Mitteilungen der Kommission für Abdichtungen des Schweizer. Wasserwirtschaftsverbandes

Objekttyp: **Group**

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

Band (Jahr): **16 (1924)**

Heft 5

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Mitteilungen der Kommission für Abdichtungen des Schweizer. Wasserwirtschaftsverbandes

No. 11 **25. Mai 1924** ***

Bericht über die Versuche zur Ermittlung des Durchflußgesetzes und der Durchlässigkeitskonstanten für den Durchfluß von Wasser durch Kies und Sand in der Versuchsanstalt Manegg

von W. Hugentobler, Ingenieur der Abdichtungskommission.

Während beim Bau von Hochdruckwasserkraftanlagen für die Errichtung hoher Staumauern und die Ableitung des Wassers in Stollen mit großem innern Wasserdruck, außer der Frage der Wasserdurchlässigkeit des Gebirges, die Erreichung einer möglichsten Wasserdichtigkeit von Beton und Mauerwerk von größter Wichtigkeit ist, spielt bei der Ausführung von Niederdruckanlagen mit langen Kanälen und großen Wehrbauten und bei Schiffahrtskanälen, Flußkorrektionen, Bewässerungsanlagen und Grundwasserversorgungen die Kenntnis der Wasserdurchlässigkeit von Erde, Kies- und Sandmaterial, sowie die Abdichtungsmöglichkeit von aus solchem Material erstellten Dämmen, Kanälen, Stauanlagen etc. eine ganz hervorragende Rolle.

In der Versuchsanstalt Letten der Abdichtungskommission des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes kann die Wasserdurchlässigkeit von Beton und dessen Abdichtung mit speziellen Dichungsmitteln, mit Verputzen und Anstrichen bei einem Wasserdruck bis zu 15 Atmosphären geprüft werden.

Um aber auch das Durchflußgesetz und die Durchlässigkeitskonstanten für den Durchfluß des Wassers durch verschiedene Kies- und Sandmaterialien bei verschiedenen Druckhöhen kennen zu lernen, wurde im Frühjahr 1923 in der Versuchsanstalt Manegg ein neuer Versuchs-Apparat aufgestellt. Es sollten in diesem Apparat auch jene Durchflußgeschwindigkeiten des Wassers durch verschiedene Materialien ermittelt werden, bei denen lehmige Verunreinigungen des Wassers gerade noch festgehalten werden, ferner auch diejenigen Geschwindigkeiten, die das durchsickernde Wasser annehmen darf, ohne die feinen Partikelchen aus dem durchflossenen Material auszuschwemmen. Die erstgenannten Geschwindigkeiten spielen eine große Rolle bei der Selbstdichtung von Dämmen, Kanälen, Stauseen etc.; die Kenntnis der letztgenannten Geschwindigkeiten ist für die Projektierung von Dämmen und Wehranlagen auf durchlässigem Untergrund von großer Bedeutung.

Der aus Holz erstellte Versuchsapparat besteht in der Hauptsache aus einem Einlaufkasten, einem gedeckten Kanal und einem Auslaufkasten. Der Apparat hat direkten Anschluß an die Wasserleitung aus dem Sihlkanal und an die städtische Wasserversorgung. Das Auslauf- und das Ueberlaufwasser werden direkt in die Sihl geleitet.

Ueber die Konstruktion des Apparates gibt Abbildung Nr. 1 mit Längsschnitt, Ansicht und Grundriß Auskunft. Der Einlauf- wie auch der Auslaufkasten sind oben offen, haben eine Länge von 100 cm und eine Breite von 60 cm. Der Einlaufkasten besitzt eine verstellbare Ueberlaufkante, mit welcher der Wasserspiegel auf einer ganz bestimmten Höhe über dem Versuchskanal festgehalten werden kann. Am Auslaufkasten ist ein Hahn angebracht, mit dem man nach Gutdünken ein beliebiges Quantum Wasser zum Ausfluß und damit auch zum Durchfluß durch den Kanal bringen kann.

