**Zeitschrift:** Schweizerische Wasserwirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbautechnik, Wasserkraftnutzung, Schiffahrt

**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

**Band:** 17 (1925)

**Heft:** 5

**Rubrik:** Mitteilungen der Kommission für Abdichtungen des Schweizer. Wasserwirtschaftsverbandes

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 15.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

**Mitteilungen der Kommission für Abdichtungen des Schweizer. Wasserwirtschaftsverbandes**

**No. 12** **25. Mai 1925** ***

## II. Bericht

### über die Versuche zur Ermittlung des Durchflussgesetzes und der Durchlässigkeitskonstanten für den Durchfluss von Wasser durch verschiedene Kies- und Sandmaterialien in der Versuchsanstalt Manegg

von W. Hugentobler,
Ingenieur der Abdichtungskommission.

Entsprechend dem Beschlusse der Abdichtungskommission vom 23. Februar 1924 wurden für die Ermittlung des Durchflussgesetzes und der Durchlässigkeitskonstanten für den Durchfluss von reinem Wasser durch verschiedene Kies- und Sandmaterialien und die Beobachtung der Selbstdichtung im Innern solcher Materialien beim Durchfluss von lehmhaltigem Wasser, an Stelle des bisherigen Holzkanals mit unkonstantem Querschnitt (siehe Mitteilungen Nr. 11 vom 25. Mai 1924) zwei vollständig neue Apparate erstellt, bei denen die verschiedenen, anlässlich der ersten Versuche aufgetauchten Wünsche nach Verbesserung möglichste Berücksichtigung fanden.

### 1. Beschreibung der Apparate und Versuche.

Die Konstruktion des neuen Apparates No. 1 mit dem durchgehend gleichen quadratischen Kanalquerschnitt von 56,5×56,5 cm = 3200 cm² ist aus der Abbildung No. 1 ersichtlich. Der Kanal hat eine Länge von 500 cm und ist am Anfange und am Ende durch ein Drahtsieb abgeschlossen, um das Herauswaschen der feinern Bestandteile der Versuchsmaterialien zu verhindern. Der Einlauf- und der Auslaufkasten sind 100 cm lang und 60 cm breit. Die Ueberlaufkante ist je 100 cm über der Kanalachse angebracht. Der Kanal hat 4 Paare von Glaspiezometerröhrchen R2 bis R5, welche mittels Gummizapfen in eiserne, durch die Holzwand durchgestossene Wasserröhrchen eingesteckt sind, von denen die einen bis zur Mitte des Kanalquerschnittes, die andern nur bis zur innern Kanalwand reichen, um bei Bedarf die Verschiedenheit der Drücke im Innern des Materials und längs den Seitenflächen beobachten zu können. Jeder Gummizapfen hat noch eine zweite Lochung für die Aufnahme eines dünnen Gummischlauches mit Quetschhahnen zur Entnahme von Wasserproben aus dem Innern des Kanales. Die Wasserspiegel im Einlauf- und Auslaufkasten lassen sich mittels der Piezometerröhrchen R1 und R6 genau beobachten. Die Innenwände des Holz-

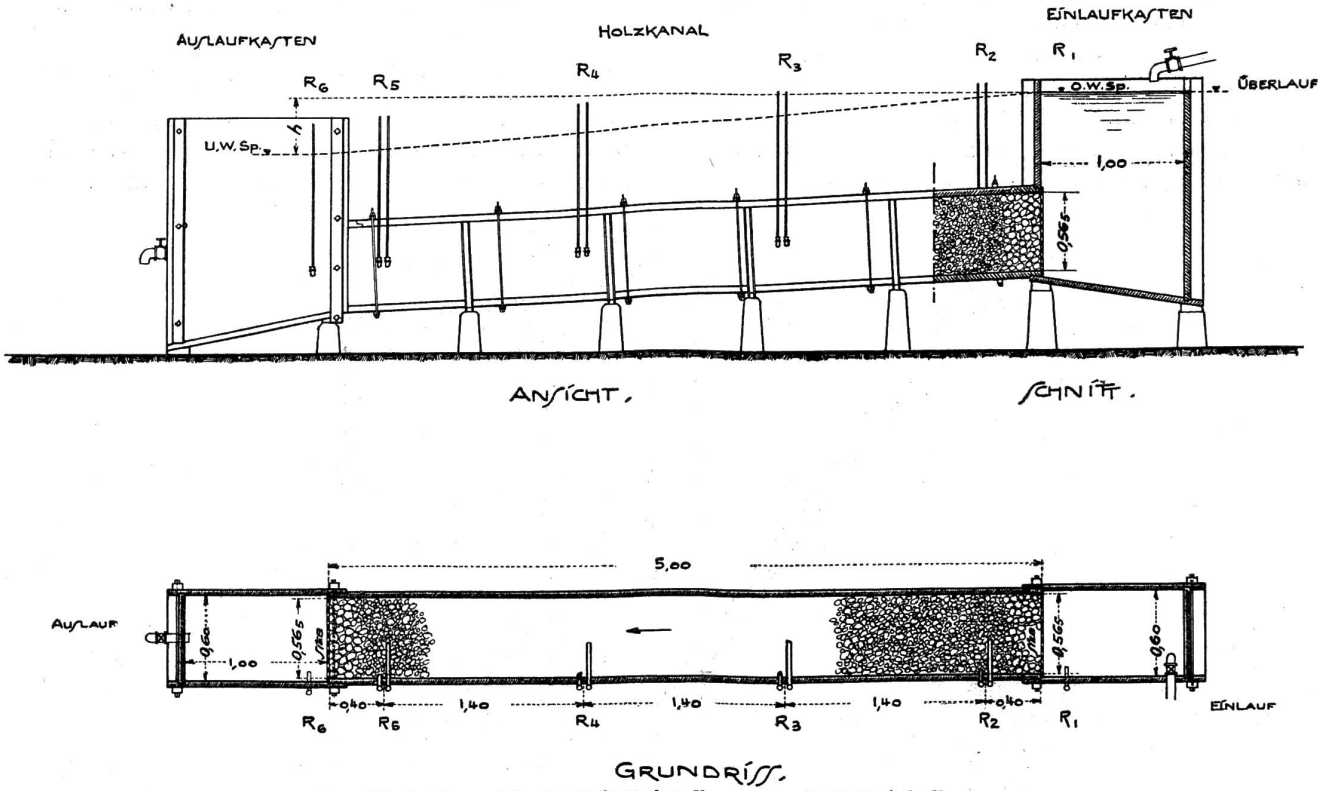



Abb. 1. **Apparat No. 1 mit liegendem Versuchskanal.** Maßstab 1 : 50.

kanales sind ungehobelt, um eine zu grosse Randgeschwindigkeit des Wassers zu vermeiden. Für das Einbringen der Versuchsmaterialien kann der aus einem Stück bestehende Deckel des Kanals mit zwei Flaschenzügen abgehoben und nachher mit aussenliegenden, in U-Eisenrahmen eingepassten Eisenbolzen wieder wasserdicht aufgesetzt werden.

Durch das sorgfältigst in den Kanal eingebrachte Versuchsmaterial wurde vorerst reines Wasser geleitet. Die Verbindungslinie der Wasserspiegel in den einzelnen Piezometerröhrchen, die Drucklinie, zeigte bei den meisten Versuchen eine fast geradlinige Form und es konnten auch keine wesentlichen Unterschiede in den Piezometerständen in der Kanalachse und längs der Kanalwand nachgewiesen werden.

Für die Berechnung der Durchflusskonstanten wurde der Druckhöhenunterschied zwischen dem Einlauf- und Auslaufkasten R1 und R6 benützt. Nur bei sandigem Material kam dafür der Druckunterschied von R2 und R5 in Betracht, da bei diesen Versuchen je ein Raum von zirka 40 cm am Anfang und am Ende des Kanales mit gröberem Material ausgefüllt wurde, um das Eindringen des Sandes in den Einlauf- und Auslaufkasten zu verhindern.

Aus diesen Versuchen erhielt man die Wassermenge Q am Auslaufhahnen in $cm^3$ pro Sekunde gemessen, den Druckhöhenunterschied h und damit das Druckgefälle $J = \frac{h}{L}$, wobei L die Distanz der für h in Berechnung gezogenen Piezometerröhrchen bedeutet.

Um diese Beobachtungen statt nur beim horizontalen auch beim vertikalen Durchfliessen von Wasser durch die Versuchsmaterialien machen zu können, wurde noch ein zweiter Versuchsapparat hergestellt, bestehend aus einem 250 cm hohen Holzkasten mit quadratischem Querschnitt von 100×100 cm = 1 $m^2$, oben offen und unten durch einen horizontalen Boden mit einer verschliessbaren Auslauföffnung abgeschlossen (siehe Abbildung 2). Der Apparat wurde neben das Standrohr ins offene Bassin gestellt, was die Möglichkeit gab, für die Versuche das Kanalwasser direkt aus der Hauptleitung in den Apparat zu leiten, wodurch verhältnismässig grosse Wassermengen zur Verfügung standen. Die Messung des durch den Apparat durchgeflossenen Wassers geschah am Ende der Leerlaufleitung des offenen Bassins. Durch verschiedenes Oeffnen des Bodenschiebers und entsprechender Regulierung der Zulaufleitung war es möglich, ein gewünschtes Quantum Wasser durch den Apparat durchzuleilen. Der Kasten ist vertikal durch drei Piezometerröhrchen in zwei gleiche Zonen von je 0,90 m Länge eingeteilt. Diese Piezometerröhrchen dienen zur genauen Beobachtung des Wasserdruckes in den entsprechenen Horizontalquerschnitten des Kastens und damit zur Ermittlung der Druckhöhenabnahme des durchfliessenden Wassers, vom Einlauf bis zum Auslauf.

## 2. Ermittlung der Durchlässigkeitskonstanten.

Unseren Versuchen wurde das sog. Potenzgesetz $v^m = A \cdot J$ zu Grunde gelegt, bei welchem v die Filtergeschwindigkeit in mm pro Sekunde, J das Druckgefälle und m und A Konstante bedeuten. Durch Logarithmieren erhält man die Gleichung $\log \frac{1}{J} = \log A - m \cdot \log v$. Wenn man die verschiedenen Werte von $\log \frac{1}{J}$ und $\log v$ in einem rechtwinkligen Achsenkreuz aufträgt, erhält man eine Punktschar, welche durch eine Gerade ausgeglichen werden kann, die auf der

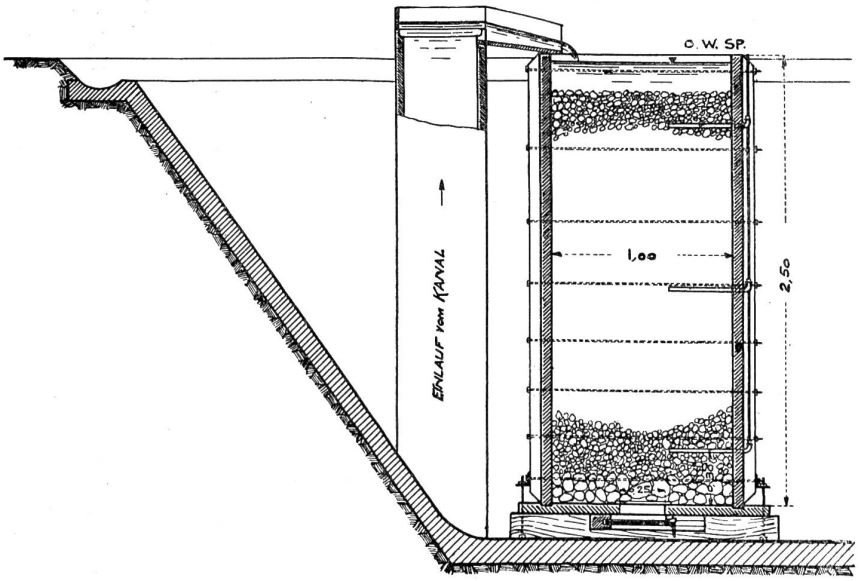



Abb. 2. **Apparat No. 2 mit stehendem Versuchskanal.** Querschnitt. Maßstab 1 : 40.

Y-Achse den Wert log A abschneidet und mit der X-Achse den Winkel $\alpha$ einschliesst, dessen Mass durch tg $\alpha$ = m ausgedrückt wird. Auf diese Weise ist es möglich, für die verschiedensten Materialien aus den experimentell ermittelten Werten v und J die Konstanten A und m graphisch zu bestimmen. Um die einzelnen Punkte etwas auseinanderzuziehen, sind in unseren Beispielen die log v doppelt verzerrt worden. Dementsprechend ist auch der von der Ausgleichsgeraden mit der X-Achse eingeschlossene Winkel $\alpha$ verkleinert und es entspricht m = 2 × tg $\alpha$ (siehe Abbildung 3 bis 9).

In den besprochenen zwei Versuchsapparaten kamen sechs verschiedene Materialien, No. 4, 5, 6, 7, 8 und 9, zur Untersuchung, deren Korngrössen, spez. Gewichte und Hohlräume (Porenvolumen) in der Eidg. Materialprüfungsanstalt genau festgestellt wurden. Die beistehende Tabelle 5 gibt die Resultate der Siebversuche an und die graphische Darstellung Abbildung 10 zeigt die Charakteristiken der einzelnen Materialien in Form von Summenlinien aus dem prozentualen Anteil der einzelnen Korngrössen am Gesamtgewicht. Diesen Materialien wurde noch ein siebentes Material No. 2 beigefügt, eine Mischung aus Kies mit sehr viel Sand, welche schon früher in dem ersterstellten Versuchsapparat zur Untersuchung kam (s. Mitteilungen No. 11). Wenn auch die Resultate dieses Durchlässigkeitsversuches nicht die Genauigkeit der übrigen besitzen (von der Unvollkommenheit des ersten Apparates herrührend), so gibt dieses Beispiel doch ein charakteristisches Bild des Verlaufes der Ausgleichgeraden bei einem verhältnismässig sehr dichten Material.

Entsprechend den Auftragungen der log v auf der X-Achse befinden sich am weitesten rechts und links von der Y-Achse die Punkte extremer Geschwindigkeiten. Wie aus den Abbildungen ersichtlich ist, lassen sich im allge-

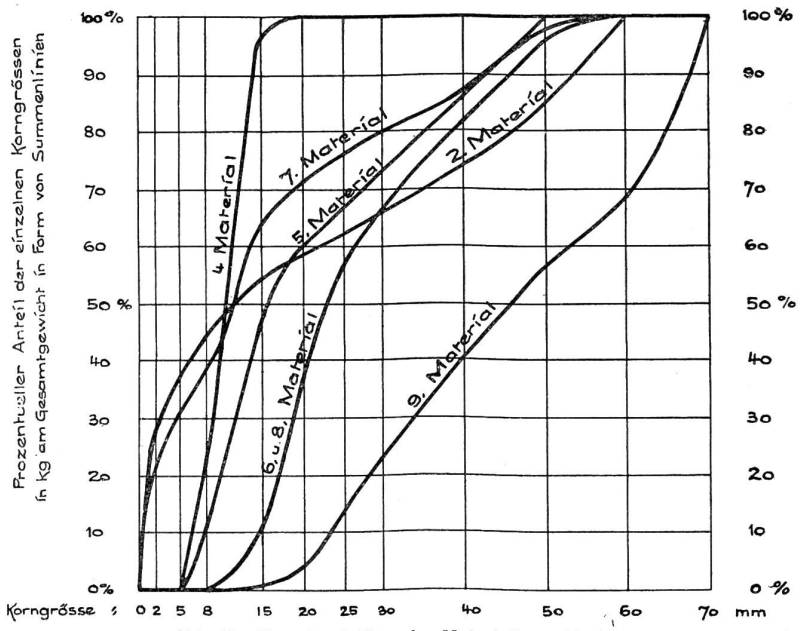
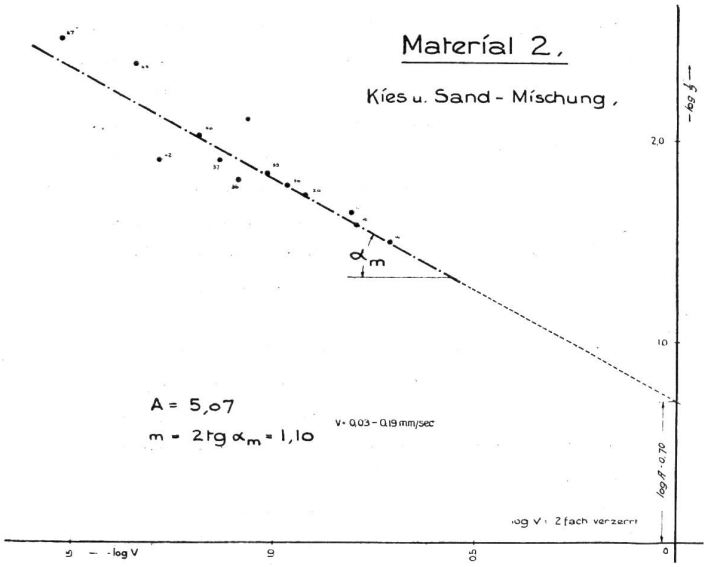
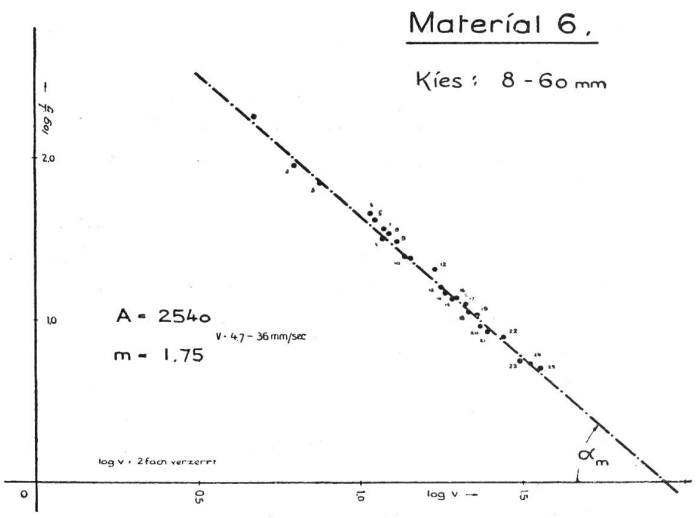


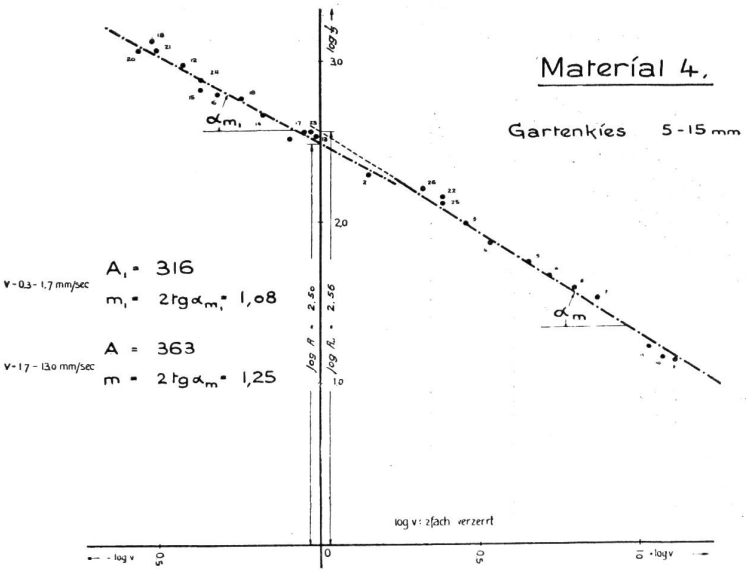

Abb. 10. **Charakteristiken der Materialien 2 bis 9.**

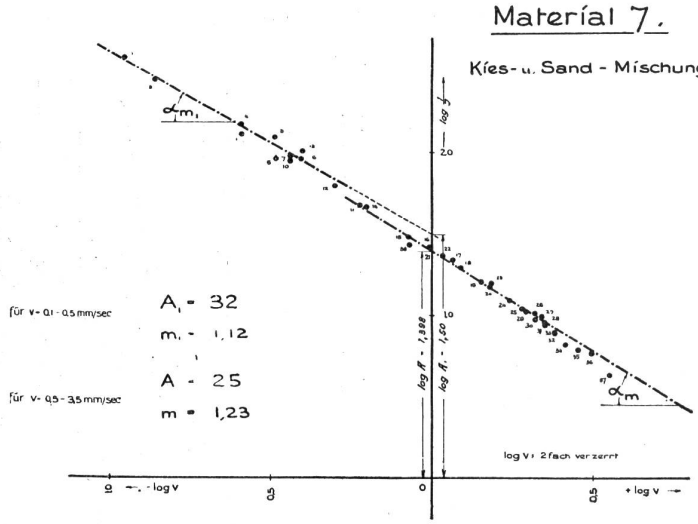
Tabelle 5

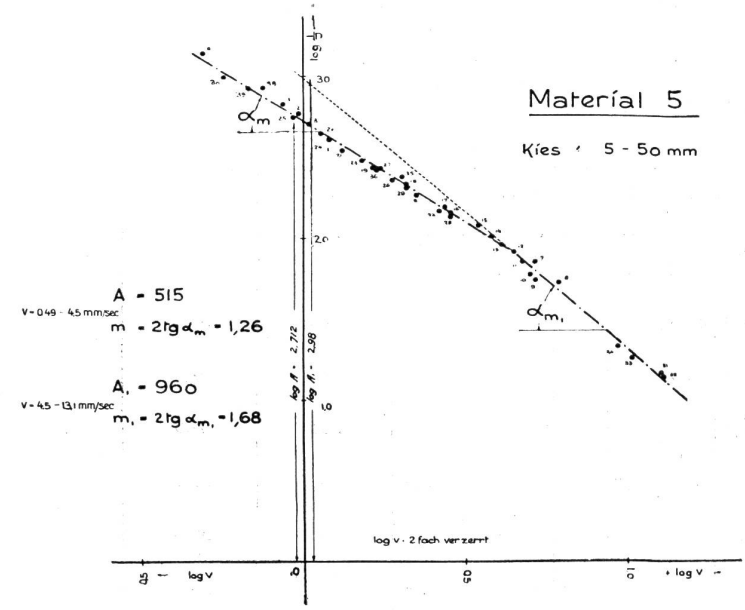
| Material | Korngrösse: Rückstände in % auf Sieben mit runden Löchern von Durchmessern: mm | | | | | | | | | | | | | | Litergewicht im Anlieferungszustand | Hohlräume in % des Volumens |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 60 | 50 | 40 | 30 | 25 | 20 | 15 | 8 | 5 | 2 | 1,5 | 1,0 | 0,5 | < 0,5 | | |
| 4. Gartenkies . . . | | | | | | | 4,1 | 73,5 | 22,4 | | | | | | 1,64 | 38,5 |
| 5. Reiner Kies . . | | | 14,5 | 12,7 | 5,9 | 7,2 | 12,4 | 36,8 | 10,5 | | | | | | 1,67 | 37,4 |
| 6. 8. Reiner Kies . . | | 5,1 | 12,9 | 15,8 | 9,4 | 20,2 | 25,7 | 10,9 | | | | | | | 1,55 | 41,9 |
| 7. Kies und Sand . | | 2,0 | 10,9 | 7,0 | 3,5 | 5,4 | 7,5 | 25,5 | 7,6 | 11,2 | 3,2 | 5,7 | 6,6 | 3,9 | 1,907 | 27,5 |
| 9. Reiner Kies . . | 31,9 | 11,7 | 16,0 | 17,5 | 8,8 | 9,8 | 3.7 | 0,6 | | | | | | | 1,65 | 39,0 |
| 2. Kies und Sand . | | 15,1 | 10,8 | 8,2 | | 7,2 | 4,6 | 9,4 | | 16,4 | 4,2 | 8,4 | 10,8 | 4,9 | 2,00 | 24,2 |



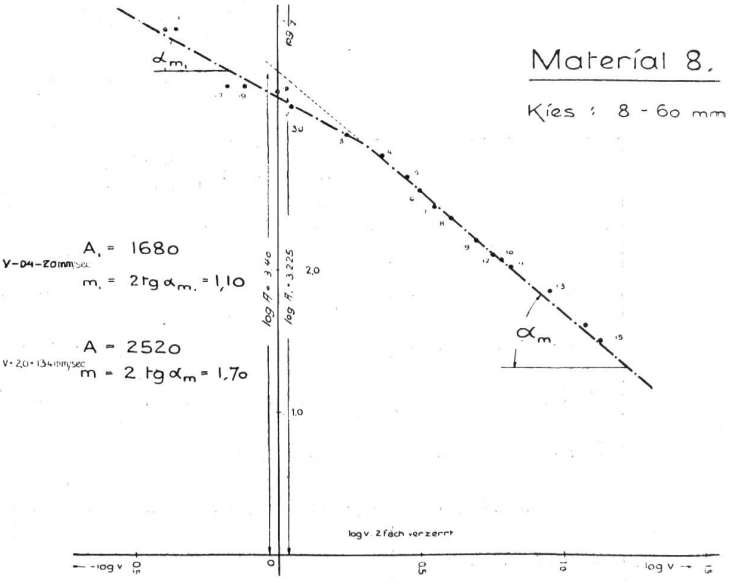




Abb. 3 bis 8. **Graphische Bestimmung der Konstanten A und m für die Materialien 2 bis 8.**

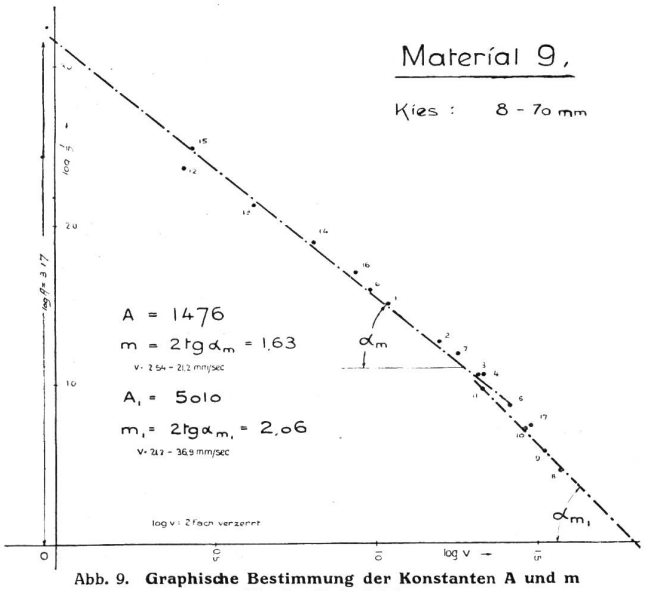



Abb. 9. **Graphische Bestimmung der Konstanten A und m für das Material 9.**

meinen die Punktscharen, wenn von diesen extremen Punkten abgesehen wird, durch eine Gerade ausgleichen. Dadurch erhält man für die einzelnen Materialien die beiden Konstanten A und m, welche für alle nicht abnormalen Wassergeschwindigkeiten Gültigkeit haben. Bei durchlässigeren Materialien werden die Ausgleichsgeraden steiler und entfernen sich mehr vom Achsenschnittpunkt, als bei dichteren Materialien. Dementsprechend haben die durchlässigeren Materialien auch ein grösseres A und ein grösseres m als die dichteren Materialien.

Werden die extremen Punkte für sich ins Auge gefasst, so zeigt es sich, dass diese jeweilen unter sich durch eine Gerade ausgeglichen werden können. Bei den Materialien 2, 7 und 8 betrifft dies die Punkte der kleinen Geschwindigkeiten. Diese Ausgleichgerade besitzt annähernd ein tg $\alpha = 0{,}5$, sodass der Exponent m sich der Zahl 1 nähert, also das Darcy'sche Gesetz $v = A \cdot J$ Gültigkeit erhält. Bei den Materialien 4, 5, 6 und 9 lassen sich umgekehrt die Punkte grösster Geschwindigkeiten zu einer besondern Geraden vereinigen, welche steiler ist als die Hauptausgleichgerade und somit ein grösseres A und speziell ein viel grösseres m ergibt.

Während die Materialien 4, 5, 7 und 8 im Apparat No. 1 (im liegenden Kanal) zur Untersuchung kamen, wurde für die Materialien 6 und 9 der stehende Holzkasten (Apparat No. 2) benützt. Das Material 6 wurde nach der Prüfung im Apparat No. 2 in den Apparat No. 1 als Material 8 eingefüllt, sodass die Resultate dieser beiden Versuche miteinander verglichen werden können. Die graphischen Aufzeichnungen zeigen eine gute Uebereinstimmung in den gefundenen Koeffizienten A und m für dieses Material in beiden Versuchsapparaten. Die folgende Zusammenstellung gibt ein Bild der Grösse der Koeffizienten A und m für die verschiedenen Materialien.

Tabelle 1

| Material No. | Koeffizienten | | Gültig für Geschwindigkeiten V in mm/sec. |
|---|---|---|---|
| | A | m | |
| 4 | 316 | 1,08 | 0,37 — 1,7 |
| | 363 | 1,25 | 1,7 — 13,0 |
| 5 | 515 | 1,26 | 0,49 — 4,5 |
| | 960 | 1,68 | 4,5 — 13,1 |
| 6 | 2540 | 1,75 | 4,7 — 36,0 |
| 8 | 1680 | 1,10 | 0,4 — 2,0 |
| | 2520 | 1,70 | 2,0 — 13,4 |
| 7 | 32 | 1,12 | 0,1 — 0,5 |
| | 25 | 1,23 | 0,5 — 3,5 |
| 2 | 5,07 | 1,10 | 0,03 — 0,19 |
| 9 | 1476 | 1,63 | 2,54 — 21,2 |
| | 5010 | 2,06 | 21,2 — 36,9 |

### 3. Versuche mit Lehmwassereinschwemmungen.

Anschliessend an die Durchflussversuche von reinem Wasser durch die Versuchsmaterialien wurden im Apparat No. 1 jeweilen Lehmwassereinschwemmungen vorgenommen, um ausfindig zu machen, bei welchen Geschwindigkeiten des Lehmwassers sich der Lehm teilweise und ganz niederschlägt und bei welchen Geschwindigkeiten umgekehrt der Lehm durch die Materialien durchgeschwemmt wird. Die Versuche wurden folgendermassen durchgeführt:

Nachdem durch genaues Regulieren des Einlauf- und Auslaufwassers ein konstantes Wasserquantum zum Durchflusse gebracht wurde, schüttete man ein bestimmtes Quantum Lehmbrei in den Einlaufkasten und sorgte durch beständiges Umrühren mit einem eingesetzten Rührwerk für innige Vermischung des Lehmbreies mit dem Wasser. Dieses so hergestellte Lehmwasser floss durch das Material im Kanal und es konnte seine Fortbewegung mittels Entnahme von Wasserproben aus den Gummischläuchlein bei den Piezometerröhrchen verfolgt werden. Zur genauen Bestimmung des Trockengehaltes der Lehmwasser wurden die Wasserproben in Glasfläschchen abgezogen, diese gut durchgerüttelt, sofort 100 cm³ des Inhaltes in eine vorher abgewogene Porzellanschale geschüttet und dann zur Trockne verdampft. Aus der Differenz der Gewichte von leerer Schale und der Schale mit Lehm, abzüglich des Trockenrückstandes von 100 cm³ reinen Wassers (0,026 gr) ergab sich der Lehmgehalt der einzelnen Proben.

Der Anfangslehmgehalt im Einlaufkasten war bei den einzelnen Versuchen nicht der gleiche, da eine gleichmässige Sättigung des Wassers mit

dem Lehm nicht erreicht wurde. Siehe beistehende Tabelle No. 2.

Tabelle 2

| Material No. | Versuchs No. | Lehmgehalt im Einlaufkasten bei $R_1$ in gr pro 100 cm³ Wasser |
|---|---|---|
| 5 | 1 | 1,074 |
| | 2 | 1,164 |
| | 3 | 0,536 |
| | 4 | 0,633 |
| | 5 | 0,674 |
| 7 | 1 | 0,66 |
| | 2 | 0,52 |
| | 3 | 1,20 |
| | 4 | 0,70 |
| | 5 | 0,73 |
| | 6 | 1,34 |
| | 7 | 1,12 |

Die entsprechenden Lehmgehalte der einzelnen Wasserproben bei den verschiedenen Piezometerröhrchen R2 bis R6 können der Tabelle No. 3 entnommen werden.

Bei den meisten vorgenommenen Versuchen zeigte sich schon ein sehr starker Rückgang des Lehmgehaltes von R1 bis R 2, trotz der nur 40 cm betragenden Distanz dieser Röhrchen. Es ist dies daraus erklärlich, dass ein Teil des Lehmgehaltes schon beim Eintritt des Wassers in den Kanal in dem unmittelbar hinter dem Einlaufsieb gelegenen (meist aus gröberem Kies bestehenden) Material liegen blieb.

Um die Abnahme des Lehmgehaltes von Röhrchen zu Röhrchen auf den Anfangslehmgehalt beim Eintritt in das eigentliche Versuchsmaterial zu beziehen, wurde durchgehend als Anfangslehmgehalt der Gehalt beim Röhrchen R2 angenommen und die prozentuale Abnahme von Röhrchen zu Röhrchen auf diesen Gehalt bezogen. Siehe beistehende Tabelle No. 3 mit Beispielen für die Materialien 5 und 7.

Diese Abnahme wurde für jedes Versuchsmaterial als Funktion der Geschwindigkeit in einem Achsenkreuz graphisch aufgetragen, wodurch man für jedes einzelne Piezometerröhrchen eine Kurve erhielt, welche für den betreffenden Kanalquerschnitt die Abnahme des Lehmgehaltes bei den verschiedenen Wassergeschwindigkeiten angibt. Siehe Abbildung 11.

Bei Materialien von gleichartiger Korngrösse, z. B. 4 und 5, sind die Kurven der Lehmablagerungen fast geradlinig, was auf eine den Geschwindigkeiten proportionale Ablagerung des Lehmes schliessen lässt. Je unregelmässiger die Korngrösse eines Materiales war, um so unregelmässiger wurden auch die Lehmablagerungen. Bei dem Material No. 7 war eine Vereinigung der gewonnenen Resultate für die einzelnen Piezometerröhrchen zu einer mehr oder weniger regelmässigen Kurve nur unter Vornahme von Interpollationen und Weglassung einzelner Messungen möglich (letztere wurden in den Tabellen 3 mit einem * bezeichnet).

### 4. Versuche mit Sandeinschwemmungen.

Eine weitere Serie von Versuchen sollte darüber Aufschluss geben, bei welchen Durchflussgeschwindigkeiten des Wassers

Tabelle 3

**Material 5.**

| Lehmgehalt der Proben in gr pro 100 cm³ Wasser | | | | | | Abnahme des Lehmgehaltes bez. auf $R_2$ in % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Versuchs No. | II | III | I | IV | V | II | III | I* | IV | V |
| V eff. in mm/sec. | 1,00 | 1,12 | 1,77 | 2,16 | 3,33 | 1,00 | 1,12 | 1,77 | 2,16 | 3,33 |
| $R_2$ | 0,503 | 0,493 | 1,042 | 0,582 | 0,590 | | | | | |
| $R_3$ | 0,115 | 0,126 | 0,193 | 0,303 | 0,482 | 77 | 76 | 81,5 | 48 | 18,3 |
| $R_4$ | 0,024 | 0,015 | 0,031 | 0,064 | 0,298 | 95 | 97 | 97 | 89 | 49,5 |
| $R_5$ | 0,008 | — | — | 0,022 | 0,120 | 98,2 | — | — | 96,2 | 79,5 |
| $R_6$ | — | — | 0,012 | 0,006 | 0,014 | — | — | 99 | 99 | 97,5 |

Lehmgehalt bei $R_2$ als Anfangsgehalt = 100 % genommen

**Material 7.**

| Lehmgehalt der Proben in gr pro 100 cm³ Wasser | | | | | | | | Abnahme d. Lehmgehaltes bez. auf $R_2$ als Anfangsgehalt in % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Versuchs No. | VI | VII | V | II | I | III | IV | VI* | VII | V | II | I | III* | IV |
| V eff. in mm/sec. | 0,41 | 0,71 | 1,48 | 1,93 | 2,40 | 3,18 | 6,87 | 0,41 | 0,71 | 1,48 | 1,93 | 2,40 | 3,18 | 6,87 |
| $R_2$ | 1,202 | 0,787 | 0,574 | 0,479 | 0,562 | 1,079 | 0,724 | | | | | | | |
| $R_3$ | 0,224 | 0,384 | 0,462 | 0,316 | 0,314 | 0,637 | 0,493 | 81,5 | 51,2 | 19,5 | 34 | 44,1 | 41 | 31,8 |
| $R_4$* | 0,089 | 0,302 | 0,451 | 0,411 | 0,334 | 0,644 | 0,619 | 92,5* | 61,6* | 21,4* | 14,2* | 40,5* | 40,3* | 14,5* |
| $R_5$ | 0,011 | 0,049 | 0,212 | 0,244 | 0,166 | 0,399 | 0,439 | 99 | 93,7 | 63 | 49 | 70,5 | 63 | 39,3 |
| $R_6$ | 0,004 | 0,010 | 0,134 | 0,076 | 0,094 | 0,389 | 0,404 | 99,5 | 98,7 | 76,5 | 84 | 83 | 64 | 44 |

* wurden nicht in Betracht gezogen.

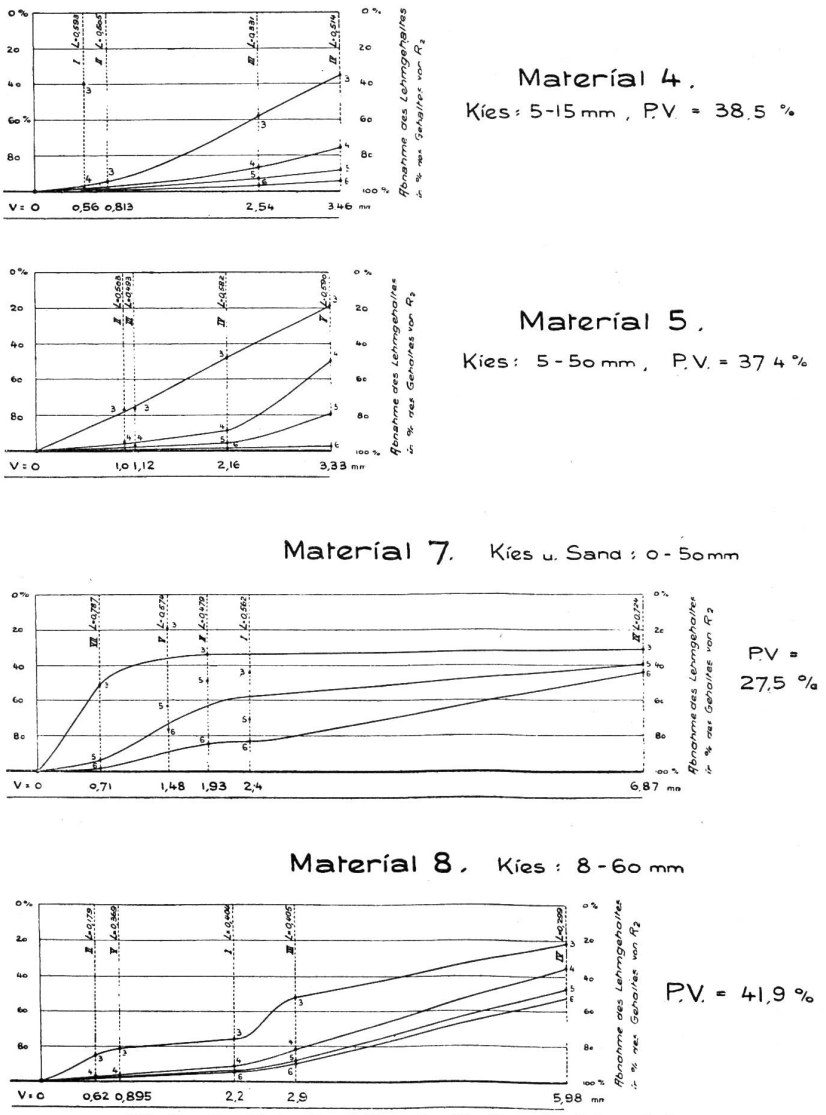



Abb. 11. **Graphische Darstellung der Abnahme des Lehmgehaltes als Funktion der Wassergeschwindigkeit.**

Anmerkung. L = Anfangslehmgehalt bei $R_2$; I, II, III, IV, V = Nummern der Versuche; 3, 4, 5, 6 = Nummern der Piezometerröhrchen; v = effektive Wassergeschwindigkeit in mm pro Sek.

feiner Sand durch gröbere Kiesmaterialien durchgeschwemmt wird, und bei welchen Geschwindigkeiten umgekehrt ein Niedersetzen des im Wasser suspendierten Sandes in den Kiesmaterialien stattfindet. Für diese Versuche wurden die Materialien No. 5 und No. 8 benützt.

Es wurde eine grössere Wassermenge durch den Kanal des Apparates No. 1 durchgeleitet zur Erreichung einer effektiven Geschwindigkeit von über 15 mm pro Sekunde und nach Eintritt des Beharrungszustandes feiner Sand von 0 bis 0,5 mm Korngrösse, gewonnen durch Aussieben von Seesand für die Versuche mit Material No. 5 und von Sihlsand für das Material No. 8, in den Einlaufkasten eingestreut und durch ununterbrochenes Rühren ein sich Setzen des Sandes auf den Boden des Kastens verhindert. Durch die grossen Wassergeschwindigkeiten von 15 bis 30 mm pro Sekunde wurde auch ein Teil des Sandes in den Kanal hinein und auf eine gewisse Strecke durch das Versuchsmaterial durchgerissen. Die Fortschritte dieser Sandablagerungen konnten wiederum durch Entnahme von Wasserproben bei den Piezometerröhrchen verfolgt werden. Die so gewonnenen Resultate sind in der Tabelle No. 4 zusammengestellt.

Beim Material No. 5 kamen die beiden effektiven Geschwindigkeiten von 22,5 und 30,4 mm pro Sekunde zur Anwendung, und es ergab sich, dass bei der kleineren Geschwindigkeit schon rund 70% des Sandgehaltes in der 40 cm langen Strecke zwischen R1 und R 2 im Kies liegen blieben, während der Rest des Sandes zwischen R3 und R4 noch vollständig abgelagert wurde. Beim etwas gröberen Kiesmaterial No. 8 setzten sich bei der Ge-

## Sandversuche.

Tabelle 4

### a) Material 5.

| Sandgehalt in gr pro 100 cm³ Wasser | | |
|---|---|---|
| Versuchs No. | I | II |
| V eff. in mm/sec. | 22,5 | 30,4 |
| $R_1$ | 1,990 | 2,451 |
| $R_2$ | 0,598 | 2,006 |
| $R_3$ | 0,108 | 0,039 |
| $R_4$ | 0,004 | 0.011 |

### b) Material 8.

| Sandgehalt in gr pro 100 cm³ Wasser | | |
|---|---|---|
| Versuchs No. | I | II |
| V eff. in mm/sec. | 15,5 | 31,4 |
| $R_1$ | 0,500 | 2,026 |
| $R_2$ | 0,342 | 2,346 |
| $R_3$ | 0,062 | 0,100 |
| $R_4$ | 0,021 | 0,020 |
| $R_5$ | 0,010 | 0,004 |

schwindigkeit von 15 mm zwischen R1 und R2 rund 25% des Sandgehaltes ab, der Rest wiederum zwischen R2 und R3. Bei 31,4 mm Geschwindigkeit dagegen wurde aller Sand bis R2 mitgerissen und dann in der 1,40 m langen Strecke R2—R3 liegen gelassen.

### 5. Schlussfolgerungen.

1. Unsere bisher durchgeführten Versuche zur Ermittlung der Durchlässigkeitskonstanten für Wasser durch verschiedene Materialien haben ergeben, dass der Koeffizient A sehr stark mit der Durchlässigkeit des Materials variert, sodass z. B. für dichteren, feinkörnigen Sand (Material No. 2) ein A = 5,07 und für grobes Kiesmaterial (Material No. 8 und 9) ein A = 1476 — 5010 ermittelt wurde. Je undurchlässiger das Versuchsmaterial ist, um so kleiner werden bei gleichen Druckgefällen die Durchflussgeschwindigkeiten, um so mehr nähert sich der Wert des Exponenten m der Zahl 1, während umgekehrt den verhältnismässig grossen Durchflussgeschwindigkeiten bei den gröberen Materialien auch ein grösseres m entspricht.

Die gewonnenen Zahlenwerte von A und m geben ein anschauliches Bild der Verschiedenheit der Konstanten bei den verschiedenen Materialien. Sie können als Vergleichswerte bei der Berechnung der Durchsickerung von Wasser durch aufgeschüttete Kiesdämme, Kanäle, etc. in der Praxis Verwendung finden.

2. Die Lehmeinschwemmungsversuche haben bei den Materialien von gleichmässigerer Korngrösse eine gewisse Proportionalität zwischen der Durchflussgeschwindigkeit und der Lehmablagerung gezeigt.

3. Die wenigen Versuche der Sandeinschwemmung ergaben das Resultat, dass effektive Wassergeschwindigkeiten von 15 bis 30 mm pro Sekunde genügen, um feinen Sand in gröberes Kiesmaterial hinein und auf eine gewisse Strecke durchzuschwemmen.

Für die genaue Berechnung der Durchlässigkeit eines ganz bestimmten Materiales sollten wegen der grossen Verschiedenheit der Konstanten A und m bei den einzelnen Materialien spezielle Versuche an Ort und Stelle oder in einer zuverlässigen Versuchsanstalt durchgeführt werden.

## Oelpreise auf 15. Mai 1925

Mitgeteilt von der Firma Emil Scheller & Co., Zürich

| Treiböle für Dieselmotoren | per 100 kg Fr. |
|---|---|
| **Gasöl,** min. 10,000 Cal. unterer Heizwert | |
| bei *Bezug von Kesselwagen* von 10-15,000 kg per 100 kg netto unverz. Grenze . . . . . | 13.— |
| bei *Bezug in Fässern* per 100 kg netto ab Stationen Dietikon, Winterthur und Basel . . | 17.50/16.50 |
| **Petrol für Leucht- und Reinigungszwecke und Motoren** per 100 kg netto ab Dietikon . . . | 32.- bis 36.- |

| Benzin für Explosionsmotoren | | per 100 kg Fr. |
|---|---|---|
| Schwerbenzin | bei einzelnen Fässern . . . | 74.- bis 70.- |
| Mittelschwerbenzin | „ „ „ . . . | 79.- bis 75.- |
| Leichtbenzin | „ „ „ . . . | 102.- bis 98.- |
| **Gasolin** | „ „ „ . . . | 130.— |
| **Benzol** | „ „ „ . . . | 90.- bis 85.- |
| per 100 kg franko Talbahnstation (Spezialpreise bei grösseren Bezügen und ganzen Kesselwagen) | | |

Wagenmiete und Leihgebühr für Fässer inbegriffen — Fässer sind franko nach Dietikon zu retournieren.