

Ammoniakwerk Hirschburg
G.m.b.H.
Haupt-Berichts-Sammlung
Referats-Büro
Mo Nr. 386 / IVa

Untersuchungen

12

über Druckverluste und Belastungsgrenzen
unter besonderer Berücksichtigung
der Austauschwirkung bei Rektifizierböden.

E. H. H. H.
-- 0 --

April 1941

385

Der Austauschvorgang zwischen Flüssigkeit und Dampf im Querstrom ist, zunächst rein physikalisch betrachtet von verschiedenen zahlenmäßig erfassbaren Veränderlichen abhängig und ebenso an bestimmte Voraussetzungen gebunden. Nach den heutigen theoretischen Erkenntnissen ist es ohne weiteres möglich, sich ein klares und zusammenhängendes Bild über die physikalischen Notwendigkeiten zu machen, um die geeigneten Bedingungen für den bestmöglichen Trenneffekt zu erzielen. Schwieriger wird die Aufgabe erst dann, wenn es sich darum handelt, eine Vorrichtung ausfindig zu machen, die sowohl die physikalischen Voraussetzungen restlos erfüllt, als auch die betrieblichen, herstellungstechnischen und werkstoffbedingten Notwendigkeiten in zufriedenstellender Weise berücksichtigt.

Die folgenden Untersuchungen haben nun den Zweck, die in Erscheinung tretenden Faktoren, sowie die wichtigsten Beziehungen der Veränderlichen untereinander zu erfassen. Es sollen außerdem die Leistungsgrenzen verschiedener Konstruktions-Maßnahmen durch folgerichtige Untersuchungen festgestellt werden.

Bild 1 enthält in schematischer Darstellung sämtliche Veränderlichen, die den Austauschvorgang auf dem Kolonnenboden beeinflussen, oder von ihm abhängig sind. Sie lassen sich, wie eben schon angedeutet in zwei Gruppen unterscheiden: in solche, die durch Konstruktion und Belastung der Kolonne festgelegt sind und in solche, die davon abhängig sind, und die in erster Linie die Leistungsfähigkeit der Kolonne bestimmen. Da für Vergleichsmessungen die Belastung als konstant festgelegt werden kann, stellen die letztgenannten Größen einen direkten Maßstab für die Beurteilung einer Kolonnen-Konstruktion dar, vorausgesetzt, daß dieselben durch geeignete Untersuchungs-Methoden eindeutig genug ermittelt werden können. Um ein ordnendes Prinzip in die Vielzahl der hier aufgezeigten Faktoren zu bringen, ist es zweckmäßig, durch folgerichtige Überlegungen zunächst einmal festzustellen, an welche Voraussetzungen der Austauschvorgang im Querstrom und seine mehrfache Wiederholung in der Hauptsache gebunden sind.

1.)- Die Flüssigkeits- und Dampfphase treten getrennt in die Austausch-Vorrichtung ein und müssen dieselbe ebenfalls wieder getrennt verlassen. Die Werte Q' und Q'' , welche die mitgerissene und die durch den Boden hindurchtropfende Flüssigkeitsmengen darstellen, müssen gleich oder angenähert null sein. Sie werden im Wesentlichen bestimmt durch die Dampfgeschwindigkeit v , das Dampfgewicht ρ_D , dem Bodenabstand H und durch die Konstruktion des Bodens. Die Zone III muß flüssigkeitsfrei sein.

2.) Die Flüssigkeit muß auf dem Boden während des Austauschvorganges eine große wirksame Oberfläche besitzen, und nach Möglichkeit in zerstäubter Form und in räumlicher Verteilung mit den Dämpfen in Berührung kommen. Der Bewegungszustand muß hochgradig turbulent und der Austauschweg ebenfalls möglichst groß sein, d.h. die Werte F_{fl} , v_D , s_D müssen zu diesem Zweck durch Betriebszustand und Konstruktion des Bodens in ausreichender Größe vorhanden sein. Die Zone II (Austauschzone) muß durch die Bodenkonstruktion besondere Berücksichtigung finden.

3.) Die zum Austausch gelangenden Flüssigkeits- und Dampfmen gen müssen unter Berücksichtigung der Gleichsinnigkeit durch Regelung der Flüssigkeitsströmung so aufeinander abgestimmt sein, daß sich mengenmäßig überall dieselben örtlichen Bedingungen ergeben. (Strömungssteuerung).

4.) Die beiden Phasen dürfen sich gegenseitig in ihren Hauptströmungswegen zwecks Vermeidung von Stau-Erscheinungen nicht störend beeinflussen. Die Vorrichtung muß so beschaffen sein, daß der geringstmögliche Widerstand auf den beiden Strömungswegen erzielt wird. Rücklaufstörungen sind, abgesehen von Verstopfungen in erster Linie bedingt durch Δp , Δs , $\Delta s'$ und H .

5.) Bezüglich der praktischen Ausführung müssen betriebliche, herstellertechnische und werkstoffbedingte Voraussetzungen in zufriedenstellender Weise berücksichtigt werden.

Nach dieser zusammenstellenden Betrachtung ist weiterhin eine übersichtliche Darstellung der wichtigsten Gesetzmäßigkeiten innerhalb der Beziehungen der einzelnen Faktoren untereinander von Vorteil. Hier sind es in erster Linie die Veränderlichen Δp , Δs , C die in Abhängigkeit der übrigen Größen, in der Hauptsache mit v , ρ_D , ρ_F , H , C , s , f usw. dargestellt, und durch exakte Versuche erfaßt werden müssen. Die Abb. 2 gibt zunächst den vermutlichen, durch reine Überlegung feststellbaren Kurvenverlauf wieder.

Δp in Abhängigkeit von v entwickelt sich aus der Gleichung

$$\Delta p = \xi \cdot \rho_D \cdot v^2$$

Die maßgebenden Einflüsse für die Charakteristik dieser Parabel sind also die Widerstandsziffer ξ und das spez. Dampfsgewicht ρ_D . Hat man v experimentell ermittelt, so läßt sich auf dieser Gleichung die Widerstandsziffer errechnen, da die Stoffkonstante ρ_D ebenfalls bekannt ist. $[\xi \cdot \rho_D / \rho_F = 5,7]$

Es ist aber nicht die einfachste Methode die Geschwindigkeit v direkt zu messen, sondern beim Experimentieren hat es sich als wesentlich

zweckmäßiger erwiesen, das direkte Dampfgewicht pro Zeiteinheit in Form des niedergeschlagenen Kondensates zu messen. Die Gleichung muß also dementsprechend umgeformt werden.

$$g = V \cdot \rho_D \quad ; \quad V = \frac{g}{\rho_D}$$

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{\rho_D}{2g} \cdot v^2 \cdot f^2 \cdot \rho^2$$

$$= \xi \cdot \frac{\rho_D}{2g} \cdot f^2 \cdot \frac{g^2}{\rho_D^2} \quad \left[\xi \cdot \frac{\rho_D}{2g} \cdot f^2 = \xi_2 \right]$$

$$g = \xi_2 \cdot \left(\frac{\rho_D}{2g} \cdot f^2 \right) = \xi_2 \cdot \text{const.}$$

$$\xi = \frac{\Delta p}{g^2} \cdot \text{const.} \quad (2)$$

Mit Hilfe dieser Beziehung läßt sich unter Verwendung einer ebenso einfachen Versuchsapparatur, auf die später näher eingegangen wird, die Druckverlustziffer an beliebigen Stoffen und unter beliebigen Druckverhältnissen auf die schnellste und einfachste Weise messen. Auf den Verlauf dieser Kurven machen sich noch weitere Einflüsse geltend und zwar in der Hauptsache die Oberflächenspannung und der Flüssigkeitsstand. Wie aus den nachfolgenden Versuchsergebnissen hervorgeht, addieren sich beide zu den strömungstechnisch bedingten Werten. In diesem Zusammenhang muß der Einfluß der verschiedenen Stoffe auf die Widerstandsziffer ebenfalls festgestellt werden.

Für die Planung und Konstruktion von Destillier-Kolonnen, insbesondere bei Vakuum- und Druckkolonnen ist die Kenntnis über die Beziehung zwischen Δp und ρ_D von besonderer Wichtigkeit. Sowohl bei konstanter Dampfgeschwindigkeit als auch bei mengenmäßig konstantem Durchsatz. Beide Funktionen lassen sich ebenfalls aus Gleichung 1 ableiten.

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{\rho_D}{2g} \cdot v^2 \quad ; \quad g = f \cdot v \cdot \rho_D$$

$$v = \frac{g}{f \cdot \rho_D} = \mu \cdot f \sqrt{\frac{g}{\rho_D}} \quad ; \quad v = \frac{g}{f \cdot \rho_D}$$

$$\mu = \frac{v}{f \cdot \sqrt{\frac{g}{\rho_D}}} = \mu = \sqrt{\frac{1}{\xi}}$$

$$g = V \cdot \rho_D = f \cdot \mu \cdot \sqrt{2g \cdot \frac{\rho_D^2}{\rho_D}} \cdot \Delta p$$

$$g = f \cdot \mu \cdot \sqrt{2g \cdot \rho_D} \cdot \Delta p \quad (3)$$

Soll nun Δp in Abhängigkeit von ρ_D bei konstantem v ermittelt werden, so muß die Beziehung unter der Wurzel als konstant angenommen werden. Daraus ergibt sich:

$$\frac{2g}{\rho_D} \cdot \Delta p = \text{const}$$

$$\Delta p = C \cdot \rho_D \quad \text{--- (4)}$$

Die Funktion verläuft also linear.

Δp in Abhängigkeit von ρ_D bei konstantem Durchsatz ergibt sich als Gleichung 3, wieder unter der Voraussetzung, daß der Wurzeausdruck konstant ist.

Wir erhalten:

$$2g \cdot \rho_D \cdot \Delta p = \text{const}$$

$$\rho_D \cdot \Delta p = C \quad \text{--- (5)}$$

Diese Funktion verläuft hyperbolisch.

Daraus ergibt sich also, daß bei konstantem Durchsatz der Druckverlust bei kleiner werdendem ρ_D hyperbolisch ansteigt. Diese Erkenntnis ist besonders wichtig für die Beurteilung von Vakuum-Kolonnen.

Das ρ_D selber errechnet sich aus der thermodynamischen Zustandsgleichung wie folgt:

$$p \cdot v = R \cdot T \quad \quad v = \frac{1}{\rho_D} \quad R = \frac{848}{M}$$

$$\rho_D = \frac{p}{R \cdot T} = \frac{p \cdot M}{848 \cdot T}$$

Eine weitere wichtige Beziehung ist der Einfluß des Lochdurchmessers oder des vergleichbaren Durchmessers der Durchtrittsöffnungen für die Dämpfe bei konstantem Gesamtöffnungsquerschnitt auf p . Diese Beziehung läßt sich rechnerisch kaum verfolgen und muß empirisch festgestellt werden; es ist jedoch bekannt, daß bei größeren Durchmessern die Widerstandsziffer kleiner wird, außerdem wird die Empfindlichkeit bei kleineren Durchmessern in bezug auf Verkrustung und sonstigen Oberflächen-Einflüssen größer werden. Dies alles wird ebenfalls aus den Untersuchungsergebnissen deutlich.

Es folgt nun eine Serie von sehr wichtigen Zusammenhängen, welche die mitgerissene Flüssigkeitsmenge Q' betreffen. Wie aus Punkt 1. der vorigen Zusammenstellung und Betrachtung über die physikalischen Notwendigkeiten hervorgeht, muß es trotzdem weitgehender Auflösung der Flüssigkeit und nach Möglichkeit bei hohen Dampfgeschwindigkeiten auf jeden Fall erreicht werden, daß Flüssigkeit im Dampf vor dem Beginn des nächsten Austauschvorganges vollkommen voneinander getrennt werden. Dies läßt sich auf zwei verschiedene Arten erreichen: entweder der Bodenabstand wird so groß und die Dampfgeschwindigkeit so klein gewählt

daß diese Forderung erfüllt wird, oder man baut Vorrichtungen zwischen die Böden, die die Flüssigkeit abscheiden und auf den Ursprungsboden zurückführen. Bei den Letztgenannten sind wieder verschiedene Wege beschriftet worden: 1.) der Einbau von Rosten, 2.) die Verwendung von Füllkörpern als Abscheider und 3.) der Einbau von Flüssigkeitsabscheidern der üblichen Konstruktion mit dem Umlenkprinzip, wie sie z.B. beim Bau von Verdampfern zur Verhinderung des Schaumübertritts angewandt werden. Da die Bestimmung von Q' in Abhängigkeit von v d.h. die Sprühgrenzen der eben erwähnten Vorrichtungen nur empirisch möglich ist, muß zu diesem Zweck wieder eine geeignete Untersuchungsmethode eingesetzt werden, die es gestattet, beide Werte mit einfachen Mitteln genau genug zu erfassen und die es darüber hinaus möglich macht, Vergleichsmessungen über die Wirkungsweise der verschiedenen konstruktiven Maßnahmen zur Verhinderung des Flüssigkeitsübertrittes durchzuführen. Bevor wir uns die Meßergebnisse betrachten, wollen wir uns zunächst wieder durch Überlegung den wahrscheinlichen Verlauf dieser Kurven vergegenwärtigen.

Die mitgerissene Flüssigkeitsmenge Q' wird sich mit wachsender Dampfgeschwindigkeit erst langsam oder kaum merklich, dann schneller solange steigern, bis der Höchstwert, d.h. die gesamte Rücklaufmenge erreicht ist; von da ab wird sie der durchgehenden Dampfmenge direkt proportional. Wichtig für die Beurteilung der Wirkungsweise eines Apparates ist jedoch nicht der eigentliche Kurvenverlauf, sondern nur der untere Ansatz dieser Kurve auf die Abszisse bzw. der Verlauf innerhalb eines noch als zulässig anzusehenden Grenzbereiches. Es ist nun selbstverständlich, daß die Erhöhung des Bodenabstandes diesen Ansatzpunkt auf der Abszisse weiter nach rechts verschiebt, das Gleiche geschieht durch Anwendung eines Flüssigkeitsabscheiders. Noch deutlicher in bezug auf den Bodenabstand dürfte die Anwendung einer Abscheide-Vorrichtung auf den Darstellungen in Erscheinung treten. Es folgt eine weitere wichtige Beziehung, die jedoch nur einen Sinn bei gleichzeitiger Anwendung einer Flüssigkeitsabscheidevorrichtung hat: die Beziehung zwischen Q' und dem Loch-% auf einem Sieb bzw. Düsenboden. Aus ihr ist nämlich der räumliche Verteilungsgrad der Flüssigkeit und damit die wirksame Austausch-Oberfläche erkennbar. Es ist leicht einzusehen, daß die Auflösung mit steigendem Loch-% größer werden muß. Die letzten 3 Darstellungen beziehen sich auf den Flüssigkeitsstand und seine Abhängigkeit von Q' und v . Trotz ihrer Wichtigkeit können sie jedoch im Augenblick nur erwähnungsweise Berücksichtigung finden.

Damit wären die wichtigsten Gesetzmäßigkeiten zusammenhängend besprochen und wir können uns nunmehr der Betrachtung der Versuchs-Apparatur und den Untersuchungs-Ergebnissen zuwenden.

Das Bild zeigt eine einfache Vorrichtung für die Durchführung von Druckverlust-Messungen. Sie gestattet die Verwendung beliebiger Destillations-Gemische oder Produkte zur Bestimmung der Widerstandsziffer an beliebigen Konstruktionen, und macht somit unter weitgehender Anlehnung an die tatsächlichen Betriebszustände des Kolonnenbodens eine absolut sichere Kontrolle der für eine Neuanlage beabsichtigten Konstruktion möglich. Es läßt sich ferner feststellen, ob und in welchen Ausmaßen die Widerstandsziffer von den eingesetzten Stoffen abhängig ist. Die Apparatur besteht aus: Blase mit Heizsystem, und den zwischen 2 Glaszylindern eingesetzten Versuchsboden und aus dem Kondensator. Das niedergeschlagene Kondensat wird wieder auf den Boden zurückgeleitet und läuft schließlich über ein in der Höhe verstellbares Überlaufwehr in die Blase zurück. Die Flüssigkeitsmenge, die vom Boden in die Blase zurückläuft entspricht gewichtsmäßig genau den Dämpfen die den Boden durchströmen. Die Messungen lassen sich daher mittels Stoppuhr und Drehteller sehr genau durchführen. Der Druckverlust zeigt sich durch das eingebaute und von außen zu beobachtende Manometerrohr aus Glas, mit Skala versehen, an. Gemessen wird die Steighöhe der Flüssigkeit und es ergibt sich somit das Verhältnis $\frac{\Delta p}{\Delta s}$, welches für die Bestimmung der Belastungsgrenze aufgrund des vorhandenen Bodenabstandes maßgebend ist. Die Einflüsse, die durch Oberflächenspannung und Flüssigkeitsstand hervorgerufen waren, sind durch diese Vorrichtung der exakten Messung ebenfalls zugänglich.

Das nächste Bild zeigt eine Erweiterung der soeben besprochenen Vorrichtung, durch welche das Mitreißen von Flüssigkeitsteilchen zunächst bei beliebigen, ungeschützten Böden durch direkte Messung verfolgt werden kann. Über dem Versuchsboden ist, in der Höhe verstellbar, ein Auffangboden angeordnet, der die von den Dämpfen mitgerissene Flüssigkeit zwar abscheidet, aber nicht mehr den Ursprungsboden zurückführt, sondern einem Meßbecher zuleitet. Durch Abstoppen der Füllzeit lassen sich somit die genauen Werte feststellen. Um nun die Springgrenze von Abscheidervorrichtungen selber feststellen zu können ist eine abermalige Erweiterung dieser Vorrichtung notwendig u. zw. in der Weise, daß die zusätzliche Auffangvorrichtung eine Querschnitts-Erweiterung erfährt.

Bild: Damit können die Leistungsgrenzen und die Wirkungsbereiche der mit beliebigen Abscheidervorrichtungen versehenen oder mit anderen diesen Zweck dienlichen Maßnahmen ausgestatteten Kolonnenböden festgestellt werden.

Eine Vorrichtung zur direkten Messung der Abhängigkeit zwischen Δp zeigt die nächste Abbildung. Es ist eine Druckapparatur, die bis etwa 6 atü betrieben werden kann, und gleichfalls geeignet ist für Messungen im Vakuum. An der Meßmethode hat sich auch hier nichts geändert. Untersuchungen konnten mit dieser Apparatur allerdings noch nicht vorgenommen werden; die zu erwartenden Ergebnisse sind jedoch für die Ausführung einer Reihe von geplanten Destillier-Anlagen ausschlaggebend.

Wenn sich die bisherigen Ausführungen ausschließlich auf die Programm-Gestaltung und die Versuchsplanung erstreckt haben, so sollen die jetzt folgenden Betrachtungen den gewonnenen Untersuchungsergebnissen gelten. Da die Arbeiten in ihrem geplanten Umfang noch nicht abgeschlossen sind, müssen wir uns auf Teilergebnisse beschränken, die infolgedessen auch keinen Anspruch auf letzte Gültigkeit haben können, und die evtl. später an manchen Stellen ergänzt oder berichtigt werden müssen.

Bild zeigt die Meßergebnisse an einer Steinzeugplatte 45 % stark mit konischen Düsen 10/12 mm. In diesem Falle hat es sich darum gehandelt, die Leistungsgrenzen einer mit dieser Lochung und mit Abschirmung versehenen Bodenkonstruktion ausfindig zu machen, die außerdem noch für die Trennung verschiedener Gemische Anwendung finden sollte. Für Steinzeugböden ist es aus begrifflichen Gründen besonders wichtig, möglichst einfache Bauformen und daher keine Glocken in Anwendung zu bringen. Dies hat allerdings den einzigen Nachteil, daß die untere Belastungsgrenze nicht mehr bis Null abnehmen kann, welches jedoch praktisch ohne nennenswerte Bedeutung ist, für den Fall, daß die Kolonne innerhalb einem für praktische Belange ausreichenden Belastungsbereich gefahren werden kann. Dazu sind 2 Voraussetzungen bei der Anwendung der hier dargestellten Lochplatte nötig: 1.) Spritzschutz, da die angewandten Düsen bereits regelrechte Flüssigkeitsstrahlen erzeugen, die weit über den vorgesehenen Bodenabstand von 200 mm (etwa gleich 50 % Bodenstärke) hinausgehen würden. 2.) die Lochzahl muß so gewählt werden, daß der den Boden unter Berücksichtigung des spez. Gew. der Flüssigkeit zur Verfügung stehende Druckverlust im Höchsthalle Geschwindigkeiten erzeugt, die noch unter der Sprühgrenze des Abscheiders liegen. Unter diesen Voraussetzungen sind die Leistungsgrenzen der Kolonne nach oben nur durch die Steighöhe der Flüssigkeit im Rücklaufrohr und nach unten durch die Tropfgrenze gegeben. Die untere Belastungsgrenze hängt nun sehr wesentlich von dem Flüssigkeitsstand s ab, der mit steigender Höhe den Boden immer eher zum tropfen veranlaßt. Da ande-

rerseits beim Düsen- oder Lochboden keine Gründe für einen hohen Flüssigkeitsstand zu sprechen scheinen, im Gegenteil, der niederste Flüssigkeitsstand nach den bisherigen Beobachtungen die beste räumliche Verteilung der Flüssigkeit ergibt, ist es durchaus kein Fehler, wenn dem Rücklaufrohr nur ein Geringes oder überhaupt kein Überlaufwehr gegeben wird. Damit verschiebt sich bei geringen Dampfgeschwindigkeiten die Tropfgrenze ebenfalls zu Gunsten des Gesamt-Belastungsbereiches der Kolonne. Wie aus den Kurven ersichtlich ist, beträgt dieses Verhältnis der beiden Belastungsgrenzen zu einander gemessen an der Dampfgeschwindigkeit etwa 1 : 3 bis 1 : 5. Die dargestellten Kurven zeigen sehr deutlich den Einfluß des spez. Dampfgewichtes bzw. des Molekular-Gewichtes auf den Druckverlust. Die Berechnung der Widerstandsziffer, die sich aus jeder einzelnen Kurve bestimmen läßt, ergibt für alle Kurven übereinstimmend den Wert von 1,75. Während hierbei als Ordinate die Dampfgewichte aufgetragen sind, zeigt das nächste Bild dieselben Ergebnisse auf die Dampfgeschwindigkeit (innerhalb der Düsen) umgerechnet. Die Kurven verlaufen nunmehr reziprok. Sie sind auf Grund der Verschiedenheit des Molekular-Gewichtes ebenfalls weitgehend von einander verschieden und zeigen deutlich, daß bei einer beliebigen Kolonne z.B. mit Wasserdampf betrieben, die doppelte Geschwindigkeit als mit Aceton und etwa die dreifache als mit Tetrachlorkohlenstoff erreicht werden kann. Eine endgültige Antwort auf die Frage nach dem Einfluß des spez. Dampfgewichtes auf die obere Belastungsgrenze kann selbstverständlich nur die entsprechende Untersuchung über die Abhängigkeit der Sprühgrenze einer Abscheide-Vorrichtung von $\frac{1}{\rho}$ bringen. Es steht jedoch fest, daß Kolonnen, in welchen Produkte mit hohem Molekulargewicht getrennt werden, infolge Rückstau innerhalb der Rücklaufrohre viel eher zu Rücklaufstörungen neigen, als solche, die nieder-molekulare Produkte zu trennen haben.

Das nächste Bild zeigt eine weitere Versuchsserie, die in der Hauptsache den Einfluß des Loch- bzw. Düsen- ϕ auf die Widerstandsziffer und die Tropfgrenze darstellen soll. Die eingesetzten Versuchsplatten waren mit verschieden großen Löchern, angefangen bei 1 $\frac{1}{8}$ ϕ bis 24 $\frac{1}{8}$ ϕ , versehen, die jedoch in ihrer Anzahl so gewählt wurden, daß immer der gleiche Gesamt-Öffnungsschnitt entstand. Hierbei ließen sich verschiedene Beobachtungen machen: 1.) Die Widerstandsziffer wird erwartungsgemäß mit kleiner werdendem Loch- bzw. Düsen- ϕ größer und zwar nicht linear, wie eines der nächsten Bilder zeigen wird. 2.) Bei kleineren Loch- ϕ , etwa bis 3 $\frac{1}{8}$ fängt der Boden erst dann an zu tropfen, wenn die Dampfgeschwindigkeit gleich null wird. Der Boden reagiert

bei den niedrigsten Dampfgeschwindigkeiten so, daß sich nur ein Teil der Löcher am Austausch beteiligt, während der übrige Teil u. zw. derjenige, der durch evtl. Schräglage des Bodens den höheren Flüssigkeitsstand besitzt, vollkommen ruhig und unbeeinflusst bleibt. 3.) Die Oberflächenspannung äußert sich in der Weise, daß sich auf dem leeren, aber noch feuchten Boden bei den geringsten Dampfgeschwindigkeiten schon ein erheblicher Druckverlust anzeigt (bei Wasser etwa 25 bis 30 %). Die Oberflächenspannung addiert sich zu dem Verlauf der Hauptdruckverlustkurve. 4.) Bei größer werdenden Durchmesser zeigt es sich, daß der bei geringen Dampfgeschwindigkeiten aussetzende Teil des Bodens zu tropfen beginnt. An einer bestimmten Grenze hört jedoch dieses Tropfen auf. 5.) Bei Lochdurchmessern zwischen ca. 4 und 10 % ist außer der Tropfgrenze noch ein Sprühbereich feststellbar, bei dem zwar in sehr geringen Mengen, aber immerhin feststellbare Flüssigkeitsteilchen durchgelassen werden. Diese Erscheinung hängt wahrscheinlich auch mit der Oberflächenspannung zusammen. 6.) die Empfindlichkeit der kleinen Löcher auf äußere Einflüsse z.B. Verkrustung oder andere Oberflächen-Veränderungen ist so groß, daß sämtliche Wiederholungen der gleichen Versuche mit ein und derselben Platte andere Werte lieferten. Diese Erscheinung konnte bei größeren Durchmessern nicht festgestellt werden.

Auf dem nächsten Bild ist eine andere Darstellungsweise derselben Meßreihe gewählt worden, aus welcher besonders deutlich die Abhängigkeit des Druckverlustes von dem Düsen- ϕ hervorgeht. Die untere gestrichelte Linie zeigt die Grenze an, von wo ab der Boden nach unten absolut flüssigkeitsdicht ist; ihr eigentümlicher Verlauf war nicht ohne Weiteres voranzusehen, bietet aber als empirische Feststellung einen wichtigen Anhaltspunkt für die Wahl der Lochung bei Düsen-Böden. Die untere stark ausgezogene Linie ist die Grenze, bei welcher der Boden tatsächlich erhebliche Flüssigkeitsmengen durchsickern läßt. Der schraffierte Übergangsbereich stellt den vorhin schon erwähnten unteren Sprühbereich des Düsenbodens dar, der zwar keine wesentliche Verschlechterung des Austauschvorganges mitsichbringt, jedoch ohne Weiteres umgangen werden kann. Die obere stark ausgezogene Linie stellt die Grenzgeschwindigkeit des Abscheiders dar, während die obere gestrichelte Linie die Spritzgrenze des ungeschützten Bodens wiedergibt. Die von den beiden gestrichelten Linien umgrenzte Fläche stellt den Arbeitsbereich der üblichen Siebböden dar, während die kreuzweise schraffierte Fläche die Erweiterung durch Anwendung eines Spritzschutzes wiedergibt.

Mit dem nächsten Bild wenden wir uns den Untersuchungs-Ergebnissen über die Einflüsse von Bodenabstand H , Dampfgeschwindigkeit v , sowie verschiedener grundlegender Konstruktions-Maßnahmen auf die Werte von Q' d.i. die mitgerissene Flüssigkeitsmenge, zu. Diese Messungen konnten vorläufig nur anhand des Systems Luft-Wasser gemacht werden, was jedoch die eigentliche Absicht der vergleichenden Gegenüberstellung in keiner Weise beeinträchtigt. Zunächst der Einfluß der Geschwindigkeit auf Q' bei einem normalen Glockenboden. Die Kurvenschar gibt den Verlauf bei konstantem Bodenabstand wieder und man erkennt durch die Verschiebung des Ansatzpunktes auf die Abszisse bei Erhöhung des Bodenabstandes, daß dieser Maßnahme eine nicht unerhebliche Bedeutung für den Spritzschutz eines Bodens zukommt.

Eine andere Darstellungsweise dieser Untersuchungsreihe zeigt das nächste Bild. Hier ist die Menge Q' in Abhängigkeit von dem Bodenabstand H dargestellt. Die Linien gleicher Geschwindigkeit streben mit wachsendem Bodenabstand alle der Abszisse zu. Durch einige Meßwerte wird aber schon angedeutet, daß diese Feststellung nur für Werte unterhalb einer bestimmten Grenzgeschwindigkeit Geltung besitzt. Da oberhalb dieser Grenze, die etwa der Fallgeschwindigkeit der Flüssigkeitstropfen entspricht, eine Anwendung von Abscheidern ebenfalls zwecklos ist, schalten diese Geschwindigkeitswerte für unsere Betrachtungen aus und wir wenden uns damit einer anderen wichtigen Aufgabe zu, nämlich der Untersuchung über den Einfluß von Flüssigkeits-Abscheidern auf den bereits in seiner Bedeutung schon hervorgehobenen Ansatzpunkt der Grenzlinie in der Abhängigkeits-Darstellung zwischen Q' und v . Was hierbei wieder von besonderem Interesse sein dürfte, ist die vergleichsweise Gegenüberstellung der drei bisher angewandten Abscheidervorrichtungen: Roste, Füllkörperschichten und Schirmglocken.

Das nächste Bild zeigt nun diese Grenzkurven, wobei als Vergleich ein normaler Glockenboden mit einem Bodenabstand von 300 % herangezogen wurde. Man erkennt, daß die Füllkörperschicht und die Schirmglocke im Hinblick auf den Ansatzpunkt, und damit in ihrer eigentlichen Aufgabe, die besten Ergebnisse liefern. Der charakteristische Verlauf dieser beiden Kurven in ihrer weiteren Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ist jedoch sehr verschieden; während die Schirmglocke noch einen ziemlichen Belastungsbereich bis zum restlosen Flüssigkeitsübertritt nach oben zugänglich ist, geht die Grenzkurve der Füllkörperschicht kurz nach ihrem Ansatzpunkt steil in die Höhe. Die obere Belastungsgrenze ist hier also viel ausgeprägter und direkt als sprunghaft anzusehen. Eine mittlere Stellung nimmt der Spritzschutz durch Anwendung von Rosten ein; er ist jedoch mitbezug auf die Lage des

Ansatzpunktes nicht ganz als gleichwertig zu betrachten. Es läßt sich im Vergleich mit dem Verlauf der Grenzkurve eines ungeschützten Glockenbodens mit hohem Bodenabstand weiterhin sehr deutlich erkennen, da die Anwendung eines Spritzschutzes gegenüber der Erhöhung des Bodenabstandes doch erhebliche Vorteile mit sich bringt. Aus den gezeigten Meßergebnissen geht hervor, daß die Grenzgengeschwindigkeiten bis zum Ansatzpunkt nahezu verdoppelt werden können. Noch drastischer wirkt der Unterschied, wenn zu diesem Vergleich die Grenzkurven geringerer Bodenabstände herangezogen werden, wie dies ebenfalls auf dem Bilde andeutungsweise geschehen ist.

Für den Fall, daß die somit als vorteilhaft erkannte Wirkung eines Spritzschutzes ausgenutzt werden soll, läßt sich auch die Frage nach dem Bodenabstand unter vereinfachten Gesichtspunkten beantworten. Er besitzt nämlich in diesem Falle den einzigen Einfluß auf die obere Belastungsgrenze der Kolonne, da die Rücklauf-Flüssigkeit in dem Augenblick zu stauen beginnt, wo der Druckverlust und damit der Wert größer wird als der Bodenabstand; er hängt also nur noch unter Berücksichtigung der Druckverlustziffer des Bodens von der gewünschten oberen Leistungsgrenze ab und ist somit der Berechnung ohne Weiteres zugänglich. Die Vorgänge, die sich in einer nach solchen Gesichtspunkten berechneten Kolonne bei Übersteigerung der oberen Belastungsgrenze abspielen, lassen sich an einem Modellversuch sehr anschaulich verfolgen. Es tritt nämlich eine Absperrung des Rücklaufes durch den wachsenden Überdruck ein, der sich aber nur auf den obersten Boden auswirkt und die gesamte Rücklaufmenge dort zurückhält.

Wir zeigen Ihnen hier eine kleine Laboratoriums-Kolonne, die nach den letzten von Herrn Oberingenieur Röcke bereits entwickelten Gesichtspunkten unter Anwendung des Randaustausch-Prinzipes ausgeführt ist und demzufolge keine gegenseitige Abdichtung der einzelnen Böden besitzt. Sobald die Dampf- bzw. in diesem Falle die Luftgeschwindigkeit über das höchstzulässige Maß gesteigert wird, stellt sich sofort deutlich wahrnehmbar der Flüssigkeitsstau auf dem obersten Boden ein, während sich die übrigen Böden langsam entleeren. An dieser Kolonne lassen sich außerdem noch eine Reihe anderer aufschlußreicher Beobachtungen machen, zunächst die Gleichsinnigkeit der Flüssigkeits- und Dampfführung bei Aufgabe von Farbflüssigkeiten. Aufgrund der Bodenkonstruktion ist die Flüssigkeits-Steuerung zwangsläufig gegeben, sodaß sich im Kleinen genau dieselben Vorgänge auch in technischer Hinsicht vollziehen, wie später im Großen. Ein weiterer für die Arbeitsweise einer Kolonne sehr nachteilig auswirkender Einfluß ergibt sich aus der Eigenschaft der

Schaumbildung eines Flüssigkeitsgemisches. Um dieses in der kleinen Kolonne herbeizuführen, geben wir dem Wasser eine Schaumbildungs-Substanz z.B. NEKAL bei und verfolgen die Wirkung der Flüssigkeits-Abscheidung. Es zeigt sich, daß der Schaum auf dem Boden zwar entsteht, aber durch Anprall an den Abscheideflächen in der Hauptsache zerschlagen wird und daher nicht mehr in den nächsten Boden gelangen kann. Der freie Raum über dem letzten Boden füllt sich demgegenüber vollständig mit Schaum aus und würde ohne Abscheider ungehindert in den nächsten Boden eintreten.

Dasselbe zeigt sich auch auf den beiden nächsten Bildern an 2 Glas-kolonnen im Technikums-Maßstab. Hierbei handelt es sich nicht um einen Vorgang am System Hart-Wasser, sondern um ein in beiden Kolonnen in gleicher Weise eingesetztes, schäumendes Destillations-gemisch.

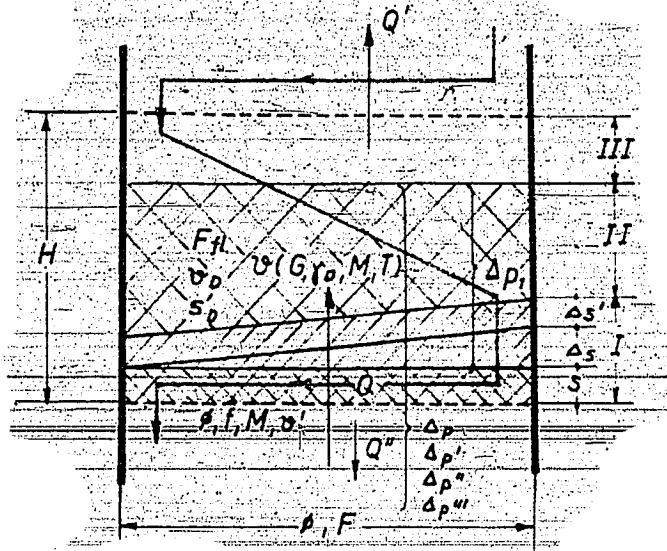
Damit habe ich Ihnen in der Hauptsache den augenblicklichen Stand unserer umfangreich geplanten Untersuchungen auf dem Gebiet der Destillation zur Kenntnis gegeben.

Die weitere Verfolgung des aufgezeichneten Versuchsprogramms wird noch einen sehr ausgedehnten Arbeitsinsatz erfordern. Die Zielsetzung ist so gewählt worden, daß durch vollkommene Zerlegung aller Einflüsse und die exakte zahlenmäßige Erfassung der Veränderlichen, ein Weg beschritten werden kann, der die Kolonnen in einfacherer Weise voraus bestimmen läßt, als über den Umweg der Verstärkungs-messungen, an der alle Faktoren zwar beteiligt, aber in ihren Einflüssen nicht immer genau beurteilbar sind.

Querstrom - Schema.

Bild 1

Schematische Gesamtdarstellung des Querstromprinzips
und seiner Veränderlichen.



H	Bodenabstand	mm	Δs	Flüssigkeitsstau a.d. Boden	mm
U	Dampfgeschwindigkeit bez. a. F	m/sec	$\Delta s'$	Überlaufstau am Rücklaufrohr	mm
U'	Dampfgeschwindigkeit in den Durchtrittsöffnungen	m/sec	F	Kolonquerschnitt	m ²
G	Dampfmenge	g/sec	f	Gesamter Dampföffnungsquerschn.	dm ²
V	Dampfvolumen	m ³	γ	Widerstandsziffer des Bodens	
γ_0	Spez. Dampfgewicht	kg/l	F_{fl}	Wirksame Austauschfläche der Flüssigkeit	
γ_f	Spez. Flüssigkeitsgewicht	kg/l	s_D	Austauschweg der Dämpfe	
M	Molekulargewicht		U_D	Austauschgeschwindigkeit der Dämpfe	
T	Absolute Siedetemperatur				
Q	Flüssigkeitsmenge	l/h			
Q'	Mitgerissene Flüssigkeitsmenge	g/sec	Δp	Gesamt druckverlust des Bodens	
Q''	Tropfende Flüssigkeitsmenge	g/sec	$\Delta p'$	Druckverlust durch Dampfströmung	
s	Flüssigkeitsstand		$\Delta p''$	Druckverlust durch Flüss. Stand	
			$\Delta p'''$	Druckverlust durch Oberfl. Spannung	
			Δp_1	Druckverlust durch Abscheider	

Unabhängige Veränderliche:

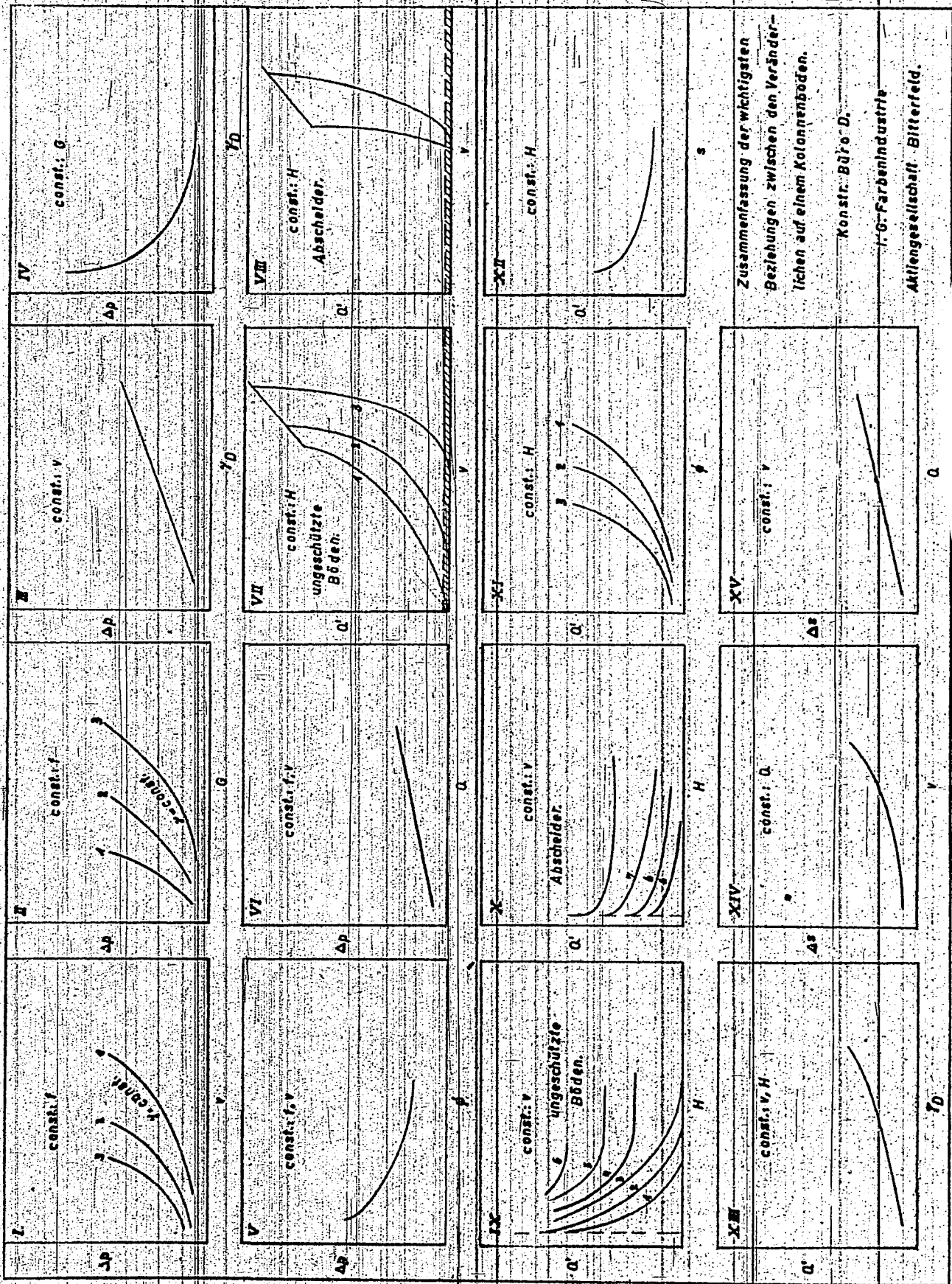
$H, U(G), Q, T, \phi, \gamma, s, \gamma_0, M, \gamma_f$

Sonstige Einflüsse:

Flüssigkeitsführung, Flüssigkeitsverteilung, Schaumbildung, Schräglage d. Böden.

Abhängige Veränderliche:

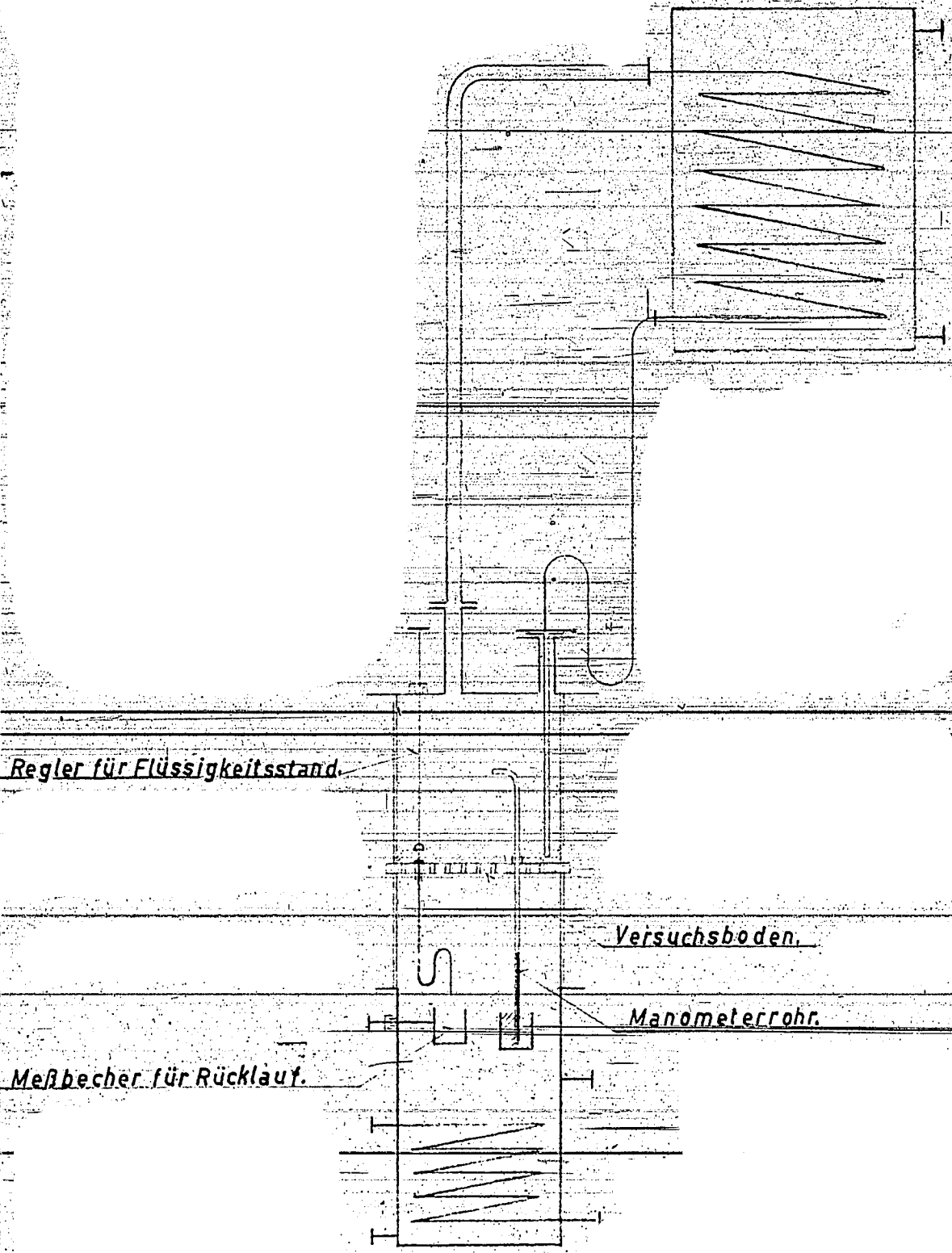
$\Delta p, Q', Q'', F_{fl}, \Delta s, \Delta s', \Delta s''$



Meßapparat zur Bestimmung der
Widerstandsziffer ξ .