Der Holzkanal ist 500 cm lang, er besitzt einen abnehmbaren Holzdeckel und einen quadratischen Querschnitt, der am Einlauf 40 cm $\times$ 40 cm = 1600 cm² und am Auslauf 56,5 cm $\times$ 56,5 cm = 3200 cm² mißt. Der End-Querschnitt ist also doppelt so groß wie der Anfangs-Querschnitt. Mit dieser Anordnung wollte man mit jedem einzelnen Wasserdurchflußversuch möglichst viele verschiedene Wassergeschwindigkeiten im Kanal erzeugen, um leichter beobachten zu können, bei welcher Geschwindigkeit das Wasser seine Verunreinigungen im Versuchsmaterial festsetzt. Durch die vertikale Vorderwand des Kanals wurden 6 Eisenröhrchen gestoßen, deren Enden einerseits genau in die Achse des Kanals zu liegen kamen und anderseits durch vertikale Glasröhrchen (Piezometerröhrchen) nach außen verlängert wurden, um den jeweiligen Wasserdruck im Holz-Kanal sichtbar und meßbar zu machen.

Zur Beobachtung des durchfließenden Wassers an möglichst vielen Stellen sind zudem in der Vorderwand des Kanals 5 Glasfenster eingesetzt.

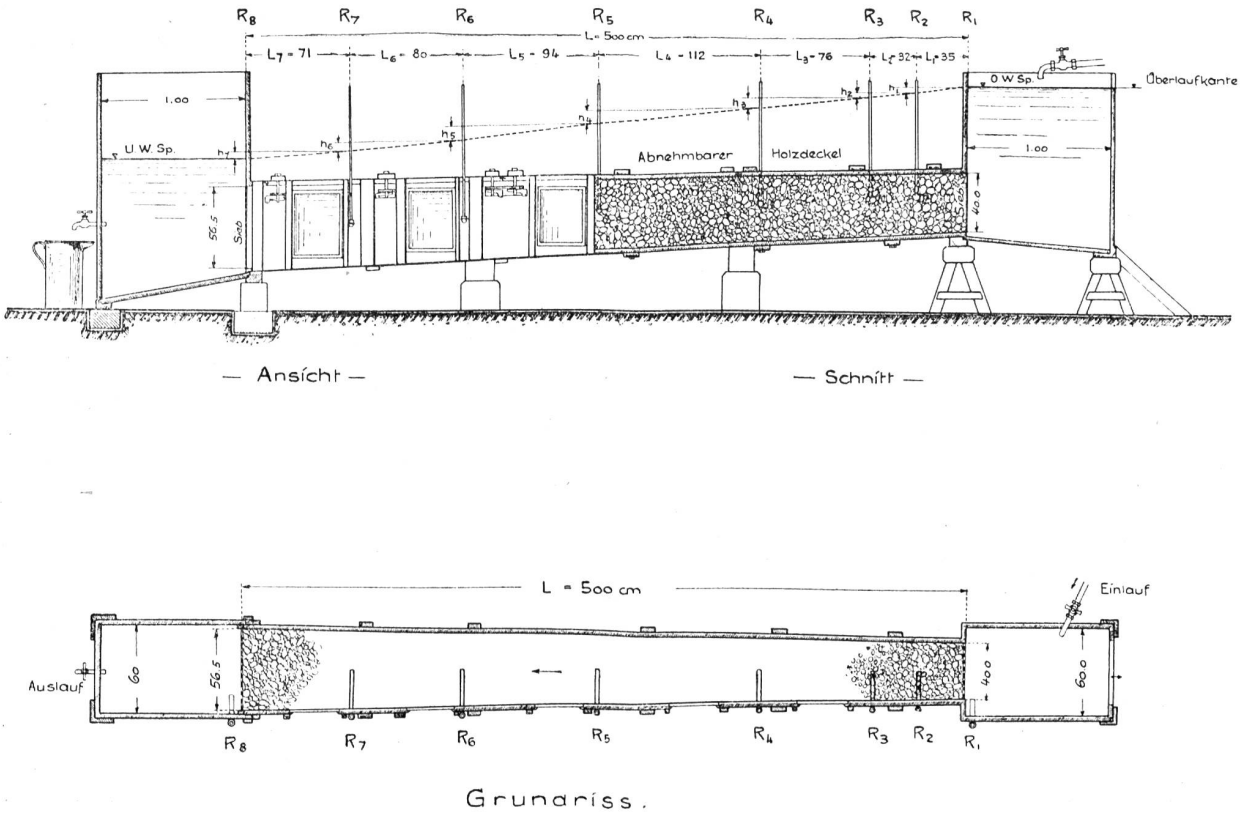

Abb. 1. Versuchskanal zur Ermittlung des Durchfluß-Gesetzes und der Durchlässigkeits-Konstanten für Wasser durch verschiedene Materialien bei verschiedenen Druckhöhen, entsprechend der Formel:

$$v^m = A.\ J,\ J = \frac{h}{L}$$ Maßstab 1 : 500.

Ein- und Auslauf des Versuchskanals sind mit auswechselbaren Drahtsieben abgeschlossen, die ein Herausfallen des Versuchsmaterials in den Einlauf- und Auslaufkasten verhindern. Die Lochgröße der Siebe wird jeweils der Korngröße des Materials entsprechend gewählt.

Wird der ganze Apparat bei geschlossenem Auslaufhahnen mit Wasser gefüllt, so werden sich die Wasserspiegel in dem Einlauf- und Auslaufkasten und in den Piezometerröhrchen auf genau gleiches Niveau einstellen. Wird aber durch Oeffnen des Hahns im Auslaufkasten ein Durchfließen von Wasser durch den Kanal bewirkt, wobei durch genügenden Zufluß gesorgt wird, daß im Einlaufkasten stets das gleiche Wasserniveau herrscht, so wird sich der U. W.-Spiegel im Auslaufkasten senken, man erhält eine gewisse Druckdifferenz h zwischen O. W.-Sp. und U. W.-Sp., deren Größe ganz von der Beschaffenheit des Versuchsmaterials und dem jeweiligen Quantum des durchfließenden Wassers abhängig ist. Gleichzeitig werden sich auch die Wasserspiegel in den Piezometerröhrchen dem Drucke im Kanal entsprechend einstellen. Die Verbindungslinie aller dieser Wasserspiegel gibt die hydraulische Drucklinie im Kanal an. Bei konstantem Kanalquerschnitt und vollständig gleichmäßiger Lagerung des Versuchsmaterials wäre die Unterteilung des Kanals durch die Piezometerröhrchen in einzelne Zonen nicht notwendig, da dann theoretisch die hydraulische Drucklinie O. W.-Sp. — U. W.-Sp. eine gerade Linie bilden würde. Die durch die Querschnittveränderung erzeugte ungleichförmige Bewegung des Wassers im Kanal und die unvermeidliche Ungleichartigkeit des Versuchsmaterials bewirken aber, daß die Druckabnahmen nicht proportional den Längen werden, wodurch die Verbindungslinie der Wasserspiegel in den Piezometerröhrchen vom O. W. bis U. W. die Form einer Kurve annimmt. Wenn sich nun, besonders bei Verwendung eines Gemisches aus Kies und Sand, während des Wasserdurchflusses feinere Partikelchen umstellen und sich demnach die Zusammensetzung des Versuchsmaterials in den einzelnen Zonen von Versuch zu Versuch verändert, so werden dementsprechend auch die Druckkurven sehr unregelmäßige Formen annehmen. Eine Verdichtung des Materials wird sich sofort durch eine größere Wasserspiegeldifferenz in den entsprechenden Piezometerröhrchen zu erkennen geben, während anderseits eine Lockerung im Material einen kleinern Druckabfall ergibt.

Aus den Differenzen h′ der Wasserspiegelhöhen in den Piezometerröhrchen kann man also jede Umgruppierung des Materials im Kanal genau erkennen.

Die Versuche werden folgendermaßen ausgeführt: Nachdem das Material möglichst gleichmäßig in den Kanal eingebracht ist, wird der ganze Apparat mit Wasser gefüllt und bei vollständiger Kommunikation aller Wasserspiegel in den Piezometerröhrchen vom O. W. bis U. W. die Nachprüfung der Ableseskalen, die hinter den Piezometerröhrchen aufgestellt sind, vorgenommen. Hierauf wird der Auslaufhahn im Auslaufkasten um ein bestimmtes Maß geöffnet, unter gleichzeitiger Regulierung des Zuflusses von Wasser in den Einlaufkasten in der Weise, daß der O. W.-Sp. stets auf gleicher Höhe mit der Ueberlaufkante bleibt. Jetzt tritt ein Durchfluß von Wasser durch den Kanal ein, der sich durch das Absenken des U. W.-Sp. und der Wasserspiegel in den Piezometerröhrchen bemerkbar macht. Entsprechend der eintretenden Absenkung des U. W.-Sp. nimmt auch die ausfließende Wassermenge ab und es wird mit der Ablesung der Wasserspiegelhöhen in den Piezometerröhrchen so lange gewartet, bis ein Beharrungszustand eingetreten ist, d. h. bis die aus dem Hahn ausfließende Wassermenge genau der Durchflußmenge im Kanal entspricht, was bei reinem Kiesmaterial nach wenigen Minuten, bei einer Mischung von Kies und Sand, also bei einem dichteren Material, erst nach Stunden eintritt. Jetzt kann die ausfließende Wassermenge in einem graduierten Meßgefäß in cm^3 pro Sekunde gemessen und die Ablesung der Wasserspiegel in den Piezometerröhrchen und O. W. und U. W. vorgenommen werden.

Die Unterschiede dieser Ablesungen in den einzelnen Röhrchen geben die Druckverluste h′ an und die Summe aller h′ ist gleich dem Höhenunterschied h von O. W.-Sp. und U. W.-Sp. Durch weiteres Oeffnen oder Schließen des Auslaufhahns kann man beliebig viele solcher Durchflußversuche mit einem und demselben Material vornehmen und man erhält durch jeden einzelnen Versuch einen bestimmten Wert Q für die Wassermenge und 7 verschiedene, zugehörige Werte von h′.

Um nun diese gefundenen Versuchsresultate auch praktisch verwerten zu können, hat man den Versuchen das allgemeine Potenzgesetz zugrunde gelegt.

$$v^m = A. J$$

worin bedeuten: v die Filtergeschwindigkeit in mm pro Sekunde. J das relative Druckgefälle. A und m zu bestimmende Konstante.

Es müssen also die Werte A und m aus den durch die Versuche gefundenen Werten v und J bestimmt werden. Die mittlere Brutto- oder Filtergeschwindigkeit v in einer Teilstrecke wird gefunden, indem man die Wassermenge Q durch den mittleren Durchflußquerschnitt zwischen je zwei Piezometerröhrchen dividiert, während J dem Verhältnis der Druckhöhenunterschiede h′ zur Distanz der entsprechenden Piezometerröhrchen L entspricht.

Um nun aus diesen Werten v und J die entsprechenden Werte A und m zu finden, kann die Formel $v^m = A. J$ durch Logarithmieren in die Form

$$\log. \frac{1}{J} = \log. A - m \log. v$$

gebracht werden.

Da A und m Konstante sein müssen, wird diese Gleichung durch eine Gerade versinnbildlicht, welche auf der Y-Achse den Wert log. A abschneidet und mit der x-Achse den Winkel α einschließt, dessen Maß durch tg α = m ausgedrückt wird. Durch Auftragen der verschiedenen Werte $\log. \frac{1}{J}$ und von log. v in einem rechtwinkligen Achsenkreuz erhält man eine Punktreihe, welche also durch eine Gerade ausgeglichen werden muß. (Siehe Abbildung 2.)

Für jedes Versuchsmaterial müßten theoretisch die für verschiedene Filtergeschwindigkeiten und verschiedene Gefälle berechneten Werte von A und m einen konstanten Wert ergeben, kleinere Unterschiede sind natürlich durch Messungs- und andere Fehler unvermeidlich. Das haben die Versuche mit reinem Kiesmaterial bestätigt, bei denen sich ein mittlerer Wert A = 2512 und m = 1,54 für alle Messungen und Zonen ergab. Die Versuche mit Sand und speziell mit einem Gemisch von Kies- und Sandmaterial haben dagegen größere Unterschiede von A und m ergeben. So variiert bei Sand der Wert von A zwischen 1,53 und 3,06 und der Wert von m zwischen 0,87 und 1,00; bei Kies- und Sandmischung von A zwischen 1,05 und 5,00 und von m zwischen 0,87 und 1,10. Diese Unterschiede können nur von der verschiedenen Beschaffenheit des Versuchsmaterials innerhalb der einzelnen Zonen im Kanal herrühren, die teils durch die anfänglich ungleiche Mischung, teils durch Umgruppierung der feineren Bestandteile beim Wasserdurchfluß selbst zu erklären sind. Als wichtigstes Resultat läßt sich jetzt schon hervorheben, daß die Versuche mit einem Sand- und Kiesgemisch, sowie mit Sand das bekannte Darcy-Poissenille'sche Gesetz über die Proportionalität zwischen Filtergeschwindigkeit und dem relativen Druckgefälle annähernd bestätigt haben (Exponent m = 0,87 bis 1,1), während für wenig sandhaltige Materialien der Exponent m ungefähr gleich 1,5 beträgt, also dem von O. Smreker abgeleiteten Gesetze entspricht.

Die bisher erwähnten Versuche wurden mit reinem Wasser, wie es aus dem Sihlkanal zu normalen Zeiten zufließt, durchgeführt. Um aber auch

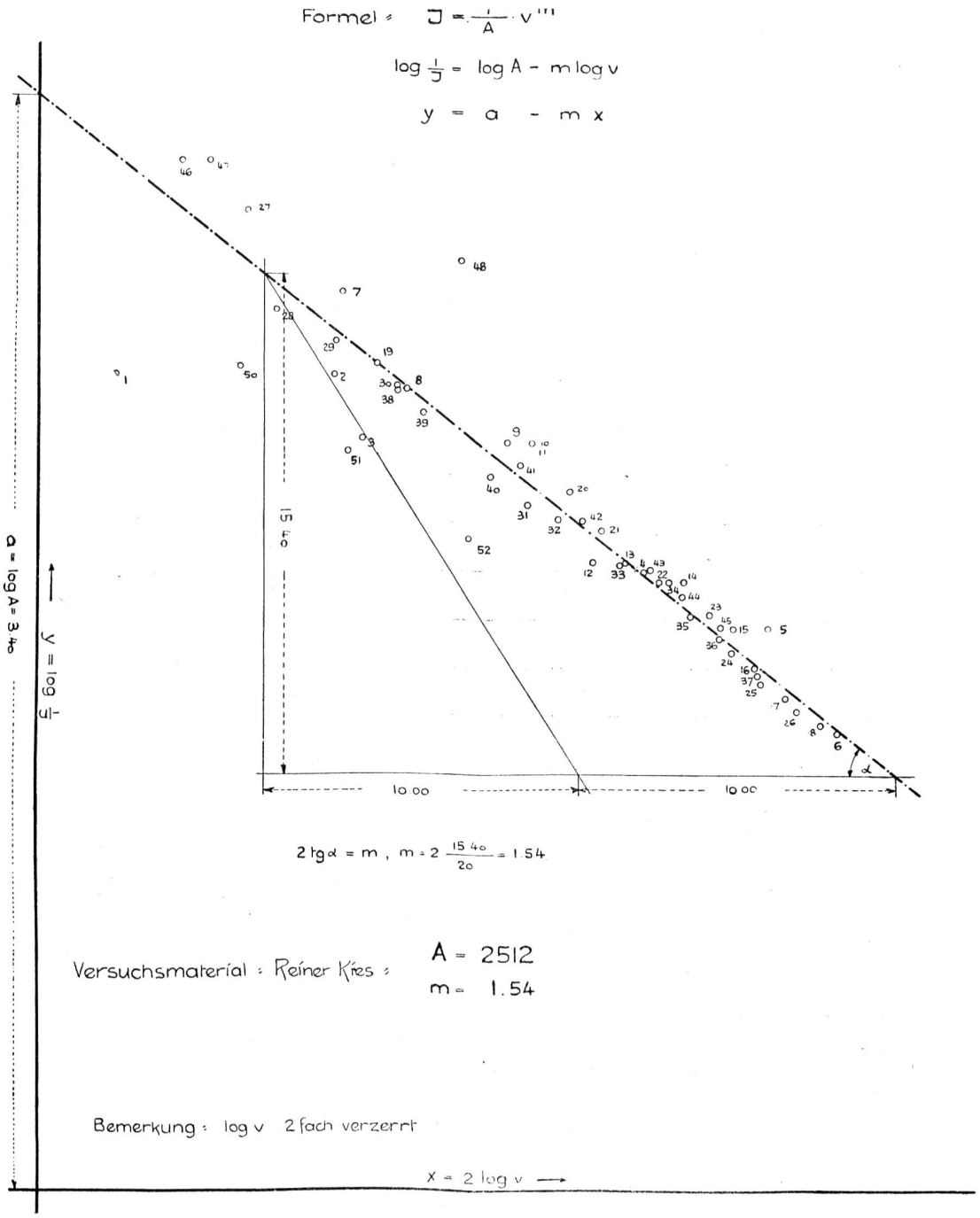

Abb. 2. Graphische Bestimmung der Durchfluß-Konstanten A und m aus den gemessenen Filtergeschwindigkeiten v in m/m und Gefällen J.

festzustellen, wie sich die Durchflußverhältnisse bei Verwendung von trübem, schmutzigem und besonders lehmhaltigem Wasser gestalten, wurde nach der Vornahme genügender Versuche mit reinem Wasser in den Einlaufkasten ein bestimmtes Quantum Lehmbrei eingeschüttet, wodurch das Wasser sich sofort vollständig trübte. Während nun bei Kiesmaterial sich die Fortbewegung des Lehmwassers im Kanal durch die Fenster deutlich verfolgen ließ, konnte bei Sand und bei der Kies- und Sandmischung eine geringfügige Trübung erst nach langer Zeit nur hinter dem ersten Fenster wahrgenommen werden. Der Lehm hat sich also im Sand und in der Kies- und Sandmischung fast unmittelbar am Kanalanfang im Material abgelagert und dort von selbst eine deutlich sichtbare Abdichtung der Zwischenräume erzeugt, die sich durch das schnelle Abfallen der Drucklinie in den ersten Zonen bemerkbar machte.

Durch die Vornahme einer Reihe solcher Lehmeinschwemmungen war es möglich, eine fast vollständige Dichtung im Sand und im Kies- und Sandmaterial zu erreichen. Eingehendere Versuche dieser Art sind in Aussicht genommen. Es sollen

Material	Korngrösse: Rückstände in % auf Sieben mit runden Löchern von Durchmessern in mm											Litergewicht im Anlieferungszustand	Hohlräume in % des Volumens
	50	40	30	20	15	8	2	1.5	1.0	0.5	<0.5		
	Kieskörner						Sandkörner						
1. Reiner Kies	38.3	15.7	20.9	15.4	5.9	2.9	←	—	0.9	—	→	1.65	37.5
2. Gemisch: 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
3. Reiner Sand					2.7	10.5	19.2	5.4	16.1	33.5	12.6	1.70	35.6

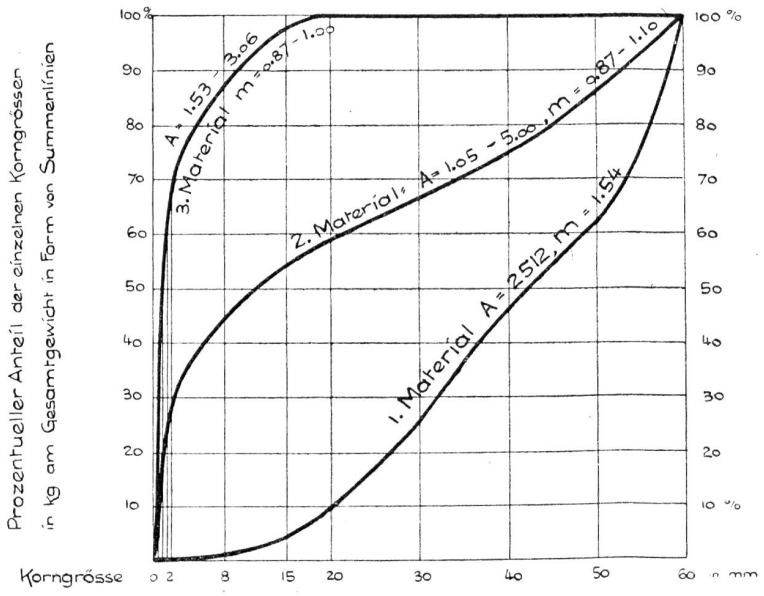

Abb. 3. Charakteristiken der Versuchsmaterialien

dabei hauptsächlich jene Geschwindigkeiten des durchfließenden Wassers ermittelt werden, bei denen der Lehm und andere Beimischungen zum Wasser in den verschiedenen Materialien abgelagert werden, bei denen also die Selbstdichtung im Material eintritt und im Gegensatz dazu soll untersucht werden, bei welchen Wassergeschwindigkeiten die feineren Bestandteile aus dem Versuchsmaterial ausgeschwemmt werden. Um die Versuche zu vereinfachen, ist der Versuchsapparat neuerdings in der Weise umgebaut worden, daß der Versuchskanal durchgehend einen konstanten Querschnitt besitzt, womit eine leichtere Beurteilung der Abhängigkeit der Druckhöhen-Unterschiede von der Beschaffenheit des Versuchsmaterials und der Geschwindigkeit des Durchflußwassers möglich wird.

Die von uns bisher verwendeten drei Versuchsmaterialien, nämlich Kies, Sand und eine Mischung aus Kies und Sand, wurden in der eidgenössischen Materialprüfungsanstalt nach Korngröße, spezifischem Gewicht und Hohlräumen genau untersucht. Das Resultat der Siebversuche wurde in Abb. 3 in Form einer graphischen Charakteristik der Materialien dargestellt. In einem rechtwinkligen Koordinatensystem sind zu diesem Zwecke als Abscissen die Korngrößen und als Ordinaten jeweils der prozentuale Anteil einer bestimmten Korngröße in der Art einer Summenlinie aufgetragen.

Der Zusammensetzung der Versuchsmaterialien entsprechend, zeigt die Charakteristik für Kies anfänglich ein geringes und gegen die groben Korngrößen hin ein schnelles Ansteigen, während anderseits die Charakteristik für reinen Sand anfänglich sehr steil und am Schluß horizontal verläuft. Durch solche Kurven kann jedes einzelne Kies- und Sandmaterial genau charakterisiert werden. Zu jedem Material gehören als Durchflußkonstante je ganz bestimmte Werte von A und m und es ist der Zweck dieser Versuche, für möglichst verschiedenartige Versuchsmaterialien diese Konstanten ausfindig zu machen, um damit der Praxis Anhaltspunkte für die Lösung der eingangs erwähnten Probleme geben zu können. Die Abdichtungskommission ist gerne bereit, solche Versuche auch im Auftrage von Interessenten mit ganz bestimmten Materialien auszuführen.