

Vertraulich

Versuche über die Flüssigkeitsverteilung
in Füllkörperkolonnen

Ausgeführt 1938 in der Technischen Abteilung

Stickstoff/Anorg./ZPN.

Ffm - Höchst

13

Ammoniakwerk Merseburg
G.m.b.H.
Haupt-Einrichte-Sammlung
Referate-Büro
Me Nr. 182/116

285

ERFAHRUNGSAUSTAUSCH.

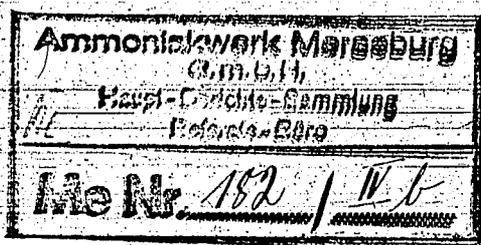
Ffm-Höchst, den 13. Februar 1939.

Zi./St.

Versuche über die Flüssigkeitsverteilung in Füllkörperkolonnen.

Ausgeführt 1938 in der Technischen Abteilung

Stickstoff-Anorg.-ZPN.



285

Z u s a m m e n f a s s u n g .

Es wird über die Durchführung und das Ergebnis von Messungen der Flüssigkeitsverteilung in einer mit Raschigringen 25 x 25 gefüllten Kolonne von 600 mm \varnothing bei verschiedenen Werten der Fließdichte, der Gaseschwindigkeit, der Rieselhöhe und bei verschiedenen Arten der Flüssigkeitsaufgabe und der Schüttung der Füllkörper berichtet. Hierbei wurde gefunden, dass von allen Faktoren, die auf die Flüssigkeitsverteilung Einfluss haben, die Schüttungsart der grösste ist. Am besten war die Schüttungsart "C" nach Fig. 5, vgl. Seite 8. In einem Anhang sind die gemessenen Druckverluste den nach Mach errechneten Werten gegenübergestellt.

Bemerkung:

Das Schütten von Füllkörpern unter Berücksichtigung des Böschungswinkels ist in der Anmeldung I.G.Nr. 5286 (1937), C-51 502, IV/v 12 a (1/02) der Chemischen Fabrik Curtius Akt.Ges., Duisburg, als ein "Verfahren zum Füllen von Türmen und Reaktionsräumen durch Schütten von Füllkörpern" beschrieben und mittlerweile

in England unter der Nr. 480 920,
in Belgien unter der Nr. 420 555

patentrechtlich geschützt. Deutscher Anmeldungstag: 1. April 1936.

Patentanspruch.

- 1.) Verfahren zum Füllen von Türmen oder Reaktionsräumen, in denen Gase oder Dämpfe in möglichst innige Berührung mit herabrieselnder Flüssigkeit gebracht werden durch Schütten von Füllkörpern mit gleichen Abmessungen in den drei Raumrichtungen, dadurch gekennzeichnet, dass solche Füllkörper, z.B. Ringe, deren Höhe gleich dem Durchmesser ist, unter Berücksichtigung ihrer ablenkenden Wirkung, z.B. von den Wänden des Turmes aus geschüttet werden.
- 2.) Verfahren gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwecks Vermeidung einer zu starken Zusammenziehung der Flüssigkeit nach dem Zentrum des Turmes zu Zwischenlagen solcher Füllkörper mit gleichen Abmessungen in den drei Raumrichtungen vom Zentrum des Turmes aus geschüttet werden, wodurch eine Ablenkung nach den Wänden zu herbeigeführt wird.
- 3.) Verfahren gemäss Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schüttung und damit die Ablenkung gemäss dem Böschungswinkel so gewählt wird, dass die herabrieselnde Flüssigkeit einen vorbestimmten langen Weg geführt wird.

Wir überwachen die Erteilung des Patenten und werden auf Grund der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit der Firma Curtius in Verhandlung treten, sobald ein deutsches Patent erteilt wird.

A.) Zweck der Versuche.

Die vorliegenden Versuche sollten Klarheit über die Flüssigkeitsverteilung in Füllkörperkolonnen verschaffen, insbesondere sollte die im Schrifttum (siehe Verzeichnis) des öfteren erwähnte Randgängigkeit nachgeprüft und ihr Ausmass bei einem Kolonnendurchmesser, wie er im praktischen Destillationsbetrieb häufig ausgeführt ist, untersucht werden. Welche ausserordentlich grosse Rolle die gleichmässige Verteilung der Medien über den Packungsquerschnitt bei allen Austauschvorgängen wie Destillation, Absorption, Extraktion usw. spielt, ist allgemein bekannt. Sehr eindringlich wird diese Tatsache durch den Verlauf der scheinbaren Wärmeübergangszahl in Destillationskolonnen vor Augen geführt. Nach Versuchen von Weimann¹⁾ sinkt diese Zahl von einem Bestwert $\alpha = 70000 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ mit Schlechterwerden der Flüssigkeitsverteilung nach einer Rieselhöhe von 2 m auf $5000 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ (Säulendurchmesser 110 mm, Raschigringe 8x8 mm).

B.) Anordnung der Versuchsanordnung (Abb.1).

Die Kolonne bestand aus einem Rohr von 600 mm ϕ , in 3 Schüsse unterteilt. In jedem Schuss war unten ein Rost eingelegt, um den Druck auf die untersten Füllkörper (Porzellan-Raschigringe 25x25) zu begrenzen. Die beiden oberen Roste waren als Gitterroste ausgeführt. Damit jede Beeinflussung der Flüssigkeitsverteilung durch die Roste vermieden wurde - Entlanglaufen der Flüssigkeit an der Unterkante der Stäbe -, waren die einzelnen Flacheisen, aus denen die Roste zusammenschweisst waren, auf der Unterkante sägeblattähnlich gezahnt. Der unterste Rost war wegen der von unten seitlich her erfolgenden Lufteinführung besonders ausgeführt. Durch 12 über den Umfang verteilte Kanäle strömte die Luft tangential ein. Unter dem Lufteinführungsring war die Flüssigkeits-Auffangtasse angebracht. Diese bestand aus 7 konzentrisch unterteilten Ringkammern mit je einem gesonderten Ablauf. Die 5 äusseren Kammern waren flächengleich ($0,047 \text{ m}^2$), während die beiden inneren eine halb so

grosse Ringfläche bedeckten, da sonst die Unterteilung des Kolonnendurchmessers nach innen zu grob geworden wäre. Besonderes Augenmerk wurde darauf gerichtet, dass die Flüssigkeit in derselben Verteilung, wie sie den untersten Packungsquerschnitt verliess, in die unterteilte Auffangstasse gelangte. Aus diesem Grunde wurde die tangential Luftzuführung gewählt; die einzelnen Flüssigkeitströpfchen sollten auf diese Weise nicht radial verweht werden, da ja sonst die Mengenmessung der einzelnen Ringquerschnitte nicht mit der tatsächlichen Flüssigkeitsverteilung in der untersten Füllkörperschicht übereingestimmt hätte. Trotz dieser Vorsichtsmassnahme und obwohl die Luftgeschwindigkeit an der Eintrittsstelle "E" bei der grössten in der Zeiteinheit verwendeten Luftmenge nur 1,6 m/sec betrug, ergaben Vorversuche, dass einzelne Tröpfchen durch Luftwirbel in andere Querschnitte getragen wurden. Um dies ganz sicher zu vermeiden, wurde für den untersten Rost ein Lochblech verwendet und an die Stege zwischen den einzelnen Löchern Drähte angebracht, die bis zur Auffangstasse herunterreichten. Nun konnte die Flüssigkeit infolge ihrer Adhäsion an den Drähten nicht mehr verweht werden und lief ungestört in der durch die Packung verursachten Verteilung in die Auffangstasse. Die Flüssigkeitsaufgabe auf die Füllkörperschicht erfolgte teils zentral durch ein 2"-Rohr, teils über einen besonderen Flüssigkeitsverteiler. Dieser bestand aus einer Schale mit 13 über den Querschnitt gleichmässig verteilten Ablaufröhrchen. Die Flüssigkeit lief zunächst einem äusseren Ringkanal zu und von da über ein gezahntes Wehr auf den eigentlichen Verteilerboden. Die 13 Ablaufröhrchen hatten 25 mm über dem Boden zwei um 90° versetzte Löcher von 12 mm Durchmesser, durch die die Flüssigkeit einfluss.

C.) Ausführung der Versuche.

Aus der grossen Zahl von Faktoren, die die Flüssigkeitsverteilung in einer Füllkörperschicht bestimmen, konnte aus Zeitmangel nur ein Teil ausgewählt und auf seinen Einfluss hin untersucht werden.

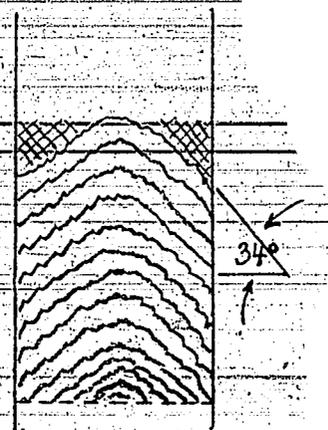
Am wichtigsten erschien uns die Abhängigkeit der Verteilung von der Rieselhöhe, der Art der Schüttung und der Flüssigkeitsaufgabe, der Fließdichte und der Gasgeschwindigkeit. So wurden auch diese Grössen einzeln verändert und ihr Einfluss gemessen. Nicht variiert wurde dagegen die Füllkörperart, die Füllkörpergrösse und die Stoffwerte der beiden entgegenströmenden Medien, welche Faktoren sicher ebenfalls auf die Verteilung der Flüssigkeit Einfluss haben. Auf ihre mutmassliche Auswirkung soll zum Schluss noch eingegangen werden.

Schüttungsart: Die Kolonne wurde zunächst, Versuchsreihe I, bis zu 1 m Schütthöhe derart mit Porzellan-Raschigringen 25 x 25 mm gefüllt, dass die Ringe immer in der Mitte der Kolonne mittels eines Trichters aufgegeben wurden, sodass sie sich kegelförmig schichteten, wobei sich ein Böschungswinkel von ca. 34° bildete. (Fig. 1) Wenn die Spitze des Kegels

1 m Schütthöhe erreicht hatte, wurde auch der restliche Kolonnenquerschnitt bis zu 1 m Höhe aufgefüllt. Die Flüssigkeitsaufgabe erfolgte bei Versuchsreihe I zentral durch ein 2"-Rohr, und zwar wurde wie bei allen Versuchen mit Wasser berieselt.

Eingestellt wurde die Fließdichte ebenso wie die Gasgeschwindigkeit an Hand einer Staurandmessung. Das der Flüssigkeit entgegenströmende Gas war bei allen Versuchen Luft. Wasser und Luft wurden dem Netz entnommen.

Fig. 1



Die Feststellung der Flüssigkeitsverteilung nach Durchfliessen der vorgegebenen Rieselhöhe erfolgte durch Auffangen der Flüssigkeit in der schon genannten konzentrisch unterteilten Auffangtasche.

Die Ablaufmenge aus den einzelnen Ringkammern wurde nacheinander einem 35 l Messgefäss zugeführt und die Zeit abgestoppt. Gefahren

wurde bei einer Rieseldichte $\varphi_1 = 6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ und $\varphi_2 = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Die Luftgeschwindigkeiten in der Kolonne (auf den freien Querschnitt bezogen) waren $w_1 = 0$, $w_2 = 0,4$, $w_3 = 0,7$ und $w_4 = 1 \text{ m/sec}$. War die Verteilung bei den genannten Werten von φ und w gemessen, wurden weitere Füllkörper in die Kolonne eingebracht bis zu einer Schütthöhe von 2 m, dann 3 m und 5 m.

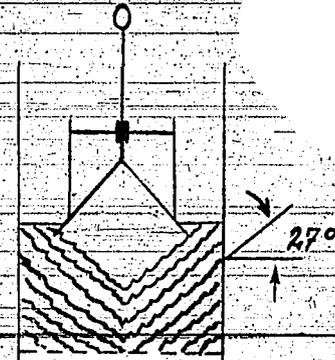
Versuchsreihe II wurde in der gleichen Weise durchgeführt, nur war hierbei die Schüttung der Füllkörper nicht kegelförmig nach aussen, sondern trichterförmig nach der Mitte der Kolonne zu geneigt. Der Böschungswinkel betrug hierbei ca. 27° . Erreicht wurde diese Schüttung durch eine in nebenstehender Fig. 2 abgebildete einfache Füllvorrichtung. Ein Blechkegel konnte an einem Stab in die Kolonne

Fig. 2

eingeführt werden, wobei drei Rundeisen für eine zentrische Führung sorgten.

Ueber den Kegel war ein Zylinder gestülpt, in den die Füllkörper eingefüllt wurden.

Hob man nun den Zylinder etwas an, so schütteten sich die Füllkörper gleichmässig am Kolonnenmantel auf.



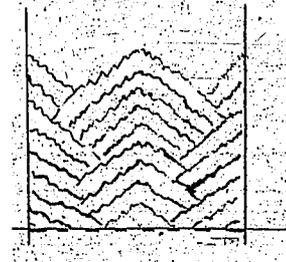
Bei Versuchsreihe III war die Schüttung der Füllkörper ohne jeden Böschungswinkel, d.h. jede kleine eingebrachte Menge wurde sofort eingeebnet. Versuchsreihe IV wurde wieder mit der Füllkörperschüttung vom Rand aus nach der Mitte der Kolonne geneigt gefahren, wie unter II, jedoch mit einer über den Querschnitt gleichmässig verteilten Flüssigkeitsaufgabe mittels der unter "B" beschriebenen Verteilerschale.

Bei Versuchsreihe V war die Tülle in der Mitte der Verteilerschale geschlossen, sonst herrschten die gleichen Verhältnisse wie bei IV.

Schliesslich wurde in Versuchsreihe VI noch eine Kombination nach Fig. 3^{x)} der beiden Schüttungsarten untersucht, und zwar war die

x) I.G. Anmeldung Höchst, Akt. Nr. 7265, eingereicht am 3.3.1939.

Fig. 3



Böschung aussen nach der Mitte zu geneigt und in der Mitte nach dem Kolonnenrand fallend. Die Flüssigkeitsaufgabe war hierbei wieder über den ganzen Querschnitt gleichmässig verteilt.

D.) Auswertung und Ergebnisse der Versuche.

Um die gemessenen Ablaufmengen aus den einzelnen Ringkammern bequem vergleichen zu können, wurden sie alle umgerechnet auf die Berieselungsdichten φ_1 bis φ_7 in $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Ausserdem wurden die φ -Werte noch in Prozenten des Mittelwertes $\bar{\varphi}$ ausgerechnet und für die verschiedenen Versuchsreihen in den Zahlentafeln 1 - 6 zusammengestellt. Besonders anschaulich ist die Aenderung der Fließdichte über den Durchmesser der Kolonne und ihre Abhängigkeit von der Rieselhöhe auf den Kurvenblättern 1 - 6 in Prozenten der mittleren Fließdichte aufgetragen.

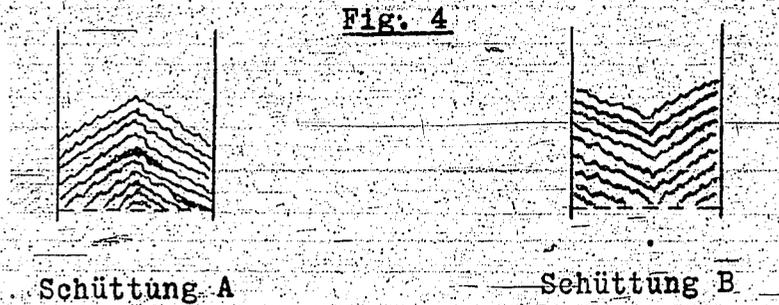
Der Uebersichtlichkeit halber sind nur die Kurven für $w = 0$ m/sec und $w = 1$ m/sec gezeichnet. Wie aus Zahlentafel I zu ersehen ist, liegen die Kurven für $w = 0,4$ und $0,7$ m/sec zwischen denen für die extremen w -Werte. Aus diesem Grund wurden auch bei den Versuchsreihen II, III, IV, V und VI nur mit $w = 0$ und $w = 1$ m/sec gefahren.

Betrachtet man diese Kurvenblätter, so kann man folgendes erkennen:

1.) bei zentraler Flüssigkeitsaufgabe (Kurvenblätter 1-3):

Die Flüssigkeit breitet sich erstaunlich langsam aus und erreicht den Kolonnenrand (600 \emptyset) in nennenswerter Fließdichte erst nach etwa 2,5 m Rieselhöhe. Die Randgängigkeit spielt daher bei dieser Art von Berieselung erst nach mehreren Metern Rieselhöhe, je nach Kolonnendurchmesser, eine Rolle. Viel schwerwiegender ist die Tatsache, dass sich die Flüssigkeit nur sehr langsam ausbreitet. Das Mass der Ausbreitung wird in erster Linie beeinflusst durch die

Art der Schüttung, dann durch die Luftgeschwindigkeit. Wenig massgebend dagegen ist die Fließsdichte, wobei die beiden letzteren Faktoren ausgleichend auf die Flüssigkeitsverteilung wirken, während die Schüttung "A" die



Flüssigkeitsführung nach dem Kolonnenrand begünstigt, die Schüttung "B" dagegen die Ausbreitung der Flüssigkeit stark abbremst, im Vergleich zu einer Schüttung ohne Böschungswinkel. Erklärlich ist diese Erscheinung damit, dass sich die Raschigringe mit ihrer Mantelfläche bevorzugt parallel zur Neigung der Schüttung legen und daher im Falle "A" hauptsächlich nach aussen leitende Flächen bilden und im Falle "B" diese Flächen die Flüssigkeit nach innen abweisen. Da die Flüssigkeit, die einmal die Kolonnenwandung erreicht hat, zum grössten Teil an dieser herunterfließt, ist diese für den Stoffaustausch wenig beitragende Flüssigkeitsmenge im Falle "A" viel grösser.

2.) bei verteilter Flüssigkeitsaufgabe (Kurvenblätter 4-6):

Durch Anwendung der Schüttung "B" war die Flüssigkeitsmenge am Rand kaum über 100%, dagegen konzentrierte sie sich stark in der Kolonnenmitte (Kurvenblatt 4). Um dies zu vermeiden, wurde die Flüssigkeitsaufgabe in der Mitte weggelassen. Wie Kurvenblatt 5 zeigt, wurde aber dadurch der Zweck nicht erreicht. Die Flüssigkeitsverteilung hatte sich gegenüber dem vorhergehenden Versuch nicht verändert. Die Flüssigkeitsverteilung in einer Füllkörperschicht ist also nicht so sehr von der Aufgabe, als vielmehr von der Schüttung abhängig. In dieser Erkenntnis wurde beim nächsten

Versuch die Vergleichmässigung der Fließsdichte durch eine entsprechende Schüttung angestrebt. Die Randgängigkeit sollte durch die Neigung der Schüttung zur Mitte vermieden werden. Der Nachteil dieser Schüttung, nämlich das Zusammenlaufen der Flüssigkeit in der

Kolonnenmitte, aber sollte dadurch umgangen werden, dass nur am Kolonnenrand diese Schüttung angewandt wurde, während in der Mitte die Böschung der Schüttung nach aussen geneigt war. Wie Kurvenblatt VI zeigt, ergab tatsächlich diese Schüt-

tung von allen untersuchten die grösste Gleichmässigkeit der Flüssigkeitsverteilung.

Fig. 5



Schüttung C

Da schon nach den Versuchen I bis III sicher zu erkennen war, dass die Schüttung "A" bei verteilter Flüssigkeitsaufgabe grosse Randgängigkeit verursachen würde, wurde diese Kombination nicht gefahren.

E.) Vermutlicher Einfluss der nicht variierten Grössen auf die Flüssigkeitsverteilung.

Wie schon erwähnt, konnte aus Zeitmangel vorerst der Einfluss der Füllkörperart, der Füllkörpergrösse und der Stoffwerte der beiden austauschenden Medien nicht untersucht werden. Nach den Versuchsergebnissen und aus Angaben in der Literatur lassen sich jedoch Schlüsse ziehen: Die Füllkörperart wird sich derart auswirken, dass Füllkörper mit ausgeprägten Flächen, z.B. Linsenkörper oder Sattelfüllkörper, das Ableiten der Flüssigkeit entsprechend der Böschung der Schüttung unterstützen werden. Mit Grösserwerden der Füllkörper dagegen wird die Verteilung der Flüssigkeit schlechter werden, da sie sich in Folge von grösseren Hohlräumen leichter zu Bächen zusammenziehen kann. Von den Stoffwerten der beiden strömenden Medien werden Dichte und Zähigkeit von Bedeutung sein, wobei die Eigenschaften der Flüssigkeit, zum mindesten die Dichte vernachlässigbar sein wird, da sich ja bei den Versuchen zeigte, dass die Fließsdichte, also die Geschwindigkeit der Flüssigkeit

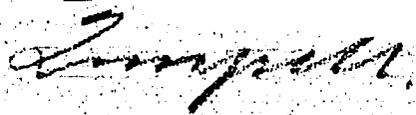
innerhalb der untersuchten Grenzen ($\varphi = 6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ bis $\varphi = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, praktisch bedeutungslos für die Verteilung ist. <Dieser Schluss von der Geschwindigkeit auf die Dichte ist damit begründet, dass ebenso wie für die Ueberflutungsgeschwindigkeit nach amerikanischen Arbeiten ²⁾ nicht die absolute Geschwindigkeit, sondern das Produkt aus Geschwindigkeit und Dichte, die Massengeschwindigkeit, massgebend ist. Da bei vorliegenden Versuchen Geschwindigkeitsveränderungen fast keinen Einfluss auf die Flüssigkeitsverteilung nahmen, muss auch der andere Faktor des Produktes, die Dichte, für die Flüssigkeitsverteilung ohne grosse Bedeutung sein. Die Geschwindigkeit des Gases (Luft) dagegen wirkt ausgleichend auf die Flüssigkeitsverteilung und so ist diese Wirkung aus dem gleichen Grunde wie vorstehend auch auf die Gasdichte auszudehnen.

Anhang:

Vergleich der gemessenen Druckverluste mit den nach Mach (5) errechneten Werten.

Der Versuchsaufbau wurde gleichzeitig benutzt, um die gemessenen Druckverluste bei den verschiedenen Luftgeschwindigkeiten, Fließdichten und Füllhöhen mit den theoretischen Werten zu vergleichen. Die Abweichungen der gemessenen Beträge lagen abgesehen von einigen Fällen innerhalb $\pm 20\%$. Irgendwelche Regelmässigkeiten konnten hierbei nicht festgestellt werden. Die Werte sind in Zahlentafel 7 zusammengestellt.

Anhang: Abb. 1.
Zahlentafeln 1 - 7.
Kurvenblätter 1 - 6.



Schrifttumverzeichnis.

1) Untersuchungen über die Rektifikation in Füllkörpersäulen.

Dr. Ing. Max Weimann, Karlsruhe i.B.

Beiheft Nr. 6 (1933) zu den Zeitschriften des Vereins Deutscher Chemiker "Angewandte Chemie" und "Die chemische Fabrik".

2) Ueberflutungsgeschwindigkeiten in Füllkörpertürmen von Sherwood, Shipley und Holloway.

Industrial and Engineering Chemistry 1938, Juli, v. 765-769.

3) Druckverluste und Belastungsgrenzen von Füllkörpersäulen.

Dr. Ing. E. Mach VDI, Ludwigshafen a. Rh.

Forschungsheft 375, Beilage zur "Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens", Ausgabe B, Band 6, Nov./Dez. 1935, VDI-Verlag, Berlin-NW 7.

4) Patentschrift: Verfahren zum Füllen von Türmen und Reaktionsräumen durch Schütten von Füllkörpern.

Daten nach dem Patentblatt: Ne/W. Chemische Fabrik Curtius A.G., Duisburg. I.G.Nr. 3286.

5) Neue Fragen und Erkenntnisse aus der Rektifikationstechnik.

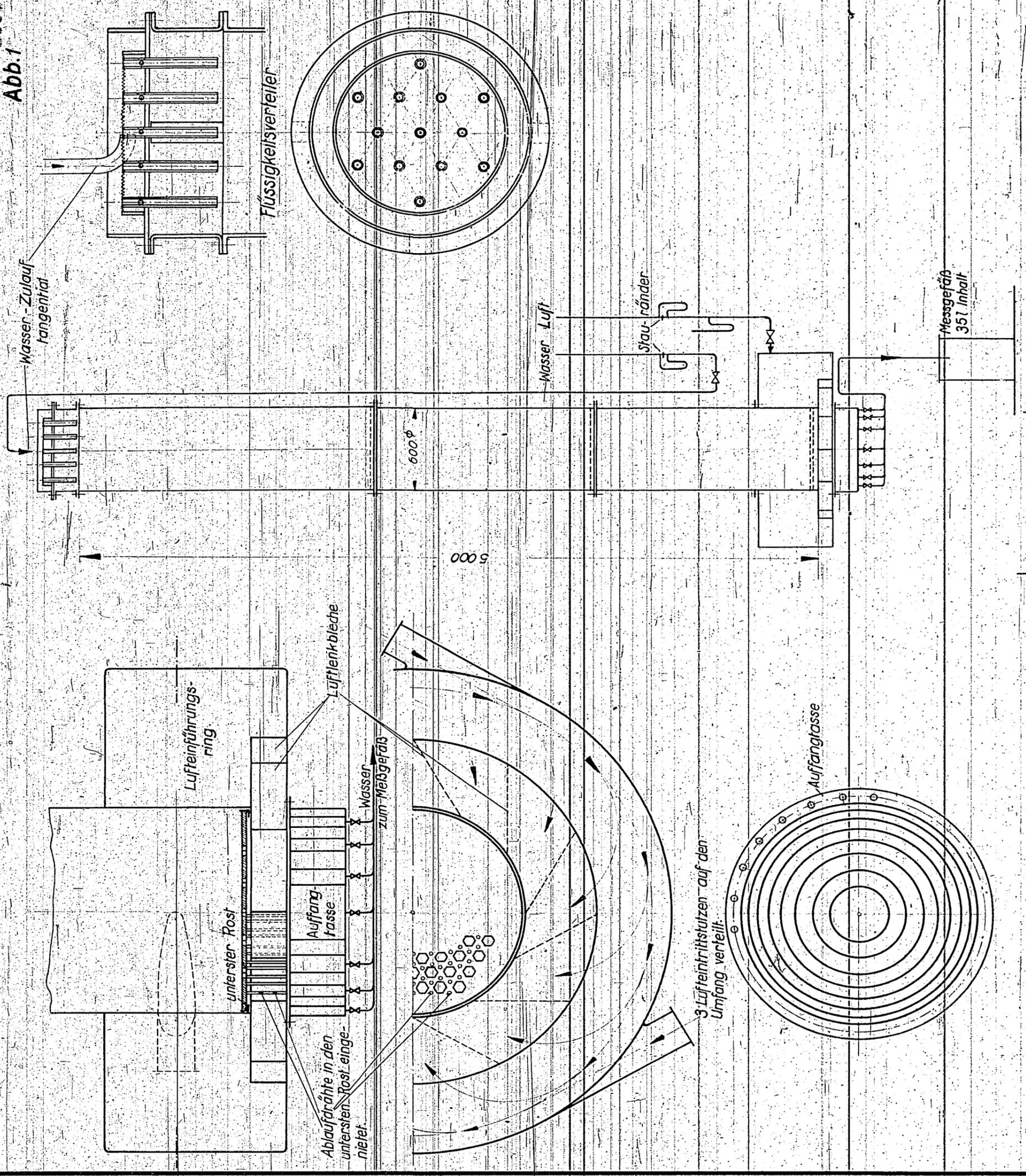
Prof. Dr. Ing. E. Kirschbaum, Karlsruhe i.B.

Zeitschrift des VDI vom 26.9.1931, Band 75, Nr. 39.

=====

23917

Abb. 1



| Zentrale Flüssigkeitsaufg. Schüttung: | W ₁ = 0 m/sec | | | | | W ₂ = 0,4 m/sec | | | | | W ₃ = 0,7 m/sec | | | | | W ₄ = 1,0 m/sec | | | | | Zahlen- tafel Nr. 1 23918 |
|--|--------------------------|------|------|------|--|----------------------------|------|------|------|--|----------------------------|------|------|------|--|----------------------------|------|------|------|--|---------------------------------|
| | Rieselhöhe in m | | | | | Rieselhöhe in m | | | | | Rieselhöhe in m | | | | | Rieselhöhe in m | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 5 | | 1 | 2 | 3 | 5 | | 1 | 2 | 3 | 5 | | 1 | 2 | 3 | 5 | | |
| $\rho_1 \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_1}{\Phi_2} \cdot 100$ | 0,54 | 2,14 | 6,14 | 2,85 | | 0,56 | 2,62 | 6,26 | 8,58 | | 0,78 | 3,03 | 7,20 | 8,36 | | 1,60 | 4,21 | 7,21 | 2,18 | | |
| $\rho_2 \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_2}{\Phi_1} \cdot 100$ | 9,00 | 35,7 | 104 | 137 | | 9,70 | 43,7 | 167 | 147 | | 13,8 | 50,4 | 125 | 141 | | 26,5 | 70,8 | 134 | 138 | | |
| $\rho_3 \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_3}{\Phi_1} \cdot 100$ | 1,38 | 3,06 | 5,43 | 6,08 | | 3,39 | 6,06 | 6,37 | 6,37 | | 1,68 | 3,53 | 5,20 | 6,43 | | 1,77 | 3,53 | 5,02 | 5,91 | | |
| $\rho_4 \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_4}{\Phi_1} \cdot 100$ | 23,1 | 51,0 | 92,0 | 107 | | 55,2 | 104 | 107 | 107 | | 29,9 | 58,4 | 90,3 | 109 | | 29,3 | 58,3 | 96,5 | 100 | | |
| $\rho_5 \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_5}{\Phi_1} \cdot 100$ | 2,16 | 4,22 | 5,32 | 6,32 | | 4,47 | 5,61 | 5,23 | 5,23 | | 2,78 | 4,65 | 5,40 | 5,65 | | 3,13 | 4,18 | 4,27 | 5,12 | | |
| $\rho_6 \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_6}{\Phi_1} \cdot 100$ | 36,1 | 78,0 | 99,7 | 94,3 | | 41,5 | 73,7 | 96,5 | 89,4 | | 49,4 | 77,5 | 93,6 | 95,7 | | 49,0 | 70,4 | 82,0 | 95,0 | | |
| $\rho_7 \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_7}{\Phi_1} \cdot 100$ | 5,50 | 6,20 | 5,36 | 5,77 | | 6,70 | 5,37 | 5,37 | 5,37 | | 6,39 | 6,69 | 5,40 | 5,44 | | 5,98 | 6,05 | 5,33 | 5,09 | | |
| $\rho_8 \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_8}{\Phi_1} \cdot 100$ | 92,0 | 104 | 89,3 | 93,3 | | 110 | 92,5 | 92,5 | 89,4 | | 112 | 111 | 92,6 | 92,0 | | 99,5 | 102 | 92,0 | 86,0 | | |
| $\rho_9 \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_9}{\Phi_1} \cdot 100$ | 10,1 | 9,11 | 5,33 | 5,67 | | 8,88 | 6,20 | 7,67 | 7,67 | | 8,67 | 8,54 | 5,59 | 4,88 | | 10,0 | 8,65 | 6,58 | 5,75 | | |
| $\rho_{10} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{10}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 149 | 152 | 104 | 99,2 | | 146 | 103 | 96,9 | 103 | | 142 | 97,1 | 83,0 | 114 | | 167 | 146 | 114 | 97,2 | | |
| $\rho_{11} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{11}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 12,3 | 9,93 | 5,90 | 2,51 | | 8,90 | 4,97 | 2,92 | 2,92 | | 10,4 | 8,00 | 4,62 | 3,69 | | 10,0 | 6,32 | 4,75 | 4,44 | | |
| $\rho_{12} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{12}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 205 | 149 | 109 | 61,5 | | 147 | 85,5 | 67,0 | 67,0 | | 185 | 133 | 89,4 | 62,1 | | 167 | 148 | 81,5 | 75,0 | | |
| $\rho_{13} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{13}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 19,7 | 15,1 | 7,02 | 4,62 | | 11,7 | 6,20 | 5,50 | 5,50 | | 16,3 | 11,0 | 6,77 | 5,77 | | 17,6 | 14,2 | 11,3 | 9,82 | | |
| $\rho_{14} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{14}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 329 | 212 | 120 | 91,0 | | 192 | 124 | 103 | 103 | | 299 | 203 | 131 | 94,5 | | 270 | 183 | 123 | 93,3 | | |
| $\rho_{15} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{15}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 4,23 | 5,14 | 14,7 | 12,6 | | 11,3 | 15,3 | 12,2 | 12,2 | | 12,25 | 15,3 | 17,3 | 17,3 | | 14,5 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | | |
| $\rho_{16} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{16}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 15,13 | 47,0 | 93,0 | 107 | | 56,7 | 106 | 120 | 120 | | 21,1 | 66,5 | 123 | 127 | | 77,6 | 132 | 132 | 128 | | |
| $\rho_{17} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{17}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 3,73 | 8,12 | 11,3 | 16,7 | | 7,58 | 12,3 | 14,5 | 14,5 | | 6,78 | 9,50 | 12,3 | 15,7 | | 6,70 | 10,0 | 13,4 | 13,7 | | |
| $\rho_{18} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{18}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 25,6 | 46,6 | 20,0 | 44,3 | | 41,6 | 22,3 | 103 | 103 | | 43,6 | 64,6 | 30,7 | 106 | | 47,1 | 65,6 | 92,0 | 97,0 | | |
| $\rho_{19} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{19}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 6,46 | 10,7 | 12,7 | 15,2 | | 10,6 | 13,2 | 15,1 | 15,1 | | 8,70 | 12,6 | 13,1 | 15,8 | | 7,98 | 11,3 | 11,6 | 12,0 | | |
| $\rho_{20} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{20}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 43,7 | 74,4 | 86,0 | 103 | | 76,0 | 82,2 | 102 | 102 | | 57,6 | 89,0 | 25,1 | 107 | | 57,3 | 74,3 | 77,0 | 92,5 | | |
| $\rho_{21} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{21}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 18,6 | 13,0 | 12,9 | 13,4 | | 13,7 | 14,3 | 14,7 | 14,7 | | 18,1 | 17,8 | 13,9 | 15,1 | | 14,1 | 13,7 | 11,6 | 12,3 | | |
| $\rho_{22} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{22}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 85,0 | 90,0 | 88,0 | 91,0 | | 96,5 | 94,7 | 99,5 | 99,5 | | 118 | 133 | 94,1 | 103 | | 97,6 | 90,0 | 79,8 | 82,3 | | |
| $\rho_{23} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{23}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 20,3 | 17,2 | 14,8 | 12,8 | | 18,4 | 16,8 | 15,3 | 15,3 | | 21,1 | 19,1 | 14,6 | 12,5 | | 20,6 | 18,1 | 18,1 | 12,0 | | |
| $\rho_{24} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{24}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 137 | 120 | 100 | 87,0 | | 130 | 113 | 95,0 | 95,0 | | 137 | 124 | 93,0 | 87,0 | | 173 | 142 | 125 | 121 | | |
| $\rho_{25} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{25}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 29,7 | 23,0 | 17,7 | 9,73 | | 21,8 | 14,9 | 10,1 | 10,1 | | 23,9 | 19,5 | 15,4 | 9,92 | | 15,6 | 14,7 | 10,7 | 10,7 | | |
| $\rho_{26} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{26}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 200 | 161 | 121 | 16,2 | | 154 | 99,7 | 58,2 | 58,2 | | 155 | 119 | 104 | 67,4 | | 147 | 96,5 | 79,5 | 71,2 | | |
| $\rho_{27} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{27}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 55,9 | 37,2 | 25,4 | 15,7 | | 32,6 | 20,7 | 11,7 | 11,7 | | 45,7 | 29,4 | 23,1 | 13,7 | | 33,9 | 25,0 | 19,0 | 14,3 | | |
| $\rho_{28} \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{\Phi_{28}}{\Phi_1} \cdot 100$ | 278 | 260 | 173 | 93,3 | | 230 | 139 | 73,9 | 73,9 | | 276 | 190 | 150 | 93,0 | | 235 | 169 | 131 | 96,0 | | |

Zahlentafel Nr. 2
Zentr. Flüssigkeitsaufg.

$W_1 = 0 \text{ m/sec.}$

$W_2 = 1,0 \text{ m/sec.}$

23919

Schüttung:



Rieselhöhe in m

Rieselhöhe in m

| | | $W_1 = 0 \text{ m/sec.}$ | | | | $W_2 = 1,0 \text{ m/sec.}$ | | | |
|---|--------------------------------------|--------------------------|------|------|------|----------------------------|------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 2 | 3 | 5 |
| Mittlere Berieselungsdichte $\Phi_1 = 6 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ | φ_1 | 0,00 | 0,02 | 0,07 | 0,12 | 1,87 | 0,14 | 0,20 | 0,22 |
| | $\frac{\varphi_1}{\Phi_1} \cdot 100$ | 0,00 | 5,90 | 23,2 | 44,7 | 32,6 | 54 | 74,3 | 107 |
| | φ_2 | 0,14 | 0,02 | 0,06 | 0,16 | 1,23 | 0,14 | 0,19 | 0,22 |
| | $\frac{\varphi_2}{\Phi_1} \cdot 100$ | 2,40 | 7,95 | 21,6 | 40,8 | 22,1 | 53,0 | 70,3 | 107 |
| | φ_3 | 0,33 | 0,07 | 0,09 | 0,14 | 1,37 | 0,14 | 0,19 | 0,22 |
| | $\frac{\varphi_3}{\Phi_1} \cdot 100$ | 5,60 | 26,3 | 31,6 | 48,9 | 31,6 | 53,3 | 68,5 | 107 |
| | φ_4 | 1,25 | 0,17 | 0,25 | 0,26 | 3,33 | 0,24 | 0,30 | 0,30 |
| | $\frac{\varphi_4}{\Phi_1} \cdot 100$ | 21,2 | 60,3 | 85,5 | 92,0 | 57,5 | 40,4 | 124 | 108 |
| | φ_5 | 6,54 | 0,38 | 0,43 | 0,44 | 5,41 | 0,36 | 0,42 | 0,24 |
| | $\frac{\varphi_5}{\Phi_1} \cdot 100$ | 118 | 139 | 150 | 154 | 145 | 154 | 137 | 47,2 |
| | φ_6 | 14,7 | 0,31 | 0,29 | 0,24 | 14,3 | 0,27 | 0,19 | 0,17 |
| | $\frac{\varphi_6}{\Phi_1} \cdot 100$ | 249 | 217 | 196 | 143 | 256 | 200 | 139 | 47,0 |
| | φ_7 | 37,5 | 0,63 | 0,55 | 0,43 | 36,4 | 0,24 | 0,21 | 0,25 |
| | $\frac{\varphi_7}{\Phi_1} \cdot 100$ | 635 | 448 | 372 | 297 | 756 | 201 | 178 | 110 |
| Mittlere Berieselungsdichte $\Phi_2 = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ | φ_1 | 0,00 | 0,02 | 0,10 | 0,20 | 1,67 | 0,14 | 0,20 | 0,22 |
| | $\frac{\varphi_1}{\Phi_2} \cdot 100$ | 0,00 | 11,1 | 26,1 | 40,7 | 27,4 | 22,5 | 26,5 | 100 |
| | φ_2 | 0,35 | 0,09 | 0,17 | 0,22 | 2,19 | 0,17 | 0,17 | 0,22 |
| | $\frac{\varphi_2}{\Phi_2} \cdot 100$ | 2,30 | 13,0 | 24,0 | 15,5 | 14,4 | 20,0 | 22,5 | 100 |
| | φ_3 | 1,60 | 0,28 | 0,33 | 0,43 | 2,80 | 0,22 | 0,24 | 0,22 |
| | $\frac{\varphi_3}{\Phi_2} \cdot 100$ | 10,6 | 41,3 | 45,3 | 62,5 | 17,0 | 15,0 | 17,0 | 100 |
| | φ_4 | 5,33 | 0,50 | 0,58 | 0,53 | 10,7 | 0,29 | 0,25 | 0,22 |
| | $\frac{\varphi_4}{\Phi_2} \cdot 100$ | 38,8 | 72,7 | 80,3 | 69,3 | 62,5 | 100 | 110 | 100 |
| | φ_5 | 24,7 | 1,13 | 1,18 | 1,01 | 24,7 | 0,36 | 0,30 | 0,22 |
| | $\frac{\varphi_5}{\Phi_2} \cdot 100$ | 164 | 163 | 164 | 150 | 144 | 110 | 100,0 | 100,0 |
| | φ_6 | 39,5 | 0,81 | 0,76 | 0,60 | 39,5 | 0,34 | 0,25 | 0,22 |
| | $\frac{\varphi_6}{\Phi_2} \cdot 100$ | 263 | 221 | 207 | 150 | 263 | 207 | 167 | 100 |
| | φ_7 | 75,0 | 1,24 | 1,14 | 0,89 | 75,0 | 0,30 | 0,22 | 0,22 |
| | $\frac{\varphi_7}{\Phi_2} \cdot 100$ | 500 | 333 | 277 | 200 | 500 | 200 | 167 | 100,0 |

| Zahlentafel Nr. 3 Zentr. Flüssigkeitsaufg. | | $W_1 = 0 \text{ m/sec}$ | | | | $W_2 = 1,0 \text{ m/sec}$ | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------------|------|------|-------|---------------------------|------|------|------|
| | | Rieselhöhe in m | | | | Rieselhöhe in m | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 2 | 3 | 5 |
| Mittlere Berieselungsdichte $\Phi_1 = 6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ | $\frac{\varphi_1}{\Phi_1} \cdot 100$ | 0,01 | 0,06 | 0,21 | 0,37 | 0,03 | 0,15 | 0,31 | 0,40 |
| | $\frac{\varphi_2}{\Phi_1} \cdot 100$ | 2,26 | 23,0 | 78,0 | 139 | 10,6 | 54,4 | 114 | 145 |
| | $\frac{\varphi_3}{\Phi_1} \cdot 100$ | 0,02 | 0,12 | 0,17 | 0,24 | 0,03 | 0,13 | 0,20 | 0,24 |
| | $\frac{\varphi_4}{\Phi_1} \cdot 100$ | 5,90 | 42,6 | 64,3 | 60,0 | 11,1 | 47,8 | 73,0 | 87,0 |
| | $\frac{\varphi_5}{\Phi_1} \cdot 100$ | 0,03 | 0,12 | 0,14 | 0,20 | 0,07 | 0,12 | 0,19 | 0,22 |
| | $\frac{\varphi_6}{\Phi_1} \cdot 100$ | 11,2 | 44,2 | 52,6 | 74,0 | 27,0 | 43,3 | 70,5 | 79,0 |
| | $\frac{\varphi_7}{\Phi_1} \cdot 100$ | 0,13 | 0,26 | 0,31 | 0,39 | 0,19 | 0,27 | 0,24 | 0,25 |
| Mittlere Berieselungsdichte $\Phi_2 = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ | $\frac{\varphi_1}{\Phi_2} \cdot 100$ | 44,0 | 95,2 | 113 | 110 | 69,3 | 93,3 | 87,5 | 90,1 |
| | $\frac{\varphi_2}{\Phi_2} \cdot 100$ | 0,39 | 0,36 | 0,32 | 0,26 | 0,42 | 0,28 | 0,28 | 0,22 |
| | $\frac{\varphi_3}{\Phi_2} \cdot 100$ | 137 | 134 | 116 | 97,3 | 154 | 138 | 103 | 80,8 |
| | $\frac{\varphi_4}{\Phi_2} \cdot 100$ | 0,44 | 0,31 | 0,21 | 0,15 | 0,40 | 0,26 | 0,19 | 0,15 |
| | $\frac{\varphi_5}{\Phi_2} \cdot 100$ | 303 | 224 | 148 | 107 | 255 | 186 | 131 | 107 |
| | $\frac{\varphi_6}{\Phi_2} \cdot 100$ | 0,71 | 0,41 | 0,28 | 0,19 | 0,50 | 0,34 | 0,23 | 0,16 |
| | $\frac{\varphi_7}{\Phi_2} \cdot 100$ | 483 | 292 | 201 | 139,6 | 361 | 247 | 163 | 107 |
| Mittlere Berieselungsdichte $\Phi_3 = 30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ | $\frac{\varphi_1}{\Phi_3} \cdot 100$ | 0,04 | 0,20 | 0,52 | 0,86 | 0,20 | 0,60 | 0,80 | 0,35 |
| | $\frac{\varphi_2}{\Phi_3} \cdot 100$ | 5,24 | 28,9 | 75,7 | 126 | 42,6 | 87,5 | 114 | 123 |
| | $\frac{\varphi_3}{\Phi_3} \cdot 100$ | 0,07 | 0,23 | 0,35 | 0,50 | 0,24 | 0,43 | 0,54 | 0,60 |
| | $\frac{\varphi_4}{\Phi_3} \cdot 100$ | 10,3 | 33,2 | 51,4 | 73,3 | 34,2 | 62,8 | 77,2 | 86,7 |
| | $\frac{\varphi_5}{\Phi_3} \cdot 100$ | 0,14 | 0,33 | 0,50 | 0,61 | 0,31 | 0,44 | 0,57 | 0,58 |
| | $\frac{\varphi_6}{\Phi_3} \cdot 100$ | 19,5 | 46,1 | 73,5 | 82,8 | 43,6 | 64,4 | 80,8 | 84,2 |
| | $\frac{\varphi_7}{\Phi_3} \cdot 100$ | 0,44 | 0,65 | 0,69 | 0,74 | 0,62 | 0,61 | 0,65 | 0,68 |
| Mittlere Berieselungsdichte $\Phi_4 = 45 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ | $\frac{\varphi_1}{\Phi_4} \cdot 100$ | 63,0 | 96,0 | 100 | 113 | 95,5 | 96,0 | 90,6 | 98,5 |
| | $\frac{\varphi_2}{\Phi_4} \cdot 100$ | 0,96 | 1,00 | 0,89 | 0,70 | 1,00 | 0,82 | 0,69 | 0,66 |
| | $\frac{\varphi_3}{\Phi_4} \cdot 100$ | 139 | 148 | 130 | 104 | 142 | 119 | 99,3 | 85,8 |
| | $\frac{\varphi_4}{\Phi_4} \cdot 100$ | 1,30 | 0,86 | 0,55 | 0,30 | 0,86 | 0,63 | 0,48 | 0,41 |
| | $\frac{\varphi_5}{\Phi_4} \cdot 100$ | 308 | 248 | 156 | 85,3 | 240 | 179 | 136 | 115 |
| | $\frac{\varphi_6}{\Phi_4} \cdot 100$ | 1,45 | 0,86 | 0,63 | 0,36 | 0,86 | 0,57 | 0,48 | 0,38 |
| | $\frac{\varphi_7}{\Phi_4} \cdot 100$ | 407 | 250 | 181 | 104 | 338 | 163 | 125 | 107 |

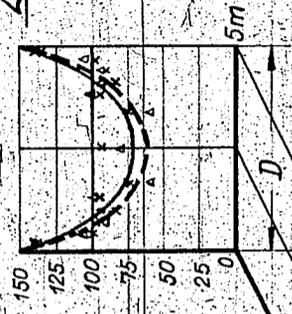
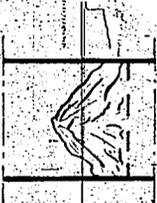
| Zahlentafel Nr. 6 Verteilte Flüssigkeitsaufg. | | $W_1 = 0 \text{ m/sec.}$ | | | | $W_2 = 1,0 \text{ m/sec.}$ | | | |
|--|------------------------------------|--------------------------|------|------|------|----------------------------|------|------|------|
| | | Rieselhöhe in m | | | | Rieselhöhe in m | | | |
| Schüttung:  | | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 2 | 3 | 5 |
| Mittlere Berieselungsdichte $\Phi_1 = 6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ | ψ_1 $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ | 1,67 | 4,35 | 4,23 | 5,86 | 3,44 | 4,80 | 5,35 | 6,30 |
| | $\frac{\psi_1}{\Phi_1} \cdot 100$ | 29,0 | 74,4 | 70,9 | 100 | 60,0 | 82,5 | 91,2 | 107 |
| | ψ_2 $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ | 2,08 | 3,11 | 3,56 | 3,52 | 3,82 | 4,36 | 4,55 | 5,10 |
| | $\frac{\psi_2}{\Phi_1} \cdot 100$ | 36,2 | 53,1 | 59,8 | 60,1 | 67,0 | 74,9 | 77,8 | 86,7 |
| | ψ_3 $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ | 3,23 | 3,68 | 3,12 | 4,51 | 3,71 | 4,25 | 4,16 | 5,42 |
| | $\frac{\psi_3}{\Phi_1} \cdot 100$ | 56,0 | 62,9 | 52,3 | 76,9 | 65,0 | 73,1 | 71,0 | 92,2 |
| | ψ_4 $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ | 6,77 | 6,49 | 6,68 | 5,63 | 5,23 | 5,54 | 5,61 | 4,47 |
| | $\frac{\psi_4}{\Phi_1} \cdot 100$ | 118 | 111 | 112 | 96,0 | 92,0 | 95,0 | 95,9 | 76,0 |
| Mittlere Berieselungsdichte $\Phi_2 = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ | ψ_1 $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ | 5,41 | 11,4 | 11,7 | 13,5 | 9,37 | 11,9 | 12,6 | 13,5 |
| | $\frac{\psi_1}{\Phi_2} \cdot 100$ | 37,7 | 78,7 | 78,5 | 94,6 | 66,0 | 81,5 | 85,5 | 92,1 |
| | ψ_2 $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ | 5,05 | 6,59 | 7,44 | 8,02 | 9,47 | 12,1 | 12,8 | 12,8 |
| | $\frac{\psi_2}{\Phi_2} \cdot 100$ | 33,9 | 45,5 | 49,7 | 56,1 | 67,0 | 82,6 | 86,6 | 87,4 |
| | ψ_3 $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ | 8,65 | 10,3 | 9,24 | 8,93 | 12,7 | 15,6 | 15,8 | 16,2 |
| | $\frac{\psi_3}{\Phi_2} \cdot 100$ | 60,4 | 71,4 | 61,7 | 62,5 | 89,0 | 107 | 106 | 111 |
| | ψ_4 $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ | 17,2 | 15,8 | 16,0 | 15,5 | 13,1 | 15,4 | 16,2 | 14,8 |
| | $\frac{\psi_4}{\Phi_2} \cdot 100$ | 120 | 109 | 107 | 108 | 92,0 | 105 | 110 | 102 |
| Mittlere Berieselungsdichte $\Phi_3 = 20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ | ψ_1 $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ | 22,1 | 49,6 | 19,1 | 19,1 | 18,7 | 16,0 | 15,5 | 15,5 |
| | $\frac{\psi_1}{\Phi_3} \cdot 100$ | 154 | 135 | 128 | 134 | 132 | 109 | 105 | 103 |
| | ψ_2 $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ | 25,7 | 19,6 | 23,3 | 17,6 | 15,4 | 11,4 | 11,1 | 13,6 |
| | $\frac{\psi_2}{\Phi_3} \cdot 100$ | 180 | 135 | 156 | 123 | 103 | 76,1 | 74,6 | 92,8 |
| | ψ_3 $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ | 29,2 | 26,2 | 28,2 | 23,6 | 28,1 | 22,2 | 20,7 | 17,4 |
| | $\frac{\psi_3}{\Phi_3} \cdot 100$ | 203 | 180 | 188 | 165 | 197 | 152 | 139 | 119 |

| Zahlentafel Nr. 6 Verteilte Flüssigkeitsaufg. | | $W_1 = 0 \text{ m/sec.}$ | | | | $W_2 = 1,0 \text{ m/sec.}$ | | | |
|--|-----------------------------------|--------------------------|------|------|------|----------------------------|------|------|------|
| | | Rieselhöhe in m | | | | Rieselhöhe in m | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 2 | 3 | 5 |
| Mittlere Berieselungsdichte $\Phi_1 = 6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ | $\frac{\rho_1}{\Phi_1} \cdot 100$ | 2,53 | 4,40 | 6,36 | 7,25 | 5,00 | 5,30 | 6,83 | 7,30 |
| | $\frac{\rho_1}{\Phi_1} \cdot 100$ | 48,0 | 76,5 | 109 | 124 | 86,1 | 93,6 | 113 | 127 |
| | $\frac{\rho_2}{\Phi_1} \cdot 100$ | 2,4 | 2,45 | 3,00 | 3,77 | 3,58 | 4,78 | 6,07 | 6,94 |
| | $\frac{\rho_2}{\Phi_1} \cdot 100$ | 46,0 | 42,5 | 51,5 | 64,5 | 61,7 | 84,5 | 101 | 120 |
| | $\frac{\rho_3}{\Phi_1} \cdot 100$ | 5,61 | 5,69 | 5,91 | 6,62 | 4,84 | 4,81 | 6,29 | 6,80 |
| | $\frac{\rho_3}{\Phi_1} \cdot 100$ | 107 | 99,0 | 101 | 113 | 83,3 | 85,1 | 104 | 118 |
| | $\frac{\rho_4}{\Phi_1} \cdot 100$ | 5,23 | 6,29 | 5,86 | 6,27 | 5,71 | 4,78 | 4,95 | 4,69 |
| $\frac{\rho_4}{\Phi_1} \cdot 100$ | 100 | 109 | 101 | 107 | 99,0 | 84,5 | 82,2 | 81,1 | |
| $\frac{\rho_5}{\Phi_1} \cdot 100$ | 5,66 | 7,56 | 7,24 | 6,12 | 6,12 | 5,68 | 4,84 | 3,88 | |
| $\frac{\rho_5}{\Phi_1} \cdot 100$ | 108 | 132 | 124 | 105 | 105 | 100 | 80,2 | 67,2 | |
| $\frac{\rho_6}{\Phi_1} \cdot 100$ | 8,34 | 6,93 | 5,56 | 4,73 | 9,26 | 7,65 | 6,91 | 4,46 | |
| $\frac{\rho_6}{\Phi_1} \cdot 100$ | 159 | 120 | 95,6 | 80,8 | 160 | 135 | 115 | 77,3 | |
| $\frac{\rho_7}{\Phi_1} \cdot 100$ | 11,9 | 9,35 | 7,95 | 5,61 | 10,1 | 9,61 | 7,54 | 5,91 | |
| $\frac{\rho_7}{\Phi_1} \cdot 100$ | 227 | 162 | 138 | 96,0 | 173 | 170 | 125 | 103 | |
| Mittlere Berieselungsdichte $\Phi_2 = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ | $\frac{\rho_1}{\Phi_2} \cdot 100$ | 6,89 | 10,6 | 14,4 | 16,3 | 10,8 | 13,2 | 12,2 | 14,1 |
| | $\frac{\rho_1}{\Phi_2} \cdot 100$ | 46,3 | 71,5 | 95,0 | 108 | 73,4 | 87,3 | 84,5 | 96,4 |
| | $\frac{\rho_2}{\Phi_2} \cdot 100$ | 5,85 | 7,30 | 9,61 | 10,4 | 12,2 | 13,6 | 13,0 | 14,9 |
| | $\frac{\rho_2}{\Phi_2} \cdot 100$ | 39,4 | 49,2 | 63,4 | 69,0 | 82,6 | 90,0 | 90,0 | 102 |
| | $\frac{\rho_3}{\Phi_2} \cdot 100$ | 13,6 | 13,3 | 14,5 | 14,5 | 12,8 | 14,8 | 13,8 | 14,2 |
| | $\frac{\rho_3}{\Phi_2} \cdot 100$ | 92,0 | 90,0 | 95,5 | 97,0 | 86,2 | 97,8 | 95,3 | 97,0 |
| | $\frac{\rho_4}{\Phi_2} \cdot 100$ | 18,2 | 15,1 | 15,5 | 15,2 | 14,6 | 14,7 | 13,1 | 13,2 |
| $\frac{\rho_4}{\Phi_2} \cdot 100$ | 123 | 102 | 102 | 102 | 99,0 | 97,1 | 90,5 | 89,6 | |
| $\frac{\rho_5}{\Phi_2} \cdot 100$ | 22,4 | 20,4 | 17,7 | 18,2 | 19,3 | 16,2 | 16,5 | 16,2 | |
| $\frac{\rho_5}{\Phi_2} \cdot 100$ | 151 | 138 | 130 | 122 | 124 | 107 | 114 | 110 | |
| $\frac{\rho_6}{\Phi_2} \cdot 100$ | 20,4 | 19,7 | 15,6 | 15,6 | 17,2 | 15,2 | 15,5 | 14,3 | |
| $\frac{\rho_6}{\Phi_2} \cdot 100$ | 138 | 133 | 103 | 104 | 117 | 101 | 107 | 97,3 | |
| $\frac{\rho_7}{\Phi_2} \cdot 100$ | 24,5 | 25,4 | 19,1 | 15,8 | 24,8 | 22,0 | 21,4 | 17,3 | |
| $\frac{\rho_7}{\Phi_2} \cdot 100$ | 165 | 171 | 126 | 106 | 168 | 145 | 148 | 113 | |

| Zahlentafel Nr. 7 | | $W_1 = 0,4 \text{ m/sec.}$ | | | | | $W_2 = 0,7 \text{ m/sec.}$ | | | | | $W_3 = 1,0 \text{ m/sec.}$ | | | | | 23924 |
|--|-----------------|----------------------------|----|----|----|------|----------------------------|-----|-----|------|------|----------------------------|-----|--|--|--|---|
| | | Rieselhöhe in m | | | | | Rieselhöhe in m | | | | | Rieselhöhe in m | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 5 | | 1 | 2 | 3 | 5 | | 1 | 2 | 3 | 5 | | |
| Druckverluste der unberieselten Säule in mm WS | ermessene Werte | 7,5 | 12 | 25 | 27 | 20 | 35 | 70 | 76 | 38 | 63 | 130 | 140 | Schüttung:  | | | |
| | | 8 | 14 | 22 | 25 | 23 | 42 | 65 | 72 | 42 | 80 | 128 | 141 | | Schüttung:  | | |
| | ermessene Werte | 6,6 | 13 | 20 | 33 | 18,5 | 37 | 54 | 93 | 36,2 | 72,5 | 108 | 181 | | | | |
| Druckverluste der mit $\Phi = 6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ berieselten Säule in mm WS | ermessene Werte | 10 | 15 | 25 | 50 | 20 | 50 | 80 | 155 | 40 | 105 | 160 | 330 | Zentrale Flüssigkeitsaufgabe. Schüttung:  | | | |
| | | | | | | | | | | 45 | 120 | 173 | 345 | | Zentrale Flüssigkeitsaufgabe. Schüttung:  | | |
| | | | | | | | | | | 53 | 120 | 190 | 345 | | | Zentrale Flüssigkeitsaufgabe. Schüttung:  | |
| | | | | | | | | | | | 60 | 140 | 205 | | 390 | | Verteilte Flüssigkeitsaufgabe. Schüttung:  |
| | ermessene Werte | 9 | 18 | 27 | 45 | 27 | 54 | 81 | 135 | 54 | 108 | 162 | 278 | | | | |
| Druckverluste der mit $\Phi = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ berieselten Säule in mm WS | ermessene Werte | 10 | 20 | 35 | 70 | 25 | 65 | 105 | 225 | 50 | 150 | 240 | 520 | Zentrale Flüssigkeitsaufgabe. Schüttung:  | | | |
| | | | | | | | | | | 60 | 180 | 257 | 550 | | Zentrale Flüssigkeitsaufgabe. Schüttung:  | | |
| | | | | | | | | | | 62 | 174 | 223 | 540 | | | Zentrale Flüssigkeitsaufgabe. Schüttung:  | |
| | | | | | | | | | | | 85 | 221 | 320 | | 560 | | Verteilte Flüssigkeitsaufgabe. Schüttung:  |
| | ermessene Werte | 11 | 22 | 33 | 56 | 33 | 66 | 99 | 165 | 66 | 132 | 198 | 331 | | | | |

Zentrale Flüssigkeitsauflage

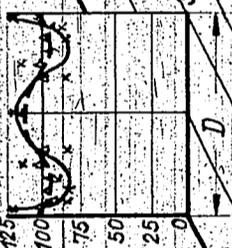
Schüttung:



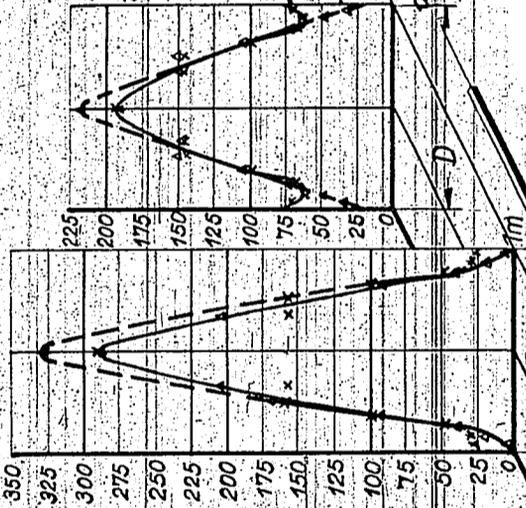
$$\Phi = 6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

$$\Delta W = 0$$

$$x: W = 1.0 \text{ m}/\text{sek}$$



3m Höhe in m

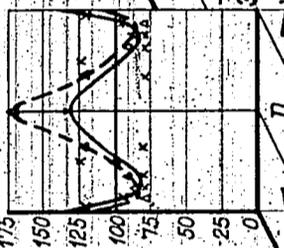
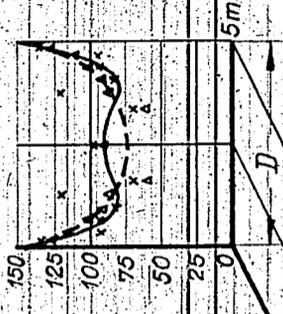


$$\frac{\varphi}{\Phi} \cdot 100$$

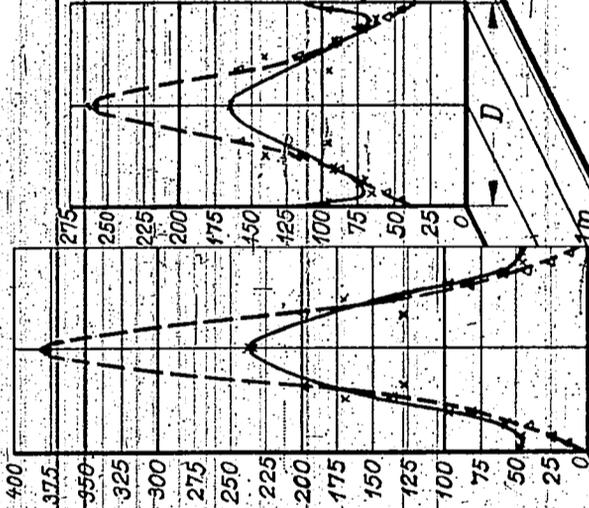
$$\Phi = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

$$\Delta W = 0$$

$$x: W = 1.0 \text{ m}/\text{sek}$$



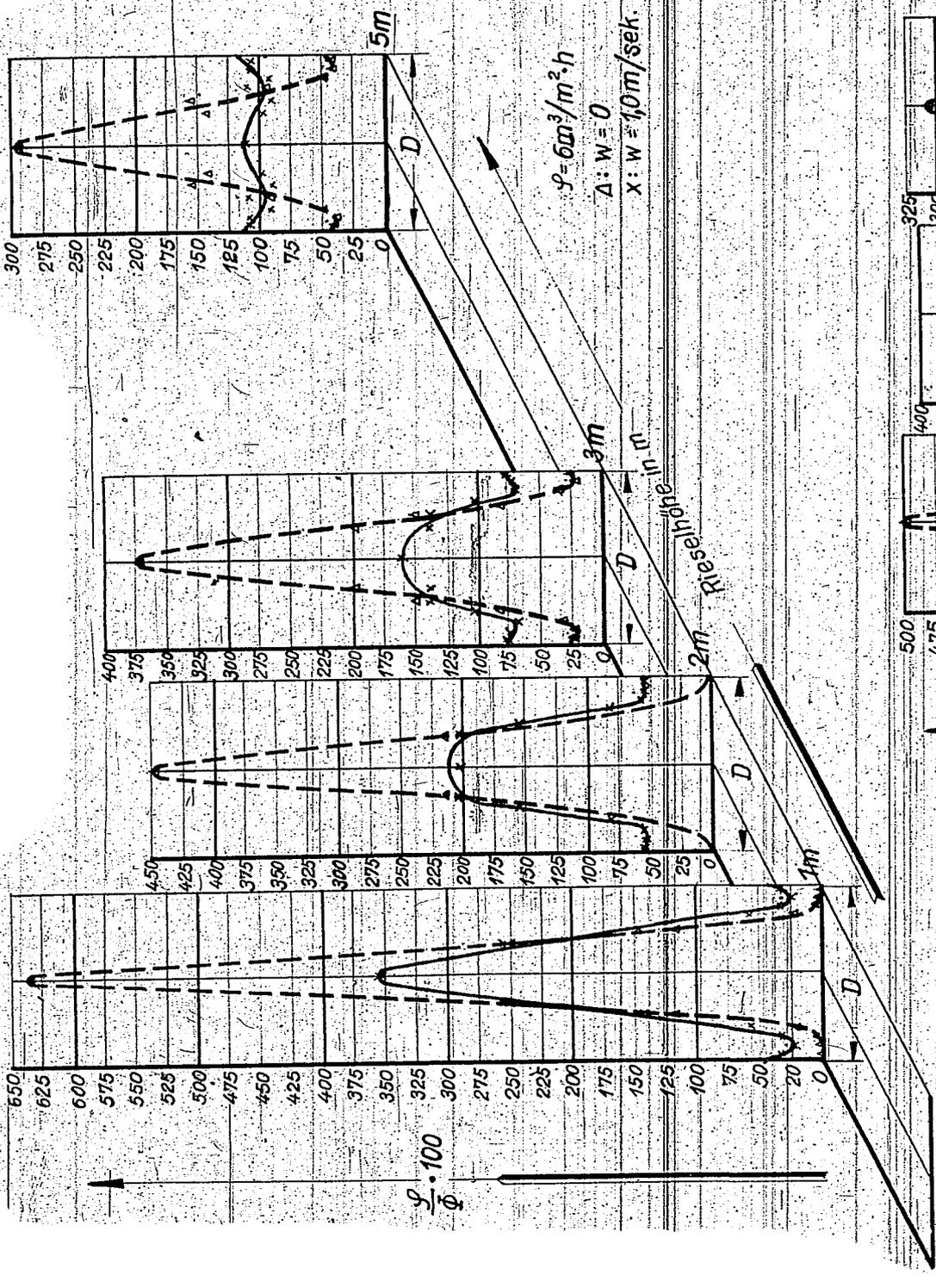
3m Höhe in m



$$\frac{\varphi}{\Phi} \cdot 100$$

Zentrale Flüssigkeitsaufgabe

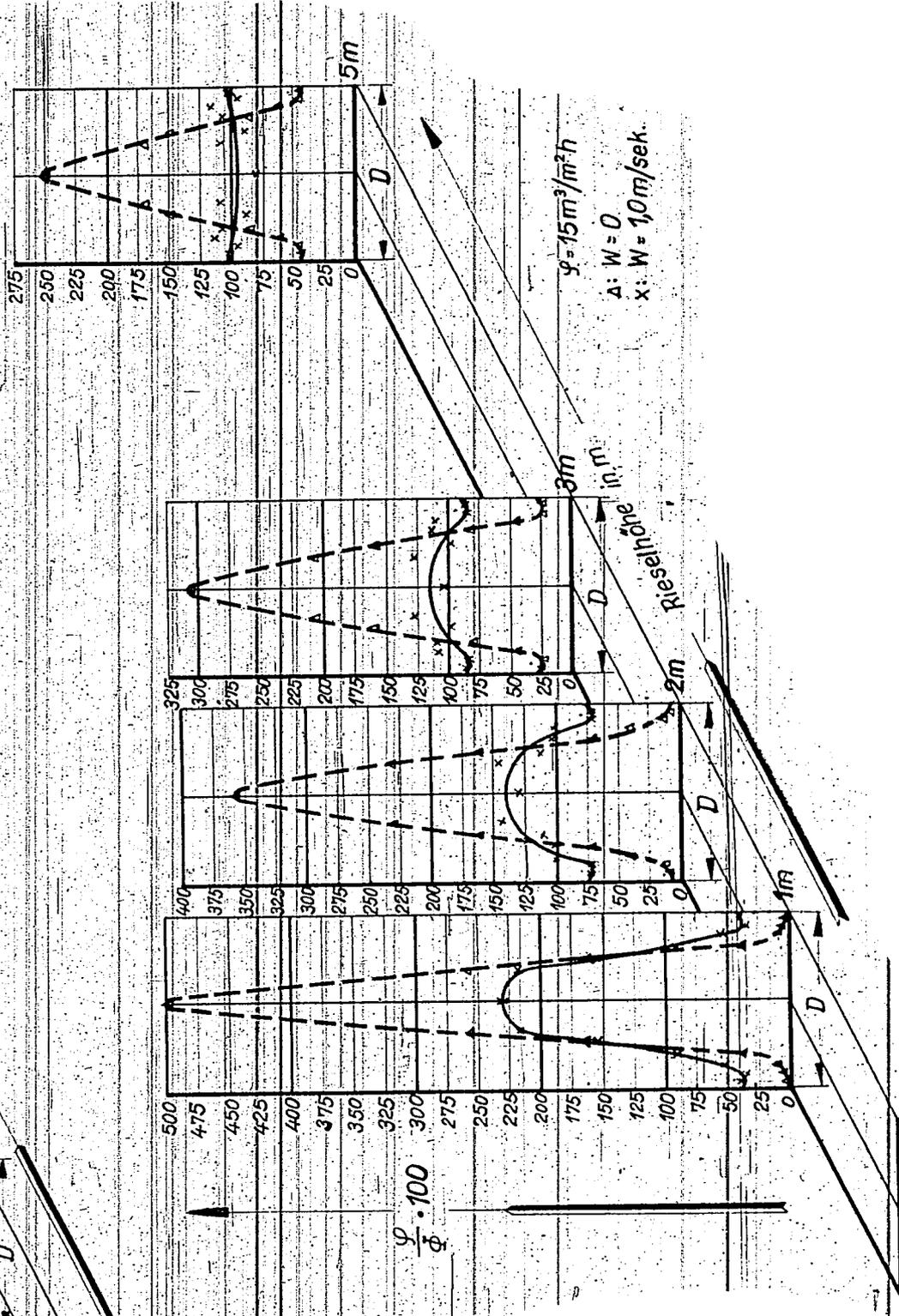
Sehrtung:



$\rho = 600^3 / m^2 \cdot h$

$\Delta: W = 0$

$X: W = 10m / sek.$



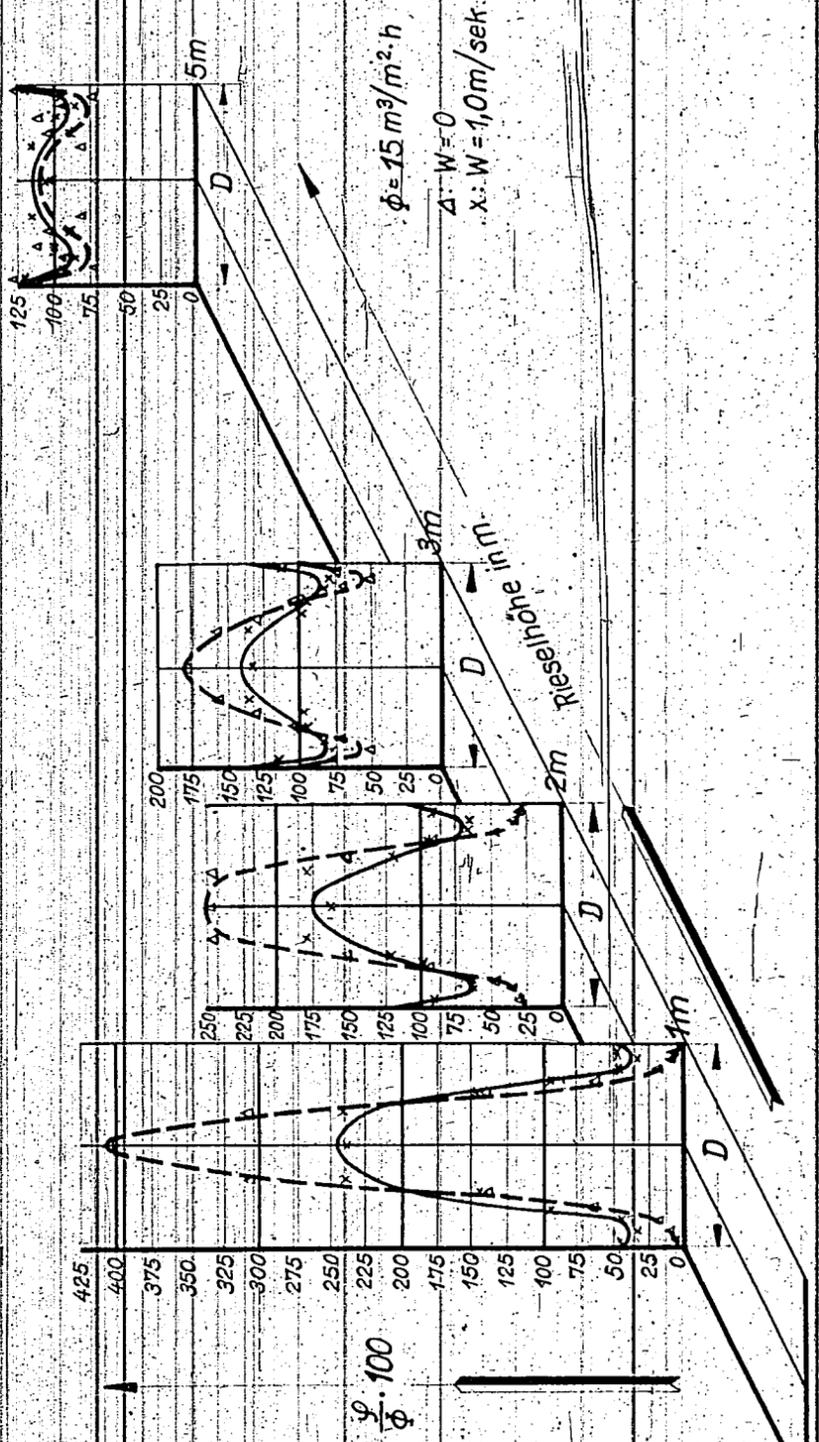
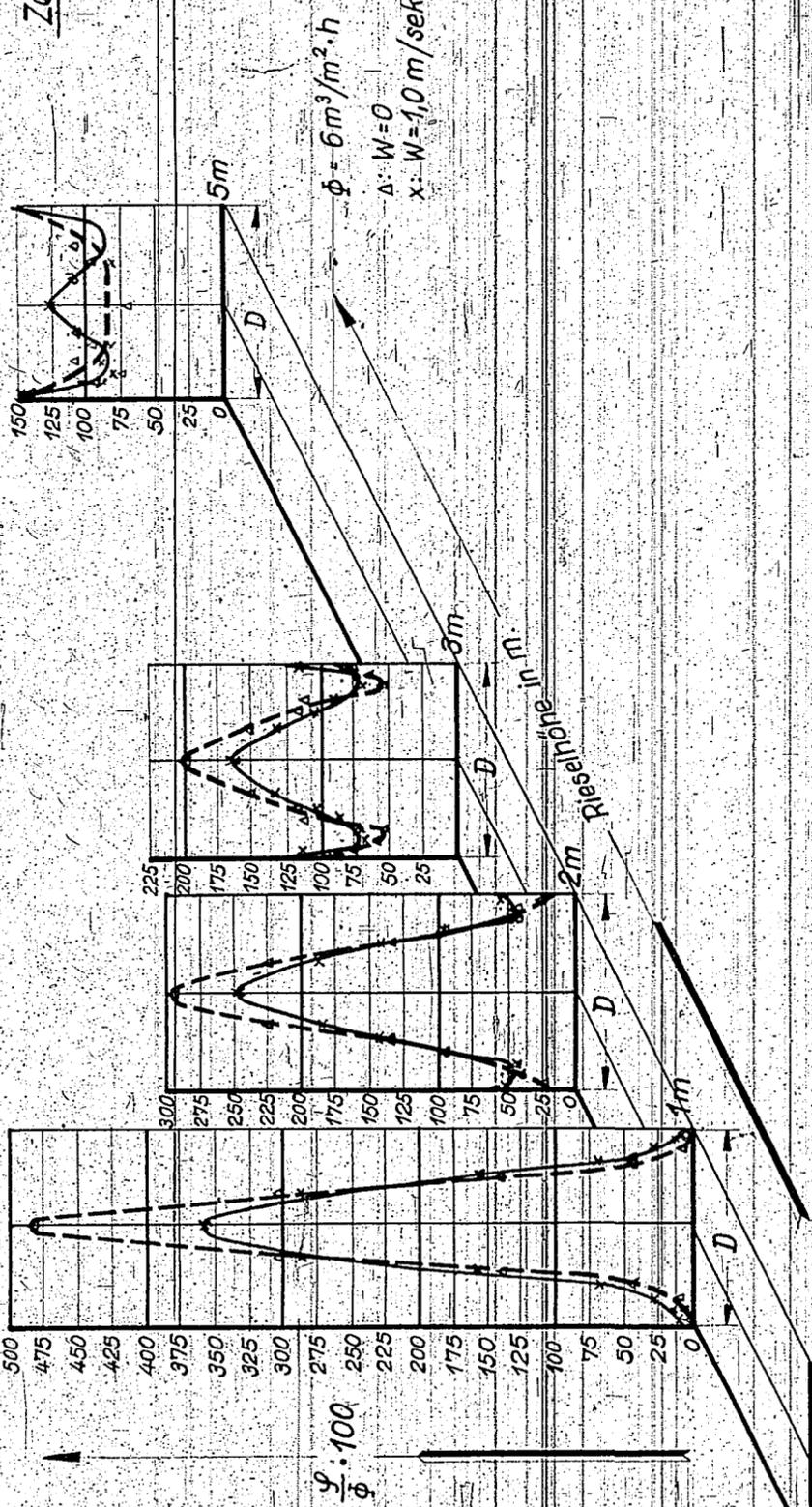
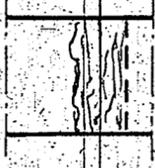
$\rho = 1500^3 / m^2 \cdot h$

$\Delta: W = 0$

$X: W = 10m / sek.$

Zentrale Flüssigkeitsaufgabe.

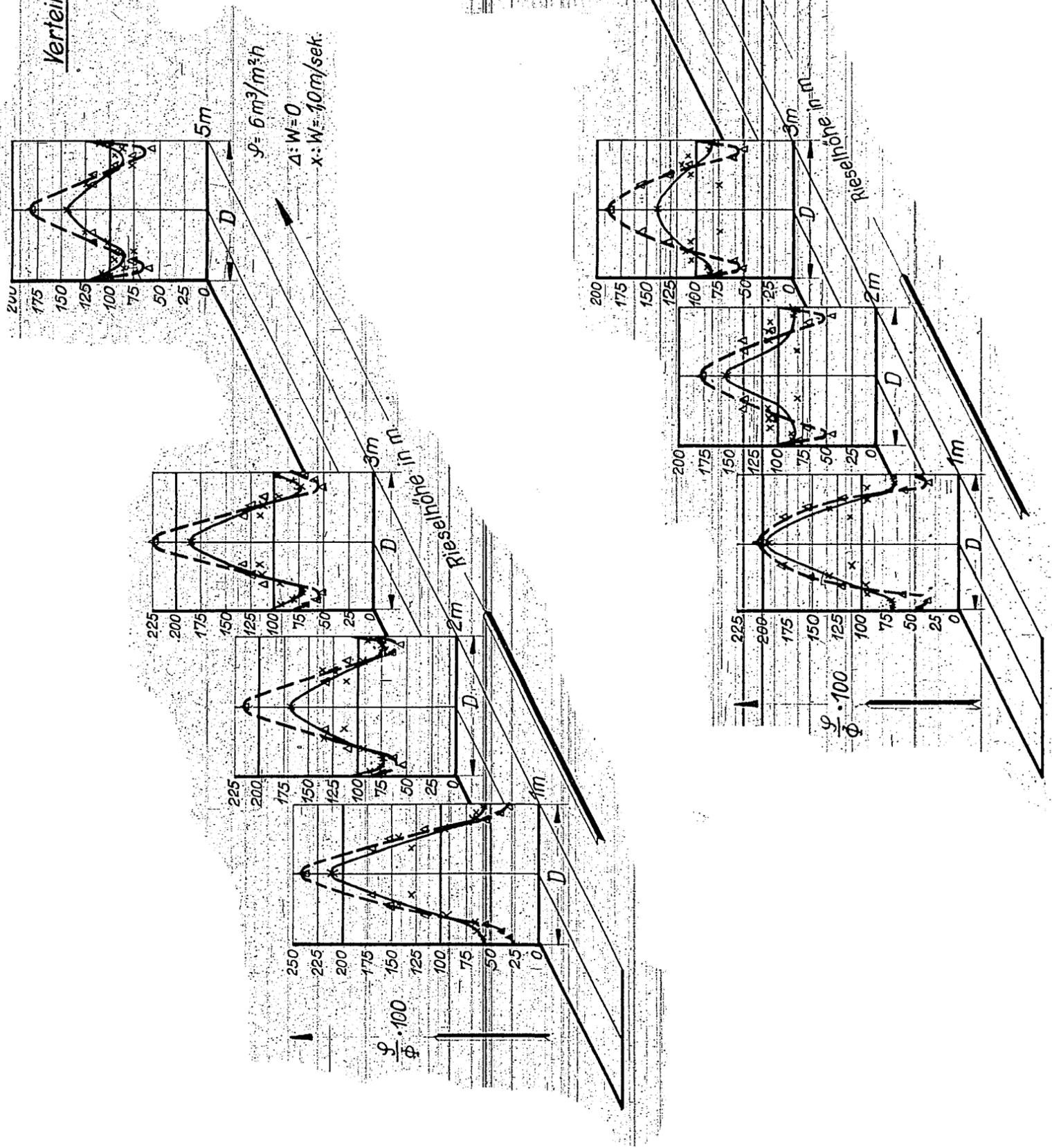
Schüttung:



Verteilte Flüssigkeitsaufgabe.



Schüttung:



Verteilte Flüssigkeitsaufgabe.

Mitte ohne Aufgabe.

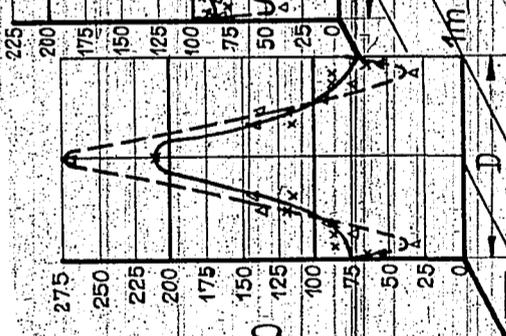
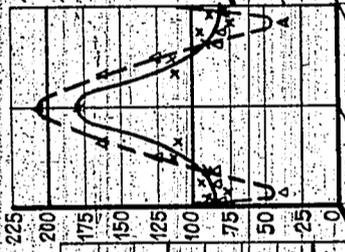
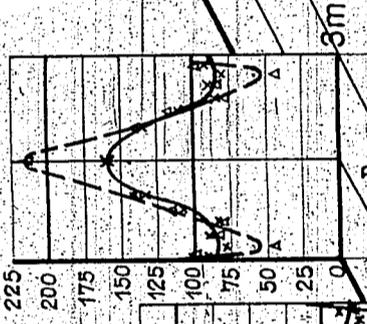
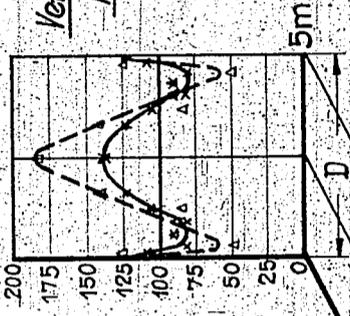
Schüttung:



$\phi = 6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$

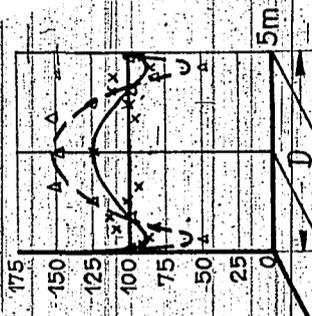
$\Delta: W=0$

$x: W=1,0 \text{ m}/\text{Sek}$



$\frac{\phi}{\phi} \cdot 100$

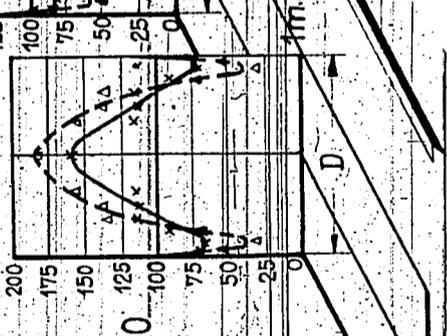
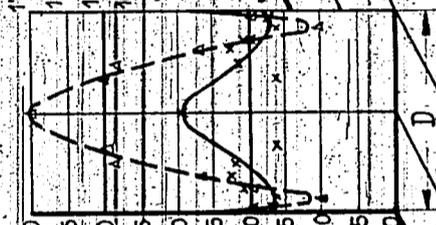
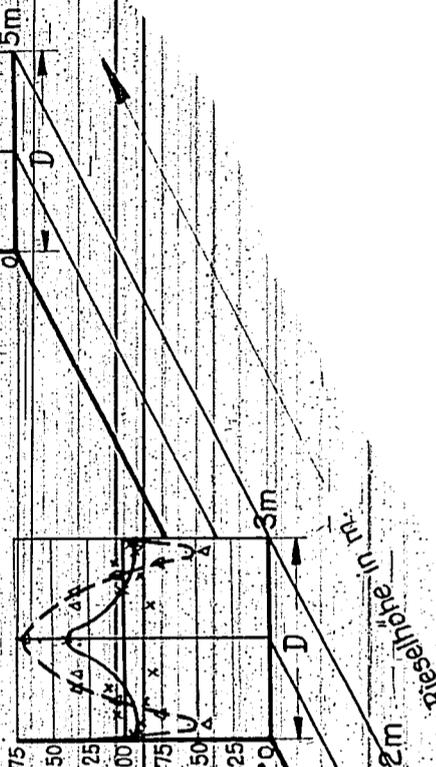
Rieselhöhe in m



$\phi = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$

$\Delta: W=0$

$x: W=1,0 \text{ m}/\text{Sek}$



$\frac{\phi}{\phi} \cdot 100$

Rieselhöhe in m

Verteilte Flüssigkeitsaufgabe

Schüttung:

