DISSERTATION

M. Walde

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

66.192 a 4°

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

TU BERGAKADEMIE FREIBERG
66.192/1 4.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

An der Fakultät für Bergbau der Bergakademie Freiberg eingereichte und genehmigte Dissertation

Thema:

"Untersuchungen zur Filterhydraulik und Entwässerungswirkung verschiedener Filterbauformen in der Tagebauentwässerung"

vorgelegt von Dipl.-Ing. M. Walde

eingereicht am 15. 9. 1965

Tag der mündlichen Prüfung: 28. 10. 1965

Tag der Verteidigung: 16. 12. 1965

Referent: Prof. Dr.-Ing. Matschak

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. habil. Busch

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Bücherei
Bergakademie
Freiberg i. Sa.

66.192 a
4°

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Vorwort	1
2. Einleitung	2
3. Stand der Erkenntnisse	2
4. Untersuchungsmethoden	5
5. Untersuchte Filterrohrarten und Filtergewebe	5
5.1. Eisenfilterrohre	6
5.2. Betonfilterrohre	7
5.3. Keramikfilterrohre	7
5.4. Epoxydharzgeklebte Sand- und Kiesfilterrohre	8
5.5. Filterrohre aus PVC (hart)	8
5.6. Baulängen, Einbaumassen und Preise der im Filterprüfstand untersuchten Filterrohrarten	9
5.7. Filtergewebe	9
6. Bestimmung der freien Durchtrittsfläche	11
6.1. Definition der freien Durchtrittsfläche	11
6.2. Die direkte Methode zur Bestimmung der freien Durchtrittsfläche	11
6.3. Freie Durchtrittsflächen für Eisen- und Keramikfilterrohre	11

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Seite

6.4. Die indirekte Methode der Bestimmung der freien Durchtrittsfläche 13

6.5. Versuchseinrichtung und Durchführung 15

6.6. Freie Durchtrittsflächen für poröse Filtermaterialien und Filtergewebe 17

6.7. Definition der Filterkennzahl 20

6.8. Berechnung der Filterkennzahlen 20

7. Grundwasser-hydraulische Versuche im Filterprüfstand 22

7.1. Ziel der Versuche im Filterprüfstand 22

7.2. Aufbau des Filterprüfstandes 22

7.3. Versuchsdurchführung 24

7.4. Kennzeichnung der verwendeten Bodenarten 25

7.5. Auswahl des Filterkieses 27

7.6. Auswertung der Ergiebigkeitsversuche im Filterprüfstand 29

7.6.1. Korrektur der Ergiebigkeitsmessungen hinsichtlich der Versuchstemperatur 29

7.6.2. Überprüfung der Korrelation zwischen Ergiebigkeit und Filterkennzahl 31

7.6.3. Grundlagen der Streuungsanalyse 32

7.6.4. Auswertung der Prüfstandsversuche mittels der Streuungsanalyse 39

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Seite

7.6.5. Ergebnisse der Ergiebigkeitsversuche im Filterprüfstand 41

7.7. Bestimmung der Sickerstrecke bei den Prüfstandsversuchen 47

7.7.1. Beziehungen zwischen dem Wasserstand am Filteraußenmantel und im Filterrohrinneren 47

7.7.2. Messung der Sickerstrecke an Fallfiltern bei den Prüfstandsversuchen und Auswertung der Meßergebnisse 50

7.8. Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen der Untersuchungen am Filterprüfstand 55

8. Eintrittsgeschwindigkeiten des Grundwassers am Filterrohr 58

8.1. Betrachtung über die Verhältnisse der Eintrittsgeschwindigkeiten und der R_e-Zahlen 58

8.2. Schlußfolgerungen für den zweckmäßigen Einsatz der Filterrohre zur Deckgebirgsentwässerung 65

9. Einfluß der Bohrtechnologie auf die Fallfilterergiebigkeit 67

9.1. Die Besonderheiten des Saugspülbohrverfahrens 67

9.2. Untersuchung der Spülflüssigkeit unter natürlichen Verhältnissen 68

9.3. Darstellung der Vorgänge beim Saugspülbohren im Filterprüfstand 70

SLUB Wir führen Wissen. UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Seite

9.4. Auswertung der Ergiebigkeitsmessungen 71

9.5. Schlußfolgerungen aus dem Versuchsergebnis 72

10. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen 73

11. Verzeichnis der verwendeten Symbole 78

12. Verzeichnis der verwendeten Literatur 85

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

1. Vorwort

In der vorliegenden Arbeit werden der Einfluß unterschiedlicher Filterrohrbauformen auf die Ergiebigkeit von Fallfiltern und Filterbrunnen untersucht und im Zusammenhang damit Beziehungen für die Berechnung von Ergiebigkeit und Sickerstrecke bei Fallfiltern dargelegt.

Die Untersuchungen lassen sich in zwei Hauptabschnitte gliedern:
Im ersten Hauptabschnitt werden die freien Durchtrittsflächen der verwendeten Filterrohrbauformen und Filtergewebe bestimmt und die zugehörigen Filterkennzahlen berechnet, während der zweite Hauptabschnitt die Durchführung und Auswertung der Prüfstandsversuche behandelt.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Matschak danke ich für die Anregung zu dieser interessanten Arbeit und die großzügige Unterstützung bei ihrer Anfertigung.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Busch gebührt mein Dank für die Übernahme des Korreferates und viele wertvolle Hinweise bei der Abfassung der Arbeit.

Meinen Mitarbeitern am Deutschen Brennstoffinstitut und im Institut für Tagebaukunde danke ich für die Unterstützung beim Anfertigen der Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt der Werkstatt des Instituts für Tagebaukunde für den Bau der Prüfstände und die Hilfe bei der Durchführung der Versuche.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

2. Einleitung.

Die totale Grundwasserabsenkung im Vorfeld der Tagebaue erfolgt im allgemeinen durch Strecken mit Fallfiltern oder durch Filterbrunnengalerien, wobei der Deckgebirgsaufbau sehr unterschiedliche Durchlässigkeitsverhältnisse aufweisen kann. Der Ausbau der Bohrungen für die Fallfilter und Filterbrunnen erfolgt mit Filterrohren verschiedenen Durchmessers und verschiedener Bauart. Um dem Wasserandrang entsprechend die günstigste Filterrohrart in die Entwässerungsbohrung einbauen zu können, ist der Einfluß der Filterkonstruktion auf die Ergiebigkeit unter verschiedenen Durchlässigkeitsverhältnissen des umgebenden Bodens zu untersuchen.

Im Zusammenhang damit ist zu klären, welche Beziehungen für die hydraulische Berechnung von Fallfiltern angewendet werden können, da hierfür bisher keine gesicherten Ergebnisse vorliegen.

Die Kenntnis der Möglichkeiten zur hydraulischen Berechnung und der zweckmäßigsten Art des Ausbaues der Entwässerungsbohrungen mit Filterrohren ermöglicht eine wissenschaftlich begründete Dimensionierung der Entwässerungsmittel in den Tagebauen und führt somit zu minimalen Kosten durch Einhaltung der technisch erforderlichen Parameter.

3. Stand der Erkenntnisse

Als Grundlage der hydraulischen Berechnungen bei der Fassung von Grundwasser hat sich das 1856 von Darcy [1] gefundene und nach ihm benannte Grundgesetz der laminaren Grundwasserströmung bis heute behauptet.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Das Darcysche Filtergesetz

$$v_F = k_f \cdot i \qquad (1)$$

v_F = Filtergeschwindigkeit in [m/s]
k_f = Durchlässigkeitsbeiwert in [m/s]
i = Grundwasserspiegelgefälle

ist in der Vergangenheit Zweifeln ob seiner Richtigkeit ausgesetzt gewesen (Smreker [2], Holler [3] u. a.). Neuere von King [4] zusammengefaßte Untersuchungen mehrerer Forscher haben die Gültigkeit des Gesetzes über weite Bereiche des Gefälles bestätigt, so daß es, obwohl eine obere und auch eine untere Gültigkeitsgrenze vorhanden sein müssen, für die Mehrzahl aller praktisch vorkommenden Fälle als gültig vorausgesetzt werden kann.

Auf der Grundlage des Darcyschen Gesetzes leitete 1863 Dupuit [5] seine Brunnenformeln für homogene Grundwasserleiter ab. Dabei legte er seinen Darlegungen die Annahme zugrunde, daß die Geschwindigkeitsverteilung längs eines beliebigen lotrechten Schnittes durch den durchströmten Teil des Grundwasserleiters konstant ist. In Anlage 1 ist die in der Dupuitschen Berechnung angenommene und die tatsächliche Lage der freien Grundwasseroberfläche bei der Strömung zu einem vollkommenen Brunnen wiedergegeben. Die Formel für diesen Fall lautet bekanntlich:

$$q = \frac{k_f(H^2 - h_o^2)}{\ln \frac{R}{r_o}} \qquad (2)$$

H = Höhe des freien Grundwasserspiegels über der undurchlässigen Sohle [m]
h_o = Wasserspiegelhöhe im Filterbrunnen [m]
R = Reichweite [m]
r_o = Brunnenradius [m]

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Die beim praktischen Betrieb von Filterbrunnen und in Modellversuchen wiederholt festgestellte Tatsache, daß der Schnittpunkt der abgesenkten Grundwasseroberfläche mit der Brunnenwandung nicht wie von Dupuit angenommen in Höhe des Brunneninnenwasserspiegels h_o liegt, sondern um den Betrag der Sickerstrecke s_i über diesem und die vereinfachte Annahme über die Geschwindigkeitsverteilung in einem lotrechten Schnitt, führen zu Versuchen, die Dupuitsche Brunnenformel speziell für freien Grundwasserspiegel durch andere zu ersetzen. Besonders erwähnt werden müssen hierbei die Arbeiten von Setinsky [6] und Müller-Delitzsch [7], die grundsätzlich neue Wege suchten, sowie von Nehls [8]. Demgegenüber bestätigen Kozeny [9], Nahrgang [10] und Heinrich [11] die von Dupuit gefundenen Formeln, obwohl alle drei Autoren bei ihren theoretischen Ableitungen unterschiedliche Lösungswege verfolgten. Nicht nur bei den Ansätzen zur exakten Berechnung der Brunnenergiebigkeit gehen die Meinungen auseinander, sondern auch über die Bestimmung der Größe der Sickerstrecke werden unterschiedliche Auffassungen dargelegt. Ehrenberger [12], Kozeny [9], Hall [13] und Öllös [14] haben Arbeiten zu dieser Thematik veröffentlicht, in denen aber einander widersprechende Untersuchungsergebnisse dargelegt werden, auf die unter 7.7.1. noch näher einzugehen ist.

Außer diesen theoretischen und experimentellen Modelluntersuchungen liegen aus den Tagebauen Scado und Bluno Versuchsergebnisse [15] von Fallfiltern vor, die unter annähernd gleichen geohydrologischen Bedingungen mit verschiedenen Arten von Filterrohren ausgebaut worden waren. Die Anfangsergiebigkeiten schwankten zwischen 0 und 2000 l/min, wobei die häufigsten Werte unter 200 l/min blieben. Insgesamt lieferten die Versuche keine Anhaltspunkte für den optimalen Fallfilterausbau, da sehr unterschiedliche Ergiebigkeiten selbst bei vergleichbaren Ausbauarten mit und ohne Kiesschüttung auftraten. Ähnlich widersprüchliche Resultate ergaben Feldversuche im Tagebau Welzow-Süd [16], wo an der

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Strecke 102.2 u. a. Ergiebigkeitsmessungen an 14 Fallfiltern, die im Abstand von jeweils ca. 35 m niedergebracht waren, durchgeführt wurden. Obwohl alle Fallfilter mit den gleichen Filterrohren ausgebaut waren, schwankten die Anfangsergiebigkeiten völlig willkürlich und ohne direkt erkennbare Ursachen zwischen 30 und 1500 l/min, so daß hierbei nicht nur die gegenseitige Beeinflussung und der unterschiedliche Öffnungszeitpunkt, sondern auch andere Einflußfaktoren, wie etwa mangelhafter Ausbau einzelner Fallfilter oder das angewandte Bohrverfahren eine Rolle spielen müssen.

4. Untersuchungsmethoden

Der Einfluß der unterschiedlichen Filterrohrkonstruktionen auf die Ergiebigkeit von Fallfiltern und Filterbrunnen kann nur durch Vergleichsuntersuchungen unter gleichbleibenden geohydrologischen Bedingungen festgestellt werden. Zur Durchführung der Versuche wurde deshalb ein Prüfstand entwickelt und gebaut, der es zuläßt, daß die Filterrohre ein- und ausgebaut werden können, ohne daß der sie umgebende Bodenmonolith davon berührt wird. Die Abmessungen sind so gewählt, daß jeweils 3 m Filterrohr in natürlichen Abmessungen eingebracht werden kann. Die Verwendung von Originalfilterrohren dient der Anpassung an die natürlichen Verhältnisse. Um unterschiedliche Durchlässigkeitsverhältnisse zu erfassen, wurden zwei Bodenmaterialien mit unterschiedlichen Durchlässigkeitswerten in den Prüfstand gebracht und mit ihnen zwei Versuchsreihen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Prüfstandsversuche werden mit Methoden der mathematischen Statistik und der Ausgleichsrechnung ausgewertet und an den Ergebnissen die Möglichkeiten zur Berechnung von Fallfilterergiebigkeit und Größe der an Fallfiltern auftretenden Sickerstrecke gezeigt.

5. Untersuchte Filterrohrarten und Filtergewebe

Die in der Tagebauentwässerung hauptsächlich verwendeten Filterrohrarten sind Eisen-, Beton- und Keramikfilterrohre

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

(Anlage 2), die nicht nur unterschiedlich in der Konstruktion sind, sondern auch erhebliche Unterschiede in den Produktionskosten je Meter Filterrohr aufweisen. Mit den genannten Filterrohrarten kommen als Filtergewebe in der DDR Filterjute und Filtertressen aus PCU und Polyamid zum Einsatz. Mit diesen Filterrohrarten und Geweben wurden die Vergleichsuntersuchungen in einem eigens dafür gebauten Prüfstand durchgeführt.

5.1. Eisenfilterrohre

Die Eisenfilterrohre für die Entwässerungszwecke der Braunkohlentagebaue in der DDR sind ausschließlich mit Schlitzlochung versehen. Für den Wasserdurchtritt sind Schlitze von 25 mm Länge und 5 mm Breite vorgesehen, die in der Regel parallel zur Filterachse angeordnet sind. Aus statischen Gründen ist jedoch der weniger verbreiteten Anordnung der Schlitze quer zur Filterrohrachse der Vorzug zu geben, da nach Strzodka [17] bei Einbeulversuchen an Filterrohren festgestellt werden konnte, daß für Langlochschlitzung nur 18%, für Querlochschlitzung jedoch 50% der theoretischen Einbeulfestigkeit erzielt wurden. Die verschiedenen Arten der Schlitzlochanordnung bei den für die Untersuchung verwandten Eisenfilterrohren sind in Anlage 3 wiedergegeben. Die Nennweiten 80 - 180 mm werden für Fallfilter und die Nennweiten 350 - 400 mm für Filterbrunnen verwendet. Um Materialausspülungen im Boden oder in der Filterkiesschüttung infolge der großen Schlitze zu vermeiden, müssen die Schlitzfilterrohre vor dem Einbau mit einem feinmaschigen Filtergewebe umwickelt werden. Eisenfilterrohre mit Schlitzbrückenlochung werden trotz ihrer Vorteile bezüglich der höheren Stabilität und des Wegfalls der Umwicklung mit Filtergewebe bisher in der DDR serienmäßig nicht produziert.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

5.2. Betonfilterrohre

Die Einkornbetonfilterrohre erhalten ihre Porosität dadurch, daß sie aus Zuschlagstoffen einer Korngruppe, und zwar unter Verwendung von 75% Hartsteinsplitt und 25% Zement, hergestellt werden. Je nach verwendeter Korngruppe unterscheidet das Herstellerwerk in:

Feinfilter:	Splittzusatz 1 - 3 mm Korngröße
Mittelfilter:	Splittzusatz 3 - 6 mm, oder 3 - 8 mm Korngröße
Grobfilter:	Splittzusatz 5 - 8 mm und evtl. 8 - 15 mm Korngröße.

Die Rohre wurden in Längen von 500 mm und 750 mm produziert, in dem der Einkornbeton auf Rütteltischen in entsprechende Stahlformen eingebracht wird. Mit dieser Baustoffwahl und Herstellungsart wird ein über die gesamte Mantelfläche poröses Filterrohr erzeugt. Um ein Zusetzen der teilweise recht großen Poren zu vermeiden, müssen die Betonfilterrohre vor dem Einbau in Entwässerungsbohrungen entweder mit einem Filtergewebe umwickelt oder besser mit Kiesschüttung eingebaut werden.

5.3. Keramikfilterrohr

Von den Keramikfilterrohren werden vorzugsweise die Bitterfelder Steinzeugfilterrohre in der Tagebauentwässerung eingesetzt. Es handelt sich hierbei um ein Steinzeugfilterrohr, bei dem das zuströmende Grundwasser durch ca. 2 mm breite Eintrittsschlitze, die gleichmäßig auf den Rohrumfang verteilt sind, in das Filterrohr eintreten kann, in dessen eigentlicher Rohrwandung gegeneinander versetzt rechteckige 8 - 10 x 38 mm große Durchtrittsöffnungen ausgespart sind (Anlage 3). Beim Einbau ist zwischen Bohrlochwand und Filterrohr eine Kiesschüttung einzubringen, um ein Versanden des Filterbrunnens zu vermeiden.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

5.4. Epoxydharzgeklebte Sand- und Kiesfilterrohre

Bei epoxydharzgeklebten Kiesfilterrohren wird die in den meisten Fällen des Ausbaus einer Entwässerungsbohrung erforderliche Filterkiesschüttung ersetzt, indem man auf ein Eisenfilterrohr den nach den Filterregeln auf die anstehende Schichtenfolge des Deckgebirges abgestimmten Filterkies in einer 10 - 50 mm starken Lage mit Kunstharz aufklebt. Da diese Filter in der DDR und der CSSR noch in der Entwicklung begriffen sind, können nähere technische Angaben nicht gemacht werden, jedoch gelang es, erste Probeexemplare deutscher und tschechoslowakischer geklebter Kiesfilter in die Untersuchungen teilweise einzubeziehen.

5.5. Filterrohre aus PVC (hart)

Die Verwendung von Filterrohren aus Kunststoffen greift immer mehr um sich, besonders dort, wo aggressive Grundwässer zu fassen sind. In der DDR werden Kunststoffilterrohre aus PVC-hart (Vinidur) produziert, die resistent gegen alle vorkommenden Grund-, Mineral- und auch Seewässer sind. Von Vorteil ist die Möglichkeit, die Schlitzung der Filterrohrwand je nach den Erfordernissen mit unterschiedlicher Schlitzbreite ausführen zu lassen. Das Lieferwerk, die Mico-Pumpenfabrik Magdeburg, führt Schlitzbreiten von 0,2 - 2,5 mm aus, so daß bei guter Anpassung der Schlitzweite an die anstehenden Bodenschichten auf das Einbringen einer Filterkiesschicht verzichtet werden könnte. Im Braunkohlenbergbau sind diese Filterrohre trotz gewisser Vorteile noch nicht eingeführt, was nicht zuletzt auf den hohen Preis zurückzuführen sein dürfte, der sich für die zum Fallfilterausbau geeigneten Nennweiten 80 - 150 mm auf 40 bis 113 MDN/m beläuft.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

5.6. Baulängen, Einbaumassen und Preise der im Filterprüfstand untersuchten Filterrohrarten

Die Nennweiten, Baulängen, Einbaumassen und Kosten für die untersuchten Filterrohrarten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Danach sind Eisenfilterrohre in den NW 80 - 400 mm mit Baulängen von 2 - 4 m handelsüblich. Die zugehörigen Preise steigen von 9,20 MDN/m für NW 80 auf 40,20 MDN/m für NW 400, ebenso die Einbaumassen von 4,7 kg/m auf 45,3 kg/m. Betonfilterrohre werden in den NW 80 - 350 mm produziert mit Baulängen von 0,5 und 0,75 m. Die Kosten betragen 2,70 MDN/m für NW 80 bis 18,15 MDN/m für NW 350, bei Einbaumassen von 16,0 - 120,0 kg/m. Bitterfelder Stabfilterrohre werden in den NW 80 - 400 mm hergestellt und kosten bei Einbaumassen von 15,0 - 105,0 kg/m 8,00 MDN/m bis 70,00 MDN/m. Die Baulängen liegen zwischen 0,5 und 1,0 m.

An der Zusammenstellung ist ersichtlich, daß die Betonfilterrohre aller Nennweiten erheblich billiger sind als Eisen- und Keramikfilterrohre gleicher NW. Dabei ist zu bedenken, daß zu dem Preis für die Eisenfilterrohre in jedem Fall noch Kosten für das unbedingt erforderliche Filtergewebe kommen, so daß die effektiven Kosten noch höher werden. Allerdings ist die Einbaumasse je Meter Filterrohr für Eisenfilterrohre weitaus geringer als bei den Beton- und Keramikfilterrohren.

5.7. Filtergewebe

Gelochte Eisenrohre, die mit einem Filtergewebe umwickelt waren, sind die älteste Bauform der Filterrohre. Man unterscheidet grundsätzlich zwei Filtergewebearten, das Köpergewebe und das Tressengewebe, die sich in der Webart unterscheiden. Wie aus Anlage 4 ersichtlich, besteht das Köpergewebe aus sich rechtwinklig kreuzenden Kett- und Schußfäden,

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

die gleichen Abstand untereinander haben, wodurch quadratische Maschen von 0,5 - 1,0 mm Seitenlänge entstehen. Beim ebenfalls in Anlage 4 gezeigten Tressengewebe laufen die Kettfäden in größerem Abstand und werden von den dicht aneinander liegenden Schußfäden gekreuzt, wodurch schlitzförmige Maschen entstehen. Anstatt der nicht bestimmbaren Maschengröße wird hier die Feinheit des Gewebes durch die Gewebenummer charakterisiert, die angibt, wieviel Kettfäden auf den rheinischen Zoll entfallen. Zu erwähnen ist noch das grobmaschige Unterlagsgewebe, das als tragendes Element zwischen Filterrohr und Filtergewebe dient. Das Tressengewebe wird als Filtergewebe allgemein bevorzugt, obwohl es dafür keinen stichhaltigen Grund gibt, da ja im Gegenteil das eintretende Wasser bei diesem Gewebe gewundene Bahnen verfolgen muß, um das Gewebe durchströmen zu können.

Während früher als Material für die Filtergewebe ausschließlich weiches Kupfer verwendet wurde, ist man nach dem Kriege u. a. auch in der DDR von dem knappen Rohstoff Kupfer mit Erfolg auf Plaste übergegangen. Gegenwärtig werden in der DDR die in den Tabellen 2 und 3 aufgeführten 15 PCU- und Polyamidtressen sowie 2 Polyamidköpergewebe gefertigt. Die Plastetressen weisen gegenüber den Kupfertressen als Besonderheit bei der Herstellung die Eigenschaft auf, sich nach dem Weben auf dem Webstuhl etwas einzuziehen. Da auch die einzelnen Webstühle unterschiedlich arbeiten, ergeben sich bei gleichen Rohstoffen und Gewebenummern gewisse Schwankungen in der Dichtheit des Gewebes, wodurch auch die Durchlässigkeit beeinflußt wird.

Für die Filterumwicklung in den Entwässerungsbetrieben des Braunkohlenbergbaues wird neben den Tressengeweben auch noch in gewissem Umfange Filterjute benutzt. Deshalb wurden in die Untersuchungen nicht nur verschiedene PCU- und Polyamidfiltertressen, sondern auch Filterjuteproben einbezogen.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

6. Bestimmung der freien Durchtrittsfläche

6.1. Definition der freien Durchtrittsfläche

Die Wandung jedes Filterrohres ist von Öffnungen unterschiedlicher Anzahl, Größe, Form und Anordnung durchbrochen, um das aus dem Grundwasserleiter zuströmende Wasser mit möglichst geringen Eintrittsverlusten in das Filterrohrinnere weiterzuleiten. Die Summe aller Öffnungen im Filterrohrmantel stellt die freie Gesamteintrittsfläche dar. Für Vergleichszwecke ist es angebracht, die freie Eintrittsfläche des Filterrohres als Anteil der Gesamtmantelfläche je Längeneinheit zu bestimmen.

$$F_D = \frac{\text{freie Durchtrittsfläche}}{\text{Gesamtmantelfläche}} \cdot 100\ [\%] \qquad (3)$$

6.2. Die direkte Methode zur Bestimmung der freien Durchtrittsfläche

Bei der direkten Methode der Bestimmung der freien Durchtrittsfläche kann der Anteil der für den Grundwassereintritt in das Filterrohrinnere ausgesparten Flächen an der Gesamtaußenmantelfläche des Filterrohres durch Aufmaß rechnerisch ermittelt werden. Sie ist grundsätzlich anwendbar bei Filterrohren, für die die Grundwassereintrittsöffnungen geometrisch erfaßt werden können, wie das bei Schlitzlochung, Schlitzbrückenlochung und Gardelochung der Fall ist. Sie ist nicht anwendbar bei Filterrohren aus porösen Materialien.

6.3. Freie Durchtrittsflächen für Eisen- und Keramikfilterrohre

Die freien Durchtrittsflächen der Eisen- und Keramikfilterrohre konnten nach der direkten Methode bestimmt werden. In Tabelle 4 sind die F_D-Werte für die untersuchten 9 Eisenfilterrohre mit Schlitzlochung ermittelt. Aus der Größe

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

und Anzahl der Lochungen und Filterrohrabmessungen wurden für die freie Durchtrittsfläche Werte zwischen 12,1% und 31,3% nach der Formel

$$F_D = \frac{f \cdot n}{F} \cdot 100 [\%] \qquad (4)$$

mit

f = Flächeninhalt eines Loches $[cm^2]$
n = Anzahl der Löcher
F = Gesamtmantelfläche $[cm^2]$

berechnet.

Benutzt man die von Strzodka [17] angegebene Bestimmungsgleichung zur Ermittlung der F_D-Werte von Schlitzfilterrohren

$$F_D = \frac{\alpha \cdot \beta}{(\alpha + a) \cdot (\beta + b)} \cdot 100 [\%] \qquad (5)$$

mit

α = Schlitzlänge
β = Schlitzbreite
a = vertikaler Abstand der Schlitzlöcher
b = horizontaler Abstand der Schlitzlöcher,

so ergeben sich für die freien Durchtrittsflächen etwas abweichende Größen. Das liegt darin begründet, daß bei dieser Formel die lochfreien Bünde an den Rohrenden nicht mit berücksichtigt werden.

Die F_D-Werte für Bitterfelder Stabfilterrohre sind in Tabelle 5 ermittelt. Hier ist besonders darauf zu achten, daß das zuströmende Wasser außer den äußeren Schlitzen noch rechteckige Öffnungen in der Filterrohrwandung zu passieren hat (Anlage 3). Bei der Berechnung der F_D-Werte mußten die beiden Formen der Eintrittsöffnungen getrennt erfaßt werden mit dem Resultat, daß das äußere Schlitzsystem die kleineren freien Durchtrittsflächen von 6,7% bis 12,2% der Gesamtfläche aufweist, wie aus Tabelle 5 ersichtlich ist.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

6.4. Die indirekte Methode der Bestimmung der freien Durchtrittsfläche

Für Filterrohre aus porösem Material läßt sich die Methode der direkten Bestimmung der freien Durchtrittsfläche nicht anwenden, da eine geometrische Erfassung und Berechnung der Flächenanteile auf Grund der Struktur des Materials nicht möglich ist. Um auch für diese Fälle eine exakte Bestimmung der freien Durchtrittsfläche vornehmen zu können, mußte ein neues Verfahren, die Methode der indirekten Bestimmung der freien Durchtrittsflächen, entwickelt werden, mit der die gewünschten Werte für poröses Filterrohrmaterial und jedes Filtergewebe ermittelt werden können.

Das Verfahren beruht auf der Anwendung des Gesetzes von Torricelli, wonach die Ausflußgeschwindigkeit des Wassers aus einer Gefäßöffnung, die um den Betrag H' unter dem Gefäßwasserspiegel liegt, beim Austritt an die Luft nur von der Erdbeschleunigung g und der Wasserspiegellage H' abhängig ist. In Anlage 5 ist die Prinzipskizze des hierfür gebauten Versuchsgefäßes wiedergegeben. Mit den dort eingetragenen Bezeichnungen läßt sich bei Anwendung des Satzes von Bernoulli über die Konstanz der Gesamtenergie an jeder beliebigen Stelle einer Stromröhre und unter der Annahme, daß die Umwandlung der potentiellen Energie beim Wasserstrahlaustritt in kinetische Energie vollständig und ohne Verluste erfolgt, schreiben:

$$\frac{p}{\gamma} + H' + \frac{v_o^2}{2g} = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \qquad (6)$$

p = Barometerdruck [Mp/m^2]
γ = Wichte des Wassers [Mp/m^3]
H' = Wasserspiegelhöhe über der Ausflußöffnung [m]
g = Erdbeschleunigung [m/s^2]
v_o = Absenkungsgeschwindigkeit des Gefäßwasserspiegels [m/s]
v = Ausflußgeschwindigkeit [m/s].

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Da der Barometerdruck p im Gefäß und am Auslauf gleich bleibt und die Absenkungsgeschwindigkeit im Versuchsgefäß sehr klein gegenüber der Austrittsgeschwindigkeit ist und somit $v_o = 0$ gesetzt werden kann, ergibt sich als Bestimmungsgleichung für v:

$$H' = \frac{v^2}{2g} \tag{7}$$

und daraus:

$$v = \sqrt{2\,g\,H'} \; . \tag{8}$$

Andererseits besteht die Beziehung:

$$v = \frac{Q}{F} \; . \tag{9}$$

Durch Einsetzen in Gleichung (8) und Auflösen nach Q ergibt sich die Gleichung (10):

$$Q_{th.} = F \cdot \sqrt{2g \cdot H'} \; . \tag{10}$$

Diese theoretische Ausflußmenge kann nur bei vorschriftsmäßigen Düsen annähernd erreicht werden, da beim Austreten des Strahles aus der Ausflußöffnung an deren Wänden Reibungsverluste entstehen und eine Kontraktion des Strahles hervorgerufen wird. Werden diese Einflüsse in einem Faktor $\mu < 1.00$ zusammengefaßt, dann kann man Gleichung (10) erweitern.

$$Q = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2g \cdot H'} \tag{11}$$

Weil für eine festgelegte Versuchsanordnung und eine bestimmte Wasserspiegelhöhe im Gefäß μ und H' konstante Werte annehmen, ergibt sich eine direkte Proportionalität zwischen Ausflußmengen und Austrittsflächen:

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

$$\frac{Q}{F} = \frac{Q_{D\ eff}}{F_{D\ eff}} \qquad (12)$$

Ist die freie Querschnittsfläche F der Austrittsöffnung und die zugehörige Ausflußmenge Q durch Messung bekannt, so kann aus der Ausflußmenge $Q_{D\ eff}$ bei gleicher Druckhöhe die zugehörige effektive freie Durchtrittsfläche $F_{D\ eff}$ bestimmt werden.

$$F_{D\ eff} = \frac{F \cdot Q_{D\ eff}}{Q} \qquad (13)$$

Da für die Untersuchungen der Anteil der freien Durchtrittsfläche an der Gesamtfläche interessiert, wird der absolute Betrag von F gleich 100% gesetzt und man erhält dann für $F_{D\ eff}$ ebenfalls einen Wert in Prozent der Gesamtfläche.

$$F_{D\ eff} = \frac{Q_{D\ eff} \cdot 100}{Q} \ [\%] \qquad (14)$$

Mittels dieser Gleichung kann indirekt aus den Durchflußmessungen die effektive freie Durchtrittsfläche $F_{D\ eff}$ bestimmt werden.

6.5. Versuchseinrichtung und Durchführung

Die Versuchseinrichtung ist aus Anlage 5 ersichtlich. Sie bestand aus einem 2 m hohen Blechgefäß von 1,13 m Innendurchmesser mit seitlichem Wasserstandsglas mit Markierungen für die Wasserstandshöhen. Durch einen regulierbaren Wasserzulauf konnte die vorgesehene Wasserspiegellage im Gefäß während der Versuche konstant eingehalten werden. Über dem Gefäßboden war seitlich ein Ausflußstutzen von 2" Durchmesser angebracht, der durch einen Schnellschlußschieber von 48 mm lichter Weite abgesperrt werden konnte. Für die Untersuchung der Filtergewebeproben ist eine Spezialdüse mit 20 mm lichter

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Austrittsöffnung gebaut worden (Anlage 6), die an den Schieber angeschraubt werden konnte. Die Zweiteilung der Düse ermöglichte ein schnelles Wechseln der Gewebeproben und mit Hilfe der zwischengelegten Dichtungsgummis eine gute Anpassung an unterschiedliche Probenstärken. Die Proben der porösen Filtermaterialien wurden in Rohrstutzen von 52 mm Innendurchmesser mit einem Paraffinmantel von 2,0 mm Stärke eingesetzt (Anlage 7) und mit diesen an den Absperrschieber angeschraubt. Die Durchflußmengen wurden mit Meßgefäßen unterschiedlicher Größe und Stoppuhr für 6 Druckhöhen von 0,27, 0,47, 0,67, 0,87, 1,07, 1,27 und 1,47 m Wassersäule über der Achse des Ausflußstutzens bestimmt.

Vor Beginn der Versuchsreihen an porösen Filtermaterialien und Filtergeweben wurde die Versuchseinrichtung auf die Übereinstimmung der Meßergebnisse mit den theoretischen Überlegungen untersucht. Zu diesem Zweck wurden in die Meßdüse statt Gewebeproben je eine Meßblende mit 10 mm und 5 mm Bohrungsdurchmesser eingesetzt. Setzt man den Flächeninhalt der Bohrung der Meßdüse von 20 mm ø gleich 1, dann verhalten sich die Flächeninhalte der drei Bohrungen zueinander wie

$$F_{20} : F_{10} : F_5 = 1 : {}^1/4 : {}^1/16 = 1{,}0000 : 0{,}2500 : 0{,}0625.$$

Wenn die experimentellen Resultate den theoretischen Gesetzen streng folgen, dann müßten sich die zugehörigen Ausflußmengen bei konstanter Druckhöhe im gleichen Verhältnis ergeben:

$$Q_{20} : Q_{10} : Q_5 = 1{,}0000 : 0{,}2500 : 0{,}0625.$$

Das Ergebnis der Kontrollmessungen ist in Tabelle 6 ausgewertet und ergab als Mittelwerte aus jeweils 10 Einzelmessungen für das Mengenverhältnis:

$$Q_{20} : Q_{10} : Q_5 = 1{,}0000 : 0{,}2270 : 0{,}0645.$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Die Verhältniszahlen für Q_{10} und Q_5 weichen von den vorgegebenen theoretischen Werten nur geringfügig nach unten bzw. nach oben ab, wodurch sich die Methode auch von der rein experimentellen Seite als geeignet erweist. Ebenfalls von Interesse für die Beurteilung der Versuchseinrichtung ist die Kenntnis des erzielbaren Verhältnisses von theoretisch möglicher zu praktisch gemessener Ausflußmenge.

Für diesen Quotienten

$$\mu = \frac{Q_{exp}}{Q_{th}} \tag{15}$$

sind die für die 20 mm-Düse in Tabelle 7 und die 48 mm-Düse in Tabelle 8 die Zahlenwerte bei 7 Druckstufen ermittelt. Für die kleinere Ausflußöffnung schwankt μ bei den einzelnen Druckstufen zwischen den Werten 0,704 und 0,771. Der mittlere Fehler oder die Standardabweichung beträgt $s = \pm 0{,}022$. Für die größere Ausflußöffnung liegen die Zahlenwerte zwischen 0,732 und 0,883, wenn man von dem Betrag für die Druckhöhe 0,27 m absieht, der etwas niedriger als die anderen liegt. Die Standardabweichung der übrigen Faktoren liegt bei $s = \pm 0{,}041$ und ist damit ebenfalls sehr gering. Es besteht gute Übereinstimmung mit Untersuchungsergebnissen von Michelotti, Bidone, Aubuisson, Eytelwein und Weisbach, die nach Forchheimer [18] für Ausflußversuche mit Röhren, deren Länge etwa 2,5 - 3 mal so groß war wie der Lochdurchmesser, als Mittelwert $\mu = 0{,}815$ erhielten.

6.6. Freie Durchtrittsflächen für poröse Filtermaterialien und Filtergewebe

Nach der indirekten Methode der Bestimmung der freien Durchtrittsfläche wird der Anteil der tatsächlich vorhandenen freien Flächen für den Wasserdurchtritt summarisch mit den Auswirkungen der Materialart und -form auf die Strahlkontraktion beim Wasserdurchtritt durch die Rohrwandung erfaßt. Deshalb empfiehlt es sich, die nach dieser Methode

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

bestimmten Anteile an freien Durchtrittsflächen mit effektive freie Durchtrittsflächen zu bezeichnen.

In die Untersuchung wurden folgende Filtermaterialien und -gewebe einbezogen:

1. Einkornbeton, DDR, Wandstärke 45 mm
2. Epoxydharzgeklebter Sandfilter, DDR, Wandstärke 25 mm
3. Epoxydharzgeklebter Sandfilter, CSSR, Wandstärke 30 mm
4. Epoxydharzgeklebter Kiesfilter, CSSR, Wandstärke 30 mm
5. Polyamidtressengewebe, DDR, Nr. 12
6. Polyamidtressengewebe, DDR, Nr. 16
7. Polyamidtressengewebe, DDR, Nr. 20
8. Polyamidköpergewebe, DDR, Nr. 26
9. PCU-Tressengewebe, DDR, Nr. 8
10. PCU-Tressengewebe, DDR, Nr. 10
11. PCU-Tressengewebe, DDR, Nr. 12
12. Filterjute, DDR

Von den Ergebnissen der Messungen sind die Mittelwerte aus jeweils 5 Einzelmessungen für 1 Druckstufe und die daraus ermittelten Beträge für die effektiven freien Durchtrittsflächen für die porösen Filtermaterialien und die Filtergewebe in Tabelle 9 verzeichnet. Vergleicht man die Mittelwerte für $F_{D\ eff}$, so ist festzustellen, daß bei den Filtergeweben die PCU-Tressen etwa gleich große effektive Durchtrittsflächen zwischen 29,3 und 32,1% aufweisen, während für die Polyamidtressen deutliche Unterschiede zu bemerken sind, da die Werte von 21,2% auf 29,9% mit wachsender Gewebenummer ansteigen. Das Polyamidköpergewebe Nr. 26 hat nur 6,1% effektive Durchtrittsfläche, weil es sich hierbei um ein besonders dichtes Filtergewebe handelt, das nur für spezielle Verwendungszwecke infrage kommt. Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, daß für alle Tressen, mit Ausnahme des Köpergewebes Nr. 26, die $F_{D\ eff}$-Werte mit wachsender Gewebenummer bei den Polyamidgeweben stark und bei den PCU-Geweben schwach ansteigen, obwohl die höheren Nummern auf ein dichteres Gewebe hinweisen und somit eine Abnahme

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

der Wasserdurchlässigkeit erwartet werden müßte. Für die Filterjute wurden in einfacher Lage 7,0% gemessen, womit sie nur 1/4 bis 1/3 der Werte für die normalen Kunststofftressen erreicht. Da jedoch beim Filterrohreinbau das Umwickeln mit Jute mit breiten Überlappungen erfolgt, wurden die freien Durchtrittsflächen bei zwei- und dreifacher Lagerung bestimmt. Die $F_{D\ eff}$-Werte betragen hierfür 3,1% und 1,8%.

Bei den porösen Filtermaterialien wird mit 3,3% der höchste Wert für den Anteil der freien Durchtrittsflächen von dem tschechoslowakischen epoxydharzgeklebten Kiesfilter erreicht. Die im Braunkohlentagebau der DDR weit verbreiteten Betonfilterrohre haben ein $F_{D\ eff}$ von 2,6%. Diesar Betrag ist der Mittelwert aus den Messungen einer Reihe von Einkornbetonfilterrohrproben, deren Einzelheiten aus Tabelle 9 zu ersehen sind. Den niedrigsten Wert von 1,8% weist der epoxydharzgeklebte Sandfilter der DDR aus, während der Sandfilter der CSSR mit 2,5% annähernd Gleichheit mit dem Betonfiltermaterial erzielt.

In den Diagrammen, Anlage 8 und 9, sind die aus den Meßwerten ermittelten Beträge für die effektiven Durchtrittsflächen für jede Druckstufe und jedes Material aufgetragen. Nach der theoretischen Voraussetzung der Versuche, daß die Meßergebnisse von der angewandten Druckhöhe unabhängig sind, müßten die Linien für die einzelnen Materialien der Abszisse parallele Geraden ergeben. Der Verlauf der Linien läßt jedoch gewisse willkürliche Schwankungen der Meßergebnisse bis zu maximal 1,4% absoluter und 6,6% relativer Abweichung vom arithmetischen Mittelwert erkennen, die ihre Ursache in der Streuung der μ-Werte und den bei derartigen Versuchen stets auftretenden Meßungenauigkeiten haben.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

6.7. Definition der Filterkennzahl

Die für das Einströmen des Grundwassers in das Filterrohrinnere zur Verfügung stehende Gesamtdurchtrittsfläche ist abhängig von der durch Konstruktion, Material und Gewebeumwicklung bedingten Größe der freien Durchtrittsfläche und dem zugehörigen Filterrohrdurchmesser. Mit den beiden Parametern wurde eine für jedes Filterrohr berechenbare Kennzahl, die Filterkennzahl, definiert, die die Wasserdurchlaßfähigkeit verkörpert. Die Bestimmungsgleichung für die Filterkennzahl lautet dementsprechend:

$$Z = \pi \cdot F_{Dr} \cdot d_a \cdot l \; [cm^2] \qquad (16)$$

mit

Z = Filterkennzahl $[cm^2]$

F_{Dr} = Freie Durchtrittsfläche des einbaufertigen Filterrohres

d_a = Filterrohrdurchmesser, bezogen auf den Schnitt, in dem die freie Durchtrittsfläche ermittelt wurde; im allgemeinen Außendurchmesser [cm]

l = Einheit der Filterrohrlänge [cm]

Die Filterkennzahl gibt an, wieviel Quadratzentimeter freie Fläche für den Grundwasserdurchfluß je Längeneinheit des Filterrohres zur Verfügung stehen. Sie wächst mit steigenden Werten für die freie Durchtrittsfläche und mit zunehmendem Filterrohrdurchmesser, kann also durch die Wahl des Filterrohrmaterials und -durchmessers entscheidend beeinflußt werden.

6.8. Berechnung der Filterkennzahlen

Bei der Berechnung der Filterkennzahl müssen die Eisenfilterrohre mit Schlitzlochung besonders beachtet werden. Während für die Bitterfelder Stabfilterrohre die nach der

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

direkten Methode bestimmten freien Durchtrittsflächen aus Tabelle 5 und für die Betonfilterrohre der nach der indirekten Methode bestimmte Wert aus Tabelle 9 der Berechnung zugrundegelegt werden können, ist bei den Eisenfilterrohren die in jedem Falle erforderliche Umwicklung mit Filtergewebe rechnerisch zu erfassen. Die in Tabelle 4 verzeichneten F_D-Werte dürfen nicht in die Gleichung zur Berechnung der Filterkennzahl eingesetzt werden, sondern der durch die Umwicklung reduzierte Betrag für die freie Durchtrittsfläche. Dieser ergibt sich aus der Überlegung, daß die freien Flächen der Eintrittsschlitze durch das Gewebe um dessen Durchlässigkeit verringert werden. Mathematisch drückt sich die Reduzierung durch eine multiplikative Verknüpfung der freien Durchtrittsfläche F_D der Eisenfilterrohre mit der effektiven freien Durchtrittsfläche $F_{D\ eff}$ des verwendeten Filtergewebes aus.

$$F_{Dr} = \frac{F_D \cdot F_{D\ eff}}{100} \ [\%] \qquad (17)$$

Bei den nachfolgenden Untersuchungen im Filterprüfstand sind die Eisenfilterrohre grundsätzlich vor dem Einbau mit PCU-Tresse Nr. 8 mit einem $F_{D\ eff}$ = 29,3% nach Tabelle 9 umwickelt worden. Gleichung (17) lautet für diesen speziellen Fall

$$F_{Dr} = 0{,}293 \cdot F_D \ [\%] \ ,$$

während für poröse Filtermaterialien $F_{Dr} = F_{D\ eff}$ und für die Keramikfilterrohre $F_{Dr} = F_D$ ist.

Nachdem nunmehr alle Einflußfaktoren bestimmt sind, können für die für die weiteren Untersuchungen vorgesehenen 16 Filterrohre die Filterkennzahlen aus diesen Parametern berechnet werden. Der Rechengang und die Rechenergebnisse sind aus Tabelle 10 zu ersehen. Danach weist von der Gruppe der Filterrohre mit NW 300 - 400 mm der Keramikfilter mit $Z = 19{,}269\ cm^2$ den weitaus höchsten Wert auf. Das Gleiche gilt auch für die Filterrohre mit NW 150 - 180 mm und

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

NW 80 mm, wo mit Beträgen von 4,946 cm^2 bzw. 3,570 cm^2 ebenfalls Keramikfilter die höchsten Werte erzielen. Die Ursache liegt darin, daß die Keramikfilter auf Grund der Konstruktion ihrer Wassereintrittsöffnungen nicht mit Filtergewebe umgeben zu werden brauchen und damit keine Reduzierung der freien Eintrittsfläche erfolgt. Die hohen F_D-Werte der Eisenfilter mit Schlitzlochung werden durch die Umwicklung stark reduziert, in unserem Fall auf etwa 30% des ursprünglichen Wertes, was sich in der Filterkennzahl deutlich ausdrückt. Die niedrigsten Filterkennzahlen in den drei Gruppen weisen die Einkornbetonfilterrohre auf Grund ihrer geringen effektiven freien Durchtrittsfläche auf.

7. Grundwasser-hydraulische Versuche im Filterprüfstand

7.1. Ziel der Versuche im Filterprüfstand

Nachdem alle Filterarten durch die Bestimmung ihrer Filterkennzahlen hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit unterschieden werden können, mußten mit einer geeigneten Prüfapparatur Versuche unter konstanten grundwasser-hydraulischen Bedingungen durchgeführt werden, um festzustellen, welchen Einfluß der Ausbau der Entwässerungsbohrungen mit Filterrohren unterschiedlicher Filterkennzahl auf die Ergiebigkeit hat. Weiterhin sollten bei den Versuchen die für die Berechnung der Fallfilterergiebigkeit zutreffenden Gesetzmäßigkeiten bei freiem Grundwasserspiegel ermittelt werden, um eine Beurteilung der aus theoretischen Ableitungen und Modellversuchen gewonnenen Aussagen vornehmen zu können.

7.2. Aufbau des Filterprüfstandes

Der Filterprüfstand besteht, wie aus Anlage 10 ersichtlich, aus einem lotrecht auf 1,2 m hohen Stützen stehenden zylindrischen Blechbehälter von 2 m Durchmesser und 3 m Höhe. Der Behälterboden hat eine kreisförmige Öffnung von 600 mm

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Durchmesser, die durch austauschbare Kreisringplatten, die konzentrische Öffnungen von 300 und 80 mm Durchmesser haben, abgedeckt wird. In die so entstehende Vertiefung in der Mitte des Behälterbodens wird Dichtungsgummi gelegt, der ebenfalls die gleichen konzentrischen Öffnungen hat. Die mittig und lotrecht in den Prüfstand zu stellenden Filterrohrschüsse von 3 m Länge werden auf den Dichtungsgummi abgesetzt und durch Anziehen einer Spindel die Dichtung der Fuge zwischen Filterrohr und Behälterboden, wie in Anlage 11 gezeigt, hergestellt. Das dem Filterrohr zufließende Wasser gelangt durch die Öffnung in der Kreisringplatte bzw. dem Dichtungsgummi in den Abflußtrichter und von dort über ein 2"-Rohr zum Meßgefäß. Außerdem sind im Behälterboden in 2 radialen Reihen je 4 Öffnungen mit Anschlußstutzen für Piezometer angeordnet, deren Sohldruck-Anzeige auf 2 Tafeln an der Behälterwand direkt abgelesen werden konnte. Der Wasserzulauf speist durch eine 2"-Leitung einen Wassermantel, der sich längs des gesamten Behälterinnenmantels erstreckt. Dadurch ist die Annahme Dupuits, daß das Wasser aus einem Ringgraben dem Brunnen zuströmt, voll erfüllt. Das Einströmen des Wassers aus dem Mantel in den in den Prüfstand eingebrachten Boden erfolgt durch einen 50 mm starken ringförmigen Stützfilter. Durch diesen Kiesfilter soll gleichzeitig der Luftgehalt des Leitungswassers reduziert werden, da entlüftetes, temperiertes Wasser aus einem Behälter wegen der erforderlichen großen Mengen nicht verwendet werden konnte. Die nach außen durch den Ringfilter begrenzte Bodenfüllung des Prüfstandes wird gegen den mittig stehenden Filter durch einen kreiszylindrisch gebogenen grobmaschigen Drahtkorb so begrenzt, daß noch der Raum für die Filterkiesschüttung zwischen Bodenkörper und Filterrohr ausgespart bleibt. Beim Wechseln der Filterrohre für die einzelnen Versuche wurde nur das Filterrohr und die Filterkiesschüttung berührt, die Bodenfüllung jedoch während der gesamten Versuchsserie davon unberührt bleiben konnte. Der Filterprüfstand (Anlage 12) ist in der Versuchshalle des Instituts für Tagebaukunde der Bergakademie Freiberg so aufgestellt, daß das Einsetzen und Ziehen der Filterrohre mit Hilfe des

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

dortigen 5 - Mp - Laufkranes erfolgen konnte. Zum Einbringen der Bodenfüllung wurde ein Förderband verwendet.