23862
Konstr. Büro
D.

Bild 3

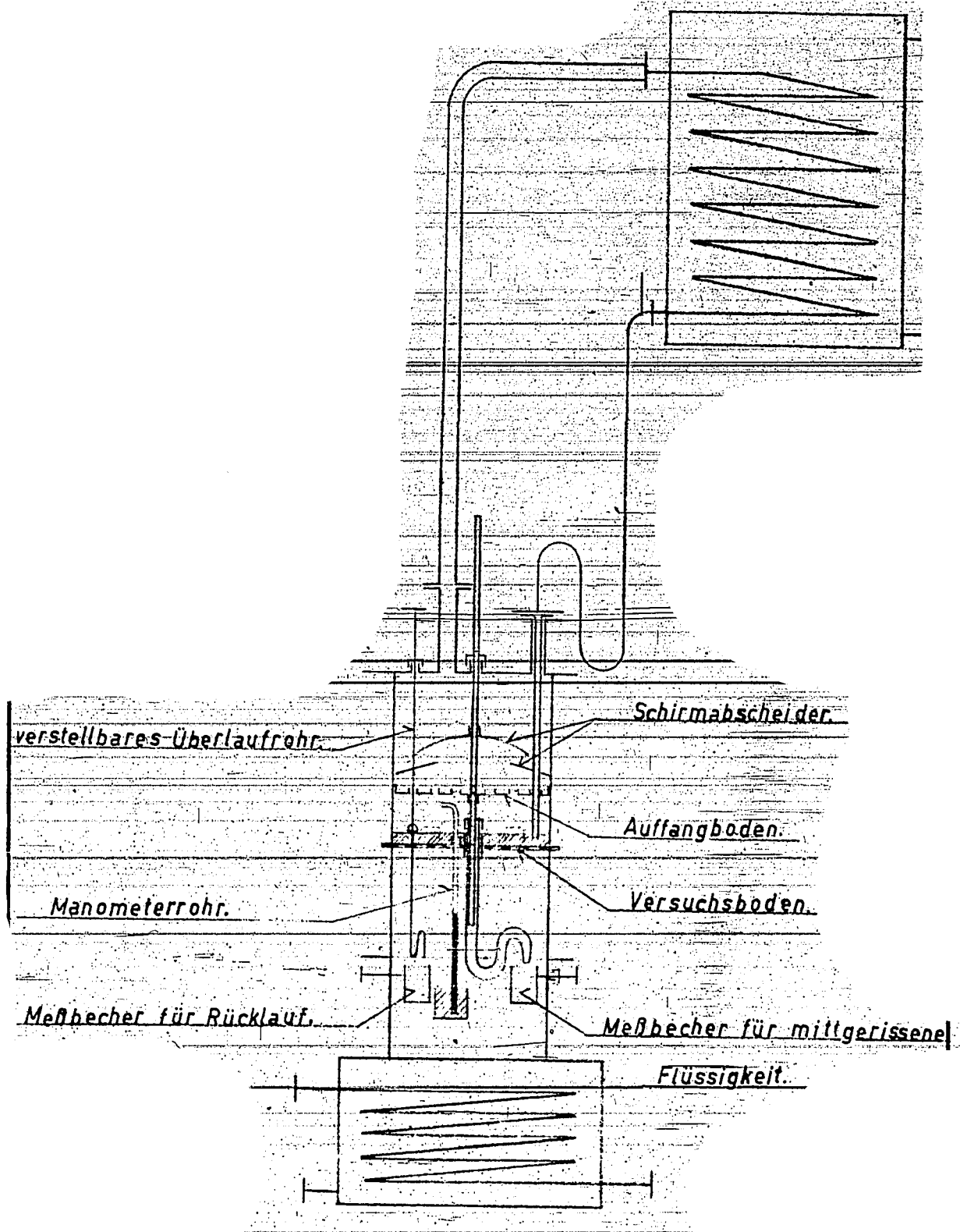


I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Bitterfeld

Meßapparat für Druckverluste u. Belastungs-
grenzen von Destillierböden.

23863
Konstr. Büro
D.

Bild 4

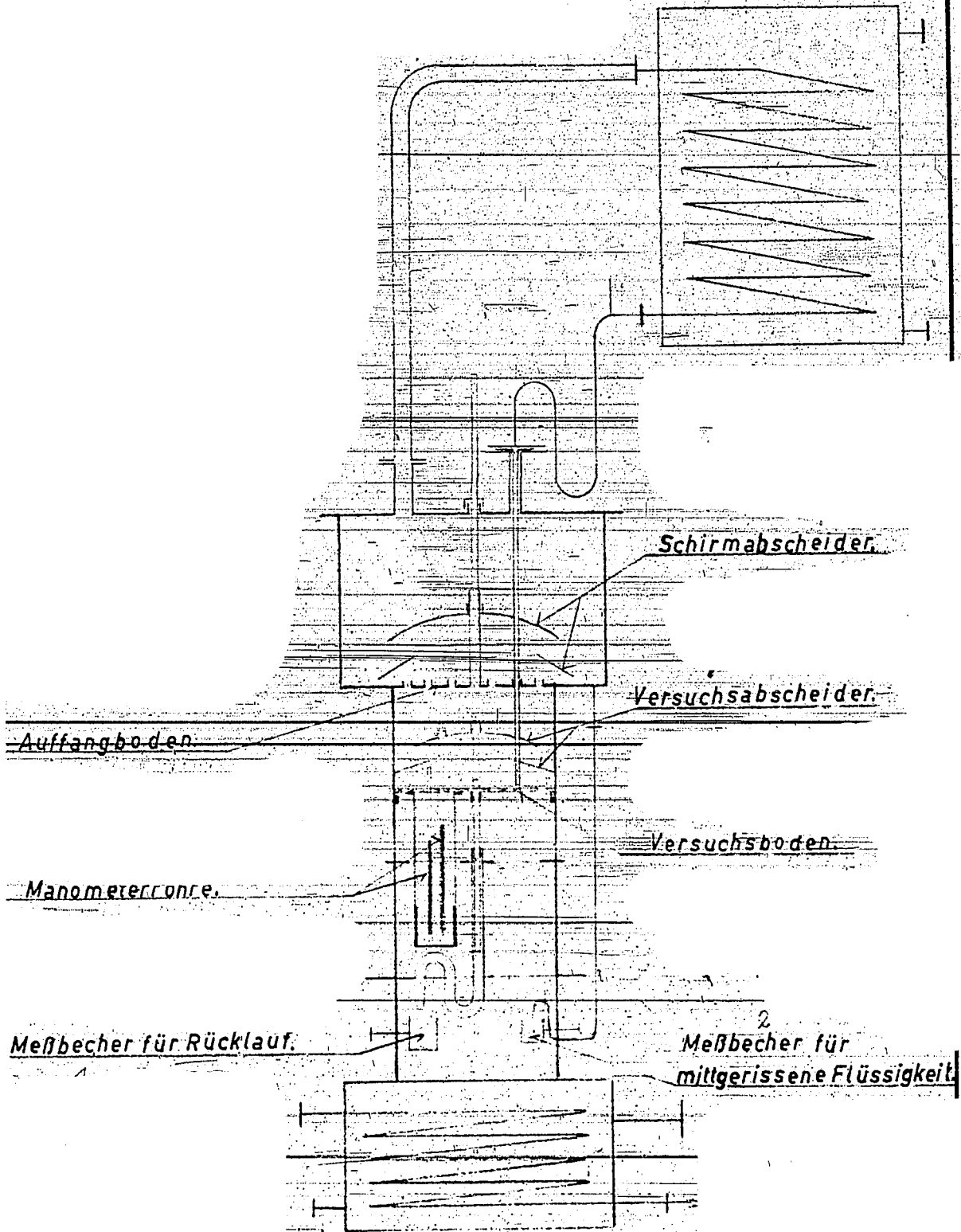


I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Bitterfeld

Messapparat zur Bestimmung von Druckverlusten
u. Belastungsgrenzen von Destillierböden.

23864
Konstr. Büro
D.

Bild 5

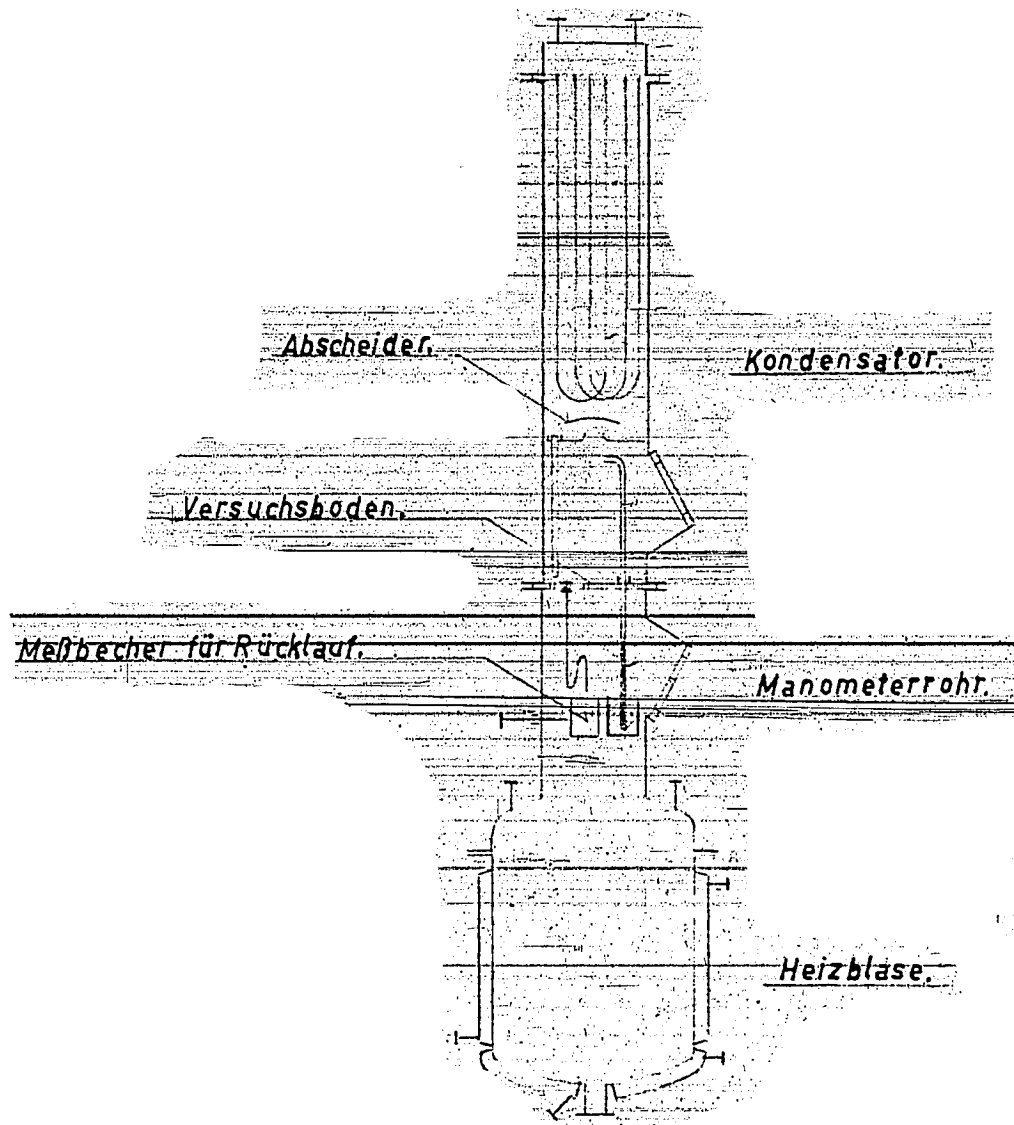


Meßapparat zur Bestimmung der
Abhängigkeit zwischen Δp u. γ

23865

Konstr. Büro
D.

Bild 6

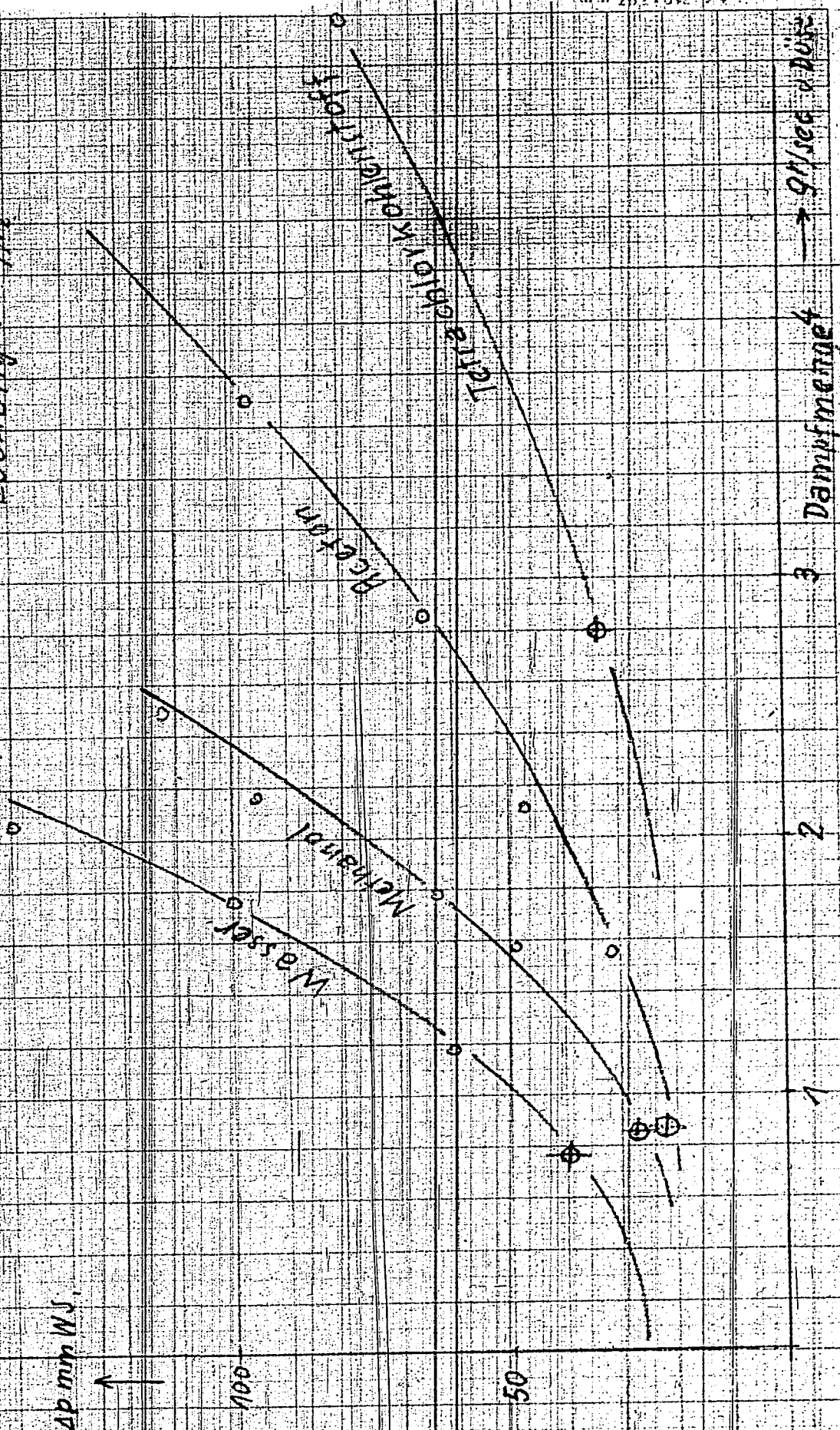


I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Bitterfeld

Bild 7
23866

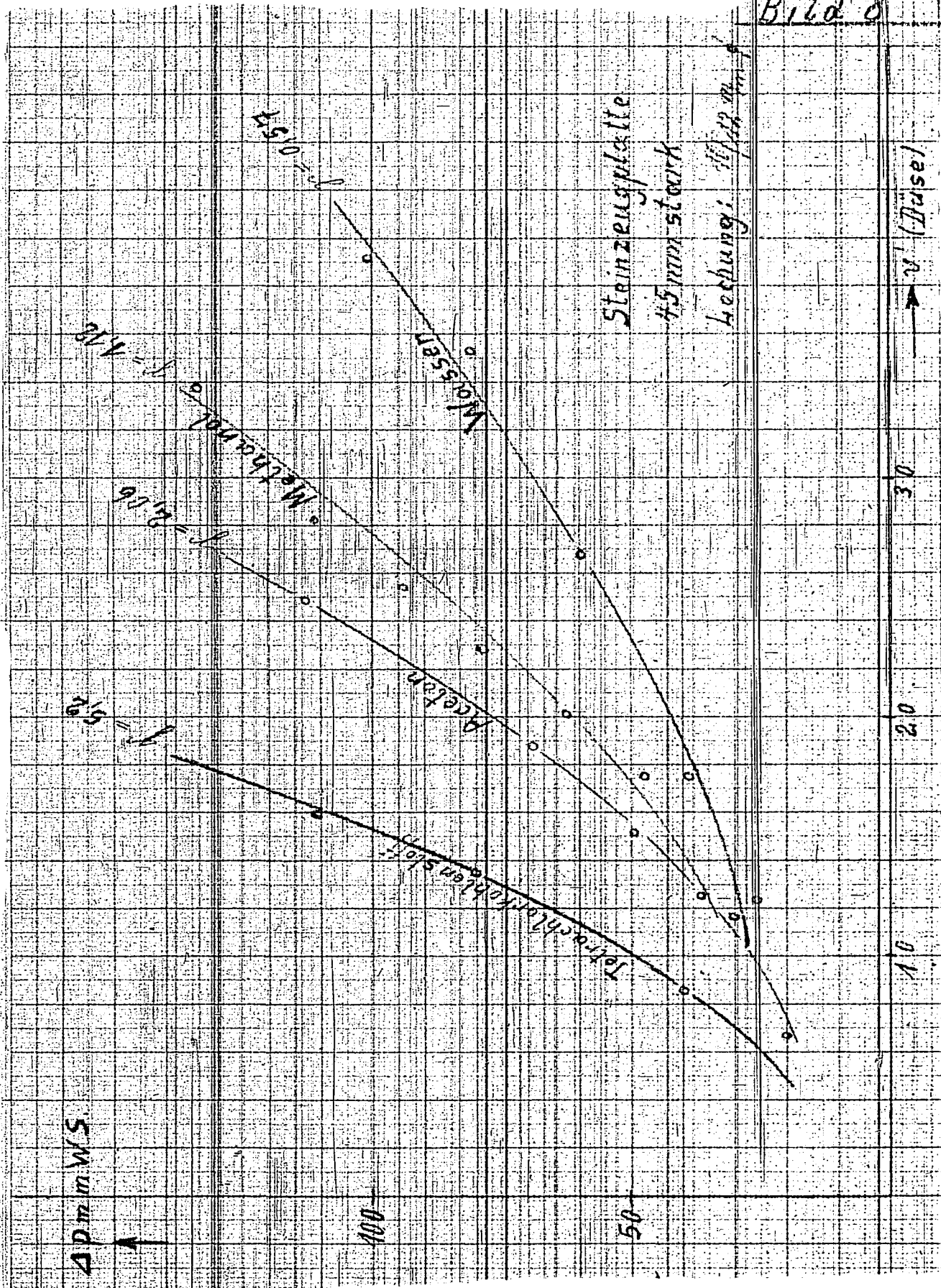
150
100
50
 Δp mm WS
↑

Steinzeugplatte 45 mm stark
Lochung: 10/10



A 4.290 x 297 mm

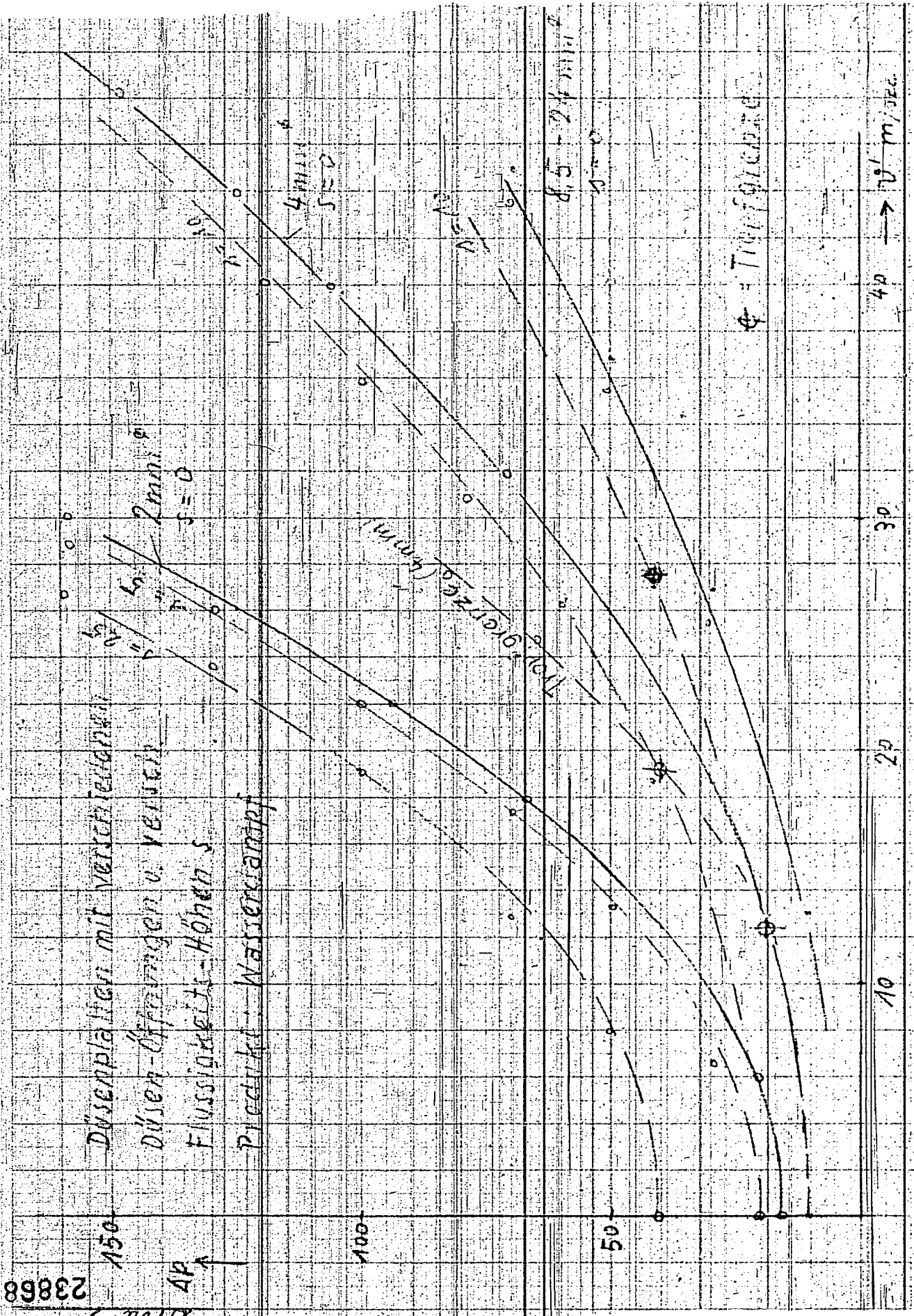
Bild 8



23868

Bild 9

Düsenplatten mit verschiebbaren
 Düsen-Öffnungen o. verschiebbaren
 Flüssigkeits-Höhen s
 Produkt-Wasserdampf



AP

40 → v [m/sec]

φ = Trennfugebreite

Nenngröße (mm)

d,5 - 24 mm

N=13

4mm
5mm

2mm
s=0

23869

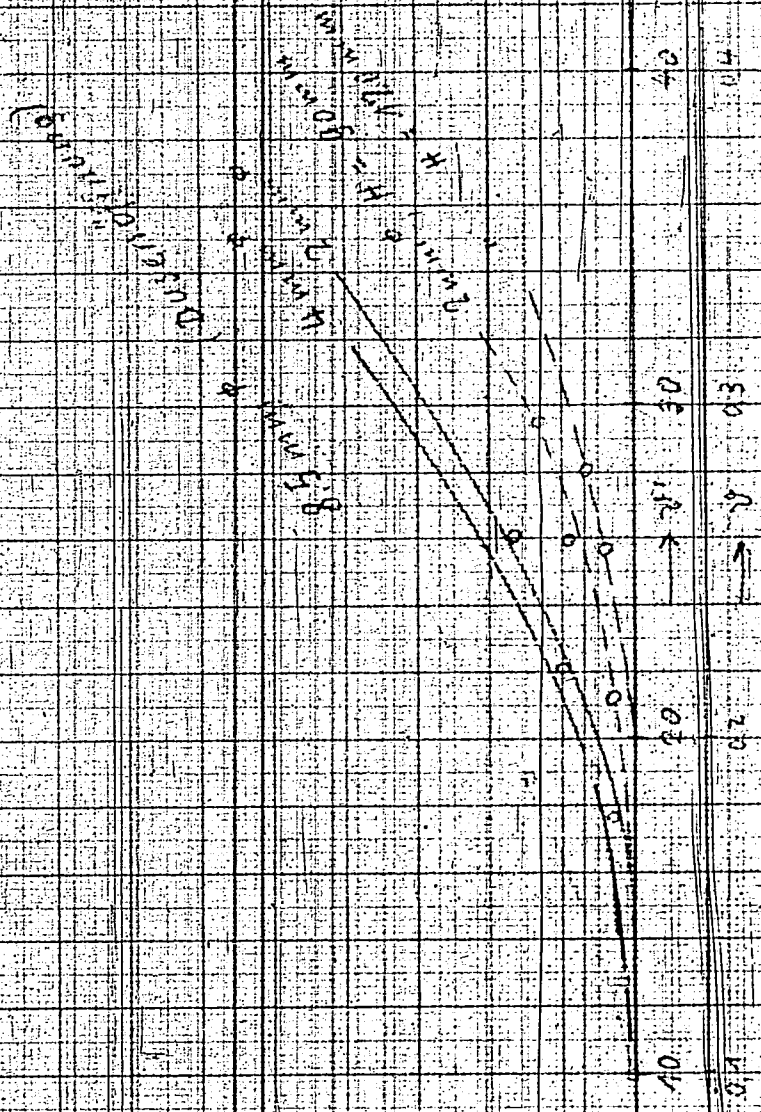
Bild 9a

0 973ae

Düsenplatten mit verschiedenen
 Düsenöffnungen
 Produkt Wasserdruck
 Bohrerabstand: $H = 70 \text{ mm}$

11

5



10

20

30

40

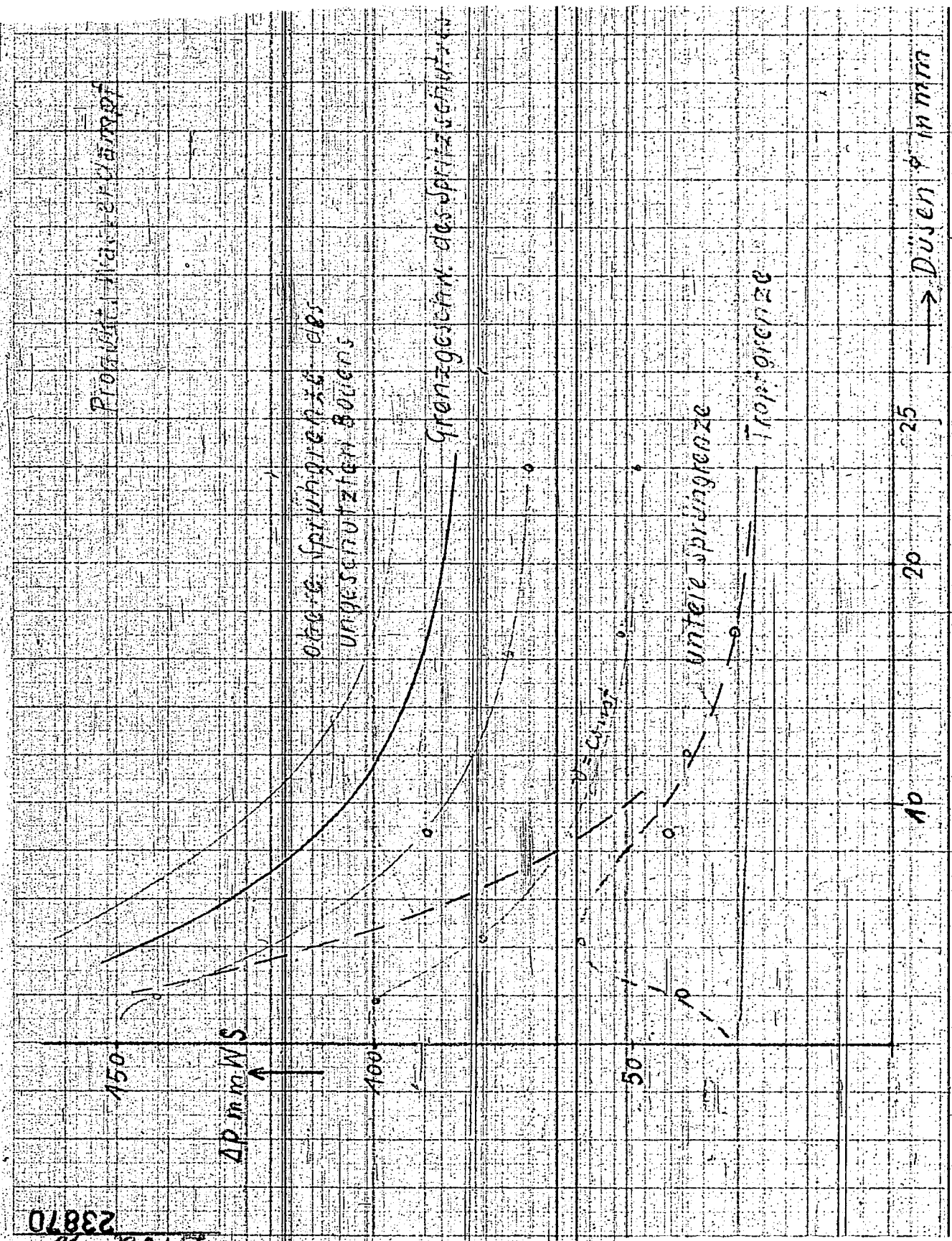
01

02

03

04

Bild 10
23870



Fließmitt. in der Höhe

→ Düsen ϕ in mm

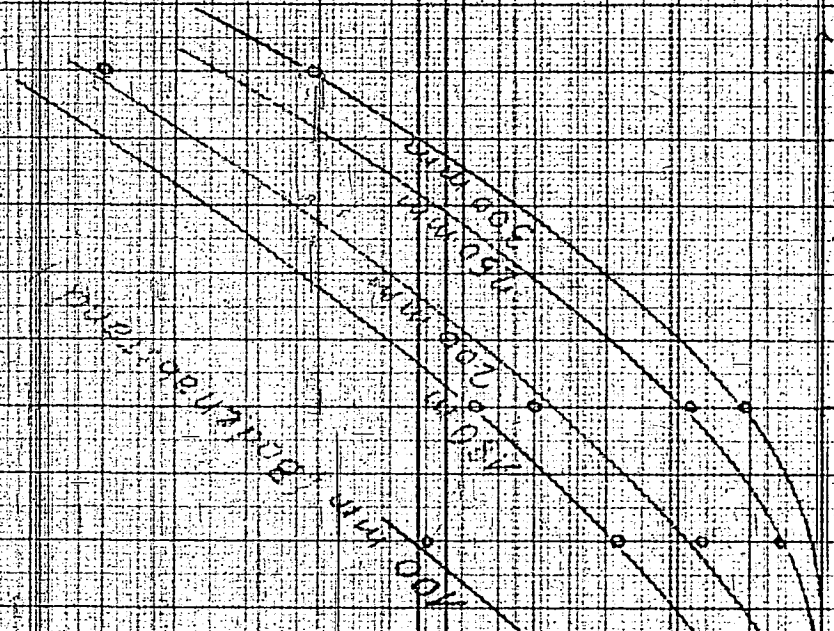
Bild M
23871

Stoßboden 300 mm
System: Luft-Wasser

$\frac{D}{m}$

mm

mm



Stoßboden
300 mm

20

10

0,5

10

20

30

40

50

60

70

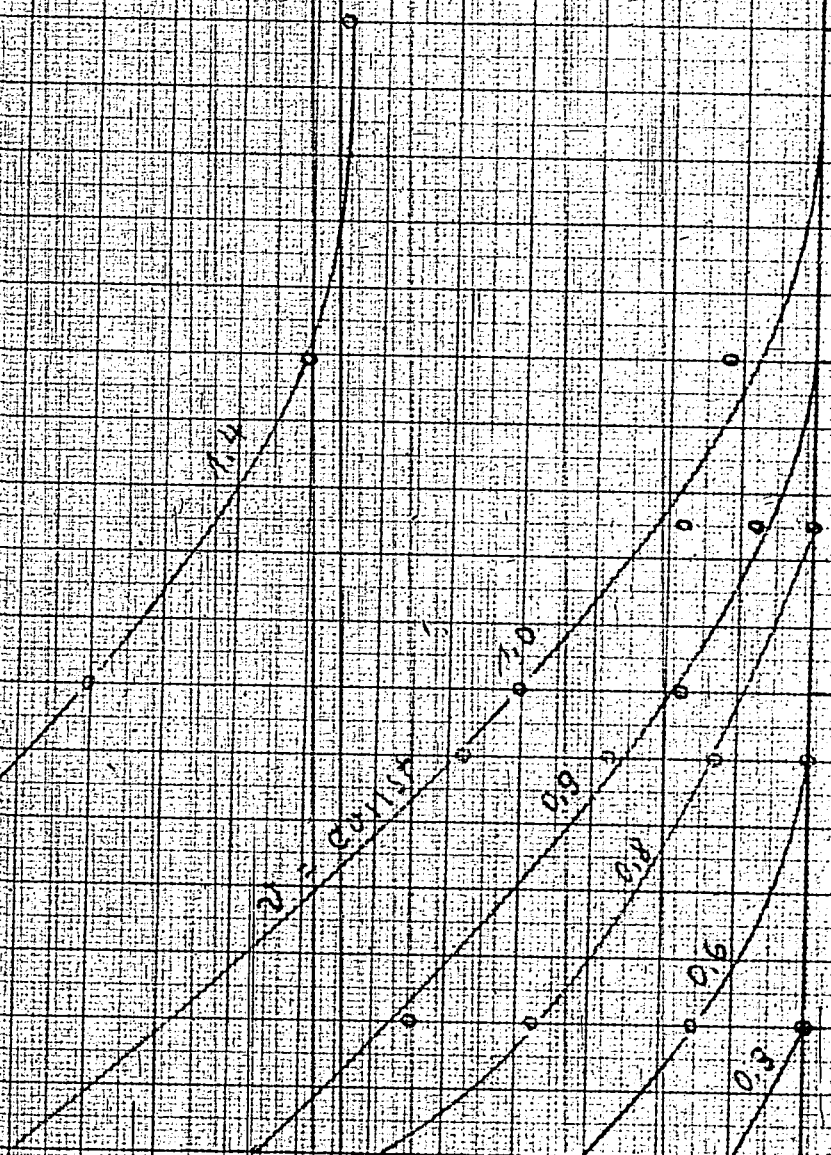
80

90

100

Glockenboden 3000
System: Luft-Wasser

→ Gänge



↔ Bodenabstand H

System Luft - Wasser

1) Glockenboden, ungeschützt

2) Fullkörper 15x15

3) Rostabscheider einfach

4) " " doppelt

5) Schirmglocke

H = Bodenabstand

H = 180 mm

H = 65 mm

H = 12

5

2

3

4

3

4

5

10

15

20

Luftgeschwindigkeit

v in sec

30

Wasser

Mittlere Flüssigkeitsmenge

40

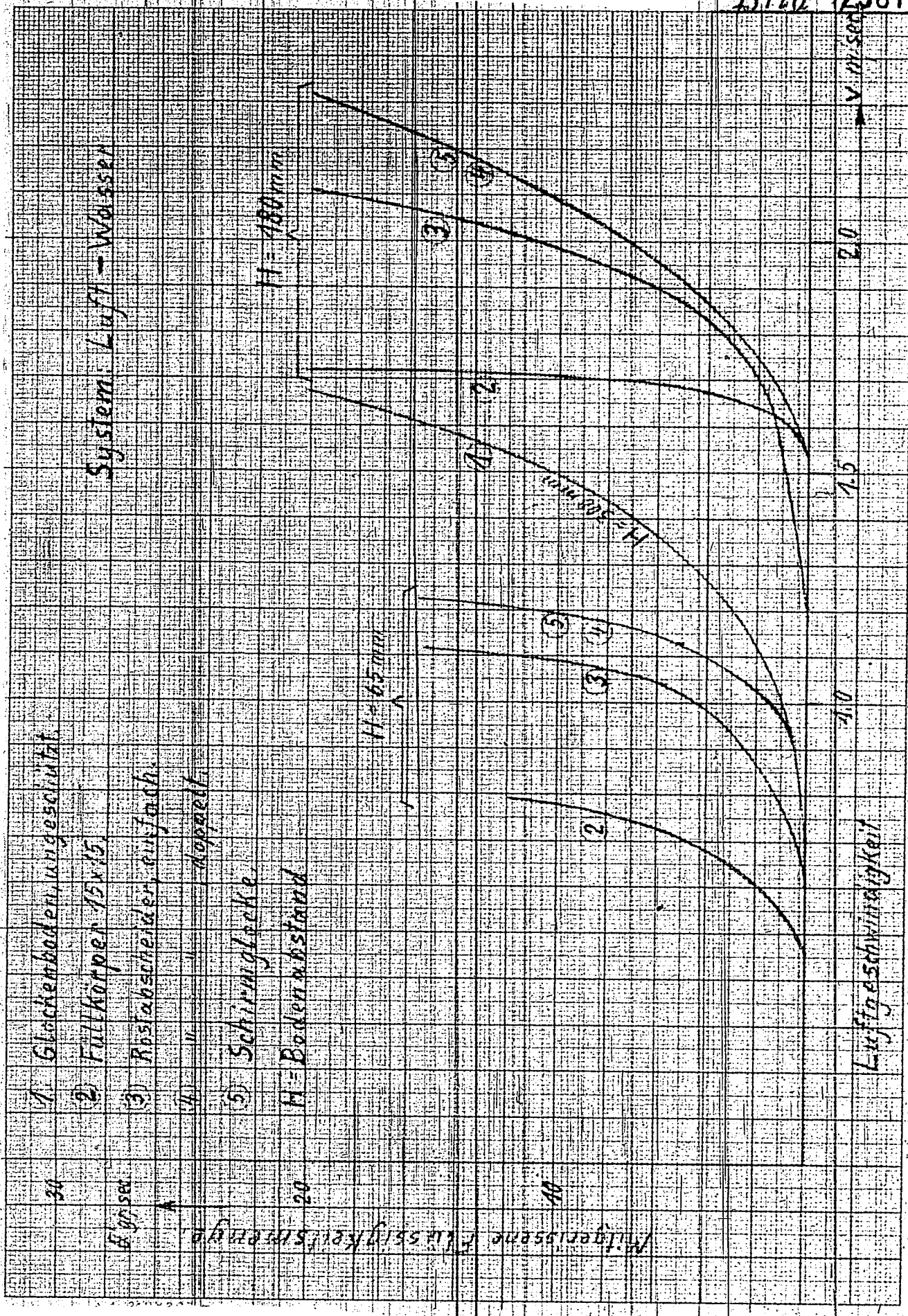
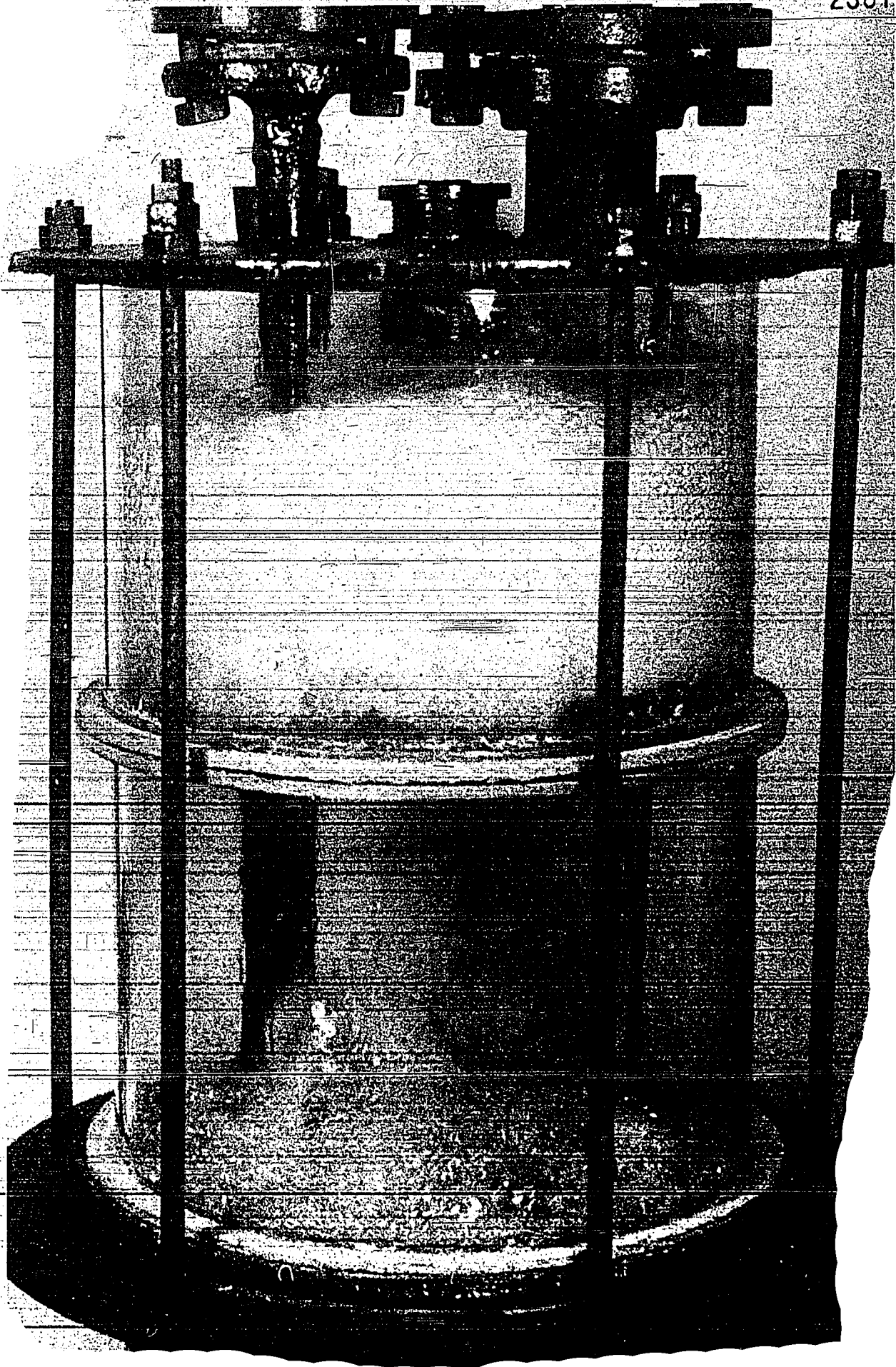
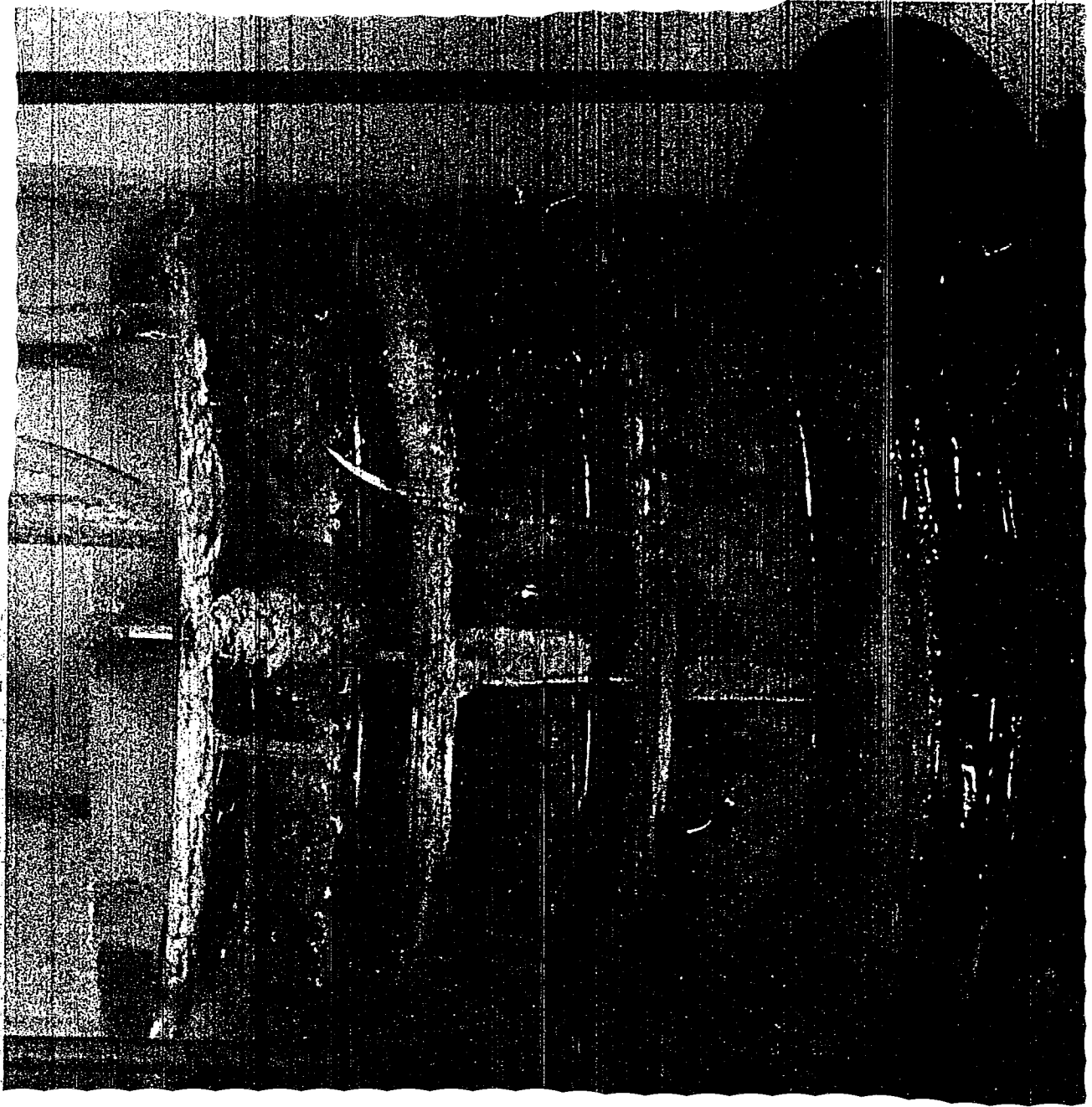
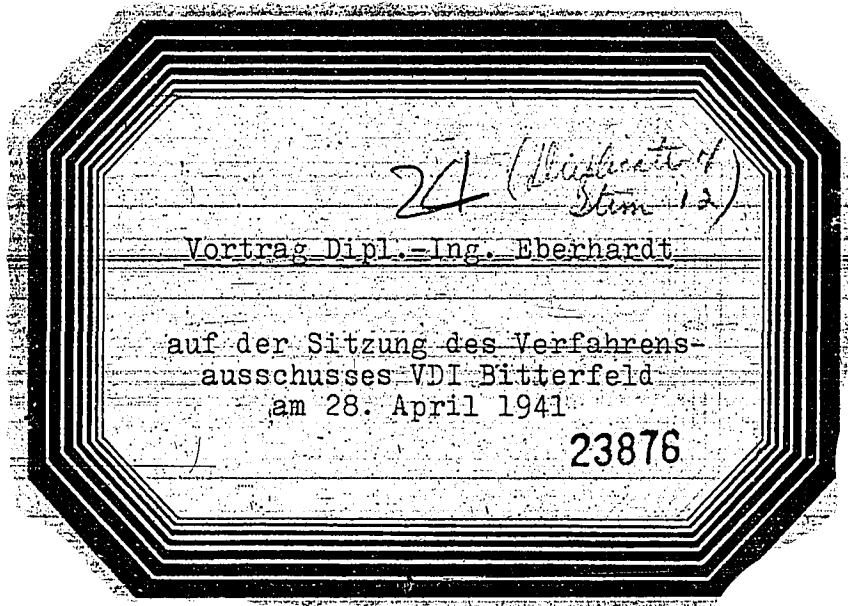


Bild 23874



B.H. 23875





360

23877

Untersuchungen

über Druckverluste und Belastungsgrenzen

unter besonderer Berücksichtigung

der Austauschwirkung bei Rektifizierböden.

— 0 —

April 1941

360

Der Austauschvorgang zwischen Flüssigkeit und Dampf im Querstrom ist, zunächst rein physikalisch betrachtet von verschiedenen zahlenmäßig erfaßbaren Veränderlichen abhängig und ebenso an bestimmte Voraussetzungen gebunden. Nach den heutigen theoretischen Erkenntnissen ist es ohne weiteres möglich, sich ein klares und zusammenhängendes Bild über die physikalischen Notwendigkeiten zu machen, um die geeignetsten Bedingungen für den bestmöglichen Trenneffekt zu erzielen. Schwieriger wird die Aufgabe erst dann, wenn es sich darum handelt, eine Vorrichtung ausfindig zu machen, die sowohl die physikalischen Voraussetzungen restlos erfüllt, als auch die betrieblichen, herstellungstechnischen und werkstoffbedingten Notwendigkeiten in zufriedenstellender Weise berücksichtigt.

Die folgenden Untersuchungen haben nun den Zweck, die in Erscheinung tretenden Faktoren, sowie die wichtigsten Beziehungen der Veränderlichen untereinander zu erfassen. Es sollen außerdem die Leistungsgrenzen verschiedener Konstruktions-Maßnahmen durch folgerichtige Untersuchungen festgestellt werden.

Bild 1 enthält in schematischer Darstellung sämtliche Veränderlichen, die den Austauschvorgang auf dem Kolonnenboden beeinflussen, oder von ihm abhängig sind. Sie lassen sich, wie eben schon angedeutet in zwei Gruppen unterscheiden: in solche, die durch Konstruktion und Belastung der Kolonne festgelegt sind und in solche, die davon abhängig sind, und die in erster Linie die Leistungsfähigkeit der Kolonne bestimmen. Da für Vergleichsmessungen die Belastung als konstant festgelegt werden kann, stellen die letztgenannten Größen einen direkten Maßstab für die Beurteilung einer Kolonnen-Konstruktion dar, vorausgesetzt, daß dieselben durch geeignete Untersuchungs-Methoden eindeutig genug ermittelt werden können. Um ein ordnendes Prinzip in die Vielzahl der hier aufgezeigten Faktoren zu bringen, ist es zweckmäßig, durch folgerichtige Überlegungen zunächst einmal festzustellen, an welche Voraussetzungen der Austauschvorgang im Querstrom und seine mehrfache Wiederholung in der Hauptsache gebunden sind.

1.) Die Flüssigkeits- und Dampfphase treten getrennt in die Austausch-Vorrichtung ein und müssen dieselbe ebenfalls wieder getrennt verlassen. Die Werte Q' und Q'' , welche die mitgerissene und die durch den Boden hindurchtropfende Flüssigkeitsmengen darstellen, müssen gleich oder angenähert null sein. Sie werden im Wesentlichen bestimmt durch die Dampfgeschwindigkeit v , das Dampfgewicht ρ_D , den Bodenabstand H und durch die Konstruktion des Bodens. Die Zone III muß flüssigkeitsfrei sein.

2.) Die Flüssigkeit muß auf dem Boden während des Austauschvorganges eine große wirksame Oberfläche besitzen, und nach Möglichkeit in zerstäubter Form und in räumlicher Verteilung mit den Dämpfen in Berührung kommen. Der Bewegungszustand muß hochgradig turbulent und der Austauschweg ebenfalls möglichst groß sein, d.h. die Werte F_{fl} , v_D , s_D müssen zu diesem Zweck durch Betriebszustand und Konstruktion des Bodens in ausreichender Größe vorhanden sein. Die Zone II (Austauschzone) muß durch die Bodenkonstruktion besondere Berücksichtigung finden.

3.) Die zum Austausch gelangenden Flüssigkeits- und Dampfmengen müssen unter Berücksichtigung der Gleichsinnigkeit durch Regelung der Flüssigkeitsströmung so aufeinander abgestimmt sein, daß sich mengenmäßig überall dieselben örtlichen Bedingungen ergeben. (Strömungs-Steuerung).

4.) Die beiden Phasen dürfen sich gegenseitig in ihren Hauptströmungswegen zwecks Vermeidung von Stau-Erscheinungen nicht störend beeinflussen. Die Vorrichtung muß so beschaffen sein, daß der geringstmögliche Widerstand auf den beiden Strömungswegen erzielt wird. Rücklaufstörungen sind, abgesehen von Verstopfungen in erster Linie bedingt durch Δp , Δs , $\Delta s'$ und H .

5.) Bezüglich der praktischen Ausführung müssen betriebliche, herstellungstechnische und werkstoffbedingte Voraussetzungen in zufriedenstellender Weise berücksichtigt werden.

Nach dieser zusammenstellenden Betrachtung ist weiterhin eine übersichtliche Darstellung der wichtigsten Gesetzmäßigkeiten innerhalb der Beziehungen der einzelnen Faktoren untereinander von Vorteil. Hier sind es in erster Linie die Veränderlichen Δp , Δs , Q' die in Abhängigkeit der übrigen Größen, in der Hauptsache mit v , ρ_D , ρ_F , H , Q , s , f usw. dargestellt, und durch exakte Versuche erfasst werden müssen. Die Abb. 2 gibt zunächst den vermutlichen, durch reine Überlegung feststellbaren Kurvenverlauf wieder.

Δp in Abhängigkeit von v entwickelt sich aus der Gleichung

$$\Delta p = \xi \cdot \rho_D / 2g \cdot v^2 \quad (1)$$

Die maßgebenden Einflüsse für die Charakteristik dieser Parabel sind also die Widerstandsziffer ξ und das spez. Dampfgewicht ρ_D . Hat man v experimentell ermittelt, so läßt sich auf dieser Gleichung die Widerstandsziffer errechnen, da die Stoffkonstante ρ_D ebenfalls bekannt ist.

$$\left[\xi \cdot \rho_D / 2g = \xi_1 \right]$$

Es ist aber nicht die einfachste Methode die Geschwindigkeit v direkt zu messen, sondern beim Experimentieren hat es sich als wesentlich

zweckmäßiger erwiesen, das direkte Dampfgewicht pro Zeiteinheit in Form des niedergeschlagenen Kondensates zu messen. Die Gleichung muß also dementsprechend umgeformt werden.

$$G = V \cdot \rho_D, \quad V = v' \cdot f$$

$$\Delta p = \xi \frac{\rho_D / 2g}{f^2 \rho^2} \cdot v'^2 \cdot f^2 \cdot \rho^2$$

$$= \xi / \rho_D 2g f^2 \cdot G^2 \quad \left[\xi / \rho_D 2g f^2 = \xi_2 \right]$$

$$\xi = \xi_2 \cdot (\rho_D 2g f^2) = \xi_2 \cdot \text{const.}$$

$$\xi = \frac{\Delta p}{G^2} \cdot \text{const.} \quad (2)$$

Mit Hilfe dieser Beziehung läßt sich unter Verwendung einer ebenso einfachen Versuchsanordnung, auf die später näher eingegangen wird, die Druckverlustziffer an beliebigen Stoffen und unter beliebigen Druckverhältnissen auf die schnellste und einfachste Weise messen. Auf den Verlauf dieser Kurven machen sich noch weitere Einflüsse geltend und zwar in der Hauptsache die Oberflächenspannung und der Flüssigkeitsstand. Wie aus den nachfolgenden Versuchsergebnissen hervorgeht, addieren sich beide zu den strömungstechnisch bedingten Werten. In diesem Zusammenhang muß der Einfluß der verschiedenen Stoffe auf die Widerstandsziffer ebenfalls festgestellt werden.

Für die Planung und Konstruktion von Destillier-Kolonnen, insbesondere bei Vakuum- und Druckkolonnen ist die Kenntnis über die Beziehung zwischen Δp und ρ_D von besonderer Wichtigkeit. Sowohl bei konstanter Dampfgeschwindigkeit als auch bei mengenmäßig konstantem Durchsatz. Beide Funktionen lassen sich ebenfalls aus Gleichung 1 ableiten.

$$\Delta p = \xi \cdot \rho_D / 2g \cdot v'^2 \quad G = f \cdot v' \cdot \rho_D$$

$$v' = \frac{G}{f \rho_D} = \mu \cdot f \sqrt{2g / \rho_D} \cdot \Delta p \quad v' = \frac{G}{f \rho_D}$$

$$v' = \mu \cdot \sqrt{2g \cdot \rho_D \cdot \Delta p} \quad \mu = \sqrt{\frac{1}{\xi}}$$

oder: $G = v' \cdot \rho_D = f \cdot \mu \cdot \sqrt{2g \cdot \rho_D^2 \cdot \Delta p}$

$$G = f \cdot \mu \cdot \sqrt{2g \cdot \rho_D \cdot \Delta p} \quad (3)$$

Soll nun Δp in Abhängigkeit von p_D bei konstantem v ermittelt werden, so muß die Beziehung unter der Wurzel als konstant angenommen werden. Daraus ergibt sich:

$$2g/p_D \cdot \Delta p = \text{const}$$

$$\Delta p = C \cdot p_D \quad (4)$$

Die Funktion verläuft also linear.

Δp in Abhängigkeit von p_D bei konstantem Durchsatz ergibt sich aus Gleichung 3, wieder unter der Voraussetzung, daß der Wurzelausdruck konstant ist.

Wir erhalten:

$$2g \cdot p_D \cdot \Delta p = \text{const}$$

$$p_D \cdot \Delta p = C \quad (5)$$

Diese Funktion verläuft hyperbolisch.

Daraus ergibt sich also, daß bei konstantem Durchsatz der Druckverlust bei kleiner werdendem p_D hyperbolisch ansteigt. Dieses Erkenntnis ist besonders wichtig für die Beurteilung von Vakuum-Kolonnen.

Das p_D selber errechnet sich aus der thermodynamischen Zustandsgleichung wie folgt:

$$p \cdot v = R \cdot T$$

$$v = \frac{1}{p_D} \cdot R = \frac{848}{M}$$

$$p_D = \frac{p}{R \cdot T} = \frac{p \cdot M}{848 \cdot T}$$

Eine weitere wichtige Beziehung ist der Einfluß des Lochdurchmessers oder des vergleichbaren Durchmessers der Durchtrittsöffnungen für die Dämpfe bei konstantem Gesamtöffnungsquerschnitt auf p . Diese Beziehung läßt sich rechnerisch kaum verfolgen und muß empirisch festgestellt werden; es ist jedoch bekannt, daß bei größeren Durchmessern die Widerstandsziffer kleiner wird, außerdem wird die Empfindlichkeit bei kleineren Durchmessern in bezug auf Verkrustung und sonstigen Oberflächen-Einflüssen größer werden. Dies alles wird ebenfalls aus den Untersuchungsergebnissen deutlich.

Es folgt nun eine Serie von sehr wichtigen Zusammenhängen, welche die mitgerissene Flüssigkeitsmenge Q' betreffen. Wie aus Punkt 1. der vorigen Zusammenstellung und Betrachtung über die physikalischen Notwendigkeiten hervorgeht, muß es trotz der weitgehender Auflösung der Flüssigkeit und nach Möglichkeit bei hohen Dampfgeschwindigkeiten auf jeden Fall erreicht werden, daß Flüssigkeit im Dampf vor dem Beginn des nächsten Austauschvorganges vollkommen voneinander getrennt werden. Dies läßt sich auf zwei verschiedene Arten erreichen: entweder der Bodenabstand wird so groß und die Dampfgeschwindigkeit so klein gewählt

daß diese Forderung erfüllt wird, oder man baut Vorrichtungen zwischen die Böden, die die Flüssigkeit abscheiden und auf den Ursprungsboden zurückführen. Bei den Letztgenannten sind wieder verschiedene Wege beschritten worden: 1.) der Einbau von Rosten, 2.) die Verwendung von Füllkörpern als Abscheider und 3.) der Einbau von Flüssigkeitsabscheidern der üblichen Konstruktion mit dem Umlenkprinzip, wie sie z.B. beim Bau von Verdampfern zur Verhinderung des Schaumübertritts angewandt werden. Da die Bestimmung von Q' in Abhängigkeit von v d.h. die Sprügrenzen der eben erwähnten Vorrichtungen nur empirisch möglich ist, muß zu diesem Zweck wieder eine geeignete Untersuchungsmethode eingesetzt werden, die es gestattet, beide Werte mit einfachen Mitteln genau genug zu erfassen und die es darüber hinaus möglich macht, Vergleichsmessungen über die Wirkungsweise der verschiedenen konstruktiven Maßnahmen zur Verhinderung des Flüssigkeits-Übertrittes durchzuführen. Bevor wir uns die Meßergebnisse betrachten, wollen wir uns zunächst wieder durch Überlegung den wahrscheinlichen Verlauf dieser Kurven vergegenwärtigen.

Die mitgerissene Flüssigkeitsmenge Q' wird sich mit wachsender Dampfgeschwindigkeit erst langsam oder kaum merklich, dann schneller solange steigern, bis der Höchstwert, d.h. die gesamte Rücklaufmenge erreicht ist; von da ab wird sie der durchgehenden Dampfmenge direkt proportional. Wichtig für die Beurteilung der Wirkungsweise eines Apparates ist jedoch nicht der eigentliche Kurvenverlauf, sondern nur der untere Ansatz dieser Kurve auf die Abszisse bzw. der Verlauf innerhalb eines noch als zulässig anzusehenden Grenzbereiches. Es ist nun selbstverständlich, daß die Erhöhung des Bodenabstandes diesen Ansatzpunkt auf der Abszisse weiter nach rechts verschiebt, das Gleiche geschieht durch Anwendung eines Flüssigkeits-Abscheiders. Noch deutlicher in bezug auf den Bodenabstand dürfte die Anwendung einer Abscheide-Vorrichtung auf den Darstellungen in Erscheinung treten. Es folgt eine weitere wichtige Beziehung, die jedoch nur einen Sinn bei gleichzeitiger Anwendung einer Flüssigkeits-Abscheidevorrichtung hat: die Beziehung zwischen Q' und dem Loch- ϕ auf einem Sieb- bzw. Düsenboden. Aus ihr ist nämlich der räumliche Verteilungsgrad der Flüssigkeit und damit die wirksame Austausch-Oberfläche erkennbar. Es ist leicht einzusehen, daß die Auflösung mit steigendem Loch- ϕ größer werden muß. Die letzten 3 Darstellungen beziehen sich auf den Flüssigkeitsstand und seine Abhängigkeit von Q' und v . Trotz ihrer Wichtigkeit können sie jedoch im Augenblick nur erwähnungsweise Berücksichtigung finden.

Damit wären die wichtigsten Gesetzmäßigkeiten zusammenhängend besprochen und wir können uns nunmehr der Betrachtung der Versuchs-Apparatur und den Untersuchungs-Ergebnissen zuwenden.

Das Bild 3 zeigt eine einfache Vorrichtung für die Durchführung von Druckverlust-Messungen. Sie gestattet die Verwendung beliebiger Destillations-Gemische oder Produkte zur Bestimmung der Widerstandsziffer an beliebigen Konstruktionen, und macht somit unter weitgehender Anlehnung an die tatsächlichen Betriebszustände des Kolonnenbodens eine absolut sichere Kontrolle der für eine Neuanlage beabsichtigten Konstruktion möglich. Es läßt sich ferner feststellen, ob und in welchen Ausmaßen die Widerstandsziffer von den eingesetzten Stoffen abhängig ist. Die Apparatur besteht aus: Blase mit Heizsystem, auf den zwischen 2 Glaszylindern eingesetzten Versuchsboden und aus dem Kondensator. Das niedergeschlagene Kondensat wird wieder auf den Boden zurückgeleitet und läuft schließlich über ein in der Höhe verstellbares Überlaufwehr in die Blase zurück. Die Flüssigkeitsmenge, die vom Boden in die Blase zurückläuft, entspricht gewichtsmäßig genau den Dämpfen die den Boden durchströmen. Die Messungen lassen sich daher mittels Stoppuhr und Drehbecher sehr genau durchführen. Der Druckverlust zeigt sich durch das eingebaute und von außen zu beobachtende Manometerrohr aus Glas, mit Skala versehen, an. Gemessen wird die Steighöhe der Flüssigkeit und es ergibt sich somit das Verhältnis $\frac{\Delta p}{\rho \cdot h}$, welches für die Bestimmung der Belastungsgrenze aufgrund des vorhandenen Bodenabstandes maßgebend ist. Die Einflüsse, die durch Oberflächenspannung und Flüssigkeitsstand hervorgerufen werden, sind durch diese Vorrichtung der exakten Messung ebenfalls zugänglich.

Das nächste Bild 4 zeigt eine Erweiterung der soeben besprochenen Vorrichtung, durch welche das Mitreißen von Flüssigkeitsteilchen zunächst bei beliebigen, ungeschützten Böden durch direkte Messung verfolgt werden kann. Über dem Versuchsboden ist, in der Höhe verstellbar, ein Auffangboden angeordnet, der die von den Dämpfen mitgerissene Flüssigkeit zwar abscheidet, aber nicht mehr den Ursprungsboden zurückführt, sondern einem Meßbecher zuleitet. Durch Abetappen der Füllzeit lassen sich somit die genauen Werte feststellen. Um nun die Sprühgrenze von Abscheidevorrichtungen selber feststellen zu können ist eine abermalige Erweiterung dieser Vorrichtung notwendig u. zw. in der Weise, daß die zusätzliche Auffangvorrichtung eine Querschnitts-Erweiterung erfährt.

Bild: 5 Damit können die Leistungsgrenzen und die Wirkungsbereiche der mit beliebigen Abscheidevorrichtungen versehenen oder mit anderen diesen Zweck dienlichen Maßnahmen ausgestatteten Kolonnenböden festgestellt werden.

Eine Vorrichtung zur direkten Messung der Abhängigkeit zwischen A/P zeigt die nächste Abbildung 6. Es ist eine Druckapparatur, die bis etwa 6 atü betrieben werden kann, und gleichfalls geeignet ist für Messungen im Vakuum. An der Meßmethode hat sich auch hier nichts geändert. Untersuchungen konnten mit dieser Apparatur allerdings noch nicht vorgenommen werden; die zu erwartenden Ergebnisse sind jedoch für die Ausführung einer Reihe von geplanten Destillier-Anlagen ausschlaggebend.

Wenn sich die bisherigen Ausführungen ausschließlich auf die Programm-Gestaltung und die Versuchsplanung erstreckt haben, so sollen die jetzt folgenden Betrachtungen den gewonnenen Untersuchungsergebnissen gelten. Da die Arbeiten in ihrem geplanten Umfang noch nicht abgeschlossen sind, müssen wir uns auf Teilergebnisse beschränken, die infolgedessen auch keinen Anspruch auf letzte Gültigkeit haben können, und die evtl. später an manchen Stellen ergänzt oder berichtigt werden müssen.

Bild 7 zeigt die Meßergebnisse an einer Steinzeugplatte 45 % stark mit konischen Düsen $10/12 \text{ } \phi$. In diesem Falle hat es sich darum gehandelt, die Leistungsgrenzen einer mit dieser Lochung und mit Abschirmung versehenen Bodenkonstruktion ausfindig zu machen, die außerdem noch für die Trennung verschiedener Gemische Anwendung finden sollte. Für Steinzeugböden ist es aus begrifflichen Gründen besonders wichtig, möglichst einfache Bauformen und daher keine Glocken in Anwendung zu bringen. Dies hat allerdings den einzigen Nachteil, daß die untere Belastungsgrenze nicht mehr bis Null abnehmen kann, welches jedoch praktisch ohne nennenswerte Bedeutung ist, für den Fall, daß die Kolonne innerhalb einem für praktische Belange ausreichenden Belastungsbereich gefahren werden kann. Dazu sind 2 Voraussetzungen bei der Anwendung der hier dargestellten Lochplatte nötig: 1.) Spritzschutz, da die angewandten Düsen bereits regelrechte Flüssigkeitsstrahlen erzeugen, die weit über den vorgesehenen Bodenabstand von 200 % (abzüglich 50 % Bodenstärke) hinausgehen würden. 2.) die Lochzahl muß so gewählt werden, daß der den Boden unter Berücksichtigung des spez. Gew. der Flüssigkeit zur Verfügung stehende Druckverlust im Höchsthalle Geschwindigkeiten erzeugt, die noch unter der Sprühgrenze des Abscheiders liegen. Unter diesen Voraussetzungen sind die Leistungsgrenzen der Kolonne nach oben nur durch die Steighöhe der Flüssigkeit im Rücklaufrohr und nach unten durch die Tropfgrenze gegeben. Die untere Belastungsgrenze hängt nun sehr wesentlich von dem Flüssigkeitsstand s ab, der mit steigender Höhe den Boden immer eher zum tropfen veranlaßt. Da ande-

rerseits beim Düsen- oder Lochboden keine Gründe für einen hohen Flüssigkeitsstand zu sprechen scheinen, im Gegenteil, der niederste Flüssigkeitsstand nach den bisherigen Beobachtungen die beste räumliche Verteilung der Flüssigkeit ergibt, ist es durchaus kein Fehler, wenn dem Rücklaufrohr nur ein Geringes oder überhaupt kein Überlaufwehr gegeben wird. Damit verschiebt sich bei geringen Dampfgeschwindigkeiten die Tropfgrenze ebenfalls zu Gunsten des Gesamt-Belastungsbereiches der Kolonne. Wie aus den Kurven ersichtlich ist, beträgt dieses Verhältnis der beiden Belastungsgrenzen zu einander gemessen an der Dampfgeschwindigkeit etwa 1 : 3 bis 1 : 5. Die dargestellten Kurven zeigen sehr deutlich den Einfluß des spez. Dampfgewichtes bzw. des Molekular-Gewichtes auf den Druckverlust. Die Berechnung der Widerstandsziffer, die sich aus jeder einzelnen Kurve bestimmen läßt, ergibt für alle Kurven übereinstimmend den Wert von 1,75. Während hierbei als Ordinate die Dampfgewichte aufgetragen sind, zeigt das nächste Bild⁸ dieselben Ergebnisse auf die Dampfgeschwindigkeit (innerhalb der Düsen) umgerechnet. Die Kurven verlaufen nunmehr reziprok. Sie sind auf Grund der Verschiedenheit des Molekular-Gewichtes ebenfalls weitgehend von einander verschieden und zeigen deutlich, daß bei einer beliebigen Kolonne z.B. mit Wasserdampf betrieben, die doppelte Geschwindigkeit als mit Aceton und etwa die dreifache als mit Tetrachlorkohlenstoff erreicht werden kann. Eine endgültige Antwort auf die Frage nach dem Einfluß des spez. Dampfgewichtes auf die obere Belastungsgrenze kann selbstverständlich nur die entsprechende Untersuchung über die Abhängigkeit der Sprühgrenze einer Abscheide-Vorrichtung von $\frac{1}{D}$ bringen. Es steht jedoch fest, daß Kolonnen, in welchen Produkte mit hohem Molekulargewicht getrennt werden, infolge Rückstau innerhalb der Rücklaufrohre viel eher zu Rücklaufstörungen neigen, als solche, die nieder-molekulare Produkte zu trennen haben.

Das nächste Bild⁹ zeigt eine weitere Versuchsserie, die in der Hauptsache den Einfluß des Loch- bzw. Düsen- ϕ auf die Widerstandsziffer und die Tropfgrenze darstellen soll. Die eingesetzten Versuchsplatten waren mit verschieden großen Lochern, angefangen bei 1 % ϕ bis 24 % ϕ , versehen, die jedoch in ihrer Anzahl so gewählt wurden, daß immer der gleiche Gesamt-Öffnungsquerschnitt entstand. Hierbei ließen sich verschiedene Beobachtungen machen: 1.) Die Widerstandsziffer wird erwartungsgemäß mit kleiner werdendem Loch- bzw. Düsen- ϕ größer und zwar nicht linear, wie eines der nächsten Bilder $9a$ zeigen wird. 2.) Bei kleineren Loch- ϕ , etwa bis 3 % fängt der Boden erst dann an zu tropfen, wenn die Dampfgeschwindigkeit gleich null wird. Der Boden reagiert

bei den niedrigsten Dampfgeschwindigkeiten so, daß sich nur ein Teil der Löcher am Austausch beteiligt, während der übrige Teil u. zw. derjenige, der durch evtl. Schräglage des Bodens den höheren Flüssigkeitsstand besitzt, vollkommen ruhig und unbeeinflusst bleibt. 3.) Die Oberflächenspannung äußert sich in der Weise, daß sich auf dem leeren, aber noch feuchten Boden bei den geringsten Dampfgeschwindigkeiten schon ein erheblicher Druckverlust anzeigt (bei Wasser etwa 25 bis 30 %). Die Oberflächenspannung addiert sich zu dem Verlauf der Hauptdruckverlustkurve. - 4.) Bei größer werdenden Durchmesser zeigt es sich, daß der bei geringen Dampfgeschwindigkeiten aussetzende Teil des Bodens zu tropfen beginnt. An einer bestimmten Grenze hört jedoch dieses Tropfen auf. 5.) Bei Lochdurchmessern zwischen ca. 4 und 10 % ist außer der Tropfgrenze noch ein Sprühbereich feststellbar, bei dem zwar in sehr geringen Mengen, aber immerhin feststellbare Flüssigkeitsteilchen durchgelassen werden. Diese Erscheinung hängt wahrscheinlich auch mit der Oberflächenspannung zusammen. 6.) die Empfindlichkeit der kleinen Löcher auf äußere Einflüsse z. B. Verkrustung oder andere Oberflächen-Veränderungen ist so groß, daß sämtliche Wiederholungen der gleichen Versuche mit ein und derselben Platte andere Werte lieferten. Diese Erscheinung konnte bei größeren Durchmessern nicht festgestellt werden.

Auf dem nächsten Bild 10 ist eine andere Darstellungsweise derselben Meßreihe gewählt worden, aus welcher besonders deutlich die Abhängigkeit des Druckverlustes von dem Düsen- ϕ hervorgeht. Die untere gestrichelte Linie zeigt die Grenze an, von wo ab der Boden nach unten absolut flüssigkeitsdicht ist; ihr eigentümlicher Verlauf war nicht ohne Weiteres vorauszusehen, bietet aber als empirische Feststellung einen wichtigen Anhaltspunkt für die Wahl der Lochung bei Düsen-Böden. Die untere stark ausgezogene Linie ist die Grenze, bei welcher der Boden tatsächlich erhebliche Flüssigkeitsmengen durchsickern läßt. Der schraffierte Übergangsbereich stellt den vorhin schon erwähnten unteren Sprühbereich des Düsenbodens dar, der zwar keine wesentliche Verschlechterung des Austauschvorganges mitsichbringt, jedoch ohne Weiteres umgangen werden kann. Die obere stark ausgezogene Linie stellt die Grenzgeschwindigkeit des Abscheiders dar, während die obere gestrichelte Linie die Spritzgrenze des ungeschützten Bodens wiedergibt. Die von den beiden gestrichelten Linien umgrenzte Fläche stellt den Arbeitsbereich der üblichen Siebböden dar, während die kreuzweise schraffierte Fläche die Erweiterung durch Anwendung eines Spritzschutzes wiederribt.

Mit dem nächsten Bild ¹¹ wenden wir uns den Untersuchungs-Ergebnissen über die Einflüsse von Bodenabstand H , Dampfgeschwindigkeit v , sowie verschiedener grundlegender Konstruktions-Maßnahmen auf die Werte von Q' d.i. die mitgerissene Flüssigkeitsmenge, zu. Diese Messungen konnten vorläufig nur anhand des Systems Luft-Wasser gemacht werden, was jedoch die eigentliche Absicht der vergleichenden Gegenüberstellung in keiner Weise beeinträchtigt. Zunächst der Einfluß der Geschwindigkeit auf Q' bei einem normalen Glockenboden. Die Kurvenschar gibt den Verlauf bei konstantem Bodenabstand wieder und man erkennt durch die Verschiebung des Ansatzpunktes auf die Abszisse bei Erhöhung des Bodenabstandes, daß dieser Maßnahme eine nicht unerhebliche Bedeutung für den Spritzschutz eines Bodens zukommt.

Eine andere Darstellungsweise dieser Untersuchungsreihe zeigt das nächste Bild ¹². Hier ist die Menge Q' in Abhängigkeit von dem Bodenabstand H dargestellt. Die Linien gleicher Geschwindigkeit streben mit wachsendem Bodenabstand alle der Abszisse zu. Durch einige Meßwerte wird aber schon angedeutet, daß diese Feststellung nur für Werte unterhalb einer bestimmten Grenzgeschwindigkeit Geltung besitzt. Da oberhalb dieser Grenze, die etwa der Fallgeschwindigkeit der Flüssigkeitstropfen entspricht, eine Anwendung von Abscheidern ebenfalls zwecklos ist, schalten diese Geschwindigkeitswerte für unsere Betrachtungen aus und wir wenden uns damit einer anderen wichtigen Aufgabe zu, nämlich der Untersuchung über den Einfluß von Flüssigkeits-Abscheidern auf den bereits in seiner Bedeutung schon hervorgehobenen Ansatzpunkt der Grenzlinie in der Abhängigkeits-Darstellung zwischen Q' und v . Was hierbei wieder von besonderem Interesse sein dürfte, ist die vergleichsweise Gegenüberstellung der drei bisher angewandten Abscheidervorrichtungen: Roste, Füllkörperschichten und Schirmglocken.

Das nächste Bild ¹³ zeigt nun diese Grenzkurven, wobei als Vergleich ein normaler Glockenboden mit einem Bodenabstand von 300 % herangezogen wurde. Man erkennt, daß die Füllkörperschicht und die Schirmglocke im Hinblick auf den Ansatzpunkt, und damit in ihrer eigentlichen Aufgabe, die besten Ergebnisse liefern. Der charakteristische Verlauf dieser beiden Kurven in ihrer weiteren Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ist jedoch sehr verschieden; während die Schirmglocke noch einen ziemlichen Belastungsbereich bis zum restlosen Flüssigkeitsübertritt nach oben zugänglich ist, geht die Grenzkurve der Füllkörperschicht kurz nach ihrem Ansatzpunkt steil in die Höhe. Die obere Belastungsgrenze ist hier also viel ausgeprägter und direkt als sprunghaft anzusehen. Eine mittlere Stellung nimmt der Spritzschutz durch Anwendung von Rosten ein; er ist jedoch mitbezug auf die Lage des

Ansatzpunktes nicht ganz als gleichwertig zu betrachten. Es läßt sich im Vergleich mit dem Verlauf der Grenzkurve eines ungeschützten Glockenbodens mit hohem Bodenabstand weiterhin sehr deutlich erkennen, daß die Anwendung eines Spritzschutzes gegenüber der Erhöhung des Bodenabstandes doch erhebliche Vorteile mitsichbringt. Aus den gezeigten Meßergebnissen geht hervor, daß die Grenzgeschwindigkeiten bis zum Ansatzpunkt nahezu verdoppelt werden können. Noch drastischer wirkt der Unterschied, wenn zu diesem Vergleich die Grenzkurven geringerer Bodenabstände herangezogen werden, wie dies ebenfalls auf dem Bilde andeutungsweise geschehen ist.

Für den Fall, daß die somit als vorteilhaft erkannte Wirkung eines Spritzschutzes ausgenutzt werden soll, läßt sich auch die Frage nach dem Bodenabstand unter vereinfachten Gesichtspunkten beantworten. Er besitzt nämlich in diesem Falle den einzigen Einfluß auf die obere Belastungsgrenze der Kolonne, da die Rücklauf-Flüssigkeit in dem Augenblick zu stauen beginnt, wo der Druckverlust und damit der Wert größer wird als der Bodenabstand; er hängt also nur noch unter Berücksichtigung der Druckverlustziffer des Bodens von der gewünschten oberen Leistungsgrenze ab und ist somit der Berechnung ohne Weiteres zugänglich. Die Vorgänge, die sich in einer nach solchen Gesichtspunkten berechneten Kolonne bei Übersteigerung der oberen Belastungsgrenze abspielen, lassen sich an einem Modellversuch sehr anschaulich verfolgen. Es tritt nämlich eine Absperrung des Rücklaufes durch den wachsenden Überdruck ein, der sich aber nur auf den obersten Boden auswirkt und die gesamte Rücklaufmenge dort zurückhält.

Wir zeigen Ihnen hier eine kleine Laboratoriums-Kolonne, die nach den letzten von Herrn Oberingenieur Röcke bereits entwickelten Gesichtspunkten unter Anwendung des Randaustausch-Prinzipes ausgeführt ist und demzufolge keine gegenseitige Abdichtung der einzelnen Böden besitzt. Sobald die Dampf- bzw. in diesem Falle die Luftgeschwindigkeit über das höchstzulässige Maß gesteigert wird, stellt sich sofort deutlich wahrnehmbar der Flüssigkeitsstau auf dem obersten Boden ein, während sich die übrigen Böden langsam entleeren. An dieser Kolonne lassen sich außerdem noch eine Reihe anderer aufschlußreicher Beobachtungen machen, zunächst die Gleichsinnigkeit der Flüssigkeits- und Dampfführung bei Aufgabe von Farbflüssigkeiten. Aufgrund der Bodenkonstruktion ist die Flüssigkeits-Steuerung zwangsläufig gegeben, sodaß sich im Kleinen genau dieselben Vorgänge auch in technischer Hinsicht vollziehen, wie später im Großen. Ein weiterer für die Arbeitsweise einer Kolonne sehr nachteilig auswirkender Einfluß ergibt sich aus der Eigenschaft der

Schaumbildung eines Flüssigkeitsgemisches. Um dieses in der kleinen Kolonne herbeizuführen, geben wir dem Wasser eine Schaumbildungs-Substanz z.B. NEKAL bei und verfolgen die Wirkung der Flüssigkeits-Abscheidung. Es zeigt sich, daß der Schaum auf dem Boden zwar entsteht, aber durch Anprall an den Abscheideflächen in der Hauptsache zerschlagen wird und daher nicht mehr in den nächsten Boden gelangen kann. Der freie Raum über dem letzten Boden füllt sich demgegenüber vollständig mit Schaum aus und würde ohne Abscheider ungehindert in den nächsten Boden eintreten.

Dasselbe zeigt sich auch auf den beiden nächsten Bildern an 2 Glas-^{14 u. 15}kolonnen im Technikums-Maßstab. Hierbei handelt es sich nicht um einen Vorgang am System Luft-Wasser, sondern um ein in beiden Kolonnen in gleicher Weise eingesetztes, schäumendes Destillations-gemisch

Damit habe ich Ihnen in der Hauptsache den augenblicklichen Stand unserer umfangreich geplanten Untersuchungen auf dem Gebiet der Destillation zur Kenntnis gegeben.

Die weitere Verfolgung des aufgezeichneten Versuchsprogramms wird noch einen sehr ausgedehnten Arbeitseinsatz erfordern. Die Zielsetzung ist so gewählt worden, daß durch vollkommene Zerlegung aller Einflüsse und die exakte zahlenmäßige Erfassung der Veränderlichen, ein Weg beschritten werden kann, der die Kolonnen in einfacherer Weise voreaus bestimmen läßt, als über den Umweg der Verstärkungs-Messungen, an der alle Faktoren zwar beteiligt, aber in ihren Einflüssen nicht immer genau beurteilbar sind.

Schematische Gesamtdarstellung des Querstromprinzipes
und seiner Veränderlichen.

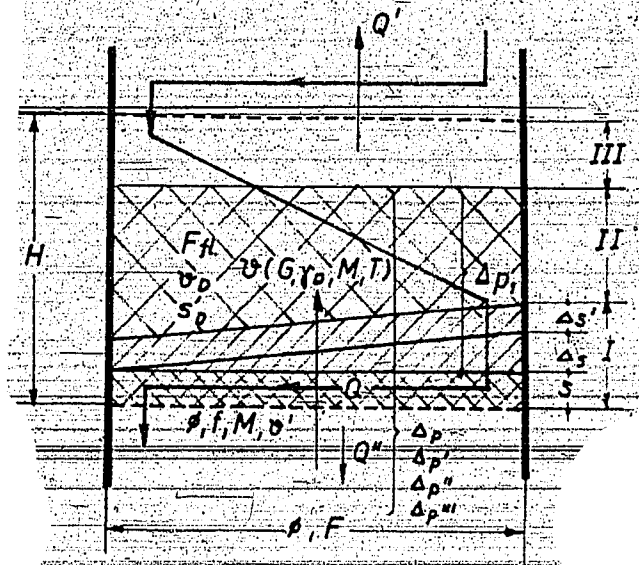


Bild 1.

H	Bodenabstand	mm	Δs	Flüssigkeitsstau a.d. Boden	mm
v	Dampfgeschwindigkeit bez. a. F	m/sec	Δs	Überlaufstau am Rücklaufrohr	mm
v'	Dampfgeschwindigkeit in den Durchtrittsöffnungen	m/sec	F	Kolonenquerschnitt	m ²
ϕ	Größe der Dampföffnungen	mm			
G	Dampfmenge	g/sec	f	Gesamter Dampföffnungsquerschn.	dm ²
V	Dampfvolumen	m ³	ζ	Widerstandsziffer des Bodens	
γ_0	Spez. Dampfgewicht	kg/m ³	F_H	Wirksame Austauschoberfläche der Flüssigkeit	
γ_F	Spez. Flüssigkeitsgewicht	kg/l			
M	Molekulargewicht		s_D	Austauschweg der Dämpfe	
T	Absolute Siedetemperatur		v_D	Austauschgeschwindigkeit der Dämpfe	
Q	Flüssigkeitsmenge	l/h			
Q'	Mitgerissene Flüssigkeitsmenge	g/sec m ²	Δp	Gesamt druckverlust des Bodens	
Q''	Tropfende Flüssigkeitsmenge	g/sec m ²	$\Delta p'$	Druckverlust durch Dampfströmung	
s	Flüssigkeitsstand		$\Delta p''$	Druckverlust durch Flüss. Stand	
			$\Delta p'''$	Druckverlust durch Oberfl. Spannung	
			Δp_s	Druckverlust durch Abscheider	

Unabhängige Veränderliche:

$H, v(G), Q, T, \phi, \zeta, s, \gamma_0, M, T, \gamma_F$

Sonstige Einflüsse:

Flüssigkeitsführung, Flüssigkeitsverteilung, Schaumbildung, Schräglage d. Böden.

Abhängige Veränderliche:

$\Delta p, Q, Q', F_H, \Delta s, \Delta s', \Delta s''$

Bild 2.

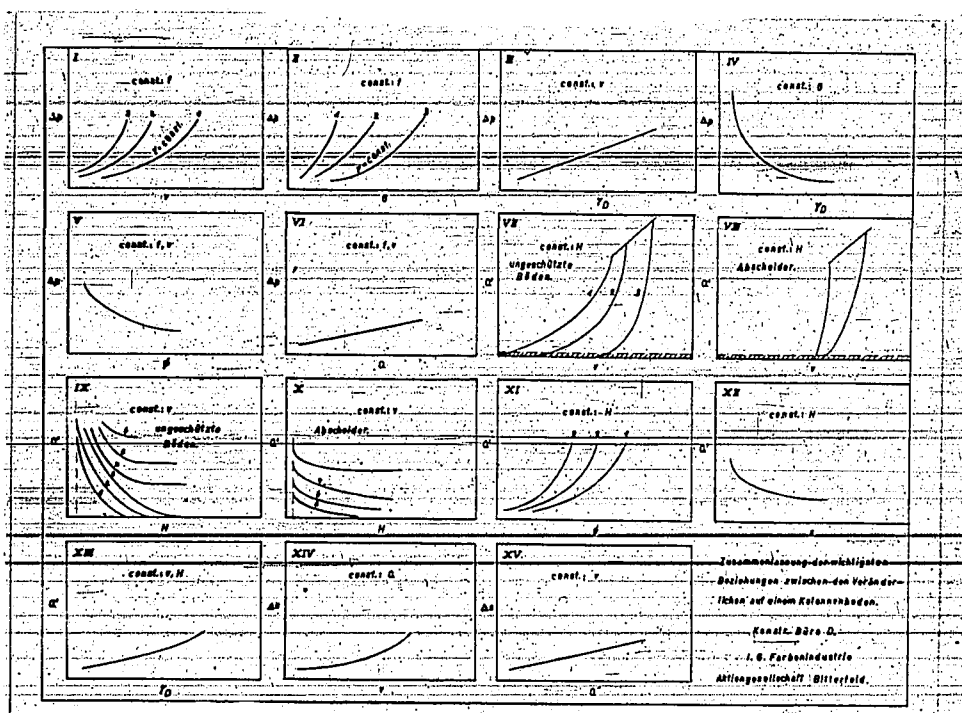


Bild 3.

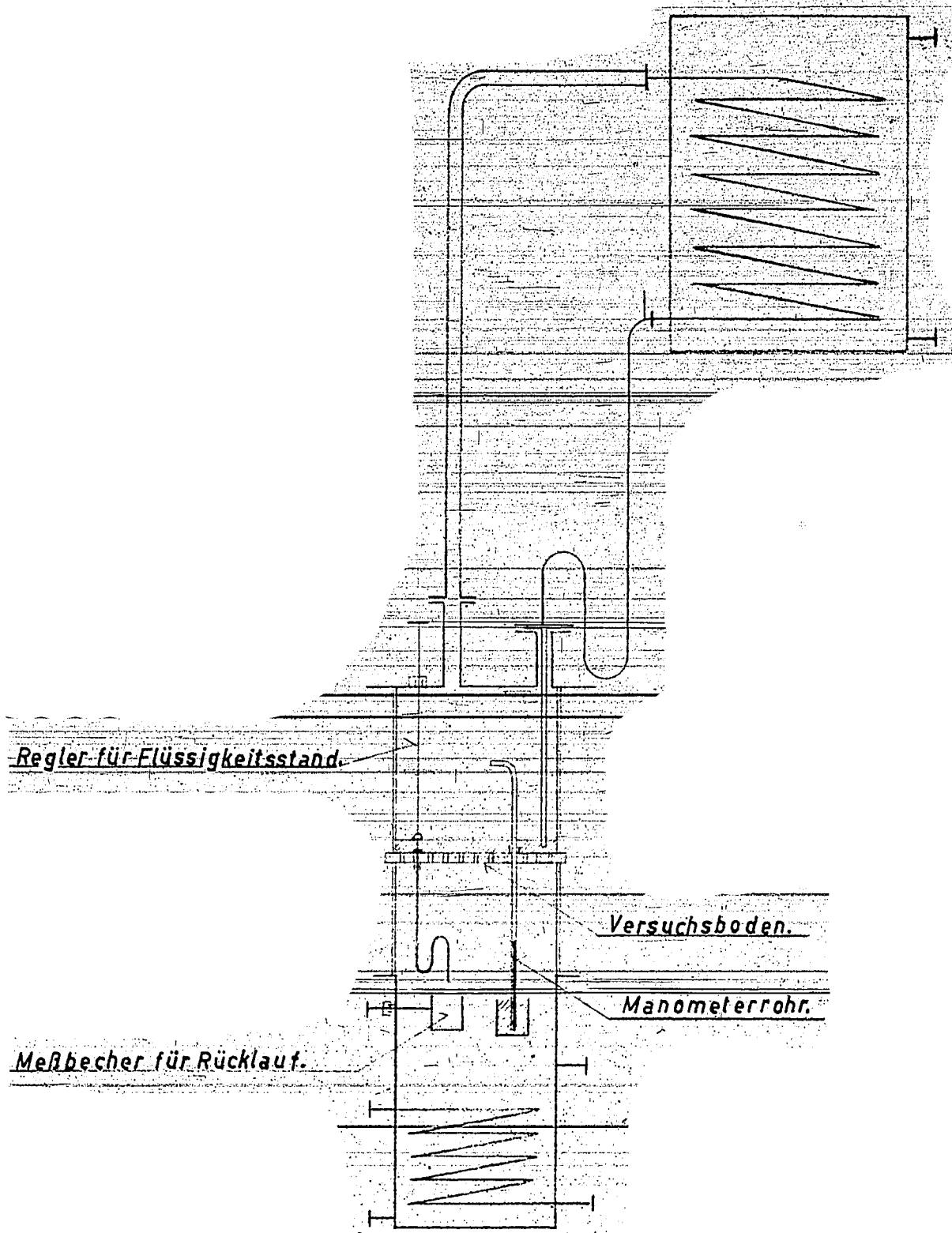


Bild 4.

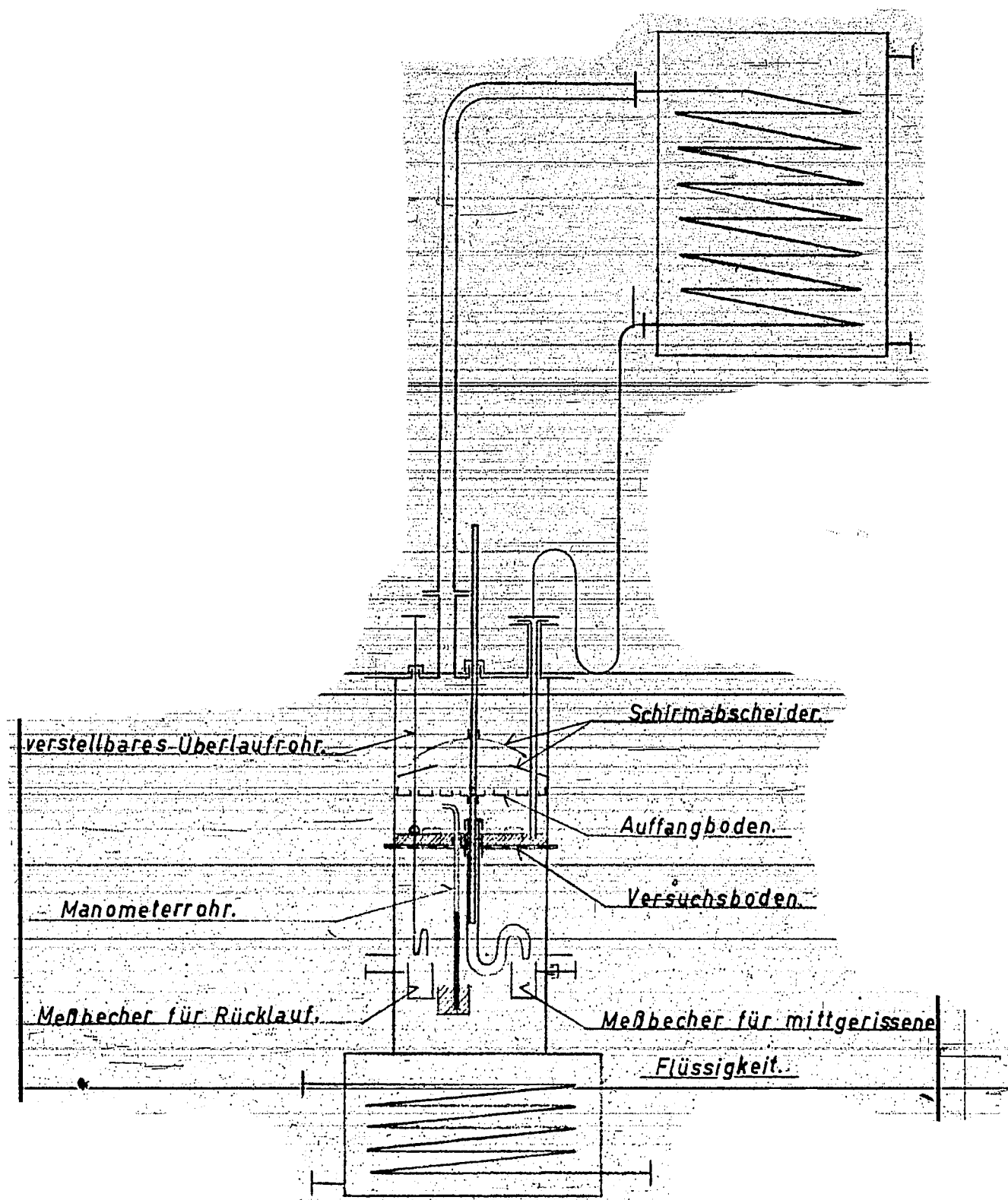
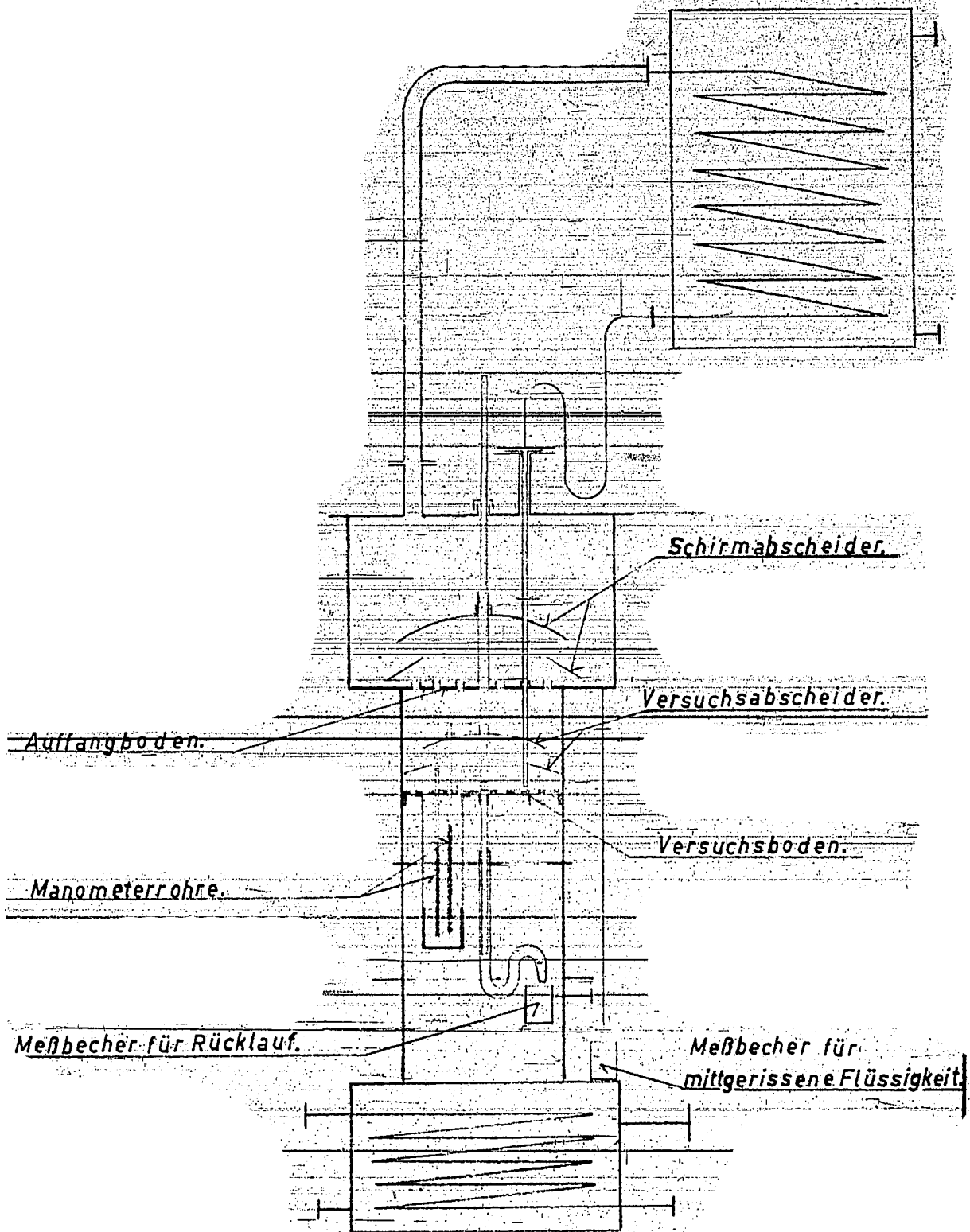


Bild 5.

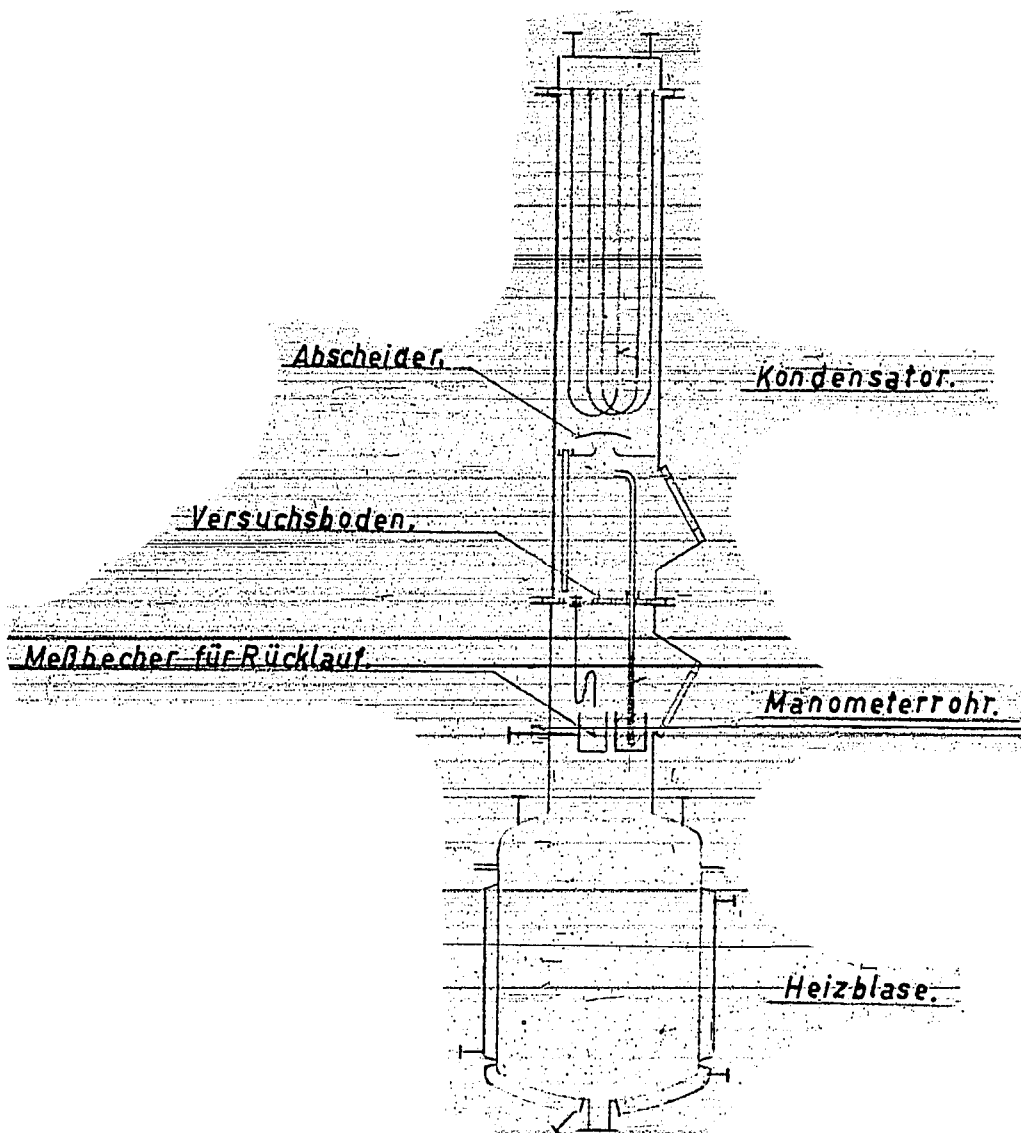


Meßapparat zur Bestimmung der
Abhängigkeit zwischen Δp u. γ

Konstr. Büro
D.

23894

Bild 6.



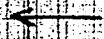
I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Bitterfeld

23895

Bild 7.

Steinzeugplatte 45 mm stark
Lochung: 10/10 mm

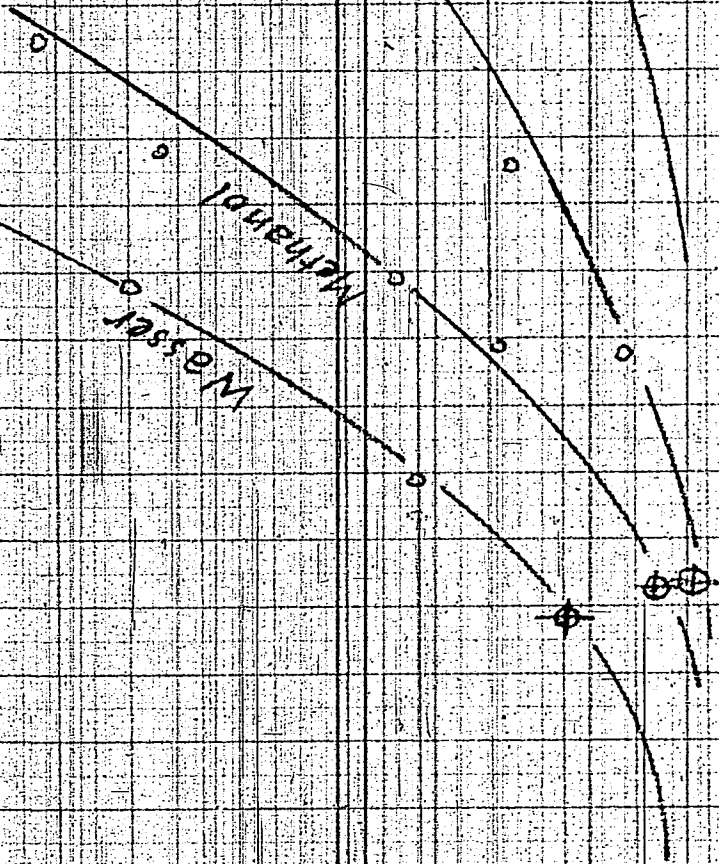
Δp mm WS



150

100

50



Dampfmenge

gr/sec u-Düse

1

2

3

4

23896

ΔP in mmWS

Bild 8.

$N = 5.2$

$N = 2.06$

$N = 1.12$

$N = 0.3$

Terra chloorkohlenstoffe

Reifen

Masse

Steinzeugplatte

45 mm stark

um zwei
Lochung $\varnothing 12$ mm

Abg. 1. A. →

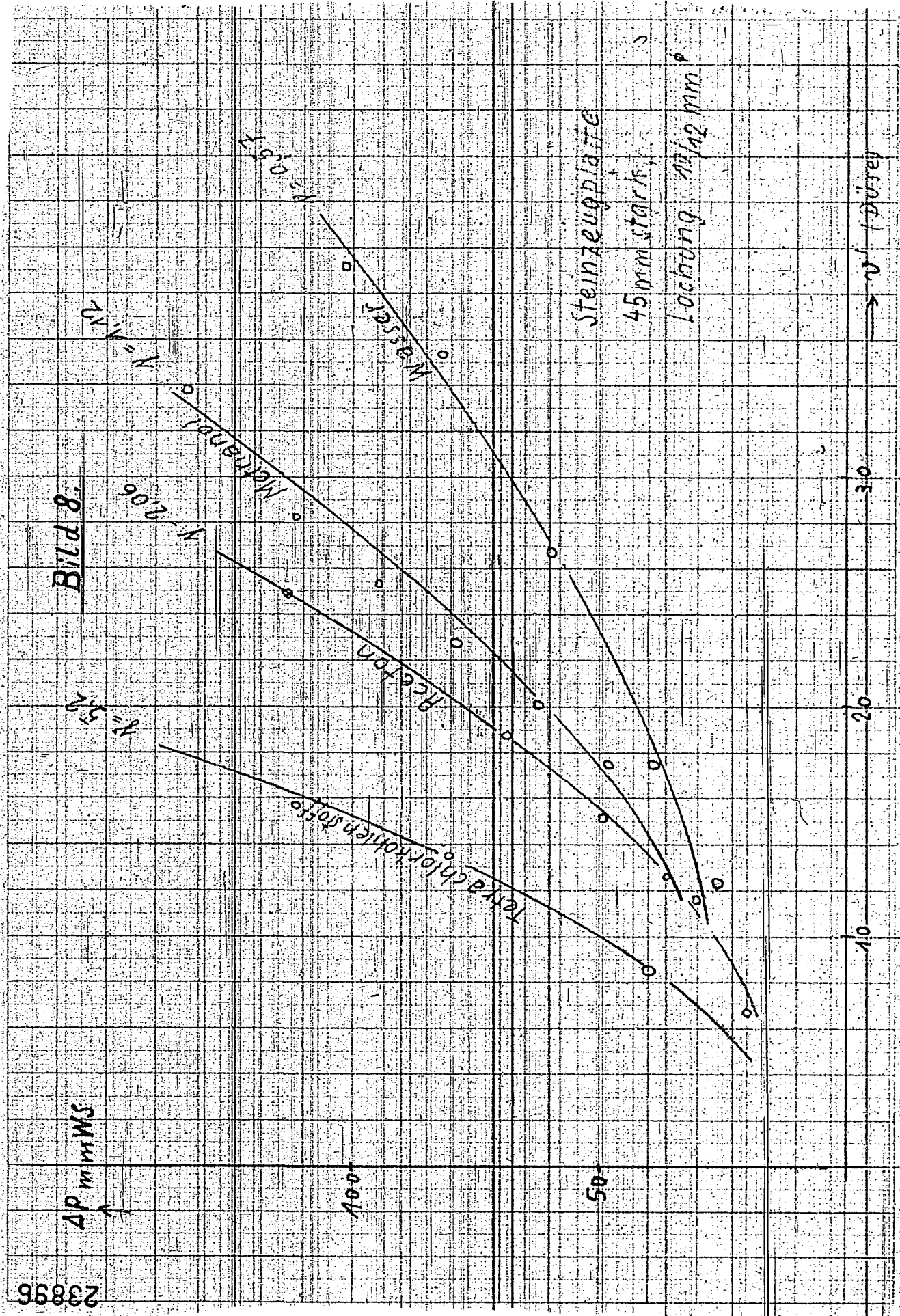
30

20

10

100

50



23897

Bild 9.

Düsenplatten mit verschiedenen ϕ

Düsen-Öffnungen u. Versch

Flüssigkeits-Höhhe s

Produkt: Wasserdampf

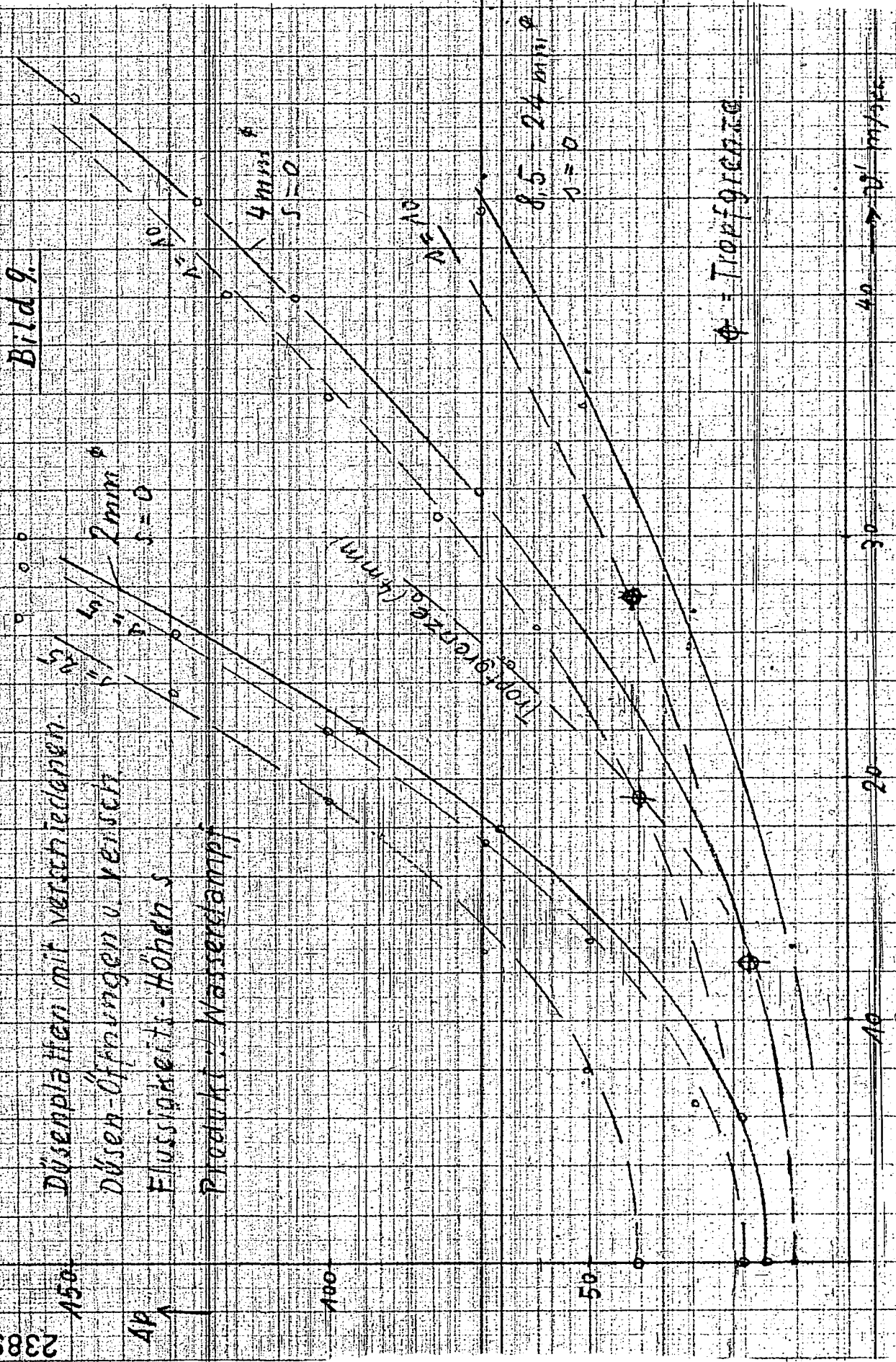


Bild 9a.

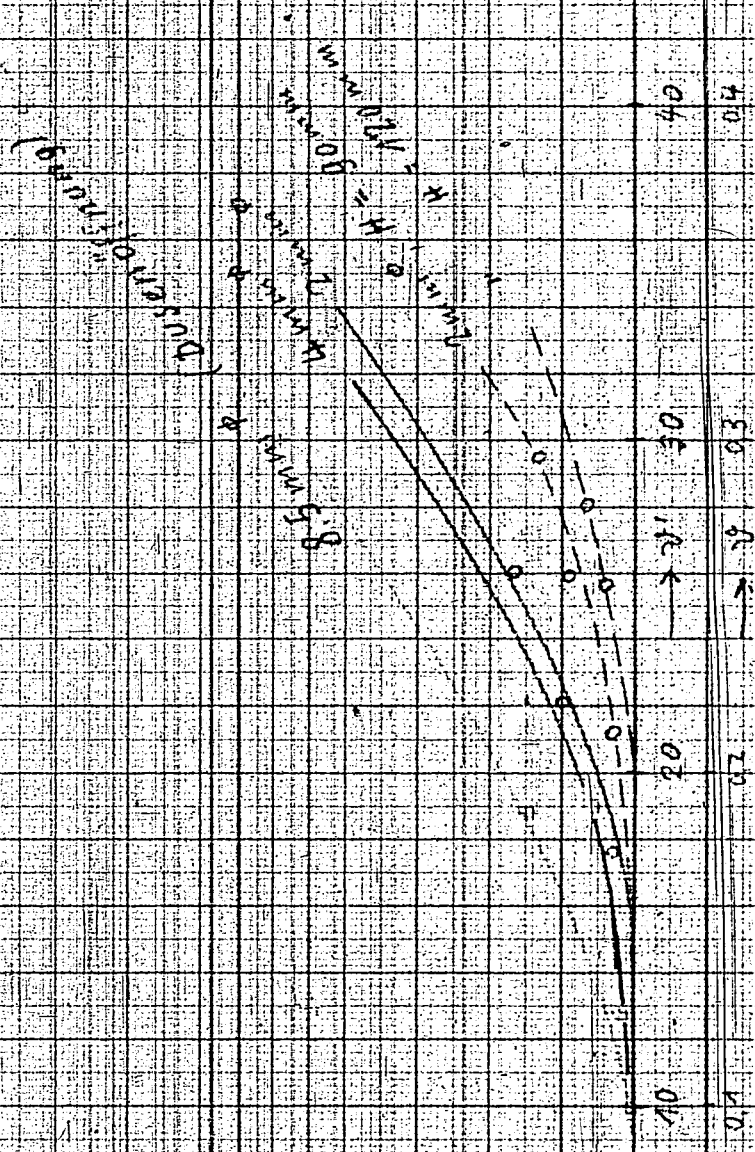
Düsenplatten mit versch. Höhen

Düsen-Öffnungen
Produkt Wasserdruck
Bodenniveau: $H = 70 \text{ mm}$

0 97/100

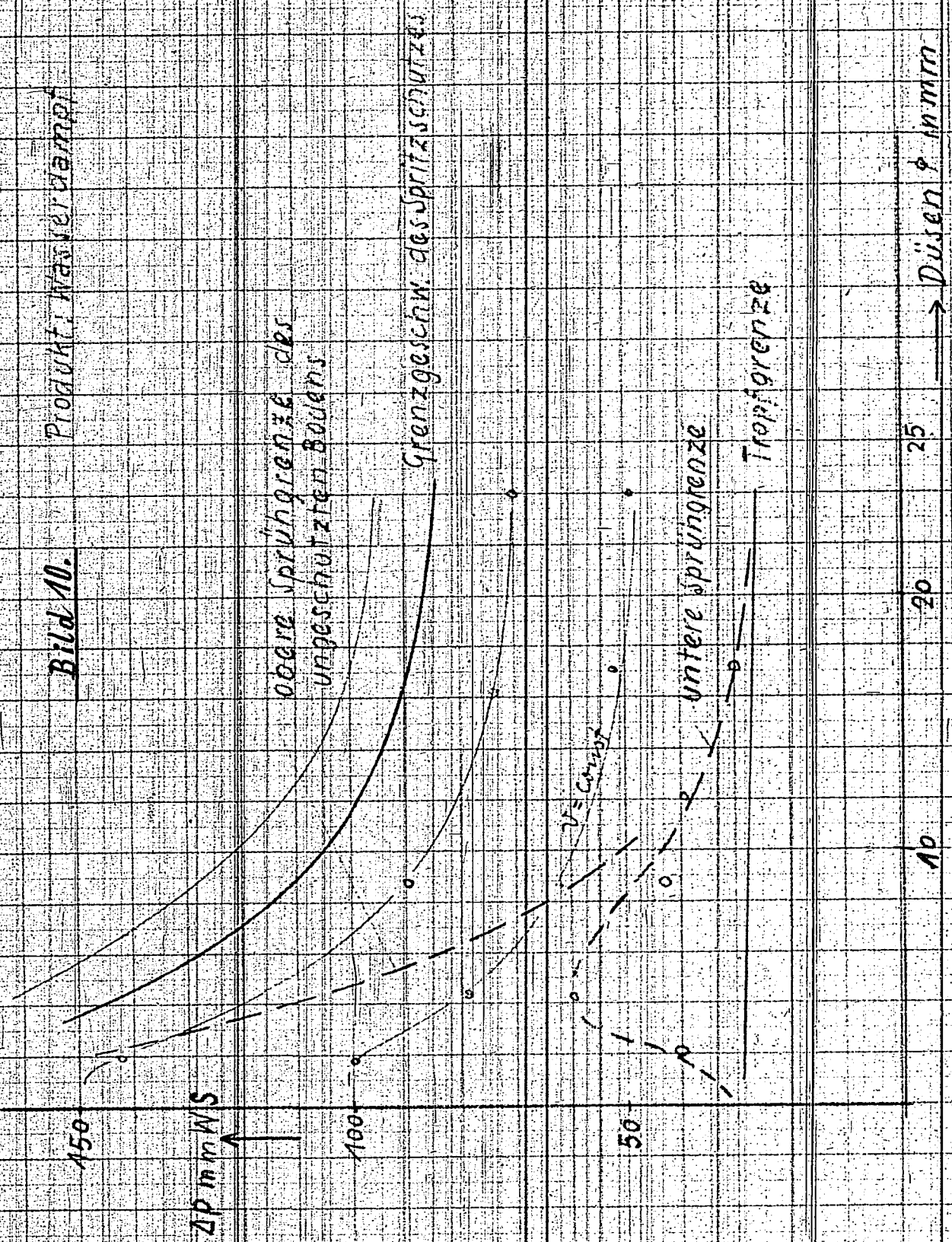
10

5



23899

Bild 10. Produkt: Wasserdampf



Düsen ϕ in mm

Bild M.

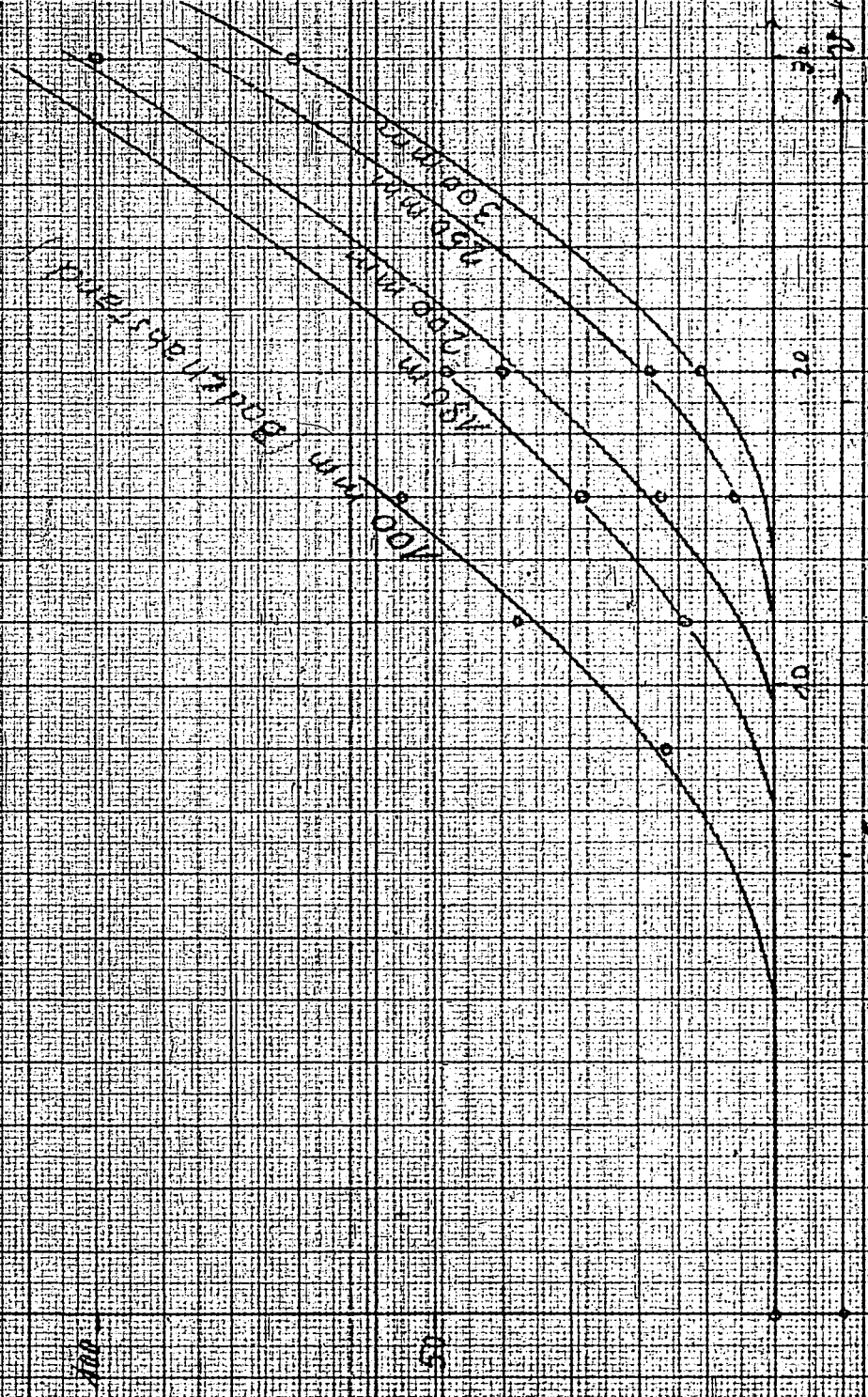
Stoßrohrsystem 300 mm Ø

System: Luft - Wasser

Q_{Luft}

mm

mm



50 Messstrecke

100 Messstrecke

0,5

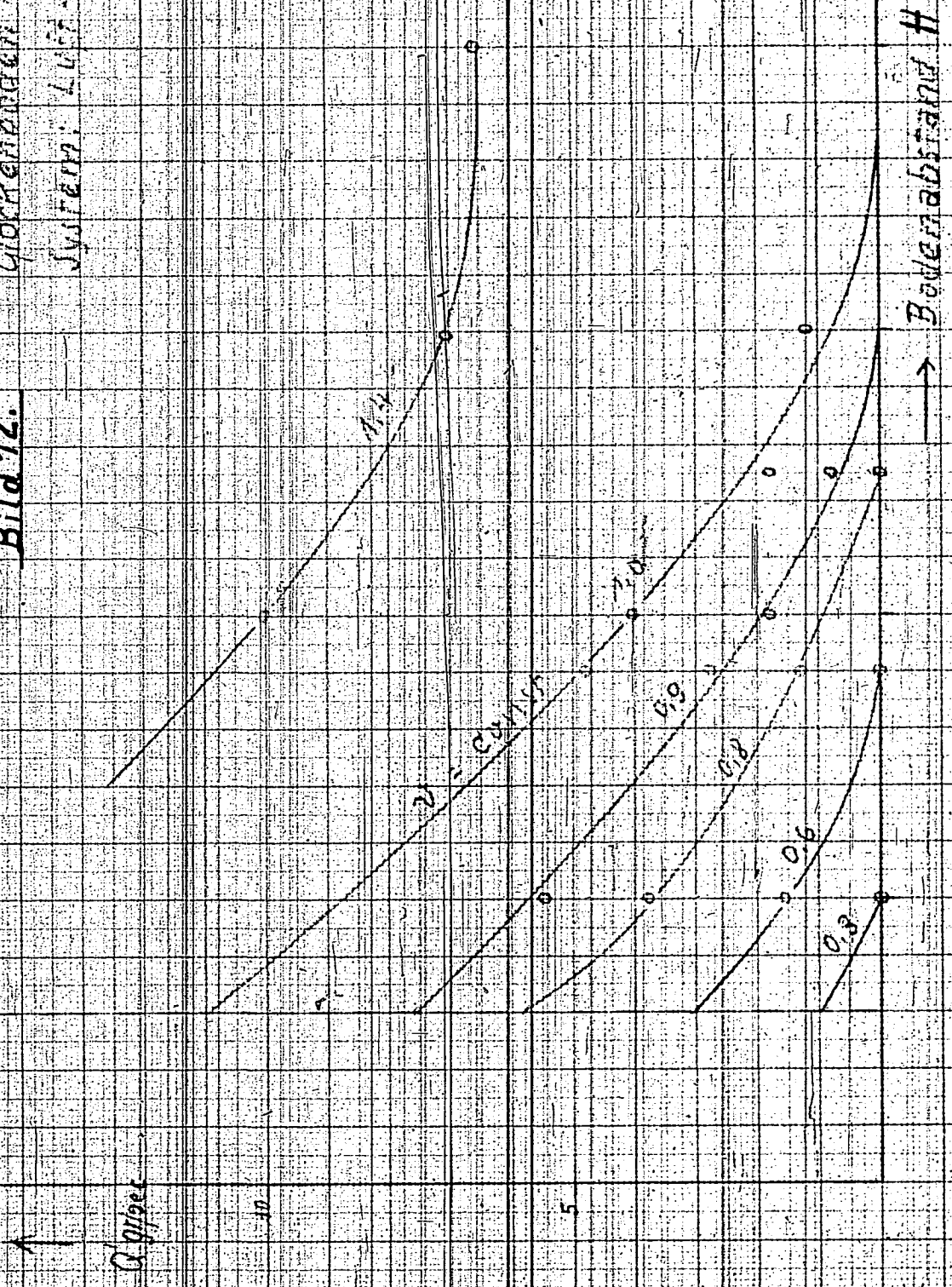
1,0

2,0

3,0

Bild 12.

Glockenboden 300
System: Luft-Wasser



30

Q 97/100

20

10

Bild 13.

System: Luft-Wasser

Bodenabstand

H = 180 mm

H = 65 mm

Durchblatte / ungeschützt

Füllkörper

Rost

Schirmglocke

Gleichenboden ohne Schutz
H = 300 mm
Füllkörper-Schicht

Rost

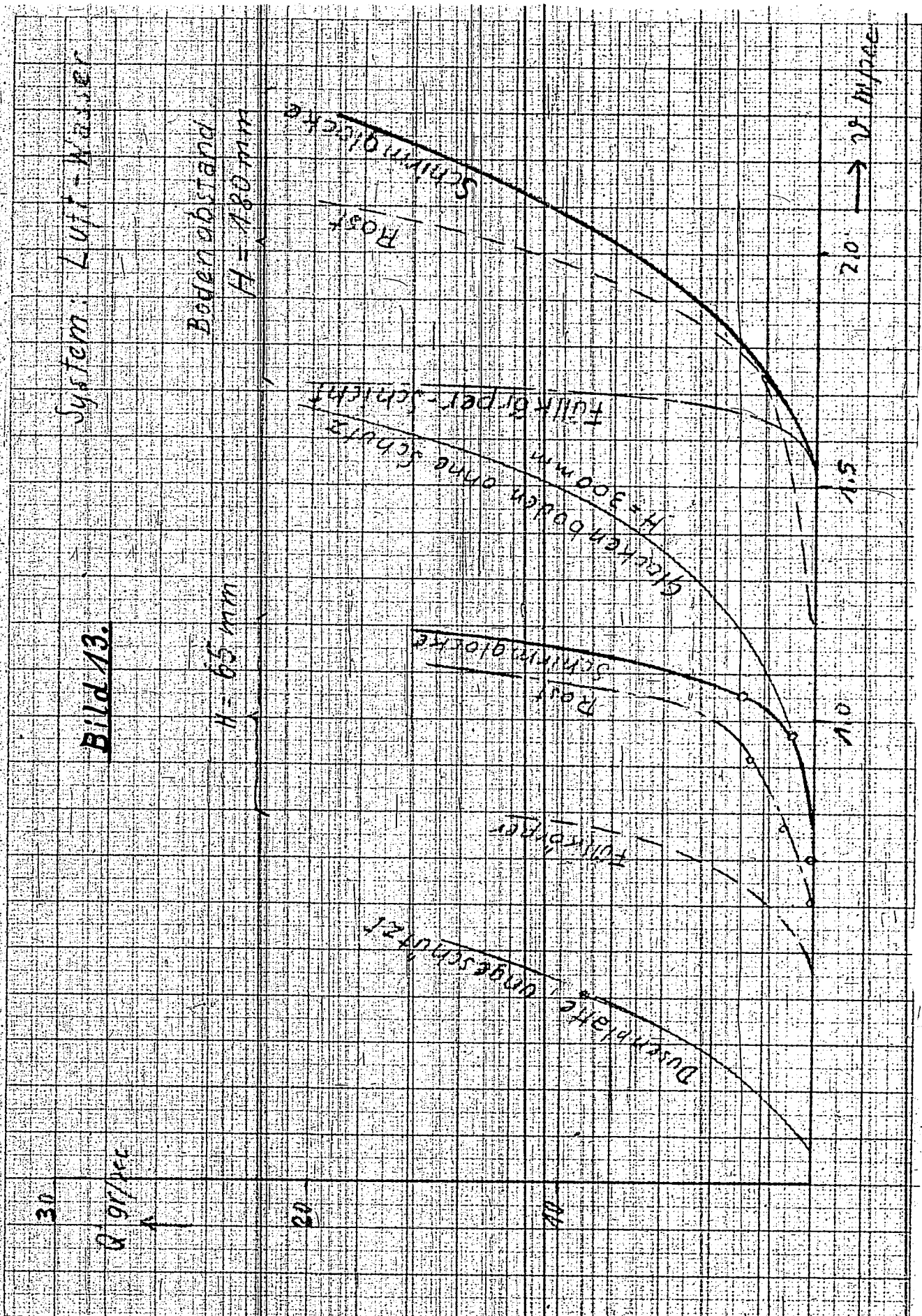
Schirmglocke

1.0

1.5

2.0

→ 28 m/sec



23903

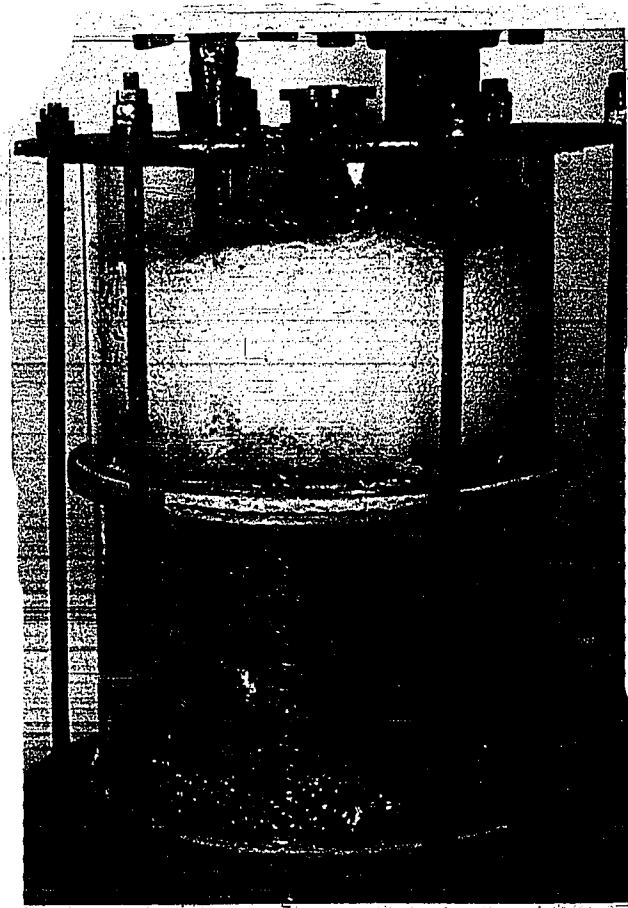


Bild 14.

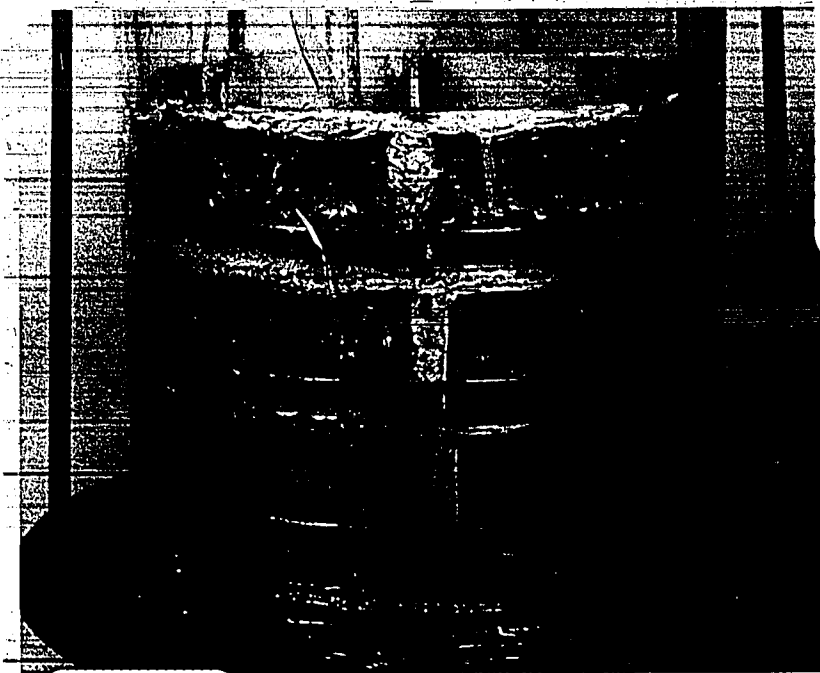


Bild 15.

J. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Bitterfeld