

22

24143

Vortrag Oberingenieur Röcke

auf der Sitzung des Verfahrens-
ausschusses VDI Bitterfeld
am 28. April 1941

Über den Einfluß der Strömungslenkung und der Flüssigkeits-
abscheidung auf Kolonnenböden.

Bei der Aufstellung der theoretischen Grundlagen zur Berechnung einer Kolonne hat sich seit einigen Jahren die Erkenntnis durchgesetzt, daß die Verstärkungsfähigkeit eines Kolonnenbodens nicht nur von den örtlichen Austauschvorgängen zwischen Flüssigkeit und Dampf abhängig ist, sondern in starkem Maße auch von der gegenseitigen Flüssigkeits- und Dampfführung beeinflußt wird.

Wenn trotzdem häufig ein Mißverhältnis zwischen der theoretisch berechneten Bodenzahl und der tatsächlichen Ausführung einer Kolonne mit doppelter und dreifacher Bodenzahl besteht, so kann dies nur daran liegen, daß die der Theorie zu Grunde liegenden Annahmen bei den bisher üblichen Konstruktionen in bezug auf Austausch und Strömung in Wirklichkeit nicht erfüllt werden.

Bild 1) Für den Austausch zwischen Flüssigkeit und Dampf sind nach der Veröffentlichung von Kirschbaum und Quade vom April 1937 folgende vier Fälle möglich:

- 1) die Flüssigkeitsdurchmischung
- 2) die Dampfdurchmischung
- 3) die gegensinnige Flüssigkeitsführung
- 4) die gleichsinnige Flüssigkeitsführung

Die Karlsruher Untersuchungen sind an einem Aethylalkohol-Wassergemisch bei einem Rücklaufverhältnis von $v = 4$ ausgeführt worden.

Bild 2) Trägt man aus diesen Kurven den Alkoholgehalt der Rücklauf-
flüssigkeit als Funktion des Gesamtweges bzw. der Bodenzahl
auf, so erhält man eine übersichtliche vergleichende Darstel-
lung der Verstärkungsfähigkeit der vier Strömungszustände.

Hierbei veranschaulicht die Treppenlinie die früher als äußerst
erreichbar angenommene Grenzfunktion der Verstärkung. Nach der
heutigen Auffassung gilt dies nur noch für den Fall der

Flüssigkeitsdurchmischung

Flüssigkeitsdurchmischung auf den einzelnen Böden. Das beste Ergebnis liefert der geschlossene Linienzug der gleichsinnigen Flüssigkeitsführung bei reinem Querstromprinzip unter der Voraussetzung vollkommener Ausschaltung aller Mischungsvorgänge innerhalb der Flüssigkeit und des Dampfes. Wir wollen daher diese Kurve unseren weiteren Überlegungen zu Grunde legen. Dazwischen liegen die Kurven der gegensinnigen Flüssigkeitsführung und der Dampfmischung.

Man müßte nun erwarten, daß der Lindesche Ringboden, welcher nach der bisherigen Auffassung die technisch günstigste Form zur Erreichung der gleichsinnigen Flüssigkeits- und Dampf- führung darstellt, eine Kurve liefern würde, die in der Nähe der obersten Grenzkurve liegt. In Wirklichkeit ist dies jedoch nicht der Fall. Die Ergebnisse an einer Versuchskolonnen nach Linde in technischen Ausmaßen, die unter den gleichen Bedingungen mit Aethylalkohol und Wasser durchgeführt wurden, liefert die im Bild gestrichelt wiedergegebene Kurve, die weit unter der für gleichsinnige Flüssigkeitsführung theoretisch erreichbaren liegt.

Besonders auffallend ist der Unterschied zwischen der geringen theoretischen Bodenzahl von nicht ganz sechs Böden zur Erreichung von 85 Mol-Prozenten Alkohol gegenüber der praktisch notwendigen Zahl von 18 - 20 Böden für den gleichen Alkoholgehalt.

Man muß sich einmal klar machen, was diese Ergebnisse für den praktischen Kolonnenbau bedeuten, nämlich nichts anderes, als daß die meisten Kolonnen zu viel Böden enthalten, dagegen mit der Hälfte oder dem dritten Teil der Böden auskommen würden, wenn es gelingt, die Dampf- und Flüssigkeitsführung auch praktisch so zu bewerkstelligen, daß sie den theoretischen Voraussetzungen entspricht.

Bild 3) Die hauptsächlichste Voraussetzung bei der schematischen Darstellung der Aufteilung des Säulenquerschnittes, die als Grundlage für die Berechnung nach Kirschbaum und Quade dient, ist die

Annahme

Annahme, daß der gesamte Durchsatz in eine genügende Anzahl paralleler und gleichlaufender Vorgänge aufgeteilt wird. Das lokale Austauschfeld zwischen Flüssigkeit und Dampf wird somit ein-dimensional unter Annahme einer gleichmäßigen statistischen Verteilung über den k-ten Teil behandelt, während technisch bei der Konzentration Verschiedenheiten im Zwei- bzw. Drei-Dimensionalen berücksichtigt werden müßten. Das zu betrachtende Flüssigkeitselement hat dann die Größe $Q \cdot ds$ und bewegt sich als Linie über die rechteckig dargestellte Austauschfläche derart, daß jeder Punkt $dQ \cdot ds$ zeitlich in gleicher Weise von s abhängig ist. Die örtliche Geschwindigkeitsverteilung und der Flüssigkeitsweg stehen somit in unmittelbarem Zusammenhang, wobei das Wesentliche ist, daß sie rektifiziertechisch einer anderen Gesetzmäßigkeit unterliegen als strömungstechnisch.

~~Jede Störung der gegenseitigen Verhältnisse muß zu einer Verschlechterung des Austausches bzw. zu einer Nichterfüllung der für den Idealfall des vollkommenen Austausches bei gleichsinniger Flüssigkeitsführung und Querstromprinzip aufgestellten Gleichung führen.~~

Diese Verschlechterung hängt nun ab von dem Grad der Störung der parallel und gleichlaufenden Vorgänge, die bei den technischen Durchsatzmengen einer Kolonne durch Verlagerung der Stromung stets vorhanden ist. Es handelt sich hier um einen der vielen lokalen Einzelwirkungsgrade, der ausschließlich von der Flüssigkeits- und Dampfverteilung abhängt.

Bild 4) Betrachten wir zunächst den Strömungsverlauf der Flüssigkeit auf einem Ringboden und deren Verhältnis zu dem durchströmenden Dampf, wie es in der oberen Abbildung dargestellt ist, so kommt man zu folgendem Ergebnis:

Bei gleichem Anfangsgefälle über den gesamten Querschnitt des Bodens ist die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in der Nähe des inneren Ringes infolge der kürzeren Wege und des geringeren Widerstandes wesentlich größer als an der

äußeren Peripherie. Es fließt demnach längs des inneren Ringes

eine weitaus größere Flüssigkeitsmenge und verläßt auch den Boden wesentlich früher als die an der Peripherie langsam strömenden Flüssigkeitsteile.

zur Verfügung

Da aber andererseits die entstehende Dampfmenge proportional mit dem Radius ist, so durchdringt die größere Dampfmenge den Boden in den äußeren Zonen.

Die Austauschbedingungen sind demnach innen und außen sowohl quantitativ als auch qualitativ im Widerspruch zu den Erfordernissen der Rektifikation und bedeuten eine grobe Abweichung von der algebraischen Formulierung zur Bestimmung des Grenzverlaufes.

Hierin liegt bei den Ringböden die Hauptursache für die Nichterreicherung der theoretisch möglichen Grenzkurve.

Diese Verhältnisse werden günstiger, wenn die Fläche des Ringbodens im Verhältnis zum Durchmesser sehr schmal gehalten wird.

Das Idealbild der Strömungsführung der Flüssigkeit auf einem Ringboden unter Berücksichtigung der Rektifikationsgesetze ist in der unteren Abbildung wiedergegeben. Das Grundprinzip ist, daß sich die Flüssigkeitsteile mit gleicher Winkelgeschwindigkeit bewegen, den Boden also auch gleichzeitig verlassen. Die örtliche Geschwindigkeit muß daher proportional mit dem Radius vom Strömungsmittelpunkt steigen, gleichzeitig wird die Hauptflüssigkeitsmenge von innen nach außen verlegt, wie es auf dem Bilde durch die größere Dichte der äußeren Strömungslinien dargestellt ist.

Die Hauptbedingung ist aber, daß alle Flüssigkeitsteilchen auf ihrem Wege vom Zulauf zum Ablauf mit den der Gleichgewichtslage entsprechenden Dampfteilchen ohne Mischungserscheinungen in der Flüssigkeits- und Dampfphase und ohne wesentlichen Anstau in der Flüssigkeit zum Austausch kommen.

Bild 5) Um dies zu erreichen, muß die Flüssigkeitsströmung auf dem Boden gesteuert werden. Es geschieht dies durch verstellbare Leitflächen, die sowohl in der Flüssigkeit stehen als auch in die Schaumschicht hineinragen und auf Grund eines Vorversuches unter vorwiegend spitzen Winkeln zur Strömungsrichtung so eingestellt sind, daß mit Hilfe der entstehenden verschiedenen Strömungsquerschnitte gleiche Flüssigkeitsmengen auf ihrem

Wege

Wege vom Zulauf zum Ablauf mit äquivalenten Dampfmen- gen ohne wesentliche Vermischung mit Flüssigkeitsteilchen anderer Konzentration bei geringstmöglichem Anstau zum Austausch kommen.

Die Abbildung zeigt die Strömungsführung auf einem Ringboden mit Glocken (c), an denen die verstellbaren Leitflächen (d) entgegen der Strömungsführung angebracht sind. Die Verlegung der Leitflächen nach vorn ist wichtig, um rückwärtige Wirbel und tote Räume hinter den Glocken zu vermeiden.

Rechts unten ist die Geschwindigkeitsverteilung auf einem freien Kolonnenboden mit unbeeinflusster Flüssigkeitsströmung dargestellt, und links oben die beabsichtigte Geschwindigkeitsverteilung durch die Leitflächen bei konstanter Winkelgeschwindigkeit. Man erkennt deutlich, wie die Geschwindigkeit umgekehrt wird und sich die Stromliniendichte von innen nach außen verlagert.

Bild 6) Sinngemäß kann dasselbe Verfahren auch auf einen Kreisboden angewandt werden. Die hier wiedergegebene Leitflächeneinstellung ergibt überall gleiche Flüssigkeitsmengen und gleiche Verweilzeiten unter weitgehender Vermeidung der Durchmischung von Flüssigkeits- und Dampfteilchen verschiedener Konzentration.

Bei Siebböden werden die Leitflächen in ähnlicher Einstellung unmittelbar auf den Boden aufgesetzt.

Der technische Fortschritt, der mit den Leitflächen erzielt werden kann, wurde durch Versuche in einer Ringbodenkolonne von 600 mm Durchmesser mit Glockenausrüstung auf 7 Böden nachgewiesen. Zunächst wurde der Strömungsverlauf auf den

verwendeten

verwendeten Ringböden mit Luft und Wasser mittels Farbstoff in einer besonderen Vorrichtung untersucht. Dann wurden die Böden, nachdem die richtige Leitflächeneinstellung durch Beobachtung der Farbverteilung erzielt war, in die Kolonne eingebaut und die rektifizierende Eigenschaft der Kolonne im Vergleich zu derselben Kolonne ohne Leitflächen unter den gleichen Bedingungen gemessen. Als Gemisch wurde wiederum Aethylalkohol-Wasser genommen und das absolute Rücklaufverhältnis gewählt.

Bild 7) Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse aus den bei 15° Cels. durchgeführten Dichtemessungen im Vergleich zu der theoretisch erreichbaren Verstärkung bei absolutem Rücklaufverhältnis.

Für eine in der Nähe des ausgezeichneten Punktes liegende Destillatzusammensetzung ist die durch die Leitflächen erzielte Verringerung der Bodenzahl deutlich erkennbar.

