Einfluß der Weberschen Schüttmethoden auf die Flüssigkeitsausbreitung in Füllkörpersäulen

Von Dr. *FRANZ PERKTOLD*, Duisburg

Daß die Wirkung von Füllkörpersäulen mit zunehmender Höhe abnimmt, ist teilweise auf Gossenbildung, teilweise auf die Ausbreitung der Flüssigkeit zurückzuführen. Nach den verschiedenen Weberschen Schüttmethoden [1]) ist es möglich, die Ausbreitung der Flüssigkeit durch die Art und Weise der Schüttung willkürlich zu beeinflussen. Die vorliegende Arbeit versucht, diese Beeinflussung zahlenmäßig festzulegen und außerdem für den Fall einer wirklichen Neutralschüttung, flächenmäßig richtiger Flüssigkeitsaufgabe und seitlich unbegrenzter Ausbreitung die Berieselungsdichte zu berechnen.

Versuchseinrichtung

Nach *R. S. Tour* und *Frank Lerman*[2]) ist die Dichteverteilung bei der Schüttung in Füllkörpersäulen nur von der Form und Art der Füllkörper abhängig. Die folgenden Versuche haben aber ergeben, daß die sog. Füllkonstante c auch von der Schüttart abhängt. Weiter erhebt sich die Frage, ob eine Innen- bzw. Außenschüttung das *Gauß*sche Verteilungsgesetz befolgt.

Die Versuche wurden in einer Glassäule von 30 cm Durchmesser ausgeführt, wobei Innen-, Neutral- und Außenschüttungen von 12 × 12 mm-Raschigringen mit 50 bzw. 100 cm Schütthöhe angewandt wurden. Bei der Innen- bzw. Außenschüttung wurden die Ringe in die Mitte des Turmes bzw. von der Peripherie her aufgefüllt, während bei der Neutralschüttung die Füllkörper in Schichten auf eine waagerechte Ebene gestreut wurden; sie wurden dabei in kleinen Mengen eingebracht, so daß kein Böschungswinkel auftrat. Jede Schüttart wurde wiederholt geschüttet, um einen guten Durchschnittswert zu erhalten und jede Gossenbildung dadurch auszugleichen.

Rost und Auffanggefäß, Bild 1, wurden so ausgebildet, daß die Berieselungsflüssigkeit in 4 gleich breiten konzentrischen Zonen I, II, III und IV — von innen nach außen gezählt — aufgefangen wurde, während an der Wand herablaufende Flüssigkeit durch eine besondere Vorrichtung für sich als Wandverlust gemessen wurde. Jede Zone besitzt ihren eigenen Ablauf, so daß ihr Berieselungsanteil als Bruchteil der Gesamtberieselung und folglich auch ihre mittlere Berieselungsdichte $Q_I, Q_{II}, Q_{III}, Q_{IV}$ in ‰/cm² genau gemessen werden konnten.

Für die Zentralberieselung wurde die Flüssigkeit genau in die Mitte durch eine Kapillare eingeführt, während für die Flächenberieselung ein Berieselungskopf mit 32 gleichen Düsen, Bild 2,

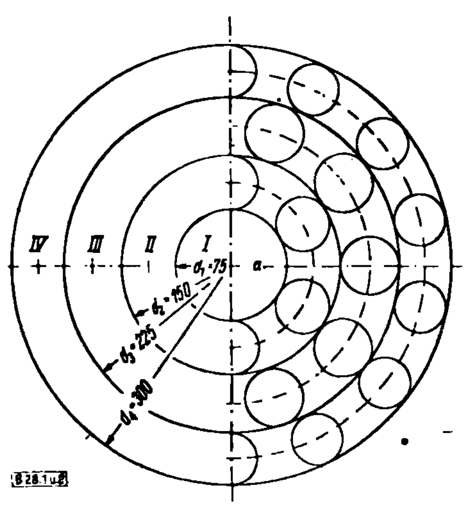

Bild 1 (links)
Einteilung des Auffanggefäßes in 4 konzentrische Zonen

Bild 2 (rechts)
Anordnung der Düsen im Verteilerkopf
a Mittelpunkt einer der beiden Düsen in der innersten Kreiszone

verwendet wurde, welche den Zonen des Auffanggefäßes entsprechend flächenrichtig aufgeteilt waren. Der innersten Kreiszone I sind 2, der Zone II 6, der Zone III 10 und der Zone IV 14 Düsen zugeordnet. Die Ausflußgeschwindigkeit wurde während der Versuche konstant gehalten.

Wenn auch der Abfall der Berieselungsdichte vom Zentrum zur Peripherie hin nicht linear ist, so kann doch die jeweilige experimentell gefundene mittlere Berieselungsdichte Q der betreffenden Zonenmitte annäherungsweise zugeordnet werden. Die Zonenmitten haben vom Zentrum Abstände von 1,875; 5,625; 9,375 und 13,125 cm; sie sind auf der x-Achse in Bild 3 bis 6 aufgetragen, während auf der y-Achse die zugehörigen experimentell gefundenen Berieselungsdichten aufgetragen sind.

Ermittlung der Füllkonstante

In der *Gauß*schen Verteilungsformel $Q_R = \frac{c}{\pi \cdot h \cdot d} e^{-\frac{R^2 c}{hd}}$ welche *Tour* und *Lerman*[2]) bei ihren Zentral-Berieselungsversuchen benutzten, bedeutet Q_R die Berieselungsdichte, R den waagerechten Abstand der betrachteten Flächeneinheit von dem verlängert gedachten Flüssigkeitsstrahl, h den lotrechten Abstand

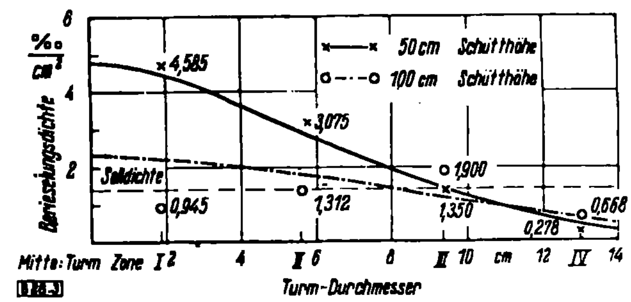

Bild 3
Innenschüttung. c = 0,88

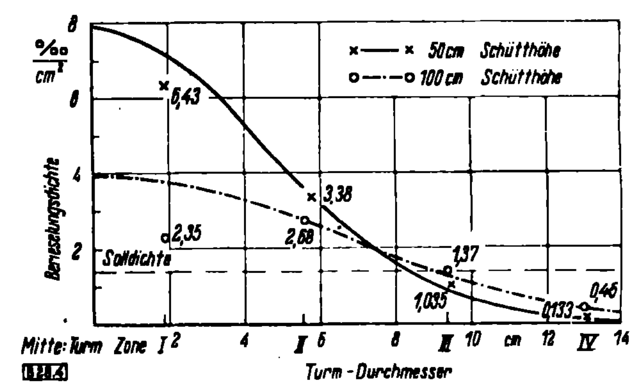

Bild 4
Neutralschüttung. c = 1,5

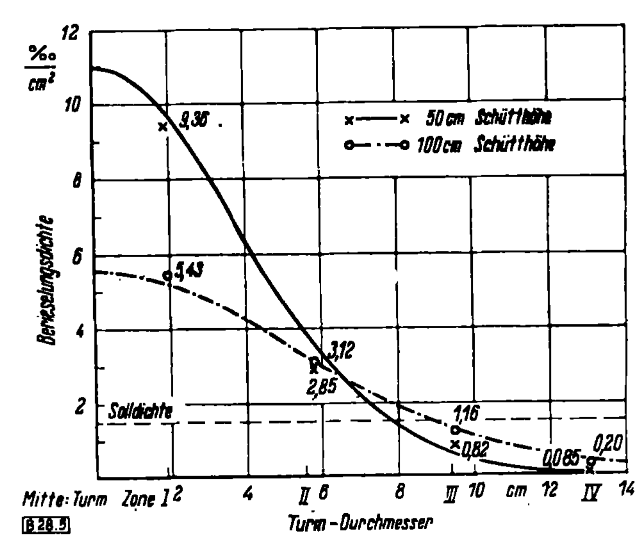

Bild 5
Außenschüttung. c = 2,06

Bild 3 bis 5
Dichteverteilung der verschiedenen Schüttarten nach *Weber* für Zentralberieselung bei seitlich unbegrenzter Ausbreitung für 12 mm-Raschigringe gemäß dem *Gauß*schen Verteilungsgesetz

[1]) *G. Schneider*, Chem. Fabrik 14, 111 [1941] und D. R. P. 695193.
[2]) *R. S. Tour* u. *Frank Lerman*, Trans. Amer. Inst. chem. Engr. 35, 719/42 [1939], Referat im Chem. Zbl. 1942 II. S. 2624.

Tabelle 1

Zentralberieselungsversuche als Grundlage für die Berechnung der Füllkonstante c; Q = Berieselungsdichte

	Innenschüttung				Neutralschüttung				Außenschüttung			
	Höhe = 50 cm		Höhe = 100 cm		Höhe = 50 cm		Höhe = 100 cm		Höhe = 50 cm		Höhe = 100 cm	
Zone u. Fläche in cm²	Wassermenge in l	1000 Q cm⁻²	Wassermenge in l	1000 Q cm⁻²	Wassermenge in l	1000 Q cm⁻²	Wassermenge in l	1000 Q cm⁻²	Wassermenge in l	1000 Q cm⁻²	Wassermenge in l	1000 Q cm⁻²
I = 44,16	2,07	4,585	0,36	0,945	2,14	6,430	0,88	2,34	2,85	9,36	1,38	5,43
II = 132,47	4,17	3,075	1,50	1,312	3,39	3,380	3,02	2,68	2,60	2,85	2,37	3,12
III = 220,78	3,05	1,350	3,61	1,900	1,73	1,035	2,58	1,37	1,25	0,82	1,47	1,16
IV = 309,10	0,88	0,278	1,78	0,668	0,31	0,133	1,18	0,45	0,18	0,0845	0,36	0,20
Wandverlust	0,06	—	1,37	—	—	—	0,87	—	0,01	—	0,17	—
Summe = 706,5	10,23	—	8,62	—	7,57	—	8,53	—	6,89	—	5,75	—

von der Füllkörper-Oberfläche und d den Durchmesser der benutzten Füllkörper. c stellt als Füllkonstante ein Maß für die Ausbreitung der Flüssigkeit dar und kann für jede Schüttart durch Einsetzen der mittleren Berieselungsdichte Q_{II}, Q_{III} oder Q_{IV} aus Tabelle 1 und der entsprechenden Größen für R, h und d ermittelt werden. Die Berechnung muß, da es sich um eine transzendente Gleichung handelt, nach einer Näherungsmethode vorgenommen werden.

Theoretisch müßte für jede Zone sich dieselbe Größe für c ergeben, in Wirklichkeit ergeben sich etwas abweichende Werte, deren arithmetisches Mittel aber dem wahren Wert von c am nächsten kommt. Die Größe der Konstante c hängt natürlich von der willkürlich zu wählenden Längeneinheit ab. Auf Grund der in Tabelle 1 gefundenen Berieselungsdichten Q konnten auf diese Weise für die drei bekanntesten Schüttmethoden die Füllkonstante c zu 0,88 für die Innen-, 1,50 für die Neutral- und 2,06 für die Außenschüttung ermittelt werden. Ideal gute Innen- bzw. Außenschüttungen würden noch niedrigere bzw. höhere Werte für c ergeben, im Prinzip jedoch nichts ändern. Die Bilder 3 bis 5 zeigen, wie sich die experimentell gefundenen Werte den Glockenkurven, gezeichnet auf Grund der *Gauß*schen Verteilungsformel mehr oder weniger gut einfügen. Letzteres gilt für die innerste Zone nur bei großer Schütthöhe, weil infolge der Kleinheit der Zone das Gesetz der großen Zahl nicht mehr erfüllt ist und auch der eintretende Wandverlust schon Störungen mit sich bringt, da keine reine Zentralberieselung mehr vorliegt.

Dichteverteilung bei flächenmäßig richtiger Flüssigkeitsaufgabe

Im Falle der Berieselung durch eine Anzahl von Berieselungsstellen ist nur bei einer Neutralschüttung eine Berechnung der Dichteverteilung durch Summation der einzelnen Teilberieselungsdichten möglich, bei Innen- und Außenschüttungen jedoch nicht, da für eine Berechnung die erforderliche Gleichheit der Verteilungshindernisse nicht mehr besteht.

Trotz der mühsamen Berechnung — Summation von 32 Teildichten für das Zentrum, die vier Zonenmitten und die Schütthöhen 25, 50, 100 und 200 cm — wurde für die Neutralschüttung bei flächenmäßig richtiger Flüssigkeitsverteilung durch 32 Düsen die Berieselungsdichte rechnerisch in der Weise ermittelt, daß für jede Düse der waagerechte Abstand R von der Turm- bzw. den Zonenmitten ausgemessen, in die *Gauß*sche Formel eingesetzt und sämtliche 32 Teilberieselungsdichten summiert wurden. Das Ergebnis enthält Bild 6.

Die Berechtigung, die Teilberieselungsdichten zu summieren, folgt aus der Erfahrungstatsache, daß sich mehrere Berieselungen gegenseitig nicht stören, sondern addieren, wie aus vielen Berieselungsversuchen hervorging.

Multipliziert man die Berieselungsdichten der Zonenmitten — angegeben in % der Solldichte — mit dem Anteil der einzelnen Zonen an der Gesamtfläche des Querschnittes und addiert, so erhält man die Durchschnittsberieselungsdichte der Gesamtfläche in % der Solldichte und als Ergänzung auf 100% den theoretischen Wandverlust, der eintreten würde, falls die Turmwand nichts mehr an die Füllung abgeben würde. Dieser beträgt bei der Neutralschüttung rechnungsmäßig:

$$\left.\begin{array}{llll} \text{bei} & 25\text{ cm} & \text{Schütthöhe} & = 14{,}5\% \\ ,, & 50 & ,, & = 21{,}0\% \\ ,, & 100 & ,, & = 31{,}5\% \\ ,, & 200 & ,, & = 45{,}0\% \end{array}\right\} \text{der Gesamtberieselung.}$$

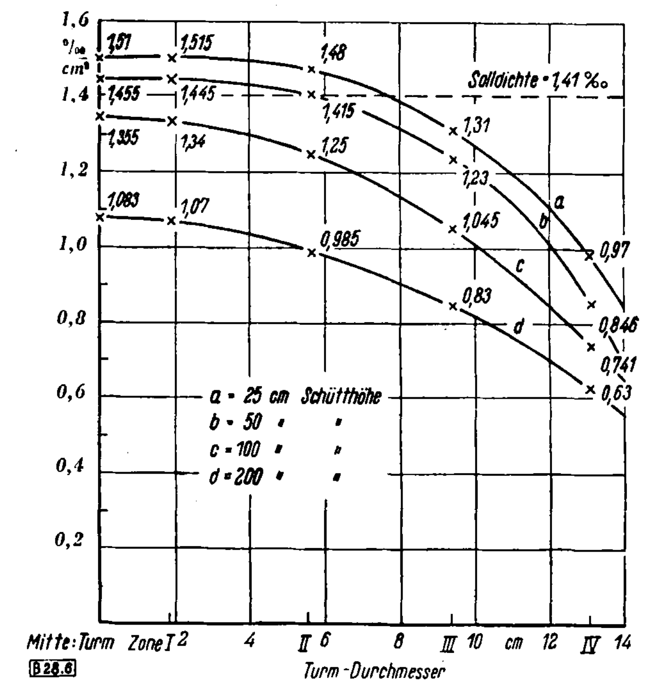

Bild 6

Berieselungsdichte einer Neutralschüttung bei seitlich unbegrenzter Ausbreitung und flächenmäßig richtiger Flüssigkeitsaufgabe durch 32 Düsen

Aus Bild 6 sind nachstehende Folgerungen zu ziehen: Trotz flächenmäßig richtiger Aufgabe und neutraler Schüttung ist die III. und noch mehr die IV. Zone, die zusammen rund 75% des Querschnittes ausmachen, in der Berieselungsdichte erheblich benachteiligt. Diese Erscheinung tritt nicht etwa erst bei großer Schütthöhe, sondern schon verhältnismäßig schnell nach der Aufgabe auf. Die Füllkörpergröße wirkt sich bei der Zentralberieselung für die Verteilung der Flüssigkeit genau so aus wie die Turmhöhe: Kleinere Füllkörper vermindern die Ausbreitung. Am Turmkopf wäre also eine Schicht Innenschüttung angebracht, um die Verteilung zu fördern, und um die Mitte nicht anzureichern.

Es ergibt sich somit die Notwendigkeit, entweder die III. und IV. Zone zusätzlich zu berieseln oder den Wandverlust diesen beiden Zonen wieder zuzuführen, sei es durch Nasensteine, Rinnen oder andere Maßnahmen. Wie das Ausmaß der Ausbreitung im Falle der Zentralberieselung bei Vergrößerung sämtlicher Dimensionen — z. B. um das 10fache — sich ändert, ist nicht mit Sicherheit vorauszusagen, da die Füllkonstante c sich vielleicht ändern wird. In der e-Potenz käme sie nicht zur Geltung, da sie im Zähler und Nenner des Exponenten sich gegenseitig aufheben würde. Der Faktor $\frac{c}{\pi \cdot h \cdot d}$ dagegen würde, falls die Konstante c gleichbleibt, auf den hundertsten Teil absinken, weil Höhe und Füllkörperdurchmesser im Nenner allein vorkommen, d. h. die Ausbreitung würde mit der Vergrößerung der Dimensionen noch quadratisch ansteigen.

Eingeg. 21. Juli 1947 [B 28]