.

Buchliteratur: *O. Bauer, O. Kröhnke u. S. Masing*, Die Korrosion metallischer Werkstoffe. I. Die Korrosion des Eisens und seiner Legierungen (Leipzig 1936, Hirzel). — *W. S. Calcott, J. C. Whetzel u. H. F. Whittaker*, Corrosion Tests and Materials of Constructions (New York 1923, van Nostrand). — *H. Creutzfeld*, Korrosionsforschung vom Standpunkte der Metallkunde (Braunschweig 1924, Vieweg). — *U. R. Evans u. E. Honegger*, Die Korrosion der Metalle (Zürich 1926, Fühl). — *F. Foerster*, Elektrochemie wäßriger Lösungen (Leipzig 1922, Barth). — *A. Fürth*, Die Werkstoffe für den Bau chemischer Apparate (Leipzig 1928, Spamer). — *M. L. Hamlin u. F. M. Turner*, The Chemical Resistance of Engineering Materials (New York 1923, Chemical Catalog Co.). — *E. S. Hedges*, Protective Films on Metals (London 1932, Chapman and Hall). — *O. Kröhnke, E. Maaß u. W. Beck*, Die Korrosion I (Leipzig 1929, Hirzel). — *R. J. Mac Kay u. R. Worthington*, Corrosion, Resistance of Metals and Alloys (New York 1936, Reinhold). — *M. Le Blanc*, Lehrbuch der Elektrochemie (Leipzig 1920, Leiner). — *E. Liebreich*, Rost und Rostschutz (Braunschweig 1914, Vieweg). — *G. Masing, E. H. Schulz, C. Carius, K. Daeves, E. Houdremont u. H. Schottky*, Die Korrosion des Eisens und seiner Legierungen (Leipzig 1936, Hirzel). — *W. J. Müller*, Die Bedeckungstheorie der Passivität der Metalle und ihre experimentelle Begründung (Berlin 1933, Verlag Chemie). — *N. van Patten*, Bibliography of the Corrosion of Metals (Kingston [Canada] 1924, van Patten). — *A. A. Pollitt u. W. H. Creutzfeld*, Ursachen u. Bekämpfung der Korrosion (Braunschweig 1926, Vieweg). — *E. Rabald*, Werkstoffe und Korrosion I, II (Leipzig 1931, Spamer). — „Korrosion I—V“, Berichte über die Korr.-Tagungen 1932—36 (Berlin, VDI-Verlag). — *G. Schmaltz*, Technische Oberflächenkunde (Berlin 1936, Springer). — *C. J. Smithells*, Impurities in Metals (London 1928, Chapman and Hall). — *F. N. Speller*, Corrosion-Causes and Prevention, an Engineering Problem (New York 1935, Mc Graw-Hill). — *S. J. Tungay*, Acid-Resisting Metals (London 1925, Benn).
Rabald.

Lit. Chem. Apparatur über *Korrosion, Werkstoffe* und *Schutzüberzüge* (s. auch bei den einzelnen Werkstoffen. Die Zahlen beziehen sich hier auf die Beilage [1926—1936] „Korrosion“ bzw. „Werkstoffe und Korrosion“ der „Chemischen Apparatur“; * bedeutet hier Hauptteil der Zeitschrift): *A. Ernst*, Auskleidung eiserner Gefäße (1916*, S. 93). — *C. Böhm von Börnegg*, Wie müssen Patente auf dem Korrosionsgebiete abgefaßt werden? (1920, S. 1). — *V. Wiegand*, Säurebeständige Bleiauskleidung oder säurefeste Plattenauskleidung? (1921*, S. 187). — *F. W. Horst*, Prüfung von Stoffen (Metallen und Legierungen) auf Eignung zum Bau chemischer Apparate (1924*, S. 105). — *Wenz*, Die emaillierten Apparate und ihre Verwendung (1924*, S. 89). — *Michalke*, Elektrolytische Anfrassungen (1925*, S. 121, 144). — Welchen Baustoff muß ich wählen? (1926, S. 1). — *Th. Hoffmann*, Hitzebeständige Metalle (1926, S. 2). — *R. Stumper*, Über eigenartige Anfrassungen (1926, S. 3). — *B. Block*, Anschlußstutzen an emaillierten Apparaten (1926, S. 13). — *F. Moll*, Holztränkung und Metallkorrosion (1926, S. 17). — *S. Reiner*, Über die Angreifbarkeit von Metallen durch Isolieröl-Harzmasse (1926, S. 25). — *H. L. Meurer*, Stoffverfall (1927, S. 1, 6, 11, 13, 18, 25). — *B. Schulz*, Nichtmetallische, ölfreie Rostschutzanstriche (1927, S. 9). — *J. Hausen*, Die Korrosionsforschungen der Chemisch-Technischen Reichsanstalt (1927, S. 21). — *H. Schwerdtfeger*, Quantitative Untersuchungen über den Stoffverfall (1927, S. 37, 45). — *F. Tödt*, Korrosion und Reststrom (1928, S. 37). — *B. Waeser*, Nichtmetal-

lische Baustoffe der Säureindustrie (1928, S. 29, 46; 1929, S. 1, 21, 33). — *J. Eggert*, Die Korrosion von Maschinen in der Viscose-Kunstseidenfabrik und ihre Beseitigung bzw. Bekämpfung (1928, S. 45; 1929, S. 13). — *A. Karsten*, Ein neuer feuerfester Baustoff (Wetametall) (1929, S. 17). — *G. Gollnow*, Ein neues Verfahren zur gleichzeitigen Korrosionskurzprüfung verschiedener Metalle (1930, S. 25). — *B. Block*, Fehler an unmittelbar gefeuerten emaillierten Eindampfschalen (1930, S. 29). — *L. Singer*, Über Korrosion in der Erdölindustrie (1930, S. 45; 1931, S. 5, 9). — *E. Rabald*, Bekämpfung der Korrosion (1931, S. 1, 25). — *E. Wurtz*, Anwendung säurebeständiger Werkstoffe in der Kunstseidenfabrik (1931, S. 21). — *H. Kalpers*, Säure- und wärmebeständige Werkstoffe deutscher Herkunft (1931, S. 45). — *B. Block*, Emaille, Lack, Bakelit u. dgl. für die Trommeln der Siebschleudern (1931, S. 57); Trommeln der Siebschleudern aus keramischen Baustoffen, wie Steinzeug, Porzellan (1932, S. 5). — *W. Gumz*, Grenzen der Abwärmeverwertung in bezug auf die Korrosion rauchgasberührter Apparate (1932, S. 9). — *H. Heberling*, Entrosten und Grundieren von chemischen Apparaten (1932, S. 17). — *G. Weissenberger*, Zur Frage der Patentfähigkeit einer besonderen Stoffwahl im Apparatebau (1932, S. 25). — *F. Ohl*, Baustoffe und Korrosionserscheinungen in der Kunstseidenindustrie (1932, S. 29); Eisen und Eisenlegierungen als Baustoffe in der Kunstseidenindustrie (1932, S. 33); Haveg, Steinzeug, Holz nebst Zusammenstellung über in der Kunstseidenindustrie bewährte Baustoffe (1933, S. 9); Bau- und Werkstoffe für die Maschinen und Apparate der Azetylcellulose verarbeitenden Industrie (1933, S. 25). — *H. Schmitt*, Das Eloxalverfahren (1933, S. 13). — *K. Heberling*, Deckanstriche an chemischen Apparaten (1933, S. 21). — *E. Schweitzer* u. *S. Kiesskalt*, Elektromagnetischer Schichtdickenprüfer für Korrosionsschutzüberzüge (1933, S. 33). — *K. Thormann*, Werkstoffe und Korrosion (1934, S. 17). — *H. Heberling*, Erneuerung alter Apparateanstriche (1934, S. 25). — *K. Nied*, Die elektrochemische Korrosion und ihre Bekämpfung (1934, S. 37, 41). — *B. Waeser*, Apparaturen der anorganisch-chemischen Großindustrie. Werkstofffragen (1934, S. 45). — *A. Bresser*, Das Verhalten metallischer Werkstoffe in der chemischen Industrie (1935, S. 5). — *U. Stark*, Korrosion in der Zuckerindustrie (1935, S. 7). — *R. Fussteig*, Korrosion der Metalle in der Mineralölindustrie (1935, S. 13). — *Hütter*, Über Prüfmethode von Chromelektrolyten (1935, S. 17); Korrosionsversuche an galvanischen Chromniederschlägen in Salzsprühnebeln und mechanische Prüfung (1935, S. 25). — *E. Belani*, Bitumen als Schutz gegen die Korrosion des Bleies (1935, S. 29). — *A. Karsten*, Optische Oberflächenprüfung von Metallen, besonders hinsichtlich ihrer Korrosion (1935, S. 61). — *B. B.*, Der Wettstreit um die zweckmäßigsten Werkstoffe des Apparatebaues (1936*, S. 1). — *B. Block*, Unabhängigkeit durch „bodenständige Werkstoffe“ (1936, S. 33). — *B. Waeser*, Apparaturen der anorganisch-chemischen Großindustrie. Kritische Streifzüge (1936, S. 1, 5, 45, 53, 61); Bodenständige Werkstoffe. Eisen, Emaillierung, Ausfütterung, Blei, Kupfer, Zink, Aluminium, Nickel, Zinn, Steinzeug, Naturgestein, Anstrich, Holz, Zellstoff, Gummi, Kaltglasuren (1936, S. 33). — *A. Karsten*, Neue Fortschritte der Feinstrukturuntersuchung durch Röntgenröhren in ihrer Bedeutung für den Bau chemischer Apparate (1936, S. 26). — *K. Thormann*, Bodenständige Werkstoffe. Sparbeiwert, Aluminium, Gußeisen, Keramische Werkstoffe, Porzellan, Kunstharz, Deckschichten (1936, S. 36). — *E. Tödt*, Korrosion und Ausnutzung metallischer Werkstoffe (1936, S. 39). — *H. Schröder*, Bodenständige Werkstoffe. Aufgaben des Apparatebaues und der chemischen Technik im nationalsozialistischen Staat (1936, S. 37). — *E. Rabald*, Einige Fortschritte auf dem Gebiete des Steinzeugs (1936, S. 71). — *R. Salchow* u. *F. A. M. Wülfiginghoff*, Verschleißfeste Überzüge im Apparatebau (1936, S. 69, 77, 85). — *P. Wiessner*, Werkstoffe und Korrosion (1936, S. 88). — *W. Adrian*, Anstrichrichtiges Gestalten (1937*, S. 17). — *A. Foulon*, Zinkweiß und neue heimische Bindemittel (1937*, S. 18). — *R. Müller*, Grundlagen der monel- und nickelplattierten Flußstahlbleche, Bearbeitung und wirtschaftliche Bedeutung für die Rohstoffgestaltung im chemischen Apparatebau (1937*, S. 19). — *E. Belani*, Das Kärntner Eisen-Minium im Korrosionsschutz und eine Mühle zum Mahlen des Rohstoffes (1937*, S. 52). — *A. V. Blom*, Über die Ursachen der Ribbildung in Anstrichen (1937*, S. 65).

Korund, s. Keramische Werkstoffe.

Kreiselbrecher, s. Kegeltreiber.

Kreiselmischer (s. auch *Mischvorrichtungen*). Das Vermischen von pastenartigen, dickflüssigen, breiigen und pulverigen Stoffen dauert, wenn es mit den üblichen Rührvorrichtungen (s. d.) oder Knetmaschinen (s. d.) vorgenommen wird, oft erhebliche Zeit. Diese Apparate laufen, soweit sie auch den genannten Zwecken dienen, meist verhältnismäßig langsam, so daß ein längerer Zeitraum erforderlich ist, um die einzelnen Teilchen des Gutes ausreichend miteinander zu vermengen. Um den Mischvorgang möglichst zu beschleunigen, verwendet der neuzeitliche Maschinenbau schnellaufende Mischwerke, wie sie insbesondere die sog. Kreiselmischer besitzen. Dabei

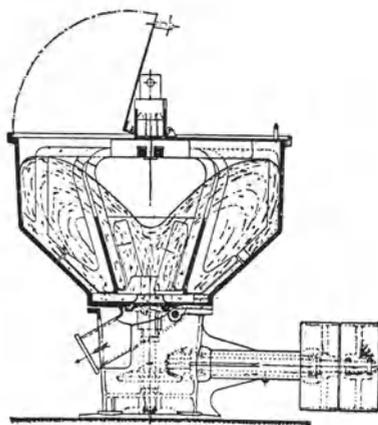


Abb. 1263.
Petzholdt-Kreiselmischer.

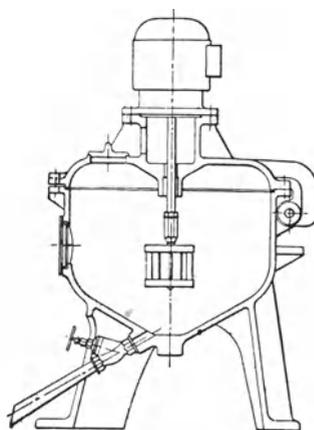


Abb. 1264.
Zyklon-Kreiselmischer (Hoesch).

ist allerdings darauf hinzuweisen, daß einzelne zähe oder grobkörnige Stoffe bei der Verarbeitung mit schnellaufenden Mischwerkzeugen Schwierigkeiten bereiten. In solchen Fällen muß man auf andere Knetmaschinen (s. d.) oder Mischvorrichtungen (s. d.) zurückgreifen, die man durch Versuche bestimmen muß, wenn Erfahrungen nicht vorliegen.

Die Kreiselmischer arbeiten mit einem Kreiselkörper, der aus Schaufeln besteht und in einem geschlossenen Mischgefäß auf einer senkrechten Welle schnell umläuft.

Als Ausführungsbeispiel zeigt Abb. 1263 den Petzholdt-Kreiselmischer (J. S. Petzholdt, Freital-Dresden). Die Masse bewegt sich im Kreislauf stetig um den in der Mitte angeordneten Kreisel. Dabei führen die umlaufenden Mischwerkzeuge und ein System von Abstreichern das Gut in fortgesetzt rechtwinklig sich kreuzenden Bahnen mit großer Geschwindigkeit gegeneinander. Die Masse strömt zunächst in waagerechter Richtung über den Kreisel und trifft dann senkrecht auf die Außenabstreicher, die sie nach unten führen. Am Boden reißen die Werkzeuge die Masse herum. Dann schlägt sie im Innern des Kreisels erneut senkrecht gegen die Innenabstreicher, die sie wieder nach oben drücken. Während dieses Umlaufs werden die Masseteilchen dauernd

gegeneinander geschleudert, in den engen Spalten zwischen Abstreichern und gerauhten Kesselwandungen, sowie zwischen den Einzugschaufeln und dem Schlüsselboden gegeneinander getrieben und zerkleinert. Besondere Abstreicher aus federndem Stahlblech halten sämtliche Innenflächen, die beweglichen Teile und den Deckel rein, damit sich nirgends Masseteilchen ansetzen und dem Mischvorgang entziehen können. Der Petzholdt-Kreismischer wird in Größen von 5 l bis zu 2400 l Nutzinhalt aus jedem für die gewünschten Zwecke notwendigen Baustoff gebaut. — Der Mischvorgang dauert nach Angaben des Herstellers im Mittel etwa 10 bis 25 Minuten. Bei der Erzeugung von Druckfarben konnte der Mischvorgang zwischen Firnis und Ruß schon nach 15 Minuten beendet werden. Das Mischen trockener Erdfarben gelang schon in zwei Minuten. Weitere Anwendungsgebiete sind das Anteigen oder Zerkleinern von Preßkuchen, die Herstellung von Viscososen, Emulsionen, Salben, Zahnpasten, Schokoladen, die Lösung von Harzen, Leim usw.

Eine einfache Bauart kennzeichnet den von Eberhard Hoesch & Söhne, Düren, entwickelten Zyklon-Kreismischer (Abb. 1264), der ebenfalls zum Mischen von Farben mit Ölen, zur Herstellung von Emulsionen, Salben, Schlämmen usw. bestimmt ist. Der sich schnell drehende Mischzylinder saugt die Flüssigkeit von den beiden Endseiten oder nur von oben oder unten ein und schleudert sie nach außen. Sind in den zu mischenden Stoffen spezifisch schwere Anteile vorhanden, so muß der Kreisel von unten ansaugen, damit der ganze Gefäßinhalt gleichmäßig am Mischvorgang beteiligt wird. Die Mischwerke erhalten je nach den örtlichen Verhältnissen unteren oder oberen Räderantrieb oder Antrieb mit Flanschmotoren. Zur Kühlung oder Heizung sieht man nach Bedarf angegossene oder angeschweißte Mäntel vor. Zum Ablassen des Mischgutes dient ein Schieber oder ein Ventil im Boden des Mischgefäßes.

Der in Abb. 1265 dargestellte Kreismischer der Paul Schütze A.-G., Oggersheim (Chem. Apparatur 1935, S. 138), arbeitet mit einem Flügelsatz *a*, der auf einer von unten über *l* angetriebenen Welle befestigt und von dem Mischgehäuse *b* umgeben ist. Der Flügelsatz enthält zwei axial gegeneinander wirkende Propeller und ein dazwischengeschaltetes Radialflügelrad. Das Mischgut wird, wie die Pfeile zeigen, von oben und von unten in das Mischgehäuse *b* gesaugt, dort innig gemischt und durch die seitlichen Öffnungen des Mischgehäuses wieder herausgeschleudert. Der auf dem Bock *k* ruhende Mischtrogtrog *c* ist so ausgebildet, daß das bei *b*₁ aus dem Gehäuse austretende Gut sich an der Wand *c*₁ in zwei Kreisläufe zerlegt, um dann wieder von oben und unten in das Gehäuse zu treten. Die besondere Form des Deckels *d* und seines Einsatzes *f* begünstigt den Stoffumlauf. Zum Einfüllen des Mischgutes dienen die Öffnungen bei *e* und *g*; zum Austragen ist die mit einer Klappe verschlossene Öffnung bei *i* vorgesehen, an die sich eine Auslaufrinne *h* anschließt. Nach Abnahme des Einsatzes *f* kann der Flügelsatz *a* bequem herausgenommen und gereinigt werden.

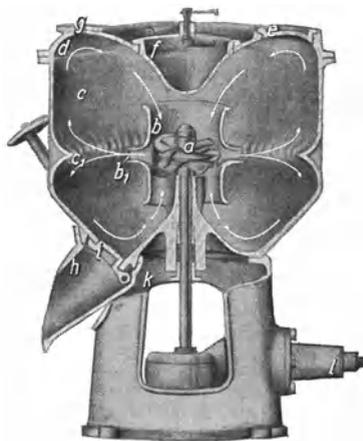


Abb. 1265.
Kreismischer (Schütze).

Einen Kreismischer, bei dem das Kreiselrad unmittelbar über dem Gefäßboden angebracht ist, zeigt Abb. 1266 (Frankfurter Dampfkesselfabrik Garthe & Co., Frankfurt a. M.-Grießheim). (Siehe auch Chem. Apparatur 1931, S. 127.) Vor dem Schaufelrad ist ein feststehender Leitschaufelkranz angebracht. Der Gefäßinhalt läuft in Form eines Ringwirbels ständig um. Mit Hilfe einer eingebauten Fördereinrichtung kann man lediglich durch Schwenken eines Hebels den Gefäßinhalt abziehen und ohne weitere Pumpvorrichtungen auch in höherstehende Gefäße drücken.

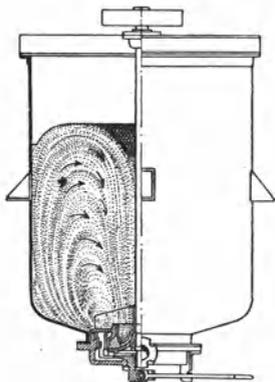


Abb. 1266. Kreismischer
(Garthe & Co).

Für bestimmte Zwecke hat man zahlreiche Sonderbauarten entwickelt. Zur Heizung oder Kühlung kann man hohle Einbauten vorsehen und den Stoffstrom um diese führen. Durch ringförmige Auskehlungen in den Wänden kann man Wirbelbildungen begünstigen und damit den Mischvorgang beschleunigen. Um die Masse zu zerteilen, können dem Stoffstrom Wandungen mit feinen Bohrungen oder Schlitzen entgegengestellt werden. Soll das Gut mit Gasen oder Dämpfen behandelt werden, so sieht man ein Zuleitungsrohr vor, das in der Regel unter den Kreisel geführt wird. Soll unter Luftleere oder mit innerem Überdruck gearbeitet werden, so muß der Mischtrog entsprechend druckfest ausgebildet werden und an den Öffnungen die erforderlichen Dichtungen erhalten.

Ändert sich die Zähigkeit während des Mischvorganges erheblich, so kann es erwünscht sein, den Mischer entsprechend mit verschiedenen Drehzahlen zu betreiben. In solchen Fällen baut man Mehrgang-Räderschaltgetriebe nach Bedarf an.

Thormann.

Kreiselradgebläse, s. Schraubenradgebläse.

Kreuzstromapparate (Querstromapparate; s. auch Gegenstromapparate, Gleichstromapparate). Austauschvorgänge zwischen zwei Stoffen, insbesondere die Übertragung von Wärme von einem Träger auf einen anderen, führt der Apparatebau im Gleich- oder im Gegenstromverfahren oder aber auch in dem sog. Kreuz- oder Querstromverfahren durch. Dabei strömt der eine der beiden Stoffe durch Kanäle oder Rohre, die sämtlich oder zu einem erheblichen Teil senkrecht zur Strömung des zweiten Stoffes angeordnet sind. Das Hauptanwendungsgebiet des Kreuzstromverfahrens ist der Wärmeaustausch in Kondensatoren (s. d.), Kühlern (s. d.), Vorwärmern (s. d.), Rekuperatoren (s. d.) und ähnlichen Wärmeaustauschern.

Die genaue Berechnung von Kreuzstromapparaten ist für den allgemeinsten Fall eines Austauschs zwischen zwei Stoffen mit veränderlichen Temperaturen erheblich schwieriger als die von Gegen- und Gleichstromapparaten, da die Temperaturverhältnisse in jedem Punkt der Apparatur andere sind, wie auch Abb. 1267 schematisch veranschaulicht, wo ein Kreuzstromwärmeaustauscher mit n Rohrreihen dargestellt ist. Die Temperatur des um die Rohre strömenden Stoffes ändert sich beim Vorbeigang an jeder einzelnen Rohrreihe. Wie die Abbildung als Beispiel darstellt, beträgt die mittlere Temperatur hinter der ersten Rohrreihe t_{01} , hinter der zweiten t_{02} , hinter der nächsten t_{03} usw., hinter der letzten Reihe t_{0n} . Die Austrittstemperatur des durch die

Rohre fließenden Stoffes ist ebenfalls für jede Rohrreihe verschieden und auf der Abbildung durch t_{21}, t_{22}, t_{23} usw. bis t_{2n} gekennzeichnet. Im folgenden sind, soweit nicht etwas Besonderes angegeben ist, die unter „Gegenstromapparate“ aufgeführten Bezeichnungen verwendet.

In vielen Fällen kann man mit genügender Annäherung ein brauchbares Ergebnis mit der Gleichung

$$Q = kF \Delta t \text{ kcal/std}$$

auch bei der Berechnung von Kreuzstromapparaten erhalten. Entsprechend einer von *A. Schack* (Der industrielle Wärmeübergang, S. 259 [Düsseldorf 1929, Stahleisen]) gegebenen Darstellung läßt sich der mittlere Temperaturunterschied Δt angenähert aus den mittleren Austrittstemperaturen t_{2m} und t_{0n} und den Eintrittstemperaturen t_1 und t_0 aus folgender Gleichung berechnen:

$$\Delta t = \frac{t_1 - t_0 + t_{2m} - t_{0n}}{2}$$

Eine andere Möglichkeit, den Wert Δt zu berechnen, besteht darin, daß man den Kreuzstrom als Mittelweg zwischen Gleich- und Gegenstrom auffaßt und entsprechend aus den für das Gleich- und für das Gegenstromverfahren geltenden Werten für Δt einen Mittelwert annimmt.

In vielen Fällen, insbesondere bei Röhrenwärmeaustauschern, wird das Kreuzstromverfahren so ausgeführt, daß einer der beiden Wärmeträger im Zickzackweg dem anderen entgegenströmt. Dabei kann man die für den Gegenstrom geltenden rechnerischen Beziehungen anwenden.

Für das reine Kreuzstromverfahren ist eine genauere Berechnung möglich, wenn man die Austrittstemperatur für jede Rohrreihe gesondert berechnet. Nach *Schack* (Wärmeübergang, S. 261) erhält man dann unter Zugrundelegung der unter „Gegenstromapparate“ angegebenen Bezeichnungen für den aus der n -ten Rohrreihe strömenden Stoff:

$$t_{2n} = t_{0(n-1)} + (t_1 - t_{0(n-1)}) e^{-\frac{kF}{Gc} \circ}$$

Für die Austrittstemperatur des senkrecht zum Rohrbündel strömenden Stoffes ergibt sich:

$$t_{0n} = t_{0(n-1)} - (t_{0(n-1)} - t_1) \frac{Gc}{nG'c'} \left(1 - e^{-\frac{kF}{Gc} \circ} \right)$$

Dabei wird $t_{0(n-1)}$ aus der Berechnung der vorletzten Rohrreihe bestimmt.

Für die im Kreuzstromwärmeaustauscher übertragene Wärmemenge gilt dann die Gleichung:

$$Q_1 = G'c' (t_0 - t_{0n}) \text{ kcal/std}$$

Die mittlere Austrittstemperatur des durch die Rohre strömenden Stoffes ist

$$t_{2m} = \frac{t_{21} + t_{22} + t_{23} \dots + t_{2n}}{n} \circ$$

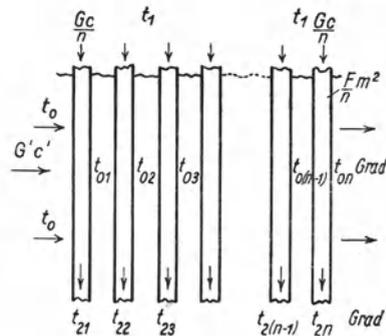


Abb. 1267. Kreuzstrom-Wärmeaustauscher.

Die aufgenommene Wärmemenge muß dann betragen:

$$Q_2 = G c (t_{2m} - t_1) \text{ kcal/std.}$$

Sieht man von den Wärmeverlusten nach außen ab, so muß $Q_1 = Q_2$ sein.

Bei Verdampfern und Kondensatoren kann meist für einen der beiden am Wärmeaustausch beteiligten Stoffe die Temperatur als unveränderlich angesehen werden. In diesen Fällen kann man auch beim Kreuzstromverfahren mit den unter „Gegenstromapparate“ angegebenen allgemeinen Formeln für Q und Δt rechnen.

Lit.: Siehe bei Gegenstromapparate.

Th.

Krümmen, s. Rohrleitungen.

Krystallisierapparate (Krystaller). Die einfachste Apparatur zum Ausrystallisieren fester Stoffe aus Lösungen (früher allgemein, heute nur noch für kleine Anlagen oder für besondere Zwecke gebraucht) besteht aus einem kesselartigen Gefäß aus Guß- oder Schmiedeeisen, Steinzeug oder sonst einem geeigneten Werkstoff, der von der betreffenden

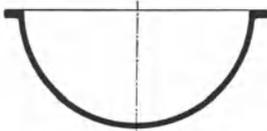


Abb. 1268. Krystallisierschale ohne Kühlmantel.

Lauge nicht angegriffen wird, wobei die Kühlung durch den natürlichen Luftzug erfolgt. Derartige einfache Krystallisiergefäße (Krystallisierschalen; Abb. 1268) werden z. B. für die

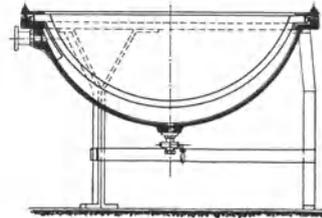


Abb. 1269. Krystallisierschale mit Kühlmantel.

Krystallisation der Paraffinmasse, für die Herstellung von Bittersalz, Bleiacetat, Kaliumchlorid u. a. Zwecke auch heute noch verwendet. Bei der Krystallisation von Paraffin verwendet man in der Regel kleinere Gefäße bis etwa 100 l Inhalt, in der Kaliindustrie große, eiserne Kühlkästen von 15—35 m² Grundfläche bei einer Höhe von 0,6—1,0 m, entsprechend einem Fassungsraum von 6—30 m³. Die Dauer der Krystallisation beträgt je nach dem zu gewinnenden Krystallat und der Jahreszeit 3—14 Tage.

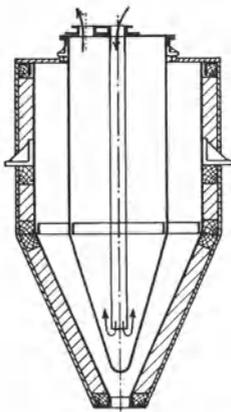


Abb. 1270. Krystallisiergefäß für Paraffin.

Zur Beschleunigung des Vorganges verwendet man vielfach ähnliche Verfahren mit Temperaturregelung durch Kühlen der Gefäße mittels besonderer Kühlmittel oder durch künstliche Ventilation der Krystallisierräume. Zu diesem Zweck wird das Krystallisiergefäß entweder in ein zweites (Kühl-) Gefäß eingesetzt, wobei dann der durch die beiden Gefäße gebildete Zwischenraum zur Aufnahme der Kühlflüssigkeit dient (Abb. 1269), oder man verwendet doppelwandige Gefäße. Die Krystallisation selbst wird häufig durch einen eingelegten Krystallisierstab aus Eisen, Steinzeug oder Porzellan angeregt. Einen Krystallisierapparat für Paraffin zeigt Abb. 1270; er besteht aus zwei ineinandergehängten Zylindern mit trichterförmigem Boden, von denen

der innere als Kältezylinder dient und oben durch einen Deckel abgeschlossen ist. Der Deckel trägt zwei Stützen für den Zu- und Abfluß der als Kühlflüssigkeit wirkenden Salzlösung; diese fließt durch ein Rohr bis an den Boden des inneren Zylinders und steigt in diesem wieder empor. Das Öldestillat wird in den äußeren Zylinder gefüllt; die an der Wand des inneren Zylinders sich festsetzenden Ausscheidungen müssen von Zeit zu Zeit abgekratzt werden, da sie die Abgabe der Kälte an den Zylinderinhalt hindern würden. Durch einen am Boden angebrachten Hahn wird das abgekühlte Destillat nach der Maische geleitet. Zur Vermeidung von Kälteverlusten ist der Apparat außen mit einer Holzverschalung versehen, deren Zwischenräume mit Korkstein oder einem anderen geeigneten Kälteschutzmittel ausgefüllt sind.

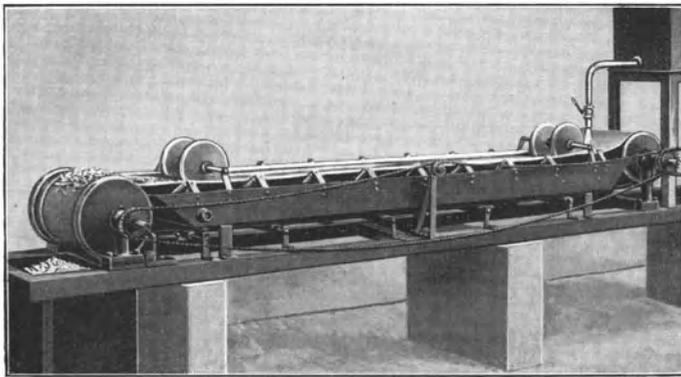


Abb. 1271. B-Krystaller (Zahn).

Der Nachteil der vorstehend beschriebenen Apparate, daß nämlich der Vorgang des Krystallisierens nur absatzweise (in einzelnen Chargen) erfolgt, wird bei dem von der Chemischen Produktenfabrik Pommerensdorf-Milch angegebenen und von Zahn & Co. G. m. b. H., Berlin, hergestellten sog. B-Krystaller vermieden. Dieser ist als Förderband ausgebildet; der obere Teil des Bandes ist muldenförmig gelagert, er nimmt die zu krystallisierende Lösung auf, die Kühlung erfolgt von unten durch Wasser oder durch gleichzeitiges Überleiten eines Luftstroms. Die warme Lösung fließt ununterbrochen an einem Ende zu, die Krystalle werden mit der Mutterlauge zusammen am andern Ende des Bandes selbsttätig ausgetragen (Abb. 1271). Da die Lauge mit Metall nicht in Berührung kommt, ist der B-Krystaller für alle Salzlösungen verwendbar. Die Dauer der Krystallisation und damit die Größe der Krystalle können durch Veränderung der Bandgeschwindigkeit in weiten Grenzen eingestellt werden.

In manchen Fällen kann die Sättigung einer Lösung und die Ausscheidung der Krystalle auch durch Verdampfen des Lösungsmittels erzielt werden, wobei in der Regel ein feinkörniges Produkt erhalten wird. Die ältesten Apparate dieser Art sind direkt befeuerte, eiserne Pfannen, wie sie auch heute noch vielfach zur Kochsalzgewinnung dienen. Eine wesentliche Verbesserung dieser Apparate stellen die *Grainer*-Pfannen (Mako & Vakuumtrockner G. m. b. H., Erfurt) dar, bei denen die Heizung durch eingehängte schmiedeeiserne Rohre

erfolgt, die meist mit dem Abdampf einer Kraftzentrale gespeist werden. Abb. 1272 zeigt die Verbindung einer *Grainer*-Pfanne mit einem Vakuumverdampfer *a*, der über der einen Pfanne *I* angeordnet ist. Diese wird mit dem Abdampf einer Dampfmaschine geheizt, der danach durch einen Wasserabscheider geht und noch zur Beheizung einer zweiten *Grainer*-Pfanne *II* dient. Die Sole gelangt zuerst in einen Heizapparat *d*, wird von dem Vakuumapparat *a* angesaugt, verdampft dort zum Teil und fällt mit dem ausgeschiedenen Salz in die erste Pfanne. In beiden Pfannen bewegen sich Schaufeln hin und her,

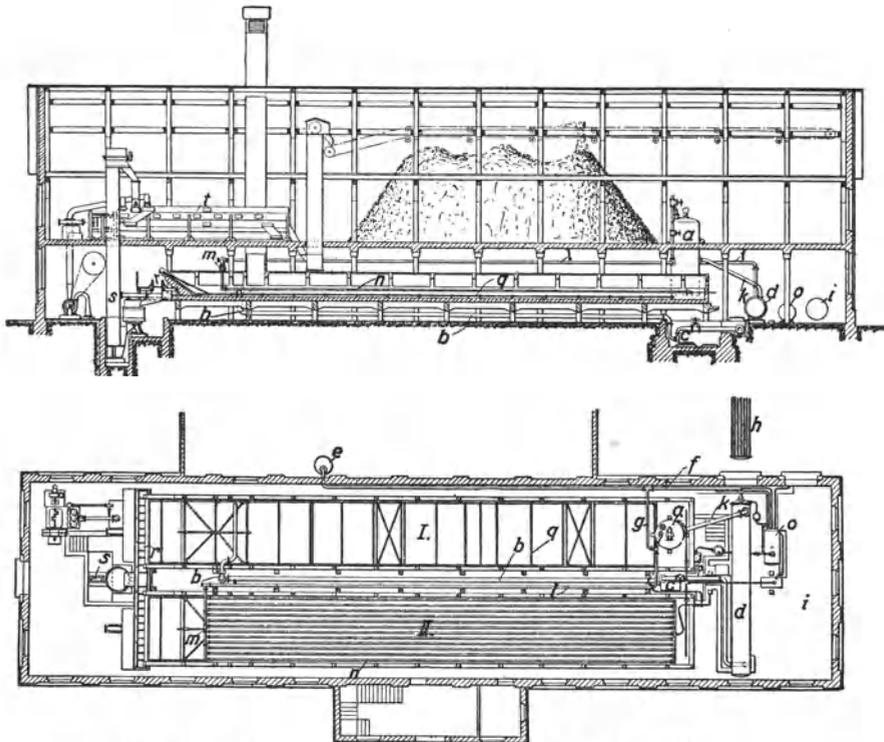


Abb. 1272. *Grainer*-Pfanne mit Vakuumverdampfer (Mako).

die das Salz nach dem einen Ende der Pfannen führen, wo es durch eine Transportvorrichtung ausgetragen wird.

Die Krystallisation mit ständig durchlaufender Lauge kann man auch so vor sich gehen lassen, daß nur die Lauge weiterbewegt wird, während sich die Krystalle an den Wänden und am Boden absetzen können. Bei der von *Bock* angegebenen Konglomeratrinne (Abb. 1273) von etwa 15 m Länge wird die Lauge an einem Ende aus einem Behälter zugeführt, läuft dann langsam durch die schwach geneigte Rinne durch und am anderen Ende über einen verstellbaren Überlauf aus. Der Vorteil gegenüber einfachen Krystallisiergefäßen beruht darin, daß bei diesen die Temperatur ständig geringer wird, dagegen bei der Konglomeratrinne ohne Schwierigkeit in den als günstig erkannten Grenzen konstant gehalten werden kann, wodurch die Bildung gleichmäßig zusammengewachsener, grobstückiger Krystalle erheblich begünstigt wird.

Bei der Gewinnung von Kaliumchlorid werden auf ähnlichen Grundsätzen beruhende Apparate benutzt, bei denen die Kühlung der Lauge in der Regel durch Kühlflüssigkeiten, meist nach dem Gegenstromprinzip, erfolgt. Diese als Laugenkühler bezeichneten Apparate sind meist von trogartiger oder zylindrischer Form, wobei häufig am Boden des Troges eine Transportschnecke zum Austragen des Krystallats vorgesehen ist. Die zum Kühlen benutzte Flüssigkeit nimmt Wärme aus der Lösung auf und kann in vielen Fällen wieder für andere Zwecke, z. B. als vorgewärmtes Lösungsmittel, nutzbar gemacht werden. Eine ähnliche Einrichtung mit einer etwa 4 m breiten und 50 m

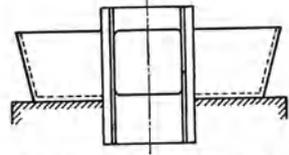


Abb. 1273. Konglomeratrinne von Bock (Querschnitt).

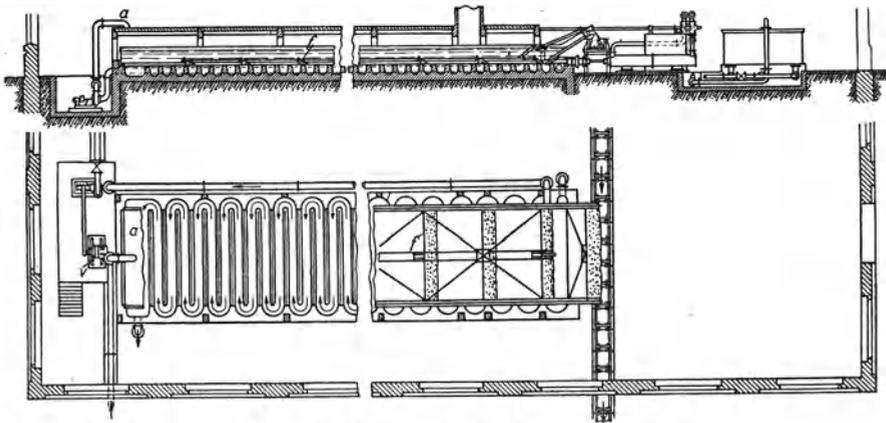


Abb. 1274. Laugenkühler der Kaliindustrie.

langen Pfanne, wie sie in der Kaliindustrie häufig verwendet wird, zeigt Abb. 1274; die Lauge wird bei *a* zugeführt und bewegt sich allmählich durch die Pfanne hindurch; zur Kühlung der Lauge sind unter der Pfanne Kanäle angeordnet, die schlangenförmig verlaufen und in denen das Kühlwasser im Gegenstrom zur Lauge geführt wird. Über die Pfanne hinweg wird gleichzeitig Luft geblasen, die mit den entstandenen Brüden durch einen Schornstein abgeführt wird. Eine in die Pfanne eingebaute Transporteinrichtung *f* schiebt die Krystalle dem Austragende der Pfanne zu (in der Abb. rechts), wo sie über eine schiefe Ebene einer Transportschnecke oder einem Becherwerk zugeführt werden. Größere Laugenmengen lassen sich dadurch bewältigen, daß man mehrere solcher Laugenkühler zu einer gemeinsamen Anlage vereinigt

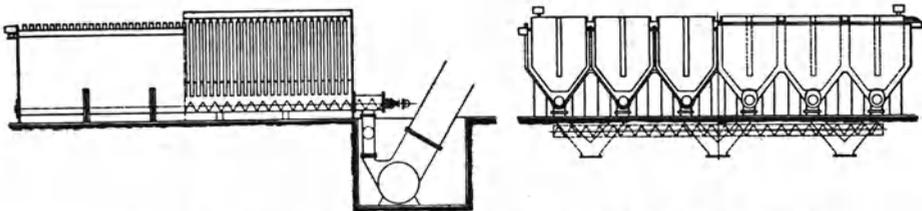


Abb. 1275. Laugenkühler für große Leistungen (Krupp-Grusonwerk).

(Abb. 1275), wobei die Förderschnecken der einzelnen Tröge das ausgeschiedene Krystallgut einer gemeinschaftlichen, quer zu den Trögen angeordneten Hauptförderschnecke zuführen, an deren Ende es von einem Becherwerk ausgetragen wird. Die in den Kühltrögen liegenden Förderschnecken werden von einer gemeinsamen Transmissionswelle aus angetrieben, wobei jede

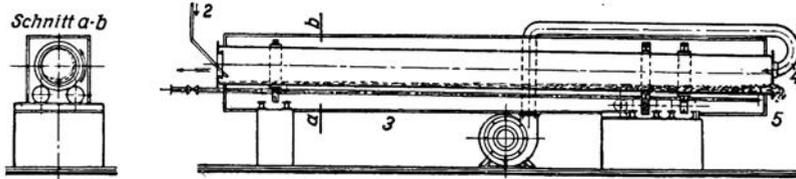


Abb. 1276. Patent-Rohrkrystaller (Zahn).

Schnecke durch eine Kupplung für sich ein- und ausgerückt werden kann. Die Kühlflüssigkeit tritt in den ersten Trog auf dessen ganzer Linie ein, durchfließt ihn und darauf die übrigen Tröge in der Querrichtung und verläßt die Anlage am letzten Trog.

An Stelle eines Laugenkühlers in Form einer Pfanne oder eines Troges verwendet man neuerdings mit Vorteil den Patent-Rohrkrystaller, der von der Chemischen Produktenfabrik Pommerensdorf-Milch gemeinsam mit der Firma

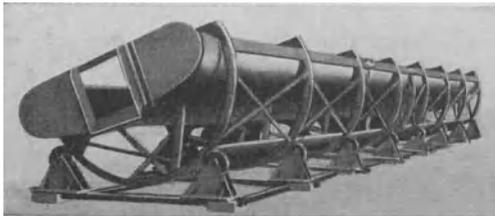


Abb. 1277. Krystallisierwiege von Wulff und Bock (Mako).

Zahn & Co. G. m. b. H., Berlin, ausgearbeitet worden ist. Der Apparat (Abb. 1276) besteht aus einem Drehrohr von 20 m Länge und mehr, das auf Rollen schwach geneigt gelagert und mit Bordscheiben versehen ist. Die abzukühlende Lösung tritt am höher gelegenen Ende ein, die Krystalle verlassen den Apparat am anderen Ende; die Kühlung erfolgt mit Luft oder

mit Wasser im Gegenstrom. Nach außen ist das Rohr gegen Wärmeverluste geschützt. Die Innenwand bleibt stets mit Lösung bedeckt, so daß die Kühlluft nicht oxydierend einwirken kann. Durch Einstellung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel kann man kleine oder große Krystalle erhalten.

Die Krystallisation in Ruhe mit den oben beschriebenen Apparaten war lange Zeit die einzige praktisch angewendete Methode, bis sich, auf den Arbeiten von Wulff und Bock fußend, die heute überwiegend angewendete Krystallisation in Bewegung einführte. Die von Wulff angegebene, von Bock vervollkommnete Krystallisierwiege (Abb. 1277), die für die meisten Salze geeignet ist und gleichmäßige Krystalle erzielen läßt, besteht aus einer langen, muldenförmigen Rinne von besonderer Form, die mittels einer kreisförmigen Gleitbahn auf Unterstützungsrollen hin- und herbewegt und durch einen Kurbeltrieb in schaukelnde Bewegung versetzt werden kann. Die an einem Ende ständig zulaufende Lauge wird durch die schaukelnde Bewegung gleichmäßig verteilt und langsam abgekühlt. Durch die eigenartige Form der Rinne wird verhindert, daß sich die Krystalle aneinander reiben, und daß sich ein

zusammenhängendes Krystallhäutchen an der Oberfläche der Lösung bildet. Die fertigen Krystalle und die Mutterlauge verlassen die Rinne dauernd am anderen Ende und werden durch eine Trans-

portvorrichtung zwecks weiterer Trennung einer Zentrifuge zugeführt. Die Krystallisierwiege eignet sich besonders dazu, verschiedene Ausbildungsformen der Krystalle zu erzeugen, je nachdem die Temperatur und die Konzentration der

Lauge, sowie die Anzahl der Schwingungen und die Füllhöhe der Rinne verändert werden. Durch die gleichmäßige, geregelte und langsame Bewegung bilden sich sehr regelmäßige Krystalle, die sich durch große Reinheit auszeichnen, weil alle mechanischen Verunreinigungen in der Lauge von den Krystallen abgeschwemmt werden. Abb. 1278 zeigt die Aufstellung einer Krystallisierwiege.

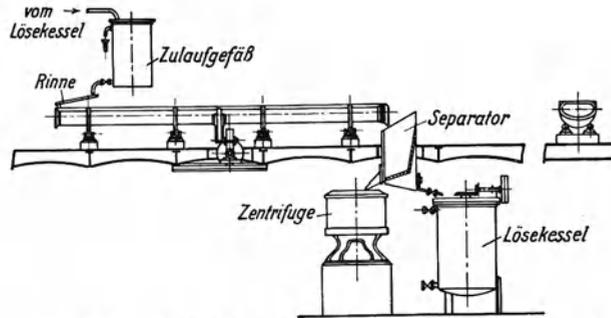


Abb. 1278. Aufstellung einer Krystallisierwiege (Mako).

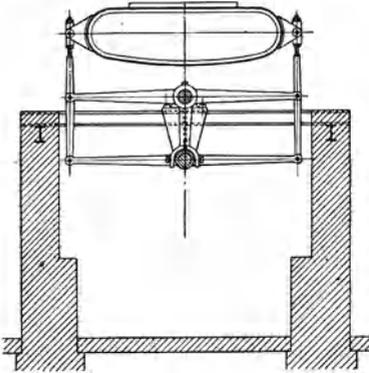


Abb. 1279. Einfacher Schaukelapparat von Bühler (Salge).

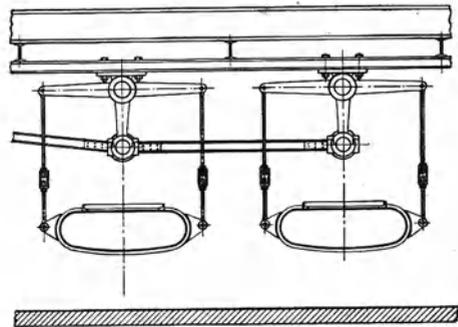


Abb. 1280. Doppelter Schaukelapparat (Salge).

Die auf bestimmte Konzentration und Temperatur eingestellte Lösung läuft über ein Zulaufgefäß der Krystallisierwiege zu; am Auslauf treten Krystalle und Mutterlauge gleichzeitig aus und werden im Separator voneinander getrennt. Die Mutterlauge gelangt zum Wiederanreichern in den Lösekessel, während das Krystallgut in der Zentrifuge weiter behandelt wird. Abb. 1279 zeigt eine etwas abgeänderte Ausführung der Krystallisierwiege nach Bühler (W. Salge & Co., Berlin), die in Längen von 10—20 m bei einer Breite von 1,35—2,0 m ausgeführt wird. Bei beiden Ausführungsformen lassen sich mehrere Rinnen zu einem gemeinsamen sog. Schaukelapparat (Abb. 1280) zusammensetzen, die einen gemeinsamen Antrieb erhalten. Die Apparate können stehend (Abb. 1279) oder hängend (Abb. 1280) angeordnet werden. Im ersteren Falle

ruhen die Wellen auf Mauersockeln, wobei die Rinnen von einem Gestänge getragen werden, im letzteren Falle ist die Rinne mittels einer Anzahl von Hebeln an einer durchgehenden Welle montiert, die auf besonderen Unter-

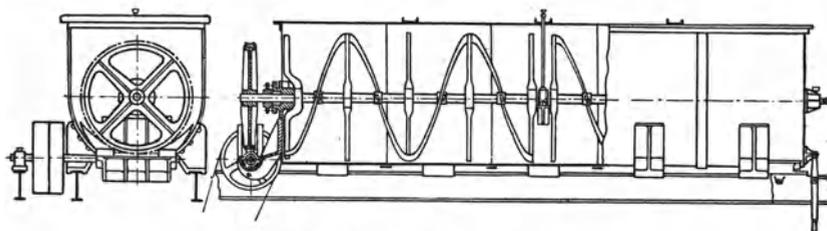


Abb. 1281. Sudmaische.

stützungen oder an der Deckenkonstruktion gelagert wird. Die Krystallisierwiege ist besonders dort geeignet, wo (wie z. B. bei Natriumthiosulfat) eine besonders gleichmäßige Krystallform verlangt wird. Außerdem sind derartige Apparate für die Gewinnung von Kry-

stallsoda, Glaubersalz, Natron- und Kalisalpeter, Kupfersulfat, Borax, Saccharin u. a. mit Erfolg angewendet worden. Neuerdings werden diese Apparate von Salge & Co. auch mit Wasserkühlung versehen, wodurch die Leistung noch erhöht werden kann.

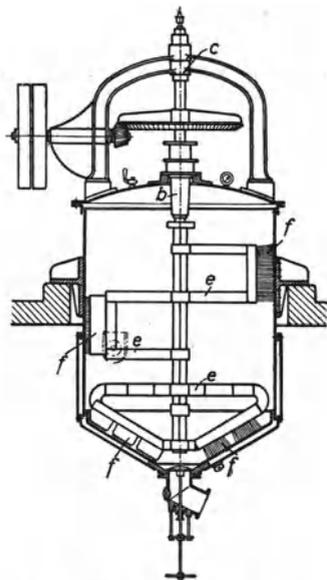


Abb. 1282. Kaltrührer (Mako).

Für manche Zwecke, z. B. für die Verarbeitung von Nachprodukt-Füllmasse in Zuckerfabriken, werden Apparate verwendet, bei denen durch Regelung der Abkühlung, gegebenenfalls durch Wiedererwärmung, ein gleichmäßiges Wachsen der Krystalle angestrebt wird. Das geschieht entweder in oben offenen Trögen (Sudmaischen) oder in geschlossenen Zylindern (Krystallisatoren), die mit einem kräftigen Rührwerk ausgerüstet sind. Zur Aufnahme der Kühl- oder der Heizflüssigkeit sind die Behälter häufig mit einem zweiten Mantel umgeben. Abb. 1281 zeigt einen solchen Apparat, mit dem eine erheblich bessere und schnellere Krystallisation erreicht wird als bei dem früher üblichen Ausfüllen in kleine Kästen.

Ähnlich in der Ausführung, aber in der Wirkungsweise dadurch von den obengenannten Krystallisatoren verschieden, daß sie nur mit Kühlmitteln arbeiten, sind die Kaltrührer, die besonders dann für schnelle Abkühlung in Frage kommen, wenn die Korngröße der Krystalle keine Rolle spielt. Sie bestehen in der Regel aus einem stehenden oder liegenden zylindrischen Gefäß mit äußerem Kühlmantel und kräftigem Rührwerk. Durch das ständige Durchrühren des Inhalts erreicht man mit ihnen eine sehr schnelle Wärmeabfuhr, wobei durch Schaber die sich an der Kühlfläche ansetzenden Krystalle abgekratzt und die Kühlflächen zwecks Erhaltung der Kühlwirkung rein

gehalten werden. Die Kaltrührer arbeiten periodisch und müssen nach erfolgter Krystallisation des Inhalts entleert werden. Abb. 1282 zeigt einen Kaltührer von Mako, dessen hängend angeordnete Rührwerkschnecke oben angetrieben und nur im Hängelager *c* und im Deckel geführt ist; das häufig verwendete, einem raschen Verschleiß ausgesetzte Spurlager ist auf diese Weise vermieden worden. Die kräftigen Arme des Rührwerks *e* tragen

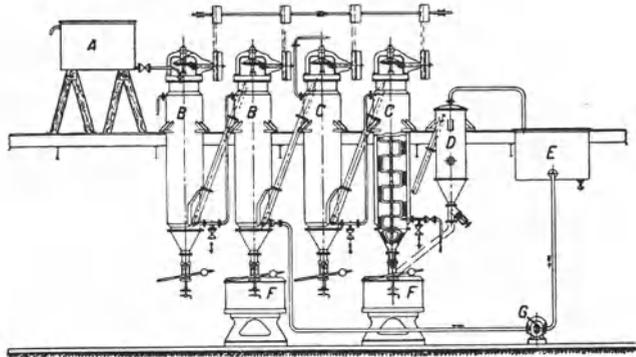


Abb. 1283. Kaltrühranlage für Solekühlung (Mako).

Bürsten *f*, die an den Wänden des Apparates entlang geführt werden und so die sich bildenden Krystallansätze beseitigen. Derartige Kaltrührer können auch in größerer Anzahl hintereinander angeordnet werden: Abb. 1283 zeigt

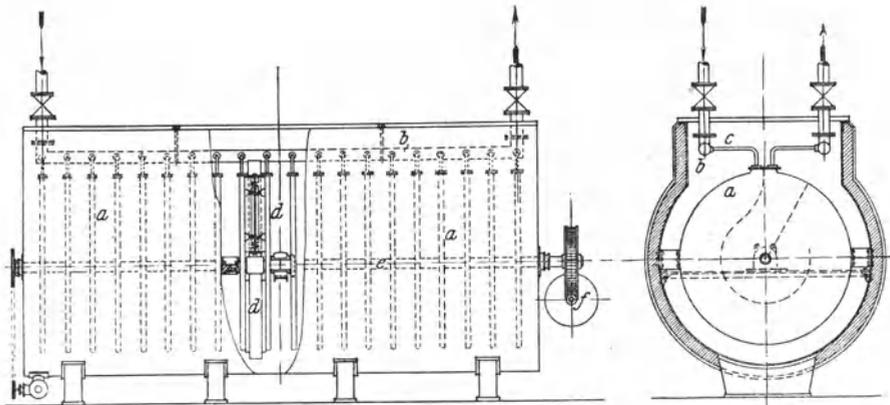


Abb. 1284. Krystallisierapparat von Porges u. Neumann (Masch.-Fabr. Brünn-Königsfeld).

eine solche kontinuierlich arbeitende Anlage für Solekühlung, wobei die kalte Mutterlauge zum Vorkühlen wieder benutzt werden kann.

Einen Kaltrührer für die Krystallisation von Paraffin nach einer Ausführung von Porges und Neumann, der von der Brünn-Königsfelder Maschinenfabrik, Brünn-Kral, hergestellt wird, zeigt Abb. 1284. Der Apparat arbeitet mit innerer Kühlung. Der schmiedeeiserne Zylinder von 2,5 m Durchmesser und 6 m Länge trägt in seinem Innern eine Anzahl linsenförmiger Kühlgefäße *a*, durch die die Kühlflüssigkeit zirkuliert. Zur Reinhaltung der Kühlflächen wird das sich dort absetzende Paraffin dauernd durch Schaber *d* abgekratzt, die auf einer durch ein Schneckengetriebe angetriebenen Welle gedreht werden. Gleichzeitig sorgen die sich langsam drehenden Schaber für eine Durchrührung der Masse und beschleunigen auf diese Weise den Kälteaustausch.

Für die Gewinnung großer Krystalle eignen sich am besten die Vakuumverdampfer, weil hierbei keine Fremdkörper in die Lösung geraten können. Sie bestehen in der Regel aus geschlossenen, hin- und herbewegten Zylindern mit Heizkörpern für Dampf oder Heißwasser. Abb. 1285 zeigt eine derartige Anlage für die Krystallisation von gelbem Blutlaugensalz, bei der die auszukrystallisierende Lauge aus einem Behälter den drei Krystallisatoren A

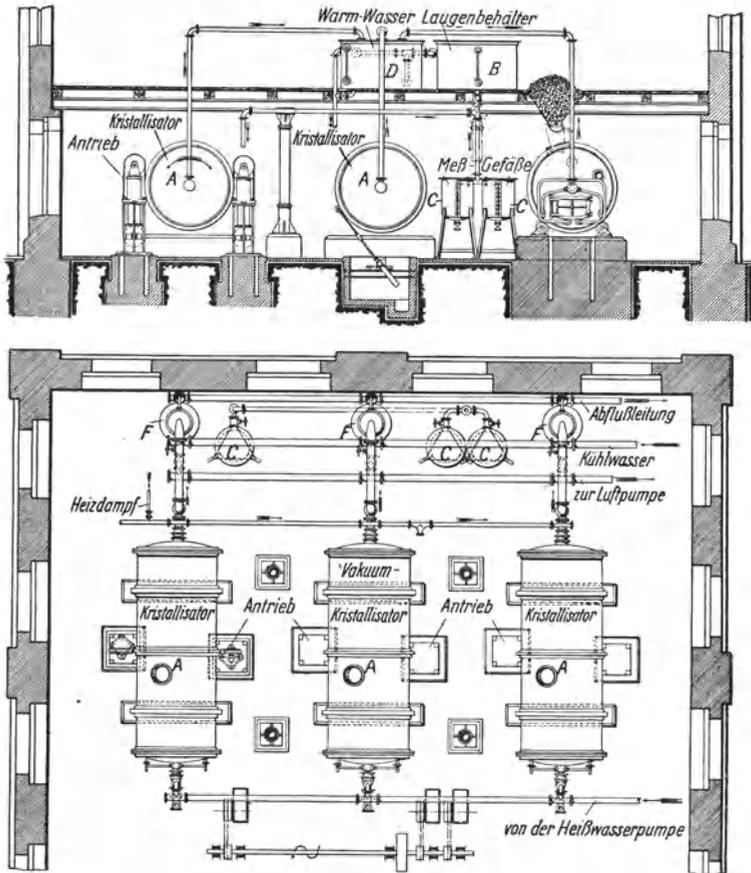


Abb. 1285. Vakuum-Krystallisieranlage zur Herstellung von gelbem Blutlaugensalz (Mako).

zugeführt wird. Die entstehenden Brühdämpfe werden in Oberflächenkondensatoren *F* niedergeschlagen, in denen durch eine Luftpumpe für die notwendige Luftleere gesorgt wird.

Bei Verwendung organischer Lösungsmittel wird mit Vorteil die Krystallisation mittels Kühlung durch Verdampfung (Vakuumkühlung) angewendet, wobei die Wärme der Lösung durch Verdampfung eines Teils des Lösungsmittels bei niedrigem Druck entfernt und das Lösungsmittel in einem geeigneten Kondensator wieder verflüssigt wird. Eine derartige Anlage zur Krystallisation von Trinitrotoluol, Bauart *Schrimpf-Paßburg*, zeigt Abb. 1286. Das in Alkohol gelöste Trinitrotoluol kommt in einen geschlossenen Kaltrührer *H*,

wo die Lösung abgekühlt und zur Auskrystallisation gebracht wird. Zur Beschleunigung der Krystallisation wird ein Teil des Alkohols durch Erzeugung von Luftleere im Kaltrührer verdampft und einem Oberflächenkondensator *O* zugeführt. Der aus dem Kaltrührer kommende Krystallbrei wird einer Vakuumnutsche *J* zugeführt, in der die Krystalle getrocknet werden.

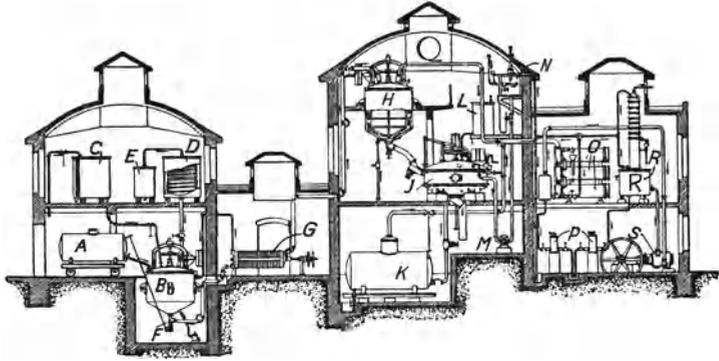


Abb. 1286. Vakuum-Umkrystallisieranlage für flüchtige Lösungsmittel, Bauart *Schrimpf-Paßburg* (Mako).

Für große Durchsätze, wie sie z. B. in der Kaliindustrie vorkommen, gewinnt die Tiefkühlung-Krystallation der Lurgi Gesellschaft für Wärmetechnik m. b. H., Frankfurt a. M., immer größere Bedeutung. Die Abkühlung wird dabei im Vakuum durch teilweise Wasserverdampfung erzielt. Durch die Wasserentziehung konzentriert sich die Lösung, so daß sich eine größere Salzabscheidung als bei anderen Kühlmethoden ergibt. Durch stufenweise Abkühlung erhält man in den einzelnen Apparaten verschiedene Dampftemperaturen, wodurch die Wiedergewinnung eines großen Teils der bei der Abkühlung freiwerdenden Wärme ermöglicht wird. Abb. 1287 zeigt schematisch eine derartige Anlage. Die zu kühlende Flüssigkeit wird durch drei hintereinandergeschaltete Stufen *a*, *b* und *c* geleitet. Im Apparat *b* ist ein solcher

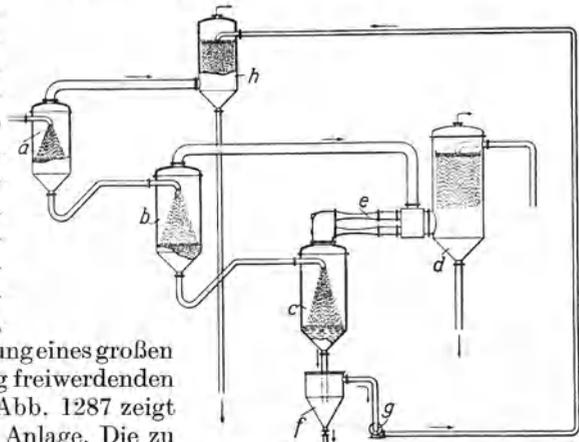


Abb. 1287. Schema einer Tiefkühlungs-Krystallisieranlage (Lurgi).

Dampfdruck vorhanden, daß der entstehende Dampf durch das Kühlwasser des Kondensators *d* niedergeschlagen werden kann. Im Apparat *c* wird auf eine Temperatur gekühlt, die niedriger ist als die Wassertemperatur im Kondensator, wozu der entstehende Dampf durch Dampfstrahlapparate *e* auf den im Kondensator vorhandenen Druck verdichtet werden muß. Die abgekühlte Lösung wird mit dem ausgeschiedenen Salz von dem Kühler *c* in einen Klärbehälter *f* geleitet und vom Salz getrennt; die geklärte Flüssigkeit wird von der Pumpe *g* in den Kondensator *h* gedrückt, der mit der Abkühlungsstufe *a* in Verbindung steht, so daß die Abkühlung in *a* durch die im Kreislauf geförderte Lauge erzielt wird, was eine Ersparnis an Kühlwasser und einen

Wärmerückgewinn bedeutet. In den meisten Fällen werden zwischen den Körpern *a* und *b* je nach Bedarf noch mehrere Stufen eingeschaltet, wodurch man den Wärmerückgewinn steigern kann. Es können so Temperaturen bis zu -10° erreicht werden. Die verwendeten

Dampfstrahlapparate arbeiten in der Regel mit einer Treibdampfspannung von 1–10 at. Abb. 1288 zeigt den Aufbau einer derartigen Anlage, bei der zur Erzielung eines größeren Krystallkorns ein liegender Rührwerkskrystallisator verwendet ist. Dieser ist in 4 Kammern unterteilt, die die Lauge nacheinander durchläuft, wobei sie sich stufenweise bis auf eine bestimmte Temperatur abkühlt. Durch das eingebaute Rührwerk wird die Lauge langsam bewegt, wobei die ausgeschiedenen Krystalle in der Schwebelage gehalten werden. Das ab-

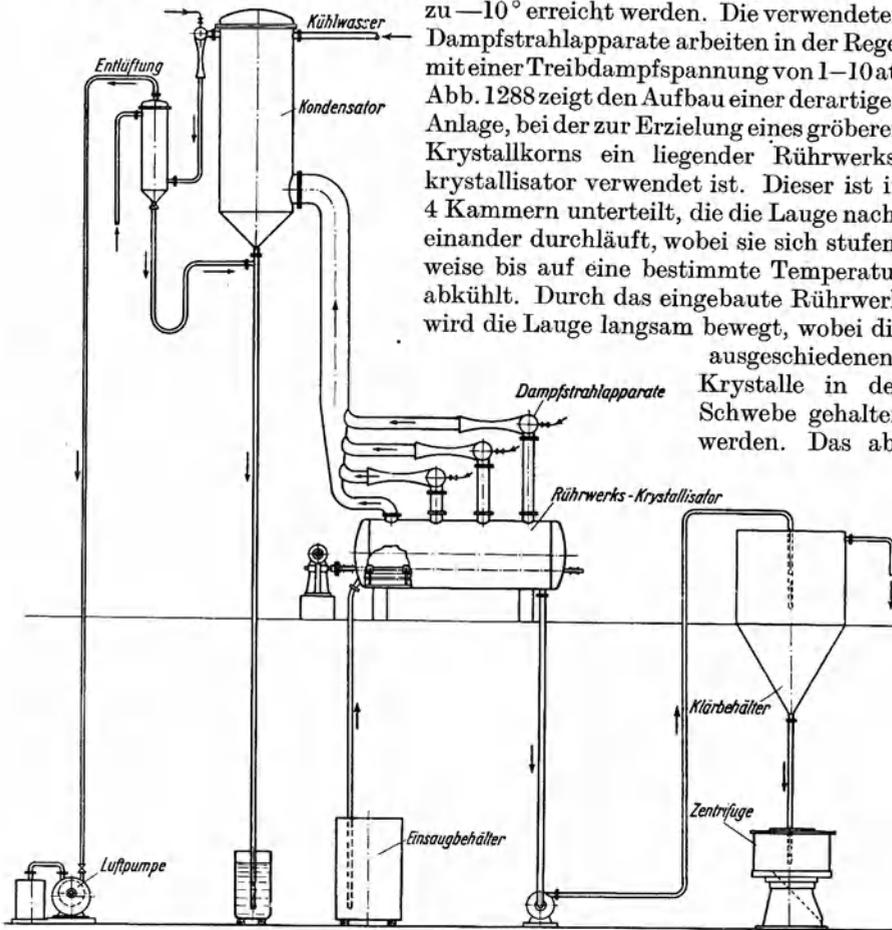


Abb. 1288. Tiefkühlungs-Krystallisieranlage (Lurgi).

gekühlte Salz-Laugengemisch wird durch eine Pumpe dem Klärbehälter zugeführt, von dem das Salz in die Zentrifuge geleitet wird.

Lit.: *W. Michels*, Die Kalirohsalze (Leipzig 1916, Spamer). — *A. Eucken* u. *M. Jakob*, Der Chemie-Ingenieur, Bd. I, 3. Teil, Termisch-mechan. Materialtrennung (Leipzig 1933, Akad. Verlagsges.). — *E. Berl*, Chem. Ingenieur-Technik, 3. Bd. (Berlin 1935, Springer). — *H. Griffiths*, Über mechanische Kristallisation (Chem.-Ztg. 1926, S. 689) Moser.

Lit. Chem. Apparatur: *H. Danneel*, Umkrystallisieren (1927, S. 193). — *K. Kieper*, Beobachtungen der Vorgänge bei der Krystallisation in der Ruhe und in der Bewegung (1928, S. 185). — *H. Schwerdtfeger*, Zur numerischen Bestimmung der Krystallisationsgeschwindigkeit (1929, S. 45, 82). — *K. Kieper*, Die Apparatur für die Salmiakfabrikation nach der Umsetzung: Ammonsulfat und Kochsalz (1930, S. 145). — *G. Berkhoff*, Die Herstellung von grobkörnigem Ammonsulfat durch Krystallisation nach dem Verfahren der Staatsmijnen in Limburg (Holland) (1936, S. 104, 118, 125).