Die theoretisch notwendige Bodenzahl liegt bei $4 \frac{1}{2}$, die praktisch durch Strömungsaustausch erhaltene bei 7, und die ohne Strömungsausgleich unter denselben Bedingungen benötigte zwischen 13 und 14. Somit beträgt die Einsparung $6 \frac{1}{2}$ Böden oder 50 %, d.h. die Kolonne braucht bei Anwendung des Strömungsausgleiches nur halb so hoch zu sein wie ohne Flüssigkeitssteuerung.

Nach einer anderen Versuchsreihe, die in dem inzwischen erteilten Patent Nr. 705047 erwähnt ist, wird die Konzentration von 85 Mol-Prozenten Alkohol bei einem Rücklaufverhältnis $v = 4$ nach der Theorie mit 6 Böden, mit Hilfe der Flüssigkeitssteuerung bei 9 Böden und ohne Strömungsausgleich erst bei 20 Böden erreicht, das entspricht einer Einsparung von sogar mehr als 50 %, die sich im gleichen Maße auch auf die Druckdifferenz der Gesamtkolonnen auswirkt.

Dieses Ergebnis ist für die Praxis von erheblicher Bedeutung, da sich mit der Verringerung der Kolonnenhöhe nicht nur die Kosten der eigentlichen Kolonne, sondern auch die Gerüste und vor allem die Gebäude verbilligen.

Ebenso

Ebenso wichtig ist aber, daß sich durch die Verbesserung der Trennfähigkeit neue Aufgabengebiete bei der Trennung von Gemischen mit eng beieinanderliegenden Siedepunkten erschließen lassen, die bisher meistens mit umständlichen und teuren Apparaturen über Lösungsvorgänge durchgeführt werden mußten.

F i l m .

Vergleichen wir nochmals die bisherigen Ergebnisse mit den theoretisch möglichen, so besteht zwischen den Kurven immer noch ein Unterschied, wenn wir auch der theoretischen Grenzkurve sehr viel näher gekommen sind. Die Gründe dafür, daß die Grenzkurve noch nicht ganz erreicht ist, finden wir darin, daß erstens bei den Bodenabständen von 150 mm und einer Dampfgeschwindigkeit von etwa 0,45 m/sek., bezogen auf den Gesamtquerschnitt der Kolonne, Flüssigkeitsteilchen von einem Boden zum anderen mitgerissen werden, und daß zweitens bei dem gewählten Flüssigkeitsstand von 40 mm noch eine Bodenschicht vorhanden war, die sich nicht vollkommen am Austausch beteiligte. Wir haben diese Verhältnisse zunächst absichtlich nicht geändert, da es uns darauf ankam, die Kolonnen unter bisher normalen Betriebsverhältnissen zu untersuchen.

Eine Senkung des Flüssigkeitsstandes auf etwa 20 mm ergab die im Bild 7 gezeigte gestrichelte Kurve für den Betrieb ohne Strömungsausgleich, die nur eine kleine Verbesserung brachte; den wesentlichen Einfluß behält das Mitreißen der Flüssigkeit und außerdem die noch nicht genügend wirksame Austauschoberfläche der Flüssigkeit.

Über das Durchreißen der Flüssigkeit von einem Boden zum anderen liegen umfangreiche Untersuchungen von Kirschbaum (Verfahrenstechnik 1938, Nr. 15) vor, aus welchen hervorgeht, daß bei Dampfgeschwindigkeiten von über 0,5 m/sek. bereits Bodenabstände erforderlich werden, die für eine

wirtschaftliche

wirtschaftliche Bauweise nicht mehr anwendbar sind, zumal die untere Grenze des Bodenabstandes bei den obigen geringen Belastungen sowieso schon bei etwa 150 mm liegt.

Das Ziel der Destillationstechnik muß jedoch sein, bei geringstmöglichen Bodenabständen mit wesentlich höheren Dampfgeschwindigkeiten zu arbeiten, um dadurch zu noch kleineren und wirtschaftlicheren Apparateabmessungen zu kommen.

Es ist vielfach versucht worden, ein Konstruktionselement zwischen die Böden zu schalten, welches den Dampf von der mitgerissenen Flüssigkeit trennen soll und ihn trotz erhöhter Geschwindigkeit trocken gesättigt in den nächsten Boden überleitet. Aber die bisherigen Konstruktionen dieser Richtung, wie der Einbau von unterbrochenen horizontalen oder schrägen Prallflächen, die Anordnung von Raschigringschichten zwischen den Böden (Canzler) oder das Versetzen der Böden, bieten bei höheren Geschwindigkeiten keine ausreichende Gewähr gegen das Durchreißen von Flüssigkeitstropfen, weil hier das Prinzip der vollständigen Flüssigkeitsabscheidung nicht erfüllt wird. Außerdem verursachen alle diese Konstruktionen eine noch weitere Erhöhung der Kolonnen. Dieses Prinzip muß aber die Grundbedingung für die Konstruktion sein.

Bild 8.) Es wird erreicht bei der Ausführung nach Eberhardt (Bild 8), Anmeldung 65902.

Die abwechselnd versetzte Anordnung von flächenmäßig gleich großen Teller- und Ringböden gestattet den Einbau von echten Flüssigkeitsabscheidern zwischen den Böden bei gleichzeitiger Verringerung der Bodenabstände. Der aus dem Tellerboden a aufsteigende Dampf trifft nicht unmittelbar auf den nächsten Boden, sondern wird durch den gewölbten Boden b umgelenkt, die kleinen Flüssigkeitströpfchen werden durch den Aufprall zu größeren vereinigt. Der Dampf scheidet die mitgerissene Flüssigkeit durch nochmalige Umlenkung an den Rändern des Bodens b ab und führt sie auf den Ursprungsboden a zurück.

Der auf dem Boden a mit Unterbrechungen am unteren Rand aufliegende

auffliegende konische Ring c dient als Spritzschutz und zur seitlichen Abriegelung der aufsteigenden Dämpfe.

Derselbe Vorgang wiederholt sich beim Umlenken des Dampfes von dem Ringboden d zu dem darüberliegenden Tellerboden a. Hierbei dient der Kegelmantel e als Abscheider. Das System arbeitet mit gleichsinniger Flüssigkeitsführung, die auf dem Tellerboden a durch Anbringen einer radialen Zwischenwand erreicht wird, wobei beide Bodenarten mit Leitflächen ausgerüstet sind.

Es entstehen sehr einfache, stabile Konstruktionselemente, die sich in einer Kolonnenzarge leicht ein- und ausbauen lassen. Die gegenseitige Abstützung der Boden-Doppelemente erfolgt durch die Füße f und die Abdichtung am Rand g.

Bei diesem System ist die Dampfgeschwindigkeit nur noch begrenzt durch den Widerstand der Glocken bzw. den freien Querschnitt der Siebböden und den dadurch gegebenen Rückdruck auf die Rückläufe. Versuche mit Wasser und Luft ergaben zwischen zwei Böden einen Druck von ca. 100 mm WS bei einer Dampfgeschwindigkeit von 3 m/sek., bezogen auf den aktiven Querschnitt der Böden bzw. 1,5 m auf den Gesamtquerschnitt der Kolonne. Für andere Medien muß die Geschwindigkeit mit dem Molekulargewicht, der absoluten Temperatur und dem absoluten Druck in der Kolonne umgerechnet werden. Die Bodenabstände ließen sich bei mittleren Kolonnen auf durchschnittlich 100 mm herunterbringen.

Mit der Erhöhung der Geschwindigkeit erhält der Siebboden eine ganz andere Bedeutung. Die bisher stark ins Gewicht fallenden Nachteile des Tropfens, einseitigen Arbeitens bei nicht ganz horizontaler Lage der Böden, die Empfindlichkeit gegen Durchreißen usw. sind nicht mehr vorhanden. Es bleiben uneingeschränkt für den Siebboden nur Vorteile bestehen, und zwar:

- 1) Große Flüssigkeitsbelastungen, auch bei niedrigem Flüssigkeitsstand,
- 2) gute Strömungsregulierung,

3) gute

- 3) gute Austauschverhältnisse,
- 4) geringe Herstellungskosten
- 5) gute Konstruktionsmöglichkeiten in keramischem Material, speziell auch im Hinblick auf die Anwendung von Düsenböden großen Durchmessers.

Wir stellen hierbei nochmals ausdrücklich die Arbeitsweise mit niedrigen Flüssigkeitsständen in den Vordergrund, da hierdurch eine fast vollständige Erfassung aller Flüssigkeitsteile für den Austausch erreicht wird und außerdem der Flüssigkeitsinhalt der Kolonne kleiner wird. Dies ist besonders wichtig bei diskontinuierlicher Arbeitsweise, weil hierdurch die Zwischenläufe wesentlich verringert werden.

Es wurde bereits angedeutet, daß die gezeigte Konstruktion normalerweise für kleinere und mittlere Durchmesser bis zu etwa 1,25 m vorgesehen ist. Für größere Durchmesser muß der Bodenabstand wegen der geometrischen Ähnlichkeit vergrößert werden, um in dem Ringspalt des Abscheiders einen ausreichenden Querschnitt für den Durchgang des Dampfes ohne Drucksteigerung zu schaffen.

Bild 9) So ist z.B. bei den Steinzeughöden von 1700 mm \varnothing ein Bodenabstand von Oberkante zu Oberkante von 200 mm gewählt worden, der sich allerdings bei einer Metallkonstruktion um die Bodenstärke von 45 mm verringern würde, so daß bei 5 mm Bodenstärke in Metall ein Abstand von 160 mm ausreichend wäre.

Diese Steinzeugkolonne von 1700 mm Durchmesser trennt mit nur 8 Böden ein Gemisch von Methanol-Tetrachloräthan im Gewichtsverhältnis 1:1 mit etwa 1,5 % Wasser absolut bei einer Stundenleistung von 3500 - 4000 kg, während die früher an dieser Stelle arbeitende Steinzeugkolonne mit 18 Glockenböden, gleichem Durchmesser und radialer Flüssigkeitsführung bei nur 2000 kg Stundenleistung bei weitem nicht ausreichend getrennt hat, so daß große Verluste durch Auswaschen des Methanols aus Tetra entstanden.

Auf dem Bild ist die selbsttragende stabile Konstruktion der Steinzeughöden besonders gut zu erkennen.

Um nun bei größeren Böden von 3 - 4 Meter Durchmesser, bei denen Bodenabstände von etwa 500 mm erforderlich wären, mit den Abständen herunterzukommen, muß eine andere Bodenform gewählt werden, bei der aber das gleiche Prinzip der Flüssigkeitsabscheidung gewahrt bleibt. Hierzu wollen wir uns nochmals die Vorgänge an einer Glocke und an den Löchern eines Siebbodens klar machen.

Bild 10) Das Glockenbild ist einer Veröffentlichung von Kirschbaum entnommen; wir haben zahlreiche ähnliche Beobachtungen an Glaskolonnen mit Luft und Wasser gemacht. Es zeigt sich, daß bei einer Luftgeschwindigkeit von 3 - 4 m/sek. in der Glocke, die den bisher normalen Betriebsverhältnissen entspricht, die Luftblasen nicht viel tiefer als an den unteren Glockenrand kommen, d.h. also, die Bodenschicht nicht erfassen. Aber auch bei der Erhöhung der Geschwindigkeit auf 8 Meter bleibt noch eine Bodenschicht frei. Noch deutlicher sieht man dies bei Glocken mit Vertikalschlitz, wo es auch bei 8 - 10 m Geschwindigkeit fast nie gelingt, die Luft bzw. die Dampfblasen bis zum unteren Glockenrand zu treiben. Sie entströmt den Schlitz in einem verhältnismäßig schmalen Schlauch und löst sich dann erst verbreiternd in der Flüssigkeit auf.

Andererseits ist deutlich zu sehen, daß die Bodenschicht in unmittelbarer Nähe des Glockenhalses insofern am Austausch beteiligt ist, als Flüssigkeitsteile unten radial an den Glockenhals heranströmen und dabei in Wirbelung geraten. Dies gilt aber nur für die unmittelbare Glockennähe, die etwas entferntere Flüssigkeitsschicht der Bodenschicht zwischen den Glocken nimmt an diesem Austausch nicht teil. Man kann sie als den Träger der Gesamtströmung auf dem Boden bezeichnen, die sowohl bei abgestellten wie bei beaufschlagten Glocken in nahezu der gleichen Weise erhalten bleibt.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei den Siebböden.

Hier ist durch die viel größere Zahl der Löcher die Flüssigkeitsauflösung durch die Dampfstrahlen vollkommener, die Bodenschicht also besser durchsetzt. Aber auch hier ist

deutlich

deutlich der seitliche Sog zu erkennen, den die Dampfstrahlen auf die sie umgebende Flüssigkeit der Bodenschicht ausüben.

Diese Eigenschaft kann man nun sowohl dazu benutzen, die Flüssigkeit zu lenken, als vor allem aber auch, um den Austausch zwischen Dampf und Flüssigkeit zu steigern.

Bild 11) Um dies zu untersuchen, wurde über einer Düsenöffnung von 40 mm Durchmesser ein zylindrisches Rohr mit seitlichen Öffnungen am unteren Rande befestigt und nach oben abgeschirmt. Sobald die Luft angestellt ist, wird die Flüssigkeit seitlich durch die Schlitze in den Luftstrom hineingerissen und in aufgelöstester Form gegen den oberen Schirm geschleudert, an dem sie sich durch Aufprall in genau derselben Weise wie vorher bei den Teller- und Ringböden zu großen Tropfen und Flüssigkeitsplacken wieder vereint, worauf sie sich beim Umkehren des Dampfes an dem äußeren Schirmrand abtrennt und wieder auf den Boden zurückfließt.

Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß die vielfache Vergrößerung der Flüssigkeitsoberfläche und der wesentlich längere Berührungsweg zu einem intensiveren Austausch führen müssen, als es bei dem kurzen Durchdringen der Flüssigkeit bei der bisher üblichen Arbeitsweise des normalen Glocken- oder Siebbodens der Fall wäre. Dabei läßt sich die Geschwindigkeit ebenso wie vorher bei den Abscheidern der Teller- und Ringböden bis zur Stauhöhe der Rückläufe steigern, ohne daß Flüssigkeitsteilchen von einem Boden zum anderen mitgerissen werden.

Bild 12) Nun wird man einen großen Boden nicht mit Düsen von 40 mm Durchmesser ausrüsten, die nur dazu dienen, das Prinzip zu zeigen, sondern in Düsenflächen auflösen, wie sie die Abbildung im Querschnitt zeigt. Die Führung des Flüssigkeits- und Dampfgemisches erfolgt durch seitliche Begrenzungen c , die unten mit Schlitzen für den Eintritt der Flüssigkeit versehen sind und nur mit einem einzigen Blech der Form e_1 abgeschirmt werden. Die Vielheit der Düsenstrahlen auf der Fläche ergibt eine noch wirksamere Auflösung der Flüssigkeit.

Bild 13) Dasselbe Prinzip läßt sich nun auch auf den Rand des Bodens anwenden, der dadurch mit zum Austausch herangezogen wird. Dabei braucht der über dem Rand angebrachte konische Schirm e_2 an der Wandung nicht abgedichtet zu werden, da der Partialdruck in dem Ringspalt zwischen dem Boden und der vorderen Schirmkante so niedrig ist, daß keine Flüssigkeit durch den schmalen Spalt zwischen Wandung und Schirm hindurchtritt. Es genügt an dieser Stelle ein einfaches Anpassen durch Anrichten des Breches bei der Montage.

Durch das Mitarbeiten des Randes sind gleichzeitig die Abdichtungsschwierigkeiten der Böden, die bisher im Betrieb zu den meisten Störungen Veranlassung gegeben haben, behoben. Der Spalt zwischen Boden und Wand hat den weiteren Vorteil, daß sich die Böden leichter ein- und ausbauen und auch in Gruppen zusammenfassen lassen. Da es nicht so sehr darauf ankommt, daß der Spalt absolut konzentrisch ist, läßt sich die Abweichung vom Kreis, die bei normalen schmiedeeisernen Zargen und auch bei ausgemauerten Kolonnen fast unvermeidlich ist, besser ausgleichen.

Bild 14) Die Anordnung der Düsenflächen und der darüberliegenden Schirme im Grundriß zeigt das nächste Bild. Auch hier arbeitet der Boden durch die radiale Scheidewand zwischen Zulauf und Ablauf nach dem Prinzip des Ringbodens mit gleichsinniger Flüssigkeitsströmung, und zwar sowohl für den Rand als auch für die Gesamtfläche. Die Bodenflächen zwischen den Schirmen sind ungelocht und dienen als Flutkanäle zur Verteilung der Flüssigkeit auf die Düsenflächen, wobei die Steuerung der Strömung sowohl durch die Leitflächen als auch durch geeignete Verteilung der unteren Öffnungen an den Begrenzungsblechen der Düsenflächen erfolgt. Die Ansaugfähigkeit dieser Öffnungen wird mit benutzt, um die Flüssigkeit in der früher geschilderten Weise mit gleicher Winkelgeschwindigkeit über den Boden fließen zu lassen.

Diese gleichsinnige Strömungsführung ist in technischer Hinsicht und in bezug auf die Bauweise wesentlich einfacher

als

als die bisher bei großen Böden übliche Querströmung mit Rückführung in Rohrsystemen oder Kanälen längs der Peripherie.

Bild 15) Sehr wichtig ist ferner die Tatsache, daß bei der geschilderten Konstruktion die Bodenabstände klein gehalten werden können. Bei dem Boden von 2 m Durchmesser der Abbildung betragen sie nur 150 mm in Metallausführung. Auch bei größten Böden mit 4 - 5 m kommt man mit 200 - 250 mm und weniger Abstand aus, während früher für diese Durchmesser mindestens 500 mm Abstand genommen wurde. Die Flächenausnutzung ist besser als bei dem einfachen Querstrom der großen Böden, bei denen rechts und links vom Zulauf an der äußeren Peripherie große Sehnenabschnitte unausgenutzt bleiben, selbst wenn man die Zu- und Ablaufkanten weitgehend verbreitert.

Bild 16) Die Verteilung der Düsenflächen kann man nun auch anders vornehmen. Dies geschieht z. B. aus Herstellungsgründen bei großen Böden in Steinzeugausführung. Hier sind die Düsenflächen kreisförmig angeordnet, damit sie auf der Töpferscheibe hergestellt werden können. Auch bei dieser Ausführung arbeitet der Rand mit. Diese Böden werden wesentlich billiger als die vorherige Konstruktion und lassen sich auch in Segmenten herstellen, die erst in der Kolonne zusammengesetzt werden. Die gegenseitige Abstützung der Böden erfolgt durch Rippen, die gleichzeitig sowohl die Prallflächen über den Düsenflächen als auch die Prallflächen über dem Rand erfassen. Hierdurch werden besondere Tragkonstruktionen, welche bisher die Bodenabstände vergrößert haben, vermieden.

Bild 17) Inzwischen haben sich zahlreiche Kolonnen unserer Konstruktion im Betrieb bestens bewährt, weitere Anlagen sind im Bau und in der Planung. In der Tabelle ist ein Teil der zuerst ausgeführten Anlagen unter Angabe der Produkte, Leistungen und der Abmessungen mit den früher für denselben Zweck arbeitenden Kolonnen verglichen worden.

Die Trennfähigkeit konnte bisher in allen Fällen wesentlich verbessert werden bei gleichzeitiger Verkleinerung der

Durchmesser

Durchmesser und einer erheblichen Verminderung der Bodenzahl.
Bild 18) Noch deutlicher kommt die Auswirkung auf die Bauhöhe der Kolonnen durch die schematische Darstellung zum Ausdruck.
Damit komme ich zum Schluß meines Vortrages und fasse die Ergebnisse nochmals kurz zusammen.

Es konnte gezeigt werden, daß sich die Trennfähigkeit einer Kolonne bei gleichsinniger Flüssigkeitsführung durch eine weitgehende Anpassung der Strömung an die Bedingungen der Theorie mit Hilfe der Leitflächen wesentlich verbessern läßt.
Damit werden neue Aufgabengebiete, im besonderen bei der Trennung von Gemischen mit geringen Siedepunktunterschieden, erschlossen und in allen Fällen die Kolonnenabmessungen verkleinert.

Durch die Erhöhung der Dampfgeschwindigkeit mit Hilfe der Flüssigkeitsabscheider wird die Belastungsmöglichkeit gesteigert und gleichzeitig der Austausch zwischen Dampf und Flüssigkeit noch verbessert. Die Kombination der beiden Maßnahmen führt zu überraschend kleinen Abmessungen und einer wesentlichen Verbilligung der Anlagen.

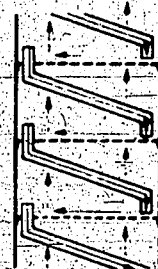
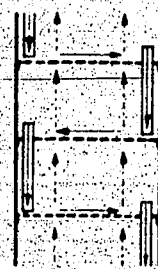
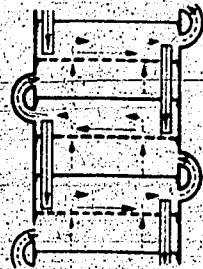
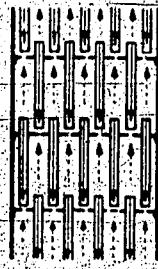
Mit der Erhöhung der Dampfgeschwindigkeit kommt dem Siebboden und dem mitarbeitenden Bodenrand eine besondere Bedeutung zu.
An Hand der Ausführungsbeispiele konnten neue vorteilhafte Konstruktionswege für den Kolonnenbau gezeigt werden, die vor allem auch bei der schwierigen keramischen Bauart zu brauchbaren Lösungen führen.