7.3. Versuchsdurchführung

Durch die beschriebene Versuchsanordnung konnte neben der Erfüllung der theoretischen Voraussetzungen für den Grundwasserzufluß zu Entwässerungsbohrungen der Wechsel der Filterrohre einschließlich Kiesschüttung vorgenommen werden, ohne daß die Bodenfüllung des Prüfstandes davon berührt wurde, was für die Erreichung konstanter hydraulischer Verhältnisse unbedingte Voraussetzung war. Um unterschiedliche Einbaudurchmesser berücksichtigen zu können, waren für die mittig angeordneten Drahtkörbe in Anlehnung an die im Braunkohlenbergbau üblichen Bohrlochenddurchmesser 3 Weiten von 220, 300 und 540 mm angefertigt worden. Insgesamt wurden bei den Versuchen 16 Filterrohre eingesetzt, davon Eisenfilterrohre mit Schlitzlochung in den NW 80, 180, 300, 350 und 400 mm, Betonfilterrohre in den NW 80, 150 und 350 mm sowie Bitterfelder Stabfilterrohre in den NW 80, 150, 300 und 400 mm. In den einem Bohrlochdurchmesser von 540 mm entsprechenden Drahtkorb wurden nacheinander sämtlich Filterrohre mit Kiesschüttung eingebaut, in den Korb mit Einbaudurchmesser 300 mm die NW 180, 150 und 80 mm und in den Korb von 220 mm Durchmesser die Filterrohre der NW 80 mm. Außerdem wurde eine Versuchsreihe mit einem PVC-Modellfilterrohr NW 28 mit Schlitzung, das ohne Kiesschüttung eingebaut wurde, durchgeführt.

Bei den Versuchen selbst wurden mittels des feinregulierbaren Zulaufes im Wassermantel des Prüfstandes 6 Wasserstandsstufen eingestellt. Wenn für jede dieser Stufen der stationäre Strömungszustand erreicht war, konnten die zugehörige Ergiebigkeit, Wassertemperatur und die Höhe des Wasseraustritts in das Filterrohr und die Piezometeranzeige abgelesen werden. Die Messung der Ergiebigkeit erfolgte mit verschieden großen, geeichten Meßgefäßen zwischen 1 - 99 Liter Inhalt und Stoppuhr.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Auf diese Weise ließ sich für jedes eingebaute Filterrohr die Abhängigkeit zwischen Wasserstandshöhe und Ergiebigkeit erfassen. Bei den Versuchen floß das Wasser aus dem Filterrohrinneren sofort in den Abflußtrichter, wodurch der Wasserstand im Filterrohrinneren stets Null war und den Betriebszustand des Fallfilters widerspiegelte.

Um den Einfluß unterschiedlichen Bodenmaterials zu erfassen, sind Versuchsreihen mit 2 verschiedenen Bauarten als Prüfstandsfüllung durchgeführt worden.

7.4. Kennzeichnung der verwendeten Bodenarten

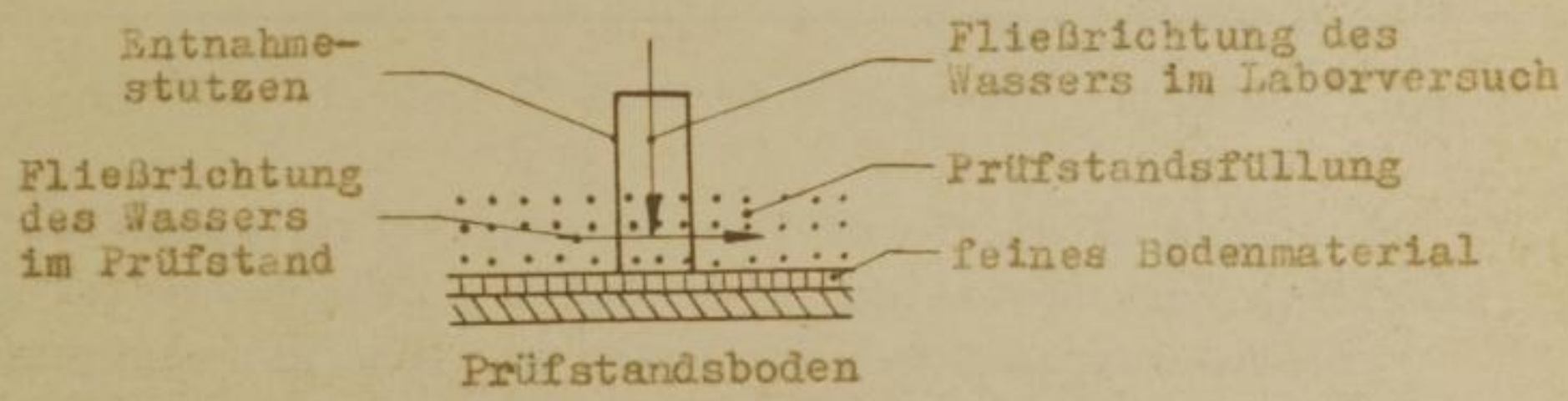
Zur genauen Kennzeichnung der Böden sind nach Abschluß der jeweiligen Versuchsreihe beim lagenweisen Entfernen des Erdkörpers aus dem Prüfstand in 5 Tiefen jeweils 3 ungestörte Bodenproben genommen worden.

Bei der ersten Prüfstandsfüllung handelte es sich um Deckgebirgsmaterial aus dem Tagebau Kleinleipisch. Neben der Entnahmehöhe der 15 Proben über dem Prüfstandsboden sind in Tabelle 11 die im Bodenlaboratorium ermittelten Kennziffern für die Kornverteilung, das Porenvolumen, den Wasserhaltewert, die kapillare Steighöhe und die Hygroskopizität eingetragen. Aus der Kornverteilung geht hervor, daß alle Proben sehr gleichartige Zusammensetzung haben, so daß nur eine mittlere Kornverteilungskurve in Anlage 13 zur Charakterisierung notwendig ist, die den Boden als schwach grobsandigen Fein-Mittelsand mit einem Ungleichförmigkeitsgrad U = 1,72 ausweist. Die Porenvolumina weisen übereinstimmend Größen zwischen 45,6 uhd 47,6% auf, bis auf die Werte in Sohlennähe, die mit Werten von 42,2 bis 44,2% auf eine etwas dichtere Lagerung schließen lassen. Die für dieses Einbaumaterial im Durchlaufversuch bestimmten Durchlässigkeitsbeiwerte sind in Tabelle 12 errechnet worden. Die Mittelwerte für die Durchlässigkeit k_{f10} der 3 Proben jeder Entnahmehöhe sind in der folgenden Aufstellung erfaßt:

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Entnahmehöhe [m]	0,1	0,6	1,1	1,6	2,1
k_{f10} [m/s]	$3{,}37 \cdot 10^{-5}$	$8{,}67 \cdot 10^{-5}$	$8{,}97 \cdot 10^{-5}$	$9{,}08 \cdot 10^{-5}$	$9{,}31 \cdot 10^{-5}$

Trägt man die Mittelwerte über der Entnahmehöhe wie in Anlage 14 auf, so erhält man eine schwach ansteigende Gerade für die k_{f10}-Wert-Verteilung, aus der lediglich der Punkt bei der Entnahmehöhe 0,1 m stark nach unten abweicht. Diese Abweichung erklärt sich außer durch die größere Lagerungsdichte sehr einfach, wenn man nachstehende Skizze betrachtet.



Während der Versuche im Filterprüfstand hat sich am Behälterboden eine Schicht feineres Bodenmaterial abgesetzt, die die Strömungsverhältnisse nicht meßbar beeinflußt, da die Fließrichtung des Wassers parallel zu ihr ist. Bei der Probenahme in der untersten Lage wird diese Schicht mit ausgestochen und da das Wasser beim Laborversuch senkrecht zur ursprünglichen Richtung durch die Probe strömt, beeinflußt sie die Durchlässigkeit erheblich. Das geringfügige Ansteigen der übrigen Durchlässigkeitsbeiwerte deutet auf eine schwache Abnahme der Lagerungsdichte mit steigender Entnahmehöhe.

Als zweites Bodenmaterial zur Füllung des Filterprüfst
kam ein Dresdener Sand zur Verwendung. Seine Kennziff
sind ebenfalls an 15 ungestörten Bodenproben bestim
Aus der Tabelle 13 geht hervor, daß die Kornanteil
alle Proben annähernd gleich sind. In Anlage 15 i
mittlere Kornverteilungskurve für den Dresdener
tragen, die ihn als stark grobsandigen Mittels
sand mit einem Ungleichförmigkeitsgrad U = 2

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Auch hier ist das typische Absinken der Werte für die Porenvolumina von 39,5 bis 41,9% in den oberen Lagen auf Beträge von 35,1 - 36,7% bei der Entnahmehöhe 0,1 m festzustellen, was auf eine dichtere Lagerung hinweist. Die zugehörigen Durchlässigkeitsbeiwerte sind in Tabelle 14 ermittelt.

Die Mittelwerte für k_{f10} aus jeweils 3 Proben einer Entnahmehöhe sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Entnahmehöhe [m]	0,1	0,6	1,1	1,6	2,1
k_{f10} [m/s]	$1,12 \cdot 10^{-4}$	$2,40 \cdot 10^{-4}$	$2,57 \cdot 10^{-4}$	$2,74 \cdot 10^{-4}$	$3,05 \cdot 10^{-4}$

Die Durchlässigkeitsbeiwerte sind ebenfalls in Anlage 14 über der Entnahmehöhe aufgetragen und zeigen eine gradlinig ansteigende Tendenz, was durch mit der Höhe abnehmende Lagerungsdichte zu erklären ist. Für den aus der Geraden herausfallenden Punkt bei der Entnahmehöhe 0,1 m gilt die gleiche Erklärung für diese Erscheinung wie sie bei dem Kleinleipischer Sand gegeben wurde, jedoch ist die Schwankung in diesem Falle nicht so groß, weil bei dem gröberen Material auch die abgesetzte Schicht besser durchlässig ist.

7.5. Auswahl des Filterkieses

Die Filterkiesschüttung zwischen Bohrlochwand und Filteraußenmantel kann die gröberen Bodenteilchen nur dann zurückhalten, wenn ihre Korngröße richtig auf das anstehende Bodenmaterial abgestimmt ist. Bei sehr feinen Böden müssen deshalb oft bis zu 3 aufeinander abgestimmte Filterkiesschüttungen konzentrisch um das Filterrohr angeordnet werden, zumal die Korngröße des am Filterrohr anliegenden Kieses so groß sein muß, daß er nicht durch die Wassereintritts-Öffnungen des Filterrohres gespült werden kann. Der Filterkies für die Prüfstandsversuche mußte so ausgewählt werden, daß nur eine Schüttung ausreichte, weil wegen des häufigen Filterrohrwechsels das Einbringen mehrerer Lagen mit ver-

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

tretbarem Aufwand nicht möglich war. Die Auswahl des Filterkieses für den nach Bieske [19] 60 - 80 mm starken Kiesschüttungsmantel wurde nach den von Zweck und Davidenkoff [20] vorgeschlagenen Filterregeln vorgenommen. Sie haben obere Grenzwerte für den Quotienten n aus der Korngröße D_{50} des Filterkieses bei 50% Siebrückstand und der gleichen Korngröße d_{50} des anstehenden Bodens in Abhängigkeit von der anstehenden Bodenart definiert.

$$n = \frac{D_{50}}{d_{50}} = 5 - 10 \text{ für } d_{50} \text{ im Mittel-Grobsandbereich}$$

$$n = \frac{D_{50}}{d_{50}} = 15 \text{ für } d_{50} \text{ im Feinsandbereich bei gleichförmigem Material}$$

$$n = \frac{D_{50}}{d_{50}} = 25 \text{ für } d_{50} \text{ im Feinsandbereich bei ungleichförmigem Material}$$

Für den Kleinleipischer Sand ist aus der Kornverteilungskurve Anlage 13 d_{50} = 0,20 mm abzulesen. Für den Filterkies 2 - 4 mm ergibt sich aus der Kornverteilungskurve in Anlage 16 D_{50} = 2,20 mm.

$$n = \frac{2,20}{0,20} = 11,0.$$

Der Wert ist zulässig, da d_{50} auf der Grenze vom Fein- zum Mittelsandbereich liegt.

Für den Dresdener Sand kann man der Kornverteilungskurve Anlage 15 d_{50} = 0,42 mm entnehmen. Der Filterkies 4 - 7 mm ergibt die in Anlage 17 wiedergegebene Kornverteilungskurve mit D_{50} = 2,72 mm.

$$n = \frac{2,72}{0,42} = 6,5.$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Der Betrag ist zulässig, weil d_{50} in den Mittelsandbereich fällt.

Der Filterkies für beide Versuchsreihen wurde aus dem VEB Kieswerk Klingmühl bezogen. Die Kornverteilungskurven lassen in beiden Fällen erhebliche Unterkornanteile erkennen. Obwohl dadurch in der Kiesschüttung Körnungen kleineren Durchmessers als die Schlitzweite der Bitterfelder Stabfilter mit enthalten waren, konnten Sandausspülungen nur in einem Fall, auf den später noch eingegangen wird, beobachtet werden.

7.6. Auswertung der Ergiebigkeitsversuche im Filterprüfstand

7.6.1. Korrektur der Ergiebigkeitsmessungen hinsichtlich der Versuchstemperatur

Die Ergebnisse der Ergiebigkeitsmessungen sind in Tabelle 15 - 17 für die Versuche mit Kleinleipischer Sand und in Tabelle 18 - 20 für die Versuche mit Dresdener Sand erfaßt. Für die drei verschiedenen Einbaudurchmesser sind getrennte Tabellen aufgestellt, wobei beim Einbaudurchmesser 540 mm 16 Filterrohre der NW 80 - 400 mm, beim Einbaudurchmesser 300 mm 7 Filterrohre der NW 80 - 180 mm und beim Einbaudurchmesser 220 mm 3 Filterrohre der NW 80 mm untersucht wurden. Da die benötigten großen Wassermengen eine laufende Entnahme aus dem Netz erforderten, mußte der Einfluß der unterschiedlichen Wassertemperaturen korrigiert werden, um zu vergleichbaren Ergiebigkeitswerten für sämtliche Versuche zu kommen. Die Korrektur ist erforderlich, weil das Wasser bei unterschiedlichen Temperaturen seine kinematische Zähigkeit ändert und die Durchlässigkeitsbeiwerte der kinematischen Zähigkeit des durchströmenden Mediums proportional sind. Als Bezugsbasis wurde wie allgemein üblich eine Wassertemperatur von 10° C gewählt.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Es gilt

$$\frac{q_{10^o}}{q_t} = \frac{k_{f10}}{k_f} \qquad (18)$$

und

$$\frac{k_{f10}}{k_f} = \frac{\nu_t}{\nu_{10}} \qquad (19)$$

daraus

$$q_{10} = \frac{\nu_t}{\nu_{10}} \cdot q_t \qquad (20)$$

wobei

q_t = gemessene Ergiebigkeit für die Wassertemperatur bei Versuchsdurchführung [l/s]

q_{10} = korrigierte Ergiebigkeit für eine Wassertemperatur von 10^oC [l/s]

ν_t = kinematische Zähigkeit des Wassers bei Versuchsdurchführung [m^2/s]

ν_{10} = kinematische Zähigkeit des Wassers bei 10° C Wassertemperatur [m^2/s]

Die Zahlenwerte für die kinematische Zähigkeit des Wassers bei verschiedenen Temperaturen wurden einem Tabellenwerk entnommen.

Die Umrechnung der Fallfilterergiebigkeiten ist für sämtliche Versuche mit den sechs Wasserstandshöhen im Ringmantel in den Tabellen 15 - 20 vorgenommen. Betrachtet man die Resultate in den nach Einbaudurchmessern gegliederten Tabellen, so ist festzustellen, daß die korrigierten Ergiebigkeiten der einzelnen Druckstufen gewisse Unterschiede aufweisen, deren Ursachen und Gesetzmäßigkeiten zu untersuchen sind.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

7.6.2. Überprüfung der Korrelation zwischen Ergiebigkeit und Filterkennzahl

Besteht zwischen der Größe der Filterkennzahl Z und der korrigierten Ergiebigkeit q_{10} ein gesetzmäßiger Zusammenhang, so kann man diesen mittels der Korrelationsrechnung nachweisen, weil diese mathematische Methode Aussagen darüber ermöglicht, ob zwischen zwei Gruppen von Meßgrößen, die im zweidimensionalen Koordinatensystem aufgetragen eine Punktwolke ergeben, Wechselbeziehungen bestehen oder nicht. Der für die Beurteilung des Grades der Korrelation erforderliche Zahlenwert wird durch die Berechnung des Korrelationskoeffizienten gefunden.

Die drei üblichen Korrelationskoeffizienten sind

der Spearman-Pearsonsche Korrelationskoeffizient,
der Fechnersche Korrelationskoeffizient und
der Bravais-Pearsonsche Korrelationskoeffizient.

Von diesen drei wird der Spearman-Pearsonsche Korrelationskoeffizient häufig benutzt, weil er auf einem einfachen Numerierungsverfahren aufbaut. Zunächst werden die zusammengehörigen Wertepaare von Z und q_{10} nach steigenden Werten durchnumeriert, woraus sich die Zahlen N_Z und N_{q10}, d. h. Nummern von Z und q_{10} ergeben. Nun werden die Nummern N_Z nach steigenden Zahlen geordnet und untereinander geschrieben. Die laut Messung zugehörigen N_q werden daneben geschrieben, so daß sich eine Spalte mit den von 1 bis 16 geordnet untereinanderstehenden Nz ergibt, während in der nächsten Spalte die Zahlen für die N_q nicht einheitlich steigen, sondern entsprechend der Streuung der Meßwerte springen. Bildet man nun die Differenz der Nummern dieser neu gebildeten Wertepaare, so kann aus der Summe der Quadrate dieser Differenzen der Spearman-Pearsonsche Korrelationskoeffizient berechnet werden, da dieser definiert ist mit

$$\varrho = 1 - \frac{6 \cdot \sum D^2}{(n-1)n(n+1)} , \qquad (21)$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

worin

n = Zahl der Wertepaare
D = Differenz der Nummern zwischen den geordneten N_Z und den zugeordneten N_{q10}

bedeuten.

Der Bereich von ϱ reicht von -1 bis +1, wobei Werte von -1 sehr strammer negativer und Werte von +1 sehr strammer positiver Korrelation entsprechen. Für $\varrho = 0$ ist keine Korrelation vorhanden. Je näher die Werte von ϱ an 0 liegen desto lockerer, je näher die Werte an -1 oder +1 liegen, desto strenger ist die Korrelation. Das Verfahren ist in Tabelle 21 und Tabelle 22 für die Druckstufe von 2,60 m und den Einbaudurchmesser 540 für die Ergebnisse der Ergiebigkeitsmessungen bei Kleinleipischer und Dresdener Sand angewandt worden.

In Tabelle 21 wurde $\varrho = +0{,}212$ und in Tabelle 22 $\varrho = +0{,}197$ berechnet. Beide Ergebnisse weisen auf nur sehr lockere Korrelation hin, so daß anzunehmen ist, daß zwischen der Filterkennzahl und der Ergiebigkeit kein gesetzmäßiger Zusammenhang besteht. Dabei ist aber die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß die Schwankungen der Meßwerte auf eine oder mehrere andere Ursachen zurückzuführen sind, deren Wirksamkeit während der Versuchsdurchführung nicht bekannt war und die bei dieser Korrelationsbetrachtung nicht erfaßt wurden. Da für die übrigen Druckstufen ähnliche Ergebnisse zu erwarten sind, ist für die weitere Auswertung der Versuche die Kenntnis der Ursachen für die Schwankungen der Meßwerte von großer Bedeutung.

7.6.3. Grundlagen der Streuungsanalyse

Weil durch die Korrelationsbetrachtungen eine Wechselbeziehung zwischen Filterkennzahl und Ergiebigkeit nicht nachgewiesen

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

werden konnte, müssen die weiteren möglichen Ursachen der Meßwertdifferenzen untersucht werden. Hierfür kommen bei der Versuchsdurchführung nicht erfaßte und bisher nicht erkannte Einflußfaktoren infrage. Die Schwankungen können aber auch auf die bei Messungen unvermeidlichen Meßfehler zurückzuführen sein, wobei im letzten Fall zu klären ist, ob die hierdurch hervorgerufene Beeinflussung des Meßergebnisses wesentlich ist oder nicht. Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse mittels Methoden der mathematischen Statistik können Aussagen darüber gemacht werden, ob unerfaßte Einflußfaktoren bei der Messung gewirkt haben. Dabei werden die aus Messungen bei Versuchen oder statistischen Erhebungen gewonnenen N Einzelwerte $x_i = 1,2,3,\ldots,x_n$ als Stichprobe aus einer in ihrem Umfang und Aufbau bekannten oder unbekannten Grundgesamtheit betrachtet. Die Einzelwerte der Stichprobe müssen durch geeignete mathematische Verfahren so aufbereitet werden, daß daraus unter Berücksichtigung einer statistischen Sicherheit Schlußfolgerungen für die Grundgesamtheit gezogen werden können.

Zur zahlenmäßigen Kennzeichnung der Lage einer Verteilung und der Veränderlichkeit dienen nach Linder [21] die Berechnung des Mittelwertes und der Streuung.

Der arithmetische Mittelwert oder der Durchschnitt ist definiert

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{N} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i \qquad (22)$$

und die Streuung

$$s^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2 \qquad (23)$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Eine oft angewandte Methode ist der Vergleich der Häufigkeit der bei Versuchen gewonnenen Einzelwerte mit der Gaußschen Normalverteilung. Dazu ist es erforderlich, den Mittelwert aus allen beobachteten Einzelwerten zu bilden. Dann faßt man die Einzelwerte in gleich große Klassen links und rechts vom Mittelwert zusammen und bestimmt die Zahl der Einzelwerte, die in jede der vorgegebenen Klassen fallen. Trägt man zu der jeweiligen Klasse den Quotienten aus der Anzahl in dieser Klasse liegender Meßwerte und der Gesamtzahl der Einzelwerte als Ordinate auf, so erhält man bei nur zufällig schwankenden Einzelwerten zumindest angenähert die Glockenkurve der Gaußschen Normalverteilung, wie sie in Anlage 18 dargestellt ist. Der Mittelwert ist danach der am häufigsten auftretende Wert und das Integral über die Glockenkurve erfaßt die Gesamtzahl der Meßergebnisse des Integrationsbereiches.

Ergibt die Auftragung der Ordinaten auch nicht annähernd den Verlauf der Gaußschen Normalverteilung wieder, weil der Kurvenzug nicht symmetrisch zur y-Achse verläuft oder in der Größe der Ordinaten abweicht, dann sind die Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert nicht zufällig, sondern durch die Wirkung unbekannter Einflußfaktoren oder durch systematische Meßfelder verändert, wodurch die Stichprobe nicht die Grundgesamtheit richtig widerspiegelt.

Für den rechnerischen Vergleich der Häufigkeiten der sich aus den Versuchswerten ergebenden Verteilung mit den theoretisch zu erwartenden Werten dient der Chi-Quadrat-Test.

Die berechnete Testgröße χ^2 wird dann mit einem tabellierten Wert verglichen. Zum Aufsuchen des Tabellenwertes müssen die Irrtumswahrscheinlichkeit, die in der Technik allgemein mit $P = 0{,}05$ vorgegeben wird, und der Freiheitsgrad n bekannt sein. Liegt die Testgröße unterhalb des Tabellenwertes, dann ist die Gesamtheit der Unterschiede als zufällig und ohne unbekannte Einflußfaktoren entstanden anzusehen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit $P = 0{,}05$ gibt an, daß in 5% aller Fälle das Ergebnis des Testes irrtümlich als negativ ausgewiesen

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

werden kann. Der Freiheitsgrad n entspricht der Zahl der Unterschiede d_j, die voneinander linear unabhängig sind.

Für die Durchführung des Chi-Quadrat-Testes müssen viele Meßwerte vorliegen, da mindestens 6 Klassen für die Ermittlung der relativen Häufigkeit zu bilden sind. Bei einer Stichprobe geringen Umfanges kann es vorkommen, daß der Test zu einer negativen Aussage führt, obwohl in Wirklichkeit nur zufällige Abweichungen auftreten.

Um die Möglichkeiten der mathematischen Statistik auch dann nutzen zu können, wenn Meßwerte nur in geringer Zahl vorliegen, empfiehlt sich die Anwendung der Streuungsanalyse (analysis of variance). Bei dieser Methode kann man ein aus sachlichen Gründen unterteilbares Material daraufhin untersuchen, ob die Streuung zwischen den Gruppen mit der innerhalb der Gruppen auftretenden Streuung verträglich ist. Von Graf und Henning [22] wird dieses Verfahren besonders in seiner Anwendung für die Textilindustrie dargelegt. Danach kommen als Unterteilungsmerkmale für die Gruppenbildung beliebige Gesichtspunkte, wie Produktionseinheiten, Produktionszeitpunkt, Fertigungsbedingungen, Herstellungsorte, Arbeiter u. a. m. in Betracht. Man bildet k gleichgroße Gruppen mit je l Meßwerten.

Weil sämtliche Meßwerte einbezogen werden, gilt

$$k \cdot l = N \,. \tag{24}$$

Bei der Auswertung berechnet man für jede Gruppe Mittelwert und Streuung und erhält k Mittelwerte

$$x_1, x_2, \ldots, x_k \quad \text{und k Streuungen } s_1^2, s_2^2, \ldots, s_k^2 \,.$$

Aus den aufgestellten Gruppen wird der Durchschnitt s_i^2 der Einzelwertstreuung innerhalb der Gruppen ermittelt.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

$$s_i^2 = \frac{1}{k} \cdot \sum_{\nu=1}^{k} s_\nu^2 \tag{25}$$

Dieser Schätzwert s_i^2 wurde aus insgesamt $N = k \cdot l$ Meßwerten gefunden, wonach ihm der Freiheitsgrad

$$n_2 = N - k = k(l - 1) \tag{26}$$

zugeordnet wird.

Nun muß berechnet werden, wie groß die Streuung der Einzelwerte sein müßte, damit sich aus ihr die Schwankungen der berechneten Gruppenmittel erklären lassen. Zu diesem Zweck wird der Gesamtdurchschnitt $\bar{\bar{x}}$ aller Meßwerte benötigt.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{\nu=1}^{k} \bar{x}_\nu \tag{27}$$

Für die Streuung der k Gruppenmittel um das Gesamtmittel kann man schreiben

$$\frac{1}{k-1} \sum_{\nu=1}^{k} (\bar{x}_\nu - \bar{\bar{x}}_\nu)^2 \tag{28}$$

Allgemein ist die Streuung von Mittelwerten aus l Meßwerten um den Faktor $\frac{1}{l}$ kleiner als die Streuung der Einzelwerte.

Um von der Streuung der Mittelwerte auf die der Einzelwerte zu kommen, muß mit l korrigiert werden.

$$s_z^2 = \frac{l}{k-1} \sum_{\nu=1}^{k} (\bar{x}_\nu - \bar{\bar{x}}_\nu)^2 \tag{29}$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

s_z^2 ist der Schätzwert für die Einzelwertstreuung, die auf die Streuung der Gruppenmittelwerte führt. Da er aus den k Gruppenmitteln herrührt, gebührt ihm der Freiheitsgrad

$$n_1 = k - 1. \qquad (30)$$

Der aus den Streuungen der Meßwerte bestimmte Schätzwert s_i^2 erfaßt die Schwankungen innerhalb der Gruppen und der andere s_z^2 erfaßt zusätzlich die Schwankungen der Gruppenmittelwerte. Bei Vorliegen einheitlichen Materials müssen s_i^2 und s_z^2 Schätzwerte der gleichen Streuung sein. Somit kann die Prüfung der Einheitlichkeit dadurch erfolgen, daß der Unterschied beider Streuungswerte auf Zufälligkeit untersucht wird.

Die Testgröße T wird nach den in der mathematischen Statistik geltenden Regeln für den Vergleich zweier Streuungen bestimmt, indem das Verhältnis der größeren Streuung zur kleineren Streuung berechnet wird.

$$T = \frac{s_z^2}{s_i^2} \qquad \text{für } s_z^2 > s_i^2 \qquad (31)$$

Der Betrag von T wird mit dem nach den tabellierten Werten für die F-Integralgrenzen für eine Irrtumswahrscheinlichkeit P = 0,05 und die zugehörigen Freiheitsgrade zulässigen Wert verglichen.

Ist

$$T < F ,$$

dann ist die Hypothese, daß das untersuchte Material einheitlich ist, nicht falsch und sie kann beibehalten werden, wird aber

$$T > F ,$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

dann ist die Hypothese, daß das untersuchte Material einheitlich sei, statistisch nicht haltbar und deshalb zu verwerfen.

Die wichtigste Einengung des Anwendungsbereiches dieses Verfahrens ist die Voraussetzung, daß die Einzelwerte zumindest stark angenähert einer Gaußschen Normalverteilung entsprechen.

Box und Watson [23] gelang der Nachweis, daß durch Einführung modifizierter Freiheitsgrade die Anwendung des Verfahrens auch bei Nichtnormalverteilungen möglich ist, wodurch sein Anwendungsgebiet wesentlich erweitert werden kann. Die Methode von Box und Watson ermöglicht nichtnormale Verteilungen durch F-Verteilungen mit modifizierten Freiheitsgraden zu approximieren. Sie zeigen, daß T bei Nichtnormalität näherungsweise wie F mit $n_1' = \delta m(k-1)$ und $n_2' = \delta m(N-k)$ Freiheitsgraden verteilt ist. Für mäßige Beobachtungszahlen wird der Modifizierungskoeffizient δm näherungsweise

$$\delta m^{-1} = 1 - (^1/N)\,\Gamma x \tag{32}$$

Das Exzeßmaß Γx wird Null und damit $\delta m = 1$, wenn die Verteilung normal ist.

Für Γx kann man schreiben:

$$\Gamma x = E\left\{c_x\right\} = E\left\{\frac{k_4}{k_2^2}\right\} \tag{33}$$

worin k_2 und k_4 die gewöhnlichen Fisherschen k-Stichprobenfunktionen [24] für die Gesamtstichprobe mit N Beobachtungswerten darstellen.

Die von Box und Watson gegebene Erweiterung der Varianzanalyse ermöglicht die statistische Betrachtung von Stichproben kleinen Umfanges bei beliebigen Verteilungen der Meßwerte, weil diese über die modifizierten Freiheitsgrade

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

F-Verteilungen angenähert werden können.

Für die Auswertung von Versuchen bedeutet dies, daß die Streuungsanalyse ausgeführt werden kann, wobei im Falle des negativen Ausganges des F-Testes über die Freiheitsgrade die evtl. Nichtnormalität festgestellt und ihr Einfluß auf das Testergebnis in einem gesonderten Rechengang berücksichtigt werden kann.

7.6.4. Auswertung der Prüfstandsversuche mittels der Streuungsanalyse

Für die statistische Auswertung der Ergiebigkeitsmessungen im Filterprüfstand eignet sich die Varianzanalyse, denn für den Chi-Quadrat-Test liegen zu wenig Meßwerte vor. Die Meßergebnisse wurden getrennt für jede der 6 Druckstufen und für beide Bodenmaterialien ausgewertet, wobei für den Einbaudurchmesser 540 mm jeweils 16 Meßwerte zur Verfügung standen. Um speziell den Einfluß des unterschiedlichen Filtereinbaues zu erfassen, wurde der notwendigen Gruppenbildung die Größe der Filterkennzahl zugrunde gelegt. In Tabelle 15 und 18 sind deshalb die 16 Filterrohre in 4 Gruppen zu je 4 Meßwerten aufgeteilt worden, in dem bei der höchsten Filterkennzahl begonnen und die Einteilung mit abnehmenden Filterkennzahlen fortgesetzt wurde. Damit ist eine Gruppenbildung nach einem spezifischen Merkmal vorgenommen worden. Für die Berechnung der Testgröße T erwies sich eine tabellarische Erfassung der Meßwerte als zweckmäßig, die die Werte für die korrigierte Schüttung entsprechend der in Tabelle 15 und 18 festgelegten Gruppeneinteilung berücksichtigt. Die numerische Auswertung erfolgte nach den im vorherigen Abschnitt angegebenen Formeln. Dabei zeigte sich, daß für viele Druckstufen die Streuung innerhalb der Gruppen s_i^2 größer war als die zwischen den Gruppen s_z^2 und deshalb die Testgröße für diese Fälle

$$T = \frac{s_i^2}{s_z^2} \leqq F \qquad (34)$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

geschrieben werden mußte. Gleichzeitig ändern sich analog die Freiheitsgrade in

$$n_1 = N - k \quad \text{und} \quad n_2 = k - 1.$$

Als Irrtumswahrscheinlichkeit wurde in jedem Falle die in der Technik übliche Größe P = 0,05 vorgegeben.

Die Berechnung der Testgröße erfolgte für die 18 Meßwerte jeder Druckstufe getrennt für die Versuchsreihe mit Kleinleipischer Sand in den Tabellen 23 - 34. Für die Versuchsreihe mit Kleinleipischer Sand schwankte T zwischen 1,276 und 8,733, wobei die Streuungen innerhalb der Gruppen für jede Druckstufe größer waren als die Streuungen zwischen den Gruppen. Der zulässige Tafelwert [21] für die F-Verteilung bei den Freiheitsgraden $n_1 = 12$ und $n_2 = 3$ und der Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% lautet F = 8,744. Bei der Versuchsreihe mit Dresdener Sand ergab sich T zu 1,293 bis 6.655 bei einem zulässigen Wert von 8,733 für die Fälle $s_i^2 > s_z^2$ und T = 1,373 für den Fall $s_z^2 > s_i^2$, mit einem zulässigen F = 3,490 bei den Freiheitsgraden $n_1 = 3$ und $n_2 = 12$ sowie P = 0,05. Somit liegen die Testgrößen innerhalb des zulässigen Bereichs, wodurch die Streuungen innerhalb der Gruppen und zwischen den Gruppen untereinander erklärbar sind und das untersuchte Material als einheitlich anzusprechen ist. Das bedeutet, daß auf die Versuchsergebnisse keinerlei unbekannte oder veränderliche Einflußfaktoren mit wesentlichem Einfluß während der Versuchsdurchführung gewirkt haben.

Die Ergebnisse der Ergiebigkeitsversuche für Einbaudurchmesser 300 mm und 220 mm sind unter den gleichen Bedingungen wie bei den Versuchen für den Einbaudurchmesser 540 mm entstanden, so daß für sie die gleichen Schlußfolgerungen zutreffen. Eine gesondere Auswertung mittels Streuungsanalysen kann wegen der zu geringen Zahl von Meßwerten nicht vorgenommen werden, da bei negativem Ausgang der Teste die Möglichkeit, daß die Ursachen in der geringen

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Zahl der Meßwerte zu suchen ist, sehr wahrscheinlich ist. Gleichzeitig läßt der positive Ausgang des Tests darauf schließen, daß die Beeinflussung der Meßergebnisse durch die mögliche Luftablagerung und damit verbundene Änderung der Durchlässigkeit bei der Durchströmung der Sandmodelle durch nicht entlüftetes bzw. nicht temperiertes Wasser bei diesen Vergleichsversuchen nicht in Erscheinung tritt.

Ehrenberger [12] und Hall [13] beschrieben die bei ihren Versuchen festgestellte Erscheinung, daß bei Versuchen mit Sandmodellen, bei denen das durchströmende Wasser nicht entlüftet bzw. nicht wärmer ist als das Sandmodell, durch Luftablagerung in den Poren willkürliche Änderungen der Durchlässigkeit auftraten, die zu unbrauchbaren Versuchsergebnissen führten. Bei den Versuchen im Prüfstand konnte diese an kleinen Sandmodellen getroffene Feststellung, wie die Ergebnisse der Streuungsanalysen zeigen, nicht beobachtet werden.

7.6.5. Ergebnisse der Ergiebigkeitsversuche im Filterprüfstand

Nach dem Resultat der Streuungsanalysen, wonach das Material als einheitlich angesehen werden kann, lassen sich für die weitere Versuchsauswertung statistisch begründete Mittelwerte der Schüttung für die einzelnen Versuchsgruppen angeben, die in die Tabellen 15 - 20 eingetragen sind. Aus ihrer Größe ist offensichtlich, daß die Fallfilterschüttung für jeden Einbaudurchmesser und beide Bodenarten monoton mit der Wasserstandshöhe im Wassermantel H des Prüfstandes steigt. Die Auftragung der korrigierten Fallfilterschüttung q_m über der Wasserstandshöhe aller 3 Einbaudurchmesser für Kleinleipischer Sand in Anlage 19 und für Dresdener Sand in Anlage 20 läßt aus der Lage der Meßwerte auf eine parabolische Abhängigkeit zwischen beiden Ver-

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

änderlichen schließen. Wenn die Dupuitsche Brunnenformel auch für die Berechnung der Fallfilterergiebigkeit anwendbar ist, müßten die Meßwerte auf einer quadratischen Parabel liegen. Die Prüfung erfolgt durch Approximation nach der Methode der Summe der kleinsten Fehlerquadrate. Die allgemeine Schreibweise der Funktion lautet:

$$q_m = f\,(H^2). \tag{35}$$

Da der Kurvenzug durch den Koordinatenursprung geht, kann man ansetzen

$$q_m = \psi \cdot H^2 \,. \tag{36}$$

Für diese Parabel ist die Konstante so zu bestimmen, daß für sie die Summe der Abstandsquadrate der Meßpunkte von der Kurve ein Minimum wird.

$$\sum R^2 = \sum (\psi \cdot H^2 - q_m)^2 = \text{Min.} \tag{37}$$

Wegen der Minimumsbedingung muß differenziert werden:

$$\frac{d \sum R^2}{d\psi \cdot 2} = \sum (\psi \cdot H^2 - q_m) \cdot H^2 = 0. \tag{38}$$

Die Auflösung nach ψ ergibt

$$\psi = \frac{\sum q_m \cdot H^2}{\sum H^4} \,. \tag{39}$$

Die Berechnung der Größe der Konstanten geschieht zweckmäßig in tabellarischer Form. In den Tabellen 35 - 37 sind die Werte für die drei Versuchsstrecken mit Kleinleipischer Sand ermittelt. Mit den Konstanten wurden die approximierten Parabeln in Anlage 19 eingezeichnet, woraus zu ersehen ist, daß die Lage der Meßwerte genau einer quadratischen Parabel entspricht. Die Konstanten aus den

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Versuchen mit Dresdener Sand sind in den Tabellen 38 - 40 ermittelt und die ausgeglichenen Parabeln in Anlage 20 eingetragen. In diesem Falle ist festzustellen, daß der Kurvenverlauf im unteren Teil höhere Werte als die Meßergebnisse ausweist, aber im Prinzip ebenfalls den parabolischen Verlauf gut wiedergibt. Die Abweichungen im unteren Bereich gehen aus der k-Wert-Verteilung hervor, die nicht über die gesamte Höhe konstante, sondern schwach steigende Werte ausgewiesen hat, worauf noch ausführlicher eingegangen wird. Mit Dresdener Sand ist eine Versuchsreihe mit einem geschlitzten PVC-Filterrohr ohne Kiesschüttung durchgeführt worden. Die korrigierte Ergiebigkeit in Abhängigkeit von der Wasserstandshöhe ist in Anlage 21 dargestellt. Die Ausgleichsrechnung nach Tabelle 41 ergibt eine Konstante mit deren Hilfe eine approximierte Parabel berechnet werden kann, von der die Meßwerte, wie in Anlage 21 dargestellt, nur geringfügig abweichen. Damit ist für beide Materialien bewiesen, daß sich die Ergiebigkeit der Fallfilter bei freiem Grundwasserspiegel mit dem Quadrat der Wasserstandshöhe verändert. Die Auswertung hat weiterhin eine deutliche Abhängigkeit der Ergiebigkeit von dem Einbaudurchmesser als weiterer veränderlicher gezeigt. In der Konstanten ψ , die für wachsende Einbaudurchmesser steigende Tendenz ausweist, ist deshalb u. a. auch deren Einfluß enthalten. Da nach den bisherigen Ermittlungen

$$q_m = \psi \cdot H^2 \qquad (36)$$

ist, zeigt diese Beziehung Identität im Aufbau mit der Dupuitschen Brunnengleichung für freien Grundwasserspiegel, wenn in dieser der Wert für h_o als Wasserspiegelhöhe im Filterrohrinneren für den Betriebszustand des Fallfilters gleich Null gesetzt wird.

$$q_m = \psi \cdot H^2 = \frac{\pi \cdot k_{f10} \cdot H^2}{\ln \frac{R}{r_o}} . \qquad (40)$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Für eine Versuchsgruppe mit konstantem Einbaudurchmesser r_o und festgelegter Wasserstandshöhe H ist in Gleichung (40) keine Veränderliche mehr enthalten und es gilt

$$\psi = \frac{\pi \cdot k_{f10}}{\ln \frac{R}{r_o}} \quad . \qquad (41)$$

Diese Identität setzt jedoch voraus, daß die im Laboratorium aus Durchlaufversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte k_{f10} den Realitäten entsprechen.

Bei der weiteren Auswertung konnte dies nicht bestätigt werden. Es wurden beträchtliche Abweichungen der Laborwerte für k_{f10} von der tatsächlichen Durchlässigkeit festgestellt, wie das schon häufig bei anderen Gelegenheiten konstatiert wurde. Die folgenden Ermittlungen mußten deshalb davon ausgehen, daß π , R, r_o für einen Einbaudurchmesser konstante sowie H und q_m bekannte Größen für die jeweilige Druckstufe darstellen, um aus diesen Werten eine k_{f10}-Wert-Verteilung zu bestimmen. Die Durchlässigkeitsbeiwerte müßten bei über die gesamte Prüfstandshöhe gleichgroßer Durchlässigkeit des eingebrachten Bodens und strenger Gültigkeit der in Gleichung (40) angegebenen modifizierten Fallfilterergiebigkeitsformel für alle Einbaudurchmesser und sämtliche Druckstufen für jedes Bodenmaterial eine konstante Größe sein. Die Berechnung der k_{f10}-Wert-Verteilung aus den Konstanten und Meßgrößen erfolgte wiederum tabellarisch. Die Resultate für Kleinleipischer Sand sind in den Tabellen 42 - 44 und für Dresdener Sand in den Tabellen 45 - 47 ausgewiesen. Schon eine flüchtige Betrachtung der Rechenergebnisse läßt erkennen, daß der Durchlässigkeitsbeiwert k_{f10} für beide Bodenarten nicht die theoretisch zu erwartende Konstante darstellt. Um die k_{f10}-Wert-Verteilung zu verdeutlichen, sind in Anlage 22 für die aus den Versuchen mit Kleinleipischer Sand und in Anlage 23 für die aus den Versuchen mit Dresdener Sand bestimmten Durchlässigkeitsbeiwerte über der zugehörigen Was-

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

serstandshöhe aufgetragen. Zum Vergleich sind die im Laboratorium ermittelten Werte ebenfalls in die Darstellungen mit aufgenommen. Dabei ist festzustellen, daß die k_{f10}-Werte in beiden Fällen eine mit wachsender Wasserstandshöhe linear steigende Tendenz zeigen. Weiterhin ergibt sich eine beträchtliche Differenz in den Absolutwerten zwischen den Labor- und den Prüfstandswerten, wobei die Laborwerte in jedem Falle höher liegen als die Prüfstandswerte.

Diese Differenzen spiegeln die ganze Problematik der Bestimmung der Durchlässigkeitswerte wider. Die Größe des berechneten k_{f10}-Wertes hängt nicht nur von der Bodenart, den Lagerungsverhältnissen und den Eigenschaften des durchströmenden Mediums ab, sondern ebenfalls von den bei der Versuchsdurchführung herrschenden Strömungsverhältnissen. Das bedeutet, daß die Ermittlung reproduzierbarer k_{f10}-Werte unter gleichen Strömungsbedingungen erfolgen muß, weil anderenfalls sich zwangsläufig unterschiedliche k_{f10}-Werte für das gleiche Bodenmaterial ergeben. Demnach müssen sich auch für die im Filterprüfstand eingebrachten Böden unterschiedliche k_{f10}-Werte in Abhängigkeit von der Lage des konzentrischen Schnittes ergeben, für den man sie berechnet. Diese Überlegungen werden durch Vergleichsberechnungen bestätigt. So errechnet sich beispielsweise für den konzentrischen Schnitt mit dem Abstand $R_x = 0{,}7$ m von der Prüfstandsachse der Durchlässigkeitsbeiwert nach Gleichung (40) zu $k_{f10} = 6{,}4 \cdot 10^{-4}$ m/s und nach der Kontinuitätsgleichung zu $k_{f10} = 5{,}4 \cdot 10^{-4}$ m/s für die Versuche mit Dresdener Sand. Neben der erwarteten Übereinstimmung der nach den beiden Methoden für gleiche Verhältnisse berechneten k_{f10}-Werte, die die Berechtigung des Ansatzes nach Gleichung (40) unterstreichen, sieht man eine Abweichung zu den k_{f10}-Werten, die in den Tabellen 45 bis 47 für den Dresdener Sand berechnet wurden. Diese Erscheinung, die mehr oder weniger deutlich für beliebige Werte von R_x festzustellen ist, wurde auch schon bei Messungen unter natürlichen Verhältnissen festgestellt. Sie

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

führen zu der Überlegung, daß der Durchlässigkeitsbeiwert einen Faktor darstellt, in dem sich alle verschiedensten Einflüsse widerspiegeln können, und dessen Größe für den bei seiner Berechnung betrachteten durchströmten Bodenbereich als gewogener Mittelwert erscheint.

Das Ansteigen der Durchlässigkeit mit wachsender Wasserstandshöhe ist beim Dresdener Sand dreimal so stark wie beim Kleinleipischer Sand, woraus zu schließen ist, daß u. a. die Verdichtung des in den Prüfstand eingebrachten Bodens beim Kleinleipischer Sand gleichmäßiger gelang als bei der Füllung mit Dresdener Sand. Diese erhebliche Differenz im Ansteigen, für die neben der Verdichtung auch die Strömungsverhältnisse als Ursache infrage kommen, ist auch die Erklärung für die ausgezeichnete Approximation der Ergiebigkeits-Wasserstands-Abhängigkeit durch eine quadratische Parabel für den Versuch mit Kleinleipischer Sand (Anlage 19) und das Abweichen der Meßwerte von der Ausgleichskurve im unteren Wasserstandsbereich bei den Versuchen mit Dresdener Sand (Anlage 20). Bei den später durchgeführten Messungen an dem PVC-Modellfilterrohr NW 28, für die der Dresdener Sand nochmals in den Prüfstand einzubringen war, konnte eine etwas geringere aber gleichmäßigere Verdichtung erreicht werden, was aus den in Tabelle 48 berechneten und in Anlage 24 aufgetragenen k_{f10}-Werten zu ersehen ist. Die für diese Versuche ebenfalls vorgenommene Approximation der Ergiebigkeits-Wasserstands-Abhängigkeit ergab dementsprechend die in Tabelle 41 und Anlage 21 bereits gezeigte gute Annäherung der Meßpunkte an eine quadratische Parabel.

Die in den Darstellungen für Kleinleipischer und Dresdener Sand zu beobachtenden geringen Abweichungen der k_{f10}-Werte für die unterschiedlichen Einbaudurchmesser sind auf Nachsetzungen des Einbaumaterials zurückzuführen, die in den Zeiträumen zwischen den Versuchsserien stattgefunden haben,

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

was dadurch unterstrichen wird, daß die Versuche mit Kleinleipischer Einbaumaterial mit dem Einbaudurchmesser 540 mm und die mit Dresdener Sand mit dem Einbaudurchmesser 220 mm begonnen wurden und dementsprechend im 1. Fall die k_{f10}-Werte für den Einbaudurchmesser 540 mm über denen der anderen Einbaudurchmesser und im 2. Fall die k_{f10}-Werte für den Einbaudurchmesser 220 mm über denen der Einbaudurchmesser 300 mm und 540 mm liegen.

7.7. Bestimmung der Sickerstrecke bei den Prüfstandsversuchen

7.7.1. Beziehungen zwischen dem Wasserstand am Filteraußenmantel und im Filterrohrinneren

Für die Ableitung der Dupuitschen Brunnenformel [5] war angenommen worden, daß der Schnittpunkt zwischen Grundwasserspiegellinie und Filterrohrwand in Höhe des Brunnenwasserspiegels liegt. Bei Beobachtungen der Grundwasserabsenkung durch Filterbrunnen wurde jedoch übereinstimmend festgestellt, daß zwischen dem Schnittpunkt des Grundwasserspiegels mit der Filterrohrwand und dem Innenwasserspiegel eine Höhendifferenz besteht, die mit steigender Absenkung ebenfalls größer wird. Die Höhendifferenz zwischen Innen- und Außenwasserstand setzt sich aus mehreren Teilbeträgen zusammen:

1. Verlusthöhe für das Durchfließen des Kies- bzw. Gewebefilters
2. Verlusthöhe für das Durchfließen der Filterrohröffnungen
3. Sickerstrecke

Die Größe der Verlusthöhen kann durch Auswahl geeigneter Filtermaterialien beeinflußt werden. Sie sind bei Kiesfiltern sehr gering. So hat Boess [25] beispielsweise bei einem Schewen -Steinzeugfilterrohr NW 300 mit einer Kiesschüttung von 10 - 15 mm Korngröße für Entnahmemessungen

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

von 5, 10 und 12 l/s die zugehörige Summe der Verlusthöhen zu 4,7, 17,0 und 24,0 mm gemessen. Über Untersuchungen von Metallfilterrohren verschiedener Schlitzung mit und ohne Kiesfilter hinsichtlich der Druckverluste beim Durchfließen des Wassers ist von Petersen u. a. [26] berichtet worden.

Entgegen den beeinflußbaren Verlusthöhen ist die Sickerstrecke eine Erscheinung, die aufgrund der am Filterbrunnen bzw. Fallfilter herrschenden Randbedingungen auftritt und maßgeblich von der Wasserstandshöhe im Filterrohr beeinflußt wird.

Für die Größe der Sickerstrecke liegen Ergebnisse theoretischer und experimenteller Untersuchungen verschiedener Autoren vor. Für den Fall der maximalen Absenkung des Wasserspiegels in einem vollkommenen Brunnen bei freier Grundwasseroberfläche haben Kozeny [9] und Nahrgang [10] auf potentialtheoretischem Wege analytisch und graphisch nachgewiesen, daß für die Grundwasserspiegelabsenkung am Filteraußenmantel der Betrag der halben Grundwassermächtigkeit nicht überschritten werden kann.

$$\min h_m \geqq 0{,}5 \cdot H \tag{42}$$

Unterstützt werden diese Aussagen durch die Versuchsergebnisse von Ehrenberger [12], der für die Grundwasserspiegelhöhe am Filteraußenmantel in Modellversuchen fand:

$$h_m = \frac{c \cdot (H - h_o)^2}{H} \tag{43}$$

und $c = 0{,}5$.

Bei maximaler Absenkung des Wasserstandes im Filterrohrinneren, was für den Fallfilter in allen Betriebszuständen charakteristisch ist, wird in Gleichung (43) $h_o = 0$, so daß sie sich ebenfalls auf Gleichung (42) zurückführen

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

läßt. Dieses Resultat wurde u. a. von Sichardt [9] stark angezweifelt, da nach seinen Beobachtungen bei Grundwasserabsenkungen dieser Grenzwert in der Praxis mit Brunnen größeren Durchmessers erheblich unterschritten worden ist.

Ollös [14] hat die Beziehung von Ehrenberger aufgegriffen und anhand neuerlicher Modellversuche gezeigt, daß der Wert c nicht konstant, sondern von H und r_o abhängig ist.

$$c = 0{,}228 \sqrt[3]{\frac{H}{r_o}} \tag{44}$$

Damit kann man für die Größe der Sickerstrecke schreiben

$$s_i = h_m - h_o = 0{,}228 \sqrt[3]{\frac{H}{r_o}} \cdot \frac{(H - h_o)^2}{H} , \tag{45}$$

gültig in den Grenzen

$$0{,}735 \leqq \frac{H}{r_o} \leqq 30. \tag{46}$$

Die Gleichung von Öllös wird von Bosold [27] in den genannten Grenzen bestätigt und weiterhin die Feststellung getroffen, daß die unterschiedliche Durchlässigkeit von Modellböden auf das Resultat keinen Einfluß hat.

Für den Grenzfall des Fallfilters läßt sich Gleichung (45) umformen in

$$s_i = h_m = 0{,}228 \sqrt[3]{\frac{H^4}{r_o}} \tag{47}$$

Ebenfalls aufgrund von Modellversuchen hat Hall [13] eine Formel zur Berechnung der Sickerstrecke entwickelt.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

$$\frac{h_m - h_o}{H - h_o} = \frac{\left[1 - \left(\frac{h_o}{H}\right)^{2,4}\right]}{\left[1 + 0,02 \ln \frac{R}{r_o}\right]\left[1 + \frac{5}{H/r_o}\right]} \qquad (48)$$

Aus dieser Gleichung kann für Fallfilter ($h_o = 0$) geschrieben werden:

$$s_1 = h_m = \frac{H}{\left[1 + 0,02 \cdot \ln \frac{R}{r_o}\right]\left[1 + \frac{5}{H/r_o}\right]} \qquad (49)$$

Außer den bisher dargelegten sind noch weitere Formeln zur Berechnung der Sickerstrecke u. a. von Abramov, Schneebeli und Zima veröffentlicht worden, die jedoch alle zu mehr oder weniger unterschiedlichen Resultaten führen.

7.7.2. Messung der Sickerstrecke an Fallfiltern bei den Prüfstandsversuchen und Auswertung der Meßergebnisse

Um aus der Vielfalt des Vorhandenen für die Deckgebirgsentwässerung im Braunkohlentagebau durch Fallfilter zu praktisch anwendbaren Lösungen zu kommen, wurden parallel zu den Versuchen über die Ergiebigkeitsbeziehungen Messungen der auftretenden Sickerstrecken vorgenommen.

Bei den Filterrohren mit Kiesschüttung kann die Sickerstrecke vom Filterrohrinneren aus nicht gemessen werden, weil sie immer am Bohrlochrand, d. h. in diesem Fall an der Begrenzung zwischen Erdkörper und Kiesschüttung auftritt. An der Filterrohrwand ist in diesem Fall eine Grundwassereintrittshöhe meßbar, die mit der Sickerstrecke in Beziehung steht. Betrachtet man die Verhältnisse für Filterrohre, die ohne Kiesschüttung in die Entwässerungsbohrung eingebaut werden, so tritt die Sickerstrecke direkt am Filterrohr in Erscheinung und ist

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

damit an diesem meßbar. Deshalb wurden die Messungen über die Größe der Sickerstrecke an Fallfiltern an Filterrohren durchgeführt, die ohne Kiesschüttung in die Bohrung eingebaut worden waren.

Die von Öllös angegebene Beziehung zur Berechnung der Sickerstrecke hat für die Anwendung auf die Verhältnisse bei der Deckgebirgsentwässerung in Braunkohlentagebauen zu enge Grenzen. Die Überschreitung des Verhältnisses $\frac{H}{r_o} \leq 30$ bringt aber unsinnige Resultate für die Größe der Sickerstrecke nach der Formel von Öllös. Eine kleine Rechnung für einen praktisch durchaus möglichen Fall beweist die unbedingte Notwendigkeit der Einhaltung der oberen Grenzbedingung.

Es sei:

$$H = 15 \text{ m} \quad \text{und} \quad r_o = 0{,}11 \text{ m}.$$

Dann wird:

$$\frac{H}{r_o} = \frac{15{,}00}{0{,}11} = 136 > 30$$

und die Sickerstrecke für Fallfilter nach Öllös:

$$s_i = 0{,}228 \sqrt[3]{\frac{15{,}0^4}{0{,}11}} = 17{,}60 \text{ m} > H \text{ !}$$

Dieses unsinnige Ergebnis für einen praktisch durchaus möglichen Fall beweist, daß der Gleichung von Öllös für die Belange der Deckgebirgsentwässerung im Braunkohlenbergbau zu enge Grenzen gesetzt sind.

Um die Zusammenhänge in dem für die praktische Anwendung wichtigen Bereich $\frac{H}{r_o} > 25$ zu beleuchten, wurden im Filterprüfstand Messungen zur Bestimmung der Sickerstrecke an PVC-Modellfilterrohren NW 28 mit 34 mm Außendurchmesser und

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

NW 85 mit 98 mm Außendurchmesser durchgeführt. Mit diesen Filterrohren konnte der Bereich

$$\frac{H}{r_o} = \frac{0,40}{0,049} = 8,2 \quad \text{bis} \quad \frac{H}{r_o} = \frac{2,80}{0,017} = 165$$

erfaßt werden, der die praktisch am häufigsten vorkommenden Parameter r_o = 0,15 - 0,50 m und H = 1,2 bis 82,5 m beinhaltet.

Die Höhe des Wasseraustritts in das Innere der ohne Kiesschüttung eingebauten PVC-Filterrohre wurde mit einem elektrischen Taster gemessen. Das in Anlage 25 gezeigte Meßprinzip beruhte darauf, daß zwei Messingfederschleifschuhe als Kontakte an der Filterrohrinnenwand entlanggeführt werden, die über Kabel mit einem empfindlichen Ohmmeter verbunden sind. Bei Erreichen der Höhe des beiderseitigen Wasseraustritts entsteht ein Stromfluß, der von dem Ohmmeter angezeigt wird. Ist der Taster mit einer Längeneinteilung versehen, kann die Einmessung der Wasseraustrittspunkte direkt erfolgen.

Die Meßergebnisse sind in Tabelle 49 zu finden und zeigen eine deutlich monoton steigende Tendenz für wachsende Werte von H. Der weiteren Auswertung der Versuche wurde die von Öllös ebenfalls benutzte Abhängigkeit der Sickerstrecke s_i von H und r_o zugrundegelegt. Bei der Darstellung der Sickerstrecke über dem Wert $\sqrt[5]{\frac{H^4}{r_o}}$ ergibt sich für die Meßergebnisse zwanglos die in Anlage 26 dargestellte lineare Abhängigkeit. Die ebenfalls eingetragenen Werte, die aus der Formel von Öllös ohne Beachtung der Gültigkeitsgrenzen berechnet wurden, zeigen größer werdende Differenzen zwischen beiden Geraden für ein steigendes $\frac{H}{r_o}$ - Verhältnis. Zur Berechnung der Gleichung aus den Meßwerten wird wiederum die Approximation nach der Methode der Summe der kleinsten Fehlerquadrate angewandt.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

$$s_i = \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{H^4}{r_o}} \tag{50}$$

Substituiert man:

$$s_i = y \quad \text{und} \quad \sqrt[3]{\frac{H^4}{r_o}} = x,$$

dann wird aus Gleichung (50)

$$y = \varphi \cdot x \tag{51}$$

$$\sum R^2 = \sum (\varphi \cdot x - y)^2 \tag{52}$$

$$\frac{d \sum R^2}{d\varphi \cdot 2} = \sum (\varphi \cdot x - y) \cdot x = 0 \tag{53}$$

$$\varphi = \frac{\sum y_i \cdot x_i}{\sum x_i^2} \tag{54}$$

Die numerische Auswertung erfolgte in Tabelle 50 und ergab

$$\varphi = 0{,}155.$$

Damit kann die neue Gleichung zur Berechnung der Sickerstrecke an Fallfiltern bis zu einem $\frac{H}{r_o} = 165$ angeschrieben werden.

$$s_i = h_m = 0{,}155 \sqrt[3]{\frac{H^4}{r_o}} \; [m] \tag{55}$$

Berechnet man nach dieser Formel die Sickerstrecke für den Fallfilter aus dem genannten Beispiel, dann ergibt sich:

$$s_i = 0{,}155 \sqrt[3]{\frac{15{,}0^4}{0{,}11}} = 12{,}0 \text{ m} < H$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Aus der Gleichung (55) geht hervor, daß durch den Einsatz größerer Fallfiltereinbaudurchmesser unter gleichen geohydrologischen Bedingungen eine verstärkte Absenkung in Filternähe erreicht werden kann.

Der Einfluß der Reichweite auf die Größe der Sickerstrecke ist nach Öllös [14] und Bosold [27], zumindest in gewissen Grenzen von H und r_o, gering. Demgegenüber gibt Nahrgang [28] für den Quotienten $\frac{s_o}{H}$ bei vollständig abgesenktem Brunnenwasserspiegel Abhängigkeiten vom Brunnenradius und der Reichweite an. Mit den von Nahrgang gewählten Bezeichnungen R_i für Brunnenradius, R_a für Reichweite und H für Grundwassermächtigkeit sind in Anlage 27 die von ihm angegebenen Zusammenhänge für $\frac{R_i}{H}$ = 0 bis 0,10 und $\frac{R_a}{H}$ = 0,25 bis 4,00 dargestellt. Man erkennt aus dem Verlauf der Kurven einen steilen Anstieg für $\eta = \frac{s_o}{H}$ für kleine Werte von $\frac{R_i}{H}$, der mit Wachsen dieses Quotienten abnimmt, und zwar um so eher und stärker, je kleiner das Verhältnis von R_a/H ist, so daß sich eine Kurvenschar ergibt. Aus den Meßwerten der Prüfstandsversuche über die Sickerstrecke an Filterrohren von 28 und 85 mm NW wurden in Tabelle 51 ebenfalls die Parameter R_i/H, R_a/H und $\frac{s_o}{H}$ berechnet und in das Diagramm eingetragen. Die Lage der so gefundenen Meßpunkte läßt im Bereich von $\frac{R_i}{H} \leqq 0{,}05$ ebenfalls einen steilen Anstieg erkennen, wobei alle Punkte oberhalb des von Nahrgang angegebenen Kurvenverlaufes liegen.

Die Punkte im Bereich des steilen Anstiegs durchlaufen Werte R_a/H von 0,3 bis 2,2. Erst mit $R_i/H > 0{,}05$ tritt für $R_a/H = 2{,}2$ eine deutliche Verflachung des Anstieges ein. Daraus läßt sich schlußfolgern, daß in dem für die Deckgebirgsentwässerung der Braunkohlentagebaue wichtigen Bereich $\frac{R_i}{H} \leqq 0{,}05$ der Einfluß der Reichweite auf die Größe der Sickerstrecke sehr gering ist, und erst bei Betrachtungen, für die $R_i/H > 0{,}05$ und $R_a/H \geqq 2{,}2$ wird, eine wesentliche Rolle spielt.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Es empfiehlt sich aus diesen Überlegungen heraus, die Gültigkeitsgrenzen der Gleichung (55) mit

$$20 \leqq \frac{H}{r_o} \leqq 165$$

festzulegen.

7.8. Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen der Untersuchungen am Filterprüfstand

Die Auswertung der Ergiebigkeitsmessungen ergab, daß die Schwankungen der Ergiebigkeitsmeßwerte für jeweils eine bestimmte Wasserstandshöhe, einen verkiesten Einbaudurchmesser und ein Einbaumaterial untereinander erklärbar und zufällig sind und nicht von einem oder mehreren unbekannten Einflußfaktoren beeinflußt werden. Damit ist die Ergiebigkeit von der Art des Ausbaues der Entwässerungsbohrung im Neuzustand unabhängig, wenn dieser so beschaffen ist, daß Verstopfungen und Versandungen ausgeschlossen werden. Die Durchlässigkeit der Filterrohrwandung ist maßgeblich für die Grundwassereintrittsgeschwindigkeiten in das Filterrohrinnere (vergl. 8.0). Die Strömung zur Entwässerungsbohrung ist abhängig von den geometrischen Randbedingungen H, R und r_o. Für den Fallfilter konnte durch Approximation der Meßwerte nach der Methode der Summe der kleinsten Fehlerquadrate gezeigt werden, daß die Schüttung eine Funktion vom Quadrat der Wasserstandshöhe im Wasserringmantel ist und für den stationären Strömungszustand geschrieben werden kann

$$q = \frac{\pi \cdot k_f \cdot H^2}{\ln \frac{R}{r_o}} \qquad (40)$$

Daraus geht hervor, daß in der Dupuitschen Brunnenformel mit h_o der Brunnenwasserspiegel erfaßt ist, der für Fallfilter in $h_o = 0$ übergeht. Die vielfach angeführte Un-

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

stimmigkeit der Formel, die für $h_o = 0$ die maximale Ergiebigkeit ausweist, aber dafür keine Eintrittsfläche am Brunnenmantel vorhanden ist, weil eben $h_o = 0$ ist, kann nun erklärt werden. Da h_o die Höhe des Brunneninnenwasserspiegels darstellt, tritt bei seiner vollständigen Absenkung das Ergiebigkeitsmaximum auf und die Eintrittsfläche für das zuströmende Grundwasser ist nach wie vor vorhanden, da die Grundwasserspiegelabsenkung am Filteraußenmantel nur bis zu einem Betrag $h_m > h_o$ erfolgen kann, der im wesentlichen von der Sickerstrecke s_i gebildet wird.

$$h_m = h_o + s_i \, . \tag{45}$$

Der Fallfilter hat aufgrund seiner Bauform, die das zuströmende Wasser ständig und vollkommen in die Entwässerungsstrecken abfließen läßt, die maximal mögliche Entwässerungswirkung. Um diesen Effekt auch bei Filterbrunnen zu erreichen, müßte die in Anlage 28 gezeigte Bauform für Filterbrunnen zu Zwecken der vollständigen Grundwasserabsenkung eingeführt werden, bei der die im Grundwasserstauer liegende Pumpe den Wasserspiegel im Filterbrunnen ebenfalls auf Null hält. Weitere Voraussetzung ist, daß die Pumpe die maximale zuströmende Wassermenge fördern kann und später bei nachlassender Ergiebigkeit ein Wasser-Luft-Gemisch zu fördern in der Lage ist.

Die Ergiebigkeit wird von r_o beeinflußt, wobei für r_o im Neuzustand bei Ausbau mit Kiesschüttung der Bohrlochradius und beim Ausbau nur mit Filterrohr und Filtergewebeumwicklung der Außenradius dieser Konstruktion in die Rechnung einzusetzen ist. Im Zusammenhang mit den Prüfstandsversuchen mußte weiterhin festgestellt werden, daß die k_{f10}-Werte, die im Laboratorium im Durchlässigkeitsversuch bestimmt wurden, erhebliche Abweichungen von den tatsächlichen Werten aufwiesen, so daß die k_{f10}-Werteverteilung direkt aus den Prüfstandsversuchen ermittelt werden mußte. Die statistische Auswertung der Versuche nach der Varianzanalyse zeigte kein Wirken eines nicht erfaßten Einflusses auf die Ergiebigkeitsmeßwerte. Daraus geht hervor, daß die von ver-

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

schiedenen Autoren beschriebene Beeinflussung der Meßergebnisse durch Luftablagerung im Boden bei Verwendung von nicht entlüftetem Wasser bei den Prüfstandsversuchen in nicht meßbaren Größenordnungen erfolgte.

Verbunden mit den Ergiebigkeitsmessungen war die Bestimmung der Sickerstrecke bei Fallfiltern. Die Messung der Sickerstrecke war nur bei den Filterrohren möglich, die ohne Kiesschüttung eingebaut waren, da nur in diesem Fall die Sickerstrecke am Filterrohrmantel auftritt. Ein Vergleich der bisher bekannten theoretischen und experimentellen Erkenntnisse mit den Meßresultaten zeigt für die von Öllös gefundene Verbesserung der Ehrenbergerschen Formel brauchbare Übereinstimmung. Da diese Beziehung jedoch für die Praxis völlig unzureichende Gültigkeitsgrenzen aufweist und außerhalb der Gültigkeitsgrenzen zu unsinnigen Ergebnissen führt, mußten die Versuche auf $\frac{H}{r_o}$ -Verhältnisse bis 165 ausgedehnt werden, um den Erfordernissen der Praxis Rechnung zu tragen. Die Auswertung der Versuchsreihe führte zu einer neuen Beziehung für die Größe der Sickerstrecke bei Fallfiltern in den Gültigkeitsgrenzen

$$20 \leqq \frac{H}{r_o} \leqq 165.$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

8. Eintrittsgeschwindigkeiten des Grundwassers am Filterrohr

8.1. Betrachtung über die Verhältnisse der Eintrittsgeschwindigkeiten und der R_e-Zahlen

Dupuit legte bei der Ableitung seiner Brunnenformel zugrunde, daß die Wasserbewegung zum Brunnen keine vertikalen, sondern nur horizontale Komponenten aufweist, deren vertikale Verteilung auch für den Fall der vollkommenen Wasserspiegelabsenkung im Brunnen konstant ist. Diese Annahme ist von mehreren Autoren widerlegt worden.

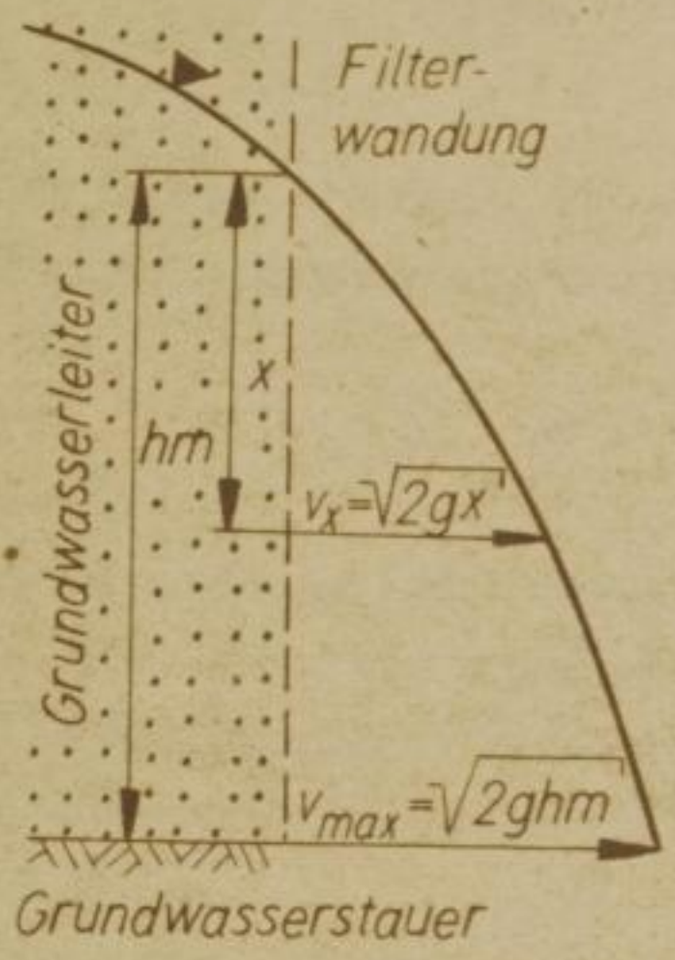
Nahrgang [10] fand aufgrund der potential-theoretischen Betrachtung der Strömung zum Brunnen, daß die maximalen horizontalen Geschwindigkeitskomponenten bei der totalen Wasserspiegelabsenkung im Brunnen in Höhe der Sohle des Grundwasserleiters auftreten und theoretisch unendlich große Werte annehmen.

Auf experimentellem Wege hat Öllös [14] eine lotrechte Verteilung der horizontalen Geschwindigkeitskomponenten gefunden, bei der das Maximum der horizontalen Geschwindigkeit nicht an der Sohle, sondern etwa in der Mitte zwischen oberstem Grundwassereintritt und Sohle der Grundwasserleiter auftritt. An der Sohle treten höhere Geschwindigkeiten als durchschnittlich, aber nicht die maximalen auf.

Nach den Beobachtungen bei der Versuchsdurchführung im Filterprüfstand konnte bei allen Versuchen festgestellt werden, daß das Maximum des Wasseraustritts in Sohlennähe lag, wobei jedoch die Maxima endliche Werte annahmen. Im oberen Bereich des Grundwassereintritts konnten in Übereinstimmung mit den bisher registrierten Formen der Geschwindigkeitsverteilung nur sehr geringe Eintrittsgeschwindigkeiten festgestellt werden. Da die beobachtete Geschwindigkeitsverteilung monoton nichtlinear steigende horizontale Geschwindigkeitskomponenten mit dem Minimalwert am oberen Grundwassereintrittspunkt und dem Maximalwert

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

an der Sohle des Grundwasserleiters zeigte, wurde diese für die weiteren Betrachtungen näherungsweise durch eine parabolische Verteilung erfaßt, wie sie beim Ausfluß aus Seitenöffnungen eines gefüllten Gefäßes auftritt.



Wie aus nebenstehender Skizze zu entnehmen ist, wird die Maximalgeschwindigkeit an der Sohle

$$v_{max} = \sqrt{2g\ hm} \qquad (56)$$

und die Minimalgeschwindigkeit am oberen Grundwassereintrittspunkt

$$v_{min} = 0 \qquad (57)$$

Die mittlere Eintrittsgeschwindigkeit läßt sich ebenfalls berechnen aus dem Flächeninhalt der Parabel, der $^2/_3$ des Flächeninhaltes eines seitengleichen Rechteckes ausmacht.

$$v_m = \frac{\frac{2}{3} \cdot hm\sqrt{2g \cdot hm}}{hm} = \frac{2}{3}\sqrt{2g \cdot hm} = \frac{2}{3}\, v_{max} \qquad (58)$$

Die mittlere Eintrittsgeschwindigkeit hat aber nur theoretische Bedeutung, da selbst bei dem homogenen Aufbau des Grundwasserleiters wie im Filterprüfstand, für vollkommen abgesenkten Brunnenwasserspiegel erhebliche Differenzen zwischen maximaler und mittlerer Eintrittsgeschwindigkeit auftreten.

Das Verhältnis beider Geschwindigkeiten wird durch den Quotienten $\varkappa$ ausgedrückt.

$$\varkappa = \frac{v_{max}}{v_m} \qquad (59)$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Für eine parabolische Geschwindigkeitsverteilung gilt:

$$\mathcal{H} = \frac{\sqrt{2g\ hm}}{\frac{2}{3}\sqrt{2g\ hm}} = 1{,}50 \qquad (60)$$

Nach Öllös beträgt das Verhältnis für vollständig abgesenkten Brunnenwasserspiegel

$$\mathcal{H} = 1{,}24.$$

Aus Gleichung (60) resultiert der ungünstigere Wert für $\mathcal{H}$. Die mittlere Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers in das Filterrohrinnere läßt sich aus der Brunnenergiebigkeit und der Wasserdurchtrittsfläche des Filterrohres leicht berechnen.

$$v_m = \frac{q_m}{F_{WD}} \qquad (61)$$

Die für den Wasserdurchtritt zur Verfügung stehende Durchtrittsfläche ist für die einzelnen Filterrohrkonstruktionen in der Filterkennzahl nach Gleichung (16) erfaßt, wobei für die Längeneinheit nunmehr die Sickerstrecke einzuführen ist.

$$F_{WD} = \pi \cdot F_{Dr} \cdot d_a \cdot s_i \qquad (62)$$

Da

$$\pi \cdot F_{Dr} \cdot d_a = Z \qquad (63)$$

und

$$s_i = h_m$$

für Fall-filter gesetzt werden kann, gilt

$$F_{WD} = Z \cdot h_m \,. \qquad (64)$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Die beim Wassereintritt in das Filterrohrinnere maximal mögliche Eintrittsgeschwindigkeit für homogenen Grundwasserleiter und vollständig abgesenkten Brunnenwasserstand geht aus den Gleichungen (59), (61) und (64) hervor.

$$v_{max} = v_m \cdot \mathcal{H} \tag{59}$$

$$v_{max} = \frac{q_m}{F_{WD}} \cdot \mathcal{H} \tag{65}$$

$$v_{max} = \frac{1{,}50 \cdot q_m}{Z \cdot h_m} \; [cm/s] \tag{66}$$

In der Gleichung (66) kann für die Sickerstrecke nach Gleichung (55)

$$h_m = 0{,}155 \sqrt[3]{\frac{H^4}{r_o}}$$

und nach Gleichung (40) für die Ergiebigkeit von Fallfiltern

$$q = \frac{\pi k_{f10} \cdot H^2}{\ln \frac{R}{r_o}}$$

eingeführt werden.

$$v_{max} = \frac{1{,}5 \cdot \pi \cdot k_{f10} \cdot H^2}{Z \cdot 0{,}155 \sqrt[3]{\frac{H^4}{r_o}} \cdot \ln \frac{R}{r_o}} \tag{67}$$

Da die Zuflußmenge und die Sickerstrecke nur von den geohydrologischen Bedingungen und dem Einbaudurchmesser abhängen, kann die Größe der maximalen Eintrittsgeschwindigkeit v_{max} durch die Wahl der Filterkonstruktion und des Filterrohrdurchmessers entscheidend beeinflußt werden.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Anhand der Ergebnisse der Versuchsreihe mit Dresdener Sand, bei einem Einbaudurchmesser von 540 mm und für die Wasserstandshöhe H = 2,6 m sollen die beschriebenen Einflüsse demonstriert werden. Die Ergiebigkeit ist q_m = 2,4 l/s bei r_o = 0,27 m. In der Tabelle 52 sind für Eisenfilterrohre mit Tressen- und Juteumwicklung, Betonfilterrohre und Bitterfelder Stabfilterrohre verschiedener Nennweiten die Filterkennzahlen und die zugehörigen maximalen Eintrittsgeschwindigkeiten des Grundwassers in Abhängigkeit von q, Z und h_m berechnet worden. Aus der auf den jeweiligen Rohrdurchmesser umgerechneten Ergiebigkeit und der zugehörigen Sickerstrecke wurden über die Filterkennzahlen die Eintrittsgeschwindigkeiten für den Fall berechnet, daß die Filterrohre ohne Kiesschüttung in die Entwässerungsbohrungen eingebracht werden. Aus der Tabelle 52 geht hervor, daß für diese Verhältnisse die Eintrittsgeschwindigkeiten zwischen 2,0 und 22,2cm/s, also um das 11-fache schwanken. Noch deutlicher wird der Einfluß der Filterbauform auf die Eintrittsgeschwindigkeit, wenn man eine Fallfilterbohrung von 540 mm Durchmesser betrachtet, in die die verschiedenen Filterrohrarten mit Kiesschüttung eingebaut sind. Legt man bei dieser vergleichenden Betrachtung näherungsweise zugrunde, daß die Grundwassereintrittshöhe in etwa mit der Sickerstrecke übereinstimmt, dann erhält man die Resultate der Tabelle 53. Daraus ist zu ersehen, daß die Eintrittsgeschwindigkeiten je nach Ausbauart zwischen 1,5 und 73,1 cm/s, das heißt um das 49-fache schwanken können, unter sonst gleichen Verhältnissen. Selbst bei den Vergleichswerten für Filterrohre gleicher Nennweiten treten in Abhängigkeit von der Lochung und der Umwicklung beträchtliche Schwankungen auf, so für NW 350 - 400 mm um das 9,4-fache, für NW 150 - 180 mm um das 2,7-fache und für NW 80 mm um das 9,0-fache. Die niedrigsten Eintrittsgeschwindigkeiten werden beim Ausbau mit Bitterfelder Stabfilterrohren erzielt.

Die Gleichung (67) kann auch als Bestimmungsgleichung für Z geschrieben werden

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

$$Z = \frac{1{,}5 \cdot \pi \cdot k_{f10} \cdot H^2}{v_{max} \cdot 0{,}155 \sqrt[3]{\frac{H^4}{r_o}} \cdot \ln \frac{R}{r_o}}, \qquad (68)$$

aus der hervorgeht, daß die Filterkennzahl Z umgekehrt proportional der max. Einströmgeschwindigkeit ist und um so größer gewählt werden muß, je kleiner die max. Einströmgeschwindigkeit werden soll.

Andererseits kann man aber auch aus Gleichung (68) eine Mindestgröße der Filterkennzahl errechnen, die unter den jeweiligen geohydrologischen Bedingungen erforderlich ist, um eine einwandfreie Fassung des zuströmenden Grundwassers zu gewährleisten, wenn man über die max. zulässige Fließgeschwindigkeit am Filterrohr exakte Vorstellungen hat, da Turbulenz wegen der damit verbundenen Förderung der Filterverockerung möglichst vermieden werden sollte. Obwohl die genaue Ermittlung der zulässigen Eintrittsgeschwindigkeiten weiteren Untersuchungen über die damit verbundenen grundlegenden Zusammenhänge vorbehalten bleibt, kann man aus dem bisher Bekannten schlußfolgern, daß

1. mit größer werdenden Durchflußöffnungen des Filters die max. zulässige Einströmgeschwindigkeit sinken muß und
2. Filter mit abgerundeten, strömungsgünstigen Öffnungen vorteilhafter sind als solche mit scharfkantigen Eintrittsöffnungen,

um turbulente Strömungen zu vermeiden. Zur Charakterisierung der Strömungsverhältnisse kann die Reynold'sche Zahl benutzt werden.

Die Reynoldsche Zahl ist definiert

$$R_e = \frac{v \cdot l}{\nu}, \qquad (69)$$

worin

v = mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]
l = maßgebliche Abmessung des Durchflußquerschnittes [m]
ν = kinematische Zähigkeit [m^2/s]

bedeuten.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Da für die Art der sich einstellenden Strömung die Form und Größe des Durchflußquerschnittes von ausschlaggebender Bedeutung ist, liegt es nahe für eine Betrachtung des Einflusses der Filteröffnungen auf die Strömungsverhältnisse, die Schlitzbreite der Eintrittsöffnungen als maßgebliche Abmessung einzuführen. Damit kann man die Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Reynold'schen Zahl und der Schlitzbreite β ausdrücken.

$$v = \frac{R_e \cdot \nu}{\beta} \quad [m/s] \tag{70}$$

Da Untersuchungen über die kritische Reynold'sche Zahl für den Durchtritt durch verschieden geformte Öffnungen nicht bekannt sind, sollen die praktisch möglichen Größenordnungen und Relationen ermittelt werden, die sich aus der numerischen Auswertung der folgenden Beziehung ergeben:

$$R_e = \frac{1{,}5 \cdot \pi \cdot k_{f10} \cdot H^2 \cdot \beta}{Z \cdot 0{,}155 \sqrt[3]{\frac{H^4}{r_o}} \cdot \ln \frac{R}{r_o} \cdot \nu} \tag{71}$$

Für die Tagebauvorfelder Kleinleipisch und Welzow-Süd und für ein Beispiel, das etwa der bei Fallfiltern im Höchstfall zu erwartenden maximalen Ergiebigkeit entspricht, wurden R_e-Zahlen für die Anwendung verschiedener Filterrohrarten berechnet. Unter Anlehnung an die bei der Berechnung der Eintrittsgeschwindigkeiten getroffenen Voraussetzungen wurden die in Tabelle 54 eingetragenen Werte ermittelt. Da bei der Berechnung der R_e-Zahlen die unterschiedlichen Schlitzbreiten β mit berücksichtigt wurden, entstehen etwas andere Relationen als bei der Berechnung der Geschwindigkeiten. Die berechneten R_e-Zahlen schwanken um das 33-fache (Filter-Nr. 12 und 13) in allen 3 Fällen mit kleinsten Werten für die Keramikfilterrohre. Legt man weiterhin zugrunde, daß nach den gesammelten Erfahrungen Beton- und Eisenfilterrohre früher verockern als Bitterfelder Stabfilterrohre, dann ist anzunehmen, daß der Sprung in der Größenordnung der R_e-Zahlen, der aus Tabelle 54 in allen 3 Beispielen deutlich sichtbar wird, damit im Zusammenhang steht. Infolge der vielen Einflußfaktoren auf die Größe der Reynold'schen Zahlen für den Übergang vom laminaren zum turbulenten Fließen können hierfür nur Bereichsangaben erwartet werden. Für den

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Durchtritt des Grundwassers durch Filterrohre ist dieser Bereich noch nicht erforscht. Unbestritten und außerhalb dieser Überlegungen steht fest, daß für Entwässerungsmaßnahmen von längerer Dauer möglichst Keramikfilter oder Schlitzbrückenfilter eingesetzt werden sollten, da mit diesen niedrige R_e-Zahlen, geringe Einströmgeschwindigkeiten und damit längere Lebensdauer bei voller Leistungsfähigkeit erzielt werden können. Betonfilterrohre und Eisenschlitzfilterrohre kleiner NW eignen sich nur für kurzlebige Entwässerungselemente.

Die Erreichung niedriger Eintrittsgeschwindigkeiten ist nicht nur für das Vermeiden von Sandeinspülungen von Bedeutung, sondern auch von maßgeblicher Wichtigkeit bei der Verockerung der Filterrohre, da nach Gerb [29] und Jäkel [30] außer der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und seiner Belüftung die Größe der Fließgeschwindigkeit am Filterrohr und die davon abhängige Durchwirbelung des sonst laminar fließenden Grundwassers eine entscheidende Rolle spielen. Für Fallfilter trifft das in ganz besonderem Maße zu, weil infolge des Betriebszustandes mit vollständiger Brunnenwasserspiegelabsenkung ein Absenken des Grundwasserspiegels in den Filterbereich stets eintritt und soweit die nachteilige Grundwasserbelüftung in Kauf genommen werden muß.

8.2. Schlußfolgerungen für den zweckmäßigen Einsatz der Filterrohre zur Deckgebirgsentwässerung

Aus der Darstellung der Eintrittsgeschwindigkeitsverhältnisse in Tabelle 53 und der Veränderung der R_e-Zahlen gemäß Tabelle 54 ist zu schlußfolgern, daß für Filterbrunnen und Fallfilter mit längerer Lebensdauer den Keramikfiltern als Ausbauelement der Vorzug zu geben ist, da von ihnen die längste Lebensdauer aufgrund der geringeren Eintrittsgeschwindigkeiten zu erwarten ist. Hinzu kommt noch die

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

strömungsgünstige Ausbildung der Wassereintrittsschlitze, die ebenfalls die Durchwirbelung einschränkt. Für kurzzeitige Entwässerungsmaßnahmen eignen sich die Einkornbetonfilterrohre trotz ihrer geringen Filterkennzahl, wenn sie mit Kiesschüttung und ohne Tressenumwicklung eingebaut werden, bei längerem Betrieb neigen sie stark zu Verockerungen. Ihr großer Vorteil ist der geringe Preis, der nur 1/3 bis 1/4 des für gleichgroße Keramik- oder Eisenfilterrohre mit Gewebeumwicklung beträgt. Eisenschlitzfilterrohre sollten zur Deckgebirgsentwässerung nicht mehr verwendet werden. Ihre Filterkennzahlen liegen unter denen der Keramikfilterrohre und sie verockern ebenfalls schneller. Weiterhin bilden sie beim Überbaggern eine große Gefahr für die Transportbänder der Gewinnungs- und Transportgeräte, da ihre Reste zu Störungen des Betriebsablaufes und zu Beschädigungen der Transportbänder in vielen Fällen geführt haben, die Beton- und Keramikfilterrohre dagegen baggerfähig sind und ihre Bruchstücke gefahrlos gewonnen und gefördert werden können. Wenn Eisenfilterrohre zum Einsatz kommen, dann sollten es Schlitzbrückenfilterrohre sein, da diese bei Einbau mit einer Filterkiesschüttung auf die Gewebeumwicklung verzichten und deshalb sehr hohe Filterkennzahlen, die noch über denen der Keramikfilterrohre liegen, erreichen können. Leider werden Schlitzbrückenfilterrohre, die auch statisch bessere Eigenschaften als Schlitzfilterrohre haben, trotz vielfachen Bemühens in der DDR serienmäßig nicht hergestellt.

Müssen aus zwingenden Gründen der Materialbeschaffung vorübergehend Schlitzfilterrohre mit Gewebeumwicklung eingebaut werden, dann darf Filterjute dazu nicht mehr verwendet werden, weil hierdurch die Filterkennzahl minimale und die Eintrittsgeschwindigkeit des Grundwassers maximale Werte erreicht. Die in der DDR produzierten PCU- und Polyamidfiltertressen eignen sich hierfür besser, da sie korrosionsbeständig, nicht quellend, mechanisch fester und wesentlich durchlässiger sind als Jute.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Die in der Tabelle 9 ausgewiesenen effektiven Durchtrittsflächen für poröse Filtermaterialien schwanken zwischen 1,8 und 3,3%, wobei der Betonfilter mit 2,6% recht gut liegt. Diese geringen Werte bedingen entsprechend hohe Eintrittsgeschwindigkeiten mit den damit verbundenen Nachteilen. Allerdings haben die epoxydharzgeklebten Sand- und Kiesfilter dem Betonfilter gegenüber den Vorteil, daß ihre Körner abgerundet sind, während die Splittzuschlagstoffe des Betons scharfe Kanten aufweisen, die die Wasserdurchwirbelung erhöhen. Dieser Vorzug kann aber nur wirksam werden, wenn die momentan sehr hohen Kosten der Versuchsfilter bei der Serienproduktion stark gesenkt werden können. Als andere aussichtsreiche Möglichkeit bietet sich der Versuch an, die billigen Betonfilter anstatt mit Splitt mit Kieszuschlagstoffen zu produzieren.

9. Einfluß der Bohrtechnologie auf die Fallfilterergiebigkeit

9.1. Die Besonderheiten des Saugspülbohrverfahrens

In früheren Jahren wurden die Entwässerungsbohrungen ausschließlich als Trockenbohrungen ausgeführt. Infolge der ständig gestiegenen Anforderungen hinsichtlich der Entwässerung des Deckgebirges war die Anwendung produktiverer Bohrverfahren eine unabdingbare Forderung geworden, die mit der umfassenden Einführung des Saugspülbohrens gelöst wurde, so daß seit etwa 3 Jahren im Braunkohlenbergbau die meisten Entwässerungsbohrungen mit Saugspülbohrgeräten S 100 des VEB Montan Leipzig geteuft werden. Bei dem Saugspülen wird im Gegensatz zum Trockenbohren kontinuierlich gearbeitet. Ein mit Zähnen und Schneiden besetzter Bohrkopf wird über ein Hohlgestänge vom Drehtisch aus in dem mit Wasser gefüllten Bohrloch in drehender Bewegung gehalten. Das auf diese Weise

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

an der Bohrlochsohle gelöste Bohrgut wird durch das Hohlgestänge mittels einer Pumpe abgesaugt und einem Spülteich zugeführt, in dem sich das gröbere Bohrgut absetzt. Aus dem Spülteich fließt das Wasser wieder dem Bohrloch zu, womit der Kreislauf geschlossen ist. Der Wasserspiegel im Bohrloch und damit auch im Spülteich muß durch Frischwasserzusatz stets so hoch gehalten werden, daß ein hydrostatischer Überdruck von 3 - 5 m Wassersäule entsteht, weil dann die Bohrlochwand auch ohne Verrohrung standfest bleibt und lediglich für die ersten 3 - 5 m der Bohrung ein Standrohr gesetzt werden muß. Durch die beschriebene Verfahrensweise entsteht eine Zirkulation des Spülwassers in der Art, daß die mit Bohrgut angereicherte Flüssigkeit durch das Hohlgestänge abgesaugt und dem Spülteich zugeführt wird. Da das entnommene Wasser des Bohrloches aus dem Spülteich wieder zufließen muß, entsteht entlang der Bohrlochwand eine abwärts gerichtete Strömung des mit Feinteilchen behafteten Spülwassers. Wegen des notwendigen Überdruckes wird ein Teil des Schmutzwassers durch die Bohrlochwand in das umgebende Deckgebirge eindringen und dabei die mitgeführten Teststoffteilchen absetzen, wodurch eine Verringerung der Durchlässigkeit des unmittelbar angrenzenden Bodens zu befürchten ist. Die Meinungen hierüber sind in den einzelnen Betrieben sehr unterschiedlich. Jedoch wurde von Matschak und Walde [16] bei Betriebsversuchen über die Fallfilterentwässerung im Tagebau Welzow-Süd festgestellt, daß gleichausgebaute Fallfilter, die entlang der Strecke 102.2 in Abständen von 25 - 30 m nach dem Saugspülverfahren geteuft waren, in der Anfangsergiebigkeit zwischen 30 und 1500 l/min, d. h. um das 50-fach schwankten.

9.2. Untersuchung der Spülflüssigkeit unter natürlichen Verhältnissen

Um zu Aussagen über den eventuellen Einfluß der Bohrmethode auf die spätere Ergiebigkeit zu kommen, ist

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

zunächst die Zusammensetzung der Spülflüssigkeit zu untersuchen, da hierüber bisher keine Untersuchungen vorliegen. Als Spülflüssigkeit wird Wasser aus benachbarten Filterbrunnen, Fallfiltern, Wasserleitungen, Teichen u. a. verwendet, das durch die ständige Anreicherung mit Bohrgut stark verschmutzt und feststoffhaltig wird, auch nach der Klärung im Spülteich. Zur Bestimmung des Feststoffgehaltes des Spülwassers und seiner Veränderung während des Bohrvorganges ist an einem Saugspülbohrgerät S 100 des VEB BuS Welzow während der Niederbringung einer Fallfilterbohrung an der Strecke 103 im Tagebau Welzow-Süd eine umfangreiche Probenahme an Spülflüssigkeit erfolgt. Die Wasserproben wurden im 15-Minuten-Abstand aus dem Spülstrom und aus dem Spülteich in der Nähe des Rücklaufs zum Bohrloch entnommen. Die Probenahme erfolgte bis zur Bohrteufe 50 m, weil die Bohrung wegen Geräteschadens nicht weitergeführt werden konnte. Die insgesamt 34 Wasserproben wurden im Bodenmechanischen Labor auf ph-Wert, Dichte, Feststoffgehalt und Anteil an organischer Substanz untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 55 enthalten. Danach hat das Zulaufwasser einen minimalen Feststoffgehalt von nur 0,24 g/l, der im Spülteich auf 0,95 g/l ansteigt. Während des Bohrens wachsen diese Beträge auf maximal 28,0 g/l im Spülstrom und auf 9,1 g im Spülteich an. Die ph-Werte lagen zwischen 4,4 und 4,9. Zur besseren Veranschaulichung sind in Anlage 29 die Feststoffgehalte der Bohrflüssigkeit im Spülstrom und Spülteich in Abhängigkeit von den durchteuften Bodenschichten dargestellt. Während der Gehalt an Feststoffteilchen im Spülteich recht gleichmäßig von ca. 2,0 g/l vor Beginn der Bohrung auf ca. 9 g/l bei 45 m Teufe ansteigt, zeigt der Feststoffgehalt im Spülstrom auch eine steigende Tendenz, deren gleichmäßiger Anstieg jedoch durch Spitzen mit vorübergehend sehr hohen Belastungen des Spülwassers unterbrochen wird. Die niedrigeren Feststoffgehalte im Spülstrom liegen nur 1 - 2 g/l über den zugehörigen Werten aus dem Spülteich, beim Durchteufen toniger Bodenschichten

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

steigt der Gehalt an Feststoffteilchen im Spülstrom auf Werte von 20 - 28 g/l. Aus Anlage 28 geht weiter hervor, daß auch beim Erbohren von Kohle der Feststoffgehalt im Spülstrom ansteigt. Naturgemäß wächst dabei der Anteil an organischen Teilchen von ca. 18% auf 46 - 48% vorübergehend an.

9.3. Darstellung der Vorgänge beim Saugspülbohren im Filterprüfstand

Bevor Versuche zur Ermittlung der Ergiebigkeit von Fallfiltern, die nach dem Saugspülverfahren niedergebracht wurden, durchgeführt werden konnten, mußten die beim Saugspülbohren herrschenden Verhältnisse möglichst naturgetreu bei der Versuchsvorbereitung im Prüfstand wiedergegeben werden. Der Filterprüfstand war mit Dresdener Sand gefüllt und das PVC-Modellfilterrohr ohne Kiesschüttung eingebaut. Der Aufbau der Anlage ist in Anlage 30 wiedergegeben. In einem Mischbehälter von 99 l Inhalt wurde aus Ton, der aus einem Spülteich an der Strecke 103.3 im Tagebau Welzow-Süd stammte, unter Zusatz von Leitungswasser durch ein Rührwerk eine Bohrflüssigkeit erzeugt, die mit einem mittleren Feststoffgehalt von 8,8 g/l der im Tagebau festgestellten Zusammensetzung entsprach. Durch eine regulierbare Leitung floß die Bohrflüssigkeit in das am unteren Ende wasserdicht abgeschlossene PVC-Filterrohr. Der Wasserspiegel wurde ständig auf 3 m Höhe über Prüfstandsboden gehalten, so daß die Flüssigkeit unter diesem Druck durch das Filterrohr in den umgebenden Boden eintreten mußte, sich nach Durchfließen des Sandes hinter dem Stützfilter sammeln und durch eine Öffnung im Prüfstandsmantel abfließen konnte. Um die für den Bohrvorgang typische Wasserbewegung entlang der Bohrlochwand zu erzeugen, ist in das Filterrohr eine mit Lochscheiben bestückte Stange eingelassen, die über eine Exzenterscheibe in vertikale Bewegung versetzt wurde, wobei die Lochscheibe eine gleichsinnige Bewegung der Bohrflüssigkeit auslöste. Vier Stunden nach Beginn des

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Spülens ging der Flüssigkeitsdurchsatz erheblich zurück, was auf die bereits erfolgte teilweise Abdichtung zurückzuführen war. Da das Teufen einer Entwässerungsbohrung mit dem Gerät S 100 i. a. 2 Schichten in Anspruch nimmt, wurde das Einspülen im Prüfstand ebenfalls auf 20 Stunden festgesetzt, wobei in den letzten Stunden der Abfluß nur noch tropfte. Während der gesamten Zeit des Einspülens war die Bohrflüssigkeit beim Durchsickern der Prüfstandsfüllung so geklärt worden, daß nur klares, farbloses Wasser aus dem Abfluß trat. Nach Abschluß des Einspülens wurde in Anlehnung an die Praxis, wo die ausgebauten Bohrungen ebenfalls über längere Zeiträume unverändert stehen bis sie in Betrieb genommen werden, erst nach 6-tägiger Pause mit den Ergiebigkeitsversuchen begonnen, die in der bereits unter 7.3. geschilderten Weise durchgeführt wurden, nach dem die Abdichtung am unteren Ende des Filterrohres beseitigt worden war.

9.4. Auswertung der Ergiebigkeitsmessungen

Die Ergebnisse der Ergiebigkeitsmessungen sind in Tabelle 56 wiedergegeben. Eine meßbare Ergiebigkeit trat erst bei einer Wasserstandshöhe von 1,7 m auf, während für die 3 unteren Druckstufen die Schüttung Null bzw. nicht meßbar gering blieb. Trägt man die Meßergebnisse in das Diagramm in Anlage 21 mit ein, in das die Ergiebigkeit für die gleichen Versuche vor der Trübeeinspülung eingetragen worden war, so ist zu erkennen, daß offenbar eine Verschiebung der Ergiebigkeits-Wasserdruck-Parabel um 150 cm entlang der Wasserstandshöhen-Ordinate stattgefunden hat. Für die Approximation der Meßwerte durch eine quadratische Parabel wurde diese Verschiebung berücksichtigt. Das Rechenergebnis in Tabelle 56 bestätigt diese Überlegungen, da nach der Koordinatentransformation für die Gleichungen für die Fälle mit und ohne Trübeeinspülung etwa gleiche Konstanten berechnet werden.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Vor der Trübeeinspülung:

$q = 0{,}1200 \cdot H^2$ nach Tabelle 41

Nach der Trübeeinspülung:

$q^x = 0{,}1251 \cdot H^{x2}$ nach Tabelle 56

mit $H^x = H - 150$ cm.

Beim Ausbau des PVC-Filterrohres wurde eine 5 - 10 mm starke tonige Ummantelung des Rohres bis in ca. 150 cm Höhe über Prüfstandssohle gemessen. Diese Beobachtung unterstreicht die rechnerischen Ergebnisse, die eine Ergiebigkeitsminderung infolge der Trübeeinspülung analog dem Saugspülbohrverfahren auswiesen.

9.5. Schlußfolgerungen aus dem Versuchsergebnis

Das Versuchsergebnis bestätigt die Möglichkeit, daß bei Saugspülbohrungen eine Verringerung der späteren Ergiebigkeit möglich ist. Die Gefahr wird mit dem Vorhandensein mächtigerer bindiger Schichten im Deckgebirge wachsen, da dadurch der Feststoffgehalt im Spülwasser steigt. Beim Durchteufen sandiger Partien bestehen die Befürchtungen nicht, worauf auch die teilweise sehr guten Ergiebigkeiten bei Filterbrunnen, die nach dem Saugspülverfahren geteuft wurden, zurückzuführen sind [31]. Weiterhin ist nach der Fertigstellung sofort mit dem Klarpumpen bzw. mit dem Anfahren zu beginnen, um ein weiteres Absetzen der Feststoffteilchen nach Beendigung der Bohrarbeiten weitgehend zu verhindern, indem die restliche Spülflüssigkeit aus dem Bohrloch entfernt wird.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

10. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Filterkonstruktionen auf die grundwasserhydraulischen Vorgänge bei der Filterbrunnen- und Fallfilterentwässerung mußten geeignete Versuchseinrichtungen und Definitionen geschaffen werden. Es galt zunächst, eine zweckmäßige Kennziffer für die unterschiedliche Wasserdurchlässigkeit der Filterrohrbauformen zu finden, die sich für die Filterrohre mit geometrisch erfaßbaren Grundwasserdurchtrittsöffnungen ebenso bestimmen läßt wie für solche mit porösen Wandungen, deren Durchtrittsflächen nicht geometrisch berechenbar sind. Die Filterkennzahl Z erfaßt alle dem Grundwasserdurchtritt zur Verfügung stehenden freien Durchtrittsflächen, indem der Durchmesser des Filterrohres und der Anteil an freien Durchtrittsflächen, bezogen auf die Gesamtmantelfläche, berücksichtigt wird. Während der Anteil der freien Durchtrittsflächen für Eisenschlitzfilterrohre und Bitterfelder Stabfilterrohre durch Berechnung der Flächenanteile direkt bestimmt werden konnte, wurde für die Ermittlung der freien Durchtrittsflächen von Filterrohren mit porösen Wandungen und von Filtergeweben eine indirekte Bestimmung mittels Durchflußmengenmessungen angewendet.

Die Größen der freien Durchtrittsflächen betragen bei den untersuchten Filterrohrarten:

Eisenschlitzfilterrohre	12,1 - 31,3%
Bitterfelder Stabfilterrohre	6,7 - 12,2%
Betonfilterrohre	2,6%
Epoxydharzgeklebte Sand- und Kiesfilterrohre	1,8 - 3,3% (effektiv)

Die effektiven freien Durchtrittsflächen der Filtergewebe:

PCU-Tressen	29,3 - 32,1%
Polyamid-Tressen	21,2 - 29,9%
Filterjute	7,0%

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Bei der Berechnung der Filterkennzahlen ist zu berücksichtigen, daß die Eisenschlitzfilterrohre vor dem Einbau mit Filtergewebe umwickelt werden müssen, wodurch ihre freie Durchtrittsfläche erheblich reduziert wird. Daraus ergibt sich, daß für alle NW-Gruppen die Keramikfilterrohre die höchsten Filterkennzahlen erzielen, für NW 300 - 400 mit $Z = 19{,}3\ cm^2$, für NW 150 - 180 mit $Z = 4{,}9\ cm^2$ und für NW 80 mit $Z = 3{,}6\ cm^2$.

Da in den weiteren Betrachtungen gezeigt wird, daß die Durchtrittsgeschwindigkeit umgekehrt proportional der Filterkennzahl des eingebauten Filterrohres ist, ergibt sich hieraus eine Möglichkeit, die maximalen Durchtrittsgeschwindigkeiten durch Wahl von Filterrohren mit großen Filterkennzahlen möglichst niedrig zu halten. Geringe Eintrittsgeschwindigkeiten sind erforderlich, um die Alterung der Fallfilter und Filterbrunnen in tragbaren Grenzen zu halten, weil bei hohen Geschwindigkeiten Turbulenzerscheinungen auftreten, die die Verockerung der Filter, besonders in den stark eisenhaltigen Grundwässern der Lausitz, beschleunigen. Anhand von Beispielen wird gezeigt, daß bei Einbau verschiedener Filterrohrarten in die gleiche Entwässerungsbohrung die Grundwasserdurchtrittsgeschwindigkeiten um das 50-fache schwanken können und die R_e-Zahlen ebenfalls Schwankungen um das 30-fache aufweisen können.

Daraus ist zu schlußfolgern, daß für Filterbrunnen und Fallfilter mit längerer Lebensdauer den Keramikfiltern als Ausbauelement der Vorzug zu geben ist, da von ihnen die längste Lebensdauer aufgrund der geringeren Eintrittsgeschwindigkeiten zu erwarten ist. Hinzu kommt noch die strömungsgünstige Ausbildung der Wassereintrittsschlitze, die ebenfalls die Durchwirbelung einschränkt. Für kurzzeitige Entwässerungsmaßnahmen eignen sich die Einkornbetonfilterrohre trotz ihrer geringen Filterkennzahl, wenn sie mit Kiesschüttung und ohne Tressenumwicklung eingebaut werden, bei längerem Betrieb neigen sie stark zu Verockerungen. Ihr großer Vorteil ist der geringe Preis der nur $^1/_3$ bis $^1/_4$ des für gleichgroße Keramik- oder Eisenfilterrohre mit Gewebeumwicklung beträgt. Eisen-

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

schlitzfilterrohre sollten zur Deckgebirgsentwässerung nicht mehr verwendet werden. Ihre Filterkennzahlen liegen unter denen der Keramikfilterrohre und sie verockern ebenfalls schneller. Weiterhin bilden sie beim Überbaggern eine große Gefahr für die Transportbänder der Gewinnungs- und Transportgeräte, da ihre Reste zu Störungen des Betriebsablaufes und zu Beschädigungen der Transportbänder in vielen Fällen geführt haben, die Beton- und Keramikfilterrohre dagegen baggerfähig sind und ihre Bruchstücke gefahrlos gewonnen und gefördert werden können. Wenn Eisenfilterrohre zum Einsatz kommen, dann sollten es Schlitzbrückenfilterrohre sein, da diese bei Einbau mit einer Filterkiesschüttung auf die Gewebeumwicklung verzichten und deshalb sehr hohe Filterkennzahlen, die noch über denen der Keramikfilterrohre liegen, erreichen können. Leider werden Schlitzbrückenfilterrohre, die auch statisch bessere Eigenschaften als Schlitzfilterrohre haben, trotz vielfachen Bemühens in der DDR serienmäßig nicht hergestellt.

Müssen aus zwingenden Gründen der Materialbeschaffung vorübergehend Schlitzfilterrohre mit Gewebeumwicklung eingebaut werden, dann darf Filterjute dazu nicht mehr verwendet werden, weil hierdurch die Filterkennzahl minimale und die Eintrittsgeschwindigkeit des Grundwassers maximale Werte erreicht. Die in der DDR produzierten PCU- und Polyamidfiltertressen eignen sich hierfür besser, da sie korrosionsbeständig, nicht quellend, mechanisch fester und wesentlich durchlässiger sind als Jute. Die in der Tabelle 9 ausgewiesenen effektiven Durchtrittsflächen für poröse Filtermaterialien schwanken zwischen 1,8 und 3,3%, wobei der Betonfilter mit 2,6% recht gut liegt. Diese geringen Werte bedingen entsprechend hohe Eintrittsgeschwindigkeiten mit den damit verbundenen Nachteilen. Allerdings haben die epoxydharzgeklebten Sand- und Kiesfilter dem Betonfilter gegenüber den Vorteil, daß ihre Körner abgerundet sind, während die Splittzuschlagstoffe des Betons scharfe Kanten aufweisen, die die Wasserdurchwirbelung erhöhen. Dieser Vorzug kann aber nur wirksam werden, wenn die momentan sehr hohen Kosten der Versuchsfilter bei der Serienproduktion stark gesenkt werden können.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Nachdem eine Klassifizierung aller Filterrohrarten möglich ist, konnte auf experimentellem Wege die Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Filterkonstruktionen auf die Ergiebigkeit unter konstanten hydrogeologischen Verhältnissen in einem hierfür gebauten Prüfstand erfolgen.

Die Versuchsauswertung mittels Methoden der mathematischen Statistik ergab, daß die Ergiebigkeit von der Art des Ausbaues der Entwässerungsbohrung im Neuzustand unabhängig ist, wenn dieser so beschaffen ist, daß Verstopfungen und Versandungen ausgeschlossen werden. Die Strömung zur Entwässerungsbohrung ist nur abhängig von den geometrischen Randbedingungen. Für den Fallfilter konnte die Ergiebigkeit im stationären Strömungszustand nach einer modifizierten Brunnenformel ermittelt werden.

Daraus geht hervor, daß in der Dupuitschen Brunnenformel mit h_o der Brunnenwasserspiegel erfaßt ist, der für Fallfilter in $h_o = 0$ übergeht. Die vielfach angeführte Unstimmigkeit der Formel, die für $h_o = 0$ die maximale Ergiebigkeit ausweist, aber dafür keine Eintrittsfläche am Brunnenmantel vorhanden ist, weil eben $h_o = 0$ ist, kann nun erklärt werden. Da h_o die Höhe des Brunneninnenwasserspiegels darstellt, tritt bei seiner vollständigen Absenkung das Ergiebigkeitsmaximum auf und die Eintrittsfläche für das zuströmende Grundwasser ist nach wie vor vorhanden, da die Grundwasserspiegelabsenkung am Filteraußenmantel nur bis zu einem Betrag $h_m > h_o$ erfolgen kann, der im wesentlichen von der Sickerstrecke s_1 gebildet wird. Im Zusammenhang damit wurde durch Messungen der Sickerstrecken bei den Prüfstandsversuchen eine neue Beziehung zur Berechnung der Sickerstrecke bei Fallfiltern gewonnen, die im Gegensatz zu dem bisher Bekannten in den Grenzen $20{,}0 \leqq \frac{H}{r_o} \leqq 165$ gilt und somit alle praktisch vorkommenden Bereiche umfaßt. Eine experimentelle Darstellung des möglichen Einflusses der Anwendung des Saugspülbohrens beim Teufen von Entwässerungsbohrungen auf die Ergiebigkeit schließt die Prüfstandsuntersuchungen mit dem Ergebnis ab, daß beim Vorhandensein bindiger Deckgebirgsschichten eine Ergiebigkeits-

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

minderung durch Verkleben der Bohrlochwände durch die in der Bohrflüssigkeit enthaltenen Tonteilchen möglich ist.

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

11. Verzeichnis der verwendeten Symbole

Symbol	Dimension	Bezeichnung
D	-	Differenz
D_{50}	[mm]	Korngröße des Filterkieses für 50% Siebrückstand
E	-	Erwartungswert
F	-	Testgröße eines Streuungsverhältnisses
F	[cm^2]	Durchflossene Fläche
F_D	[%]	Freie Durchtrittsfläche eines Filterrohres, bezogen auf die Gesamtmantelfläche
F_{Deff}	[%]	Effektive freie Durchtrittsfläche von Filterrohren und -geweben, bezogen auf die Gesamtfläche
F_{Dr}	[%]	Freie Durchtrittsfläche des einbaufertigen Filterrohres
F_{WD}	[cm^2]	Wasserdurchtrittsfläche
F_5, F_{10}, F_{20}	[m^2]	Durchflußfläche von 5, 10 und 20mm Durchmesser
H	[m],[cm]	Höhenlage des Grundwasserspiegels über der undurchlässigen Sohle
H_m	[m]	Mittelwert für H

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Symbol	Dimension	Bezeichnung
H'	[m]	Wasserspiegelhöhe über der Ausflußöffnung
H^x	[cm]	Reduzierter Betrag von H
M	[m]	Mächtigkeit des Grundwasserleiters
N	-	Gesamtzahl der Einzelwerte
$N_{q_{10}}$	-	Nummern von q_{10}
N_z	-	Nummern von Z
P	-	Irrtumswahrscheinlichkeit
Q	[m^3/s]	Durchflußmenge
Q_{Deff}	[m^3/s]	Effektive Durchflußmenge bei verringerter Durchflußfläche
$Q_{exp.}$	[m^3/s], [l/min]	Gemessene Durchflußmenge
$Q_{th.}$	[m^3/s], [l/min]	Theoretische Durchflußmenge
Q_5, Q_{10}, Q_{20}	[l/min]	Gemessene Durchflußmengen bei Durchflußflächen von 5, 10 und 20 mm Durchmesser
R	[m]	Reichweite des Absenkungstrichters
R_e	-	Reynold'sche Zahl
R_R	[m]	Reichweite (Nahrgang)

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Symbol	Dimension	Bezeichnung
R_i	[m]	Brunnenradius (Nahrgang)
T	-	Quotient zweier Streuungen
Z	[cm^2] [cm^2/cm]	Filterkennzahl
a	[m], [mm]	Abstand
b	[mm]	Abstand
c	-	Konstante
d_a	[mm]	Filterrohrdurchmesser
d_{50}	[mm]	Korngröße des Bodenmaterials bei 50% Siebrückstand
f	[cm^2]	Flächeninhalt eines Loches
g	[m/s^2]	Erdbeschleunigung
h_m	[m], [cm]	Grundwasserspiegelhöhe am Filteraußenmantel
h_o	[m], [cm]	Wasserspiegelhöhe im Filterrohrinneren
i	-	Grundwasserspiegelgefälle
i	-	Anzahl der Meßwerte

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Symbol	Dimension	Bezeichnung
k	-	Anzahl der Gruppen
k_f	[m/s]	Durchlässigkeitsbeiwert
k_{f10}	[m/s]	Durchlässigkeitsbeiwert bei einer Wassertemperatur von 10°C
k_{fm}	[m/s]	Mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert
k_2, k_4	-	Gewöhnliche Fishersche k-Stichprobenfunktionen
l	-	Anzahl der Meßwerte je Gruppe
l	[cm]	Längeneinheit
n	-	Anzahl der Löcher oder Wertepaare
n	-	Quotient zweier Korngrößen
n_1, n_2	-	Freiheitsgrade
n_1', n_2'	-	Modifizierte Freiheitsgrade
p	[at]	Barometerdruck
q	[m³/s] [l/s] [l/min]	Ergiebigkeit
q_m	[l/s]	Mittlere Ergiebigkeit
q_t	[l/s]	Ergiebigkeit bei einer Wassertemperatur von t°C

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Symbol	Dimension	Bezeichnung
q_{10}	[l/s]	Ergiebigkeit bei einer Wassertemperatur von 10°C
q^x	[l/s]	Reduzierte Ergiebigkeit nach der Trübeeinspülung
r_o	[m]	Wirksamer Radius der Entwässerungsbohrung
s	[m]	Absenkung des Wasserspiegels im Filterrohr
s^2	-	Streuung
s_i	[m], [cm]	Sickerstrecke
s_i^2	-	Streuung innerhalb der Gruppen
s_o	[m]	Wasserspiegelhöhe am Brunnenaußenmantel (Nahrgang)
s_z^2	-	Streuung zwischen den Gruppen
$s_1^2 \dots s_k^2$	-	Streuungen der Gruppen 1 bis k
t	[°C]	Wassertemperatur
v	[m/s]	Fließgeschwindigkeit
v_F	[m/s]	Filtergeschwindigkeit
v_m	[m/s]	Mittlere Fließgeschwindigkeit
v_o	[m/s]	Absenkungsgeschwindigkeit des Gefäßwasserspiegels

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Symbol	Dimension	Bezeichnung
x, x_1, x_2	[m]	Veränderliche Abstände
$x_1 \dots x_n$	-	Meßwerte
$\bar{x}$	-	Durchschnitt
$\bar{\bar{x}}$	-	Gesamtdurchschnitt aller Meßwerte
$\bar{x}_1 \dots \bar{x}_k$	-	Mittelwerte der Gruppen 1 bis k
y_1, y_2	[m]	Veränderliche Höhen des Grundwasserspiegels
Γx	-	Exzeßmaß
$\sum$	-	Summe
α	[mm]	Schlitzlänge
α	-	Quotient aus s zu H
β	[mm]	Schlitzbreite
γ	[Mp/m^3]	Wichte des Wassers
δ_m	-	Modifikationskoeffizient
η	-	Quotient aus s_o und H
$\mathcal{H}$	-	Quotient aus v_{max} zu v_{min}
μ	-	Ausflußbeiwert, Quotient aus Q_{exp} zu Q_{th}
μ_m	-	Mittlerer Ausflußbeiwert

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Symbol	Dimension	Bezeichnung
ν	$[m^2/s]$	Kinematische Zähigkeit des Wassers
ν_t	$[m^2/s]$	Kinematische Zähigkeit des Wassers bei t^oC Wassertemperatur
ν_{10}	$[m^2/s]$	Kinematische Zähigkeit des Wassers bei 10^oC Wassertemperatur
ϱ	-	Spearman-Pearsonscher Korrelationskoeffizient

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

12. Verzeichnis der verwendeten Literatur

1 Darcy, H.: Les fontaines publiques de la ville de Dijon Paris 1856

2 Smreker, O.: Entwicklung eines Gesetzes über den Widerstand bei der Bewegung des Grundwassers Zeitschrift d. Vereins Deutscher Ingenieure. 22. Bd. 1778

3 Holler, H.: Zum Strömungsgesetz der Grundwasserbewegung Deutsche Wasserwirtschaft 1941

4 Wenzel, L.: Methods for determining permeability of water - bearing materials, with special reference to discharging - well methods United States Department of the Interior Water Supply Paper 887

5 Dupuit: Etudes theoretiques et pratriques sur le mouvement des eaux a travers les terrains permeables 1863

6 Setinsky: Neue Formeln zur Berechnung der Ergiebigkeit von Brunnen Gas- und Wasserfach 1937

7 Müller-Delitzsch, G.: Grundlagen der Grundwassergewinnung Leipzig 1951

8 Nehls, K.-D.: Eine neue Brunnentheorie und ihre praktische Anwendung Diss. 1963 TU Dresden

9 Kozeny, J.: Theorie und Berechnung der Brunnen Wasserkraft und Wasserwirtschaft 1933

SLUB Wir führen Wissen. UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

10 Nahrgang, G.: Zur Theorie des vollkommenen und unvollkommenen Brunnens
Berlin - Göttingen - Heidelberg 1954

11 Heinrich, G.: Die strenge Lösung für die Ergiebigkeit eines vollkommenen Brunnens
Ingenieur-Archiv 1963

12 Ehrenberger, R.: Versuche über die Ergiebigkeit von Brunnen und Bestimmung der Durchlässigkeit von Sanden
Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins 1928

13 Hall, H. P.: An investigation of steady flow toward a gravity well
La Houille Blanche Jan.-Fev. 1955

14 Öllös, G. u. Übell, K.: Relation between discharge and hydrodynamic conditions in the vicinity of the well
Veröffentlichung Nr. 57 der J. A. S. H.

15 Hübner, J.: Ermittlung von geeigneten Materialien für Fallfilterrohre
Abschlußbericht der F/E-Aufgabe
08 00/1 - 29/0B des VEB BKW John Scheer Laubusch

16 Matschak, H. Walde, M.: Hydrologische Spezialuntersuchungen
Abschlußbericht der F/E-Aufgabe
08 01 02/3-256/1 des DBI Freiberg

17 Strzodka, K.: Beitrag zur Hydrologie und Entwässerungstechnik im Braunkohlentagebau
Freiberger Forschungshefte A 322 1964

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

18 Forchheimer, Ph.: Hydraulik
Leipzig und Berlin 1914

19 Bieske, E.: Bohrbrunnen
München 1953

20 Zweck und Davidenkoff: Über die Zusammensetzung von Filtern; Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 1956, H. 6

21 Linder, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure
Basel und Stuttgart 1960

22 Graf, U. und Henning, H.-J.: Statistische Auswertung
Meliand Textilberichte 1953/1

23 Box, G.E.P. u. Watson, G. S.: Die Robustheit von Regressionstesten gegenüber Nichtnormalität
Biometrika 49. Jg. 1962

24 Fisher, R. A.: Contributions to mathematical statistics
John Wiley & Sons, Inc. New York
Chapman & Hall Ltd. London 1950

25 Bieske, E.: Erfahrungen mit den wichtigsten Brunnenfiltererten
Bohrtechnik und Brunnenbau 2. Jg. 1951

26 Petersen, J. S.: Rohwer, C. u. Albertson, M. L. Einfluß der Brunnenfilter auf die Einströmung in Brunnen
Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau 1963

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

27 Bosold, H.: Beitrag zur Theorie des vollkommenen Brunnens
Dissertation 1963 HfB Leipzig

28 Nahrgang, G.: Über die Anströmung von Vertikalbrunnen mit freier Oberfläche im einförmig homogenen sowie im geschichteten Grundwasserleiter
Schriftenreihe des Deutschen Arbeitskreises Wasserforschung e. V. Heft 6 1965

29 Gerb, L.: Chemische Vorgänge an Grundwasserfassungen
Gas- u. Wasserfach 97. Jg. 1956

30 Jäkel, G.: Ergiebigkeitsminderung von Brunnen infolge Verockerung
Wasserwirtschaft - Wassertechnik 1959

31 Feil, W.: Die Methode des Saugbohrens
Die Wasserwirtschaft 1964

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Verzeichnis der Tabellen und Anlagen

Tabelle 1 : Baulängen, Einbaumassen und Preise von Eisenschlitz-, Beton- und Keramikfilterrohren

Tabelle 2 : Tressengewebe aus PCU-Runddraht

Tabelle 3 : Tressen- und Köpergewebe aus Polyamiddraht

Tabelle 4 : Abmessungen und freie Durchtrittsflächen der untersuchten Eisenfilterrohre

Tabelle 5 : Abmessungen und freie Durchtrittsflächen der untersuchten Keramikfilter (Bitterfelder Stabfilter)

Tabelle 6 : Ergebnis der Kontrollversuche zur Methode der indirekten Bestimmung der freien Durchtrittsfläche

Tabelle 7 : Berechnung der μ -Faktoren für die Auslaufversuche - Ausflußrohr mit 20 mm Lochdurchmesser

Tabelle 8 : Berechnung der μ -Faktoren für die Auslaufversuche - Ausflußrohr mit 48 mm Lochdurchmesser

Tabelle 9 : Bestimmung der effektiven freien Durchtrittsflächen für poröse Filtermaterialien und Filtergewebe

Tabelle 10: Berechnung der Filterkennzahlen

Tabelle 11: Bodenmechanische Kennziffern aus dem Tagebau Kleinleipisch

Tabelle 12: Bestimmung der Durchlässigkeitskoeffizienten

Tabelle 13: Bodenmechanische Kennziffern des Dresdener Sandes

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 14: Bestimmung der Durchlässigkeitskoeffizienten

Tabelle 15: Fallfilterergiebigkeit in Abhängigkeit von der Wasserdruckhöhe im Filterprüfstand bei Kleinleipischer Sand, Einbaudurchmesser 540 mm

Tabelle 16: - " - , Einbaudurchmesser 300 mm

Tabelle 17: - " - , Einbaudurchmesser 220 mm

Tabelle 18: Fallfilterergiebigkeit in Abhängigkeit von der Wasserdruckhöhe im Filterprüfstand bei Dresdener Sand, Einbaudurchmesser 540 mm

Tabelle 19: - " - , Einbaudurchmesser 300 mm

Tabelle 20: - " - , Einbaudurchmesser 220 mm

Tabelle 21: Korrelation Filterkennzahl - korrigierte Ergiebigkeit für Kleinleipischer Sand

Tabelle 22: Korrelation Filterkennzahl - korrigierte Ergiebigkeit für Dresdener Sand

Tabelle 23: Streuungsanalyse, Kleinleipischer Sand, Druckhöhe 2,60 m

Tabelle 24: Streuungsanalyse, Kleinleipischer Sand, Druckhöhe 2,10 m

Tabelle 25: Streuungsanalyse, Kleinleipischer Sand, Druckhöhe 1,70 m

Tabelle 26: Streuungsanalyse, Kleinleipischer Sand, Druckhöhe 1,30 m

Tabelle 27: Streuungsanalyse, Kleinleipischer Sand, Druckhöhe 0,90 m

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 28: Streuungsanalyse, Kleinleipischer Sand, Druckhöhe 0,40 m

Tabelle 29: Streuungsanalyse, Dresdener Sand, Druckhöhe 2,60m

Tabelle 30: Streuungsanalyse, Dresdener Sand, Druckhöhe 2,10m

Tabelle 31: Streuungsanalyse, Dresdener Sand, Druckhöhe 1,70m

Tabelle 32: Streuungsanalyse, Dresdener Sand, Druckhöhe 1,30m

Tabelle 33: Streuungsanalyse, Dresdener Sand, Druckhöhe 0,90m

Tabelle 34: Streuungsanalyse, Dresdener Sand, Druckhöhe 0,40m

Tabelle 35: Approximation der q_m-H-Abhängigkeit für Versuche mit Kleinleipischer Sand, Bohrdurchmesser 540 mm

Tabelle 36: - " - , Bohrdurchmesser 300 mm

Tabelle 37: - " - , Bohrdurchmesser 220 mm

Tabelle 38: Approximation der q_m-H-Abhängigkeit für Versuche mit Dresdener Sand, Bohrdurchmesser 540 mm

Tabelle 39: - " - , Bohrdurchmesser 300 mm

Tabelle 40: - " - , Bohrdurchmesser 220 mm

Tabelle 41: Auswertung der Fallfilterschüttung in Abhängigkeit von der Wasserstandshöhe für PVC-Filterrohr NW 28

Tabelle 42: Berechnung der k_{f10}-Wert-Verteilung für Versuche mit Kleinleipischer Sand, Einbaudurchmesser 540mm

Tabelle 43: - " - , Einbaudurchmesser 300mm

Tabelle 44: - " - , Einbaudurchmesser 220mm

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 45: Berechnung der k_{f10}-Wert-Verteilung für Versuche mit Dresdener Sand, Einbaudurchmesser 540 mm

Tabelle 46: - " - , Einbaudurchmesser 300 mm

Tabelle 47: - " - , Einbaudurchmesser 220 mm

Tabelle 48: - " - , Einbaudurchmesser 34 mm

Tabelle 49: Messung der Höhe des Wassereintritts in Fallfilter für den Bereich bis $\frac{H}{r_o} = 165$ an Filterrohren

Tabelle 50: Approximation der Meßwerte für die Wasserspiegelhöhe am Fallfilteraußenmantel bis zum Bereich $\frac{H}{r_o} = 165$

Tabelle 51: Berechnung der Parameter s_o/H, R_a/H, R_i/H aus den Meßergebnissen im Filterprüfstand für Filterrohre NW 28 und NW 85 mm

Tabelle 52: Einfluß der Filterkonstruktion auf die maximale Wassereintrittsgeschwindigkeit bei unterschiedlichem Einbaudurchmesser

Tabelle 53: Einfluß der Filterkonstruktion auf die maximale Wassereintrittsgeschwindigkeit bei konstantem Einbaudurchmesser

Tabelle 54: Berechnung der R_e-Zahlen für 3 Beispiele beim Ausbau von Entwässerungsbohrungen mit verschiedenen Filterrohrarten

Tabelle 55: Untersuchungsergebnisse der Spülflüssigkeitsproben beim Saugspülbohren im Tagebau Welzow-Süd

Tabelle 56: Auswertung der Fallfilterschüttung in Abhängigkeit von der Wasserstandshöhe für PVC-Filterrohr NW 28 nach vorheriger Trübeeinspülung

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Anlage 1 : Grundwasserströmung mit freier Oberfläche zum vollkommenen Brunnen mit Dupuitschen Annahmen

Anlage 2 : Filterrohre aus unterschiedlichen Werkstoffen

Anlage 3 : Anordnung der Wassereintrittsöffnungen

Anlage 4 : Filtergewebearten

Anlage 5 : Prinzipskizze des Versuchsstandes zur indirekten Bestimmung der freien Durchtrittsflächen

Anlage 6 : Schnitt durch die Düse zur Aufnahme von Filtergewebeproben

Anlage 7 : Schnitt durch den Stutzen für Proben aus porösem Filtermaterial

Anlage 8 : Bestimmung der effektiven Durchtrittsflächen im Auslaufversuch bei verschiedenen Druckhöhen

Anlage 9 : - " -

Anlage 10 : Filterprüfstand DBI

Anlage 11 : Abdichtung der Wasseraustrittsöffnung am Prüfstandsboden

Anlage 12 : Foto des gleichen Versuchsstandes

Anlage 13 : Gemittelte Kornverteilungskurve - Kleinleipischer Sand

Anlage 14 : Durchlässigkeitsbeiwerte k_{f10} in Abhängigkeit von der Entnahmehöhe nach Laboruntersuchungen

Anlage 15 : Gemittelte Kornverteilungskurve - Dresdener Sand

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Anlage 16 : Kornverteilungskurve für Filterkies 2 - 4 mm

Anlage 17 : " " " 4 - 7 mm

Anlage 18 : Kurve der Normalverteilung

Anlage 19 : Abhängigkeit der Fallfilterergiebigkeit von der Wasserstandshöhe, Versuchsreihe mit Kleinleipischer Sand

Anlage 20 : - " - , Versuchsreihe mit Dresdener Sand

Anlage 21 : Darstellung der Abhängigkeit zwischen Wasserstandshöhe und Fallfilterschüttung für PVC-Filterrohr NW 28

Anlage 22 : Vergleich der k_{f10}-Wert-Verteilung nach den Laboruntersuchungen und den Prüfstandsmessungen für Kleinleipischer Sand

Anlage 23 : - " - , für Dresdener Sand

Anlage 24 : k-Wert-Verteilung aus Prüfstandsmessungen mit PVC-Filterrohr und Dresdener Sand

Anlage 25 : Meßprinzip zur Bestimmung des oberen Wassereintritts in das Filterrohr

Anlage 26 : Wasserspiegelhöhe am Brunnenaußenmantel bei vollständig abgesenktem Brunnenwasserspiegel in Abhängigkeit von H und r_o nach der Formel von Öllös und nach eigenen Messungen

Anlage 27 : Übertragung der Meßwerte für die Sickerstrecke in die von Nahrgang (Lit. 28) gewählte Darstellung

Anlage 28 : Fallfilter und Filterbrunnen gleicher Entwässerungswirkung

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Anlage 29 : Feststoffgehalte der Bohrtrübe beim Saugspülbohren in Abhängigkeit von den anstehenden Bodenarten

Anlage 30 : Prinzipskizze der Versuchseinrichtung am Filterprüfstand zur Untersuchung des Einflusses der Bohrtechnologie auf die Ergiebigkeit

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 1:

Filterart	NW	Baulänge	Einbaumasse	Preis
	[mm]	[m]	[kg/m]	[MDN / m]
Eisenfilter-rohr	80	2,0 - 4,0	4,7	9,20
	180	2,0 - 4,0	16,1	18,50
	300	2,0 - 4,0	28,0	28,20
	350	2,0 - 4,0	32,9	35,70
	400	2,0 - 4,0	45,3	40,20
Betonfilter-rohr	80	0,50	16,0	2,70
	150	0,75	43,2	6,90
	350	0,75	120,0	18,15
Stabfilterrohr	80	0,5	15,0	8,00
	150	1,0	33,0	25,75
	300	1,0	68,0	50,00
	400	1,0	105,0	70,00

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 2: Tressengewebe aus PCU - Runddraht, doppelkettig, glatt

Gewebe-Nr. Anzahl der Drähte per Zoll	Drahtdicke d [mm]	[MDN/m^2]
1 1/2	1,50	15,90
6	0,50	8,70
8	0,40	7,40
10	0,40	7,65
12	0,40	7,90

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 3: Tressengewebe aus Polyamid-Draht

doppelkettig, glatt

Gewebe Nr. Anzahl der Drähte per Zoll	Drahtdicke d [mm]	[MDN/ m^2]
12	0,35/0,25	15,35
12	0,30/0,30	15,40
12	0,50/0,40	16,00
16	0,35/0,25	16,20
16	0,25/0,25	15,50
16	0,25/0,20	15,00
16	0,40/0,35	17,50
20	0,20/0,20	15,80
20	0,25/0,20	16,20
24	0,25/0,15	21,30
Köpergewebe aus Polyamid-Draht doppelkettig		
26	0,25/0,25	35,70
26	0,25/0,15	45,30

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 4: Abmessungen und freie Durchtrittsflächen der untersuchten Eisenfilterrohre

Filter-Nr.	NW	Durchmesser außen	Durchmesser innen	Lochung Größe	Lochung Anordnung	Anzahl der Lochungen	f	F_L	F	F_D
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(Stck)	(cm^2)	(cm^2)	(cm^2)	(%)
1	350	362	352	4,8 x 24,7	längs versetzt	2352	1,136	2671,9	10 662,1	25,1
2	350	363	353	4,8 x 24,7	längs in Reihe	1190	1,136	1351,8	11 170,2	12,1
3	350	354	344	4,8 x 24,4	längs in Reihe	2268	1,122	2544,7	10 671,0	23,9
4	300	306	296	4,8 x 24,6	längs in Reihe	1960	1,131	2216,8	9 176,0	24,2
5	400	415	403	5,0 x 29,5	quer versetzt	2112	1,421	3001,0	12 509,8	24,0
6	400	409	397	4,9 x 24,8	längs in Reihe	2632	1,144	3011,0	12 457,3	24,2
7	180	185	175	4,8 x 24,0	längs, versetzt	1296	1,103	1429,5	5 780,0	24,7
8	180	185	175	3,8 x 24,0	längs, versetzt	2040	0,881	1797,2	5 750,9	31,3
9	80	85	79	4,8 x 24,8	längs, versetzt	504	1,141	575,1	2 655,7	21,7

f = Flächeninhalt eines Loches (cm^2)

F_L = f . n = Gesamtflächeninhalt aller Lochungen (cm^2)

F = Gesamtmantelfläche (cm^2)

F_D = freie Durchtrittsfläche (%)

$$F_D = \frac{f \cdot n}{F} \quad (\%)$$

SLUB Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 5: Abmessungen und freie Durchtrittsflächen der untersuchten Keramikfilter
- Bitterfelder Stabfilter -

Filter-Nr.	NW	Durchmesser außen	Durchmesser innen	Schlitz-Weite (außen)	Schlitz-Länge (außen)	Anzahl der Schlitze	Fs	Lochgröße	f	Lochanzahl (innen)	F_L	F	F_D
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(Stck)	(cm^2)	(mm x mm)	(cm^2)	(Stck)	(cm^2)	(cm^2)	(%)
13	400	503	415	2,7	790	92	1962,4	12 x 38	4,56	460	2097,6	16110,0	12,2
14	300	389	303	1,3	830	76	820,0	10 x 38	3,80	418	1588,4	12214,6	6,7
15	150	225	167	1,3	870	44	497,6	10 x 38	3,80	242	919,6	7135,7	7,0
16	80	137	80	1,7	435	24	177,5	8 x 38	3,04	84	255,4	2150,9	8,3

Fs = Gesamtflächeninhalt der Schlitze (cm^2)

f = Flächeninhalt eines Loches (cm^2)

F_L = n . f = Gesamtflächeninhalt aller Lochungen (cm^2)

F = Gesamtmantelfläche (cm^2)

F_D = freie Durchtrittsfläche (%)

$F_D = \frac{f \cdot n}{F} \times 100\ \%$ bzw. $F_D = \frac{Fs}{F} \cdot 100\ (\%)$

SLUB Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 6: Ergebnis der Kontrollversuche zur Methode der indirekten Bestimmung der freien Durchtrittsflächen

Düsen bzw. Blendenbohrung	Flächeninhalt F	Verhältnis der Flächen zueinander	Durchflußmengen Q Mittel aus 10 Messungen	Verhältnis der Durchflußmengen zueinander
∅ (mm)	(mm^2)	-	(l/min)	-
20	314,2	1	88,10	1
10	78,5	1/4 = 0,2500	20,00	0,2270
5	19,6	1/16= 0,0625	5,65	0,0645

SLUB Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Berechnung der μ-Faktoren für die Auslaufversuche

$$\mu = \frac{Q\ exp.}{Q\ th}$$

$$Qth = F \cdot \sqrt{2\ g \cdot H'} \quad (m3/s)$$

Tabelle 7: Ausflußrohr mit 20 mm Lochdurchmesser

$$F = 3.142 \cdot 0{,}01^2\ (m^2)$$

$$Q\ th = 3{,}142 \cdot 0{,}01^2 \cdot 4{,}43 \sqrt{H'} \quad (m\ 3/s)$$

H'	$\sqrt{H'}$	$\sqrt{2gH'}$	$F_{20} \cdot \sqrt{2\ g\ H'}$	Qth	Qexp	Qexp	μ
(m)	(m1/2)	(m/s)	(m 3/s)	(l/s)	(l/min)	(l/s)	-
0,27	0,520	2,304	$7{,}239 \cdot 10^{-4}$	0,724	31,00	0,517	0,714
0,47	0,686	3,039	$9{,}549 \cdot 10^{-4}$	0,955	40,34	0,672	0,704
0,67	0,819	3,628	$11{,}399 \cdot 10^{-4}$	1,140	49,90	0,832	0,730
0,87	0,933	4,133	$12{,}986 \cdot 10^{-4}$	1,299	57,41	0,957	0,737
1,07	1,034	4,581	$14{,}394 \cdot 10^{-4}$	1,439	66,57	1,110	0,771
1,27	1,127	4,993	$15{,}688 \cdot 10^{-4}$	1,569	70,00	1,167	0,744
1,47	1,212	5,369	$16{,}869 \cdot 10^{-4}$	1,687	75,60	1,260	0,747

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 8: Ausflußrohr mit 48 mm Lochdurchmesser

$$F = \pi r^2 = 3{,}142 \cdot 0{,}024^2 \ (m^2)$$

$$Q\ th = 3{,}142 \cdot 0{,}024^2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot H'} \quad (m^3/s)$$

$$Q\ th = 18{,}086 \cdot 10^{-4} \cdot 4{,}43 \sqrt{H'} \quad (m^3/s)$$

H'	$\sqrt{H'}$	$\sqrt{2g\,H'}$	$F_{48} \cdot \sqrt{2\,g\,H'}$	Q th	Q exp	Q exp	μ
(m)	(m 1/2)	(m/s)	(m 3/s)	(l/s)	(l/min)	(l/s)	-
0,27	0,520	2,304	$41{,}670 \cdot 10^{-4}$	4,167	166,9	2,782	0,668
0,47	0,686	3,039	$54{,}965 \cdot 10^{-4}$	5,496	241,5	4,025	0,732
0,67	0,816	3,628	$65{,}616 \cdot 10^{-4}$	6,562	307,5	5,125	0,781
0,87	0,933	4,133	$74{,}749 \cdot 10^{-4}$	7,475	372,2	6,203	0,830
1,07	1,034	4,581	$82{,}852 \cdot 10^{-4}$	8,285	412,5	6,875	0,830
1,27	1,127	4,993	$90{,}303 \cdot 10^{-4}$	9,030	448,0	7,466	0,827
1,47	1,212	5,369	$97{,}104 \cdot 10^{-4}$	9,710	485,3	8,088	0,833

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 9: Bestimmung der effektiven freien Durchtrittsflächen für poröse Filtermaterialien und Filtergewebe

$$F_{Deff} = \frac{Q_{Deff} \cdot 100}{Q} \quad (\%)$$

Filter-material u. Gewebe	Druckstufe 0,27 m			0,47 m			0,67 m			0,87 m			1,07 m			1,27 m			1,47 m			Mittelwert f. F_{Deff}
	Q	Q_{Deff}	F_{Deff}	Q	Q_{Deff}	F_{Deff}	Q	Q_{Deff}	F_{Deff}	Q	Q_{Deff}	F_{Deff}	Q	Q_{Deff}	F_{Deff}	Q	Q_{Deff}	F_{Deff}	Q	Q_{Deff}	F_{Deff}	
[illegible]	166,9	4,50	2,70	241,5	6,50	2,69	307,5	8,00	2,60	372,2	9,00	2,42	412,5	10,30	2,50	448,0	11,50	2,57	485,3	12,50	2,58	2,58
[illegible]	166,9	3,00	1,80	241,5	4,00	1,66	307,5	5,25	1,71	372,2	7,00	1,88	412,5	8,00	1,94	448,0	8,50	1,90	485,3	9,00	1,85	1,82
[illegible]	166,9	4,00	2,40	241,5	6,00	2,48	307,5	8,00	2,60	372,2	9,00	2,42	412,5	10,50	2,54	448,0	11,50	2,57	485,3	12,00	2,47	2,50
[illegible]	166,9	5,50	3,30	241,5	8,50	3,52	307,5	10,50	3,41	372,2	12,00	3,22	412,5	13,50	3,27	448,0	14,50	3,24	485,3	16,00	3,30	3,32
[illegible]ly 12	31,0	6,50	20,97	40,34	8,20	20,38	49,9	9,90	19,84	57,41	12,00	20,90	66,57	14,80	22,20	70,0	15,70	22,40	75,6	16,60	22,00	21,24
[illegible]ly 16	31,0	7,60	24,52	40,34	10,00	24,79	49,9	12,90	25,85	57,41	15,00	26,13	66,57	17,60	26,44	70,0	18,50	26,43	75,6	19,50	25,79	25,71
[illegible]ly 20	31,0	9,00	29,03	40,34	11,70	29,00	49,9	14,40	28,86	57,41	17,90	31,18	66,57	20,00	30,04	70,0	21,00	30,00	75,6	22,50	29,76	29,93
[illegible]ly 26	31,0	1,80	5,81	40,34	2,40	5,95	49,9	3,00	6,01	57,41	3,60	6,27	66,57	4,00	6,01	70,0	4,30	6,14	75,6	4,70	6,22	6,06
[illegible] U 8	31,0	9,00	29,03	40,34	12,30	30,49	49,9	14,70	29,46	57,41	17,00	29,61	66,57	19,00	28,54	70,0	21,00	30,00	75,6	21,30	28,17	29,33
[illegible] U10	31,0	9,30	30,00	40,34	12,00	29,75	49,9	15,00	30,01	57,41	17,00	29,61	66,57	20,40	30,64	70,0	21,80	31,14	75,6	21,90	28,96	30,02
[illegible] U12	31,0	10,00	32,26	40,34	12,47	30,91	49,9	16,20	32,46	57,41	18,70	32,57	66,57	21,20	31,85	70,0	23,10	33,00	75,6	24,00	31,75	32,11
[illegible]te	31,0	2,20	7,10	40,34	2,85	7,06	49,9	3,50	7,01	57,41	4,00	6,97	66,57	4,65	6,99	70,0	4,90	7,00	75,6	5,35	7,08	7,03

Q = Durchflußmenge ohne eingesetzte Materialprobe (l/min)

Q_{Deff} = Durchflußmenge mit eingesetzter Materialprobe (l/min)

F_{Deff} = Effektive Durchtrittsfläche (%)

Ergebnisse der Einzelproben von Einkornbetonfilterrohren

[illegible]be 1	166,9	4,50	2,70	241,5	6,30	2,61	307,5	8,10	2,64	372,2	9,50	2,55	412,5	10,40	2,52	448,0	11,10	2,48	485,3	12,10	2,49	
[illegible]be 2	166,9	4,80	2,86	241,5	6,20	2,58	307,5	7,70	2,50	372,2	9,20	2,47	412,5	9,90	2,40	448,0	11,20	2,50	485,3	12,20	2,51	
[illegible]be 3	166,9	4,50	2,70	241,5	6,70	2,77	307,5	7,80	2,54	372,2	8,70	2,34	412,5	10,00	2,42	448,0	11,70	2,61	485,3	12,70	2,62	
[illegible]be 4	166,9	4,30	2,58	241,5	6,90	2,86	307,5	8,00	2,60	372,2	8,70	2,34	412,5	10,80	2,62	448,0	12,10	2,70	485,3	13,10	2,70	
[illegible]be 5	166,9	4,40	2,64	241,5	6,40	2,65	307,5	8,40	2,73	372,2	8,90	2,39	412,5	10,40	2,52	448,0	11,40	2,54	485,3	12,40	2,56	
[illegible].1-5	166,9	4,50	2,70	241,5	6,50	2,69	307,5	8,00	2,60	372,2	9,00	2,42	412,5	10,25	2,50	448,0	11,50	2,57	485,3	12,50	2,58	

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 10: Berechnung der Filterkennzahlen

Filter-Nr.	Filtermaterial	NW	da	F_D	F_{Deff}	F_{Dr}	Z
		(mm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	(cm^2)
1	Eisen	350	36,2	25,1	29,3	7,4	8,411
2	"	350	36,3	12,1	29,3	3,5	3,989
3	"	350	35,4	23,9	29,3	7,0	7,781
4	"	300	30,6	24,9	29,3	7,1	6,822
5	"	400	41,5	24,0	29,3	7,0	9,122
6	"	400	40,9	24,2	29,3	7,1	9,118
7	"	180	18,5	24,7	29,3	7,2	4,182
8	"	180	18,5	31,3	29,3	9,2	5,344
9	"	80	8,5	21,7	29,3	6,4	1,708
10	Beton	350	44,8	-	2,6	-	3,658
11	"	150	22,7	-	2,6	-	1,853
12	"	80	13,3	-	2,6	-	1,086
13	Keramik	400	50,3	12,2	-	-	19,269
14	"	300	38,9	6,7	-	-	8,184
15	"	150	22,5	7,0	-	-	4,946
16	"	80	13,7	8,3	-	-	3,570

$Z = \pi \cdot F_{Dr} \cdot da \cdot l \ (cm^2)$

Für Eisenfilterrohre

$F_{Dr} = 0{,}293 \cdot F_D$

Für Betonfilterrohre

$F_{Dr} = F_{Deff}$

Für Keramikfilterrohre

$F_{Dr} = F_D$

SLUB Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 11: Bodenmechanische Kennziffern des Bodenmaterials aus dem Tagebau Kleinleipisch

Probe Nr.	Entnahmehöhe ü. Prüfstandboden (m)	Korn-verteilung Kl (%)	gS	mS	fS	Su	Porenvol. (%)	Wasser-halte-wert (%)	Kapill. Steighöhe (mm)	Hygroskopizität (%)
1	2,70	1,0	9,1	45,6	42,4	1,9	47,6	22,7	160	0,23
2		1,5	7,7	44,3	44,8	1,7	46,6	22,7	148	0,22
3		0,8	7,7	44,0	45,8	1,7	46,6	24,2	152	0,26
4	1,60						46,5	25,5	84	0,24
5							47,2	21,0	156	0,28
6		0,9	7,2	46,6	44,2	1,1	47,1	23,2	128	0,24
7	1,10						45,9	25,2	128	0,30
8							45,6	22,8	176	0,29
9		0,8	6,6	41,6	49,8	1,2	45,9	23,3	160	0,25
10	0,60						46,4	23,5	152	0,49
11							46,8	23,6	164	0,27
12		0,6	6,5	46,0	45,9	1,0	46,8	25,5	132	0,32
13	0,10						42,2	21,8	228	0,21
14							44,2	25,3	192	0,35
15		0,8	6,8	41,6	49,7	1,1	43,3	23,9	200	0,28

Organ. Bestandteile einer Durchschnittsprobe: 2,2 %

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 12: Bestimmung des Durchlässigkeitskoeffizienten

Material: Kleinleipischer Sand
Datum: 4.7.1963
Ausführender: Irmscher

Abmessung d. benutzten Gefäße:
Zylinderhöhe: 16 cm
Zylinderquerschnitt F: 53,46 cm^2

Nr.	Proben-Länge L	Proben-volumen V	Proben-trockengewicht G_t	Volumen d. Festmasse d. Probe $V_t = \frac{G_t}{s}$	Porenziffer $\frac{V-V_t}{V_t}$	Wassermenge Q	Zeit zu Q t	Druckhöhe h	Durchlässigkeit $K = \frac{Q.L.10^{-2}}{F.t.h}$	Wassertemperatur T	Korrigierte Durchlässigkeit $kf10 = \frac{\nu_t \cdot k}{\nu_{10°}}$
	(cm)	(cm^3)	(g)	(cm^3)		(cm^3)	(sec)	(cm)	(m/s)	(°C)	(m/s)
1	160	855,3	1182,7	447,9	0,909	26,0	60	14,1	$9,20.10^{-5}$	10°	$9,20.10^{-5}$
2	"	"	1206,5	457,0	0,871	29,5	60	14,5	$10,10.10^{-5}$	13,5	$9,17.10^{-5}$
3	"	"	1205,1	456,4	0,874	27,0	60	13,5	$9,97.10^{-5}$	11,5	$9,56.10^{-5}$
4	"	"	1209,3	458,0	0,867	24,5	60	14,4	$8,49.10^{-5}$	9,5	$8,61.10^{-5}$
5	"	"	1191,3	451,2	0,895	30,0	60	13,5	$11,10.10^{-5}$	14	$9,96.10^{-5}$
6	"	"	1194,6	452,5	0,890	23,0	60	13,6	$8,44.10^{-5}$	9	$8,68.10^{-5}$
7	"	"	1222,0	462,8	0,848	25,0	60	13,6	$9,17.10^{-5}$	10,5	$8,92.10^{-5}$
8	"	"	1229,6	465,7	0,836	25,0	60	13,6	$9,17.10^{-5}$	10	$9,17.10^{-5}$
9	"	"	1222,8	463,1	0,846	24,0	60	13,6	$8,81.10^{-5}$	10	$8,81.10^{-5}$
10	"	"	1211,6	458,9	0,863	29,0	60	13,6	$10,62.10^{-5}$	17	$8,81.10^{-5}$
11	"	"	1202,2	455,3	0,878	24,5	60	13,6	$8,99.10^{-5}$	11	$8,75.10^{-5}$
12	"	"	1200,2	454,6	0,881	25,0	60	13,6	$9,17.10^{-5}$	13	$8,44.10^{-5}$
13	"	"	1304,6	494,1	0,731	8,5	60	13,9	$3,05.10^{-5}$	12,5	$2,85.10^{-5}$
14	"	"	1260,8	477,5	0,791	11,5	60	13,9	$4,12.10^{-5}$	12	$3,90.10^{-5}$
15	"	"	1280,5	485,0	0,763	9,5	60	13,9	$3,40.10^{-5}$	10,5	$3,35.10^{-5}$

SLUB Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 13: Bodenmechanische Kennziffern des Dresdener Sandes

Probe Nr.	Entnahmehöhe (m) üb. Prüf. std. Bod. (m)	Korn-verteilung Ki	gs	ms	fS	Su	Poren vol.	Wasser-halte-wert	Kapill. Steig-höhe	Hygros-kopizität
		(%)					(%)	(%)	(mm)	(%)
16	2,10	1,2	27,4	56,8	14,4	0,2	41,4	11,0	152	0,21
17		1,3	31,5	56,6	10,4	0,2	41,0	13,3	128	0,18
18		1,8	30,5	57,0	10,6	0,1	39,7	13,9	140	0,18
19	1,60	1,2	27,8	60,0	10,9	0,1	41,9	12,9	144	0,18
20		1,5	26,4	60,0	11,9	0,2	40,0	12,2	168	0,19
21		1,5	30,3	57,5	10,5	0,2	40,3	11,2	160	0,18
22	1,10	1,2	28,8	59,4	10,4	0,2	41,1	12,6	144	0,18
23		1,7	28,0	58,0	12,1	0,2	41,4	8,3	144	0,17
24		1,9	26,8	59,6	11,4	0,3	39,5	10,9	180	0,20
25	0,60	1,6	27,0	57,8	13,3	0,3	40,7	11,5	176	0,17
26		0,9	20,0	64,8	14,0	0,3	40,4	11,6	180	0,18
27		1,7	24,6	61,0	12,4	0,3	39,8	11,7	160	0,17
28	0,10	1,0	24,2	61,3	13,2	0,3	36,7	14,1	160	0,18
29		1,4	27,2	59,4	11,7	0,3	35,1	14,4	168	0,16
30		1,5	28,8	56,0	13,5	0,2	35,6	12,7	192	0,16

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 14: Bestimmung des Durchlässigkeitskoeffizienten

Material: Dresdener Sand
Datum: 13.12.1963
Ausführender: Irmscher

Abmessung d. benutzten Gefäße:
Zylinderhöhe: 16 cm
Zylinderquerschnitt F: 53,46 cm^2

Nr.	Proben: Länge L	Proben: Volumen V	trockengewicht G_t	Volumen d. Festmasse der Probe $V_t = \frac{G_t}{s}$	Porenziffer $\frac{V-V_t}{V_t}$	Wassermenge Q	Zeit zu Q t	Druckhöhe h	Durchlässigkeit $K = \frac{Q.L.10^{-2}}{F.t.h}$	Wassertemperatur T	korrigierte Durchlässigkeit $kf10 = \frac{\nu_t \cdot k}{\nu_{10^0}}$
	(cm)	(cm^3)	(g)	(cm^3)		(cm^3)	(sec.)	(cm)	(m/s)	(°C)	(m/s)
16	13,2	705,6	1103,0	414,6	0,701	47,5	60	6,2	$3,15.10^{-4}$	12,0	$2,98.10^{-4}$
17	"	"	1106,9	416,1	0,695	50,0	60	6,2	$3,31.10^{-4}$	12,0	$3,13.10^{-4}$
18	"	"	1132,0	425,5	0,658	47,5	60	6,1	$3,20.10^{-4}$	12,0	$3,03.10^{-4}$
19	"	"	1094,8	411,5	0,715	48,0	60	6,4	$3,09.10^{-4}$	13,0	$2,97.10^{-4}$
20	"	"	1125,5	423,1	0,667	46,0	60	6,5	$2,91.10^{-4}$	12,5	$2,72.10^{-4}$
21	"	"	1120,5	421,2	0,675	44,0	60	6,8	$2,66.10^{-4}$	12,0	$2,52.10^{-4}$
22	"	"	1105,5	415,6	0,677	46,5	60	6,3	$3,03.10^{-4}$	10,0	$3,03.10^{-4}$
23	"	"	1100,-	413,5	0,706	50,0	60	6,2	$3,32.10^{-4}$	18,5	$2,65.10^{-4}$
24	"	"	1135,-	426,6	0,654	38,0	60	6,6	$2,37.10^{-4}$	15,5	$2,04.10^{-4}$
25	"	"	1112,5	418,2	0,687	43,0	60	6,2	$3,19.10^{-4}$	17,0	$2,65.10^{-4}$
26	"	"	1116,5	419,7	0,681	36,0	60	6,3	$2,35.10^{-4}$	10,5	$2,32.10^{-4}$
27	"	"	1132,5	425,7	0,659	37,0	60	6,3	$2,41.10^{-4}$	13,0	$2,22.10^{-4}$
28	"	"	1188,-	446,6	0,579	20,0	60	6,4	$1,28.10^{-4}$	14,0	$1,15.10^{-4}$
29	"	"	1218,-	457,8	0,541	21,0	60	6,5	$1,32.10^{-4}$	17,0	$1,10.10^{-4}$
30	"	"	1208,-	454,1	0,553	18,5	60	6,5	$1,17.10^{-4}$	11,5	$1,12.10^{-4}$

SLUB Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 15 Einbaudurchmesser 540 mm

Filter Nr.	Filter material	Nennweite	Filterkennzahl	Wasser-temperatur	Druckhöhe 2,60 m gemessene Ergiebigkeit		Druckhöhe 2,60 m korrigierte Ergiebigkeit	Druckhöhe 2,10 m gemessene Ergiebigkeit		Druckhöhe 2,10 m korrigierte Ergiebigkeit	Druckhöhe 1,70 m gemessene Ergiebigkeit		Druckhöhe 1,70 m korrigierte Ergiebigkeit	Druckhöhe 1,30 m gemessene Ergiebigkeit		Druckhöhe 1,30 m korrigierte Ergiebigkeit	Druckhöhe 0,90 m gemessene Ergiebigkeit		Druckhöhe 0,90 m korrigierte Ergiebigkeit	Druckhöhe 0,40 m gemessene Ergiebigkeit		Druckhöhe 0,40 m korrigierte Ergiebigkeit	Zuordnung in Gruppen entspr. der Filterkennz.
		[mm]	[cm²]	[°C]	[l/min]	[l/s]	[l/s]	[l/min]	[l/s]	[l/s]	[l/min]	[l/s]	[l/s]	[l/min]	[l/s]	[l/s]	[l/min]	[l/s]	[l/s]	[l/min]	[l/s]	[l/s]	Zahl Gruppe / Zahl Platz
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Eisen	350	8,411	14,2	29,4	0,490	0,437	18,6	0,310	0,277	12,0	0,200	0,178	7,1	0,118	0,105	3,3	0,055	0,049	0,65	0,0108	0,0096	1/4
2	"	350	3,989	13,9	28,9	0,482	0,433	18,2	0,303	0,272	11,8	0,197	0,177	6,9	0,115	0,103	3,2	0,053	0,047	0,60	0,0100	0,0090	3/3
3	"	350	7,781	14,7	30,0	0,500	0,440	19,0	0,317	0,279	12,5	0,208	0,183	7,3	0,122	0,107	3,5	0,058	0,051	0,75	0,0125	0,0110	2/2
4	"	300	6,822	12,1	27,9	0,465	0,439	17,2	0,287	0,271	10,6	0,177	0,167	6,5	0,109	0,103	2,8	0,047	0,044	0,50	0,0083	0,0078	2/3
5	"	400	9,122	14,3	29,6	0,493	0,439	18,7	0,312	0,278	12,2	0,203	0,180	7,6	0,127	0,113	3,3	0,055	0,049	0,70	0,0117	0,0104	1/2
6	"	400	9,118	14,5	29,5	0,492	0,436	18,8	0,313	0,277	12,4	0,207	0,183	7,2	0,120	0,106	3,4	0,057	0,050	0,75	0,0125	0,0111	1/3
7	"	180	4,182	13,0	28,3	0,472	0,435	17,5	0,293	0,270	11,0	0,183	0,168	6,8	0,114	0,105	3,1	0,052	0,048	0,65	0,0108	0,0099	3/2
8	"	180	5,344	12,5	28,0	0,467	0,436	17,4	0,290	0,271	10,9	0,182	0,170	6,6	0,110	0,103	2,9	0,048	0,045	0,60	0,0100	0,0093	2/4
9	"	80	1,708	12,4	28,1	0,468	0,438	17,5	0,292	0,273	10,8	0,180	0,168	6,3	0,105	0,098	2,8	0,047	0,044	0,55	0,0092	0,0086	4/3
10	"	350	3,658	12,8	28,3	0,472	0,437	17,8	0,297	0,275	11,0	0,183	0,169	6,7	0,112	0,104	3,0	0,050	0,046	0,55	0,0092	0,0085	3/4
11	"	150	1,853	13,4	28,5	0,475	0,433	18,0	0,300	0,273	11,3	0,188	0,171	6,8	0,114	0,104	3,2	0,053	0,048	0,60	0,0100	0,0091	4/2
12	"	80	1,086	15,2	30,4	0,507	0,441	19,3	0,322	0,280	12,7	0,212	0,184	7,5	0,125	0,109	3,9	0,065	0,057	0,75	0,0125	0,0107	4/4
13	"	400	19,269	10,6	27,2	0,453	0,445	16,7	0,278	0,273	10,3	0,172	0,169	6,4	0,107	0,105	2,5	0,042	0,041	0,50	0,0083	0,0082	1/1
14	"	300	8,184	14,7	29,8	0,497	0,438	19,2	0,320	0,282	12,4	0,207	0,182	7,2	0,120	0,106	3,7	0,062	0,055	0,75	0,0125	0,0110	2/1
15	"	150	4,946	13,8	28,6	0,477	0,430	18,4	0,307	0,277	11,6	0,193	0,174	6,9	0,115	0,104	3,2	0,053	0,048	0,60	0,0100	0,0090	3/1
16	"	80	3,570	14,6	29,8	0,497	0,439	19,2	0,320	0,283	12,2	0,203	0,179	7,1	0,119	0,105	3,6	0,060	0,053	0,70	0,0117	0,0103	4/1
					mittlere korrig. Ergiebigkeit		0,4372			0,2757			0,1751			0,1050			0,0484			0,0096	

Tabelle 16 Einbaudurchmesser 300 mm

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
7	Eisen	180	4,182	7,2	15,6	0,260	0,282	10,2	0,170	0,184	6,5	0,108	0,117	3,7	0,062	0,067	1,7	0,028	0,030	0,3	0,0050	0,0054
8	"	180	5,344	10,2	17,0	0,283	0,281	11,0	0,183	0,182	7,1	0,118	0,117	4,05	0,068	0,068	1,95	0,033	0,033	0,4	0,0067	0,0066
9	"	80	1,708	8,7	16,3	0,272	0,282	10,5	0,175	0,182	6,8	0,113	0,117	3,9	0,065	0,067	1,85	0,031	0,032	0,3	0,0050	0,0052
11	Beton	150	1,853	6,0	14,9	0,248	0,279	9,3	0,155	0,174	6,1	0,102	0,115	3,6	0,060	0,067	1,65	0,028	0,031	0,3	0,0050	0,0056
12	"	80	1,086	9,6	16,5	0,275	0,278	10,7	0,178	0,180	7,0	0,117	0,118	4,0	0,067	0,068	1,95	0,033	0,033	0,35	0,0058	0,0059
15	Keramik	150	4,946	16,8	20,2	0,335	0,280	13,4	0,223	0,186	8,5	0,142	0,119	4,8	0,080	0,067	2,2	0,037	0,031	0,45	0,0075	0,0063
16	"	80	3,570	12,3	18,3	0,305	0,286	11,8	0,197	0,185	7,6	0,127	0,119	4,3	0,072	0,068	2,1	0,035	0,033	0,4	0,0067	0,0063
					mittlere korrig. Ergiebigkeit		0,2811			0,1819			0,1174			0,0674			0,0319			0,0059

Tabelle 17 Einbaudurchmesser 220 mm

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
9	Eisen	80	1,708	12,6	14,5	0,242	0,225	9,5	0,158	0,147	6,2	0,103	0,096	3,5	0,058	0,054	1,65	0,028	0,026	0,3	0,0050	0,0047
12	Beton	80	1,086	12,8	14,7	0,245	0,227	9,5	0,158	0,146	6,2	0,103	0,095	3,6	0,060	0,056	1,65	0,028	0,0259	0,35	0,0058	0,0054
16	Keramik	80	3,570	13,5	15,5	0,258	0,234	10,0	0,167	0,152	6,4	0,107	0,097	3,9	0,065	0,059	1,7	0,028	0,0254	0,35	0,0058	0,0053
					mittlere korrig. Ergiebigkeit		0,2287			0,1483			0,0960			0,0563			0,0258			0,0051

Fallfilterergiebigkeit in Abhängigkeit von der Wasserdruckhöhe im Filterprüfstand bei Kleinleipischer Sand

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 18 Einbaudurchmesser 540 mm

Filter Nr	Filtermaterial	Nennweite [mm]	Filterkerndurchf. [cm²]	Wassertemperatur [°C]	Druckhöhe 2,60m gemessene Ergiebigkeit [l/min]	Druckhöhe 2,60m gemessene Ergiebigkeit [l/s]	Druckhöhe 2,60m korrigierte Ergiebigkeit [l/s]	Druckhöhe 2,10m gemessene Ergiebigkeit [l/min]	Druckhöhe 2,10m gemessene Ergiebigkeit [l/s]	Druckhöhe 2,10m korrigierte Ergiebigkeit [l/s]	Druckhöhe 1,70m gemessene Ergiebigkeit [l/min]	Druckhöhe 1,70m gemessene Ergiebigkeit [l/s]	Druckhöhe 1,70m korrigierte Ergiebigkeit [l/s]	Druckhöhe 1,30m gemessene Ergiebigkeit [l/min]	Druckhöhe 1,30m gemessene Ergiebigkeit [l/s]	Druckhöhe 1,30m korrigierte Ergiebigkeit [l/s]	Druckhöhe 0,90m gemessene Ergiebigkeit [l/min]	Druckhöhe 0,90m gemessene Ergiebigkeit [l/s]	Druckhöhe 0,90m korrigierte Ergiebigkeit [l/s]	Druckhöhe 0,40m gemessene Ergiebigkeit [l/min]	Druckhöhe 0,40m gemessene Ergiebigkeit [l/s]	Druckhöhe 0,40m korrigierte Ergiebigkeit [l/s]	Zuordnung in Gruppen entspr. der Filterkennz. Platz Gruppe / Platz Zahl
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Eisen	350	8,411	13,4	161,0	2,683	2,445	100,0	1,667	1,519	57,5	0,958	0,873	30,5	0,508	0,463	12,5	0,208	0,190	2,0	0,033	0,030	1/4
2	"	350	3,989	12,8	154,7	2,578	2,387	95,5	1,592	1,474	52,5	0,875	0,810	28,5	0,475	0,440	12,0	0,200	0,185	1,6	0,027	0,025	3/3
3	"	350	7,781	13,4	161,0	2,683	2,445	100,0	1,667	1,519	58,3	0,972	0,886	31,5	0,525	0,479	13,5	0,225	0,205	2,1	0,035	0,032	2/2
4	"	300	6,822	14,0	162,3	2,705	2,426	97,8	1,630	1,462	55,3	0,922	0,827	29,2	0,478	0,437	14,3	0,238	0,213	2,3	0,038	0,034	2/3
5	"	400	9,122	13,8	154,7	2,578	2,326	95,5	1,592	1,436	51,2	0,853	0,769	26,0	0,433	0,390	12,5	0,208	0,186	2,1	0,035	0,032	1/2
6	"	400	9,118	12,3	157,1	2,618	2,456	91,3	1,522	1,428	52,5	0,875	0,821	27,0	0,450	0,422	11,0	0,183	0,172	1,7	0,028	0,026	1/3
7	"	180	4,182	12,8	154,7	2,578	2,387	93,3	1,555	1,440	51,9	0,865	0,801	27,5	0,458	0,424	11,3	0,188	0,174	1,5	0,025	0,023	3/2
8	"	180	5,344	12,5	152,3	2,538	2,367	91,3	1,522	1,420	52,5	0,875	0,816	27,5	0,458	0,427	11,0	0,183	0,171	1,4	0,023	0,021	2/4
9	"	80	1,708	12,1	151,1	2,518	2,378	87,5	1,458	1,376	50,6	0,843	0,795	25,0	0,417	0,393	10,0	0,167	0,158	1,5	0,025	0,024	4/3
10	Beton	350	3,658	12,8	154,7	2,578	2,387	31,3	1,522	1,409	50,0	0,833	0,771	24,5	0,408	0,378	10,5	0,175	0,162	1,7	0,028	0,026	3/4
11	"	150	1,853	8,5	137,5	2,292	2,392	80,8	1,347	1,406	43,8	0,730	0,762	23,0	0,383	0,400	9,3	0,155	0,162	1,3	0,022	0,023	4/2
12	"	80	1,086	10,6	148,9	2,482	2,452	85,7	1,428	1,411	47,7	0,795	0,782	24,0	0,400	0,393	9,5	0,158	0,155	1,4	0,023	0,023	4/4
13	Keramik	400	19,269	12,7	159,7	2,662	2,471	93,3	1,555	1,443	51,9	0,865	0,803	25,5	0,425	0,395	10,2	0,170	0,158	1,5	0,025	0,023	1/1
14	"	300	8,184	13,8	154,7	2,578	2,326	91,3	1,522	1,373	50,0	0,833	0,751	28,0	0,467	0,421	12,0	0,200	0,180	1,9	0,032	0,029	2/1
15	"	150	4,946	8,3	137,5	2,292	2,406	79,2	1,320	1,385	43,8	0,730	0,766	22,5	0,375	0,394	9,0	0,150	0,157	1,3	0,022	0,023	3/1
16	"	80	3,570	9,0	137,5	2,292	2,358	82,4	1,373	1,413	44,7	0,745	0,766	23,7	0,395	0,406	9,3	0,155	0,159	1,3	0,022	0,023	4/1
					mittlere korrig. Ergiebigkeit		2,4006			1,4321			0,8040			0,4164			0,1742			0,0261	

Tabelle 19 Einbaudurchmesser 300 mm

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
7	Eisen	180	4,182	14,4	110,5	1,842	1,635	65,2	1,087	0,965	36,5	0,540	0,479	19,0	0,317	0,281	8,0	0,133	0,118	1,2	0,020	0,018
8	"	180	5,344	13,8	107,7	1,795	1,618	63,6	1,060	0,956	35,9	0,539	0,486	18,6	0,310	0,279	7,7	0,128	0,115	1,2	0,020	0,018
9	"	80	1,708	13,2	103,4	1,723	1,578	62,7	1,045	0,957	35,6	0,543	0,497	18,0	0,300	0,275	7,5	0,125	0,115	1,1	0,018	0,017
11	Beton	150	1,853	15,8	113,5	1,892	1,619	67,1	1,118	0,957	37,5	0,535	0,458	19,4	0,323	0,276	8,5	0,142	0,122	1,3	0,022	0,019
12	"	80	1,086	13,4	104,0	1,733	1,580	63,1	1,052	0,959	35,6	0,540	0,492	18,4	0,307	0,280	7,5	0,125	0,114	1,1	0,018	0,017
15	Keramik	150	4,946	13,8	107,7	1,795	1,618	63,6	1,060	0,956	35,8	0,538	0,485	18,5	0,308	0,278	7,9	0,132	0,119	1,2	0,020	0,018
16	"	80	3,570	13,6	105,0	1,750	1,586	63,4	1,057	0,958	35,8	0,539	0,488	18,4	0,307	0,278	7,7	0,128	0,116	1,1	0,018	0,017
					mittlere korrig. Ergiebigkeit		1,6049			0,9583			0,4836			0,2781			0,1171			0,0177

Tabelle 20 Einbaudurchmesser 220 mm

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
9	Eisen	80	1,708	16,2	99,5	1,658	1,405	60,0	1,000	0,847	33,0	0,550	0,466	17,2	0,287	0,243	7,6	0,127	0,108	1,2	0,020	0,017
12	Beton	80	1,086	15,8	98,0	1,633	1,397	59,5	0,992	0,849	32,4	0,540	0,462	16,7	0,278	0,238	7,3	0,122	0,104	1,1	0,018	0,016
16	Keramik	80	3,570	17,0	103,0	1,717	1,426	61,2	1,020	0,847	33,5	0,558	0,463	17,8	0,297	0,247	7,7	0,128	0,106	1,3	0,022	0,018
					mittlere korrig. Ergiebigkeit		1,4093			0,8477			0,4637			0,2427			0,1060			0,0170

Fallfilterergiebigkeit in Abhängigkeit von der Wasserstandshöhe im Filterprüfstand bei Dresdener Sand

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 21: Korrelation Filterkennzahl Z - korrigierte Ergiebigkeit q_{10}

Kleinleipischer Sand

$H = 2{,}6$ m , $d_b = 540$ mm

n	Nq_{10}	q_{10}	z	N_z	N_z geord.	N_{q10} zugeord	D	D^2
1	7,5	0,437	8,411	13	1	15	- 14,0	196,00
2	2,5	0,433	3,989	6	2	9,5	- 7,5	56,25
3	14	0,440	7,781	11	3	2,5	+ 0,5	0,25
4	12	0,439	6,822	10	4	12	- 8,0	64,00
5	12	0,439	9,122	15	5	7,5	- 2,5	6,25
6	5,5	0,436	9,118	14	6	2,5	+ 3,5	12,25
7	4	0,435	4,182	7	7	4	+ 3,0	9,00
8	5,5	0,436	5,344	9	8	1	+ 7,0	49,00
9	9,5	0,438	1,708	2	9	5,5	+ 3,5	12,25
10	7,5	0,437	3,658	5	10	12	- 2,0	4,00
11	2,5	0,433	1,853	3	11	14	- 3,0	9,00
12	15	0,441	1,086	1	12	9,5	+ 2,5	6,25
13	16	0,445	19,269	16	13	7,5	+ 5,5	30,25
14	9,5	0,438	8,184	12	14	5,5	+ 8,5	72,25
15	1	0,430	4,946	8	15	12	+ 3,0	9,00
16	12	0,439	3,570	4	16	16	0	0,00

$$\sum_{n=1}^{16} D^2 = 536{,}00$$

$$\varrho = 1 - \frac{6 \cdot 536{,}00}{15 \cdot 16 \cdot 17} = 1 - \frac{3216}{4080}$$

$$\varrho = 1 - 0{,}788 = 0{,}212$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 22: Korrelation Filterkennzahl Z - korrigierte Ergiebigkeit - Dresdener Sand
$H = 2{,}6$ m, $d_b = 540$ mm

n	N_{q10}	q_{10}	Z	N_z	N_z geord	N_{q10} zugeord	D	D^2
1	12,5	2,445	8,411	13	1	14	- 13,0	169,00
2	7	2,387	3,989	6	2	5	- 3,0	9,00
3	12,5	2,445	7,781	11	3	9	- 6,0	36,00
4	11	2,426	6,822	10	4	3	+ 1,0	1,00
5	1,5	2,326	9,122	15	5	7	- 2,0	4,00
6	15	2,456	9,118	14	6	7	- 1,0	1,00
7	7	2,387	4,182	7	7	7	0,0	0,00
8	4	2,367	5,344	9	8	10	- 2,0	4,00
9	5	2,378	1,708	2	9	4	+ 5,0	25,00
10	7	2,387	3,658	5	10	11	- 1,0	1,00
11	9	2,392	1,853	3	11	12,5	- 1,5	2,25
12	14	2,452	1,086	1	12	1,5	+ 10,5	110,25
13	16	2,471	19,269	16	13	12,5	+ 0,5	0,25
14	1,5	2,326	8,184	12	14	15,0	- 1,0	1,00
15	10	2,406	4,946	8	15	1,5	+ 13,5	182,25
16	3	2,358	3,570	4	16	16	0,0	0,00

$$\sum_{b=1}^{16} D^2 = 546{,}00$$

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot 546{,}00}{15 \cdot 16 \cdot 17} = 1 - \frac{3276}{4080}$$

$$\rho = 1 - 0{,}803 = 0{,}197$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 23: Streuungsanalyse: Druckhöhe 2,60 m

Kleinleipischer Sand

Grupp.-Nr.	korrigierte Schüttung (l/s) 1	2	3	4	Mittelwert $\bar{\bar{X}}_v$	Streuung S_v^2
1	0,445	0,439	0,436	0,437	0,4393	0,00004676
2	0,438	0,440	0,439	0,436	0,4383	0,00000876
3	0,430	0,435	0,433	0,437	0,4338	0,00002676
4	0,439	0,433	0,438	0,441	0,4378	0,00003476
					1,7492	0,00011904

$$S1^2 = \frac{1}{k} \sum_{v=1}^{k} S_v^2 = \frac{1}{4} \cdot 0{,}00011904 = 0{,}00002976$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum_{v=1}^{k} \bar{X}_r = \frac{1}{4} \cdot 1{,}7492 = 0{,}4373$$

$$S_z^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{V=1}^{k} (\bar{X}_v - \bar{\bar{X}})^2 = \frac{4}{3} \cdot 0{,}00001750 = 0{,}00002333$$

da $S1^2 > S_z^2$: $n_1 = N - k = 16 - 4 = 12$

$n_2 = k - 1 = 4 - 1 = 3$

$$T = \frac{S1^2}{Sz^2} = \frac{0{,}00002976}{0{,}00002333} = 1{,}276 < 8{,}744 \quad \text{bei } P = 0{,}05$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 24: Streuungsanalyse: Druckhöhe 2,10 m

Kleinleipischer Sand

Grupp.-Nr.	korrigierte Schüttung (l/s) 1	2	3	4	Mittelwert $\bar{X}_v$	Streuung S_v^2
1	0,273	0,278	0,277	0,277	0,2763	0,00001476
2	0,282	0,279	0,271	0,271	0,2758	0,00009476
3	0,277	0,270	0,272	0,275	0,2735	0,00002900
4	0,283	0,273	0,273	0,280	0,2773	0,00007676
					1,1029	0,00021528

$$Si^2 = \frac{1}{4} \cdot 0{,}00021528 = 0{,}00005382$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{4} \cdot 1{,}1029 = 0{,}2757$$

$$S_z^2 = \frac{4}{3} \cdot 0{,}00000777 = 0{,}00001036$$

da $Si^2 > S_z^2$ $\quad n_1 = 12$

$n_2 = 3$

$$T = \frac{Si^2}{Sz^2} = \frac{0{,}00005382}{0{,}00001036} = 5{,}195 < 8{,}744 \text{ bei } P = 0{,}05$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 25: Streuungsanalyse: Druckhöhe 1,70 m

Kleinleipischer Sand

Grupp.-Nr.	korrigierte Schüttung (l/s) 1	2	3	4	Mittelwert $\bar{X}_v$	Streuung S_v^2
1	0,169	0,180	0,183	0,178	0,1775	0,00010900
2	0,182	0,183	0,167	0,170	0,1755	0,00020100
3	0,174	0,168	0,177	0,169	0,1720	0,00005400
4	0,179	0,171	0,168	0,184	0,1755	0,00016100
					0,7005	0,00052500

$$S_1^2 = \frac{1}{4} \cdot 0{,}00052500 = 0{,}00013125$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{4} \cdot 0{,}7005 = 0{,}1751$$

$$S_z^2 = \frac{4}{3} \cdot 0{,}00001569 = 0{,}00002092$$

da $S_1^2 > S_z^2$ $\quad n_1 = 12$

$n_2 = 3$

$$T = \frac{S_1^2}{S_z^2} = \frac{0{,}00013125}{0{,}00002092} = 6{,}274 < 8{,}744 \text{ bei } P = 0{,}05$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 26: Streuungsanalyse: Druckhöhe 1,30 m

Kleinleipischer Sand

Grupp. Nr.	korrigierte Schüttung (l/s) 1	2	3	4	Mittelwert $\bar{X}_v$	Streuung S_v^2
1	0,105	0,113	0,106	0,105	0,1073	0,00004476
2	0,106	0,107	0,103	0,103	0,1048	0,00001276
3	0,104	0,105	0,103	0,104	0,1040	0,00000200
4	0,105	0,104	0,098	0,109	0,1040	0,00006200
					0,4201	0,00012152

$$S1^2 = \frac{1}{4} \cdot 0{,}00012152 = 0{,}00003038$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{4} \cdot 0{,}4201 = 0{,}1050$$

$$S_z^2 = \frac{4}{3} \cdot 0{,}00000733 = 0{,}00000977$$

da $S1^2 > S_z^2$ $\quad n_1 = 12$

$n_2 = 3$

$$T = \frac{S1^2}{S_z^2} = \frac{0{,}00003038}{0{,}00000977} = 3{,}110 < 8{,}744 \quad \text{bei } P = 0{,}05$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 27: Streuungsanalyse: Druckhöhe 0,90 m
Kleinleipischer Sand

Grupp.-Nr.	korrigierte Schüttung (l/s) 1	2	3	4	Mittelwert $\bar{x}_v$	Streuung S_v^2
1	0,041	0,049	0,050	0,049	0,0472	0,00005276
2	0,055	0,051	0,044	0,045	0,0488	0,00008076
3	0,048	0,048	0,047	0,046	0,0472	0,00000276
4	0,053	0,048	0,044	0,057	0,0505	0,00009700
					0,1937	0,00023328

$$Si^2 = \frac{1}{4} \cdot 0{,}00023328 = 0{,}00005832$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{4} \cdot 0{,}1937 = 0{,}0484$$

$$S_z^2 = \frac{4}{3} \cdot 0{,}00000745 = 0{,}00000993$$

da $Si^2 > S_z^2$ $\quad n_1 = 12$

$n_2 = 3$

$$T = \frac{Si^2}{Sz^2} = \frac{0{,}00005832}{0{,}00000993} = 5{,}873 < 8{,}744 \text{ bei } P = 0{,}05$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 28: Streuungsanalyse: Druckhöhe 0,40 m
Kleinleipischer Sand

Grupp. Nr.	korrigierte Schüttung (l/s) 1	2	3	4	Mittelwert $\bar{X}_v$	Streuung S_v^2
1	0,0082	0,0104	0,0111	0,0096	0,0098	0,00000465
2	0,0110	0,0110	0,0078	0,0093	0,0098	0,00000713
3	0,0090	0,0099	0,0090	0,0085	0,0091	0,00000102
4	0,0103	0,0091	0,0086	0,0107	0,0097	0,00000293
					0,0384	0,00001573

$$S1^2 = \frac{1}{4} \cdot 0{,}00001573 = 0{,}00000393$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{4} \cdot 0{,}0384 = 0{,}0096$$

$$S_z^2 = \frac{4}{3} \cdot 0{,}00000034 = 0{,}00000045$$

da $S1^2 > S_z^2$ $\quad n_1 = 12$

$n_2 = 3$

$$T = \frac{S1^2}{S_z^2} = \frac{0{,}00000393}{0{,}00000045} = 8{,}733 < 8{,}744 \text{ bei } P = 0{,}05$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 29: Streuungsanalyse: Druckhöhe 2,60 m

Dresdener Sand

Grupp. Nr.	korrigierte Schüttung (l/s) 1	2	3	4	Mittelwert $\bar{x}_v$	Streuung S_v^2
1	2,471	2,326	2,456	2,445	2,4245	0,01327700
2	2,326	2,445	2,426	2,367	2,3910	0,00894200
3	2,406	2,387	2,387	2,387	2,3918	0,00027076
4	2,358	2,392	2,378	2,452	2,3950	0,00491600
					9,6023	0,02740576

$$Si^2 = \frac{1}{k} \cdot \sum_{v=1}^{k} Sv^2 = \frac{1}{4} \cdot 0{,}02740576 = 0{,}00685144$$

$$n_2 = N - k = 16 - 4 = 12$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{v=1}^{k} \bar{x}v = \frac{1}{4} \cdot 9{,}6023 = 2{,}4006$$

$$S_z^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{v=1}^{k} (\bar{x}_v - \bar{\bar{x}})^2 = \frac{4}{3} \cdot 0{,}00077217$$

$$= 0{,}00102956$$

da $Si^2 > S_z^2$ $n_1 = N - k = 16 - 4 = 12$

$n_2 = k - 1 = 4 - 1 = 3$

$$T = \frac{Si^2}{S_z^2} = \frac{0{,}00685144}{0{,}00102956} = 6{,}655 < 8{,}744 \text{ u } P = 0{,}05$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 30: Streuungsanalyse: Druckhöhe 2,10 m

Dresdener Sand

Grupp. Nr.	korrigierte Schüttung (l/s) 1	2	3	4	Mittelwert $\bar{X}v$	Streuung Sv^2
1	1,443	1,436	1,428	1,519	1,4565	0,00532100
2	1,373	1,519	1,462	1,420	1,4435	0,01156500
3	1,385	1,440	1,474	1,409	1,4270	0,00446600
4	1,413	1,406	1,376	1,411	1,4015	0,00089300
					5,7285	0,02224500

$$Si^2 = \frac{1}{4} \cdot 0{,}02224500 = 0{,}00556125$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{4} \cdot 5{,}7285 = 1{,}4321$$

$$S_z^2 = \frac{4}{3} \cdot 0{,}00168769 = 0{,}00225025$$

da $Si^2 > Sz^2$ $n_1 = 12$, $n_2 = 3$

$$T = \frac{Si^2}{Sz^2} = \frac{0{,}00556125}{0{,}00225025} = 2{,}471 < 8{,}744 \text{ bei } P = 0{,}05$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 31: Streuungsanalyse: Druckhöhe 1,70 m
Dresdener Sand

Gruppe Nr.	Korrigierte Schüttung (l/s) 1	2	3	4	Mittelwert $\bar{X}_v$	Streuung S_v^2
1	0,803	0,769	0,821	0,873	0,8165	0,00565100
2	0,751	0,886	0,827	0,816	0,8200	0,00918200
3	0,766	0,801	0,810	0,771	0,7870	0,00142200
4	0,766	0,762	0,795	0,782	0,7763	0,00069276
					3,1998	0,01694776

$$S1^2 = \frac{1}{4} \cdot 0{,}01694776 = 0{,}00423694$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{4} \cdot 3{,}1998 = 0{,}8000$$

$$S_z^2 = \frac{4}{3} \cdot 0{,}00140294 = 0{,}00187059$$

da $S1^2 > S_z^2$ $\quad n_1 = 12$ u. $n_2 = 3$

$$T = \frac{S1^2}{S_z^2} = \frac{0{,}00423694}{0{,}00187059} = 2{,}265 < 8{,}744 \text{ bei } P = 0{,}05$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 32: Streuungsanalyse: Druckhöhe 1,30 m
Dresdener Sand

Grupp. Nr.	Korrigierte Schüttung (l/s) 1	2	3	4	Mittelwert $\bar{X}_v$	Streuung S_v^2
1	0,395	0,390	0,422	0,463	0,4175	0,00335300
2	0,421	0,479	0,437	0,427	0,4410	0,00205600
3	0,394	0,424	0,440	0,378	0,4090	0,00237200
4	0,406	0,400	0,393	0,393	0,3980	0,00011800
					1,6655	0,00789900

$$Si^2 = \frac{1}{4} \cdot 0{,}00789900 = 0{,}00197475$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{4} \cdot 1.6655 = 0{,}4164$$

$$S_z^2 = \frac{4}{3} \cdot 0{,}00099969 = 0{,}00133292$$

da $Si^2 > S_z^2$ $\quad n_1 = 12$ u. $n_2 = 3$

$$T = \frac{Si^2}{S_z^2} = \frac{0{,}00197475}{0{,}00133292} = 1{,}482 < 8{,}744 \text{ bei } P = 0{,}05$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 33: Streuungsanalyse: Druckhöhe 0,90 m

Dresdener Sand

Grupp. Nr.	korrigierte Schüttung (l/s) 1	2	3	4	Mittelwert $\bar{X}_v$	Streuung S_v^2
1	0,158	0,186	0,172	0,190	0,1765	0,00063500
2	0,180	0,205	0,213	0,171	0,1923	0,00120276
3	0,157	0,174	0,185	0,162	0,1695	0,00047300
4	0,159	0,162	0,158	0,155	0,1585	0,00002500
					0,6968	0,00233576

$$S_1^2 = \frac{1}{4} \cdot 0{,}00233576 = 0{,}00058394$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{4} \cdot 0{,}6968 = 0{,}1742$$

$$S_z^2 = \frac{4}{3} \cdot 0{,}00060148 = 0{,}00080197$$

da $S_z^2 > S_1^2$ $\quad n_1 = k - 1 = 4 - 1 = 3$

$n_2 = N - k = 16 - 4 = 12$

$$T = \frac{S_z^2}{S_1^2} = \frac{0{,}00080197}{0{,}00058394} = 1{,}373 < 3{,}490 \text{ bei } P = 0{,}05$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 34: Streuungsanalyse: Druckhöhe 0,40 m

Dresdener Sand

Grupp. Nr.	korrigierte Schüttung (l/s) 1	2	3	4	Mittelwert $\bar{X}_v$	Streuung S_v^2
1	0,023	0,032	0,026	0,030	0,0278	0,00004876
2	0,029	0,032	0,034	0,021	0,0290	0,00009800
3	0,023	0,023	0,025	0,026	0,0243	0,00000676
4	0,023	0,023	0,024	0,023	0,0233	0,00000076
					0,1044	0,00015428

$$Si^2 = \frac{1}{4} \cdot 0{,}00015428 = 0{,}00003857$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{4} \cdot 0{,}1044 = 0{,}0261$$

$$S_z^2 = \frac{4}{3} \cdot 0{,}00002238 = 0{,}00002984$$

da $Si^2 > S_z^2$ $n_1 = 12$, $n_2 = 3$

$$T = \frac{Si^2}{S_z^2} = \frac{0{,}00003857}{0{,}00002984} = 1{,}293 < 8{,}744 \text{ bei } P = 0{,}05$$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Approximation der q_m - H - Abhängigkeit
für Versuche mit Kleinleipischer Sand

Tabelle 35: Bohrdurchmesser 540 mm

i	q	H	H^2	$q \cdot H^2$	H^4
1	0,0096	0,4	0,16	0,00154	
2	0,0484	0,9	0,81	0,03920	
3	0,1050	1,3	1,69	0,17745	
4	0,1751	1,7	2,89	0,50604	
5	0,2757	2,1	4,41	1,21584	
6	0,4310	2,6	6,76	2,91356	
				4,85363	77,0356

$$\psi = \frac{4,85363}{77,0356} = 0,0630$$

$$q = \psi \cdot H^2 = 0,0630 \cdot H^2$$

H	0,4	0,9	1,3	1,7	2,1	2,6
q	0,0101	0,0510	0,1065	0,1821	0,2778	0,4256

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 36: Bohrdurchmesser 300 mm

i	q	H	H^2	$q \cdot H^2$	H^4
1	0,0059	0,4	0,16	0,00094	
2	0,0319	0,9	0,81	0,02584	
3	0,0674	1,3	1,69	0,11390	
4	0,1174	1,7	2,89	0,33929	
5	0,1819	2,1	4,41	0,80218	
6	0,2811	2,6	6,76	1,90024	
				3,18239	77,0356

$$\psi = \frac{3,18239}{77,0356} = 0,0413$$

$$q = \psi \cdot H^2 = 0,0413 \cdot H^2$$

H	0,4	0,9	1,3	1,7	2,1	2,6
q	0,0066	0,0335	0,0698	0,1194	0,1821	0,2792

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 37: Bohrdurchmesser 220 mm

i	q	H	H^2	$q \cdot H^2$	H^4
1	0,0051	0,4	0,16	0,00082	
2	0,0258	0,9	0,81	0,02090	
3	0,0563	1,3	1,69	0,09515	
4	0,0960	1,7	2,89	0,27744	
5	0,1403	2,1	4,41	0,65400	
6	0,2287	2,6	6,76	1,54601	
				2,59432	77,0356

$$\psi = \frac{2,59432}{77,0356} = 0,0337$$

$$q = \psi \cdot H^2 = 0,0337 \cdot H^2$$

H	0,4	0,9	1,3	1,7	2,1	2,6
q	0,0054	0,0273	0,0570	0,0974	0,1486	0,2278

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Approximation der q_m - H - Abhängigkeit

für Versuche mit Dresdener Sand

Tabelle 38: Bohrdurchmesser 540 mm

i	q	H	H^2	$q \cdot H^2$	H^4
1	0,0261	0,4	0,16	0,004167	0,0256
2	0,1742	0,9	0,81	0,141102	0,6561
3	0,4164	1,3	1,69	0,703760	2,8561
4	0,8040	1,7	2,89	2,323560	8,3521
5	1,4321	2,1	4,41	6,315561	19,4481
6	2,4006	2,6	6,76	16,228056	45,6976
				25,716206	77,0356

$$\psi = \frac{25.716206}{77,0356} = 0,3338$$

$$q = \psi \cdot H^2 = 0,3338 \cdot H^2$$

H	0,4	0,9	1,3	1,7	2,1	2,6
q	0,0534	0,2704	0,5641	0,9647	1,4721	2,2565

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 39: Bohrdurchmesser 300 mm

i	q	H	H^2	$q \cdot H^2$	H^4
1	0,0175	0,4	0,16	0,00280	
2	0,117	0,9	0,81	0,09477	
3	0,278	1,3	1,69	0,46982	
4	0,539	1,7	2,89	1,55771	
5	0,958	2,1	4,41	4,22478	
6	1,605	2,6	6,76	10,84980	
				17,19968	77,0356

$$\psi = \frac{17,19968}{77,0356} = 0,2233$$

$$q = \psi \cdot H^2 = 0,2233 \cdot H^2$$

H	0,4	0,9	1,3	1,7	2,1	2,6
q	0,0357	0,1809	0,3774	0,6453	0,9848	1,5095

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 40: Bohrdurchmesser 220 mm

i	q	H	H^2	$q \cdot H^2$	H^4
1	0,0169	0,4	0,16	0,00270	
2	0,106	0,9	0,81	0,08586	
3	0,243	1,3	1,69	0,41067	
4	0,464	1,7	2,89	1,34096	
5	0,848	2,1	4,41	3,73968	
6	1,409	2,6	6,76	9,52484	
				15,10471	77,0356

$$\psi = \frac{15,10471}{77,0356} = 0,1961$$

$$q = \psi \cdot H^2 = 0,1961 \cdot H^2$$

H	0,4	0,9	1,3	1,7	2,1	2,6
q	0,0314	0,1588	0,3314	0,5667	0,8648	1,3256

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 41: Auswertung der Fallfilterschüttung in Abhängigkeit von der Wasserstandshöhe für PVC - Filterrohr NW 28

Wasserstand	gemessene Schüttung		Wassertemp.	korrigierte Schüttung
(m)	(l/min)	(l/s)	(°C)	(l/s)
0,4	1,0	0,017	17,0	0,014
0,9	5,8	0,097	17,0	0,081
1,3	14,5	0,242	17,0	0,201
1,7	20,8	0,347	17,0	0,288
2,1	30,7	0,512	17,0	0,425
2,6	48,8	0,813	17,0	0,675

Approximation der q-H-Abhängigkeit für das PVC-Filterrohr NW 28, r = 0,017 m, bei Versuchen mit Dresdener Sand

i	q	H	H^2	$q \cdot H^2$	H^4
1	0,017	0,4	0,16	0,00272	
2	0,097	0,9	0,81	0,07857	
3	0,242	1,3	1,69	0,40898	
4	0,347	1,7	2,89	1,00283	
5	0,512	2,1	4,41	2,25792	
6	0,813	2,6	6,76	5,49588	
				9,24690	77,0356

$$\psi = \frac{9,24690}{77,0356} = 0,1200$$

H	0,4	0,9	1,3	1,7	2,1	2,6
q	0,019	0,097	0,203	0,347	0,529	0,811

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Berechnung der k_{f10} - Wert - Verteilung

für die Versuche mit Kleinleipischer Sand

$$k_{f10} = \frac{q_m \cdot \ln \frac{R}{r_o}}{\pi \cdot H^2}$$

Tabelle 42: Einbaudurchmesser 540 mm

$R = 1{,}00 - 0{,}12 = 0{,}88$ m

$r_o = 0{,}54/2 = 0{,}27$ m

$\ln \frac{R}{r_o} = \ln \frac{0{,}88}{0{,}27} = \ln 3{,}26 = 1{,}174$

$k_{f10} = \frac{q_m}{H^2} \cdot \frac{1{,}174}{3{,}142} = 0{,}37365 \cdot \frac{q_m}{H^2} \cdot 10^{-3}$ (m/s)

Stufe	mittlere Wasserkorr. Schüttung (l/s)	Wasserstandshöhe H (m)	H^2 (m^2)	$\frac{q_m}{H^2}$	$k_{f10} = 037365 \cdot \frac{q}{H^2} \cdot 10^{-3}$ (m/s)
1	0,0096	0,4	0,16	0,0600	$2{,}24 \cdot 10^{-5}$
2	0,0484	0,9	0,81	0,0597	$2{,}23 \cdot 10^{-5}$
3	0,1050	1,3	1,69	0,0621	$2{,}32 \cdot 10^{-5}$
4	0,1751	1,7	2,89	0,0606	$2{,}26 \cdot 10^{-5}$
5	0,2757	2,1	4,41	0,0625	$2{,}34 \cdot 10^{-5}$
6	0,4373	2,6	6,76	0,0647	$2{,}42 \cdot 10^{-5}$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 43: Einbaudurchmesser 300 mm

$R = 1{,}00 - 0{,}12 = 0{,}88$ m

$r_o = 0{,}30/2 = 0{,}15$ m

$\ln \frac{R}{r_o} = \ln \frac{0{,}88}{0{,}15} = \ln 5{,}867 = 1{,}769$

$k_{f10} = \frac{q_m}{H^2} \cdot \frac{1{,}769}{3{,}142} = 0{,}56302 \cdot \frac{q_m}{H^2} \cdot 10^{-3}$ (m/s)

Stufe	mittlere korr. Schüttung (l/s)	Wasserstandshöhe H (m)	H^2 (m^2)	$\frac{q}{H^2}$	$k_{f10} = 0{,}56302 \cdot \frac{q}{H^2} \cdot 10^{-3}$ (m/s)
1	0,0059	0,4	0,16	0,0369	$2{,}08 \cdot 10^{-5}$
2	0,0319	0,9	0,81	0,0394	$2{,}22 \cdot 10^{-5}$
3	0,0674	1,3	1,69	0,0399	$2{,}25 \cdot 10^{-5}$
4	0,1174	1,7	2,89	0,0406	$2{,}29 \cdot 10^{-5}$
5	0,1819	2,1	4,41	0,0412	$2{,}32 \cdot 10^{-5}$
6	0,2811	2,6	6,76	0,0416	$2{,}34 \cdot 10^{-5}$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 44: Einbaudurchmesser 220 mm

$R = 1{,}00 - 0{,}12 = 0{,}88$ m

$r_o = 0{,}22/2 = 0{,}11$ m

$\ln \frac{R}{r_o} = \ln \frac{0{,}88}{0{,}11} = \ln 8{,}000 = 2{,}079$

$k_{f10} = \frac{q_m}{H^2} \cdot \frac{2{,}079}{3{,}142} = 0{,}66168 \cdot \frac{q_m}{H^2} \cdot 10^{-3}$ (m/s)

Stufe	mittlere korr. Schüttung (l/s)	Wasserstandshöhe (m)	H^2 (m^2)	$\frac{q}{H^2}$	$k_{f10} = 0{,}66168 \frac{q}{H^2} \cdot 10^{-3}$ (m/s)
1	0,0051	0,4	0,16	0,0319	$2{,}11 \cdot 10^{-5}$
2	0,0258	0,9	0,81	0,0319	$2{,}11 \cdot 10^{-5}$
3	0,0563	1,3	1,69	0,0333	$2{,}20 \cdot 10^{-5}$
4	0,0960	1,7	2,89	0,0332	$2{,}20 \cdot 10^{-5}$
5	0,1483	2,1	4,41	0,0336	$2{,}22 \cdot 10^{-5}$
6	0,2287	2,6	6,76	0,0338	$2{,}24 \cdot 10^{-5}$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Berechnung der k_{f10} - Wert - Verteilung

für die Versuche mit Dresdener Sand

$$k_{f10} = \frac{q_m \cdot \ln \frac{R}{r_o}}{\pi \cdot H^2}$$

Tabelle 45: Einbaudurchmesser 540 mm

$R = 1{,}00 - 0{,}12 = 0{,}88$ m

$r_o = 0{,}54/2 = 0{,}27$ m

$\ln \frac{R}{r_o} = \ln \frac{0{,}88}{0{,}27} = \ln 3{,}26 = 1{,}174$

$$k_{f10} = \frac{q_m}{H^2} \cdot \frac{1{,}174}{3{,}142} = 0{,}37365 \cdot \frac{q_m}{H^2} \cdot 10^{-3} \text{ (m/s)}$$

Stufe	mittlere, korr. Schüttung q (l/s)	Wasserstands-höhe H (m)	H^2 (m^2)	$\frac{q_m}{H^2}$	$k_{f10} = 0{,}37365 \frac{q}{H^2} \cdot 10^{-3}$ (m/s)
1	0,0261	0,4	0,16	0,16313	$0{,}61 \cdot 10^{-4}$
2	0,1742	0,9	0,81	0,21506	$0{,}80 \cdot 10^{-4}$
3	0,4164	1,3	1,69	0,24639	$0{,}92 \cdot 10^{-4}$
4	0,8040	1,7	2,89	0,27820	$1{,}04 \cdot 10^{-4}$
5	1,4321	2,1	4,41	0,32474	$1{,}21 \cdot 10^{-4}$
6	2,4006	2,6	6,76	0,35512	$1{,}33 \cdot 10^{-4}$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 46: Einbaudurchmesser 300 mm

$$R = 1{,}00 - 0{,}12 \text{ m} = 0{,}88 \text{ m}$$

$$r_o = 0{,}30 \text{ m}/2 = 0{,}15 \text{ m}$$

$$\ln \frac{R}{r} = \ln \frac{0{,}88}{0{,}15} = \ln 5{,}867 = 1{,}769$$

$$k_{f10} = \frac{q_m}{H^2} \cdot \frac{1{,}769}{3{,}142} = 0{,}56302 \cdot \frac{q_m}{H^2} \cdot 10^{-3} (\text{m/s})$$

Stufe	mittlere korr. Schüttung (l/s)	Wasserstandshöhe H(m)	H^2 (m)	$\frac{q_m}{H^2}$	$k_{f10} = 0{,}56302 \cdot \frac{q}{H^2} \cdot 10^{-3}$ (m/s)
1	0,0175	0,4	0,16	0,1094	$0{,}62 \cdot 10^{-4}$
2	0,117	0,9	0,81	0,1444	$0{,}81 \cdot 10^{-4}$
3	0,278	1,3	1,69	0,1645	$0{,}93 \cdot 10^{-4}$
4	0,539	1,7	2,89	0,1865	$1{,}05 \cdot 10^{-4}$
5	0,958	2,1	4,41	0,2172	$1{,}22 \cdot 10^{-4}$
6	1,605	2,6	6,76	0,2374	$1{,}34 \cdot 10^{-4}$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

TABELLE 47: Einbaudurchmesser 220 mm

$$R = 1{,}00 - 0{,}12 \text{ m} = 0{,}88 \text{ m}$$

$$r_o = 0{,}22/2 = 0{,}11 \text{ m}$$

$$\ln \frac{R}{r_o} = \ln \frac{0{,}88}{0{,}11} = \ln 8{,}000 = 2{,}079$$

$$k_{f10} = \frac{q_m}{H^2} \cdot \frac{2.079}{3{,}142} = 0{,}66168 \cdot \frac{q_m}{H^2} \cdot 10^{-3} \text{ (m/s)}$$

Stufe	mittlere korr. Wasserstung (l/s)	Wasserstandshöhe H (m)	H^2 (m^2)	$\frac{q_m}{H^2}$	$k_{f10}=0{,}66168 \cdot \frac{q}{H^2} \cdot 10^{-3}$ (m/s)
1	0,0169	0,4	0,16	0,1056	$0{,}69 \cdot 10^{-4}$
2	0,106	0,9	0,81	0,1309	$0{,}86 \cdot 10^{-4}$
3	0,243	1,3	1,69	0,1438	$0{,}95 \cdot 10^{-4}$
4	0 464	1,7	2,89	0,1606	$1{,}06 \cdot 10^{-4}$
5	0,848	2,1	4,41	0,1923	$1{,}27 \cdot 10^{-4}$
6	1,409	2,6	6,76	0,2084	$1{,}38 \cdot 10^{-4}$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Berechnung der k_{f10} - Wert - Verteilung
für Versuche mit Dresdener Sand

Tabelle 48: Einbaudurchmesser 34 mm

$$R = 1{,}00 - 0{,}12 = 0{,}88 \text{ m}$$

$$r_o = 0{,}034/2 = 0{,}017 \text{ m}$$

$$\ln \frac{R}{r} = \ln \frac{0{,}88}{0{,}017} = \ln 51{,}76$$

$$= 3.947$$

$$k_{f10} = \frac{q_m}{H^2} \cdot \frac{3{,}947}{3{,}142} = 1{,}25621 \cdot \frac{q_m}{H^2} \cdot 10^{-3} \text{ (m/s)}$$

Versuchs-stufe	korr. Schüttung q_m (l/m)	Wasserstands-höhe H (m)	H^2 (m²)	$\frac{q_m}{H^2}$	$k_{f10} = 1{,}25621 \cdot \frac{q_m}{H^2} \cdot 10^{-3}$
1	0,017	0,4	0,16	0,10625	$1{,}33 \cdot 10^{-4}$
2	0,097	0,9	0,81	0,11975	$1{,}50 \cdot 10^{-4}$
3	0,242	1,3	1,69	0,14320	$1{,}80 \cdot 10^{-4}$
4	0,347	1,7	2,89	0,12007	$1{,}51 \cdot 10^{-4}$
5	0,512	2,1	4,41	0,11610	$1{,}46 \cdot 10^{-4}$
6	0,813	2,6	6,76	0,12027	$1{,}51 \cdot 10^{-4}$

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 49

Messung der Höhe des Wassereintritts in Fallfilter für den Bereich bis $\frac{H}{r_o} = 165$ an Filterrohren NW 28 und NW 85

Wasserstandshöhe H [cm]	Ablesung am Taster h_f [cm]		Wassereintritt am Filter s_i [cm]	
	NW 28	NW 85	NW 28	NW 85
40	293	283	9	6
90	253	261	49	28
130	225	235	77	54
170	183	199	119	90
210	140	168	162	121
260	94	128	208	161
280	77	109	225	180

$si = h_{geod} - h_f$ [cm]

wobei h_{geod} = Höhe der Bezugsmarke des Tasters über dem Boden des Prüfstandes

Satz-Nr. 59 012 VLV Osterwieck

Ag 303/64 DDR 5723 - IV/18/7 T 922

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 50

Approximation der Meßwerte für die Wasserspiegelhöhe am Fallfilteraußenmantel bis zum Bereich $\frac{H}{r_o} = 165$

i	x_i	y_i	x_i^2	$y_i \cdot x_i$
1	0,81	0,06	0,6561	0,0486
2	1,15	0,09	1,3225	0,1035
3	2,37	0,28	5,6169	0,6636
4	3,38	0,49	11,4244	1,6562
5	3,88	0,54	15,0544	2,0952
6	5,52	0,77	30,4704	4,2504
7	5,54	0,90	30,6916	4,9860
8	7,35	1,21	54,0225	8,8935
9	7,89	1,19	62,2521	9,3891
10	9,77	1,61	95,4529	15,7297
11	10,46	1,62	109,4116	16,9452
12	10,78	1,80	116,2084	19,4040
13	13,91	2,08	193,4881	28,9328
14	15,35	2,25	235,6225	34,5375
		$\sum$	951,6944	147,6353

$$\varphi = \frac{\sum y_i \cdot x_i}{\sum x_i^2} = \frac{147,6353}{951,6944} = 0,155$$

...lell-Nr. 59 012 VLV Osterwieck

Ag 306/64 DDR 6723 - IV/18/7 T 922

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 51

Berechnung der Parameter S_o/H, R_a/H, R_i/H aus den Meßergebnissen im Filterprüfstand für Filterrohre NW 28 und NW 85 mm

H	S_i	$S_o = H - S_i$	$\eta = \frac{S_o}{H}$	$\frac{R_a}{H}$	$\frac{R_i}{H}$
[cm]	[cm]	[cm]	-	-	-
		PVC-Filterrohr NW 28			
40	9	31	0,775	2,200	0,043
90	49	41	0,456	0,978	0,018
130	77	53	0,408	0,677	0,013
170	119	51	0,300	0,518	0,010
210	162	48	0,229	0,419	0,008
260	208	52	0,200	0,338	0,007
280	225	55	0,196	0,314	0,006
		PVC-Filterrohr NW 85			
40	6	34	0,850	2,200	0,123
90	28	62	0,689	0,978	0,052
130	54	76	0,654	0,677	0,038
170	90	80	0,471	0,518	0,029
210	121	89	0,427	0,419	0,023
260	161	99	0,381	0,338	0,019
280	180	100	0,357	0,314	0,018

ll-Nr. 59 012 VLV Calerwieck

Ag 306/54 DDR 6723 - IV/18/7 T 922

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 52

Einflu$ der Filterkonstruktion auf die maximale Wassereintrittsgeschwindigkeit bei unterschiedlichem Einbaudurchmesser

$$V_{max} = \frac{1,5 \cdot q}{Z \cdot h_m}$$

Filterkonstruktion	NW [mm]	d_a [mm]	F_D [%]	F_{Dr} [%]	Z [cm²]	V_{max} [cm/s]
Eisenfilter mit PCU-Tr. 8	350	362	25,1	7,4	8,41	3,25
Eisenfilter mit PCU-Tr. 8	350	363	12,1	3,5	3,99	6,85
Eisenfilter mit Jute	350	362	25,1	1,8	2,05	13,40
Betonfilter	350	448	2,6	2,6	3,65	9,28
Bitterfelder Stabfilter	400	503	12,2	12,2	19,29	1,98
Eisenfilter mit PCU-Tr. 8	180	185	24,7	7,2	4,18	3,69
Betonfilter	150	227	2,6	2,6	1,85	9,67
Bitterfelder Stabfilter	150	225	7,0	7,0	4,95	3,62
Eisenfilter mit PCU-Tr. 8	80	85	21,7	6,4	1,71	5,19
Eisenfilter mit Jute	80	85	21,7	1,5	0,40	22,22
Betonfilter	80	133	2,6	2,6	1,09	11,15
Bitterfelder Stabfilter	80	137	8,3	8,3	3,57	3,40

Intell.-Nr. 59 012 VLV Oelerwieck

Ag 205/64 DDR 6723 - IV/18/7 T 922

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 53: Einfluß der Filterkonstruktion auf die maximale Wassereintrittsgeschwindigkeit

$H = 2{,}6$ m, $q_m = 2{,}400$ l/s, $h_m = 1{,}23$ m, Einbaudurchmesser 540 mm

$$V_{max} = \frac{1{,}50 \cdot q_m \cdot}{Z \cdot h_m} \quad (cm/s)$$

Filterkonstruktion	NW	da	F_D	F_{Dr}	Z	Vmax
	(mm)	(mm)	(%)	(%)	(cm^2)	(cm/s)
Eisenfilter mit PCU-Tr.Nr. 8	350	362	25,1	7,4	8,41	3,47
" " " "	350	363	12,1	3,5	3,99	7,33
Eisenfilter mit Jute	350	362	25,1	1,8	2,05	14,27
Betonfilter	350	448	2,6	2,6	3,66	7,99
Bitterfelder Stabfilter	400	503	12,2	12,2	19,27	1,52
Eisenfilter mit PCU-Tr.Nr. 8	180	185	24,7	7,2	4,18	6,99
Betonfilter	150	227	2,6	2,6	1,85	15,81
Bitterfelder Stabfilter	150	225	7,0	7,0	4,95	5,91
Eisenfilter mit PCU-Tr.Nr. 8	80	85	21,7	6,4	1,71	17,11
Eisenfilter mit Jute	80	85	21,7	1,5	0,40	73,14
Betonfilter	80	133	2,6	2,6	1,09	26,84
Bitterfelder Stabfilter	80	137	8,3	8,3	3,57	8,19

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 54: Berechnung der R_e-Zahlen für 3 Beispiele beim Ausbau der Entwässerungsbohrungen mit verschiedenen Filterrohrarten

$$R_e = \frac{1{,}5 \cdot q \cdot \beta}{Z \cdot h_m \cdot \nu}$$

$$\frac{1{,}5 \cdot q}{h_m \cdot \nu} = \text{const. für bestimmte geohydrol. Verhältnisse}$$

$$R_e = \frac{\beta}{Z} \cdot \text{const.}$$

1. Kleinleipisch: $H = 7{,}42$ m, $k_{f10} = 1{,}5 \cdot 10^{-4}$ m/s, $q = 3{,}33$ l/s
$h_m = 4{,}5$ m; $R_e = \beta/Z\ (8{,}47 \cdot 10^{+2})$

2. Welzow-Süd: $H = 13{,}39$ m, $k_{f10} = 3{,}5 \cdot 10^{-4}$ m/s, $q = 25{,}0$ l/s
$h_m = 8{,}25$ m; $R_e = \beta/Z\ (3{,}48 \cdot 10^{+3})$

3. Beispiel: $H = 20{,}0$ m, $k_{f10} = 5 \cdot 10^{-4}$ m/s, $q = 84{,}0$ l/s
$h_m = 12{,}1$ m; $R_e = \beta/Z\ (7{,}95 \cdot 10^{+3})$

Mat.	NW	Nr.	Z	β	β/Z	R_{e1}	R_{e2}	R_{e3}
	(mm)	-	(m)	(m)	-	-	-	-
Eisen	350	1	$8{,}411 \cdot 10^{-2}$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$	$5{,}71 \cdot 10^{-2}$	48	198	455
"	350	2	$3{,}989 \cdot 10^{-2}$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$	$1{,}20 \cdot 10^{-1}$	102	420	955
"	180	8	$5{,}344 \cdot 10^{-2}$	$3{,}8 \cdot 10^{-3}$	$7{,}14 \cdot 10^{-2}$	61	248	567
"	80	9	$1{,}708 \cdot 10^{-2}$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$	$2{,}80 \cdot 10^{-1}$	237	980	2225
Beton	350	10	$3{,}658 \cdot 10^{-2}$	$5{,}0 \cdot 10^{-3}$	$1{,}37 \cdot 10^{-1}$	116	476	1090
"	150	11	$1{,}853 \cdot 10^{-2}$	$5{,}0 \cdot 10^{-3}$	$2{,}70 \cdot 10^{-1}$	229	940	2150
"	80	12	$1{,}086 \cdot 10^{-2}$	$5{,}0 \cdot 10^{-3}$	$4{,}61 \cdot 10^{-1}$	390	1600	3760
Keramik	400	13	$19{,}269 \cdot 10^{-2}$	$2{,}7 \cdot 10^{-3}$	$1{,}40 \cdot 10^{-2}$	12	49	111
"	150	15	$4{,}946 \cdot 10^{-2}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$2{,}63 \cdot 10^{-2}$	22	92	209
"	80	16	$3{,}570 \cdot 10^{-2}$	$1{,}7 \cdot 10^{-3}$	$4{,}76 \cdot 10^{-2}$	40	166	379

...stell-Nr. 59 072 VLV Oelerwieck

Ag 326/64 DDR 6723 - IV/1817 T 922

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 55: Untersuchungsergebnisse der Spülflüssigkeitsproben beim Saugspülbohren im Tagebau Welmow - Süd

Probe-Nr.	Zeit	Teufe	Anstehende Bodenart/Entnahmestelle	Dichte	Temperatur	ph-Wert	Flüssigkeits-volumen	Feststoffgehalt		davon organ. Bestandteile
-	-	(m)	-	(g/cm³)	(°C)	-	(cm³)	(g)	(g/l)	(%)
1	10^{00}	0	Zulaufwasser zum Spülteich	0,999	20,8	4,4	842	0,2	0,24	-
2	10^{00}	0	Spülteich vor d. Bohrung	0,9992	21,2	4,4	840	0,8	0,95	-
3	10^{55}	6,0	mS	1,0022	20,6	4,5	848	4,2	5,00	-
4	11^{10}	9,0	T	1,0019	21,0	4,5	852	4,4	5,20	-
5	11^{25}	10,5	T	1,0021	20,9	4,5	816	3,8	4,70	-
6	11^{25}	10,5	Spülteich	1,0014	20,8	4,4	842	3,2	3,80	-
7	11^{40}	12,0	T	1,0032	21,8	4,6	822	5,3	6,40	-
8	11^{40}	12,0	Spülteich	1,0014	21,6	4,6	850	3,3	3,90	-
9	11^{55}	13,8	T	1,0091	21,1	4,7	758	12,3	16,20	-
10	11^{55}	13,8	Spülteich	1,0018	20,7	4,6	846	3,5	4,10	-
11	12^{10}	16,2	K	1,0026	20,4	4,7	832	4,9	5,90	20,53
12	12^{10}	16,2	Spülteich	1,0020	20,4	4,5	858	4,0	4,70	-
13	12^{25}	17,5	T	1,0028	21,1	4,6	822	5,1	6,20	-
14	12^{25}	17,5	Spülteich	1,0020	21,0	4,6	848	4,0	4,70	-
15	12^{40}	18,5	T	1,0029	21,1	4,6	836	5,1	6,10	-
16	12^{55}	20,5	T	1,0033	21,4	4,6	804	6,2	7,70	-
17	13^{10}	22,0	T	1,0054	21,7	4,5	856	9,0	10,50	-
18	13^{10}	22,0	Spülteich	1,0026	20,8	4,7	837	5,0	6,00	-
19	13^{25}	24,5	T	1,00125	21,3	4,6	798	17,2	22,00	-
20	13^{40}	26,0	T	1,00109	21,6	4,7	836	16,7	20,00	-
21	13^{55}	29,5	mS	1,0042	21,7	4,6	794	7,6	9,60	-
22	13^{55}	29,5	Spülteich	1,0039	21,5	4,5	827	5,9	7,10	12,23
23	14^{25}	32,0	K	1,0034	21,7	4,6	853	7,1	8,30	-
24	14^{25}	32,0	Spülteich	1,0027	21,7	4,6	827	5,1	6,20	-
25	14^{40}	33,6	T	1,00152	21,5	4,7	785	22,0	28,00	-
26	14^{55}	36,0	fS	1,004	20,8	4,5	825	7,3	8,80	-
27	15^{10}	38,0	gS	1,003	20,2	4,5	832	6,7	8,10	17,15
28	15^{10}	38,0	Spülteich	1,0035	21,4	4,6	833	5,4	6,50	18,06
29	15^{25}	41,5	K	1,0042	21,9	4,8	830	9,5	11,00	48,20
30	15^{40}	42,0	K	1,0037	21,8	4,8	832	8,2	9,90	39,93
31	15^{55}	45,0	K	1,0065	21,4	4,8	821	12,4	15,00	46,58
32	15^{55}	45,0	Spülteich	1,0032	21,7	4,8	848	7,7	9,10	46,36
33	16^{10}	47,0	fS	1,0065	21,9	4,9	817	12,7	16,00	35,91
34	16^{25}	50,4	fS	1,0040	22,0	4,8	817	8,3	10,00	38,25

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Tabelle 56: Auswertung der Fallfilterschüttung in Abhängigkeit von der Wasserstandshöhe für PVC-Filterrohr NW 28 nach vorheriger Trübeausspülung

Wasserstand	gemessene Schüttung		Wassertemp.	Korrigierte Schüttung
(m)	(l/min)	(l/s)	(°C)	(l/s)
0,4	0	0	-	0
0,9	0	0	-	0
1,3	tropft	0	-	0
1,7	0,55	0,009	10,3	0,009
2,1	2,80	0,047	10,3	0,046
2,6	9,20	0,153	10,3	0,151

Für die Ausgleichsrechnung wird der Koordinatenursprung entlang der Abszisse um 150 cm verschoben, um direkt vergleichbare Funktionswerte zu erhalten

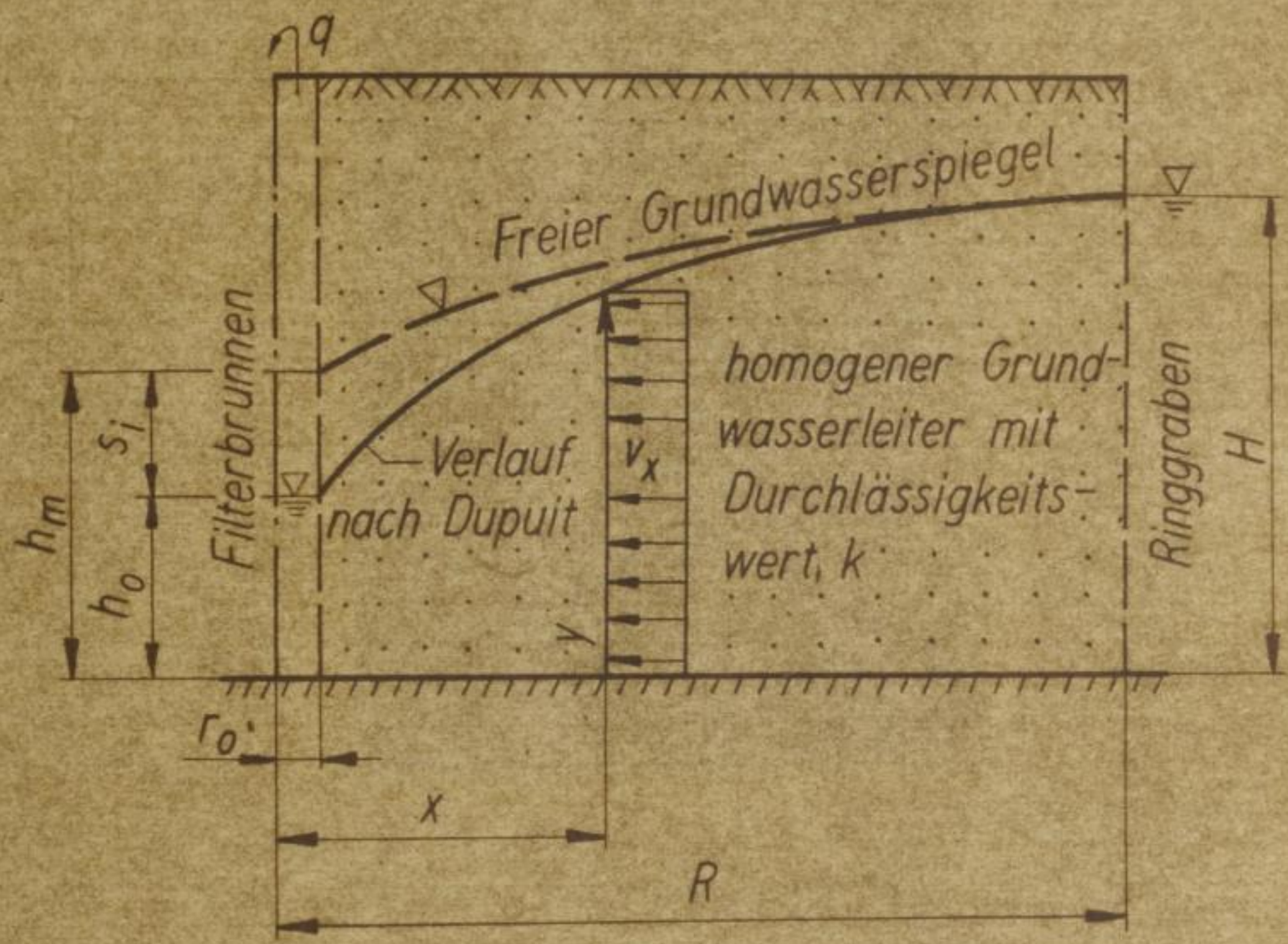
i	q^x	H^x	H^{x2}	$q^x \cdot H^{x2}$	H^{x4}
4	0,009	0,2	0,04	0,00036	0,0016
5	0,046	0,6	0,36	0,01656	0,1296
6	0,151	1,1	1,21	0,18271	1,4641
			$\sum$	0,19963	1,5953

$$\psi^x = \frac{\sum q^x H^{x2}}{\sum H^{x4}} = \frac{0,19963}{1,5953}$$

$$\psi^x = 0,1251$$

H^x	0,2	0,6	1,1
q^x	0,005	0,045	1,514

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Grundwasserströmung mit freier Oberfläche zum vollkommenen Brunnen mit Dupuitschen Annahmen

Anlage 1

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

1 2 3

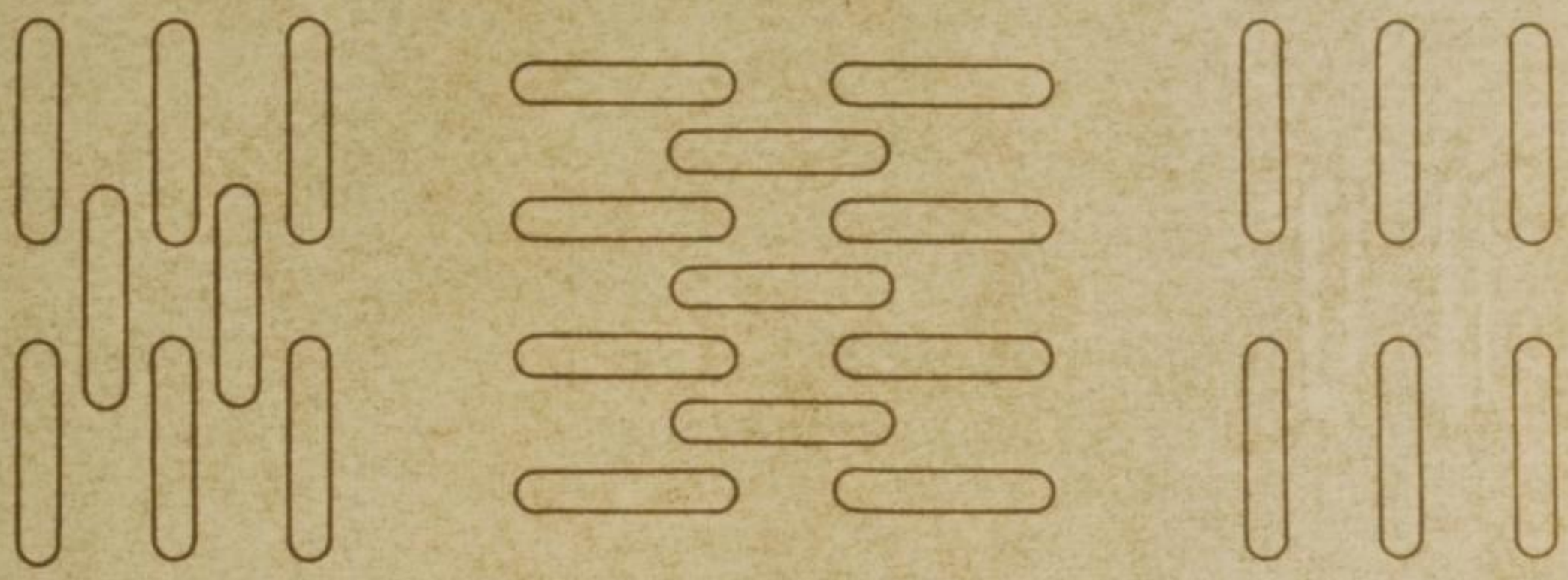
1 = Einkornbetonfilterrohr
2 = Bitterfelder Stabfilterrohr (Keramik)
3 = Eisenfilterrohr mit Schlitzlochung

Filterrohre aus unterschiedlichen Werkstoffen

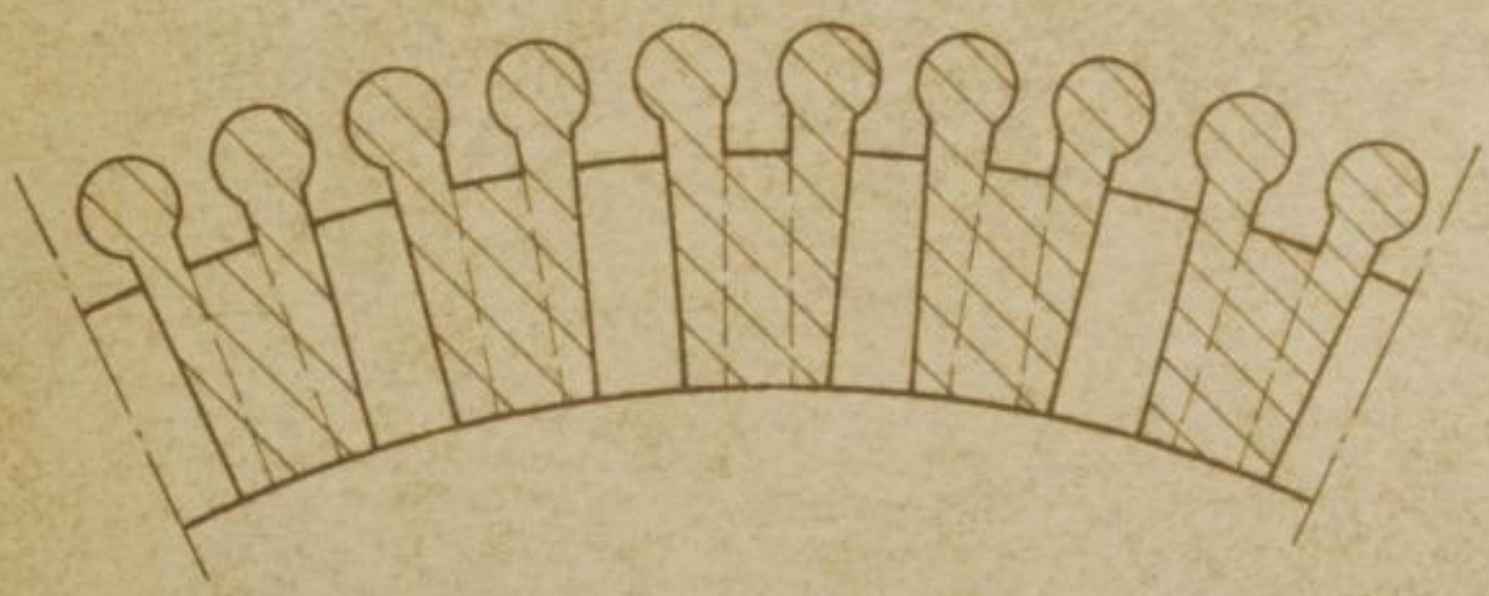
Anlage 2

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Anordnung der Schlitzlochung bei Eisenfilterrohren

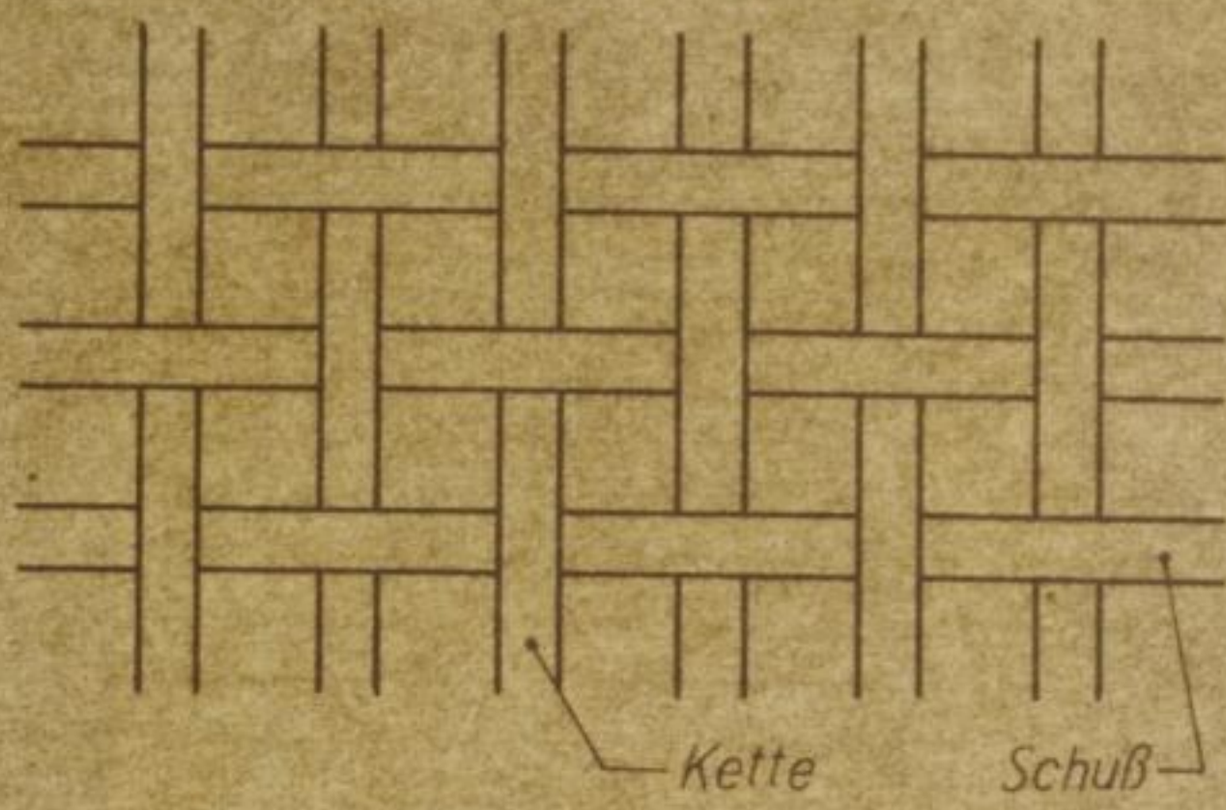


Anordnung der Wassereintrittsöffnungen beim Bitterfelder Stabfilter

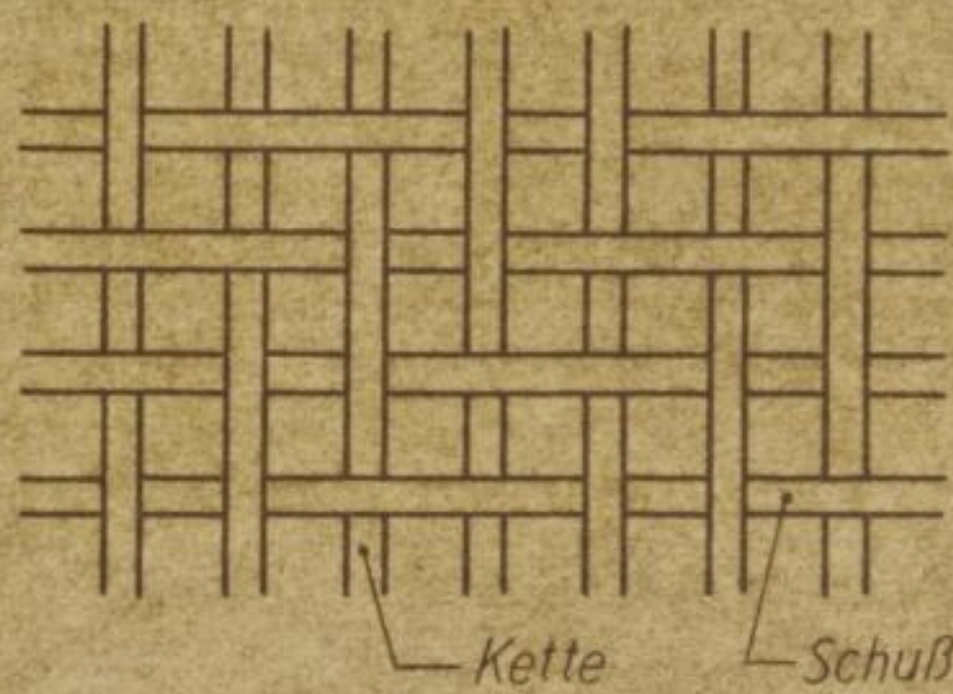
Anlage 3

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

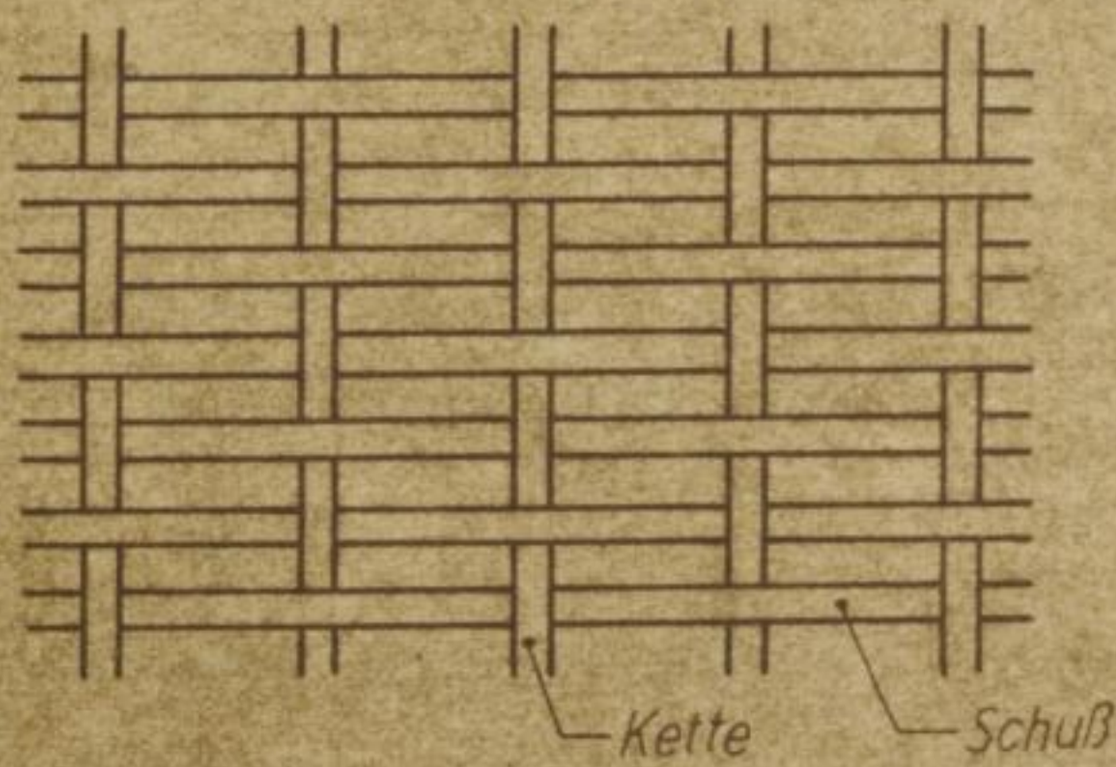
SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Unterlagsgewebe



Köpergewebe

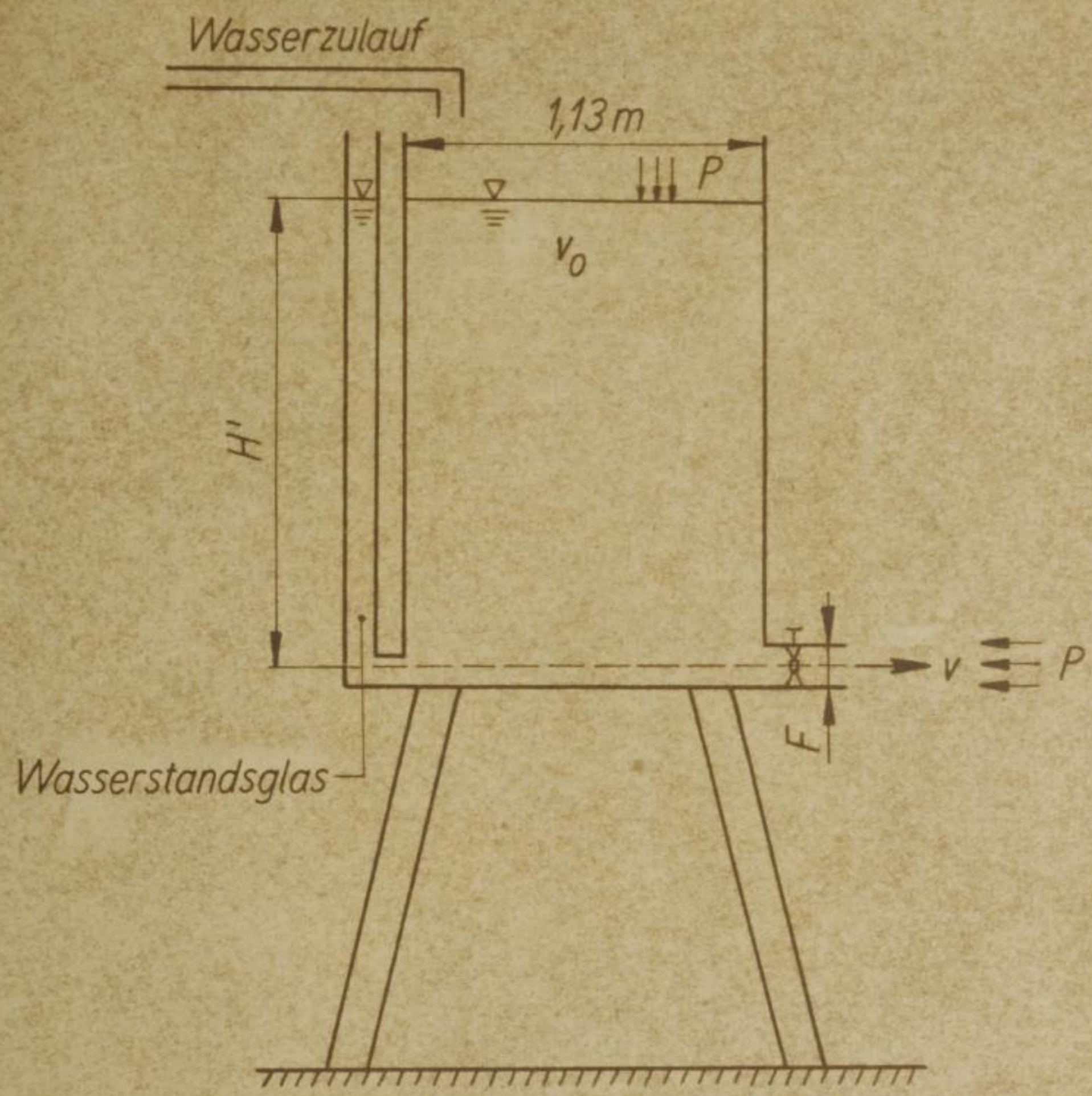


Tressengewebe

Anlage 4

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



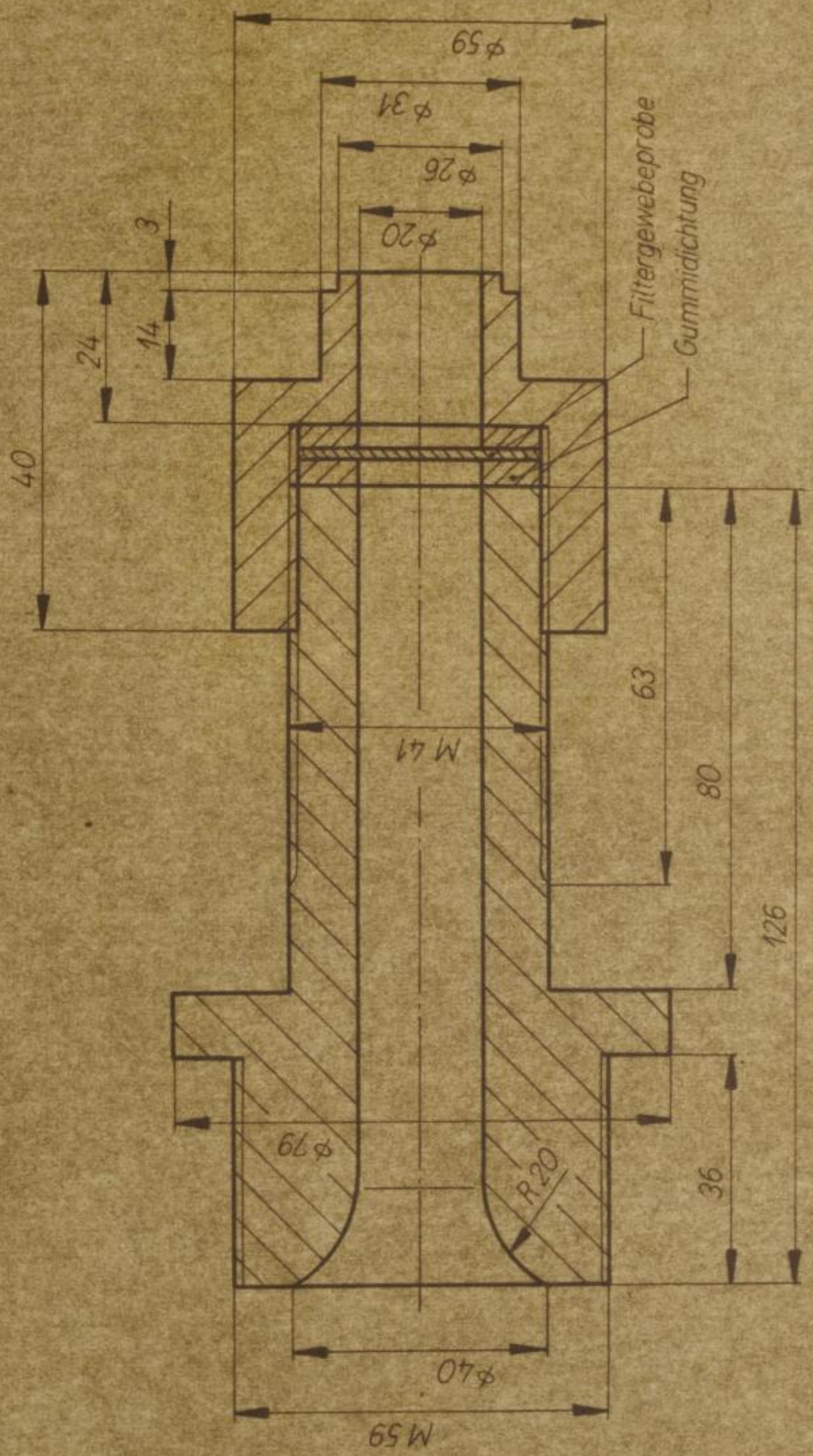
P = Barometerdruck
H' = Wasserspiegelhöhe über der Ausflußöffnung
v = Ausflußgeschwindigkeit
v_0 = Absenkungsgeschwindigkeit des Gefäßwasserspiegels
F = Querschnitt der Ausflußöffnung

Prinzipskizze des Versuchsstandes zur indirekten Bestimmung der freien Durchtrittsflächen

Anlage 5

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

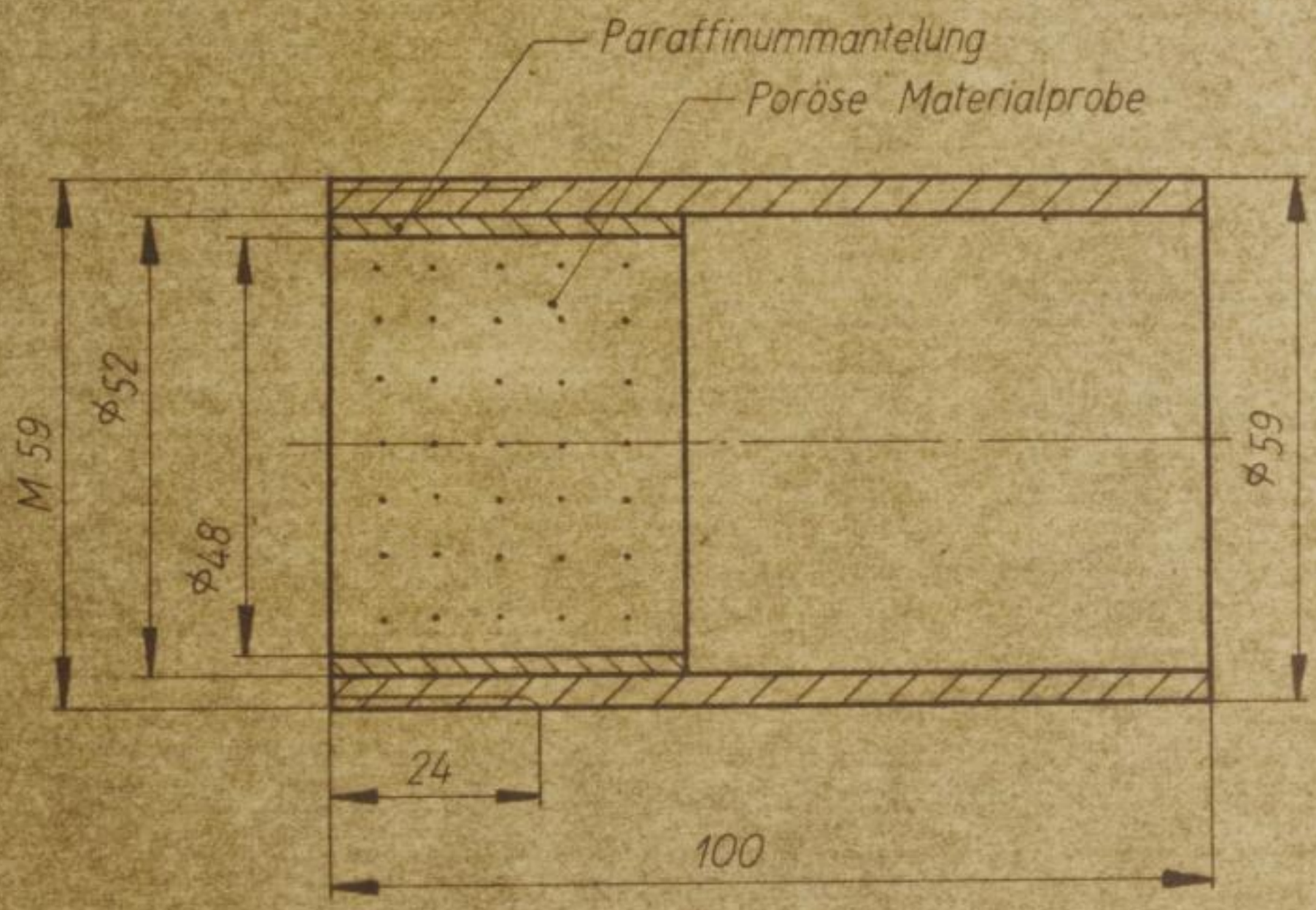
SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Schnitt durch die Düse zur Aufnahme von Filtergewebeproben

Anlage 6

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



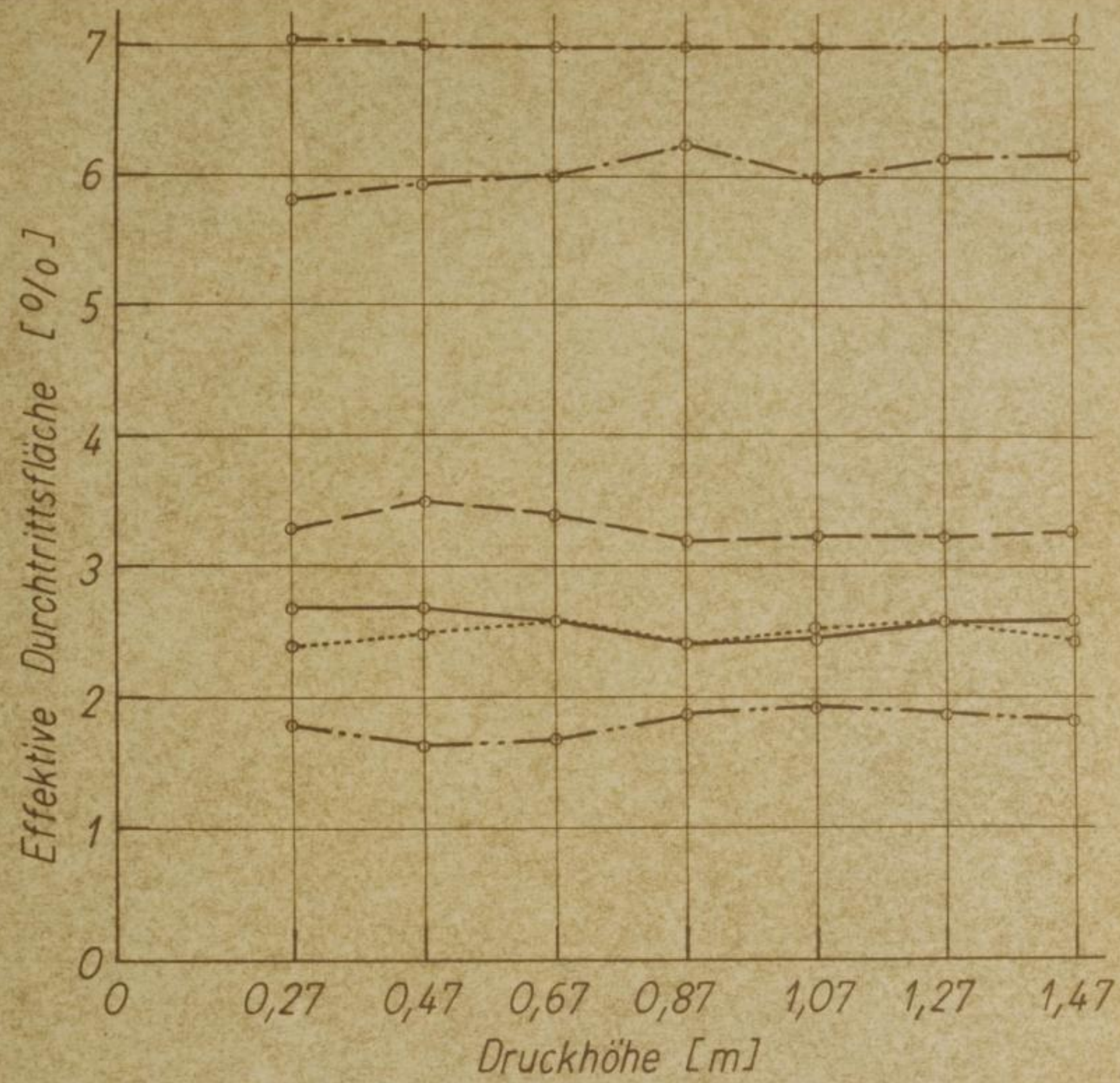
Schnitt durch den Stutzen für Proben aus porösem Filtermaterial

Anlage 7

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Effektive Durchtrittsfläche 1 o/o 1

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



—·— Jute = Filtergewebe
—·— Poly. 26 = Polyamid-Filtertresse Nr. 26
—— KF CSSR = Epoxydharzgeklebter Kiesfilter aus der CSSR
—— BF DDR = Einkornbetonfilter aus der DDR
..... SF CSSR = Epoxydharzgeklebter Sandfilter aus der CSSR
—··— SF DDR = Epoxydharzgeklebter Sandfilter aus der DDR

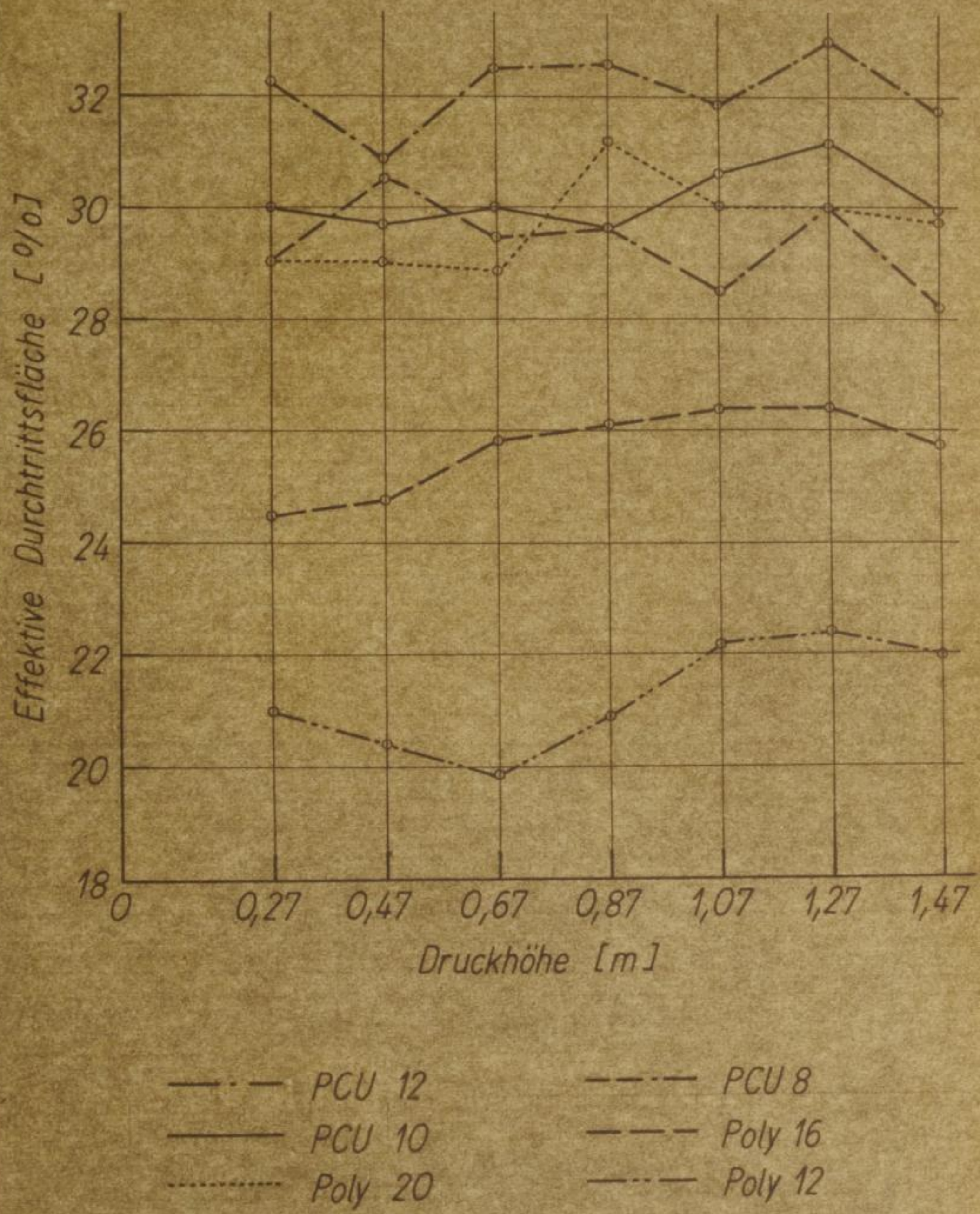
Bestimmung der effektiven Durchtrittsflächen im Auslaufversuch bei verschiedenen Druckhöhen

Anlage 8

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

Effektive Durchflussfläche 34 cm²

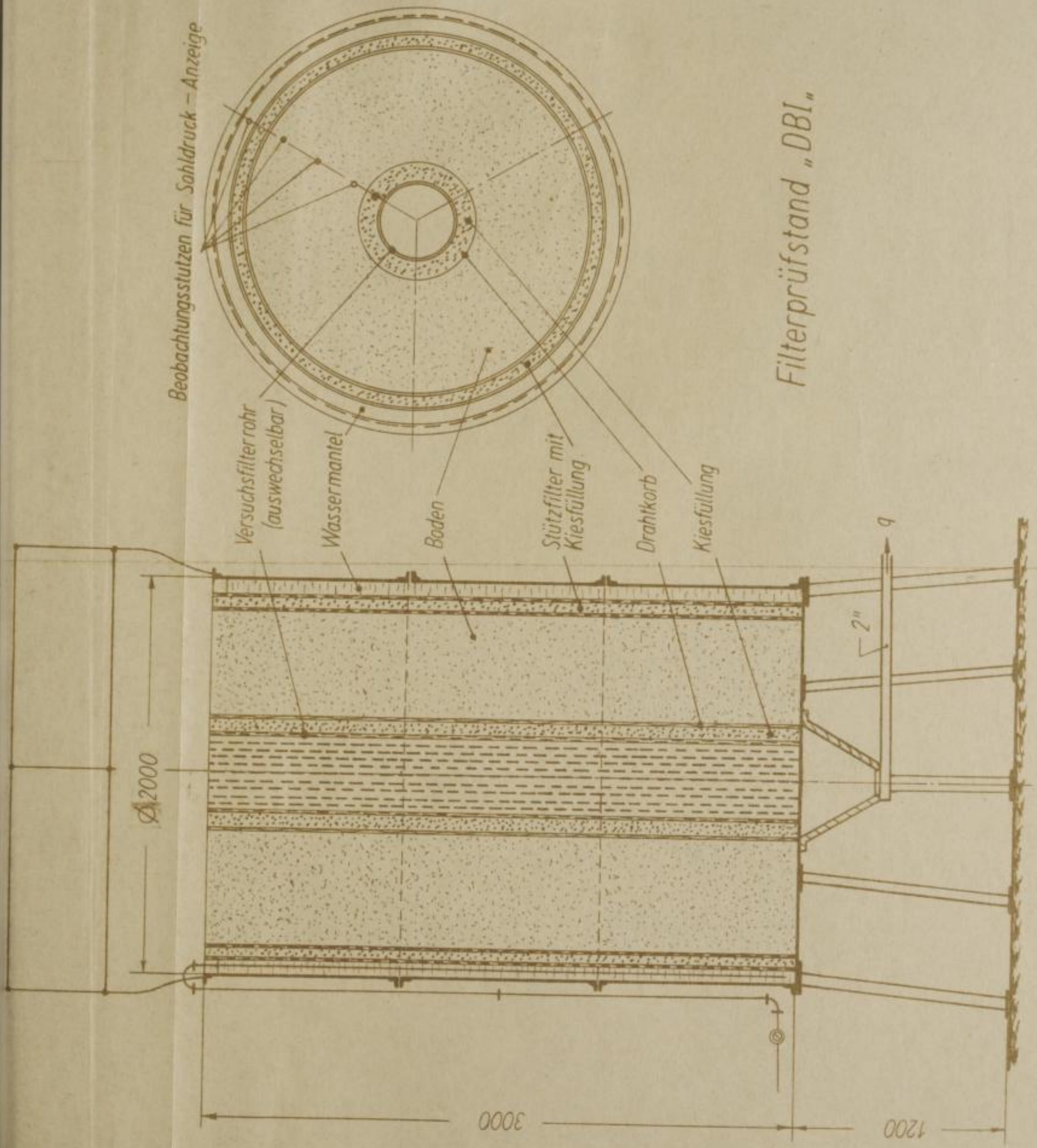
SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Bestimmung der effektiven Durchtrittsflächen im Auslaufversuch bei verschiedenen Druckhöhen

Anlage 9

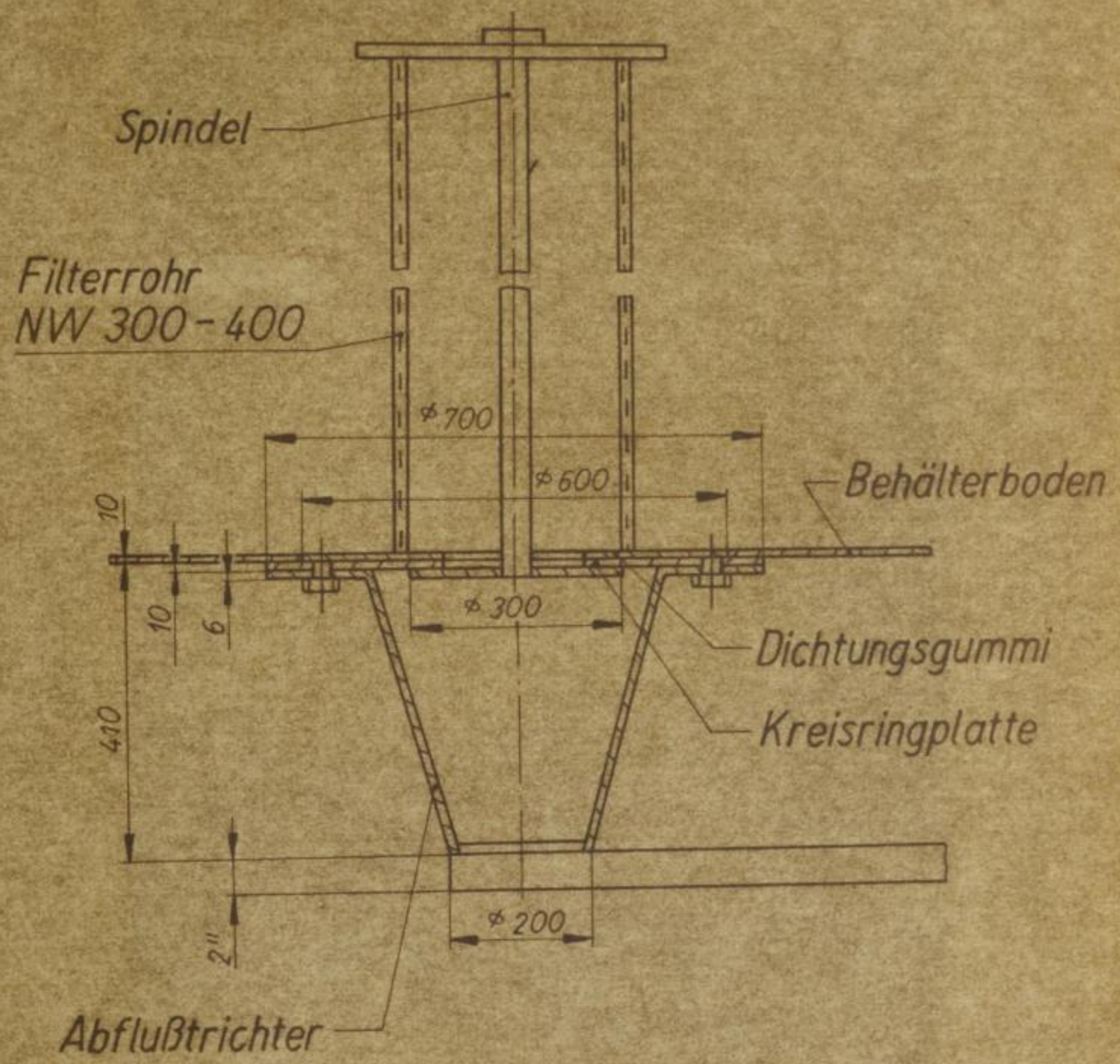
SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Filterprüfstand „DBI"

Anlage 10

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Abdichtung der Wasseraustrittsöffnung
am Prüfstandsboden

Anlage 11

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

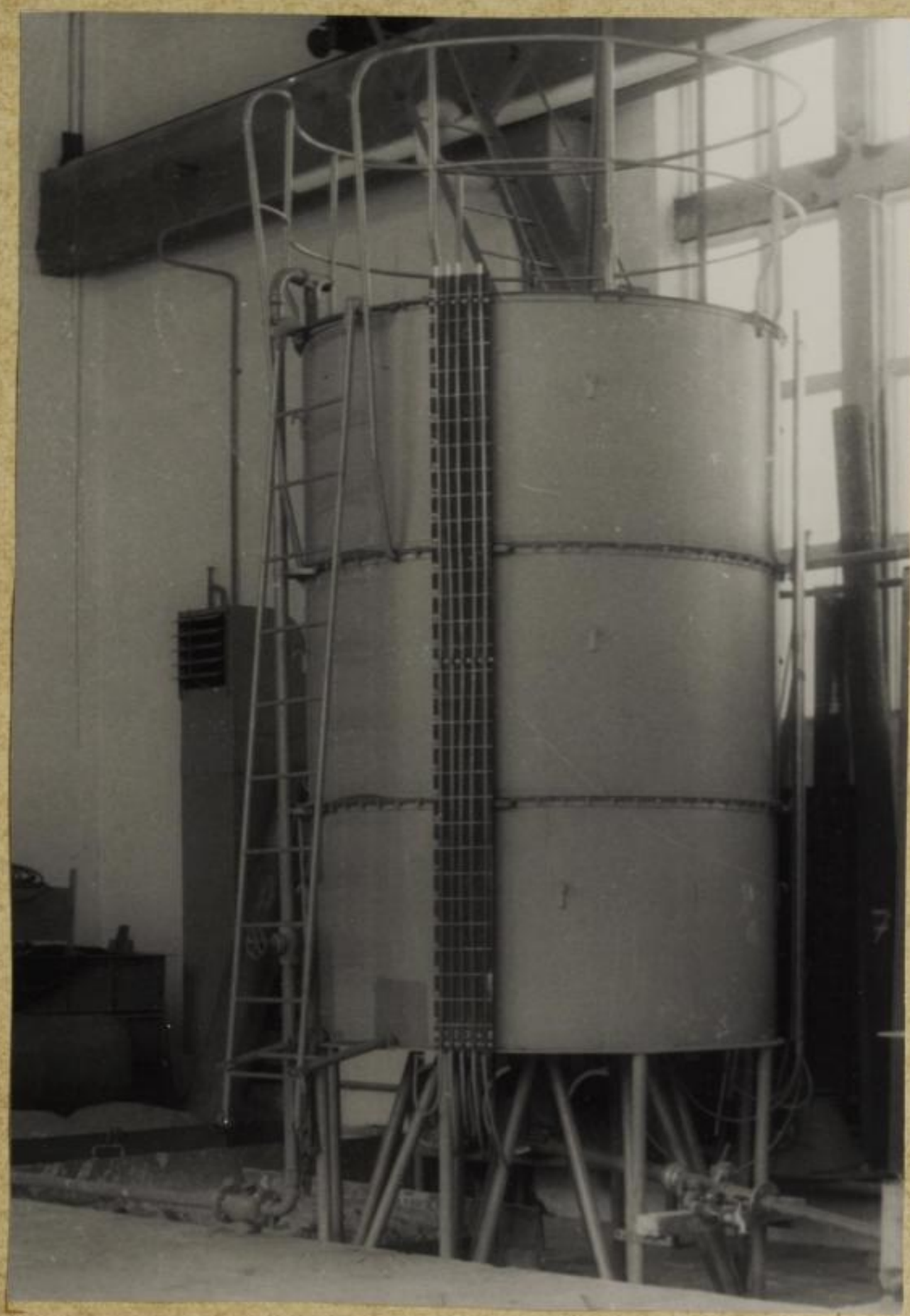


Foto des gleichen Versuchsstandes

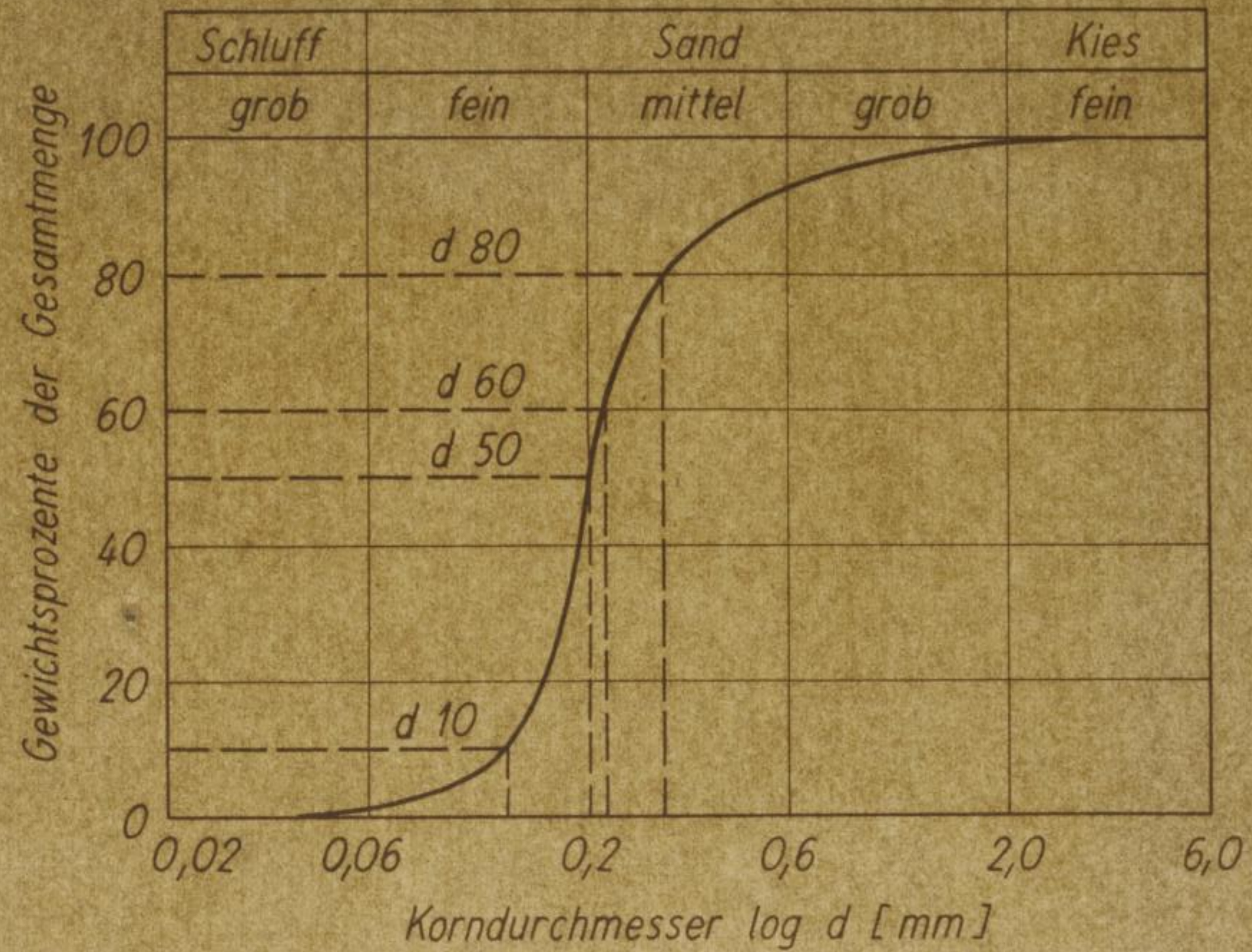
Anlage 12

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

$d_{80} = 0{,}300\,mm$
$d_{60} = 0{,}220\,mm$
$d_{50} = 0{,}200\,mm$
$d_{10} = 0{,}128\,mm$

$$U = \frac{0{,}220}{0{,}128} = 1{,}72$$

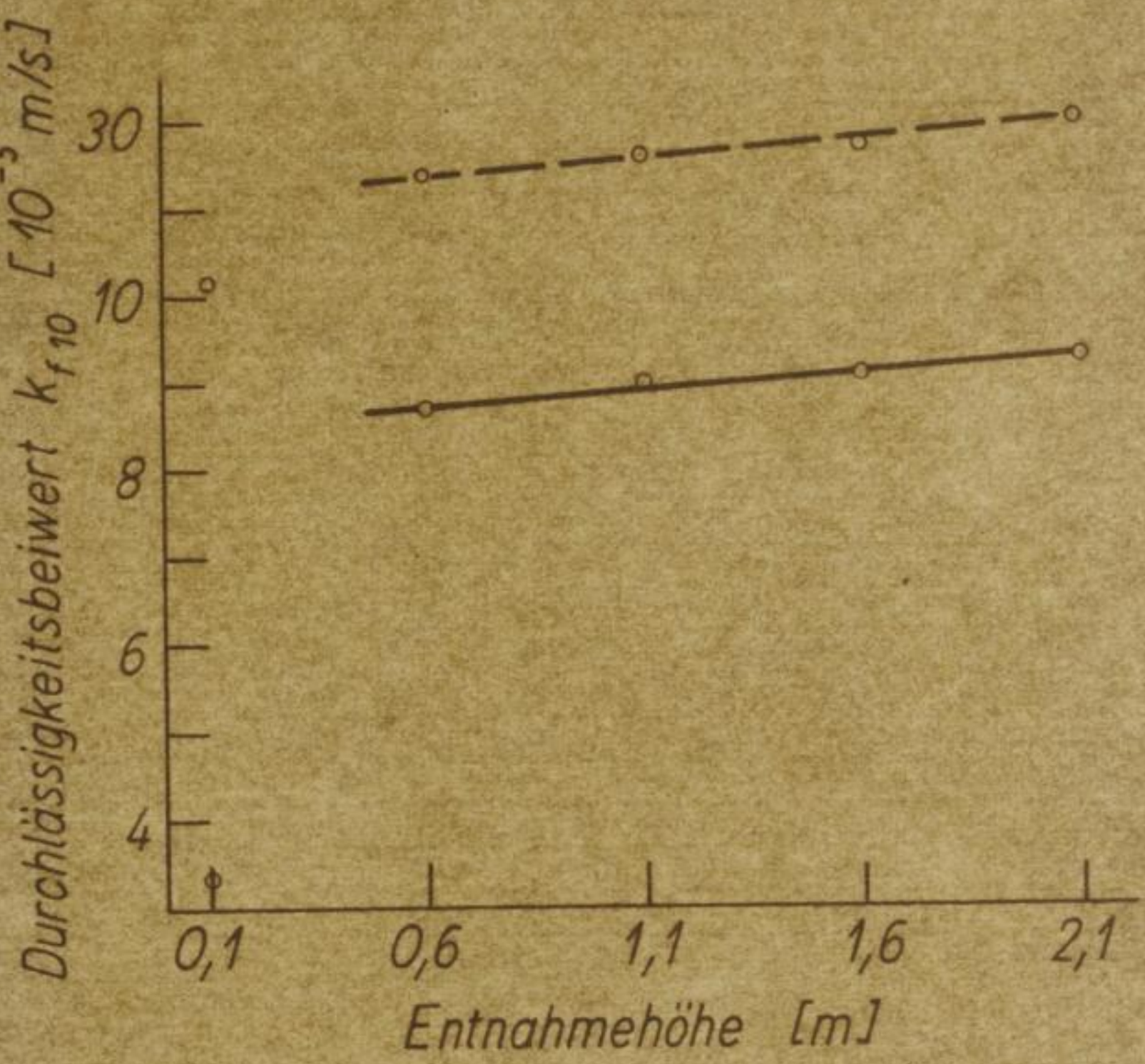


Gemittelte Kornverteilungskurve aus den Proben 1–3, 6, 9, 12 und 15
(Kleinleipischer Sand)

Anlage 13

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



——— Kleinleipischer Sand — — — Dresdener Sand

Durchlässigkeitsbeiwert k_{f10} in Abhängigkeit von der Entnahmehöhe nach Laboruntersuchungen

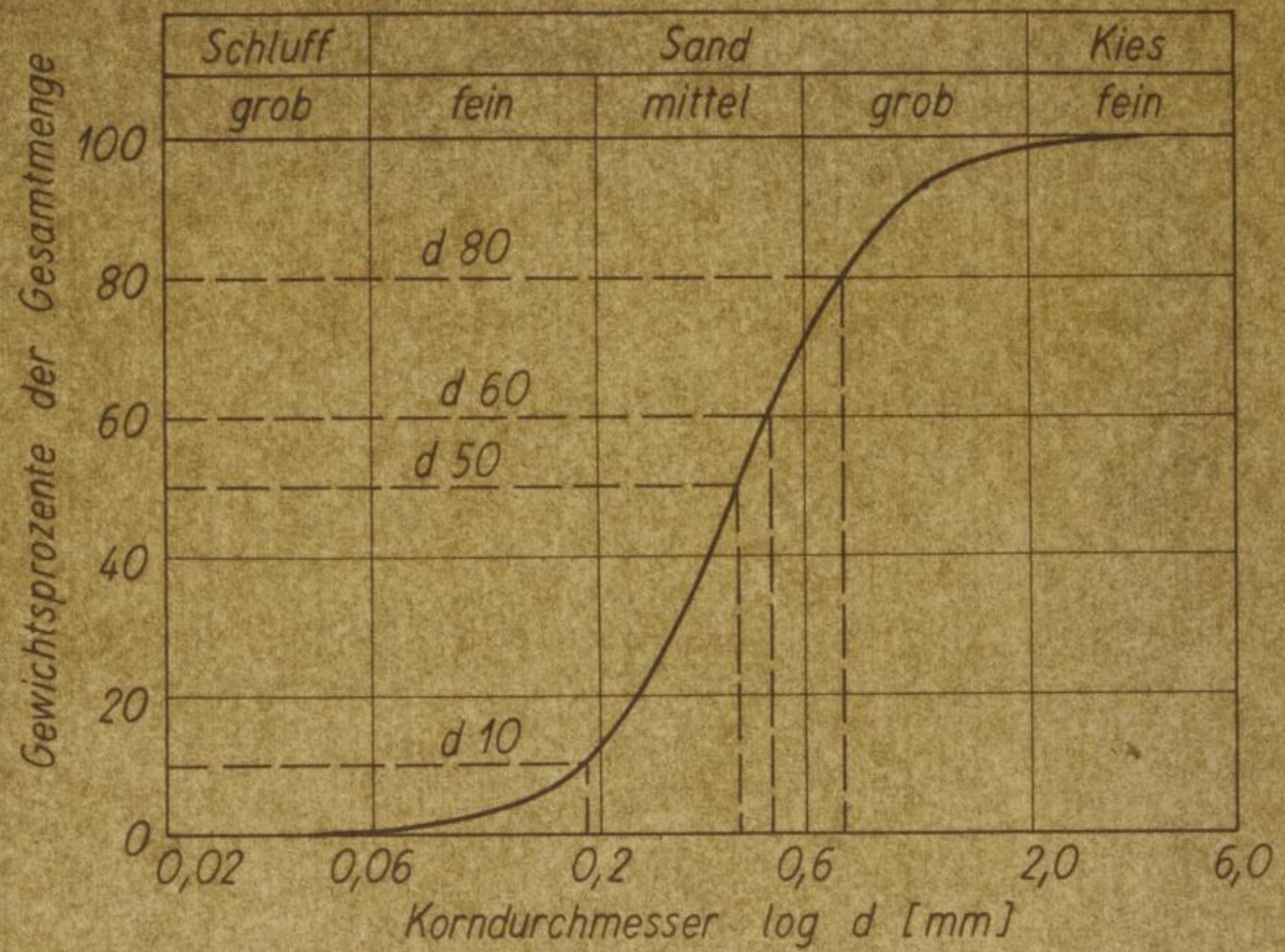
Anlage 14

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

$d_{80} = 0{,}735\ mm$
$d_{60} = 0{,}50\ mm$
$d_{50} = 0{,}42\ mm$
$d_{10} = 0{,}125\ mm$

$$U = \frac{0{,}50}{0{,}185} = 2{,}70$$

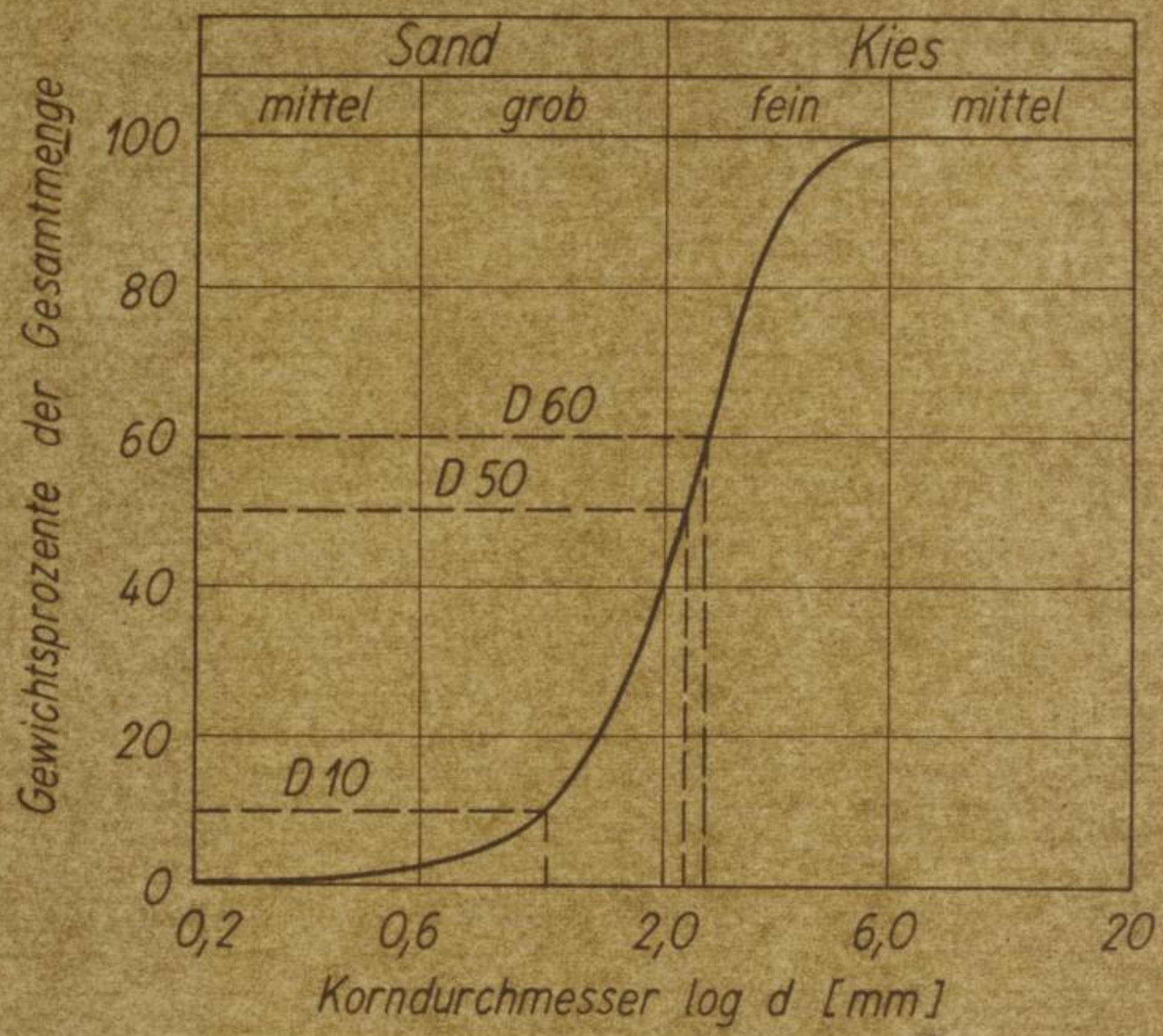


Gemittelte Kornverteilungskurve aus den Proben 16 - 30
(Dresdener Sand)

Anlage 15

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



$D_{60} = 2{,}45\,mm$ $\qquad U = \frac{2{,}45}{1{,}12} = 2{,}19$

$D_{50} = 2{,}20\,mm$ $\qquad k = 7{,}0 \cdot 10^{-3}\ m/s$

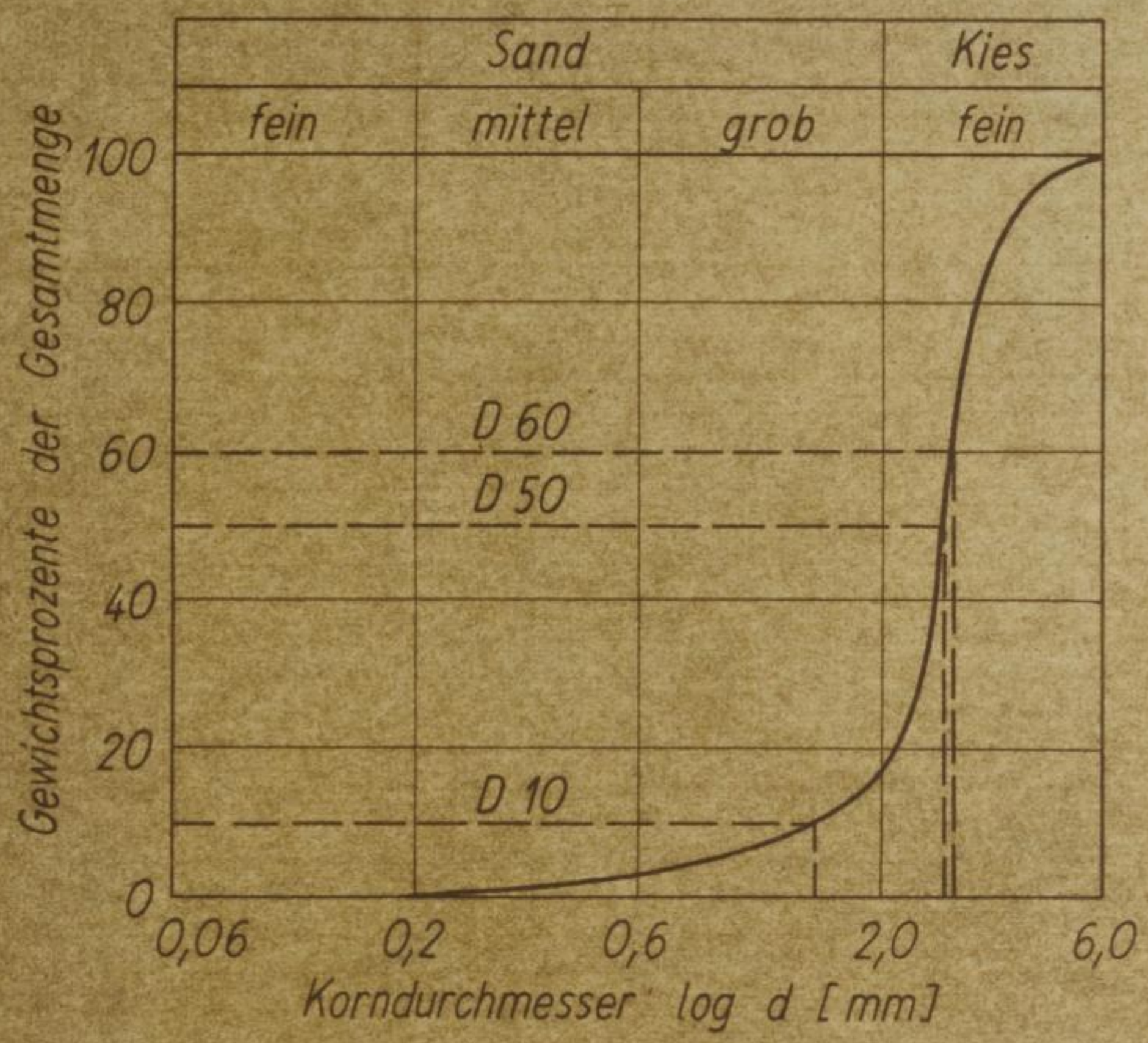
$D_{10} = 1{,}12\ mm$ $\qquad$ bei $n = 37{,}5\ \%$

Kornverteilungskurve für Filterkies 2 - 4 mm
Kieswerk Klingmühl

Anlage 16

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



$D_{60} = 2{,}85$ mm

$D_{50} = 2{,}72$ mm

$D_{10} = 1{,}45$ mm

$U = \frac{2{,}85}{1{,}45} = 1{,}97$

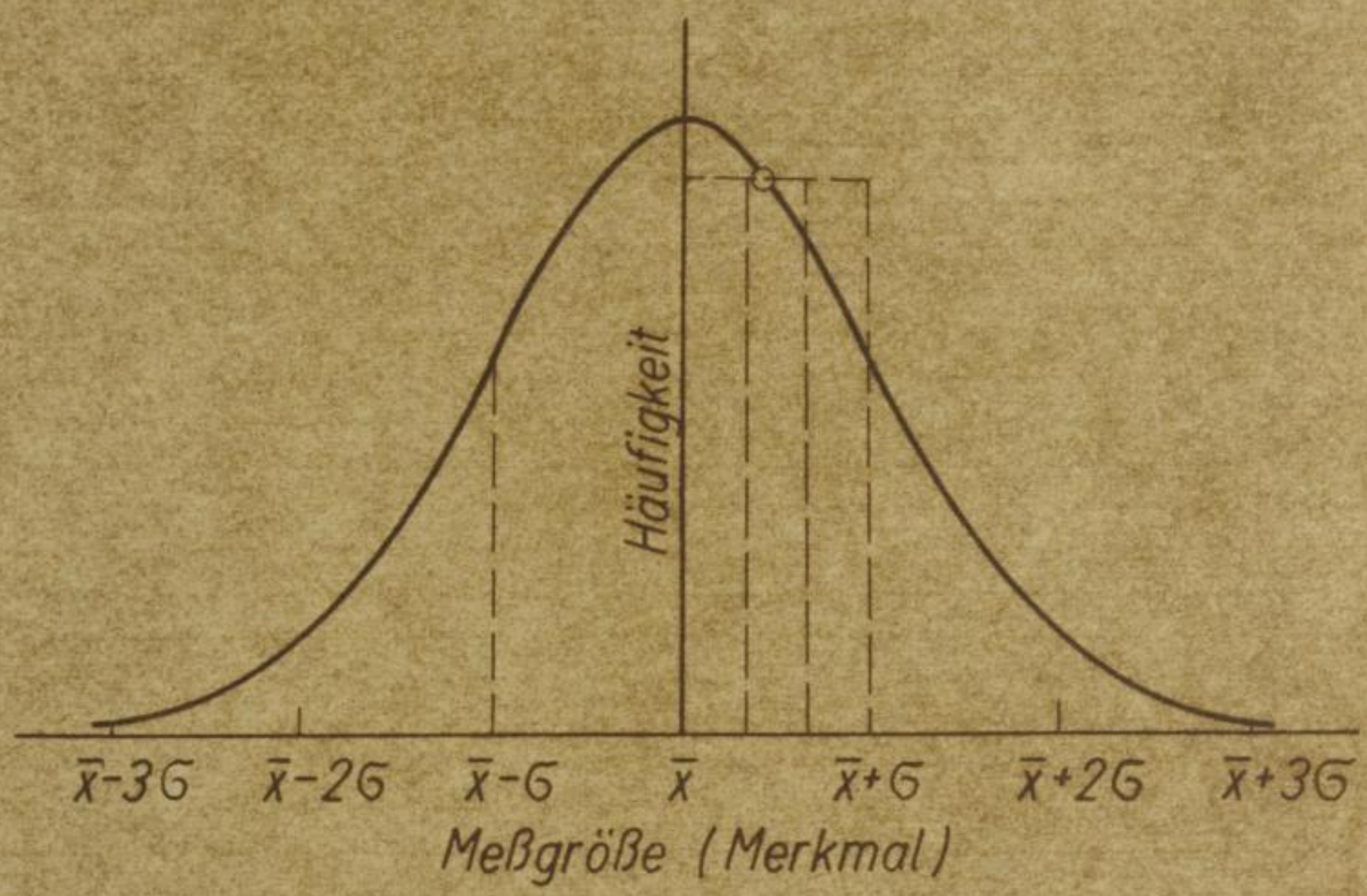
$k = 2{,}4 \cdot 10^{-2}$ m/s

bei $n = 35{,}4\ \%$

Kornverteilungskurve für Filterkies 4-7 mm
Kieswerk Klingmühl

Anlage 17

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

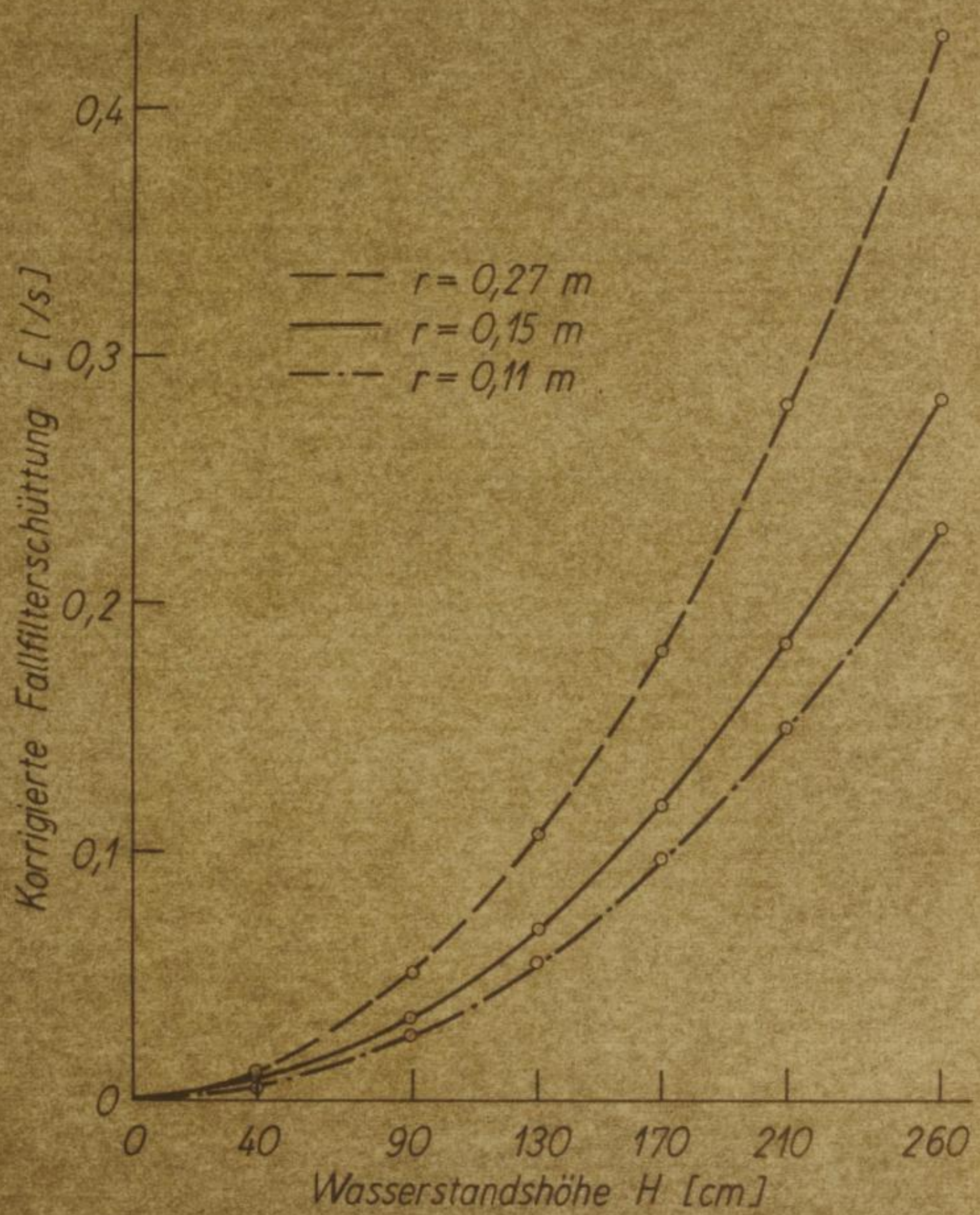


Kurve der Normalverteilung
(Gaußsche Glockenkurve)

Anlage 18

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

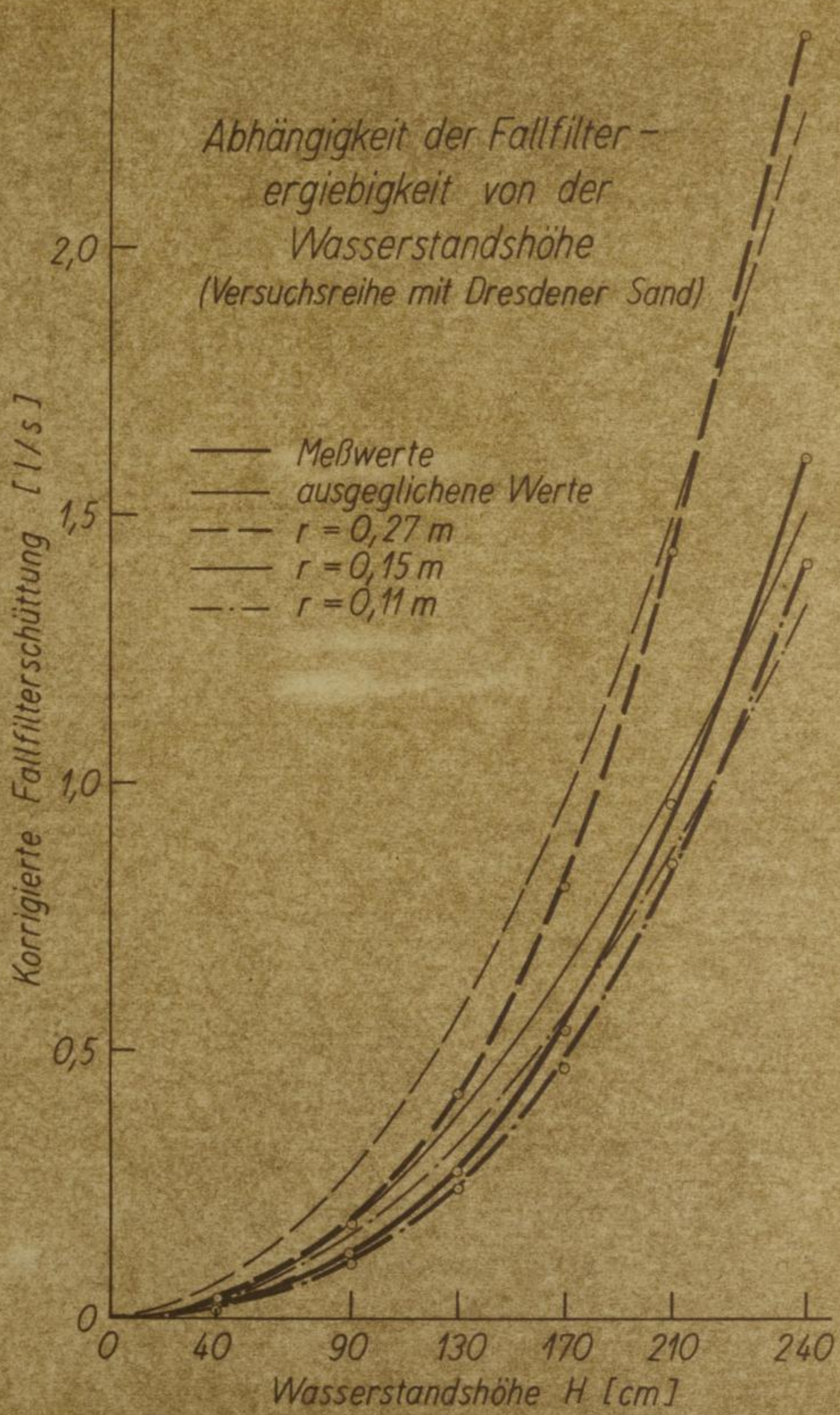


Abhängigkeit der Fallfilterergiebigkeit
von der Wasserstandshöhe
(Versuchsreihe mit Kleinleipischer Sand)

Anlage 19

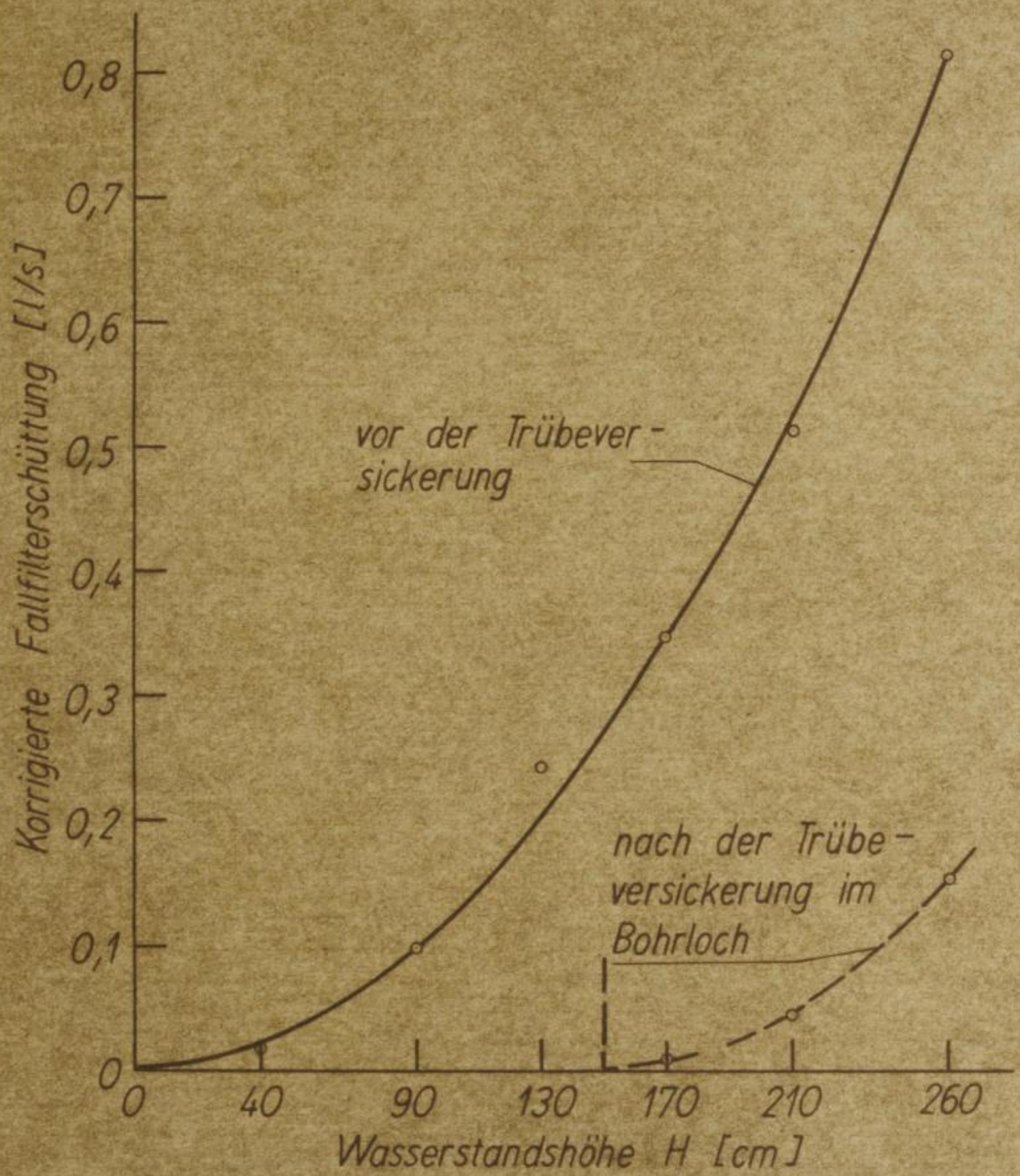
SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG


Abhängigkeit der Fallfilter-
ergiebigkeit von der
Wasserstandshöhe
(Versuchsreihe mit Dresdener Sand)
Meßwerte
ausgeglichene Werte
r = 0,27 m
r = 0,15 m
r = 0,11 m
Korrigierte Fallfilterschüttung [l/s]
2,0
1,5
1,0
0,5
0
0
40
90
130
170
210
240
Wasserstandshöhe H [cm]

Anlage 20

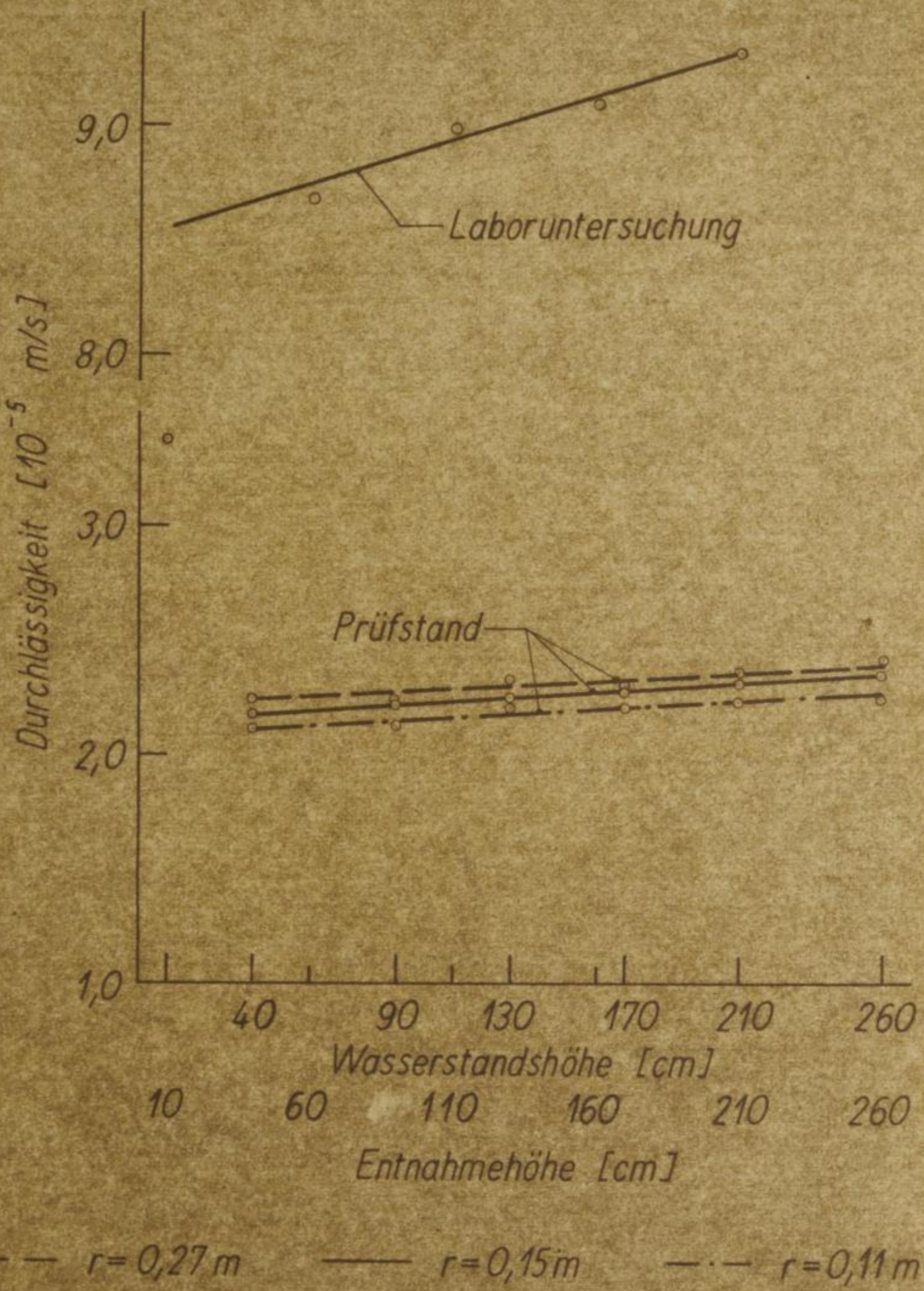
SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Darstellung der Abhängigkeit zwischen Wasserstandshöhe und Fallfilterschüttung für PVC-Filterrohr NW 28 (r=0,017m)

Anlage 21

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

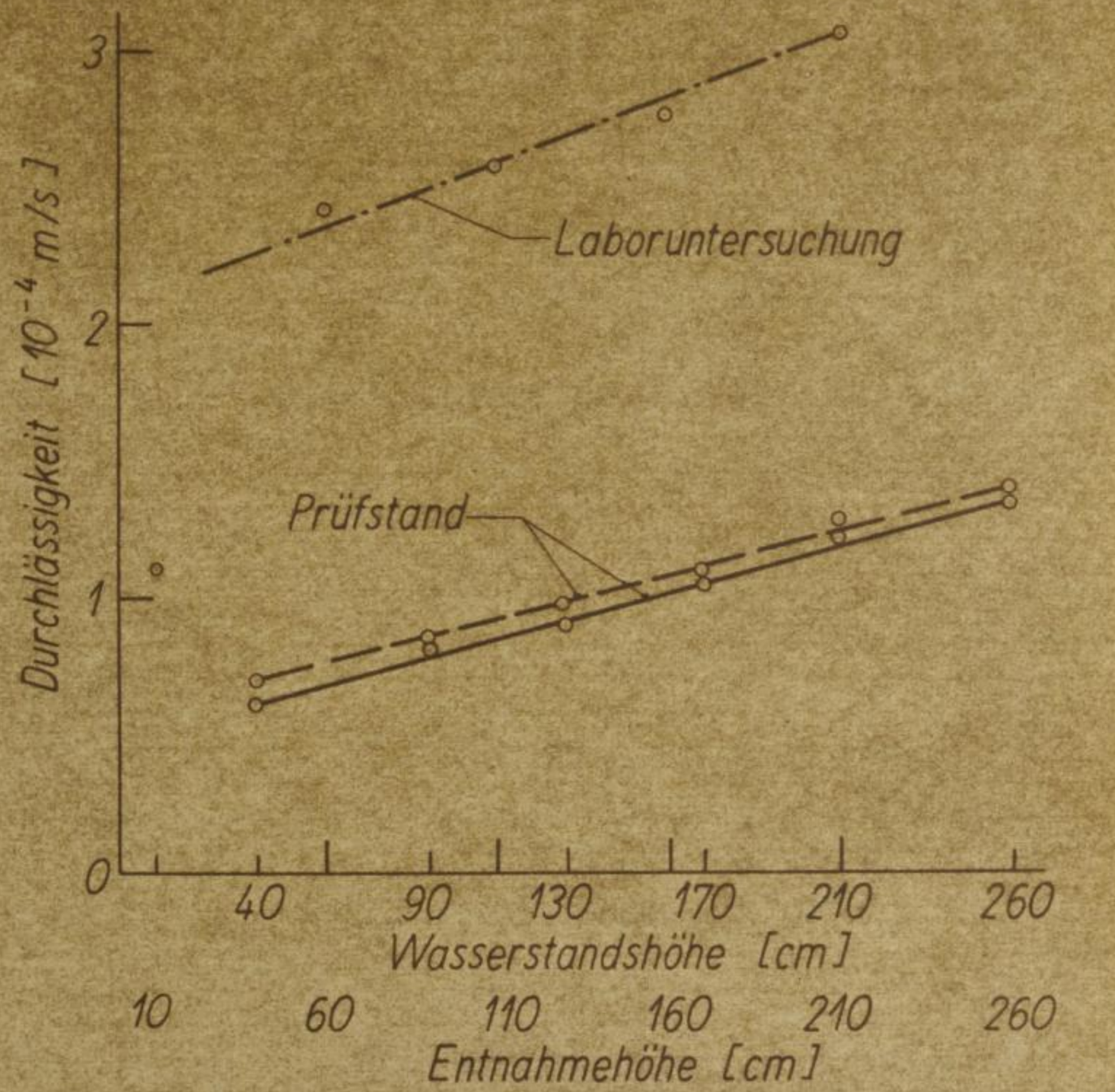


Vergleich der k_{f10}-Wert-Verteilung nach den Laboruntersuchungen und den Prüfstandmessungen für Kleinleipischer Sand

Anlage 22

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



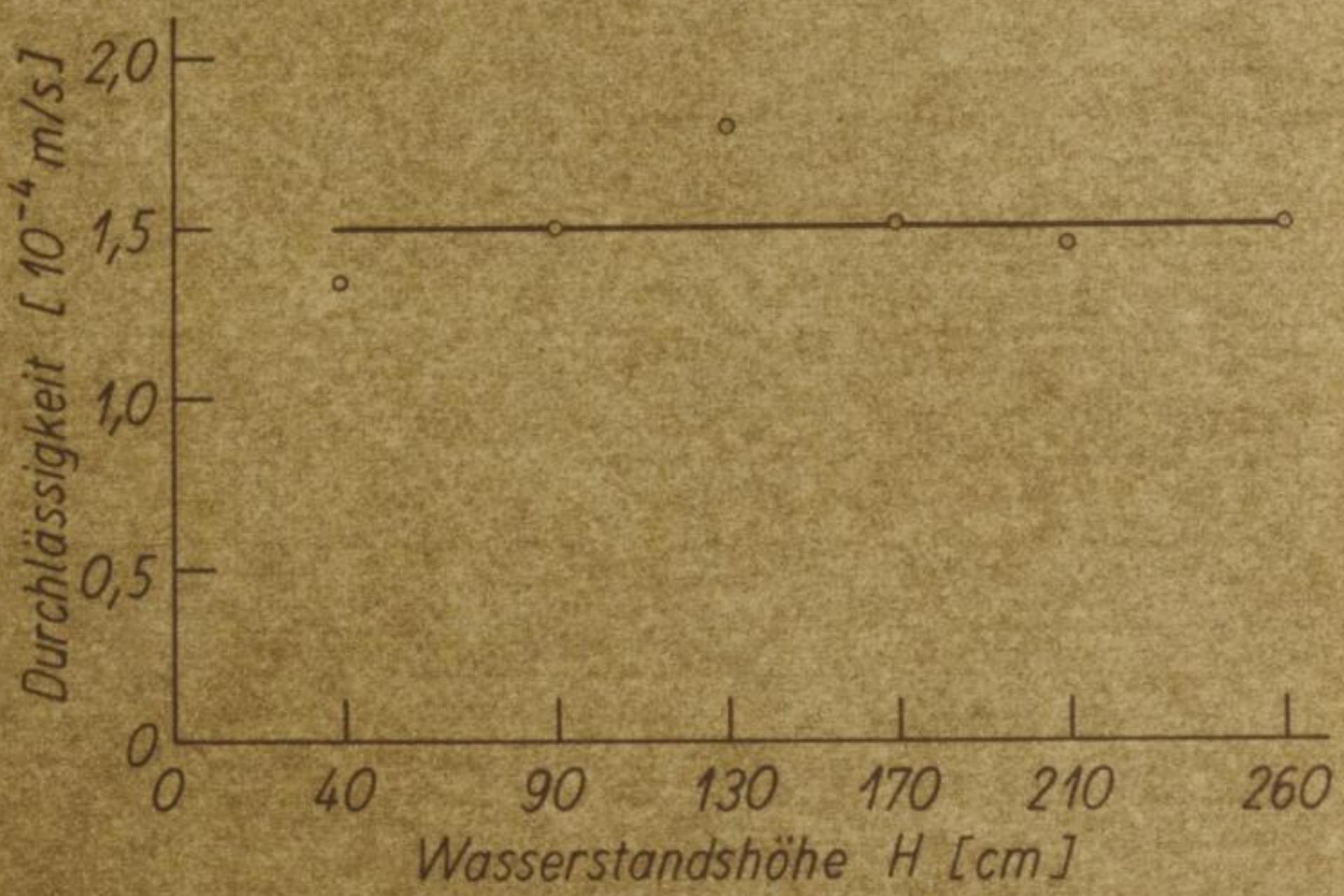
—— r = 0,27 m —— r = 0,15 m — — r = 0,11 m

Vergleich der $k_{f\,10}$-Wert-Verteilung nach den Laboruntersuchungen und den Prüfstandmessungen für Dresdener Sand

Anlage 23

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

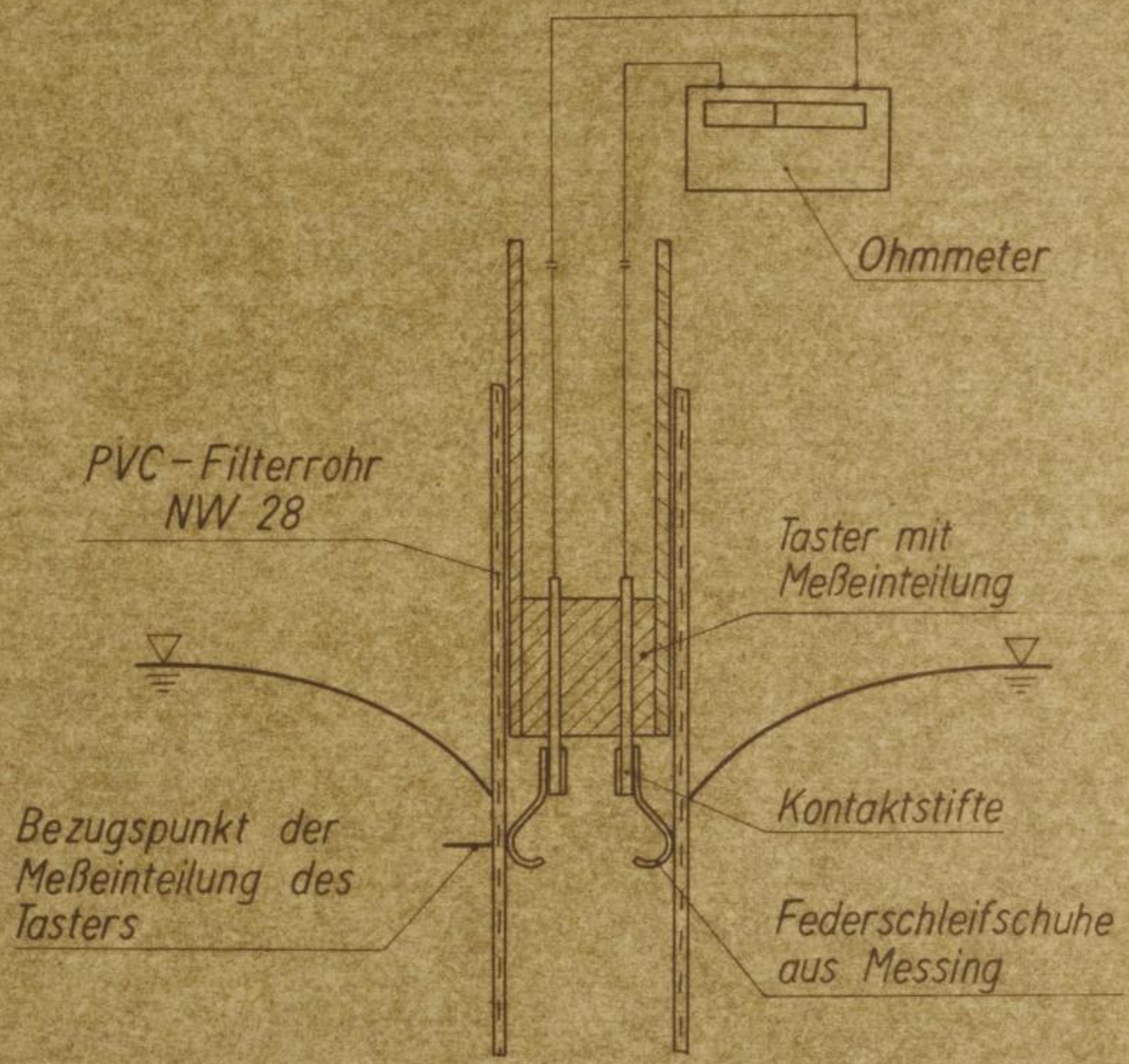


k-Wert-Verteilung aus Prüfstandmessungen mit PVC-Filterrohr und Dresdener Sand

Anlage 24

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

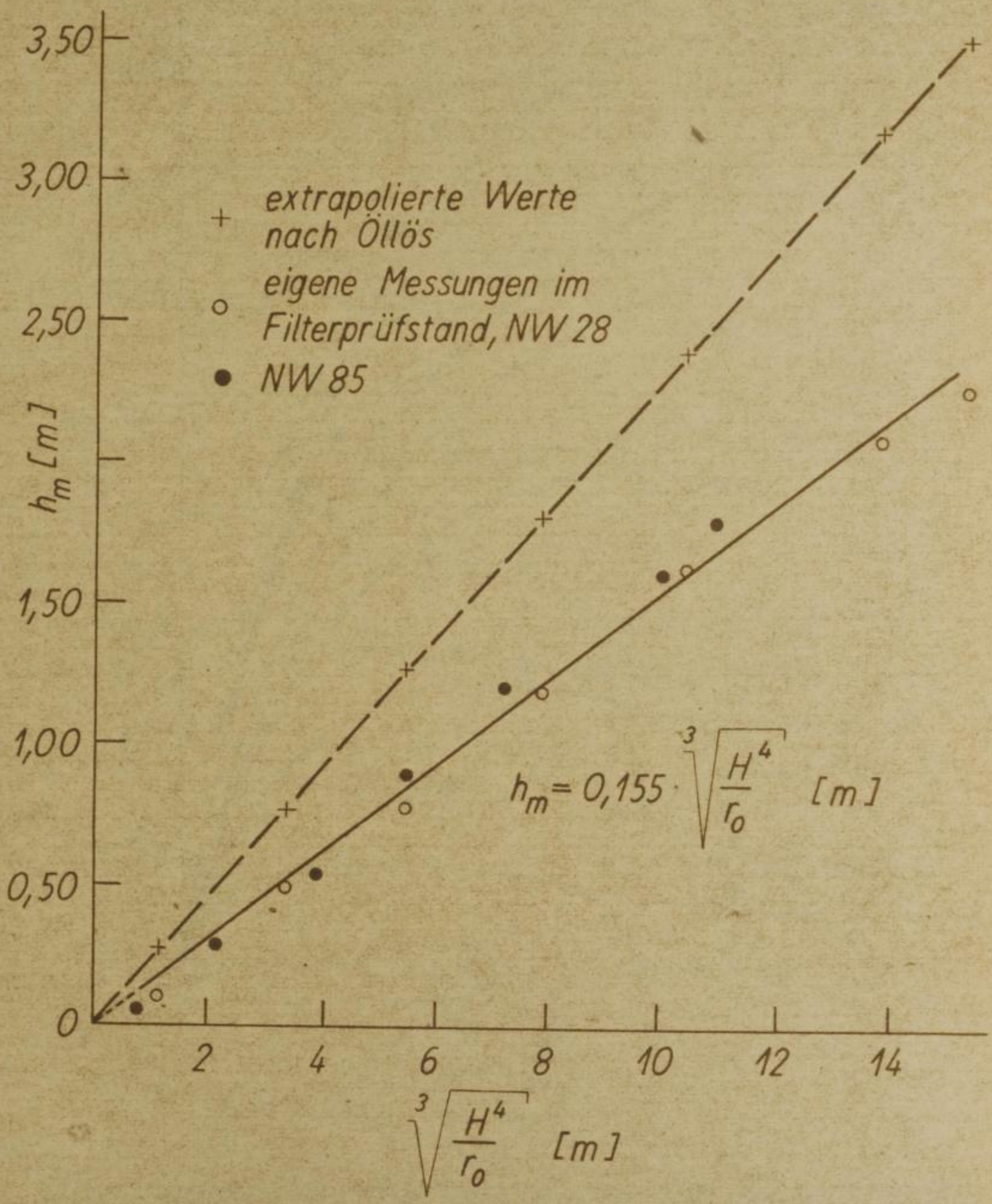


Meßprinzip zur Bestimmung des oberen Wassereintritts in das Filterrohr

Anlage 25

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

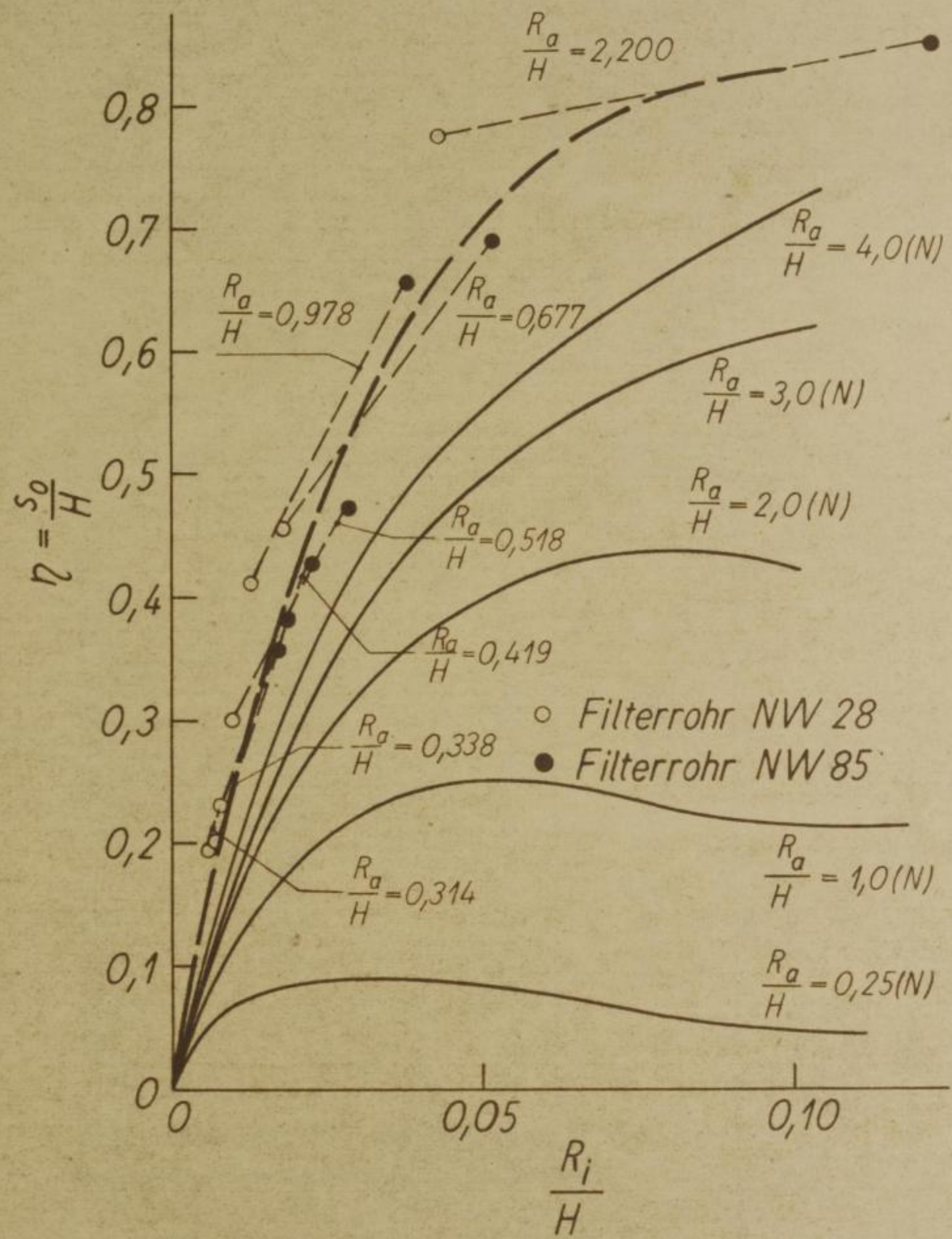


Wasserspiegelhöhe am Brunnenaußenmantel bei vollständig abgesenktem Brunnenwasserspiegel in Abhängigkeit von H und r_0 nach der Formel von Öllös und nach eigener Messung

Anlage 26

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

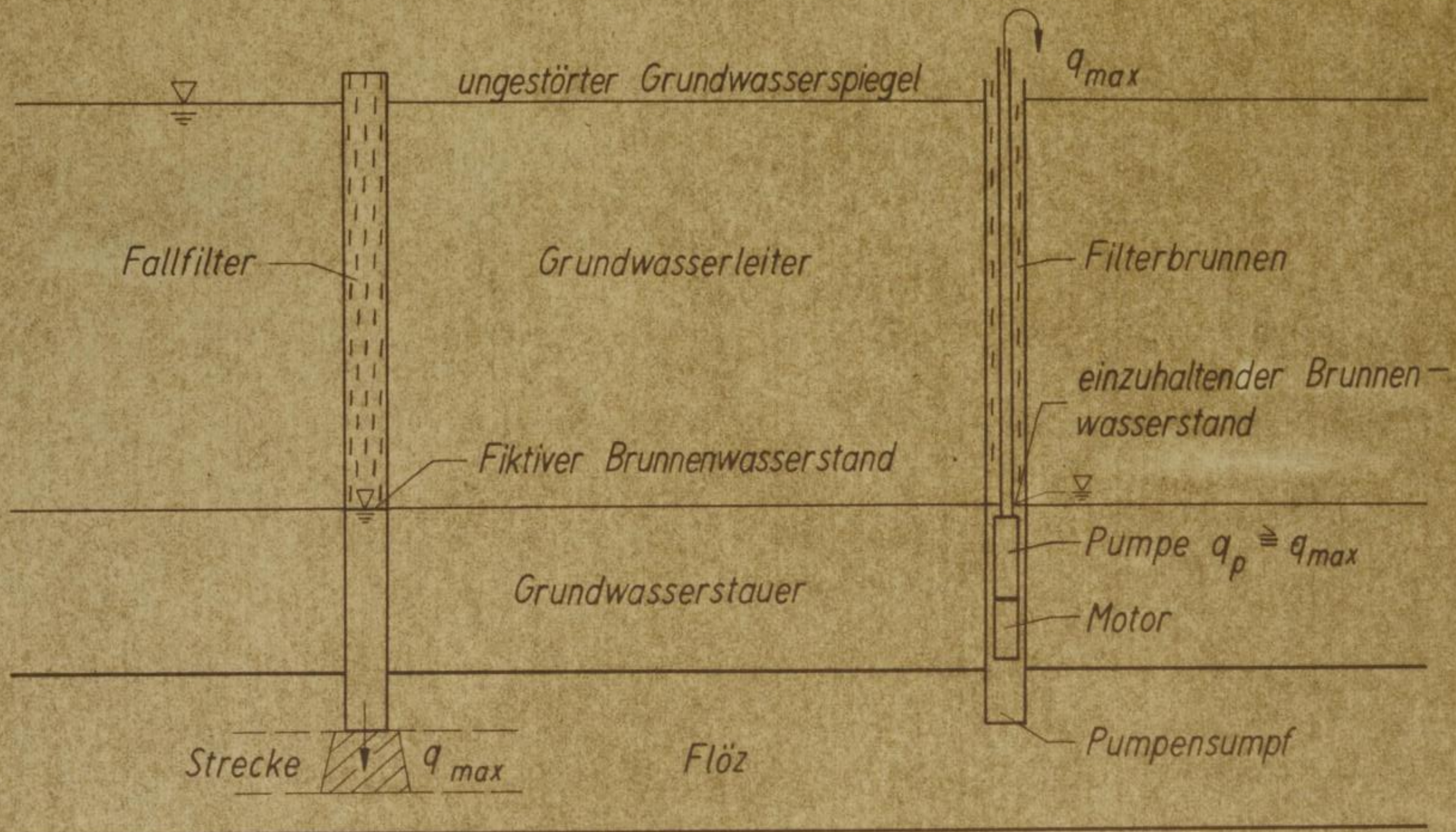
SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Übertragung der Meßwerte für die Sickerstrecke in die von Nahrgang (Lit. 28) gewählte Darstellung

Anlage 27

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

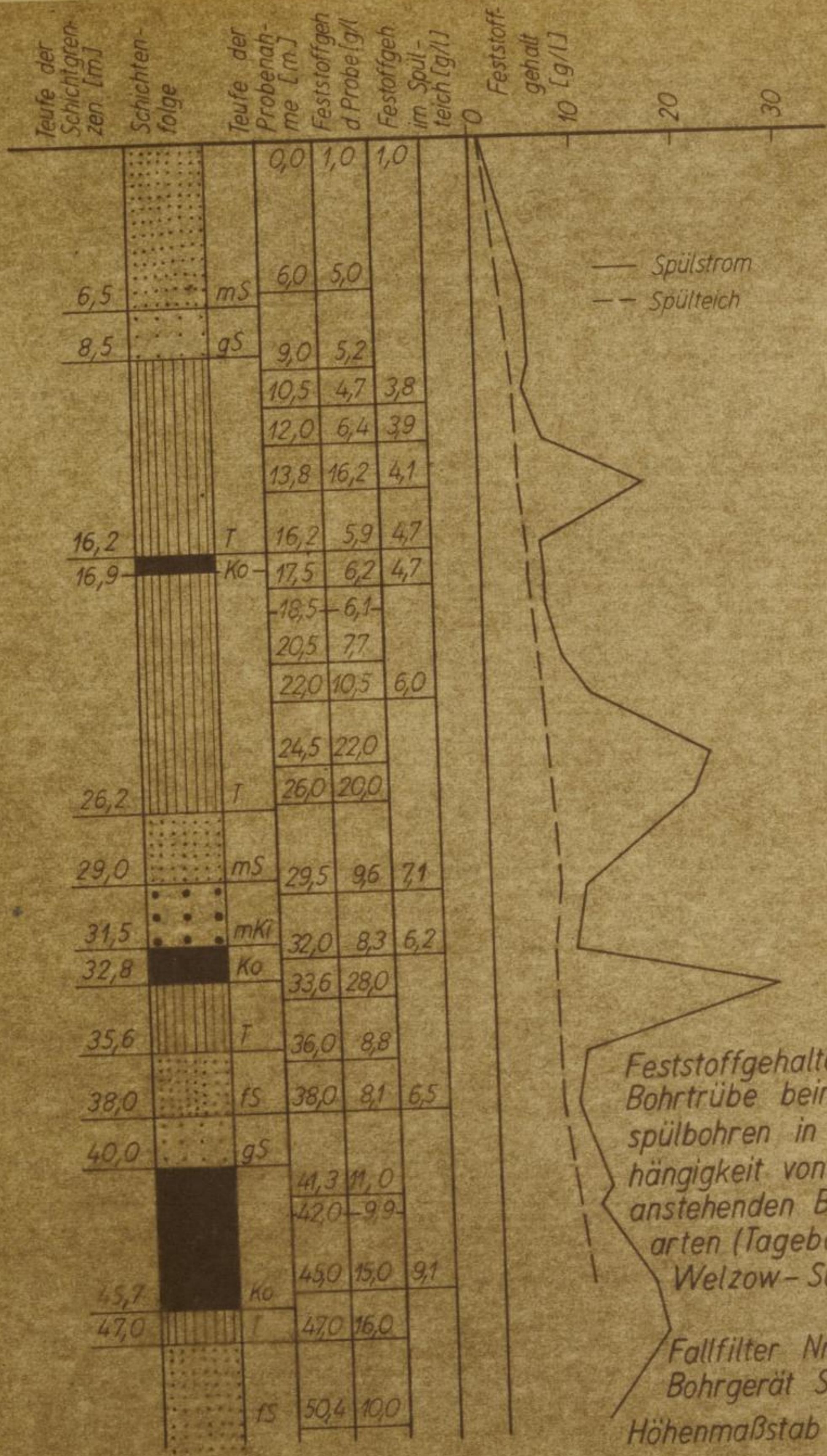


Anlage 28

Fallfilter und Filterbrunnen gleicher Entwässerungswirkung

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



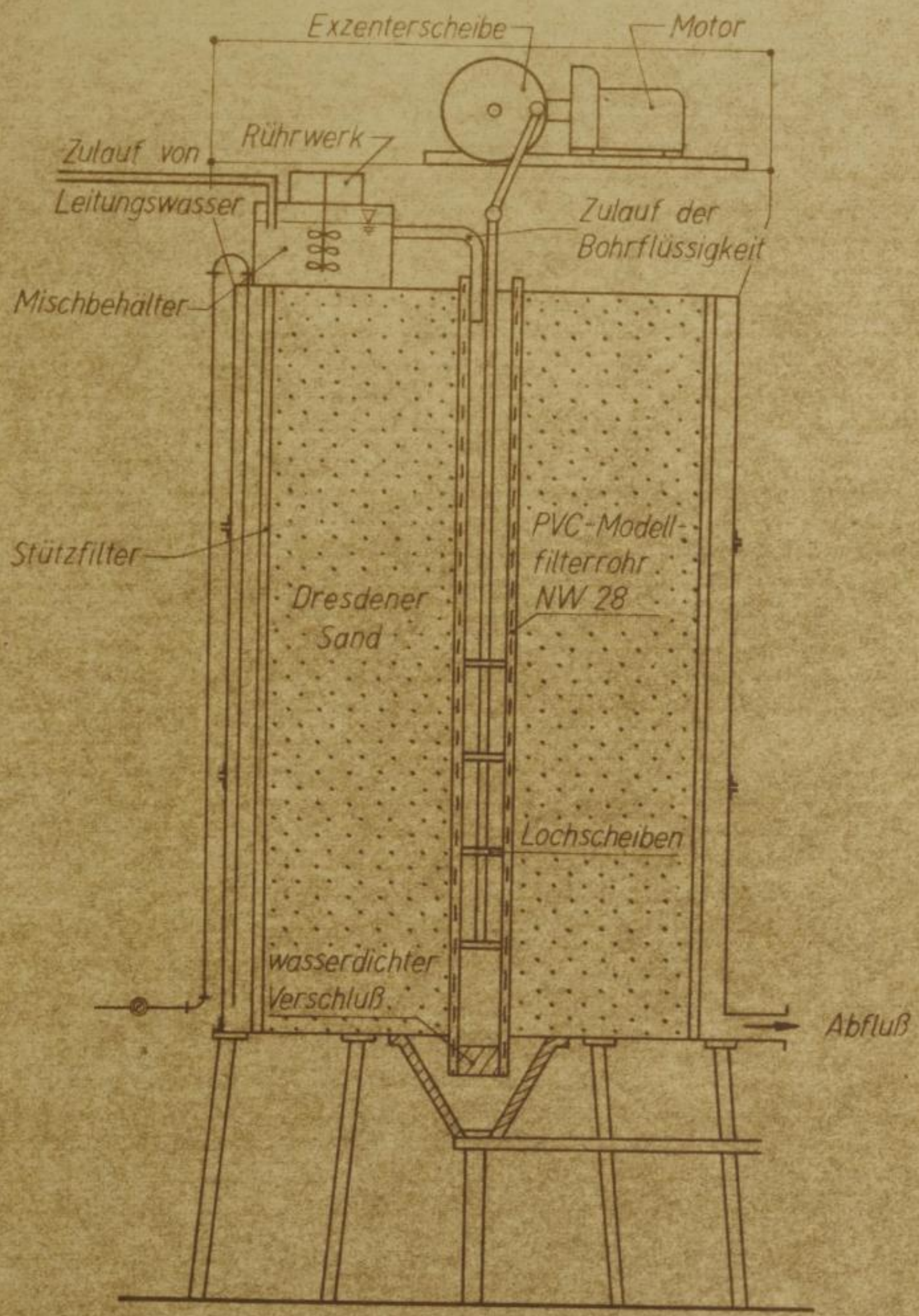
Feststoffgehalte der Bohrtrübe beim Saugspülbohren in Abhängigkeit von den anstehenden Bodenarten (Tagebau Welzow-Süd)

Fallfilter Nr. 721
Bohrgerät S 100
Höhenmaßstab 1:200

Anlage 29

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



Prinzipskizze der Versuchseinrichtung am Filterprüfstand zur Untersuchung des Einflußes der Bohrtechnologie auf die Ergiebigkeit

Anlage 30

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG

SLUB
Wir führen Wissen.
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG