



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Drainage

Schewior, Georg

Leipzig, 1912

22. Berechnung der Sammler

[urn:nbn:de:hbz:466:1-97301](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-97301)

weichem Boden nicht vollständig erzielt. Eine vollständige Ausgleichung des Sohlengefälles ist eben nicht möglich. Der Unterschied zwischen schwachem und stärkerem Gefälle ist aber der, daß die unvermeidlichen kleinen Unregelmäßigkeiten der Sohle im zweiten Falle unschädlich bleiben, weil jedes Rohr immer noch im Gefälle liegt, während im ersten Falle einzelne Rohre im Gegengefälle liegen und Ursachen eintretender Verstopfung werden.“

Das in Prozenten zu ermittelnde Gefälle ist möglichst gleichmäßig zu verteilen, auch ist eine **Abnahme der mittleren Geschwindigkeit des Wassers in den Sammlern, soweit es angeht, zu vermeiden.**

Einige Beachtung verdient auch die zulässige größte Geschwindigkeit des Wassers.

Nach Friedrich*) soll die in den Drainröhren sich entwickelnde Geschwindigkeit womöglich 1 m in einer Sekunde nicht überschreiten. Im allgemeinen wird aber je nach der Güte des Rohrmaterials und der Beschaffenheit des Untergrundes eine höhere Grenze gezogen werden können.

Ist ein Ausspülen auf der Sohle oder neben den Rohrsträngen und damit eine Verschiebung der Röhren zu befürchten, was bei stärkerem Gefälle leicht eintreten kann, so empfiehlt es sich, die Röhren durch eine Steinpackung oder in anderer Weise zu sichern.

22. Berechnung der Sammler.

Die richtige Bemessung der Rohrweiten ist nicht nur für eine geregelte und rechtzeitige Abführung des Wassers — besonders bei Flächen mit geringem Gefälle — von großer Wichtigkeit, sondern auch mit Rücksicht auf die wirtschaftliche Ausführung der Anlage durchaus geboten.

Die Rohrweite der Sammler richtet sich lediglich nach der abzuführenden Wassermasse und nach der Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser in den Röhren bewegt. Während die erstere durch die Größe der zu entwässernden Fläche und der Wasseransammlung bestimmt wird, hängt die Geschwindigkeit von dem Gefälle der Leitung und von der Beschaffenheit der verwendeten Röhren ab.

a) Abzuführende Wassermenge. Die dem Boden zu entziehende Wassermasse besteht zum weitaus größten Teil aus den auf der Meliorationsfläche gefallenen Niederschlägen, die infolge unzureichender Durchlässigkeit des Untergrundes nicht in eine für die Pflanzen oder die Nutzung des Grundstückes günstige Tiefe gelangen oder sonst zum seitlichen Abfluß kommen können. Daneben ist nicht selten Grundwasser abzuleiten, das aus der höher gelegenen Umgebung als sogenanntes „Druckwasser“ dem Drainagegebiete zufließt. Das Auftreten des letzteren und seine Größe muß durch örtliche Untersuchung festgestellt werden.

Für die Bestimmung der aus den direkten Niederschlägen herrührenden Wassermengen stehen Anhaltspunkte zu Gebote, deren Zuverlässigkeit durch langjährige Erfahrung und durch einschlägige Versuche erprobt sind. Für Preußen kommen die von der Königlichen Generalkommission für Schlesien eingeführten Abflußmengen in Betracht.

*) Kulturtechnischer Wasserbau. Berlin 1909. Teil I. S. 307.

Nach der mehrerwähnten „Schlesischen Anweisung“ für die Aufstellung und Ausführung von Drainage-Entwürfen ist zur Berechnung der Lichtweiten der Sammler die Abführung einer sekundlichen Wassermenge von **0,65 Liter von 1 ha für die Ebene** mit geringeren jährlichen Niederschlagshöhen und von **0,80 Liter von 1 ha für gebirgige Gegenden** mit höheren Niederschlägen anzunehmen.

Bei der Ermittlung der Zahl 0,65 ging die genannte Generalkommission von der Voraussetzung aus, daß die Drainage im Frühjahr das Tauwasser, das die Niederschläge der Wintermonate Dezember, Januar, Februar und März in sich schließt, möglichst schnell beseitigen, dann aber auch bei längeren Regenperioden das überschüssige Wasser so abführen muß, daß der Abfluß möglichst dem Zuflusse entspricht.

Der Berechnung wurden die Niederschlagsverhältnisse von Ober-, Mittel- und Niederschlesien nach den langjährigen Beobachtungen der meteorologischen Stationen zu Ratibor, Breslau und Görlitz zugrunde gelegt.

Für die Ermittlung der im Frühjahr nach Eintritt der Schneeschmelze abzuführenden Wassermengen dienten die mittleren Niederschläge der genannten vier Monate. Hierbei wurde angenommen, daß nach Abzug des auf der Oberfläche abfließenden Wassers und der Verdunstung nur 50 % der Niederschläge in die Drains gelangen und daß dieses Frühjahrswasser in einer 14tägigen Tauperiode aus dem Boden entfernt wird.

Zur Beurteilung des zweiten Falles wurde unter Benutzung der größten monatlichen Regenhöhen nach der Anzahl der Regentage und Beobachtungsjahre eine durchschnittliche tägliche Regenhöhe für die drei Stationen abgeleitet. Hier von sollten wieder nur 50 % in die Drains gelangen, während die andern 50 % oberirdisch abfließen oder verdunsten sollten.

Die unter den beiden Voraussetzungen erzielten 6 Ergebnisse der drei Beobachtungsstationen wurden zu 0,65 Liter gemittelt und als sekundliche Abflußmenge von 1 ha Fläche für die schlesische Ebene vorgeschrieben.

Diese Zahl — 0,65 l auf 1 ha und 1 Sekunde — hat sich in ganz Norddeutschland eingebürgert und hat überall da Geltung, wo die jährliche Regenhöhe weniger als 900 mm beträgt.

Daneben werden von verschiedenen bedeutenden Kulturtechnikern teilweise stark voneinander abweichende Abflußmengen verzeichnet. Da diese den jeweiligen Boden- und Regenverhältnissen oder sonstigen, besonders auch klimatischen Einflüssen angepaßt sind, ist gegen ihre Berechtigung nichts einzuwenden.

Die für **Deutschland** von Vincent vorgeschlagene Wassermenge bildet fast das arithmetische Mittel der von der Generalkommission für Schlesien angegebenen Zahlen.

Vincent nahm für seine Berechnung einen monatlichen höchsten Niederschlag von 100 mm = 0,10 m an, der innerhalb eines halben Monats, also in einem Zeitraum von 15 Tagen versickern und ganz zum Abfluß gelangen sollte. Diese Regenhöhe entspricht bei einem Sammelgebiet von 1 ha Größe einer Wassermenge von $10000 \cdot 0,10 = 1000 \text{ cbm}$; da der Abfluß in 15 Tagen oder in $15 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$ Sekunden erfolgen soll, ergibt sich eine durchschnittliche Wassermenge von

$$\frac{1000}{15 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{1000}{1296000} = 0,00077 \text{ cbm oder } 0,77 \text{ l für } 1 \text{ ha und } 1 \text{ Sekunde.}$$

Weiter sind für Deutschland nachstehende Angaben gemacht, die z. T. stark voneinander abweichen.

Schweder nimmt eine sekundliche Wassermenge von 0,60 l für Tonboden, von 0,70 l für leichten Boden und erhöht sie bei viel fremdem Grundwasser auf 1,0 l.

Dünkelberg rechnet für die norddeutsche Tiefebene 0,271 l für das ha und die Sekunde, für gebirgige Gegenden Norddeutschlands 0,386 l. Für größere Ebenen im Süden und Osten von Europa gibt er 0,347 l bzw. 0,579 l an; ausnahmsweise bei erheblichen Regenmengen: 0,462 bzw. 0,772 l.

v. Möllendorf u. Wäge rechneten für schweren Boden 0,331 l, für leichten Boden 0,468 l; Stocken*) 0,35 l; Groppe*) 0,40 l; Luedecke*) hält bei gewöhnlichen Verhältnissen 0,40 l und bei stärkerem oberirdischen und unterirdischen Zuflusse 0,50 l für ausreichend. Nach Spöttle**) sind folgende Grenzwerte zugrunde zu legen:

für sehr schweren Tonboden . . .	0,35 — 0,50 l f. d. ha.
„ gewöhnliche Drainageböden .	0,50 — 0,70 „ „ „ „
„ durchlässigere Böden	0,70 — 2,10 „ „ „ „

Für **Belgien** berechnet Leclerc unter Annahme einer täglichen Regenhöhe von 10 mm = 0,01 m eine tägliche Niederschlagsmenge von $10000 \times 0,01 = 100$ cbm für 1 ha. Hiervon sollen nur 74,5%, also 74,5 cbm innerhalb 36 Stunden zu Versickerung und zum Abfluß kommen. Daraus folgt eine durchschnittliche Wasserabführung von $\frac{74,5}{36 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{74,5}{129600} = 0,00057 \text{ cbm} = 0,57 \text{ l für } 1 \text{ ha und } 1 \text{ Sekunde.}$

Stephenson empfiehlt für **England** eine Wassermenge von 1,13 l für ha und Sekunde.

Die **Franzosen** Hervé Mangon und Débauve erhalten unter verschiedenen Voraussetzungen dieselbe Zahl, nämlich 0,37 l.

In der **Schweiz** wird die von Lubberger im „Lexikon der gesamten Technik“ angegebene Wasserführung der Drains mit 1,5 l empfohlen.

Professor Friedrich †) gibt für **Oesterreich** nachstehende Werte an:

1. für schwere und mittlere Böden im Flachlande 0,65 l,
2. in durchlässigeren Böden und in Gegenden mit stärkeren Niederschlägen 0,75 l,
3. in sehr durchlässigen Böden 1,0 l.

Die angegebenen Werte gelten selbstverständlich nur für Anlagen, die im Interesse der Landwirtschaft in drainagebedürftigen Böden ausgeführt werden. Abweichend sind diejenigen Wassermengen zu beurteilen, die z. B. von Riesel-

*) Siehe: Der Kulturtechniker. Jahrg. 1906. S. 124 usw.

**) Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Leipzig 1907. Bel. 7. S. 144.

***) Kopp's Anleitung zur Drainage. Frauenfeld 1907. S. 47.

†) Kulturtechnischer Wasserbau. Berlin 1907. Teil I. S. 297.

feldern abfließen. Hier wird je nach Leistung der Bodenart (leichte Lehmböden und Sandboden) von 25 bis 100 cbm für ha und Tag bei der intermittierenden Bodenfiltration, d. i. Rieselung ohne landwirtschaftliche Nutzung, auch von 200 cbm/ha/Tag eine Abflußmenge von 1 bis 2 und 3 Liter für das Hektar und die Sekunde anzunehmen sein.

Die Wasserführung bei der Berieselung und Filtration nach Dünkelberg*) soll sogar bei einem 24stündigen Wechsel der Filterbecken von einem ha 10000 cbm/Tag, d. i. rd. 115 Liter in 1 Sekunde betragen.

Bei der Petersenschen Wiese (s. Abschn. 40b) und den drainierten Riesel-Wiesen (s. Abschn. 40b) werden gewöhnlich 1,5 l zur Berechnung der Sammler angenommen.

b) Bestimmung der Rohrweite. Die Fasskraft eines Sammeldrains ist abhängig von der Größe seines Querschnittes und der Geschwindigkeit, mit der das Wasser den Drain in der Zeiteinheit (1 Sekunde) durchströmt. Die Abflußmenge wächst demnach mit der Größe des Rohrdurchmessers und des Gefälles, das, wie oben erwähnt, in erster Linie die Geschwindigkeit beeinflusst. Hieraus folgt, daß ein weites Rohr bei geringer Geschwindigkeit eine gleiche Wassermenge abführen kann als ein enges Rohr bei entsprechend größerer Geschwindigkeit.

Für die Wassergeschwindigkeit in Drainröhren wurde von Prony die Eytelweinsche Formel für Röhren $v = 50,9 \sqrt{R J}$ anwendbar gemacht und in folgende Gleichung gebracht:

$$v = 3,59 \sqrt{\frac{50 d h}{1 + 50 d}}$$

Hierbei bedeutet:

v die sekundliche Wassergeschwindigkeit in m;

d den inneren Rohrdurchmesser in m;

h das Gefälle der Leitung auf die Länge l, beide in m.

Die Rauigkeit der inneren Mantelfläche, die vielen infolge der Kürze der Röhren entstehenden Stoßfugen und die meist etwas verschobene Lage der Röhren zueinander üben auf die Bewegung des Wassers einen ungünstigen Einfluß aus, so daß in Wirklichkeit eine geringere Geschwindigkeit sich einstellt, als die Formel ausweist.

Um diesem Umstande Rechnung zu tragen, hat Vincent einen Koeffizienten k der rechten Seite der Gleichung zugefügt, den sogenannten Drainkoeffizienten, der die Formel berichtigt zu:

$$v = 3,59 k \sqrt{\frac{50 d h}{1 + 50 d}}$$

Hierbei erhält k je nach der Größe des Rohrdurchmessers verschiedene Werte und zwar ist bei einem

Rohrdurchmesser d =	(4)	5	6,5	8	10	13	16	18	21 cm
der Drainkoeffizient k =	(0,71)	0,75	0,78	0,80	0,83	0,86	0,88	0,90	0,92

*) Siehe Anmerkung Seite 39.

Zur Verallgemeinerung der Geschwindigkeitsformel wird $l = 100$ m gesetzt, so daß h das Gefälle in Prozenten angibt und die Formel übergeht in:

$$v = 3,59 k \sqrt{\frac{50 d h}{100 + 50 d}} = 3,59 k \sqrt{\frac{50 d h}{50 (2 + d)}}$$

$$v = 3,59 k \sqrt{\frac{d h}{2 + d}} \quad (1)$$

Bezeichnet nun f den inneren Röhrenquerschnitt in qm und Q die sekundlich abfließende Wassermenge in cbm , so ist:*)

$$Q = f \cdot v. \quad (2)$$

Die Querschnittsfläche eines Drainrohres wird der Kreisformel gemäß berechnet nach:

$$f = \frac{d^2 \pi}{4}. \quad (3)$$

Werden in Formel (2) die Bestimmungsstücke für v und f eingesetzt, so erhält man die Gleichung:

$$Q = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot 3,59 k \sqrt{\frac{d h}{2 + d}} = \frac{d^2 \cdot 3,14}{4} \cdot 3,59 k \sqrt{\frac{d h}{2 + d}}$$

$$= d^2 \cdot 0,785 \cdot 3,59 k \sqrt{\frac{d h}{2 + d}}$$

$$Q = 2,818 d^2 k \sqrt{\frac{d h}{2 + d}} \quad (4)$$

Das Ergebnis wird zur bequemeren Benutzung durch entsprechende Verschiebung des Kommas in Liter (l) verwandelt.

Die obige Formel (4) ist in die „Schlesische Anweisung“ übernommen und wird in Preußen und anderen deutschen Staaten fast ausschließlich den Berechnungen der Drains zugrunde gelegt.

Eine einfachere Gestalt zeigt die **Geschwindigkeitsformel nach Stocken**)**, die aus der Pronyschen Formel $v = 26,3 \sqrt{\frac{d \cdot h}{l}}$ abgeleitet worden ist. Sie lautet:

$$v = 20 \sqrt{\frac{d \cdot h}{l}}$$

Es ist nach obigem:

$$Q = f \cdot v = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot 20 \sqrt{\frac{d \cdot h}{l}} = 15,7 d^2 \sqrt{\frac{d \cdot h}{l}}$$

und bei $l = 100$

$$Q = 1,57 d^2 \sqrt{d \cdot h}.$$

Diese Formel hat in Oesterreich und in der Schweiz große Verbreitung gefunden.

*) Es sei bemerkt, daß die größte Wassermenge nicht durch vollaufende, sondern durch teilweise gefüllte Röhren abgeführt wird. Das Maximum ergibt sich bei einem Füllungswinkel von etwa 308° entsprechend einer Füllhöhe von $0,94 d$. Der Einfachheit wegen soll hier aber das Maximum bei vollaufendem Rohr angenommen werden.

***) Der Kulturtechniker, Jahrg. 1906.

Weiter werden empfohlen:
von Frank*) ein Reibungskoeffizient

$$k = \frac{1}{\sqrt{0,000495 + \frac{0,000652}{Vd}}};$$

von Merl**) die neuere Geschwindigkeitsformel nach Bazin:

$$v = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{VR}} \cdot \sqrt{R \cdot J^{***}};$$

wobei $\gamma = 0,19$ gesetzt werden soll;

von Spöttle †) die alte Kuttersche Formel:

$$v = \frac{100 \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \cdot \sqrt{R \cdot J},$$

worin $m = 0,27$;

von Gerhardt ††) gleichfalls die ältere Kuttersche Geschwindigkeitsformel

$$v = \frac{100 \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \cdot \sqrt{R \cdot J} \text{ mit } m = 0,30;$$

von Schewior †††) die neuere Geschwindigkeitsformel von Ganguillet und Kutter (siehe Seite 82)

$$v = \frac{23 + \frac{1}{n} + 0,00155}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot J},$$

worin der Rauheitsgrad $n = 0,013$ beträgt.

Zum Vergleich der angegebenen Formeln setzt man:

$$\text{nach Prony} = (1,57 d^2 \sqrt{d}) \cdot \sqrt{h} = Q_1 \cdot \sqrt{h},$$

$$\text{nach Vincent:} = \left(2,818 d^2 k \sqrt{\frac{d}{2+d}}\right) \cdot \sqrt{h} = Q_2 \cdot \sqrt{h},$$

$$\text{nach Frank:} = (0,0785 k \cdot d^2 \sqrt{d}) \cdot \sqrt{h} = Q_3 \cdot \sqrt{h},$$

$$\text{nach Merl:} = (0,0785 k \cdot d^2 \sqrt{d}) \cdot \sqrt{h} = Q_4 \cdot \sqrt{h},$$

$$\text{nach Spöttle:} = (0,0785 k \cdot d^2 \sqrt{d}) \cdot \sqrt{h} = Q_5 \cdot \sqrt{h},$$

$$\text{nach Gerhardt:} = (0,0785 k \cdot d^2 \sqrt{d}) \cdot \sqrt{h} = Q_6 \cdot \sqrt{h},$$

$$\text{nach Schewior:} = (0,0785 k \cdot d^2 \sqrt{d}) \cdot \sqrt{h} = Q_7 \cdot \sqrt{h}.$$

Werden die hier nicht weiter aufgeführten Werte für k (k für Vincent siehe Seite 69) in die Formeln eingesetzt und die Ergebnisse für Q_1 bis Q_7 in

*) Deutsche Bauzeitung 1889.

**) Der Kulturtechniker 1902.

***) $R = \text{mittlerer Radius} = \frac{\text{Wasserführender Querschnitt}}{\text{Benetzter Umfang}} = \frac{d^2 \pi}{4 \cdot d \pi} = \frac{d}{4}$ $J = \text{Gefälle auf 1 m.}$

†) Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften. Teil III. Landwirtschaftlicher Wasserbau. 1907.

††) Grundlehren der Kulturtechnik. Berlin 1909. Bd. I. Teil 2.

†††) Die Bodenmelioration. Teil II. Leipzig 1910.

der nachstehenden Tabelle 6 zusammengefaßt, so erhält man ein Bild der Leistungsfähigkeit in Liter der jeweiligen Drainrohrweiten d.

Tabelle 6.

Leistungsfähigkeit in l der verschiedenen Geschwindigkeitsformeln.

Rohr- durch- messer d cm	Leistungsfähigkeit nach						
	Prony	Vincent	Frank	Merl	Spöttle	Gerhardt	Schewior
4	0,50	0,45	0,41	0,38	0,34	0,31	0,30
5	0,88	0,83	0,75	0,71	0,64	0,60	0,58
6,5	1,69	1,64	1,53	1,48	1,37	1,26	1,22
8	2,84	2,83	2,69	2,64	2,44	2,27	2,20
10	4,96	5,10	4,91	4,89	4,59	4,29	4,14
13	9,58	10,12	9,97	9,68	9,63	9,00	8,77
16	16,08	17,28	17,44	17,90	17,10	16,06	15,66
18	21,57	23,61	24,07	24,75	23,74	22,33	21,80
21	31,69	35,24	36,21	37,72	36,33	34,27	33,47

Von gewisser Bedeutung ist der Vergleich der Leistungsfähigkeit der bislang üblichen **Vincent'schen** zur **Gerhardtschen** Abflußformel. Wird entsprechend der „Schlesischen Anweisung“ mit dem zulässig geringsten Gefälle (siehe Seite 44) für Sauger mit 0,25 ‰ und für Sammler 0,20 ‰ (S. 65) bei einer Wasserführung von 0,65 l für das ha gerechnet, so ergibt sich für die einzelnen Rohrweiten die Größe der entwässerten Fläche, wie folgt:

Ein Drain von d = 4 5 6,5 8 10 13 16 18 21 cm
 entwässert bei 0,20 ‰ Gefälle*) eine Fläche
 nach der Abflußformel von Vincent: 0,34 0,58 1,13 1,95 3,5 6,9 11,9 16,2 24,2 ha
 desgl. von Gerhardt: 0,22 0,42 0,17 1,56 3,0 6,1 10,9 15,0 23,0 ha.
 Die Gerhardtsche Berechnung gibt
 gegen die Vincentsche weniger: 35 28 23 20 14 12 8 7 5 ‰

Die Gegenüberstellung zeigt vornehmlich bei den kleineren Abmessungen einen merklichen Unterschied zu ungunsten der Gerhardtschen Formel. Zieht man insbesondere die übliche Lichtweite der Sauger mit 4 cm in Betracht, so darf gesagt werden, daß bislang die Leistungsfähigkeit der Drainröhren zu groß angeschlagen wurde. Die Richtigkeit der Annahme wird durch die Erfahrung bestätigt. Sie spiegelt sich in der „Schlesischen Anweisung“ wieder, wo auch unter gewöhnlichen Verhältnissen für Sauger über 150 m Länge im unteren Teile 5 cm weite Röhren vorgeschrieben werden (s. S. 43 u. S. 44 oben).

Die Abweichungen bei den für Sammler in Betracht kommenden größeren Rohrweiten sind praktisch von keiner Bedeutung, da der Spielraum zwischen den einzelnen Lichtweiten und ihrer Leistungsfähigkeit so groß ist, daß die richtige Wahl der erforderlichen Rohrweite hierdurch kaum berührt wird.

*) Bei d = 4 cm beträgt das Gefälle 0,25 ‰.

Tabelle 7.
Drainrohrweiten.

Bei Annahme einer sekundlichen Abflußmenge von 0,65 Liter von 1 ha Fläche. Nach der Formel von Vincent.

Größe der entwässerbaren Fläche in ha und Wassergeschwindigkeit v in m																		
Gefälle der Drainröhren-Leitung %	bei einem Röhrendurchmesser von																	
	4 cm		5 cm		6,5 cm		8 cm		10 cm		13 cm		16 cm		18 cm		21 cm	
	ha	v	ha	v	ha	v	ha	v	ha	v	ha	v	ha	v	ha	v	ha	v
0,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,95	0,19	8,12	0,21	12,12	0,23	
0,10	—	—	—	—	—	—	1,38	0,18	2,48	0,21	4,92	0,24	8,40	0,27	11,48	0,29	17,13	0,32
0,15	—	—	0,49	0,16	0,98	0,19	1,69	0,22	3,04	0,25	6,03	0,30	10,29	0,33	14,06	0,36	20,98	0,39
0,20	—	—	0,57	0,19	1,13	0,22	1,95	0,25	3,51	0,29	6,96	0,34	11,88	0,38	16,24	0,41	24,24	0,46
0,25	0,34	0,18	0,61	0,21	1,26	0,25	2,18	0,28	3,92	0,32	7,78	0,38	13,29	0,43	18,16	0,46	27,11	0,51
0,30	0,38	0,20	0,69	0,23	1,39	0,27	2,39	0,31	4,30	0,36	8,53	0,42	14,57	0,47	19,91	0,51	29,71	0,56
0,35	0,41	0,21	0,75	0,25	1,50	0,29	2,58	0,33	4,65	0,38	9,22	0,45	15,74	0,51	21,51	0,55	32,10	0,60
0,40	0,44	0,23	0,80	0,27	1,60	0,31	2,76	0,36	4,96	0,41	9,84	0,48	16,80	0,54	22,96	0,59	34,27	0,64
0,45	0,46	0,24	0,85	0,28	1,70	0,33	2,93	0,38	5,27	0,44	10,45	0,51	17,84	0,58	24,38	0,62	36,38	0,68
0,50	0,49	0,25	0,90	0,30	1,79	0,35	3,08	0,40	5,55	0,46	11,01	0,54	18,79	0,61	25,68	0,66	38,33	0,72
0,55	0,51	0,26	0,94	0,31	1,88	0,37	3,24	0,42	5,82	0,48	11,55	0,57	19,72	0,64	26,96	0,69	40,23	0,76
0,60	0,53	0,28	0,98	0,33	1,96	0,39	3,38	0,44	6,08	0,50	12,07	0,59	20,60	0,67	28,16	0,72	42,02	0,79
0,65	0,56	0,29	1,02	0,34	2,04	0,40	3,51	0,45	6,33	0,52	12,55	0,61	21,42	0,69	29,28	0,75	43,70	0,82
0,70	0,58	0,30	1,06	0,35	2,11	0,42	3,65	0,47	6,57	0,54	13,03	0,64	22,25	0,72	30,41	0,78	45,38	0,85
0,75	0,60	0,31	1,10	0,36	2,19	0,43	3,78	0,49	6,80	0,56	13,48	0,66	23,02	0,74	31,46	0,80	46,95	0,88
0,80	0,62	0,32	1,14	0,38	2,26	0,44	3,90	0,50	7,02	0,58	13,92	0,68	23,76	0,77	32,48	0,83	48,47	0,91
0,85	0,64	0,33	1,17	0,39	2,33	0,46	4,02	0,52	7,24	0,60	14,36	0,70	24,51	0,79	33,50	0,86	49,99	0,94
0,90	0,65	0,34	1,21	0,40	2,40	0,47	4,14	0,53	7,45	0,62	14,78	0,72	25,22	0,82	34,48	0,88	51,45	0,97
0,95	0,67	0,35	1,24	0,41	2,47	0,48	4,25	0,55	7,65	0,63	15,18	0,74	25,92	0,84	35,42	0,90	52,86	0,99
1,00	0,69	0,36	1,27	0,42	2,53	0,50	4,36	0,56	7,85	0,65	15,57	0,76	26,58	0,86	36,33	0,93	54,22	1,02
1,25	0,77	0,40	1,42	0,47	2,83	0,56	4,88	0,63	8,77	0,73	17,41	0,85	29,72	0,96	40,62	1,04	60,62	1,14
1,50	0,84	0,44	1,55	0,51	3,09	0,61	5,33	0,69	9,61	0,79	19,07	0,93	32,56	1,05	44,50	1,13	66,42	1,24
1,75	0,91	0,47	1,68	0,55	3,34	0,66	5,76	0,74	10,38	0,86	20,60	1,01	35,17	1,14	48,06	1,22	71,73	1,35
2,00	0,97	0,50	1,79	0,59	3,57	0,70	6,16	0,79	11,10	0,92	22,02	1,08	37,58	1,21	51,37	1,31	76,66	1,44
2,50	1,09	0,56	2,01	0,66	4,00	0,79	6,89	0,89	12,40	1,03	24,62	1,21	42,02	1,36	57,44	1,47	85,72	1,61
3,00	1,19	0,62	2,20	0,73	4,38	0,86	7,55	0,97	13,59	1,12	26,96	1,32	46,04	1,49	62,92	1,61	93,91	1,76
3,50	1,29	0,67	2,37	0,79	4,73	0,93	8,15	1,05	14,68	1,22	29,13	1,43	49,73	1,61	67,97	1,74	101,45	1,91
4,00	1,38	0,71	2,54	0,84	5,06	0,99	8,72	1,13	15,70	1,30	31,14	1,53	53,16	1,72	72,66	1,86	108,44	2,04
4,50	1,46	0,76	2,69	0,89	5,36	1,05	9,24	1,19	16,64	1,38	33,02	1,62	56,38	1,82	77,06	1,97	115,00	2,16
5,00	1,54	0,80	2,84	0,94	5,67	1,11	9,74	1,26	17,54	1,46	34,81	1,71	59,43	1,93	81,23	2,08	121,24	2,28
6,00	1,69	0,87	3,11	1,02	6,20	1,22	10,68	1,38	19,23	1,59	38,13	1,87	65,09	2,11	88,97	2,27	132,78	2,50
7,00	1,82	0,95	3,37	1,11	6,70	1,32	11,53	1,49	20,76	1,72	41,20	2,02	70,32	2,28	96,13	2,46	143,47	2,70
8,00	1,95	1,01	3,59	1,19	7,16	1,41	12,32	1,59	22,19	1,84	44,03	2,16	75,17	2,43	102,74	2,63	153,33	2,89
9,00	2,07	1,07	3,81	1,26	7,59	1,49	13,08	1,69	23,55	1,95	46,71	2,29	79,74	2,58	108,99	2,78	162,66	3,06
10,00	2,18	1,13	4,01	1,33	8,00	1,57	13,78	1,78	24,82	2,05	49,23	2,41	84,05	2,72	114,88	2,93	171,44	3,22

Die stetig wiederkehrende Aufgabe beim Entwurfe einer Drainage besteht in der Bestimmung der Rohrweite des Sammeldrains, der das ihm von einer gegebenen Fläche durch die Sauger zugeführte Wasser bei gewissem Gefälle weiterleiten soll.

Die Beziehung der zu entwässernden Fläche F zu der abzuführenden Wassermenge Q wird durch die Gleichung ausgedrückt:

$$Q = m \cdot F. \quad (5)$$

Tabelle 8.
Drainrohrweiten.

Bei Annahme einer sekundlichen Abflußmenge von 0,80 Liter von 1 ha Fläche. Nach der Formel von Vincent.

Gefälle der Drainröhrenleitung %		Größe der entwässerbaren Fläche in ha und Wassergeschwindigkeit v in m																
		bei einem Röhrendurchmesser von																
		4 cm		5 cm		6,5 cm		8 cm		10 cm		13 cm		16 cm		18 cm		21 cm
ha	v	ha	v	ha	v	ha	v	ha	v	ha	v	ha	v	ha	v	ha	v	
0,10	—	—	—	—	—	1,12	0,18	2,02	0,21	4,00	0,24	6,83	0,27	9,33	0,29	13,92	0,32	
0,15	—	—	0,40	0,16	0,80	0,19	1,37	0,22	2,47	0,25	4,90	0,30	8,37	0,33	11,44	0,36	17,07	0,39
0,20	—	—	0,46	0,19	0,92	0,22	1,58	0,25	2,85	0,29	5,66	0,34	9,66	0,38	13,20	0,41	19,69	0,46
0,25	0,28	0,18	0,52	0,21	1,03	0,25	1,77	0,28	3,19	0,32	6,32	0,38	10,80	0,43	14,76	0,46	22,02	0,51
0,30	0,31	0,20	0,56	0,23	1,13	0,27	1,94	0,31	3,50	0,36	6,93	0,42	11,84	0,47	16,18	0,51	24,14	0,56
0,40	0,35	0,23	0,65	0,27	1,30	0,31	2,24	0,36	4,03	0,41	7,99	0,48	13,65	0,54	18,66	0,59	27,84	0,64
0,50	0,40	0,25	0,73	0,30	1,46	0,35	2,50	0,40	4,51	0,46	8,94	0,54	15,27	0,61	20,87	0,66	31,14	0,72
0,60	0,43	0,28	0,80	0,33	1,60	0,39	2,74	0,44	4,94	0,50	9,80	0,59	16,74	0,67	22,88	0,72	34,14	0,79
0,70	0,47	0,30	0,86	0,35	1,72	0,42	2,96	0,47	5,34	0,54	10,59	0,64	18,08	0,72	24,71	0,78	36,87	0,85
0,80	0,50	0,32	0,92	0,38	1,84	0,44	3,16	0,50	5,70	0,58	11,31	0,68	19,31	0,77	26,39	0,83	39,38	0,91
0,90	0,53	0,34	0,98	0,40	1,95	0,47	3,36	0,53	6,05	0,62	12,00	0,72	20,50	0,82	28,01	0,88	41,80	0,97
1,00	0,56	0,36	1,03	0,42	2,06	0,50	3,54	0,56	6,38	0,65	12,65	0,76	21,60	0,86	29,52	0,93	44,05	1,02
1,50	0,69	0,44	1,26	0,51	2,52	0,61	4,34	0,69	7,82	0,79	15,50	0,93	26,46	1,05	36,16	1,13	53,96	1,24
2,00	0,79	0,50	1,46	0,59	2,91	0,70	5,00	0,79	9,02	0,92	17,89	1,08	30,54	1,21	41,74	1,31	62,29	1,44
3,00	1,02	0,62	1,78	0,73	3,57	0,86	6,13	0,97	11,05	1,12	21,91	1,32	37,41	1,49	51,13	1,61	76,29	1,76
4,00	1,12	0,71	2,06	0,84	4,12	0,99	7,08	1,13	12,76	1,30	25,30	1,53	43,20	1,72	59,04	1,86	88,10	2,01
5,00	1,25	0,80	2,30	0,94	4,60	1,11	7,92	1,26	14,26	1,46	28,28	1,71	48,30	1,93	66,01	2,08	98,49	2,28
6,00	1,37	0,87	2,52	1,02	5,05	1,22	8,67	1,38	15,63	1,59	30,98	1,87	52,90	2,11	72,29	2,27	107,88	2,50
7,00	1,48	0,95	2,72	1,11	5,45	1,32	9,37	1,49	16,88	1,72	33,47	2,02	57,15	2,28	78,11	2,46	116,56	2,70
8,00	1,58	1,01	2,91	1,19	5,83	1,41	10,01	1,59	18,04	1,84	35,77	2,16	61,08	2,43	83,48	2,63	124,57	2,89
9,00	1,68	1,07	3,09	1,26	6,18	1,49	10,62	1,69	19,14	1,95	37,95	2,29	64,80	2,58	88,56	2,78	132,15	3,06
10,00	1,77	1,13	3,26	1,33	6,51	1,57	11,19	1,78	20,17	2,05	40,00	2,41	68,30	2,72	93,34	2,93	139,29	3,22
11,00	1,86	1,18	3,42	1,41	6,83	1,65	11,74	1,87	21,16	2,16	41,96	2,53	71,64	2,85	97,92	3,08	146,11	3,38
12,00	1,94	1,24	3,57	1,47	7,14	1,72	12,26	1,95	22,10	2,25	43,82	2,64	74,82	2,98	102,26	3,22	152,59	3,53
13,00	2,02	1,29	3,71	1,53	7,43	1,79	12,76	2,03	23,01	2,34	45,61	2,75	77,89	3,10	106,45	3,35	158,84	3,67
14,00	2,10	1,34	3,85	1,59	7,71	1,86	13,25	2,11	23,87	2,43	47,34	2,85	80,83	3,22	110,46	3,47	164,84	3,81
15,00	2,16	1,38	3,99	1,65	7,98	1,92	13,71	2,18	24,71	2,52	48,99	2,95	83,66	3,33	114,33	3,60	170,61	3,94
16,00	2,24	1,43	4,12	1,70	8,24	1,99	14,16	2,25	25,52	2,60	50,60	3,05	86,40	3,44	118,08	3,71	176,20	4,07
17,00	2,31	1,47	4,25	1,75	8,49	2,05	14,60	2,32	26,30	2,68	52,16	3,14	89,06	3,55	121,71	3,83	181,62	4,20
18,00	2,38	1,51	4,37	1,80	8,74	2,11	15,02	2,39	27,07	2,76	53,67	3,24	91,65	3,65	125,25	3,94	186,90	4,32
19,00	2,44	1,56	4,49	1,85	8,98	2,17	15,43	2,46	27,81	2,83	55,14	3,32	94,15	3,75	128,68	4,05	192,01	4,44
20,00	2,50	1,60	4,61	1,90	9,21	2,22	15,83	2,52	28,53	2,91	56,57	3,41	96,60	3,85	132,01	4,15	196,99	4,55

Hierbei bedeutet:

m die sekundliche Wasserabführung in l (Liter) von 1 ha Fläche — für die angegebenen Verhältnisse (s. S. 67) 0,65 oder 0,80 l —;

F die Fläche in ha.

Aus den beiden Gleichungen (4) und (5) lassen sich die Größen F, d und h berechnen.

Derartige Ermittlungen sind infolge des damit verbundenen Arbeitsaufwandes sehr zeitraubend und lästig. Zweckmäßig sind tabellarische Aufzeichnungen, die für gangbare Drainrohrweiten und für bestimmte Gefällverhältnisse die Flächen-

Fig. 75.

Tafel zur Bestimmung der Drainrohrweiten
 bei einer Wasserabführung von 0,65 Liter auf Hektar und Sekunde.
 Nach der Formel von Vincent.

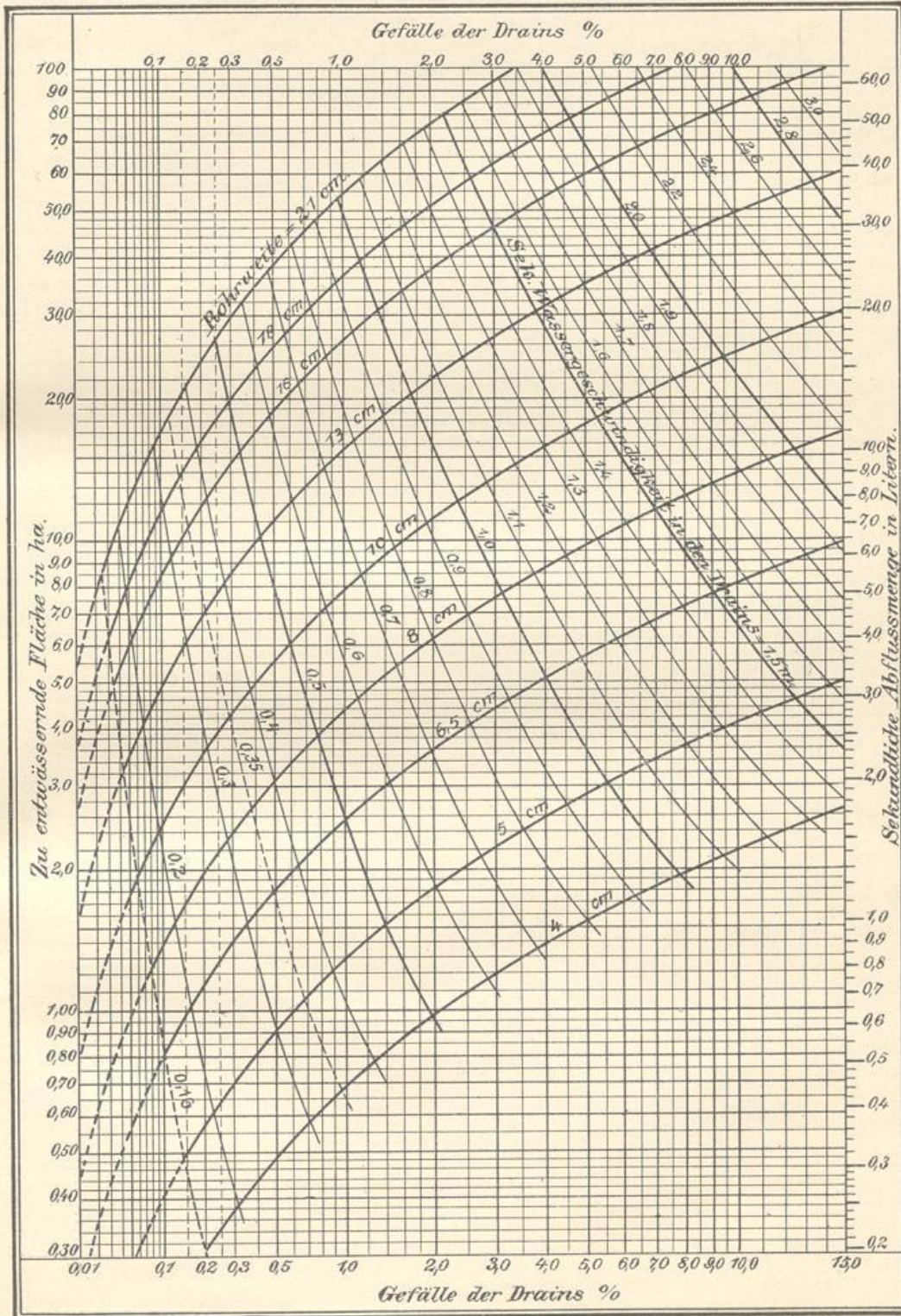
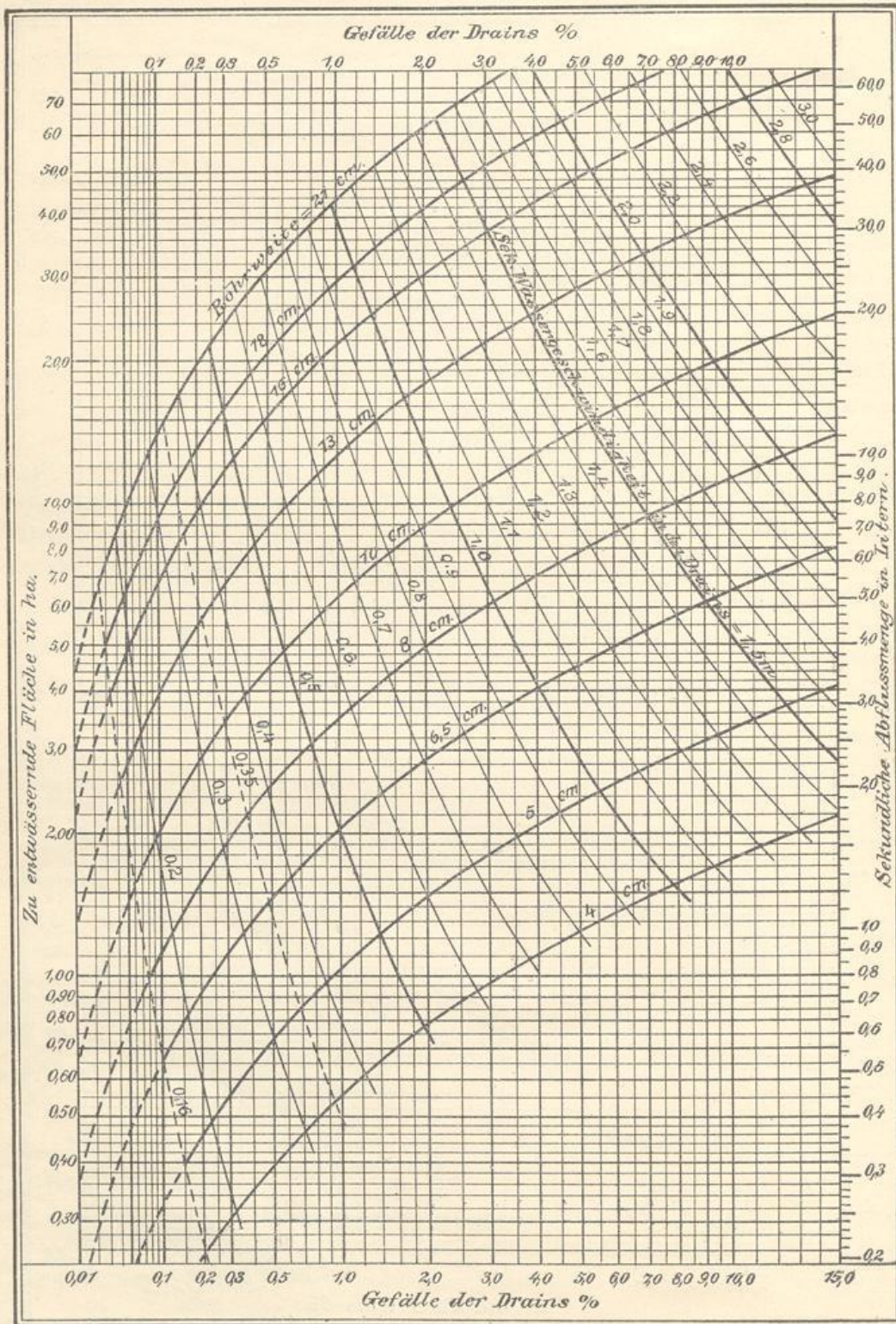


Fig. 76.
 Tafel zur Bestimmung der Drainrohrweiten
 bei einer Wasserabführung von 0,80 Liter auf Hektar und Sekunde.
 Nach der Formel von Vincent.



größen unmittelbar angeben. Eine solche Zusammenstellung zeigen die zwei Tabellen 7 und 8 auf Seite 73 u. 74, denen bei Annahme einer Wasserführung von 0,65 und 0,80 l neben den erwähnten Größen auch die sekundliche Wassergeschwindigkeit in den Drains entnommen werden kann.

Noch geeigneter für den Gebrauch sind graphische Darstellungen, die auf kleinem Raume mit großer Uebersichtlichkeit und vollständig ausreichender Genauigkeit die gewünschten Angaben entnehmen lassen. Solche zeichnerische Aufzeichnungen haben den Zahlentabellen gegenüber außerdem den großen Vorzug, daß die Ermittlung der Rohrweiten für beliebige Flächen und Gefälle ohne weitere Zwischenrechnung erfolgen kann.

Die beigelegten **graphischen Tafeln** (Fig. 75 und 76), sind gleichfalls für die sekundlichen Abflussmengen von 0,65 l und 0,80 l von 1 ha Fläche und zwar mit Rücksicht auf die genannte „Schlesische Anweisung,“ welche die Geschwindigkeitsformel von Vincent berücksichtigt, nach letzterer aufgestellt. Eine entsprechende Tafel für beliebige Abflußgrößen befindet sich für die gleiche Formel in dem vom Verfasser bei Paul Parey-Berlin 1907 herausgegebenen Werke: *Hilfstafeln zur Bearbeitung von Meliorationsentwürfen und anderen wasserbautechnischen Aufgaben* (s. Anm. S. 87).

Die Einrichtung und Anwendung der vorliegenden zwei graphischen Darstellungen, Fig. 75 und 76, sei nachstehend erläutert.

Durch vertikale Linien wird das Gefälle $J = 0,01\%$ bis 15% dargestellt. Horizontale Linien geben links die Größe der zu entwässernden Flächen in ha an unter Zugrundelegung einer sekundlichen Wasserabführung von 0,65 bzw. 0,80 l von 1 ha Fläche. Auf der rechten Längsseite sind durch kurze Striche die von den Drains aufgenommenen Wassermengen kenntlich gemacht.

In das Netz der senkrecht einander schneidenden J - und ha -Linien sind zwei Scharen Kurven eingezeichnet, die sich schräg kreuzen. Sie geben die lichten Rohrdurchmesser $d = 4$ bis 21 cm und die Geschwindigkeiten $v = 0,16$ bis $3,0$ m an. Die unter gewöhnlichen Verhältnissen zulässige geringste Geschwindigkeit $v = 0,16$ m, ebenso die Mindestgeschwindigkeit $v = 0,35$ bei Trieb sand sind punktiert.

Beispiel. Wird bei einer Wasserabführung von 0,65 l von 1 ha für eine Fläche von 2,6 ha und für ein Gefälle $J = 4,0\%$ der erforderliche Rohrdurchmesser gesucht, so bestimmt man in Fig. 75 den Schnittpunkt der horizontalen ha -Linie 2,6 und der vertikalen J -Linie 4,0; der Punkt fällt mit der Durchmesserkurve $d = 5$ cm zusammen, sodaß $d = 5$ cm der gesuchte Rohrdurchmesser ist. Um gleichzeitig die Geschwindigkeit zu ermitteln, wird der Schnittpunkt zwischen den Geschwindigkeitskurven $v = 0,8$ und $0,9$ m zu $0,85$ m eingeschätzt.

Zur Bestimmung der von dem Drain geführten Wassermenge verschiebt man den obigen Schnittpunkt nach rechts in die Vertikalteilung und liest hier die Abflußmenge zu 1,68 l ab.

Bei einer Wasserführung von 0,80 l (s. Fig. 76) würde ein Drainrohr von 5 cm Durchmesser bei dem gleichen Gefälle von 4% eine Fläche von 2,1 ha entwässern. Die abgeführte Wassermenge muß auch hier 1,68 l betragen.

Da die ältere oder abgekürzte Formel $v = \frac{100 \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \cdot \sqrt{R \cdot J}$ von **Kutter** (S. 71) bei der Berechnung von Rohrleitungen und gedeckten Kanälen sehr weite Verbreitung gefunden hat, liegt es nahe, um ein einheitliches Verfahren zu erzielen, auch für den vorliegenden Zweck den Abflußvorgang gemäß dieser Formel nachzuweisen und den von Gerhardt (s. S. 71) angegebenen Wert $m = 0,30$ anzuhalten. Dieser Wert ist auch z. B. bei Kanalisationen bekannt, wo gleicherweise Ton- und Zementröhren im Gebrauch sind.

Der vom Verfasser*) nach der neueren Geschwindigkeitsformel von Ganguillet und Kutter empfohlene Koeffizient mit den Rauheitsgrade $n = 0,013$ weicht zwar von den Gerhardtschen Werten (s. Tabelle S. 72) sehr wenig ab, er mag aber mit Rücksicht auf die anzustrebende allgemeine Einführung der abgekürzten, älteren Kutterschen Formel keine weitere Berücksichtigung finden. Aus gleichem Grunde ist auch die beigefügte **Tafel I** nach den Angaben Gerhardts für $Q = 0,0785 k d^2 \sqrt{dh}$ aufgestellt worden.

Die **Tafel I** besteht aus zwei Teilen. Die rechte Seite enthält wie Fig. 75 und 76 in vertikalen Linien, „Gefällinien“, die Gefälle von 0,01 bis 10%. Sie werden von den Durchmesserkurven für Drainröhren von $d = 4$ bis 25 cm und von Geschwindigkeitskurven von $v = 0,16$ bis 2,8 m geschnitten. Letztere geben die Größe der sich in den Röhren wahrscheinlich entwickelnden Wassergeschwindigkeit an; die unter gewöhnlichen Verhältnissen zulässig geringste Geschwindigkeit von $v = 0,16$ m, ebenso die bei Trieb sand erforderliche Mindestgeschwindigkeit von $v = 0,35$ m ist in der Tafel punktiert. Die rechte Tafelseite enthält ferner am Rande eine vertikale Einteilung, welche die von den Röhren sekundlich abgeführte Wassermenge in Litern nachweist.

Die linke Tafelseite gibt durch vertikale Linien, „Flächenlinien“, die Größe der zu entwässernden Fläche in ha an. Die Linien werden durch „Wasserführungskurven“ geschnitten, die eine sekundliche Wasserabführung von 0,2 bis 2,0 Liter auf 1 ha Fläche darstellen.

Die Beziehungen der beiden Tafelseiten und ihrer Größen zueinander werden durch horizontale Leitlinien vermittelt.

Zwei Beispiele mögen den Gebrauch der Tafel erläutern.

Beispiel 1. Eine Drainrohrleitung mit einem Durchmesser $d = 13$ cm hat ein Gefälle $J = 1,0\%$. Die sekundlich abzuführende Wassermenge von 1 ha wird zu 0,65 l angenommen.

- a) Welche Fläche kann entwässert werden?
- b) Welche Wassergeschwindigkeit wird sich in der Leitung einstellen?
- c) Welche Wassermenge wird in einer Sekunde abgeführt?

Auflösung zu a. Man bestimmt in der rechten Tafelseite den Schnittpunkt der Gefällinie 1,0% mit der Durchmesserkurve $d = 13$ cm und verschiebt diesen Punkt horizontal nach links bis zur Wasserführungskurve 0,65. Dieser

*) Siehe Anmerkung Seite 71.

Treffpunkt wird zwischen den Flächenlinien 13 und 14 ha eingeschätzt. Das Rohr von $d = 13$ cm entwässert demnach eine Fläche von 13,5 ha.

Auflösung zu b. Der Schnittpunkt der Gefällinie 1,0 % mit der Durchmesserkurve $d = 13$ cm wird zwischen den Geschwindigkeitskurven $v = 0,6$ und $0,7$ m eingeschätzt. Die gesuchte Wassergeschwindigkeit beträgt 0,67 m.

Auflösung zu c. Der Schnittpunkt der Gefällinie 1,0 % mit der Durchmesserkurve $d = 13,0$ cm wird horizontal nach rechts in die am Rande befindliche Vertikalteilung verschoben und an den Teilstrichen zu 8,7 Liter abgelesen.

Beispiel 2. Für einen Vorflutdrain, der nach den örtlichen Verhältnissen ein Gefälle von 0,8 % erhalten kann, ist der Röhrendurchmesser zu bestimmen. Die zu entwässernde Fläche beträgt 20 ha, die sekundliche Abflußmenge ist mit Rücksicht auf ständiges Quellwasser zu 20 Liter für das ha angenommen.

Auflösung. Man bestimmt den Schnittpunkt der Gefällinie 0,8 % mit einer durch die Abflußmenge von 20 Litern gedachten Linie. Der Treffpunkt fällt in die Nähe der Durchmesserkurve $d = 18$ cm. Die sich im Strang entwickelnde Geschwindigkeit beträgt 0,78 m.

Die Tafel ist, wie eine einfache Ueberlegung zeigt, für beliebig große vom ha abzuführende Wassermengen zu verwenden, wenn man mit der gleichen Zahl, mit der man den Wert der Schrägen auf der linken Tafelseite multipliziert, die abgelesenen ha dividiert. So wird beispielsweise ein 8 cm weites Rohr bei 3,2 % Gefälle und einer Wasserabführung von 8 l/ha nach der Schrägen 0,8 (eigentlich $10 \cdot 0,8$) eine Fläche von $\frac{5,0}{10} = 0,5$ ha entwässern.

c) **Bestimmung der Fläche.** Die Flächengröße F selbst wird in einfachster Weise auf dem Drainplan durch Addition der Saugerlängen und Multiplikation dieser durch die Strangentfernung ermittelt, sodann aber auch mittels eines Planimeters, einer Harfe oder eines anderen Flächenmesswerkzeuges berechnet.

23. Beschaffung der Vorflut.

Die Vorbedingung für die dauernde Wirksamkeit einer Drainage und für die bleibende Verbesserung der Grundstücke ist die Beschaffung einer ausreichenden Vorflut. Es ist daher auf die Regulierung vorhandener Wasserläufe und auf die Anlage neuer Gräben die größte Sorgfalt zu verwenden, ebenso ist dem Baue etwa erforderlicher Brücken und Durchlässe besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Vorhandene zu eng angelegte Bauwerke, die einen schädlichen Rückstau erzeugen, müssen entsprechend erweitert werden. Oft genügt hier schon eine Vertiefung des Durchflußquerschnittes durch Abschrägen der Sohle nach der Mitte zu (Fig. 77), durch Ausrundung der Sohle (Fig. 78), Anlage eines gepflasterten Grabens in der Brückensohle, oder durch Einlegen einer Schale oder eines oder zweier Ton- oder Zementrohre (Fig. 79 mit einem Rohr).

Der Querschnitt neu anzulegender Brücken und Durchlässe ist für die größte zu erwartende Wassermenge zu berechnen, wenn eine hochwasserfreie