1. Flüssigkeits-Durchmischung:

2. Dampf-Durchmischung:

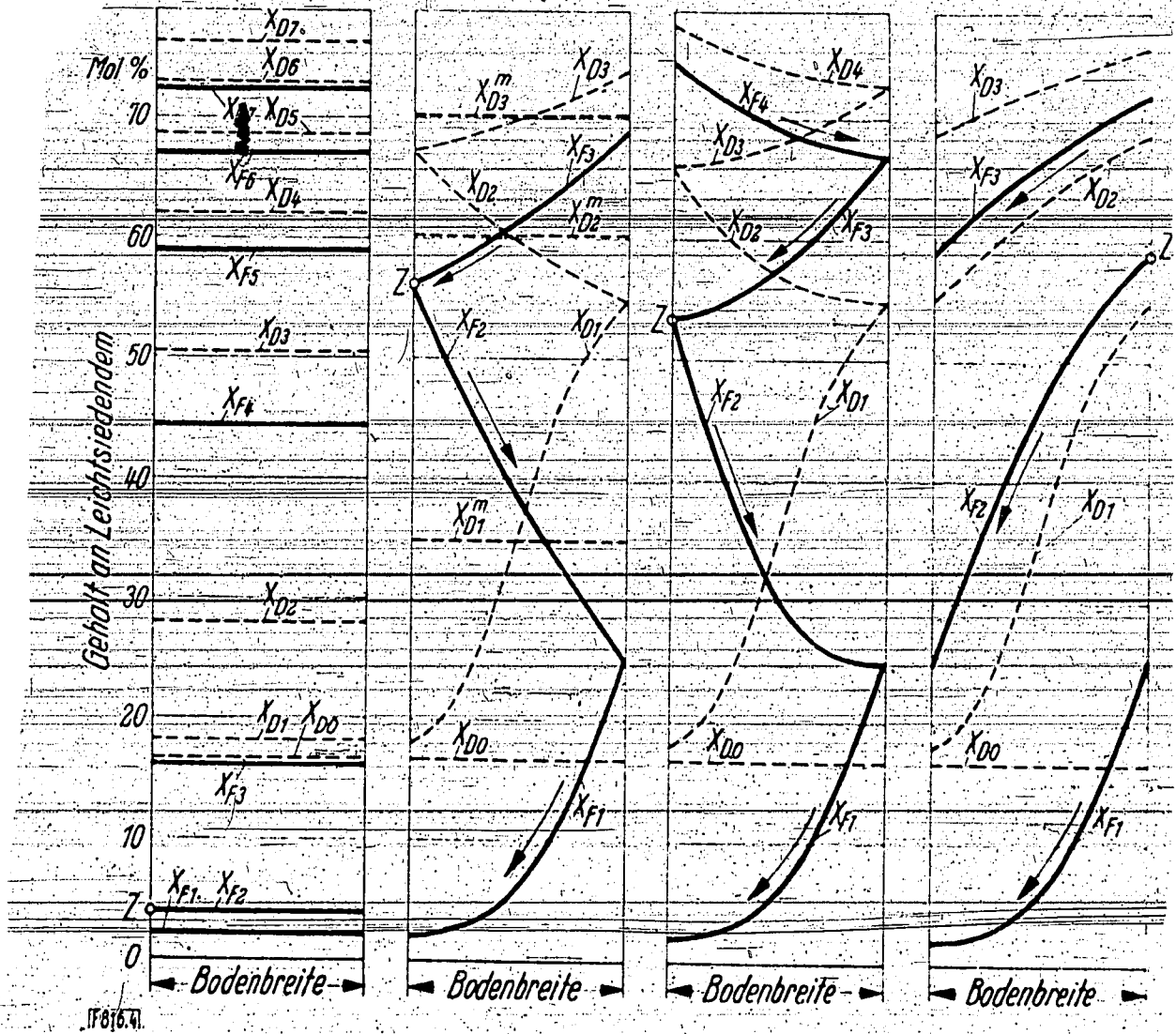
3. Gegensinnige Flüss.-Führung:

4. Gleichsinnige Flüss.-Führung:



--- Gehalt an Leichtesiedendem im Dampf

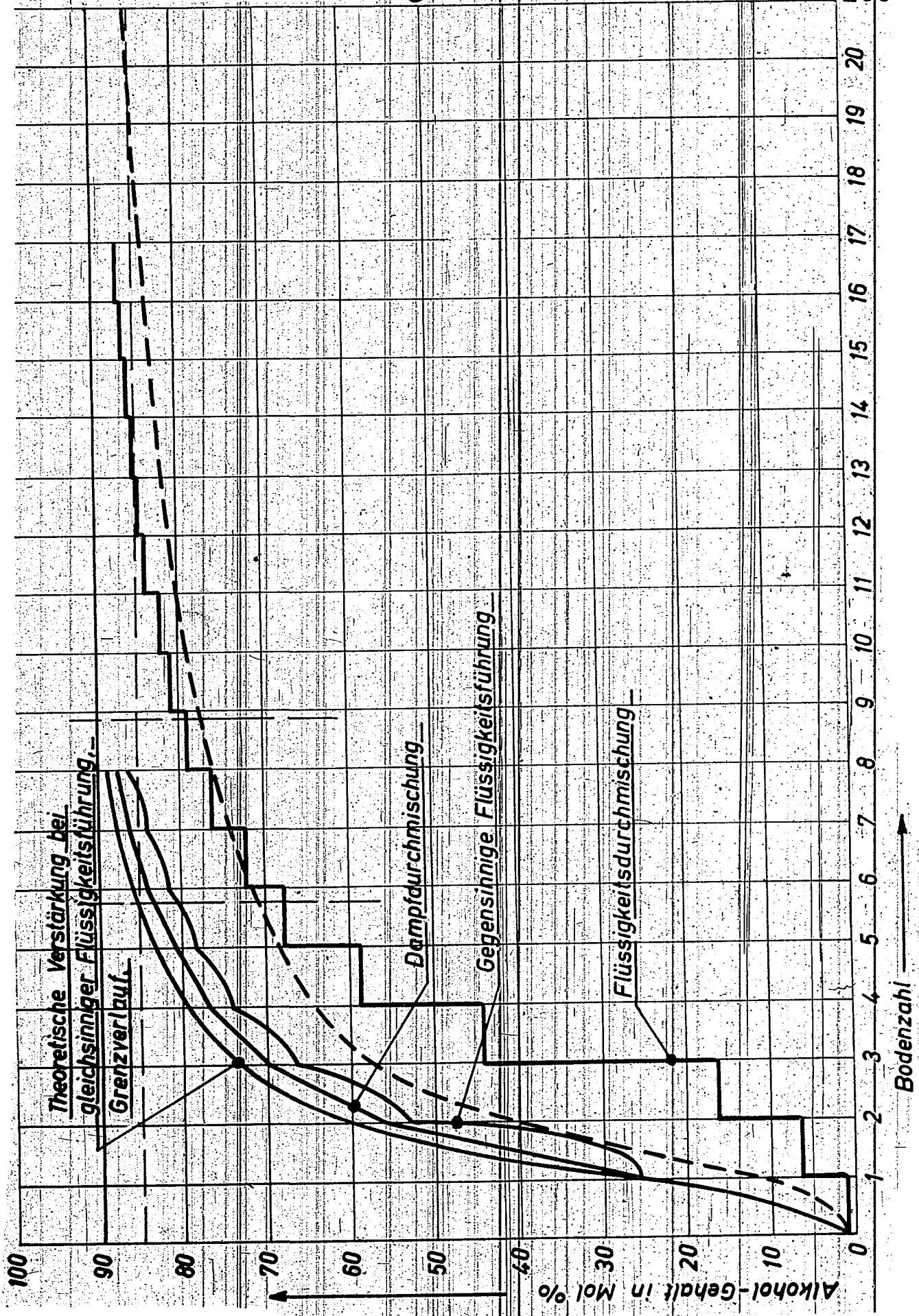
— Gehalt an Leichtesiedendem in der Flüssigkeit

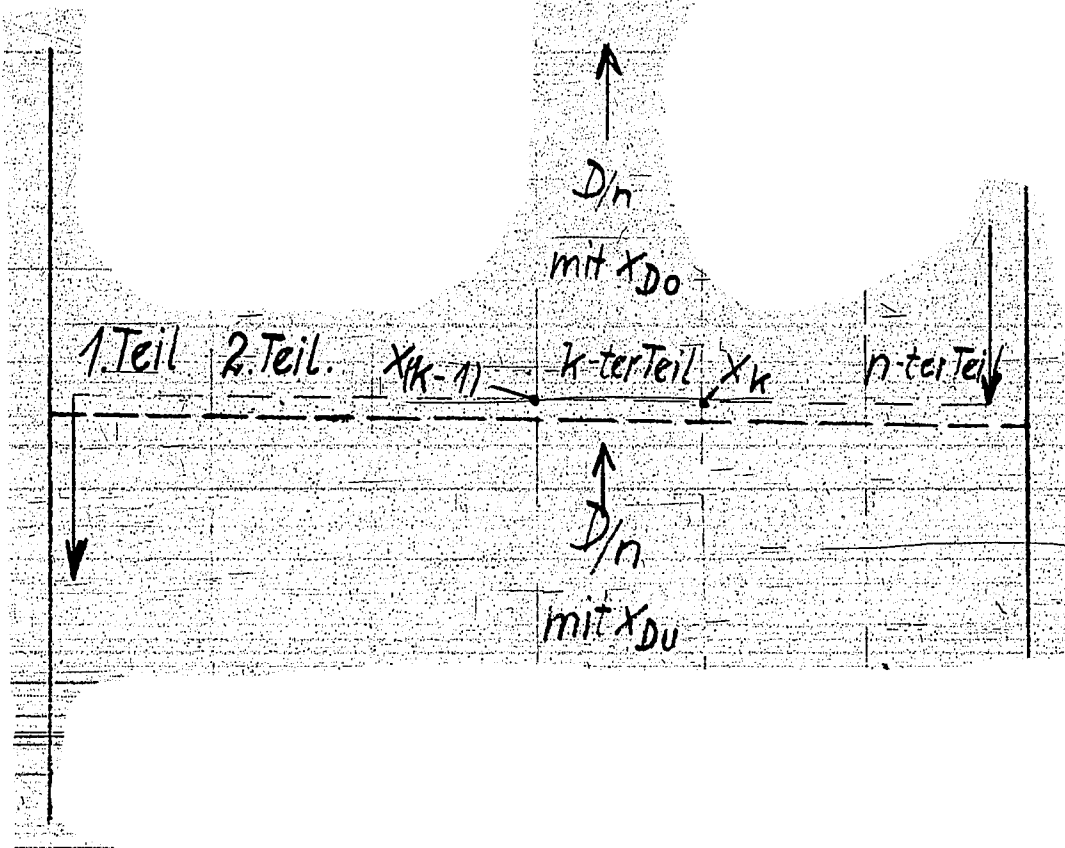


Schematische Darstellung der möglichen Strömungszustände in einer Rektifiziersäule. Gehalt an Leichtesiedendem in der Flüssigkeit und im Dampf in Abhängigkeit vom Flüssigkeitsweg

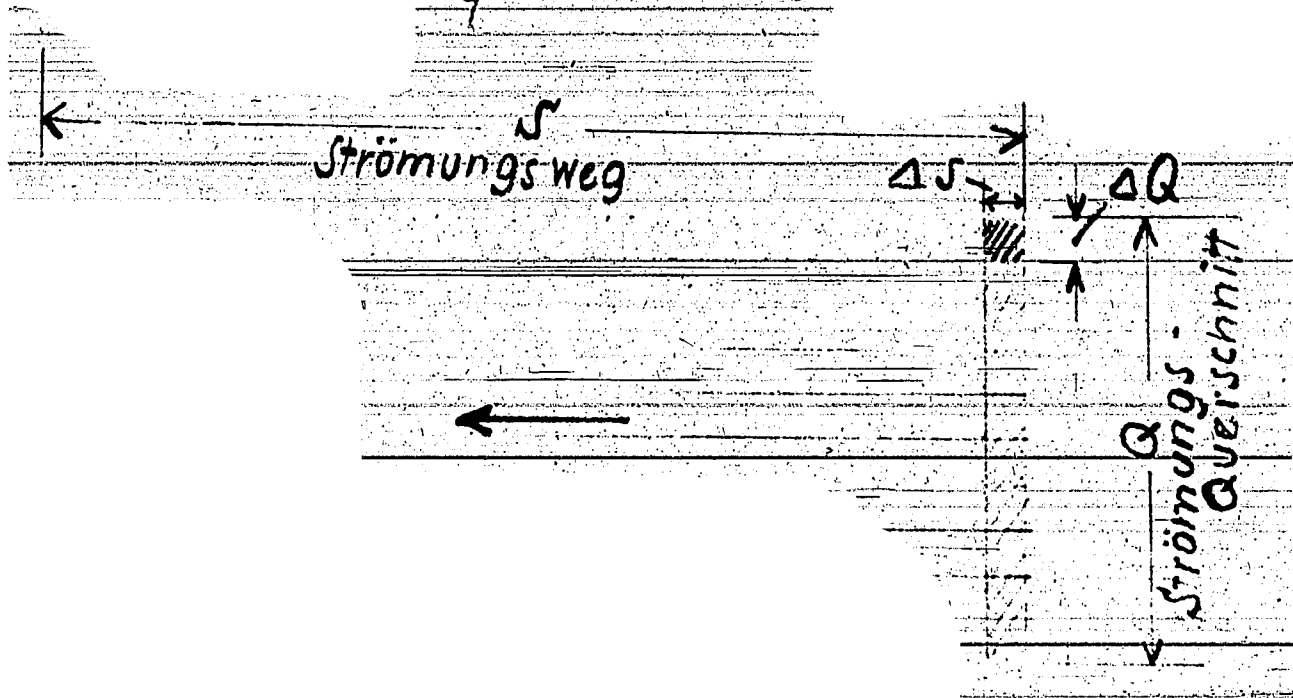
Bild 2

24160





Schematische Darstellung
der Aufteilung des Säulen-
querschnittes.



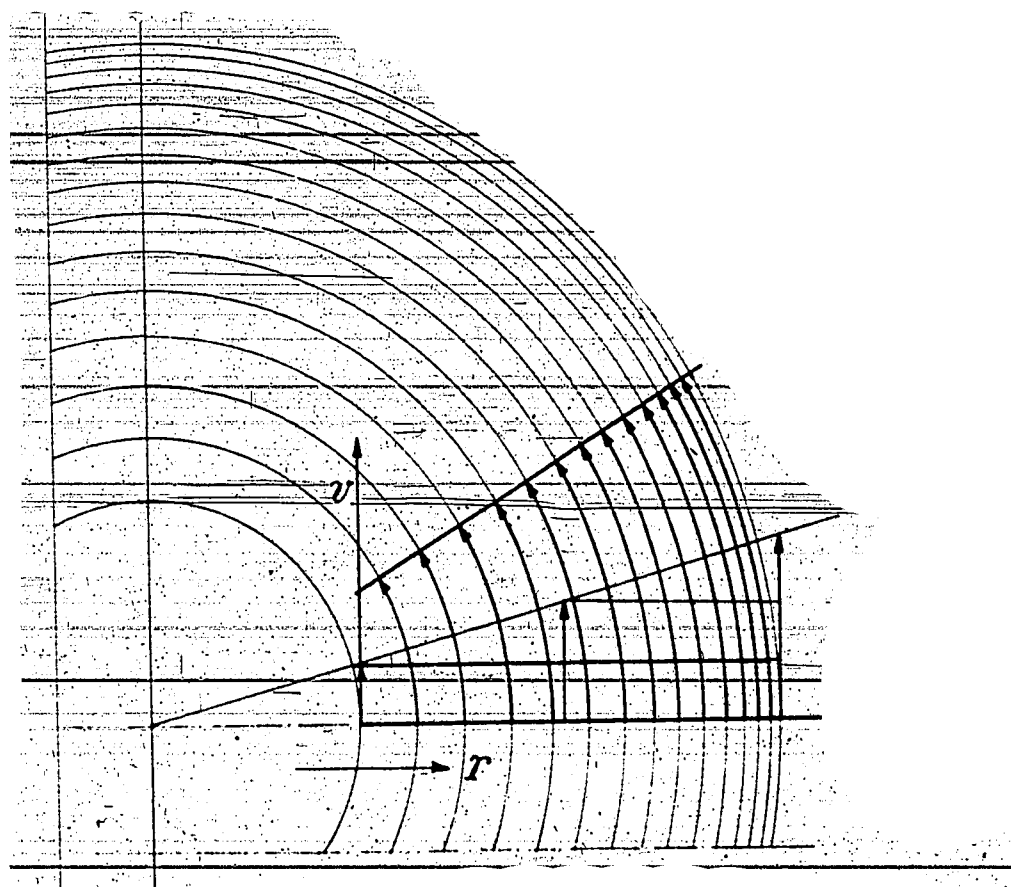
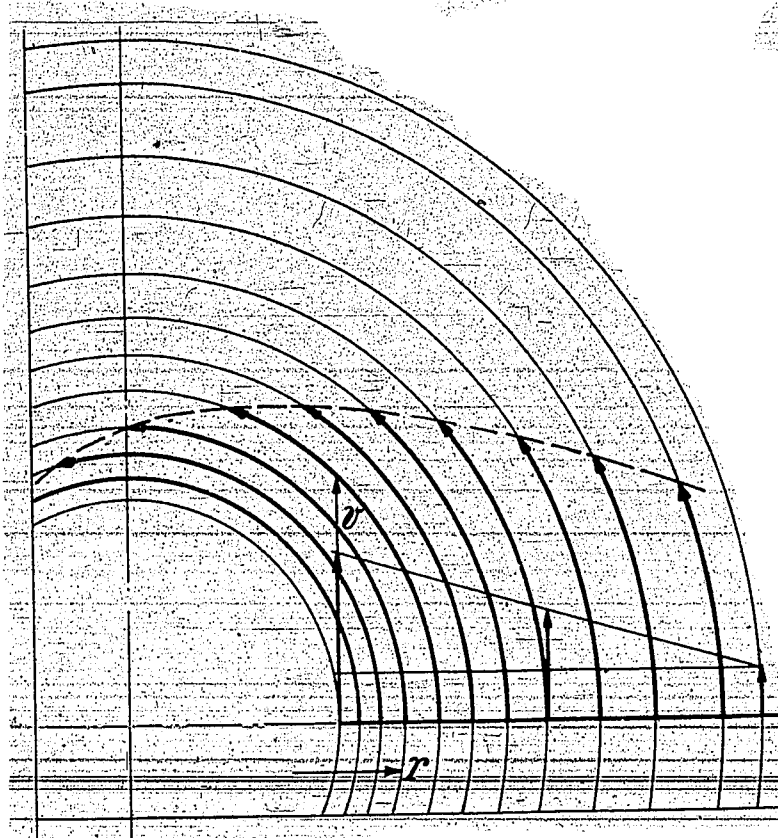
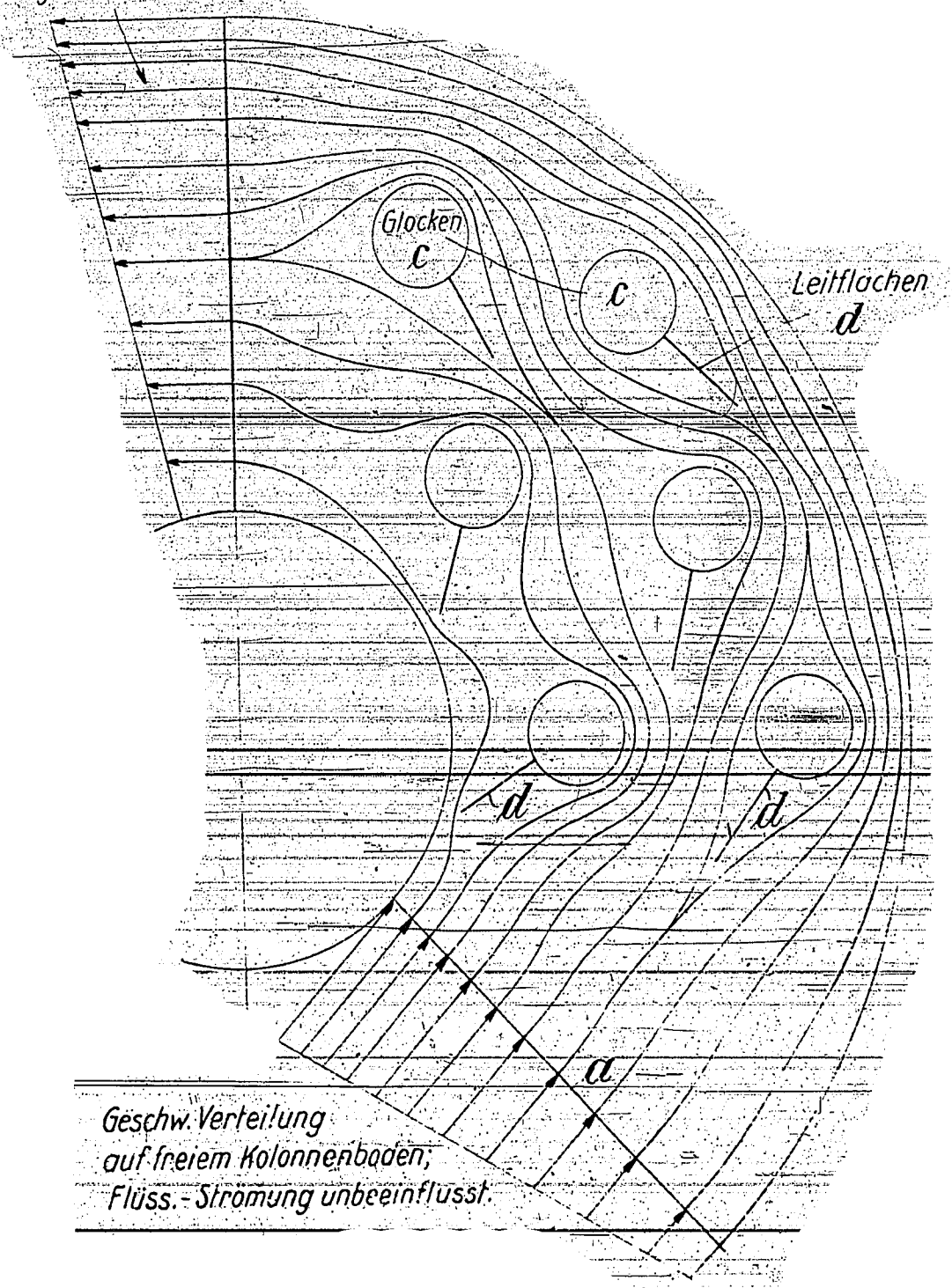


Bild 5

Geschw.-Verteilung durch Leitflächen
a-d. Glocken umgekehrt. (ω -const.)



Geschw. Verteilung
auf freiem Kolonnenboden;
Flüss.-Stromung unbeeinflusst.

Bild 6

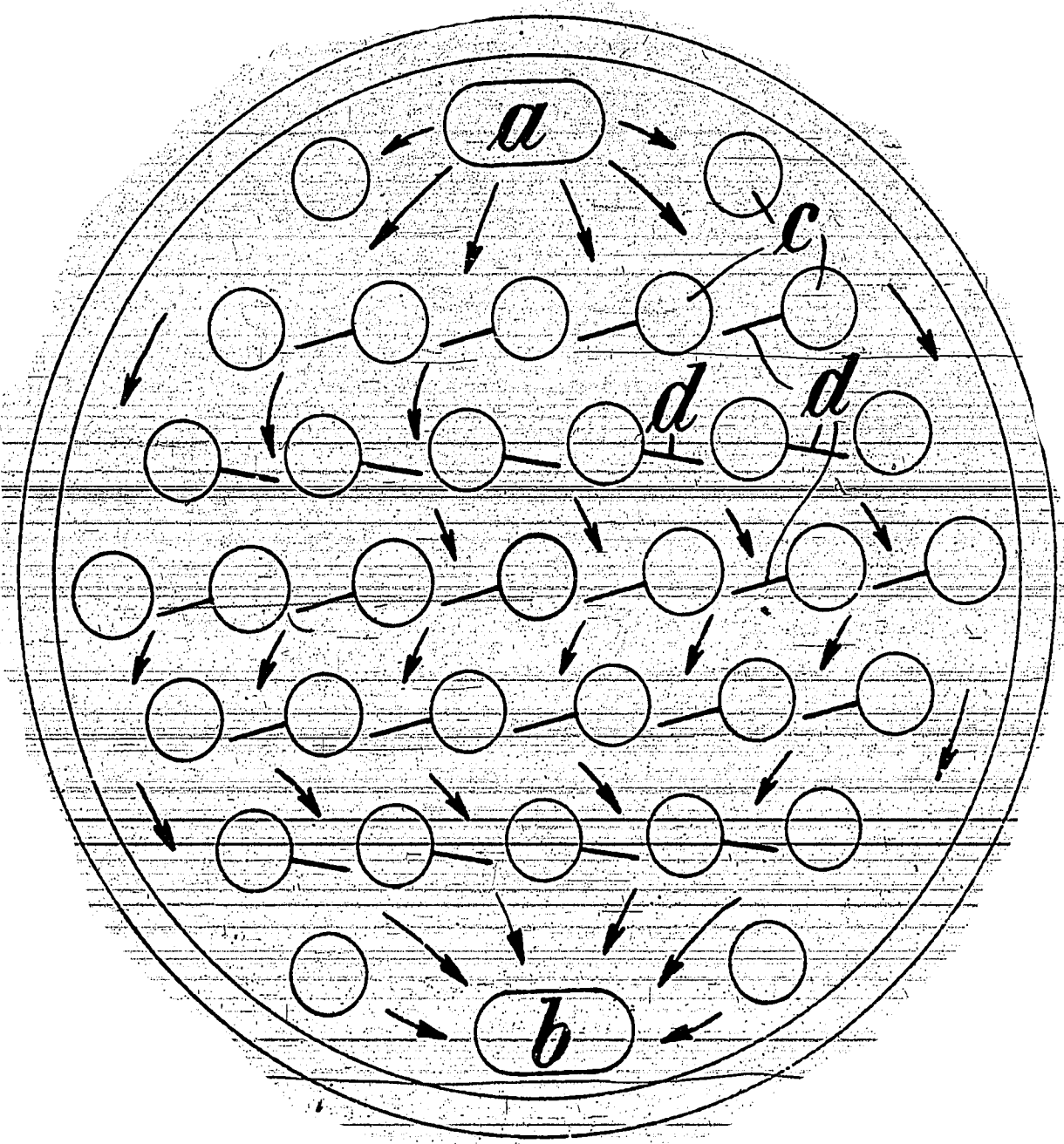
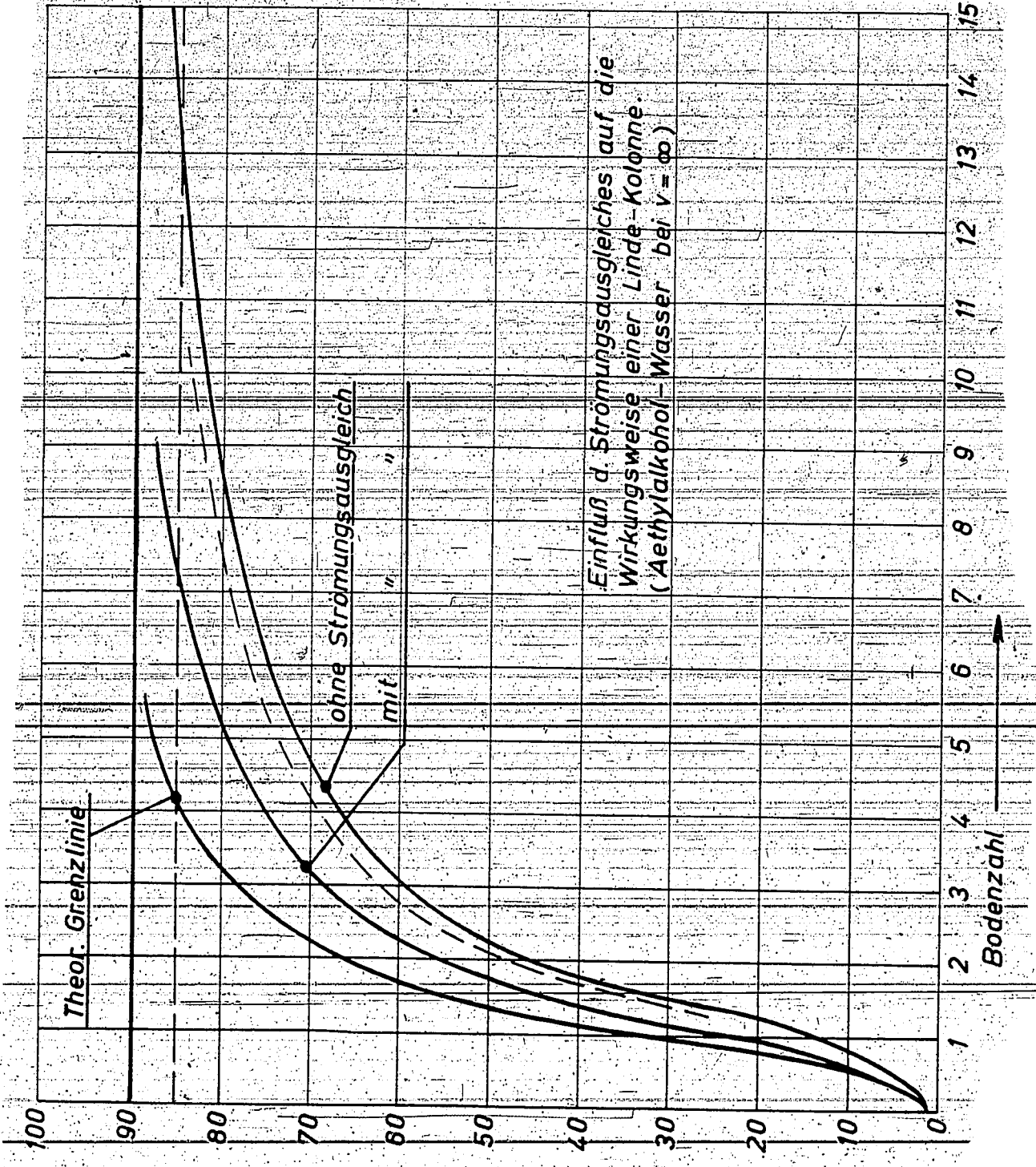


Bild 7



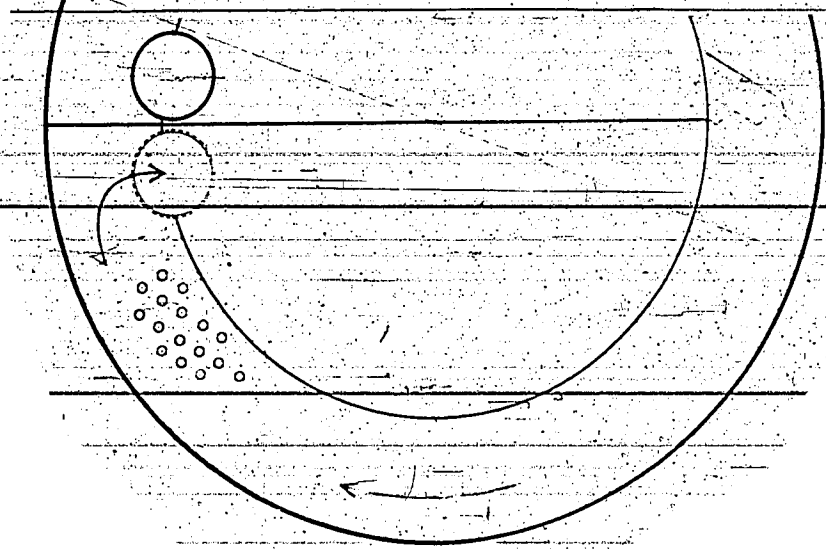
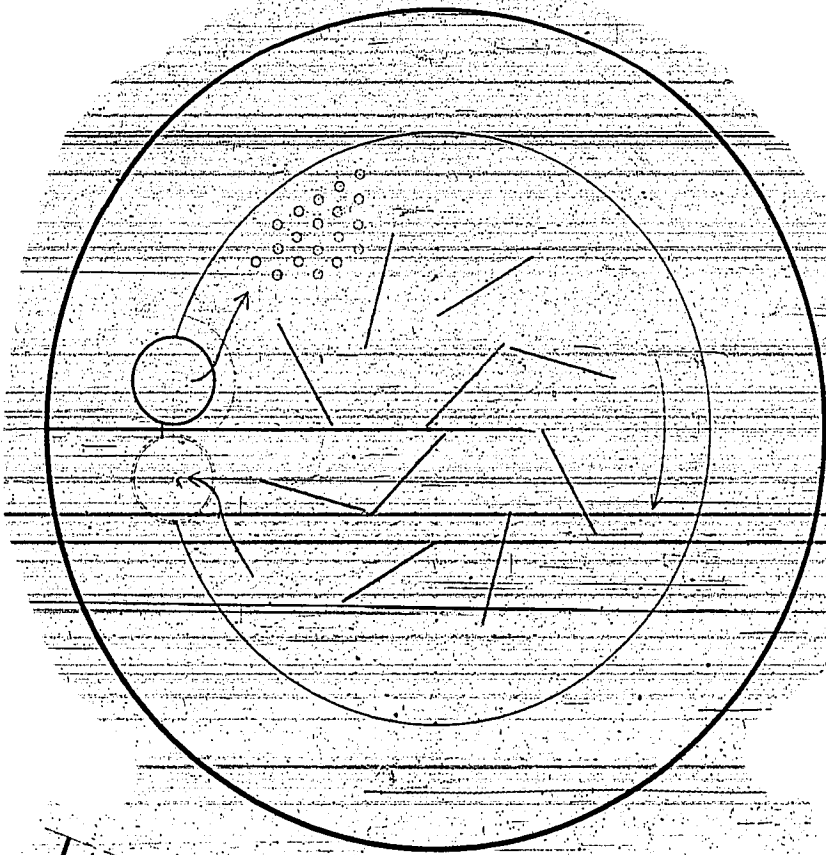
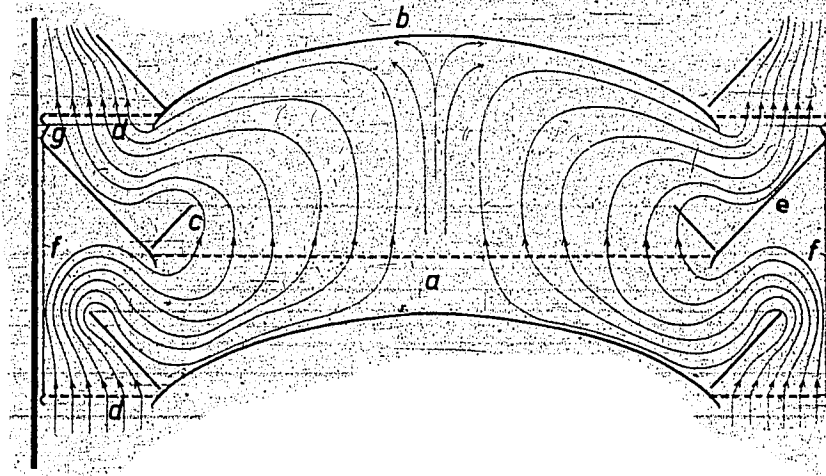


Bild 9.

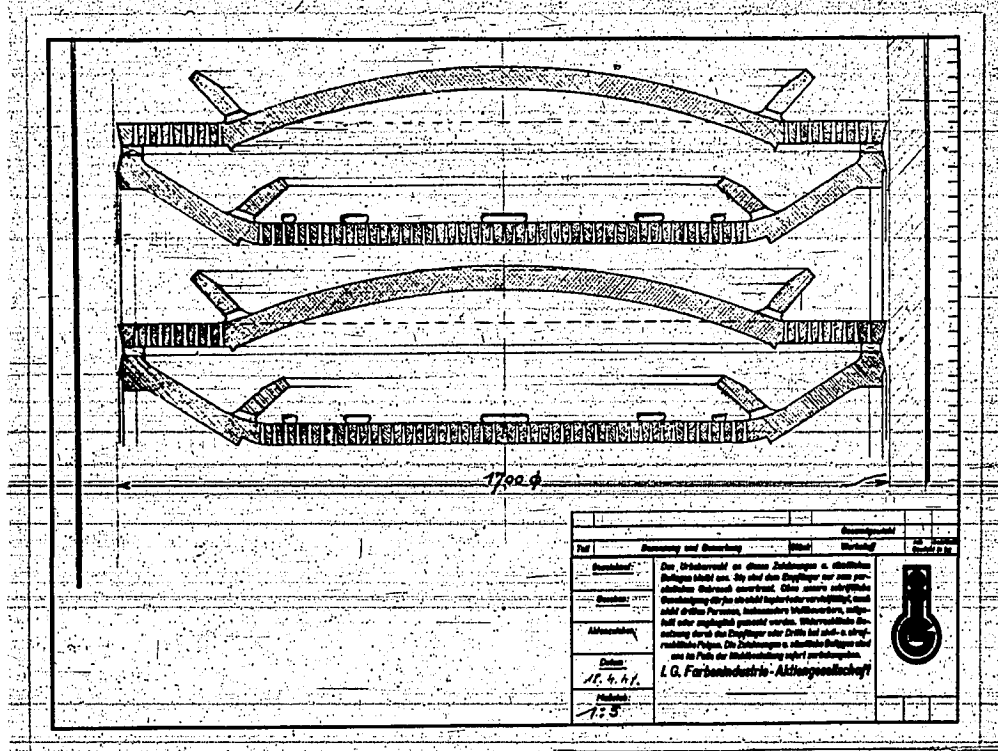
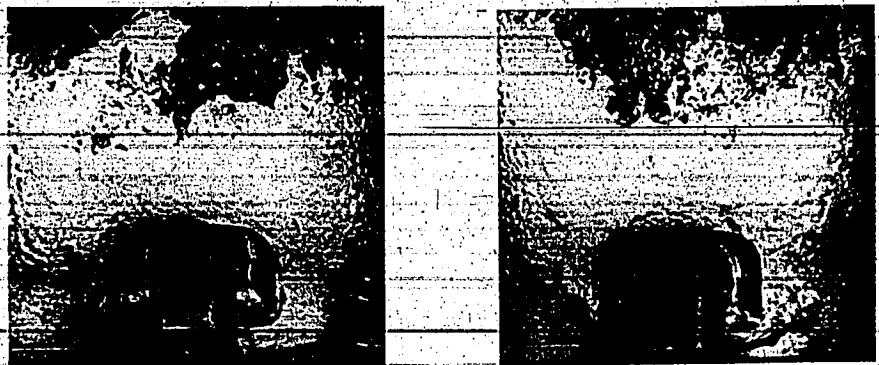


Bild 10.



Luftgeschwindigkeit im Zuführungskamin 3 m/s
 Luftgeschwindigkeit im Zuführungskamin 8 m/s
 Strömungszustand bei einer Austauschglocke, in der Luft durch Wasser strömt

Bild 11.

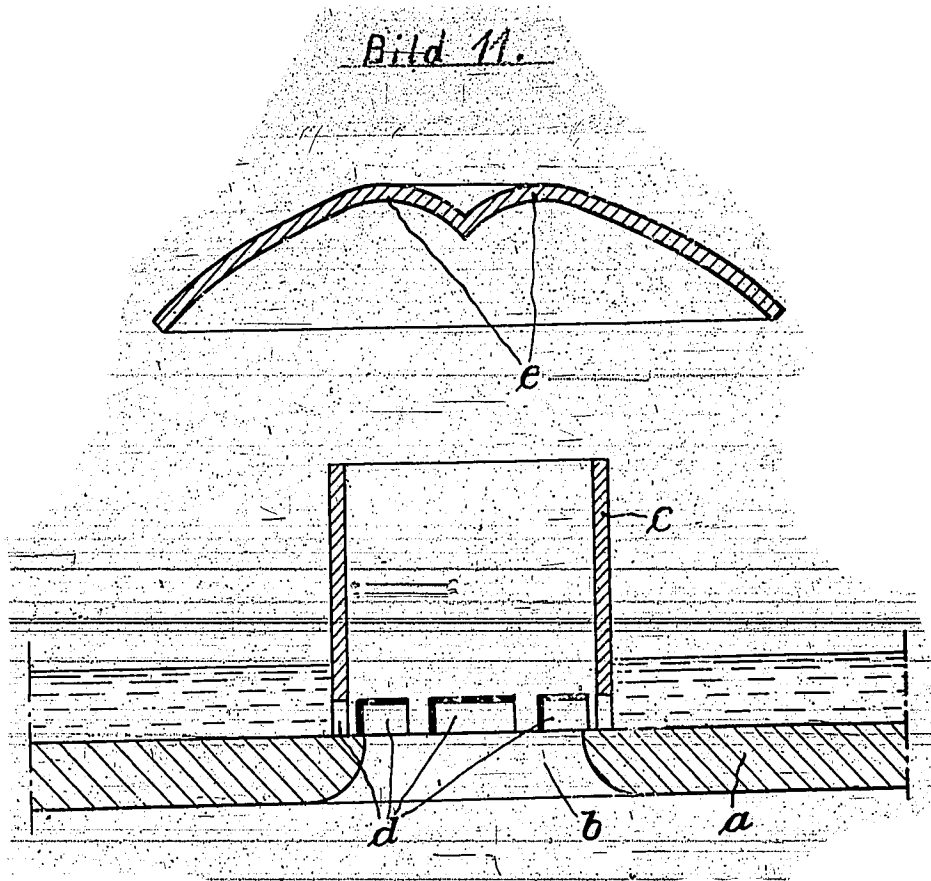
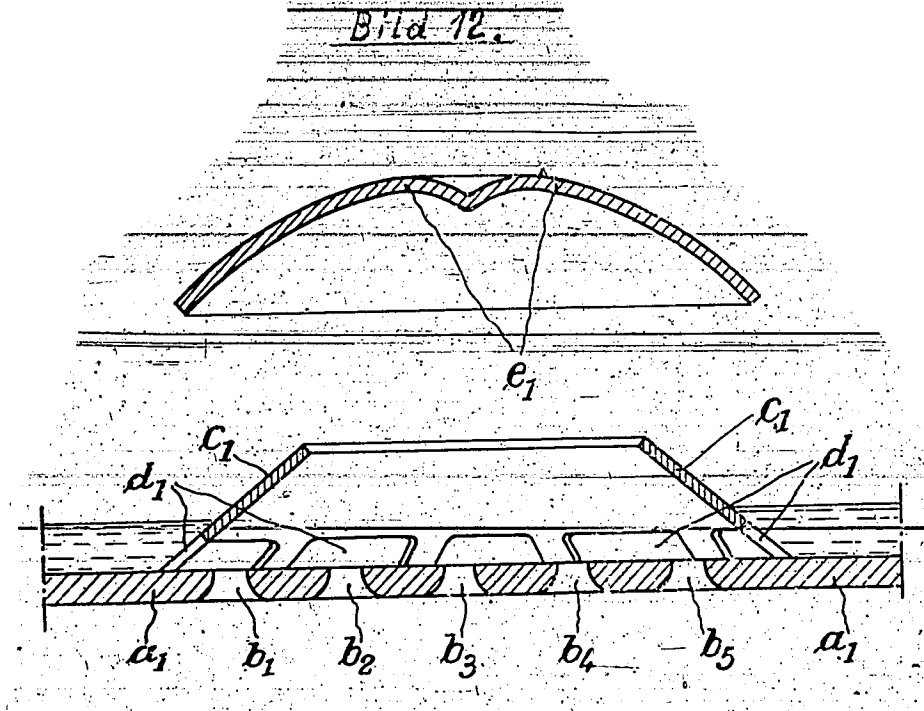


Bild 12.



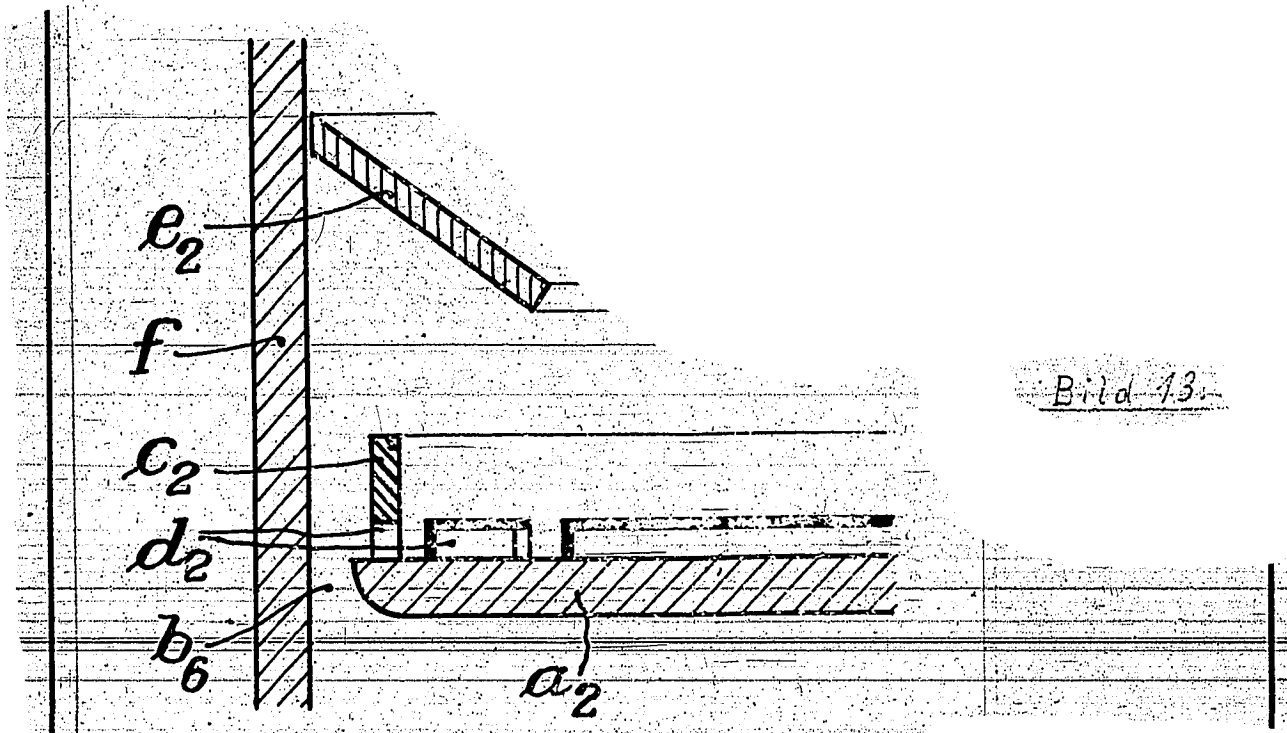


Bild 13.

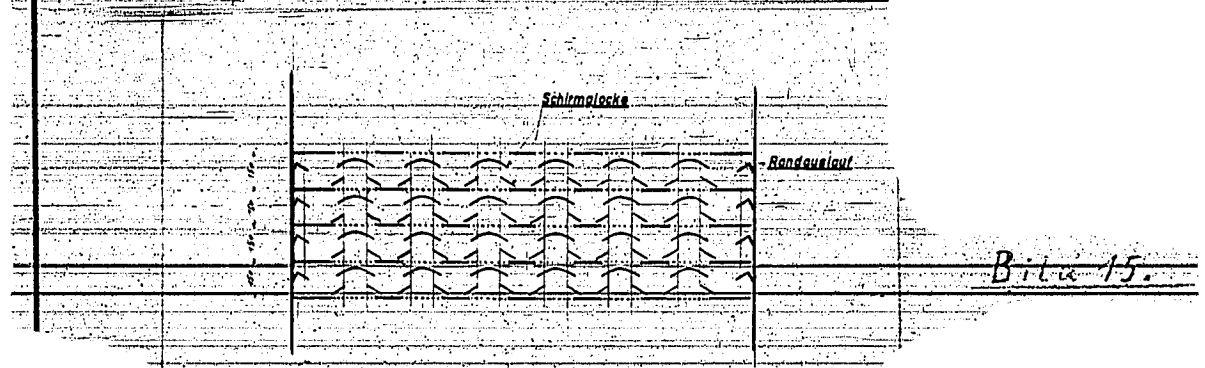


Bild 15.

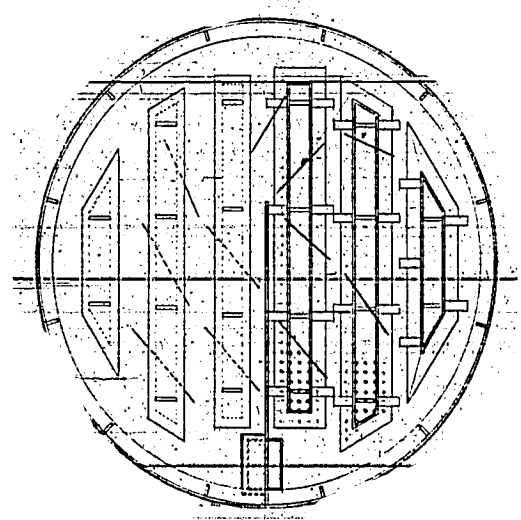


Bild 16.

Dichtunglose Destillierböden 1600 l aus Steinzeug
mit Schirmglocken u. Randaustausch.

Konstr. Büro
D.

24170

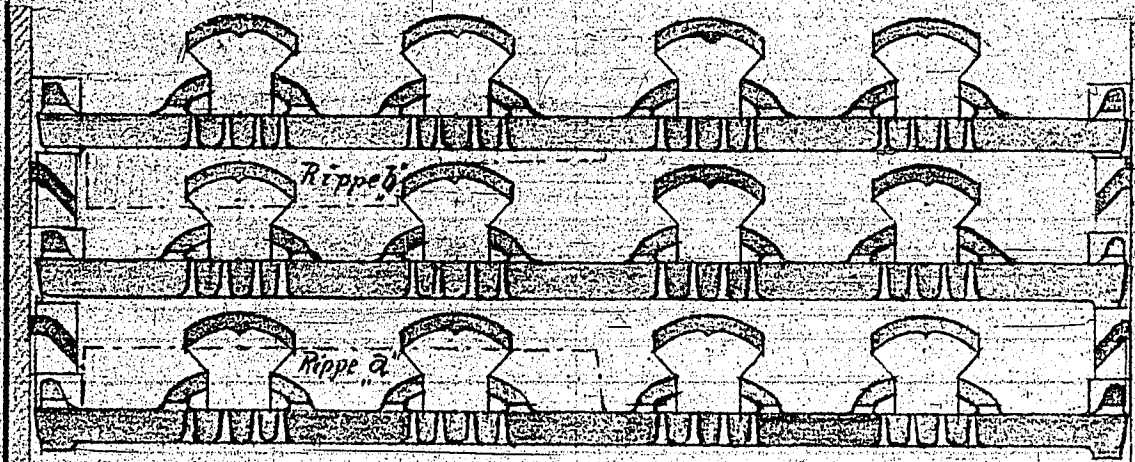
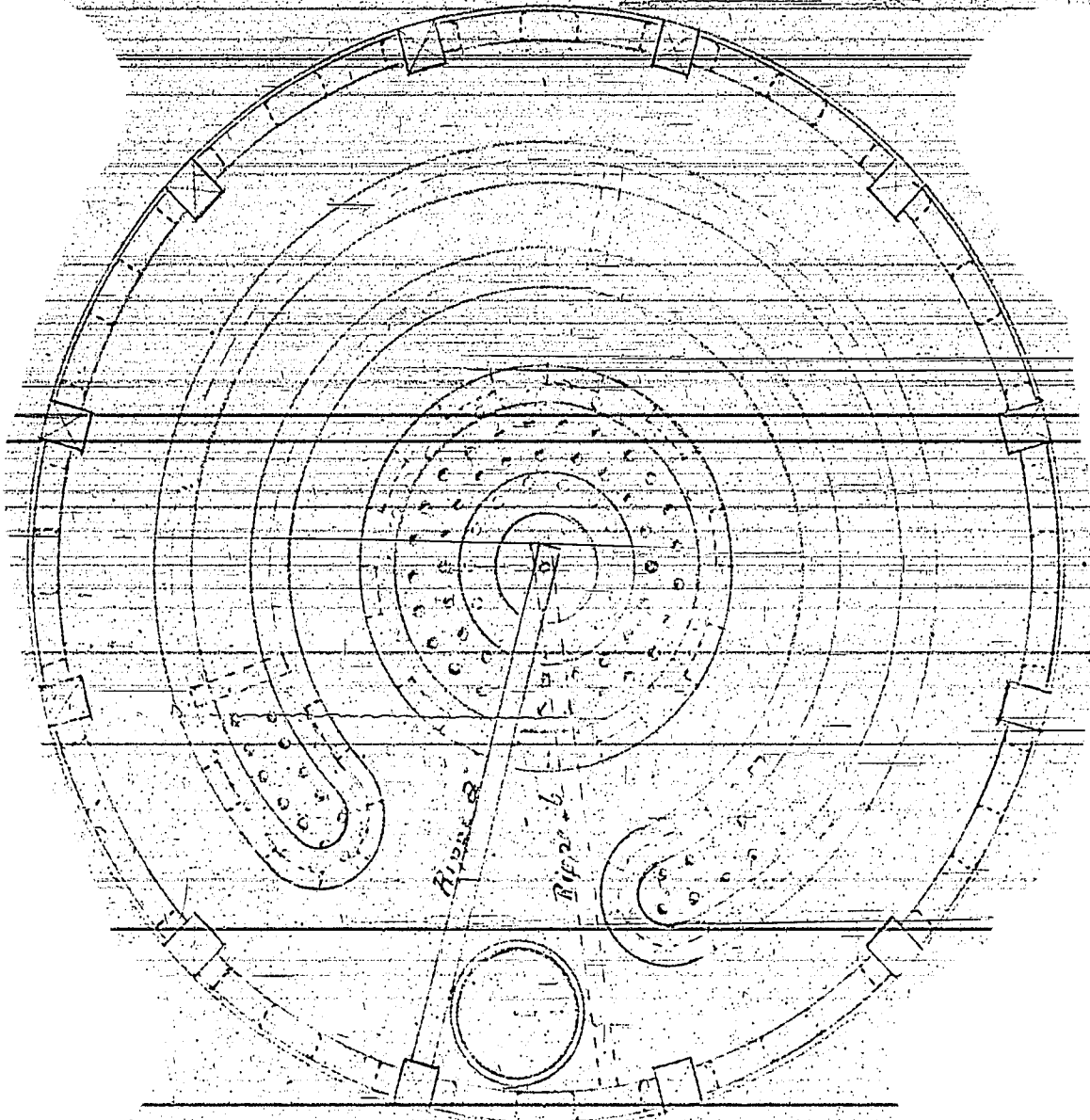
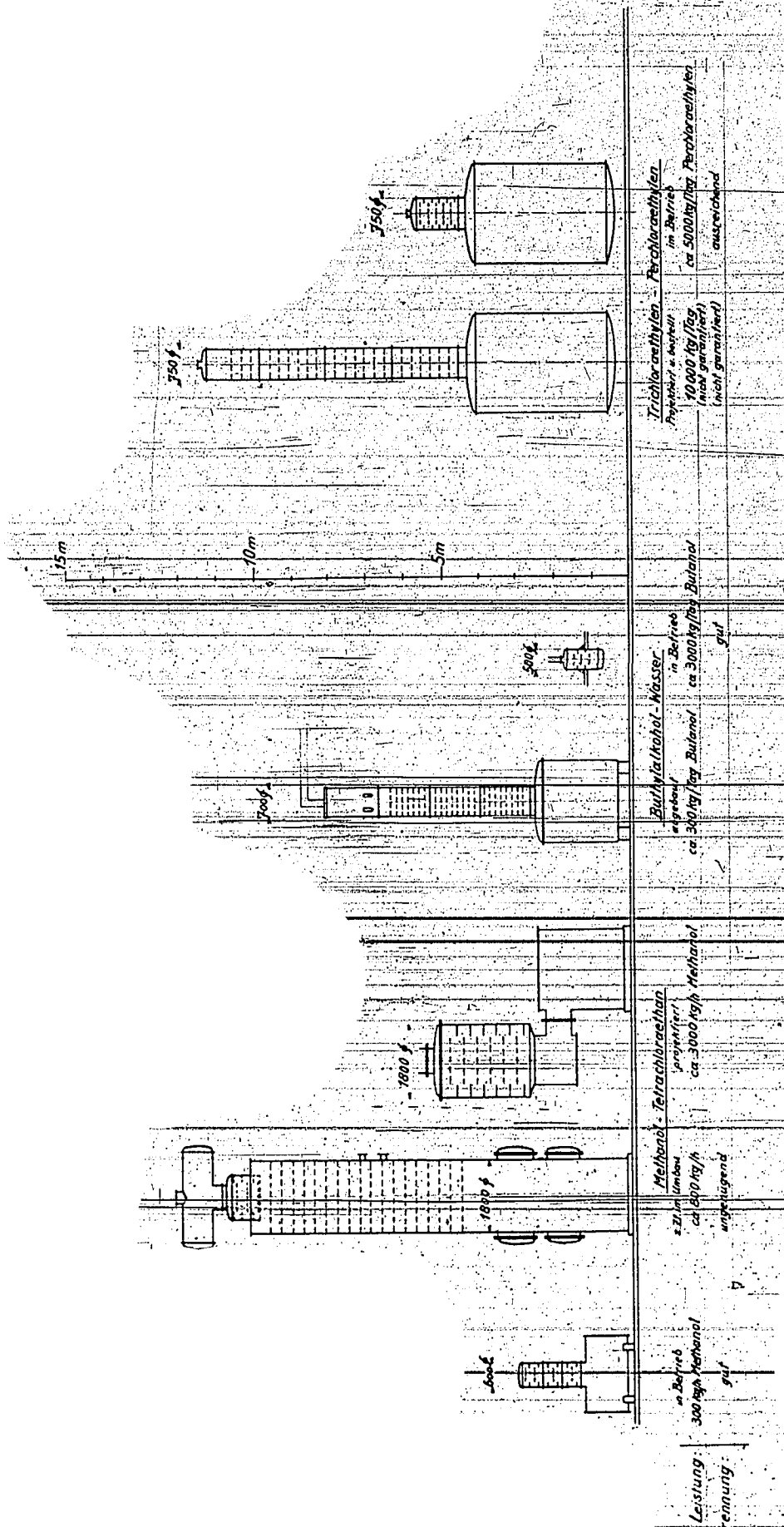


Bild 16.



I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Bitterfeld

Benennung, Produkte	Betr. Weise	Kol. ø	Boden- zahl	Bod. Abst.	Kol. Höhe	Leistung	Bemerkung
Chlorbenzol, Vorlauf	kont	700	10	90 mm	0,9 m	500 kg/h	Trennung: Absolut
vorher.	disk	1000			ca 10 m		
Reinbenzol, Vorlauf	kont	600	10	120 mm	1,4 m	700 kg/h Gemisch	Trennung: gut
vorher.	disk	700	44		ca 6,5 m		
Lösungsmittel - Gemisch, Siede- punkte ~ 42° + 60°, mit 1,5 % Wasser	kont verstg.	1100	6	150 mm	0,9 m	2000 kg	Trennung: absolut
vorher.	kont verst.+Abt.	1700	18	300 mm	6,5 m	2000 Kg Gemisch	" verst: schlecht Abtr: ausreichend
Butanol - Wasser	kont	500	5	100 mm	0,5 m	100 kg/h	Produkt: wasserfrei
vorher.	disk	700	36		ca 6,5 m	250 kg/Tag	großer Zwischenlauf
Tri- u. Perchloräthylen	kont	1000	24	120 mm	3,2 m	1200 kg/h	Siedeverlauf: ca 1° C
vorher.	kont	700	42		ca 8 m	600	Siedeverlauf: ca 2,5° C
Perchloräthylen, Vorlauf	disk	700	11	90 mm	1,0 m	10 Tato	Trennung: gut Zwischenlauf: gering
vorher.	disk	600		Raschig	ca 7 m	ca 6 Tato	
Phenole, Aufbau	disk	2000	15	14,5 mm	2,5 m (Aufbau)	1500 kg/h	Trennung: gut
vorher.	disk	2000	45		ca 8 m		



Leistung:
 Leistung: