

Literaturverzeichnis

ADAM, C.

Erforderliche Genauigkeit hydrogeologischer Untersuchungen für den Grundwasservorratsnachweis.

Teilthema: Wasserstands- und Wassermengenmessungen.

Studie. VEB Hydrogeologie, Dresden, November 1976

AICHINGER, M.

Benutzung von Probebohrungen zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes.

Österr. Bauzeitschrift 4 (1954)

ANTONOW, V. V. / MIRONENKO, V. A.

(Vergleich hydrogeologischer Parameter aus Einzel- und Gruppenpumpversuchen) russ.

Razv. i. Ochr. Nedr., Moskva (1975) 3, S. 45 - 48

ASTL, A.; VOIGT, H. D.; LAUTERBACH, M.

Anwendung verschiedener Verfahren zur Bestimmung der Permeabilitätsverteilung in Lagerstätten.

Z. angew. Geol. 25 (1979) 5, S. 181 - 185

BAMBERG, H.-F.

Erforderliche Genauigkeiten hydrogeologischer Untersuchungen für den Grundwasservorratsnachweis.

Pflichtenheft zum F/E-Thema. VEB Hydrogeologie, Dresden, 1977 (unveröffentlicht)

BAMBERG, H.-F. und GARLING, P.

Zur Bestimmung des erforderlichen Aufwandes für die hydrogeologische Erkundung von Grundwasserlagerstättentypen (Diss. A)

Dresden 1976

BARENBLATT, G. I. und SCHEITOW, J. P.

Über die wichtigsten Gleichungen der Filtration homogener Flüssigkeiten in Kluftgesteinen (russ.)

Mitt. der Akademie der Wiss. der UdSSR 132 (1960) 3

BAUMGART, H.-G.

Modellversuche zur Bestimmung der Wasserleitfähigkeit k_f des Bodens auf dem Wege der Infiltration von Wasser mit dem Doppelrohrgerät.

Deutsche Gewässerkundl. Mitteilungen 13 (1969) 2, S. 41 - 48

BEERS, W. F. I. van

Die Bohrlochmethode

(Eine Feldmessung der Wasserdurchlässigkeit des Bodens unter dem Grundwasserspiegel)

Bull. Internat. Inst. Landgewinnung und Kulturtechn.

1 D, 32 S, Wageningen 1962

BEIMS, U.

Beitrag zur Ermittlung repräsentativer Durchlässigkeitsparameter mit Hilfe statistischer Methoden.

Dresden, Technische Universität, Diss. 1974

BEIMS, U. und LUCKNER, L.

Grundlagen der Ermittlung repräsentativer Durchlässigkeitsparameter.

Z. angew. Geol. 20 (1974) 7, S. 304 - 313

BEIMS, U. und LUCKNER, L.

Methoden der digitalen Parameteridentifikation.

Berg- und Hüttenmännischer Tag 1975

Modellierung unterirdischer Strömungsvorgänge

Vorträge des Kolloquiums 2, Heft 1, S. 186 - 197

BENDEL, L.

Ingenieurgeologie II.

Springer-Verlag 1949

BEYER, W.

Beitrag zur Ermittlung maßgebender Grundwasserfließgeschwindigkeiten.

Dresden, Technische Universität, Diss. 1964

BEYER, W.

Die Erfassung von Grundwasserfließvorgängen mittels Farbstoffen in Verbindung mit W.

Z. angew. Geol. 10 (1964) 6, S. 295

BEYER, W.

Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve.

WWT 14 (1964) 6, S. 165 - 168

BEYER, W.

Das Verhalten von Mineralölen im Boden und die Eignung bindiger Erdstoffe des Dichtungsmaterials.

WWT 15 (1965) 8, S. 284 - 287

BEYER, W.

Zur Analyse der Grundwasserfließbewegung.

Wiss. Z. TU Dresden 16 (1967) 4, S. 1043 - 1048

BEYER, W.

Eignungsprüfung von Erdstoffen als Dichtungsmaterial bei Mineralöllagerung.

Zeitschr. Bauplanung - Bautechnik 25 (1971) 2, S. 86 - 91

BEYER, W. und SCHWEIGER, K.-H.

Mineralöle im Boden und Grundwasser.

WWT 17 (1967) 7, S. 226 - 231

BEYER, W. und SCHWEIGER, K.-H.

Zur Bestimmung des entwässerbaren Porenanteils der Grundwasserleiter.

WWT 19 (1969) 2, S. 57 - 60

BOROVSKIJ, L. V.

Ermittlung der hydrogeologischen Berechnungsparameter für wasserführende Horizonte in der Verwitterungszone.

Razv. i. Ochr. Nedr., Moskau 32 (1966) 3, S. 11 - 17

BRANDT, G.

Petrophysikalische Untersuchungsmethoden am Lockergestein.
F/E-Bericht. VEB Hydrogeologie, Torgau, 30. 9. 1976
(unveröffentlicht)

BURJAKOV, V. J. u. a.

Ispolzovanie vozducha dlja polevoj ocenki pronicaemosti
neobvodnennyh gornych porod (Einsatz von Luft zur Permeabili-
tätsbestimmung trockener Gesteine).
Vodnye resursy Moskva (1975) 6, S. 163 - 171

GEÇEN, Kâzım

Die Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes im Zusammenhang
mit bautechnischen Bodenuntersuchungen.
Hamburg: Verlag Wasser und Boden 1967
Schriftenreihe des Kuratoriums für Kulturbauwesen

GHARDABELLAS, P. und TIEMER, K.

Normung der k-Wert-Feldbestimmung durch Standardisierung der
Korngrößenverteilungsdiagramme grundwasserhöfziger Lockergesteine.
Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Heft 20
Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1964

CHOUKER, F.

Methodische und theoretische Untersuchungen zur geophysikali-
schen Grundwassererkundung. (Freib. Forschungsheft C 271)
Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1971

DITTRICH, E. und LÜTHKE, F.

Erfahrungen mit standardisierten Wasserdurchlässigkeits-
prüfungen in Bohrungen im Festgebirge.
Neue Bergbautechnik 7 (1977) 7, S. 522 - 526

DÜRBAUM, H. J.

Porosität und Durchlässigkeit von Gesteinen.
Kap. 4.9. in H. CLOSS: Methoden der angewandten Geophysik;
Kap. 4 in A. BENTZ: Lehrbuch der Angewandten Geologie, Bd. I,
1961, Stuttgart (Enke)

DÜRBAUM, H. J.

Der Durchlässigkeitsbeiwert von Lockergesteinen und seine Bestimmung.

Kap. 6.11 in W. RICHTER & R. WAGNER: Hydrogeologie in A. BENTZ & H. MARTINI: Lehrbuch der Angew. Geologie, Bd. II/2, 1969, Stuttgart (Enke)

DÜRBAUM, H. J.; MATTHESS, G.; RANBOW, D.

Untersuchungen der Gesteins- und Gebirgsdurchlässigkeit des Buntsandsteins in Nordhessen.

Notizbl. Hess. L.-Amt Bodenforsch., 27 (1969) S. 258 - 274

EHRHARDT, K. E.

Ermittlung des Einflusses der Schematisierung der Durchlässigkeit unter besonderer Berücksichtigung des Passungsbereiches (IV).

VEB Hydrogeologie Nordhausen, 15. 6. 1979

(unveröffentlicht)

v. ENGELHARDT, W.

Der Porenraum der Sedimente.

Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1960. Bd. 2

v. ENGELHARDT, W.

Die Bildung von Sedimenten und Sedimentgesteinen.

Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung 1973

FORKMANN, B.; WILTZER, H.; RÖSING, G.; ROST, L.

Moderne geophysikalische Verfahren zur Ermittlung hydrogeologischer Parameter und Strukturen.

Z. angew. Geol. 19 (1973) 7, S. 345 - 350

FÖRSTER, S. und HAUENHERR, W.

Permeabilitätsmessungen an Gesteinsproben niedriger Durchlässigkeit unter nachgebildetem Überlagerungsdruck.

Z. angew. Geol. 17 (1971) 9, S. 366 - 370

GARLING, F.

Erforderliche Genauigkeit hydrogeologischer Untersuchungen für den Grundwasservorratsnachweis. Teilthema: Genauigkeit der Gesteinsprobenahme.

Studie. VEB Hydrogeologie, Dresden, Dezember 1976

GARLING, F. und BAIBERG, H.-F.

Grundwasserlagerstättentypenkatalog, Teil A - Lockergestein.
VGB Hydrogeologie, Dresden, 31. 10. 1974
(unveröffentlicht)

GELLERMANN, R.

Berechnung hydrogeologischer Erdstoffparameter aus der Korn-
verteilungskurve mit Hilfe eines Erdstoffmodells nach SCHÖN.
Dresden, Technische Universität, Abschlußarbeit im postgradualen
Studium "Grundwasser", I. Matrikel 1978

GILG, B. und GAVARD, H. u. a.

Ermittlung der Durchlässigkeit mit Hilfe von Wasserversuchen im
Bohrloch bei alluvialen Ablagerungen.
Bulletin technique de la Suisse Romande (1957) 4

GOLF, W.

Zur Bestimmung des Lufthaltewertes des Bodens.
Wiss.-Z. der TU Dresden 14 (1965) 4

GRINBAUM, J. J.

Geofiziceskie metody opredelenija filtracionnych svojstv
gornych porod.
Nedra Moskva 1965

GRUNERT, S.

Eine neuartige Apparatur zur Messung der Durchlässigkeit
poröser Stoffe.

Z. angew. Geol. 23 (1977) 12, S. 611 - 617

HACKESCHMIDT, M.

Grundlagen der Strömungstechnik, Bd. I: Einführung.

Leipzig: VGB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1969

HÄPNER, F.

Mathematische Modellierung und Simulation von Strömungsvorgängen
in porösen Stoffen unter besonderer Berücksichtigung der Um-
kehrtaufgabe.

Freiberg, Bergakademie, Diss. B 1977

HÄFNER, F. und HEEG, W.

Indirekte hydrodynamische Erkundung geologischer Strukturen -
Lösungsmöglichkeiten des hydrodynamischen Umkehrproblems.

Neue Bergbautechnik 4 (1974) 9, S. 695 - 698 (Teil I)

" " " 5 (1975) 3, S. 155 - 158 (Teil II)

HARTGE, K.H.

Wasserbewegung und Wasserleitfähigkeit in nicht mit Wasser gesättigten Böden.

Z. Pflanzenernährung - Bodenkunde 121 (1968) S. 42 - 57

HEEG, W.

Entwicklungstendenzen in der Reservoirmechanik auf der Grundlage genauerer Modelle der Strömungsmechanik in porösen Stoffen und Lösungen mit digitalen Rechenautomaten -
Grund-Umkehr-Aufgabe Teil I

Z. angew. Geol. 23 (1977) 3, S. 115 - 120

HEEG, W.

Bestimmung von Parametern aus hydrodynamischen Untersuchungsmethoden - Umkehraufgabe.

Z. angew. Geol. 23 (1977) 6, S. 294 - 298

HEEG, W. und HÄFNER, F.

Indirekte Parameterbestimmung durch Lösung des hydrodynamischen Umkehrproblems.

Berg- und Hüttenmännischer Tag 1975

Modellierung unterirdischer Strömungsvorgänge

Vorträge des Kolloquiums 2, Heft 1, S. 169 - 185

HEITFELD, u. a.

Die Grundgebirgskarte des Hydrogeologischen Kartenwerkes von Nordrhein-Westfalen.

Geol. Mitteilungen, Aachen 12 (1971) S. 413 - 430

Aachen 1974

HUTH, W.

Die Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit von Lockergesteinen im Rahmen der Baugrunduntersuchungen.

in Fachtagung Grundbau und Baugrundmechanik, S. 119 - 165

VEB Baugrund Berlin 1968.

ILJIN, N. I. u. a.

Die Schätzung der Genauigkeit der Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Gesteinsschichten (russ.)
isd. "NAUKA", Moskau 1971

JAHNS, H.

Die statistische Auswertung von Porositäts- und Permeabilitätsmessungen.
Erdöl und Kohle 14 (1961) 2

KADO, H. u. a.

Untersuchung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Gesteine unter Berücksichtigung ihrer geologischen Entwicklung. Abschlußbericht. Zentrales Geologisches Institut Berlin, 1964/65

KALTERHERBERG, J. und KARRENBERG, H.

Zur Methodik und Auswertung von Korngrößenuntersuchungen im Niederrheinischen Tertiär.

Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen,
Krefeld 1 (1958) S. 33 - 55, 9 Abb.

KEPINSKI, A.

Die Werte des Durchlässigkeitsbeiwertes wasserführender Bodenschichten.

Acta Hydrophysica

Berlin: Akademie-Verlag, Bd. XII (1967) 2

KERKIS, J. J.

Methoden der Untersuchung der Filtrationseigenschaften von Gesteinen (russ.)

Moskau: Verlag "Nedra" 1975

KEZINSKI, A.

Kornzusammensetzung wasserführender Bodenschichten.

Acta Hydrophysica

Berlin: Akademie-Verlag, Bd. XII (1968) 3

KIRKHAM

Messung der hydraulischen Leitfähigkeit von Böden in situ
(Übers. aus Engl.)

Symposium of permeability of soils Amer. Soc. Test. Mat.
Pub. 163 (1955) S. 80 - 97

KLEY, W.

Zur Anordnung von brunnenfernen Meßpegeln bei hydrologischen
Pumpversuchen.

bbr 27 (1976) 10, S. 357 - 359

KOEHNE, W.

Ändert sich die Durchlässigkeit in Sand und sandigem Kies mit
dem Gefälle?

GWF 93 (1952) 18, S. 506 - 508

KOPP, E.

Die Permeabilität durchlässiger Böden, die Gliederung des
Makroporenraumes und die Beziehungen zwischen Permeabilität
und Bodentypen.

Z. für Kulturtechnik und Flurbereinigung 6 (1965) 2, S. 65

KÖRNER, H.

Die Prüfung der Durchlässigkeit von Lockergesteinsinjektionen
im Bauzustand.

Wasserwirtschaft 8 (1957) Stuttgart

KOZENY, J.

Die Durchlässigkeit des Bodens.

Kulturtechniker 1932 - 33

KOZERSKY, B.

Richtlinien zur Bestimmung des Sickerbeiwertes mit mittelbaren
und Laborverfahren.

(Übersetzung aus dem Poln.)

Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1977

KRAHMER, U.

Ungesättigte Wasserleitfähigkeit

Methodik und Ergebnisse von Felduntersuchungen.

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 20 (1974) S. 437 - 449

KRAUSS, J.

Die Bestimmung der Transmissivität von Grundwasserleitern aus dem Einschwingverhalten des Brunnen-Grundwasserleitersystems.
Zeitschr. f. Geophysik, Würzburg 40 (1974) 3, S. 381 - 400

KRAUSS, J.

Das Einschwingverfahren - Transmissivitätsbestimmung ohne Pumpversuch.

GWF - Wasser/Abwasser, München 118 (1977) 9, S. 407 - 410,
4 Abb., 1 Tab.

KRETZSCHMAR, H.J. und HEIDENREICH, H.

Automatische History-Match-Verfahren.

Berg- und Hüttenmännischer Tag 1975

Modellierung unterirdischer Strömungsvorgänge

Vorträge des Kolloquiums 2, Heft 1, S. 198 - 211

LOHR, A.

Beitrag zur Interpretation des Pumpversuches als instationärer Vorgang.

GWF 108 (1967) 26

LOHR, A.

Beitrag zur Ermittlung des k_h -Wertes durch hydraulische Feldversuche.

GWF 110 (1969) 14, S. 369 - 376

LOHR, A.

Der Pumpversuch unter Berücksichtigung des Parameters Zeit und der Anisotropie des Grundwasserleiters.

Geologica Bavarica 64 (1971) S. 210 - 225

LOUIS, C.

Strömungsvorgänge in klüftigen Medien und ihre Wirkung auf die Standsicherheit von Bauwerken und Böschungen im Fels.

Karlsruhe, Technische Universität, Diss. 1967

LUDEWIG, M.

Erfahrungen bei Durchlässigkeitsversuchen von Sanden.

Wiss. Z. Hochschule f. Bauwesen, Leipzig 12 (1966) 4, S. 215

LUDEWIG, M.

Untersuchungen über die Gültigkeitsgrenze des DARCYschen Gesetzes bei Sanden und Kiesen.

Wiss. Z. Hochschule f. Bauwesen, Leipzig 13 (1967) S. 151 - 164

LUMMERT, R.

Neue Methode der Bestimmung der Durchlässigkeit wasserführender Bodenschichten.

Braunschweig: Verlag von Fr. Vieweg & Sohn 1917

MANHENKE, V. u. a.

Neue Erkundungstechnologie Braunkohle
(Trockenersatzbohrungen mit DKL)

VEB Geologische Forschung u. Erkundung Halle, 1976
(unveröffentlicht)

MARASEK, A.

Zur erforderlichen Genauigkeit der Messungen von hydrogeologischen Parametern in Lagerstätten- und hydrogeologischen Bohrungen zum Zwecke der Feststellung der Vorräte an unterirdischen Wässern.

(Übersetzung aus dem Poln.)

Forschungszentrum der Geologischen Technik, Warschau 1966
(Thema 313/65)

MIETHE, H.-W.

Zur Bestimmung der Durchlässigkeit des Baugrundes in situ mit der Zentralbrunnenmethode.

Veröffentlichungen des Institutes für Bodenmechanik und Grundbau der TH Fridericiana, Karlsruhe 1960

MILITZER, H. u. a.

Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau.

Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1978

MITIN, V. I.

Korreljacionnye zavisimosti ... (Korrelationsbeziehungen zwischen Permeabilität und spezifischer Ergiebigkeit im Lockergestein).

Izvest. VUZ, Geol. i. razv. (1976) 10, S. 105 - 109

MUHS, H.

Die Prüfung des Baugrundes und der Böden.

Berlin: Springer-Verlag 1957

MÜLLER, W.; BENECKE, P.; RENGER, M.

Bodenphysikalische Kennwerte wichtiger Böden, Erfassungsmethodik, Klasseneinteilung und kartographische Darstellung.

Beih. geol. Jb., Bodenkundl. Beitr., Hannover 99 (1970) 2, S. 13 - 70

NAGY, V. und KARADI, G.

Untersuchungen über den Gültigkeitsbereich des Gesetzes von DARCY.

Oesterr. Wasservirtschaft 13 (1961) 12, S. 281 - 287

NEUPPER, W.

Grundbau (2. Lehrbrief für das Fernstudium).

Berlin: VEB Verlag Technik 1960

OBERMANN, P.

Möglichkeiten der Anwendung des Doppelpackers in Beobachtungsbrunnen bei der Grundwassererkundung.

bbr 27 (1976) 3, S. 93 - 96

QUAST, J.

Beitrag zur indirekten Parameterquantifizierung verarbeitungsadäquater geohydraulischer Modelle durch Analyse der Grundwasserdynamik.

Dresden, Technische Universität, Diss. 1973

REICHEL, F.

Beitrag zur stochastischen Simulation der horizontal-ebenen Grundwasserströmung unter besonderer Berücksichtigung von Belangen der Projektierung für die Entwässerung von Braunkohlentagebauen.

Dresden, Technische Universität, Diss. A 1979

RODE, A. A.

Das Wasser im Boden.

Berlin: Akademie-Verlag 1959

ROESING, G.

Untersuchungen zur direkten Bestimmung hydraulisch wirksamer Parameter in situ.

Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1975
(Freiberger Forschungsheft C 305)

SAUPE, H.

Theoretische Grundlagen für die Beherrschung der Strömungsvorgänge flüssiger und gasförmiger Phasen in erdöl- und erdgasführenden Gesteinen.

Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1961
(Freiberger Forschungsheft C 105)

SCHENK, E.

Zur Durchführung und Auswertung von Pumpversuchen.
bbr (1967)12, S. 442 - 446

SCHIRMEISTER, W.

Zur Abschätzung von Durchlässigkeitsbeiwerten.
Z. angew. Geol. 21 (1975) 9, S. 427 - 428

SCHLUTTIG, H.

Baugrundmechanik. - 3. Lehrbrief
Berlin: VEB Verlag Technik 1963

SCHNEIDER, G.

Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes k durch Bohrrohrversuche.
Geologica Bavarica 64 (1971) S. 226 - 241

SCHNEIDER, H.

Geohydrologische und hydrochemische Arbeitsverfahren und Einheitskarten in der siedlungswirtschaftlichen Generalplanung.
Die Wasserwirtschaft 40 (1949/50) S. 37 - 44

SCHNEIDER, H.

Die Wassererschließung.
Essen: Vulkan-Verlag 1973 (2. Aufl.)

SCHÖN, J.

Eingesteinsmodell zur Berechnung petrophysikalischer Parameter.
Freiberger Forschungshefte C 299, 1974

SCHUCH, M.

Ein neues Gerät zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit an Stechzylinderproben.

Z. für Kulturtechnik und Flurbereinigung 6 (1965) S. 118-121

SCHULER, G.

Über Durchlässigkeitsbestimmungen durch hydraulische Bohrlochversuche und ihre Ergebnisse in tertiären Flinzsanden (Obere Süßwassermolasse Süddeutschlands).

bbr 24 (1973) 8, S. 291 - 299

SCHÜLER, W. und MEINERT, N.

Kleinkalibrige hydrogeologische Erkundung im Lockergestein.

F/E-Studie. VEB Hydrogeologie Nordhausen, 1979

SCHULTZE, E. und MUHS, H.

Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten.

Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1967 (2. Aufl.)

SCHULZ, G. und SCHULZ, H.D.

Berechnung der Gesteinsdurchlässigkeit (k_f) aus Grundwasserständen und Abflüssen.

bbr 27 (1976) 10, S. 359 - 362

SCHWEIGER, K.H.

Beitrag zur Untersuchung der Durchlässigkeit fein- und grobkörniger Böden für Wasser und Mineralöle.

Wiss. Z. der TU Dresden 15 (1966) 5

SEILER, K.P.

Durchlässigkeit, Porosität und Kornverteilung quartärer Kies-Sand-Ablagerungen des bayrischen Alpenvorlandes.

GWF 114 (1973) 8, S. 353 - 358

SIEMENS, G.

Zur Definition der Durchlässigkeit.

Z. angew. Geol. 2 (1956) 5/6, S. 230

STOYAN, D.

Bemerkungen zum Problem der optimalen Erkundung - lokales Problem.

Z. angew. Geol. 20 (1974) 1, S. 33 - 40

SZALAY, M.

Bestimmung in situ der Durchlässigkeit der oberhalb des Grundwasserspiegels befindlichen Bodenschichten.

Z. der TU Budapest, 1. Lehrstuhl für Wasserbau

TGL 11462/11

Baugrundmechanik; Prüfungen an Lockergesteinsproben im Laboratorium; Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit

TIEMER, K.; BAMBERG, H.-F. und BEIMS, U.

Standardisierung der Pumpversuchsauswertung.

WWF 24 (1974) 3, S. 106 - IV

TRUELSEN, C.

Betrachtungen zu den verschiedenen Methoden für die Bestimmung der Durchlässigkeit von Grundwasserleitern.

bbr () S. 501 - 507

UBELL, K.

Die praktische Anwendung der Methoden der theoretischen Brunnenhydraulik.

(Übersetzung aus dem Ung.)

(um 1965)

UDLUFT, P.

Bestimmung der Durchlässigkeit von Festgesteinen mit Hilfe einer Darcy-Apparatur.

bbr 25 (1974) 5, S. 162 - 164

VOIGT, H.D.; HÄFNER, F. und FÖRSTER, S.

Ermittlung der petrophysikalischen Parameter des Gesteins und deren Abhängigkeit von Überlagerungs- und Porenraumdruck - Ausgangsdaten für die mathematische Modellierung.

Z. angew. Geol. 19 (1973) 4, S. 169 - 174

ZIESCHANG, J.

Geologisch-hydraulische Betrachtungen der Wasserdurchlässigkeit von Lockergesteinsgrundwasserleitern.

Z. angew. Geol. 8 (1962) 5, S. 226 - 233

ZIESCHANG, J.

Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Lockergesteinsgrundwasserleitern.

Z. angew. Geol. 10 (1964) 7, S. 365 - 370

ZUNKER, F.

Bedeutung und Bestimmung der spezifischen Oberfläche und der Durchlässigkeit von Böden und anderen Dispersoiden.

Wiss. Z. der TH Dresden 1 (1951/52) 2, S. 131 - 136

...

Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes k von Sand im Labor.
(Übersetzung aus dem Engl.)

De Wegentechniek (La Technique Routière) (1960) 6

...

Methoden zur bodenphysikalischen Untersuchung und experimentellen Bestimmung des Durchlässigkeitswertes des Bodens
(k -Wert).

Extrait de la Publication n^e 41 de l'Association Internationale d'Hydrologie symposia Darcy (Dijon 1956).

ANLAGEN

Anlage 1

Definitionen
des
Durchlässigkeitsbeiwertes

Definitionen des Durchlässigkeitsbeiwertes (für Wasser)

- 1 TGL 23989/05 (Ausgabe 1972)
 k in $m s^{-1}$

Widerstandsbeiwert eines Gesteins im DARCY-Gesetz

$$k = \frac{v}{I} \quad \begin{array}{l} v - \text{Filtergeschwindigkeit} \\ I - \text{Standrohrspiegelgefälle} \end{array}$$

zahlenmäßig gleich der Filtergeschwindigkeit beim Gefälle 1, abhängig von Dichte und Zähigkeit des Wassers

- 2 BUSCH/LUCKNER (1972)

Der Durchlässigkeitskoeffizient $k_{10 \text{ } ^\circ\text{C}}$ in $m s^{-1}$ gibt an, welcher Volumenstrom in $m^3 s^{-1}$ durch eine Fläche A von $1 m^2$ des porösen Mediums strömt, wenn das Standrohrspiegelgefälle $\partial(p/\gamma + z)/\partial r$ (dimensionslos) senkrecht zu dieser Fläche A gleich 1 ist und die Temperatur des porösen Mediums und des Volumenstroms $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ beträgt

$$k = \frac{Q_{10 \text{ } ^\circ\text{C}}}{A \cdot \partial(p/\gamma + z)/\partial r}$$

- 3 WEYRAUCH (nach Schneider)

Aus der Gleichung $Q = k \cdot I \cdot F$ folgt, daß man die Größe k als Einheitsergiebigkeit ansehen kann, d. h. als sekundliche Durchflußmenge in m^3 durch die Flächeneinheit $1 m^2$ für die Einheit des Gefälles $I = 1$.

- 4 FORCHHEIMER

analog WEYRAUCH

- 5 PRINZ (nach Schneider)

k ... man nennt ihn auch Bodenkonstante, da er für ein und dasselbe Material konstant ist. Er stellt das Maß der Durchlässigkeit eines aus einem Korngemisch zusammengesetzten Bodens dar.

- 6 KYRIELEIS-SICHARDT (nach Schneider)

Der Koeffizient k kann als diejenige Geschwindigkeit aufgefaßt werden, mit der das Wasser in der Zeiteinheit durch den Filter fließt, wenn das Gefälle den Wert 1 hat.

k , auch Bodenkonstante genannt, bezeichnet die Durchlässigkeit der grundwasserführenden Bodenschicht und hat bei gleicher Zusammensetzung einen bestimmten konstanten Wert.

7 SMRECKER

Da $k = f(v) \Rightarrow$ kann es keine Konstante sein

8 BEYER (1964)

Der Proportionalitätsfaktor k ist nach den Versuchen von DARCY für einen bestimmten Boden unter gleichbleibenden Versuchsbedingungen ein konstanter Wert, der als Durchlässigkeit des Bodenmaterials bezeichnet wird. Für die Konstanz des k -Wertes gilt als Grundvoraussetzung die Konstanz der physikalischen Eigenschaften des den Boden durchströmenden Mediums, d. h. im vorliegenden Fall bleibende Dichte ρ in $g\ cm^{-3}$ und bleibende Zähigkeit η in $g\ cm^{-1}\ s^{-1}$ des den Boden durchströmenden Wassers.

9 HOHL (1970)

Der Wert k , meist als Durchlässigkeitsbeiwert, gelegentlich auch als Filtrationskoeffizient, Bodenkonstante, Durchlässigkeitsziffer oder Reibungswert bezeichnet, ist die wichtigste Kennziffer für die Wasserdurchlässigkeit eines Gesteinsmaterials; ist abhängig von Beschaffenheit des Materials, vom Wasser (insbes. Temperatur).

10 KOZERSKY (1977)

k - Sickerbeiwert

Maßstab für die Wasserdurchlässigkeit von Gestein, der entsprechend dem linearen Filtergesetz von DARCY die Abhängigkeit zwischen dem Relativgefälle und der Sicker- geschwindigkeit von Wasser bestimmt. Er hat die Dimension einer Geschwindigkeit.

11 TGL 11462/11 (Baugrundmechanik)

k - empirische Kennzahl, die das lineare Verhältnis der Filtergeschwindigkeit zum piezometrischen Gefälle für den

Bereich der laminaren Strömung nach DARCY bei vollständiger Wassersättigung des Erdstoffes darstellt.

12. TGL 23989 (Entwurf für RGW-Überarbeitung 1977)

Hydraulischer Widerstandsbeiwert eines Materials für den Durchfluß von Wasser mit 10 °C; zahlenmäßig gleich der Filtrationsgeschwindigkeit beim Gefälle 1.

13. RGW-Entwurf 1977 (Bulgarien)

Filtrationsgeschwindigkeit bei einem Grundwasserspiegelgefälle von 1.

14. Fachwörterbuch Be- und Entwässerung

Durchlässigkeitskoeffizient, -beiwert, -konstante, -faktor - das Maß des Fließens einer Flüssigkeit durch einen Einheitsquerschnitt einer porösen Masse bei einem Einheitsgefälle und bei einer bestimmten Temperatur.

15. SCHNEIDER, G. (1973)

k - stellt Geschwindigkeit des Grundwassers dar, die sich einstellt, wenn gerade das Gefälle 1 vorhanden ist.

16. SEILER, K. P. (1973)

Der Durchlässigkeitsbeiwert (k) und die Filtergeschwindigkeit sind Rechengrößen mit der Dimension einer Geschwindigkeit. Der Betrag des k-Wertes wird von der Geometrie des Porenraumes ebenso beeinflusst wie von spezifischen Merkmalen der fließenden Phase.

17. LUMMERT, R. (1917)

k ist die Durchlässigkeit, d. h. die von der Bodenbeschaffenheit abhängige fingierte Filtergeschwindigkeit, die dem Gefälle 1 : 1 entsprechen würde, sofern die Proportionalität des DARCYschen Filtergesetzes bis zu diesem großen Gefälle Geltung hätte, und die für kleine Gefälle die wirklichen Filtergeschwindigkeiten proportional ergibt, in Metern pro Sekunde.

18 Arbeitskreis Grundwasserneubildung (1977)

Durchlässigkeitsbeiwert \Rightarrow Quotient aus Filtergeschwindigkeit und Grundwassergerfälle im gesättigten Bereich des Bodens

effektiver Durchlässigkeitsbeiwert \Rightarrow Quotient aus effektiver Filtergeschwindigkeit und dem Gradienten des Wasserpotentials im ungesättigten Bereich des Bodens

19 GILG

k - spezifische Geschwindigkeit, die besonders von der Kornzusammensetzung und der Genese der Ablagerungen abhängt.

20 KIRKHAM (1955)

k-Werte geben Wechselbeziehung zwischen Flüssigkeit und porösem Medium wieder, d. h. hängen von deren Eigenschaften ab.

21 UBELL (1965)

k \Rightarrow konstantes bodenphysikalisches Charakteristikum (bei Gültigkeit DARCY-Gesetz und gleichbleibende Gesteinsbeschaffenheit), das den Strömungsvorgang bei permanenter Strömung charakterisiert.

22 DYCK (1978)

k - gesättigte hydraulische Leitfähigkeit

23 TGL 23989 (Entwurf 1979)

Koeffizient der hydraulischen Permeabilität eines Gesteins bei der Filtration von Wasser mit 10 °C (zahlenmäßig gleich der Filtrationsgeschwindigkeit beim Gefälle 1)

$$k = \frac{v}{I}$$

Anlage 2

K-Werte

(Klassifikationen und
Zuordnung zu Gesteinen)

Tabelle Klassifikation der Durchlässigkeit nach PLOTNIKOW (aus KERKIS, 1975)

Gruppe	Charakteristik der Durchlässigkeit d. Gesteine	Grundlegende Gesichtspunkte des Gesteins	Gesichtskoeffizient, Darcy	Durchlässigkeitskoeffizient, $[m/d]$	Filtrationskoeffizient (m/s)	Porenraum %	Grundlegende Gesetzmäßigkeiten der Filtrationseigenschaften
1	2	3	4	5	6	7	
I	sehr hoch	1. Geröll und Kies, ohne Zwischenmittel (ausgewaschen)	>500 (500 - 5000)	$\sqrt{>350}$ (350-3500)	$(4,05 \cdot 10^{-3} - 0,04)$	25-35	Durchlässigkeit in ausgedehnten Gebieten genügend beständig
		2. Blöcke und Schotter in Schutthalde und Abstürzen ohne Zwischenmittel	>500 (500 - 10000)	$\sqrt{>350}$ (350-6500)	$(4,05 \cdot 10^{-3} - 0,075)$	20-35	Durchlässigkeit beständig
		3. stark verkarstet	>100 (100 - 5000)	$\sqrt{>70}$ (70 - 3500)	$(8,1 \cdot 10^{-4} - 0,04)$	2-15	Durchlässigkeit sehr unbeständig und meist Verkleinerung mit der Tiefe
		4. Neovulkanite, besonders Basalte, Andesit-Basalte und Andesite	100 - 2000	$\sqrt{70 - 1300}$	$(8,1 \cdot 10^{-4} - 0,015)$	2-25	Durchlässigkeit hervorgerufen durch einzelne primäre Spalten und mitunter auch durch Kavernen; genügend beständig im Plan und Schnitt
		5. stark geklüftete Intrusiva, Gneise und kristalline Schiefer	>100 teilweise bis 1500	$\sqrt{>70}$ teilweise bis 1000	$(>8,1 \cdot 10^{-4}$ bis teilw. 0,015)	1-5	Durchlässigkeit sehr veränderlich, erreicht das Maximum in Entlastungszonen, aber auch in den Zonen neuer Brüche; schnelles Verkleinern mit zunehmender Tiefe; Gneise und kristalline Schiefer besitzen stark ausgeprägte Filtrationsanisotropien

1	2	3	4	5	6	7
II	hoch	1. Geröll und Kies, mit Zwischenmittel, unterschiedlich gekörnte Sande; sandig-kiesige Schichten, grobkörnige Sande	20 - 100	$\sqrt{15 - 70,7}$ ($1,17 \cdot 10^{-4}$ - $8,1 \cdot 10^{-4}$)	25-35	Durchlässigkeit unbeständig infolge schnell wechselnder Schichtung und Filtrationsanisotropien
		2. reine ungleichmäßig und mittelgekörnte Sande	10 - 80	$\sqrt{7,0 - 55,7}$ ($8,1 \cdot 10^{-5}$ - $6,36 \cdot 10^{-4}$)	25-35	dito
		3. Verkarstetes	10 - 100	$\sqrt{7,0 - 70,7}$ ($8,1 \cdot 10^{-5}$ - $8,1 \cdot 10^{-4}$)	1- 8	Durchlässigkeit sehr unbeständig, verkleinert sich mit zunehmender Tiefe
		4. klüftige Magmatite (Intrusiva und alte Effusiva), Gneise und kristalline Schiefer	10 - 50	$\sqrt{7,0 - 35,7}$ ($8,1 \cdot 10^{-5}$ - $4,05 \cdot 10^{-4}$)	0,5-2,0	analoge Gesetzmäßigkeiten des Gesteins der Gruppe I/5. in der Tiefe Durchlässigkeit niedrig
		5. kavernöse Dolomite und Kalke	10 - 100	$\sqrt{7,0 - 70,7}$ ($8,1 \cdot 10^{-5}$ - $8,1 \cdot 10^{-4}$)	2-20	Durchlässigkeit ungleichmäßig, zur Tiefe hin abnehmend
III	mittel	1. Kiese und Sande mit Zwischenmitteln, fein- und mittelkörnige Sande	1 - 10	$\sqrt{0,7 - 7,0,7}$ ($8,1 \cdot 10^{-6}$ - $8,1 \cdot 10^{-5}$)	25-30	Durchlässigkeit ungleichmäßig; bei Schichtablagerungen Filtrationsanisotropien
		2. Sande, fein- und mittelkörnig	1 - 10	$\sqrt{0,7 - 7,0,7}$ ($8,1 \cdot 10^{-6}$ - $8,1 \cdot 10^{-5}$)	25-40	dito

1	2	3	4	5	6	7
		3. zementierte Poren (Sandsteine, Konglomerate usw.)	1 - 10	$\sqrt{0,7 - 7,0} \cdot 7$ ($8,1 \cdot 10^{-6}$ - $8,1 \cdot 10^{-5}$)	6-20	Durchlässigkeit gerade genügend beständig, evtl. Filtrationsanisotropien
		4. schwach verkarstete und paläoverkarstete Gesteine	1 - 10	$\sqrt{0,7 - 7,0} \cdot 7$ ($8,1 \cdot 10^{-6}$ - $8,1 \cdot 10^{-5}$)	0,5-1,0	Durchlässigkeit sehr unbeständig, besonders bei paläoverkarsteten Gesteinen
		5. klüftige Intrusiva und alte Effusiva und Metamorphite mit mittleren intensiven Spaltungen	1 - 10	$\sqrt{0,7 - 7,0} \cdot 7$ ($8,1 \cdot 10^{-6}$ - $8,1 \cdot 10^{-5}$)	0,2-0,5	analoge Gesetzmäßigkeiten zum Gestein der Gruppe II/4.
		6. klüftiges, zementiertes Verwitterungsgestein	1 - 10	$\sqrt{0,7 - 7,0} \cdot 7$ ($8,1 \cdot 10^{-6}$ - $8,1 \cdot 10^{-5}$)	0,2-2,0	Durchlässigkeit unbeständig; mit zunehmender Tiefe - Durchlässigkeit abnehmend; an Schichtfugen Filtrationsanisotropien
IV	niedrig	1. Sande, feinstkörnig (tonig), leicht schluffiger und toniger Sandboden	0,1 - 1,0	$\sqrt{0,07 - 0,7} \cdot 7$ ($8,1 \cdot 10^{-7}$ - $8,1 \cdot 10^{-6}$)	25-40	analoge Gesetzmäßigkeiten zum Gestein der Gruppe III/2.
		2. zementierte Poren (Sandstein usw.)	0,1 - 1,0	$\sqrt{0,07 - 0,7} \cdot 7$ ($8,1 \cdot 10^{-7}$ - $8,1 \cdot 10^{-6}$)	5-20	analoge Gesetzmäßigkeiten zum Gestein der Gruppe III/3.
		3. leicht geklüftete Magmatite, Metamorphite und Sedimentite	0,1 - 1,0	$\sqrt{0,07 - 0,7} \cdot 7$ ($8,1 \cdot 10^{-7}$ - $8,1 \cdot 10^{-6}$)	0,1-1,0	Durchlässigkeit unbeständig; in nicht großer Tiefe nimmt sie schon schnell bis auf 0 ab

1	2	3	4	5	6	7
		4. Anthrazit und trockene Steinkohle	0,1 - 1,0	$\sqrt{0,07 - 0,7}$ ($8,1 \cdot 10^{-7}$ - $8,1 \cdot 10^{-6}$)	0,1-1,0	evtl. geringe Filtrationsanisotropien
		5. leicht verfaulte Torf	0,1 - 1,0	$\sqrt{0,07 - 0,7}$ ($8,1 \cdot 10^{-7}$ - $8,1 \cdot 10^{-6}$)	50-70	alles hohe Feuchtigkeit, es lässt sich ein genügend hoher Anfangsgradient beobachten
		6. Löss und lössartige Lehmböden	0,1 - 1,0	$\sqrt{0,007 - 0,07}$ ($8,1 \cdot 10^{-8}$ - $8,1 \cdot 10^{-7}$)	25-50	Makroporosität, Filtrationsanisotropien Durchlässigkeit gerade genügend beständig
V	ganz niedrig	1. lehmiger Sand, schwerer Sandboden	0,01 - 0,1	$\sqrt{0,007 - 0,07}$ ($8,1 \cdot 10^{-8}$ - $8,1 \cdot 10^{-7}$)	25-50	Durchlässigkeit kann genügend beständig sein, auf Plätzen großer Flächen
		2. schiefrig, sandig-tonig, chlorige Brennstoffe, Phyllite	0,01 - 0,1	$\sqrt{0,007 - 0,07}$ ($8,1 \cdot 10^{-8}$ - $8,1 \cdot 10^{-7}$)	2-4	Filtrationsanisotropien, sehr groß, Durchlässigkeit sinkt mit zunehmender Tiefe schnell bis auf Null
		3. kompakt zementierte schichtige Gesteine mit geringer Porosität (Sandstein, sandsteiniger Schiefer usw.)	0,01 - 0,1	$\sqrt{0,007 - 0,07}$ ($8,1 \cdot 10^{-8}$ - $8,1 \cdot 10^{-7}$)	8-10	analoge Gesetzmäßigkeiten zum Gestein der Gruppe IV/2.
		4. verschiedene, sehr gering gespaltene Gesteine	0,01 - 0,1	$\sqrt{0,007 - 0,07}$ ($8,1 \cdot 10^{-8}$ - $8,1 \cdot 10^{-7}$)	0,01-0,1	Durchlässigkeit nimmt schnell ab nach Null bei schon sehr geringer Tiefe

1	2	3	4	5	6	7
		5. gut verwester Torf	0,01 - 0,1	$\sqrt{0,007 - 0,07}$ ($8,1 \cdot 10^{-8}$ - $8,1 \cdot 10^{-7}$)	100-150	sehr große Feuchtigkeit, und mehr hoher Anfangsgradient
VI	nahe bei Null	1. Ton, mergeliger Ton, schwerer Lehm, Argillit	<0,01	$\sqrt{< 0,005}$ ($< 5,787 \cdot 10^{-8}$)	15-45	Durchlässigkeit oft unbe- ständig in Richtung der Schichten
		2. halloide Solen, Gips, Anhydrit, in oberen Tiefen ge- spalten und ver- karstet	gegen 0	gegen 0	gegen 0	Durchlässigkeit steht bei Null infolge enger Spalten und verschiedener Räume unter Einfluß geostatischer und tektonischer Drücke
		3. verschiedene steinige und halb- steinige, in oberen Tiefen gespaltene Zonen	<0,01	$\sqrt{< 0,005}$ ($< 5,787 \cdot 10^{-8}$)	<0,01	analoge Gesetzmäßigkeit zum Gestein der Gruppe V/4.

k-Werte nach Literaturangaben

A) Lockergestein

1. nach RAMSAUER in UHDEW (1964)

	k in (m/d)
Ton	0,02 ... 27
Lehm	0,001 ... 24
Feinsand	0,04 ... 1,3
Schwemmsand	1,2 ... 1,5
Sand	0,07 ... 3,2
Kies, Schotter, Schutt	0,04 ... 40
Torf	0,07 ... 0,29

2. nach VÖLK in UHDEW (1964)

	k in (m/s)
Feiner Sand (nordd. Tiefebene)	$1 \cdot 10^{-4}$
Dünensand (Nordsee)	$2 \cdot 10^{-4}$
Feiner Sand mit Lehm (Berlin)	1 ... $3 \cdot 10^{-3}$
Rheinsand (rein, gleichkörnig)	1,4 ... $1,5 \cdot 10^{-4}$
Feiner Kies	$4 \cdot 10^{-4}$... $1,6 \cdot 10^{-3}$
Rheinkies	3,2 ... $3,4 \cdot 10^{-3}$
Flußsand	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Mittelkies	$3,5 \cdot 10^{-2}$
Stark lehmiger Sand	$1,0 \cdot 10^{-9}$
Schwerer Lehm	$1,0 \cdot 10^{-10}$

3. nach SCHLEICHER (1955)

	k in (cm/s)
Oberlauf von Flüssen	0,05 ... 5
Sand 4-8 mm	3,5
Sand 2-4 mm	2,5 ... 3,0
Sand (Södertalje)	0,006 ... 1
Sand (Oper Berlin)	0,25 ... 0,32
Sand 1-6 mm	0,3 ... 0,8
Dünensand (Nordsee)	0,2
Sand (Bremerhaven)	0,03
Sand (Holland)	0,009
Feiner Sand mit Lehmspuren	0,08
Flußsand 1-3 mm	0,25
1-8 mm	0,88
Kies (Leipzig)	0,50
Kies (Mannheim)	1,50
Feiner Kies 20-40 mm	3,0
Mittelkies 40-70 mm	3,5
Schluffige Feinsande	10^{-3} ... 10^{-4}
Lehmböden	10^{-4} ... 10^{-5}
Tone	$2 \cdot 10^{-7}$... 10^{-10}
Echter LÖB	10^{-3}
LÖBLEHM	$2 \cdot 10^{-7}$
Kiessand 0-40 mm (organische Best.)	$0,55 \cdot 10^{-6}$
Gehängeton	$20 \cdot 10^{-9}$

4. nach STRIEGLER in HUTH (1968)

	k in (m/s)
Lößlehm	$4 \cdot 10^{-8} \dots 2 \cdot 10^{-9}$
Geschiebelehm	$3 \cdot 10^{-9} \dots 8 \cdot 10^{-10}$
Verwitterungslehm	$3 \cdot 10^{-8} \dots 1 \cdot 10^{-9}$
Gehängelehm	$2 \cdot 10^{-8} \dots 1 \cdot 10^{-9}$
Auelehm	$2 \cdot 10^{-8} \dots 7 \cdot 10^{-10}$

5. nach WECHMANN in BENZ/MARTINI

	k in (m/s)
schwerer Lehm	$1 \cdot 10^{-10}$
stark lehmiger Sand	$1 \cdot 10^{-9}$
Schluffsand	$5 \cdot 10^{-6} \dots 2 \cdot 10^{-8}$
sehr feiner Sand	$1 \cdot 10^{-4}$
mergeliger Kies	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Rheinsand, gleichkörnig rein	$1,5 \cdot 10^{-4}$
feiner Sand	$2 \cdot 10^{-4}$
Dünensand (Nordsee)	$2 \cdot 10^{-4}$
Rheinkies	$3,3 \cdot 10^{-4}$
feiner Kies	$4 \cdot 10^{-4} \dots 1,6 \cdot 10^{-3}$
Flußsand	$2,5 \cdot 10^{-3}$
scharfer Sand	$2,8 \cdot 10^{-3}$
Mittelkies	$3,5 \cdot 10^{-2}$

6. nach GEMMICH (1967)

	k in (m/s)
Obere Cottbuser Schichten	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Spremberger Schichten	$3,6 \cdot 10^{-4}$
glazifluviatile Sande und Beckensande der Elster-Kaltzeit	$(0,8 \dots 1,3) \cdot 10^{-4}$
Beckensande der Saale-Kaltzeit	$(1,2 \dots 2,3) \cdot 10^{-4}$
glazifluviatile Sande der Saale-Kaltzeit	$(5,5 \dots 6,5) \cdot 10^{-4}$

B) Festgestein

1. nach LOUIS in RÖSING (1975)

	k_M in (cm/s)	k_G in (cm/s)
Kalksteine	10^{-12} ... 10^{-13}	$0,7 \cdot 10^{-4}$
Sandsteine	10^{-10} ... 10^{-12}	$0,6 \cdot 10^{-3}$
Granit	10^{-10}	$0,5 \cdot 10^{-2}$
Schiefer	10^{-10}	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Dolomit	10^{-8}	$0,6 \cdot 10^0$ $0,5 \cdot 10^1$

k_M = Durchlässigkeit der Matrix
(Gestein ohne Klüfte)

k_G = Gesamtdurchlässigkeit des Gebirges
(einschließlich Klüften)

2. nach UDLUFT (1974)
(für Sandsteinproben)

	k in (m/s)	K in (md)
Buntsandstein sm_3	$6,1 \cdot 10^{-8}$	6
sm_4	$0,9 \cdot 10^{-5}$	900
sm_4 ⊥	$3,9 \cdot 10^{-6}$	390
Keuper kn	$0,9 \cdot 10^{-7}$	9
km	$3,1 \cdot 10^{-7}$	31
Kreide kr_t	$2,0 \cdot 10^{-6}$	200
kr_t ⊥	$1,1 \cdot 10^{-6}$	110

3. nach ENGELHARDT (1973)
(für Tiefbohrungen)

	K in (md)	Tiefe in (m)
Grobkörn. Sandst., wenig verfestigt		
1. Ampfinger Sandst. (Unt. Oligozän)	4 900	1 820
2. Mittl. Kimmeridge	9 900	1 535
3. Bentheimer Sandst.	5 700	1 105
4. Mittl. Rhät	1 360	325
5. Unt. Pechelbronner S. (Oligozän)	3 200	1 610
6. Ob. Valendis	3 100	810
7. Bentheimer Sandst.	7 500	785
8. Dogger β	3 250	1 535
9. Bausteinschichten, Ob. Oligozän	2 380	1 300
Feinkörn. u. diagen. stärker verfestigter Sandstein		
10. Dogger ε	105	650
11. Lias α ₂	1 570	1 485
12. Bentheimer Sandst.	400	1 120
13. Dogger β	615	1 605
14. Dogger β	100	1 733
15. Wealden	180	1 160
16. Ob. Pechelbronner (Oligozän)	7	1 550
17. Lias α ₁₋₂	35	1 520
Karbonatgesteine		
18. Korallencolith	2 700	520
19. Schalenkalk (Wealden)	260	900
20. Schalenkalk-Oolith	65	1 495
21. Hauptdolomit (Zechstein)	3	1 610

C) Vertikale k-Werte

1. nach HUTH (1968)

	k in (m/s)
Grasnarbe und stark durchwurzelter Humusboden	$3 \cdot 10^{-2} / 1 \cdot 10^{-4}$
Lehm mit Wurzel- und Wurmlkanälen	$3 \cdot 10^{-4} / 2,4 \cdot 10^{-4}$
Lehm mit Wurzelkanälen	$3,3 \cdot 10^{-3} / 1 \cdot 10^{-3}$
Schluff und Feinsand in wechselnden Lagen mit Wurzelkanälen	$9,3 \cdot 10^{-5} / 1 \cdot 10^{-4}$
Kies	$> 10^{-3}$

2. nach RODE (1959)

	k in (m/s)
Sand	$3 \cdot 10^{-5} (0,03 \cdot 10^{-3})$
Torf	$1 \cdot 10^{-6} (0,001 \cdot 10^{-3})$
Sand/Torf (geschichtet in je 2 Lagen zu 30 cm)	$5 \cdot 10^{-8} (0,0005 \cdot 10^{-3})$

Auszug aus dem Programmpaket "HYDROPARK" (nach ZIESCHANG)

1. Grundbezeichnungen

Aufschüttung	AF
Ausbau Mauerwerk	AS
Ton	T
Schluff	SU
Sand	S
Kies	KI
Steine	ST
Lehm	L
Mergel	ME
Lette	LE
Löß	LOE
Schlick	SLK
Mudde	MUD
Faulschlamm	FA
Humus	HU
Moor	MO
Torf	TF
Xylit	XY
Kohle	KO
Kaolin	KAO
Karbonat	K
Kalk	CA
Kreide	KR
Dolomit	DO
Kieselgur	KIC
Schill	SI
Gips	Y
Anhydrit	A
Steinsalz	HL
Carnallit	CN
Hartsalz	HS
Sylvinit	SV
Salz	SL
Quarzit	QT
Grauwacke	GW
Quarz	Q
Glaukenit	GLAN

2. Vorsätze

Feinkörnig	F
Mittelkörnig	M
Grobkörnig	G
Braun.....	B
Stein.....	ST
Bänder.....	B
Form.....	FORM
Orts.....	ORT
Becken.....	BK
See.....	SE

Wiesen	WIES
Aue	AU
Süßwasser	SUB

3. Nachsätze

.....stein	ST
.....schiefer	SCHF
.....boden	BO
.....erde	E

4. Anteil von Beimengungen

sehr schwach	((...))
schwach	(...)
stark	...!
sehr stark	...!!

5. Sonderzeichen

Wechselagerung	/
Einlagerung	+
weites Spektrum	-
(Beispiel: FS - KI)	

6. Beispiel

FS. ms! + BKOSU. XY FS)
Feinsand, stark mittelsandig
mit Einlagerungen von
Braunkohlenschluff, xylitisch
sehr schwach feinsandig.

Codiertabelle und k-Werte

Bezeichnung	Abkürzung	k-Wert (DARCY bei 20 °C)
Anhydrit	A	0,01
Auelehm	AUL	0,01
Auemergel	AUMG	0,01
Auffüllung	AF	0,05
Bänderschluff	BSU	0,1
Bänderton	BT	0,01
Beckenschluff	BKSU	0,01
Beckenton	BKT	0,001
Boden	BQ	= Wert entsprechend dem unterlagernden Gestein
Braunkohle	BKO	+) 1
Braunkohlenlette	BKOL	0,0001
Braunkohlenquarzit	BKQZ	0,0001
Braunkohlenschluff	BKOSU	0,001
Braunkohlenton	BKOT	0,0001
Carnallit	CN	0,00005
Carnallitit	CNST	0,00005
Dolomit	DO	0,01
Dolomitmergel	DOMG	0,01
Dolomitmergelstein	DOMEST	0,005
Dolomitstein	DOST	0,01
Faulschlamm	FA	1
Feinkies	FKI	150
Feinsand	FS	10
Feinsandstein	FSST	1
Formsand	FORM	1
Geschiebemergel	GME	0,01
Geschiebelehm	GL	0,01
Glimmer	GM	-
Glimmerschiefer	GMSCHF	0,0001
Grauwacke	GW	0,5
Grobkies	GKI	200
Grobsand	GS	100
Grobsandstein	GSST	10
Grobschluff	GSU	0,01
Halit (NaCl)	HL	0,00005
Halitgestein (Halit, Steinsalz)	HLST	0,00005
Hartsalz	HS	0,00005
Humus	HU	0,1
Humusgestein	HUST	0,1
Kalk	CA	0,01
Kalkmergel	CAME	0,01
Kalkmergelstein	CAMEST	0,5
Kalkstein	CAST	0,5
Kaolin	KAO	0,001
Kies	KI	150
Kieselgur	KIG	9
Kohle	KO	+) 1
Kohleton	KOT	0,0001
Konglomerat	KGL	1

Bezeichnung	Abkürzung	k-Wert (DARCY bei 20 °C)
Kreide	KR	0,01
Kreidekalk	KRCA	0,01
Kreidemergel	KRME	0,01
Kreideton	KRT	0,001
Lehm	L	0,01
Lette	LE	0,001
Löss	LOE	0,5
Lößlehm	LOEL	0,1
Mergel	ME	0,01
Mergelkalk	MECA	0,01
Mergelstein	MEST	0,001
Mergelton	MET	0,01
Mittelkies	MKI	150
Mittelsand	MS	60
Moor	MO	0,1
Moererde	MOE	0,1
Mudde	MUD	1
Mutterboden	MUBO	1
Orterde	ORTE	1
Ortstein	ORTST	1
Quarzsand	QS	20
Quarzit	QT	5
Sand	S	25
Sandstein	SST	1
Salzgestein	SLST	0,00001
Schieferton	SCHFT	0,00001
Schill	SI	0,05
Schillkalk	SICA	0,005
Schlick	SLK	0,1
Schluff	SU	0,01
Schluffstein	SUST	0,001
Seekreide	SEKR	0,1
Seesand	SES	10
Seeton	SET	0,001
Steine	ST	20
Steinkohle	STKO	1
Süßwasserkalk	SUECA	5
Sylvinit	SV	0,00005
Ton	T	0,0001
Tonschiefer	TSCH	0,05
Tonstein	TST	0,0001
Torf	TF	1
Wiesenkalk	WIESCA	5
Xylit	XY	1

+) Die Permeabilitäten von Braunkohle können in weiten Bereichen schwanken (von 10 bis 0,0001). Sie sind nach den örtlichen Verhältnissen abzuschätzen.

Anlage 3

Verfahren

zur k-Wert-Bestimmung

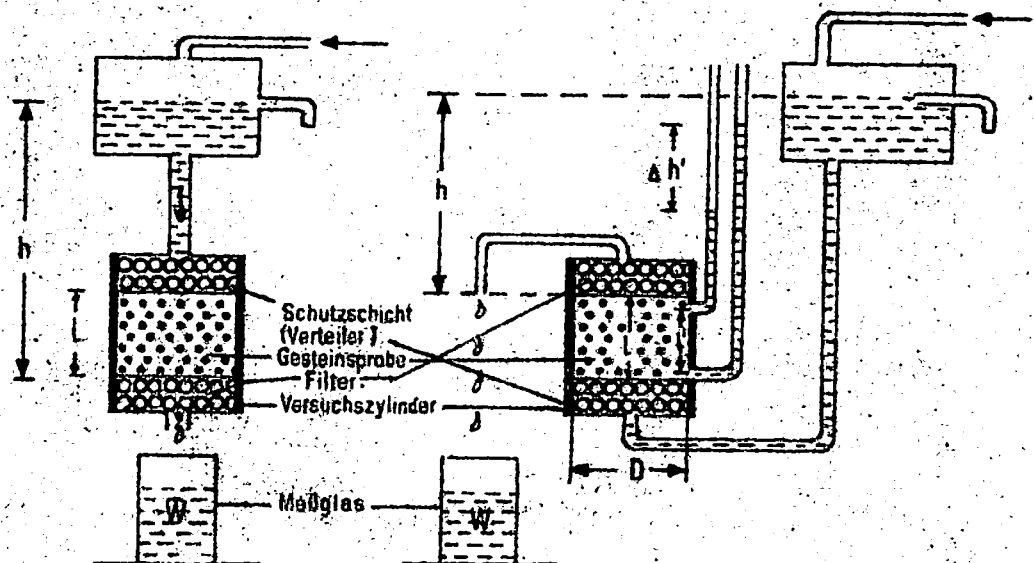
Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN

1.1. Direkte Laborversuche (Permeometermessungen)

1.1.1. Durchlässigkeitsversuch bei gleichbleibender Druckhöhe - Lockergestein

1. Versuchsanordnung



a) Probendurchströmung
von oben nach unten

b) Probendurchströmung
von unten nach oben

2. Auswertung

nach DARCY:

$$k = \frac{Q}{F \cdot I}$$

mit Q - Durchfluß in (m^3/s) bzw. (cm^3/s)

F - Querschnittsfläche der Probe senkrecht zur Strömungsrichtung in (m^2) bzw. (cm^2)

I - hydraulisches Gefälle

$$I = \frac{h}{l} \text{ bzw. } \frac{\Delta h'}{l'}$$

Der k-Wert von Filter und Stüttschicht wird ggf. durch eine Korrektur berücksichtigt.

3. Bedingungen für Versuchsdurchführung

- Während der Messungen ist gleichmäßige Zufuhr luftfreien bzw. luftarmen Wassers mit gleicher Temperatur unter gleichbleibendem Druck zu garantieren;
- Probenmaterial muß bei Versuchsbeginn völlig wassergesättigt sein (Einbau unter Wasser);
- maximale Korngröße des Probenmaterials
 $d_{\max} \leq 0,2 D_{\text{Zylinder}}$ (25 % Überkorn zulässig);

- für Filter und Schutzschicht gilt

$$k_{\text{Filter}} \geq 100 k_{\text{Probe}}$$

für Filter und Stüttschicht Verwendung poröser Steine
(bei $k < 10^{-2}$ cm/s) bzw. Metallgewebe (bei $k > 10^{-2}$ cm/s).

- Versuche nach Abb. b) mit senkrecht aufsteigender Strömung sind zu bevorzugen.
- Einhaltung eines kritischen Gefälles $I_{\text{krit.}}$:
i. allg. wird $I = 0,2$ und $0,5$ gewählt, und zwar je kleiner, um so durchlässiger das Material ist.
- Jeder Versuch ist mehrmals (3 x) zu wiederholen, bzw. der Durchfluß ist einige Stunden aufrechtzuerhalten und der k -Wert in bestimmten Intervallen zu bestimmen.

4. Fehlerquellen, Einschränkungen

- Ungenügende Entlüftung und damit unzureichende Wassersättigung führen zu falschen k -Werten;
Änderung von k mit Sättigungsgrad γ z. B. für Sand
bei $S = 100\%$ - $k = 7 \cdot 10^{-3}$ cm/s,
 $S = 80\%$ - $k = 2,5 \cdot 10^{-3}$ cm/s;
7;
- besonders bei gut durchlässigen Gesteinen können Strömungsverluste in Schutzschicht und Filter im Verhältnis zum Durchflußwiderstand groß werden γ z. B. wurde ermittelt für
 $k_{\text{Filter}} = 10^{-4}$ m/s
bei $k \approx 10^{-5}$ m/s auftretender Fehler ca. 3 %
 $k = 10^{-5} \dots 10^{-4}$ m/s auftretender Fehler 3 ... 30 %
 $k > 10^{-4}$ m/s auftretender Fehler bis >100 %;
7;
- bei abnehmender Durchlässigkeit Gefahr der Durchsickerung des Wassers an der Wandung des Gerätes;
- Verfälschung der Ergebnisse durch Mitreißen feiner Bestandteile.

5. Literatur

MUHS, H.

Die Prüfung des Baugrundes und der Böden.
Berlin: Springer-Verlag 1957

SCHLÜTTIG, H.

Baugrundmechanik. 3. Lehrbrief TU-Dresden
Berlin: VEB Verlag Technik 1963

KOZERSKY, B.

Richtlinien zur Bestimmung des Sicherbeiwertes mit mittelbaren
und Laborverfahren (poln.)
Warszawa 1977

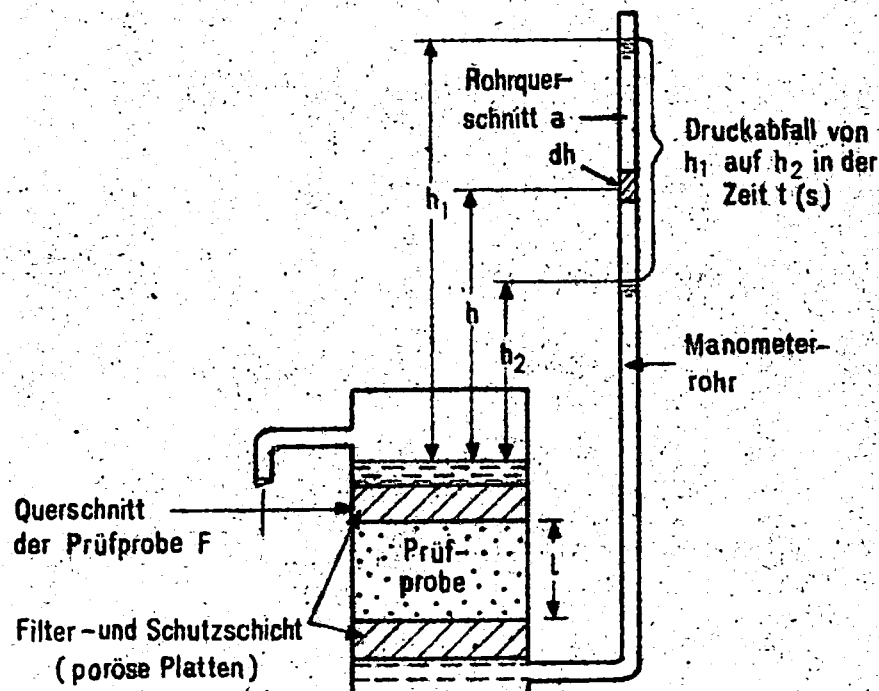
Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN

1.1. Direkte Laborversuche (Permeometermessungen)

1.1.2. Durchlässigkeitsversuch bei veränderlicher Druckhöhe - Lockergestein (nicht bindig)

1. Versuchsanordnung



2. Auswertung

$$k = \frac{a \cdot l}{t \cdot F} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

- a - Querschnittsfläche des Manometers in (cm²)
 t - Prüfdauer in (s)
 F - Querschnittsfläche der Gesteinsprobe in (cm²)
 l - Höhe der Probe in (cm)
 h_1, h_2 - entsprechende Druckhöhen im Manometerrohr in (cm) in der Zeit $t_0 = 0$ und t
 k - in (cm/s)

3. Bedingungen für Versuchsdurchführung

- Bevorzugte Verwendung für Gesteine mit relativ geringem k -Wert;
- Wassersättigung des Probenmaterials erforderlich;
- Verwendung luftfreien Wassers;
- bei langer Messdauer ist Oberflächenverdunstung zu berücksichtigen;

Portsetzung 1.1.2.

- mehrmalige Versuchsdurchführung erforderlich;
- stetige Bestimmung der Wassertemperatur.

4. Fehlerquellen

siehe 1.1.1.

5. Literatur

MUHS, H.

Die Prüfung des Baugrundes und der Böden.

Berlin: Springer-Verlag 1957

KOZERSKY, B.

Richtlinien zur Bestimmung des Sickerbeiwertes mit mittelbaren
und Laborverfahren (poln.)

Warszawa 1977

BEUDEL, L.

Ingenieur-Geologie II.

Berlin: Springer-Verlag 1949

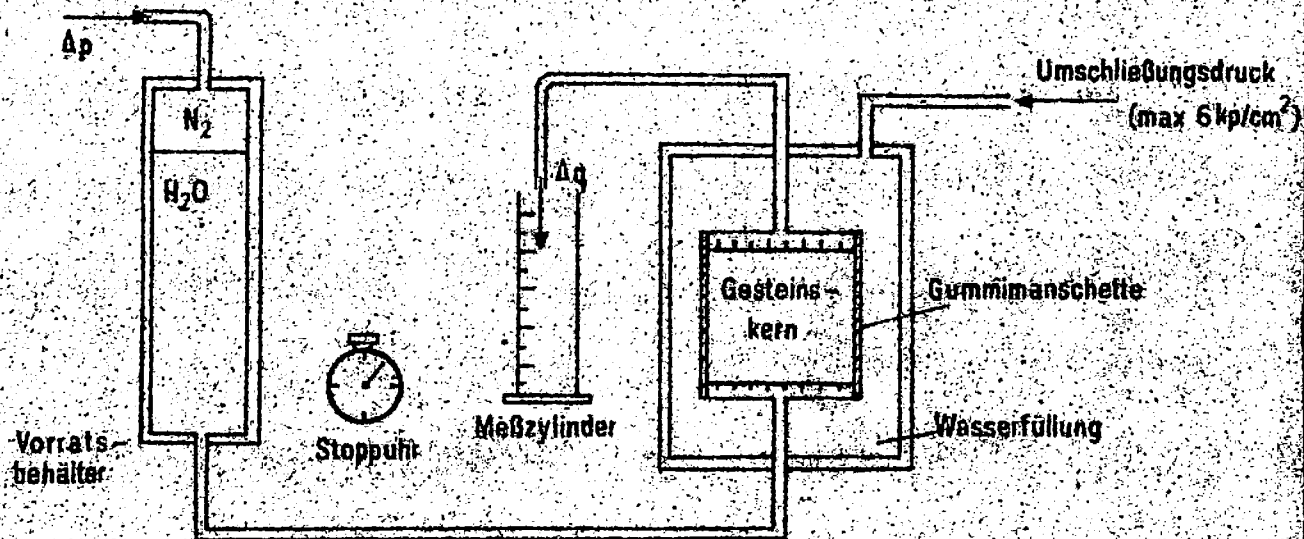
Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN

1.1. Direkte Laborversuche (Permeometermessungen)

1.1.3. Durchlässigkeitsversuch mittels "Darcy-Apparatur" - Festgestein

1. Versuchsanordnung



2. Auswertung

nach DARCY:

$$K = \frac{\eta \cdot Q \cdot l}{F \cdot \Delta p}$$

bzw.

$$k = \frac{Q \cdot l}{F \cdot \Delta p}$$

K = Permeabilität in (cm²)

η = Durchlässigkeitsbeiwert für Wasser in (m/s)

Q = $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ Durchfluß in (m³/s)

l = Probenlänge in (m)

F = Filterfläche in (m²)

3. Bedingungen für Versuchsdurchführung

- Verwendung zylindrischer Gesteinskern (Ø bis 115 mm, Länge bis 200 mm);
- Raumzelle zwecks Aufnahme des Umschließungsdruckes mit Wasser füllen. Umschließungsdruck (min. 2 kp/cm², max. 6 kp/cm²) bewirkt Dichtung zwischen Gummimanschette und Gesteinskern.
- System völlig entlüften und Wassersättigung des Kerns herbeiführen (Unterdruck an Auslauf).

Fortsetzung 1.1.3.

- Durchströmflüssigkeit: Leitungswasser
- Variation des Durchströmungsdruckes Δp zwischen 0,1 und 4 kp/cm². Als Treibgas ist Stickstoff geeignet.
- Durchflußmessung Q mittels Standzylinder und Stoppuhr.

4. Fehlerquellen

- Grenzen des Darcy-Gesetzes (turbulente Strömung, Zunahme der Haftkräfte; ab $k = 10^{-6}$ m/s für H₂O keine Linearität der Strömung mehr).
- Restluft im Kern vermindert Durchlässigkeit beträchtlich.

5. Literatur

UDLUFT, P.

Bestimmung der Durchlässigkeit von Festgesteinen mit Hilfe einer Darcy-Apparatur.

bbr, 25 (1974) 5, S. 162 - 164

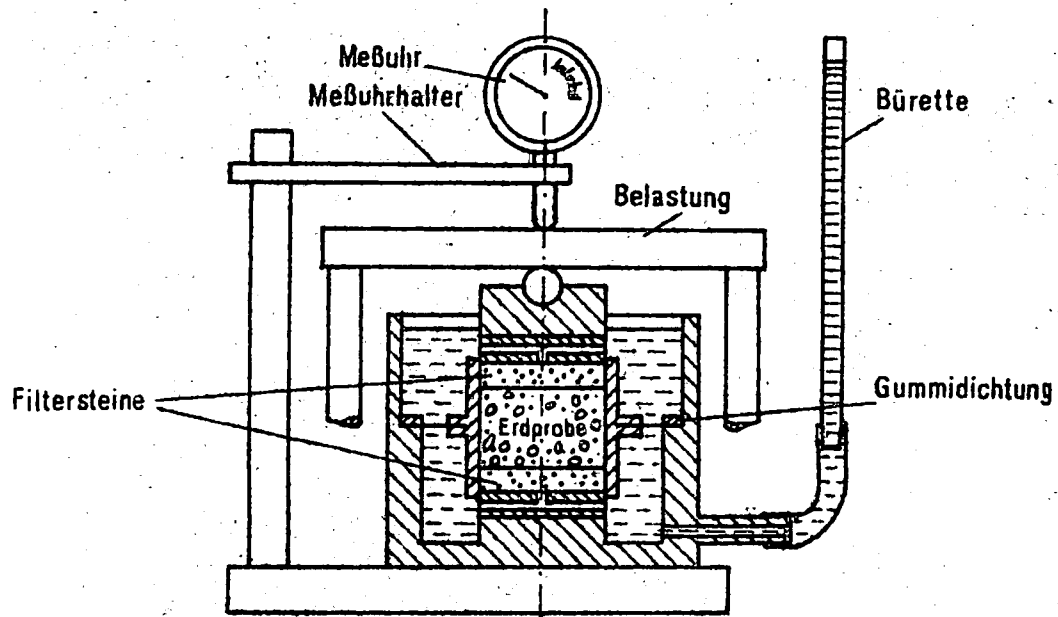
Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN

1.1. Direkte Laborversuche (Permeametermessungen)

1.1.4. Durchlässigkeitsversuch bei veränderlicher Druckhöhe im bindigen Lockergestein (Druckversuch)

1. Versuchsanordnung



2. Auswertung

$$k = \frac{f \cdot h_m}{F \cdot t \cdot \xi_t} \cdot 2,3 \lg \frac{h_1}{h_2}$$

- f - Querschnitt der Bürette in (cm²)
 F - Querschnitt der Probe in (cm²)
 h_m - mittlere Probenhöhe in der betreffenden Laststufe in (cm)
 t - Dauer des Versuches in (s)
 ξ_t - Temperaturkorrektur - η_{10° / η (η -Zähigkeit)
 h_1 - Druckhöhe (Bürettenablesung) zu Beginn des Versuches in (cm)
 h_2 - Druckhöhe am Ende des Versuches in (cm)

3. Bedingungen für Versuchsdurchführung

- Gerät muß Druckversuch mit behinderter Seitenausdehnung ermöglichen; verschiedene Laststufen, z. B. 1, 2, 4 kg/cm² ergeben Werte für verschiedene Porengehalte;
- geringe Probenhöhe erforderlich (ca. 4 - 8 cm), um Versuchsdauer in Grenzen zu halten;

Fortsetzung 1.1.4.

- i. allg. ungestörte Probe verwenden;
- Gesamtdruckhöhe muß wesentlich kleiner sein als Druckbelastung der Probe;
- Bestimmung der Porenziffer empfohlen;
- Versuchsdurchführung unter Wasser, um Austrocknung zu vermeiden;
- in jeder Laststufe Konsolidierung abwarten.

4. Fehlerquellen

unkontrollierter Wasserdurchfluß an Behälterwandung

5. Literatur

MUHS, H.

Die Prüfung des Baugrundes und der Böden.
Berlin: Springer-Verlag 1957

BENDEL, L.

Ingenieur-Geologie II.
Berlin: Springer-Verlag 1949

SCHLUTTIG, H.

Baugrundmechanik (3. Lehrbrief)
Berlin: VEB Verlag der Technik 1963

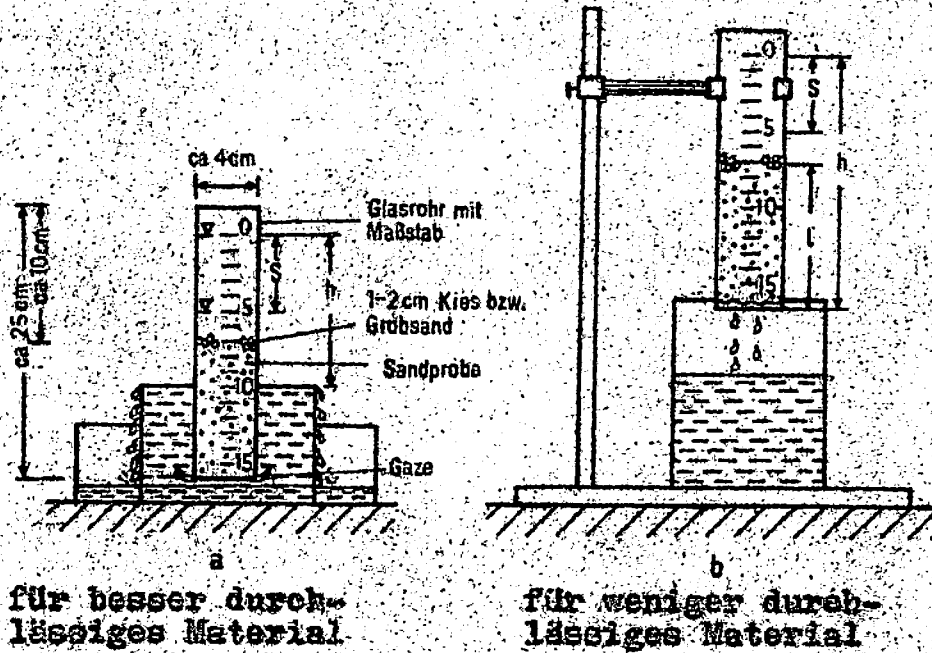
Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN

1.1. Direkte Laborversuche (Permeometermessungen)

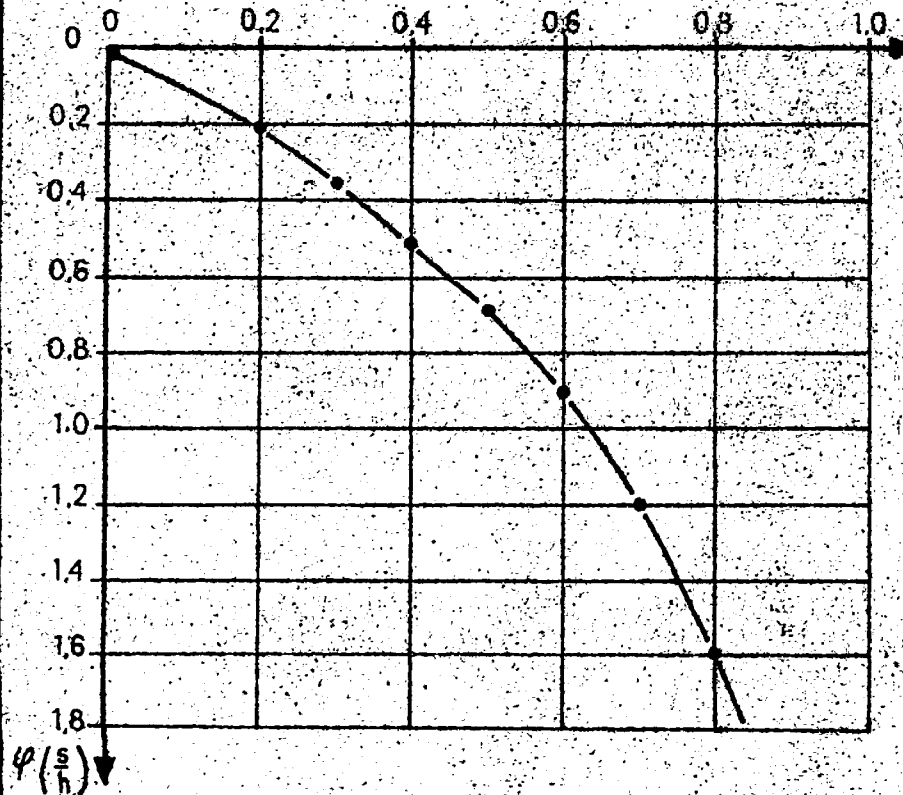
1.1.5. Durchlässigkeitsversuch bei veränderlicher Bruchhöhe mittels Kamienski-Rohr - Lockergestein

1. Versuchsanordnung



2. Auswertung

$$k = \frac{l}{t} \varphi \left(\frac{s}{h} \right) = \frac{l}{t} - \ln \left(1 - \frac{s}{h} \right)$$



Ermittlung $\varphi \left(\frac{s}{h} \right)$ nach Grafik

k - Durchlässigkeitsbeiwert in (cm/s)

l - Länge des Filtrationsweges (Höhe der Probe) in (cm)

t - Zeit in (s), in der Wasserspiegel um den Wert s sinkt

s - Senkung des Wasserspiegels (bei laufenden Messungen i. allg. 2-5cm)

h - Primärdruck in (cm)

3. Bedingungen für Versuchsdurchführung

- Probe beim Einbringen verdichten;
- Probe mit Schutzschicht gegen Auswaschung versehen;
- bei zu grobem Probenmaterial ggf. erschwerte Messung durch zu rasche Absenkung (Verringerung des Filtrationsgefälles notwendig).

4. Fehlerquellen

keine Angaben

5. Literatur

MAKSIMOW, W.M.

Handbuch der Hydrogeologie (russ.)

Leningrad 1967

KOZERSKY, B.

Richtlinien zur Bestimmung des Sickerbeiwertes mit mittelbaren und Laborverfahren (poln.)

Warszawa 1977

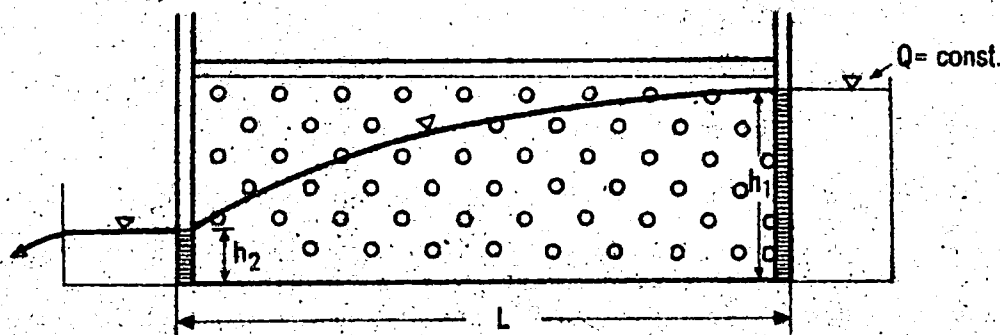
Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN

1.1. Direkte Laborversuche (Permeametermessungen)

1.1.6. Versuch im offenen Gerinne

1. Versuchsanordnung (Schema)



2. Auswertung

$$k = \frac{2 \cdot q_1 \cdot L}{(h_1^2 - h_2^2)}$$

k - in (m/s)

q_1 - Durchfluß je Einheit Gerinnebreite (1 m)

L - Gerinnelänge

h_1, h_2 - Druckhöhe an Gerinneanfang und -ende

3. Bedingungen, Bemerkungen, Fehler

- Versuch mit ungestörten Proben durchführbar und empfohlen.
- Nichtbeachten eines sich ausbildenden Kapillarsaumes verfälscht Ergebnisse;
Wasserstand soll der Gesteinsmächtigkeit entsprechen;
Gerinne mit Gefälle anordnen.
- Genauigkeit der k-Werte für fein- und mittelkörnige Sande ist größer als bei Verwendung anderer Permeameter.

4. Literatur

Autorenkollektiv

Ozenka tochnosti opredeljenija wodopronizajemosti gornych porod.

Moskwa: Verlag "Nauka" 1971

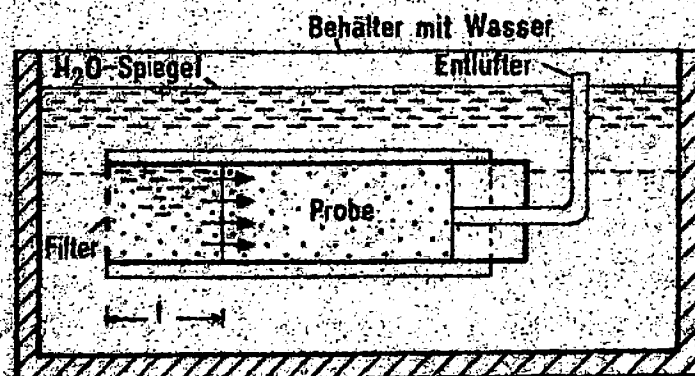
Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN

1.1. Direkte Laborversuche (Permeanetermessungen)

1.1.7. Berücksichtigung der Kapillarität der Gesteine

1. Versuchsanordnung



2. Auswertung

$$k = \frac{l^4 \cdot n}{t^2 \cdot B} \cdot \frac{\gamma}{\gamma_0}$$

- l - Länge der in der Zeit t befeuchteten Probe in (cm)
- t - Zeit in (s)
- n - Porenanteil
- B - Proportionalitätsfaktor;
für Sande $3,5 \cdot 10^4$ bis $2 \cdot 10^5$,
i. allg. $1 \cdot 10^5$
- γ - kinematische Zähigkeit des Wassers bei Versuchstemperatur
- γ_0 - kinematische Zähigkeit des Wassers für Bezugstemperatur

3. Bedingungen

- Verwendung trockener Proben, da k als Funktion der kapillaren Sättigungsgeschwindigkeit ermittelt;
- kapillare Steighöhe h_0 wird indirekt als Funktion der Länge der in einer Zeit befeuchteten Probe nach der empirischen Beziehung

$$h_0 = \frac{B \cdot t}{2 l^2}$$

berücksichtigt;

- geeignet für schnelle Bestimmungen im Gelände.

Fortsetzung 1.1.7.

4. Fehlerquellen, Einschränkungen

- Für grobe Einschätzung geeignet
- Streuungen betragen $\pm 40\%$ des Mittelwertes

5. Literatur

BENDEL, L.

Ingenieur-Geologie II.

Berlin: Springer-Verlag 1949

KOZERSKY, B.

Richtlinien zur Bestimmung des Sickerbeiwertes mit mittelbaren
und Laborverfahren (poln.)

Warszawa 1977

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN

1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden

1.2.1. Berücksichtigung des Korndurchmessers

1.2.1.1. Formel nach HAZEN

1. Bestimmung

$$k = c \cdot d_{10}^2 (0,7 + 0,03 t)$$

k - in (m/d) bzw. (m/s)

c - empirischer Koeffizient, der die Ungleichförmigkeit U des Gesteins berücksichtigt (Ermittlung nach Bild 2)

U - $\frac{d_{60}}{d_{10}}$

d₁₀ - wirksamer Korndurchmesser in (mm)
(bei Siebdurchgang 10 %)

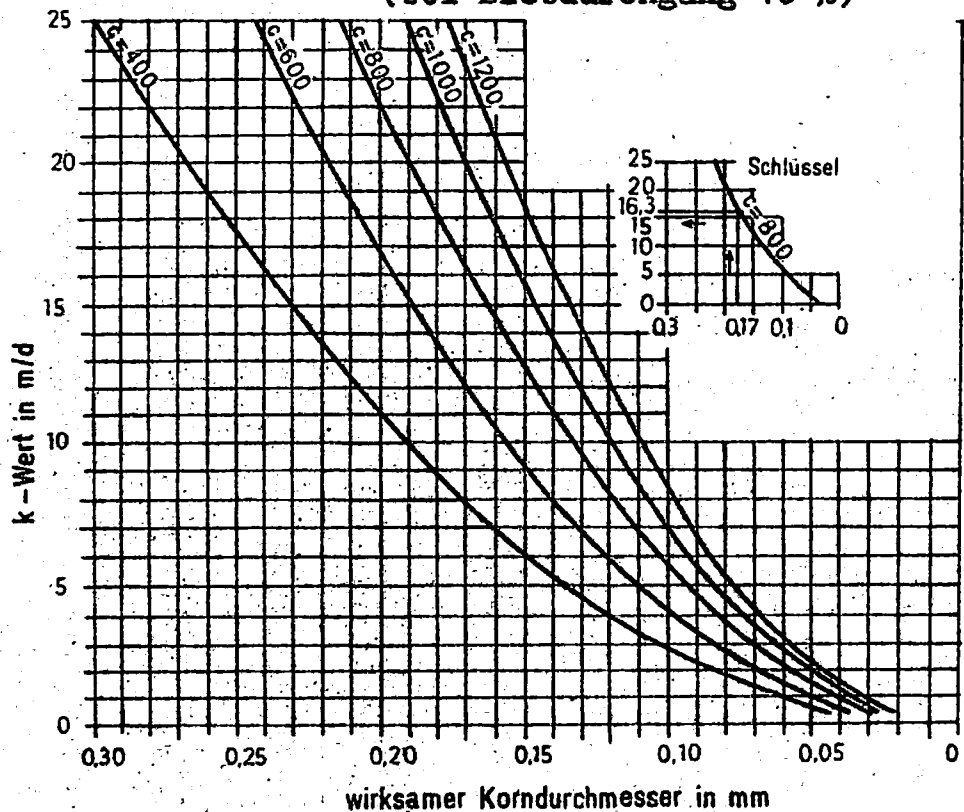


Bild 1

Nomogramm nach BINDEMAN
für $t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

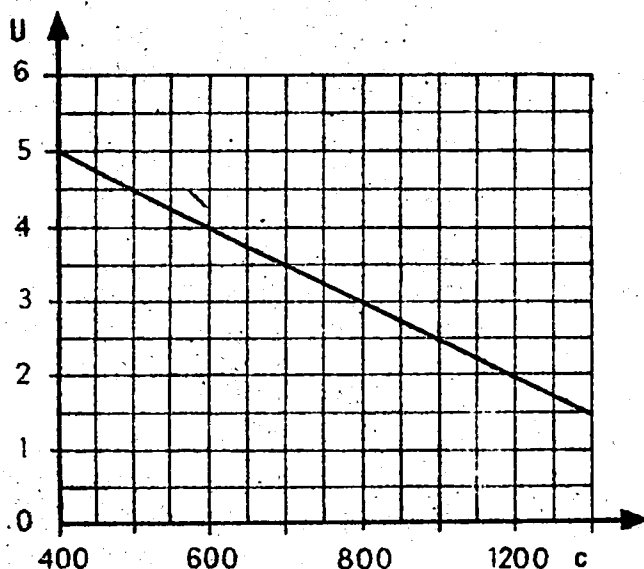


Bild 2

Bestimmung von c in Abhängigkeit von U für k in (m/d)

Fortsetzung 1.2.1.1.

- t - Temperatur in $^{\circ}\text{C}$
($0,7 + 0,03 t$) - Temperaturkorrektur;
im Normalfall wird $t = 10^{\circ}\text{C}$ voraus-
gesetzt, wodurch sich die Formel
vereinfacht
 $k = c \cdot d_{10}^2$

Bei Ermittlung von k nach Nomogramm Bild 1 ist die Umrechnung auf eine Wassertemperatur von 10°C nach der Beziehung

$$k_{10^{\circ}\text{C}} = \lambda_{0^{\circ}\text{C}} \cdot k_{0^{\circ}\text{C}}$$

wobei $\lambda_{0^{\circ}\text{C}} \approx 1,43$ beträgt.

In der deutschsprachigen Literatur wird die Gleichung von HAZEN vorwiegend in folgender Form angegeben:

$$k_{10^{\circ}\text{C}} = 0,0116 \cdot d_{10}^2$$

(gilt für reine Sande und $U < 5$)

2. Einschränkungen und Bemerkungen

- Gültigkeit: für

$$0,1 \text{ mm} \leq d_{10} \leq 3 \text{ mm}$$

$$1 < U \leq 5$$

- Ergebnisse im Vergleich zu k -Werten aus Pumpversuchen und Porosimetermessungen generell zu groß (nach GORSKI u. a.

$$k_{\text{PT}} \approx (0,2 \dots 0,4) \cdot k_{\text{HAZEN}} \text{ für pleistozäne Sande.}$$

3. Literatur

MAKSIMOV, W.H.

Handbuch der Hydrogeologie (russ.) - Teil 2

Leningrad 1967

KOZERSKY, B.

Richtlinien zur Bestimmung des Sickerbeiwertes mit mittelbaren und Laborverfahren (poln.)

Warszawa 1977

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN
- 1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden
- 1.2.1. Berücksichtigung des Korndurchmessers
- 1.2.1.2. Methode nach BEYER

1. Bestimmung

$$k = c \cdot d_{10}^2$$

k - in (m/s)

c - empirischer Koeffizient unter Berücksichtigung der Ungleichförmigkeit U des Gesteins nach Bild 2

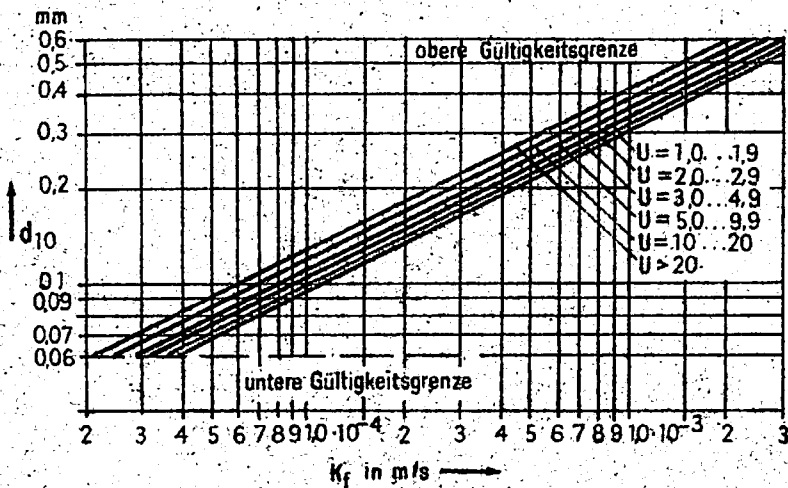


Bild 1

Beziehung zwischen d_{10} % und dem k-Wert in Abhängigkeit von U

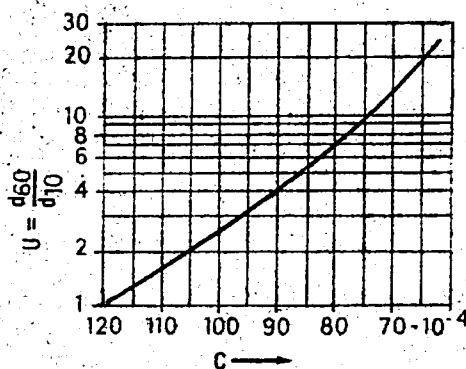


Bild 2

Größe des Faktors C in Abhängigkeit von U für k in (m/s)

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

d_{60} , d_{10} - Korndurchmesser bei 60 %, 10 % Siebdurchgang

2. Einschränkungen und Bemerkungen

- Gültigkeit für
 - Sande und Kiese
 - den Bereich $d_{10} = 0,06 \dots 0,6 \text{ mm}$
 - Ungleichförmigkeiten $U = 1,0 \dots 20$
 - mittlere Lagerungsverhältnisse der GW-Leiter (Einfluß des Porenanteils ist berücksichtigt)
 - mittlere GW-Temperatur $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$
 - mittleren Salzgehalt des Grundwassers
- Abweichungen der Ergebnisse nach BEYER zu PV- und Permeameter-
ergebnissen i. allg. $< 20 \dots 30 \%$

3. Literatur

BEYER, W.

Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden
aus der Kornverteilungskurve.

WWT 14 (1964) 6, S. 165 - 168

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN
- 1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden
- 1.2.1. Berücksichtigung des Korndurchmessers
- 1.2.1.3. Verfahren nach ZIESCHANG

1. Bestimmung

$$k_{10} = c_u \cdot F_d \cdot d_{10}^2$$

- k - in (m/s)
 d_{10} - Korndurchmesser bei 10 % Siebdurchgang in (mm)
 c_u - empirischer Faktor, der die Ungleichförmigkeit des Gesteins und eine Durchflußfläche des porösen Mediums berücksichtigt (siehe Bild 2)
 F_d - empirischer Faktor, der die Veränderung der Durchflußfläche in Abhängigkeit von einer mittleren Korngröße $d_m (= d_{60})$ berücksichtigt (siehe Bild 1)

Bild 2

Verhältnis von U und c_u

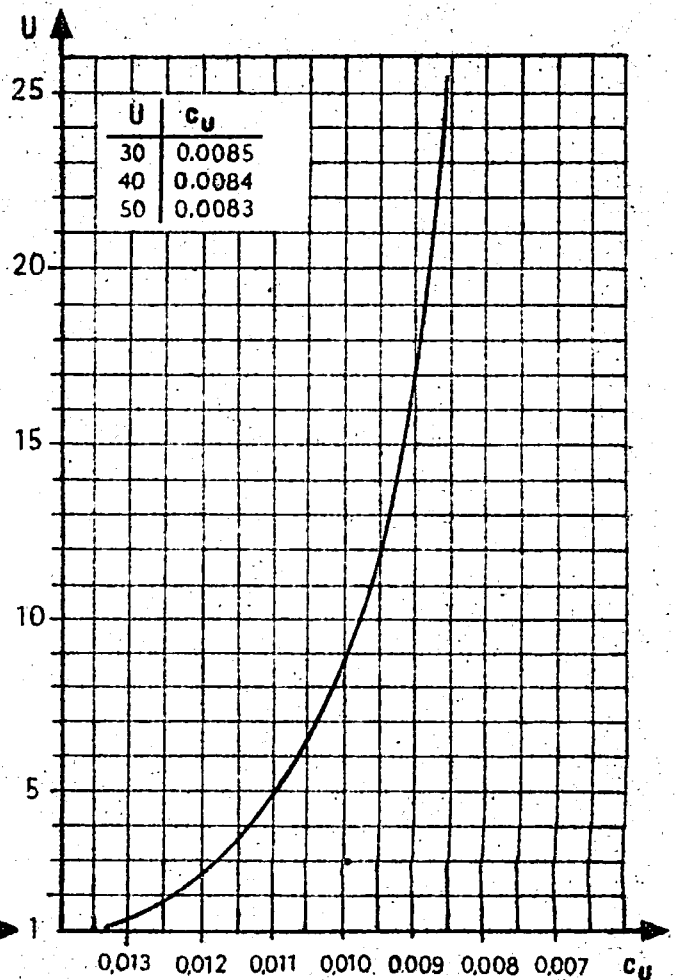
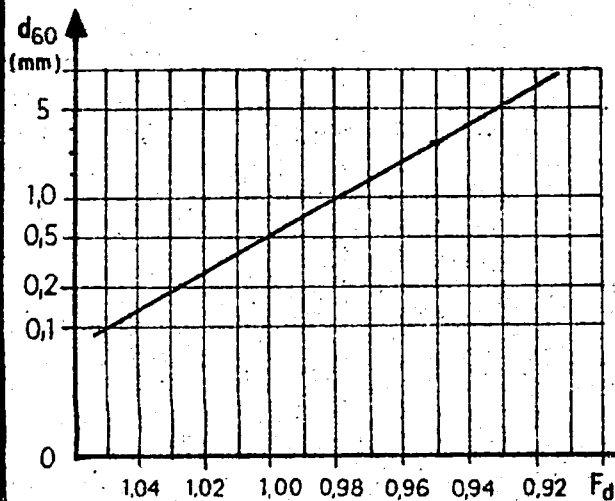


Bild 1

Verhältnis von d_{60} und Durchflußfläche F_d



2. Einschränkungen und Bemerkungen

- Gültigkeit
für Sande und Kiessande ohne Schluffgehalt
mit $0,1 \text{ mm} < d_{10} < 0,4 \text{ mm}$
und $1 < U < 25$
(für Mittelbildung über Bohrprofil können Einzelwerte aus
Schichten, die $< 20 \%$ Anteil am Gesamtprofil haben, auch für
 $0,1 \text{ mm} < d_{10} < 0,6 \text{ mm}$ für $U > 25$
und $0,4 \text{ mm} < d_{10} < 0,6 \text{ mm}$ für $U < 25$
ermittelt werden)
- Ergebnisse sollen den nach PV entsprechen;
(Fehler $< 10 \%$).
- Die empirischen Faktoren wurden durch Eichungen an einem kon-
kreten Pumpversuch im gespannten Grundwasser für Mittelsande
bestimmt. Die verwendeten Abhängigkeiten zwischen Ungleich-
förmigkeitsgrad sowie Porosität und der "Größe der Durchfluß-
fläche eines porösen Mediums" sind theoretisch nicht näher er-
läutert.

3. Literatur

ZIESCHANG, J.

Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in Lockergesteins-
grundwasserleiter.

Z. angew. Geol. 10 (1964) 7, S. 364 - 370

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. **LABORMETHODEN**
- 1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden
- 1.2.1. Berücksichtigung des Korndurchmessers
- 1.2.1.4. Formeln nach USBSC und SEELHEIM

A. USBSC ("amerikanische" Formel)

1. Bestimmung

$$k_{10} = 0,0036 d_{10}^{2,3}$$

k - bei 10 °C in (m/s)

d₂₀ - Korndurchmesser bei 20 % Siebdurchgang in (mm)

2. Einschränkungen und Bemerkungen

- Gültigkeit für fein- und mittelkörnige Sande;
- gute Übereinstimmung mit PV- und Laborergebnissen;
- nach GORSKI u. a. gilt für Quartärsande ohne Staub- und Tonfraktionen etwa

$$k_{(PV)} = (0,6 \dots 0,75) k_{USBSC}$$

3. Literatur

KOZERSKY, B.

Richtlinien zur Bestimmung des Sickerbeiwertes mit mittelbaren und Laborverfahren (poln.)

Warszawa 1977

B. SEELHEIM

1. Bestimmung

$$k_{10} = 0,357 d_{50}^2$$

k₁₀ - bei 10 °C in (cm/s)

d₅₀ - Korndurchmesser bei 50 % Siebdurchgang

2. Einschränkungen und Bemerkungen

- Formel für homogene Sandproben mit mittlerem Korndurchmesser 0,2 mm abgeleitet;

- nach BIALAS/KLECZKOWSKI große Abweichungen zu PV-Ergebnissen;
- Anwendung nur für homogene Gesteine ohne feinste ($< 0,06 \text{ mm}$) und grobe Fraktionen.

3. Literatur

KOZERSKY, B.

Richtlinien zur Bestimmung des Sickerbeiwertes mit mittelbaren und Laborverfahren (poln.)

Warszawa 1977

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN
- 1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden
- 1.2.2. Berücksichtigung von Korndurchmesser und Porenanteil
- 1.2.2.1. Formel nach SLICHTER

1. Bestimmung

$$k_t = 88,3 \cdot d_{10}^2 \cdot m \cdot \frac{1}{\eta}$$

k_t - k-Wert bei t °C in (m/d)

d_{10} - wirksamer Korndurchmesser in (mm)

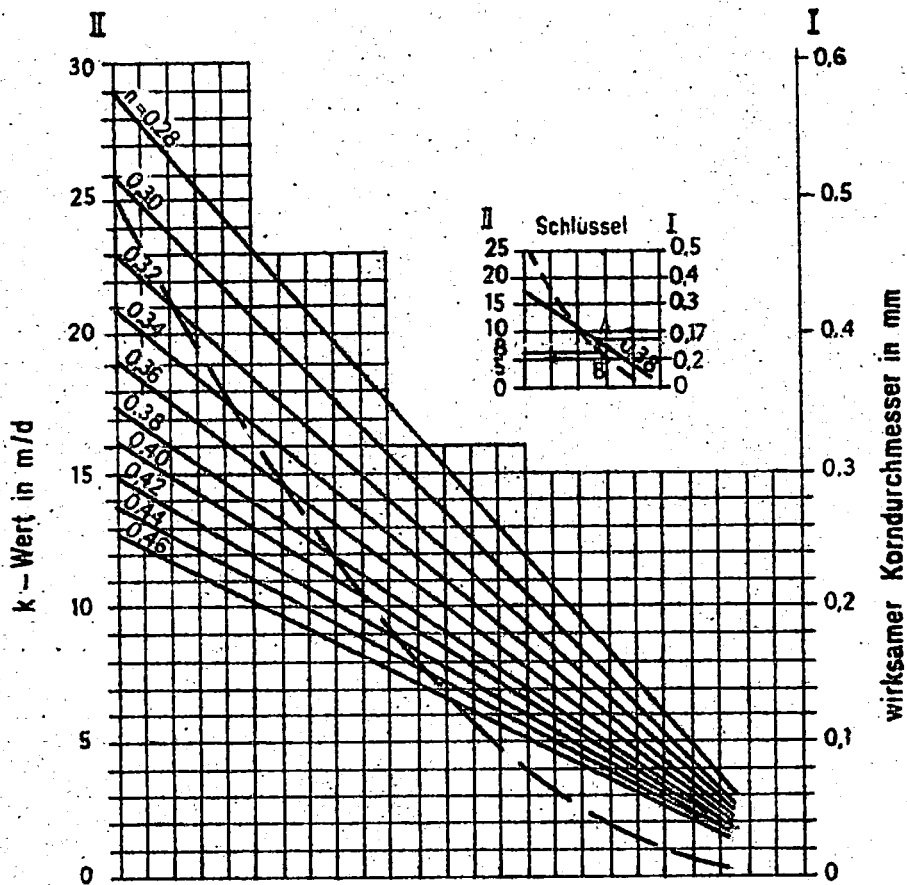


Bild 1

Nomogramm nach BINDEMAN für $t = 0$ °C

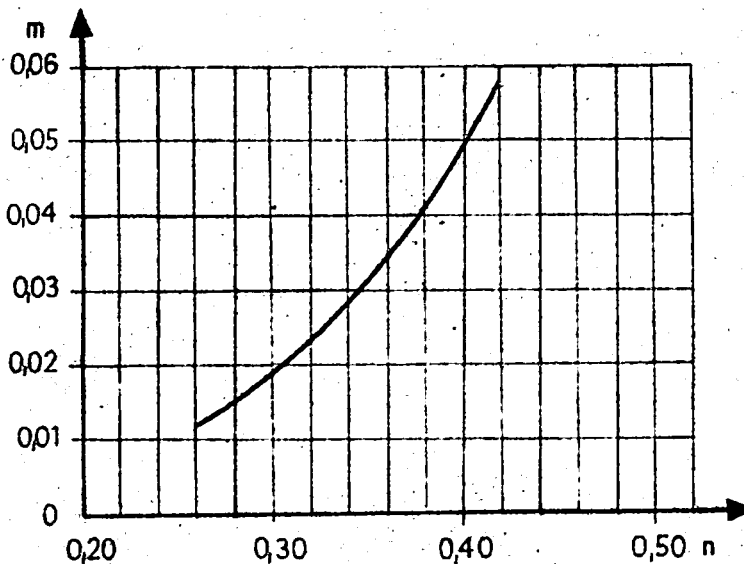


Bild 2

Berechnungsfaktor m

Fortsetzung 1.2.2.1.

- η - Viskosität in Poise
 m - Berechnungsfaktor in Abhängigkeit vom Porenanteil (siehe Bild 2)

Bei Ermittlung von k nach Monogramm Bild 1 ist die Umrechnung auf eine Wassertemperatur von 10 °C analog zu 1.2.1.1. erforderlich.

2. Einschränkungen und Bemerkungen

- Verwendung für Sande und Kiese mit $0,075 \text{ mm} \leq d_{10} \leq 5 \text{ mm}$.
- Bei genauer Kenntnis von n und γ_i allg. gute Übereinstimmung mit experimentellen Daten.

3. Literatur

MARSHALL, W.M.

Handbuch der Hydrogeologie (russ.)

Leningrad 1967

KOZDRSKI, B.

Richtlinien zur Bestimmung des Sickerwertes mit mittelbaren und Laborverfahren (poln.)

Warszawa 1977

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN
- 1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden
- 1.2.2. Berücksichtigung von Korndurchmesser und Porenanteil
- 1.2.2.2. Formel nach TERZAGHI

1. Bestimmung

$$k_t = \frac{c}{\eta} \left(\frac{n - 0,13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right)^2 d_{10}^2$$

k_t - k-Wert bei t °C in (cm/s)

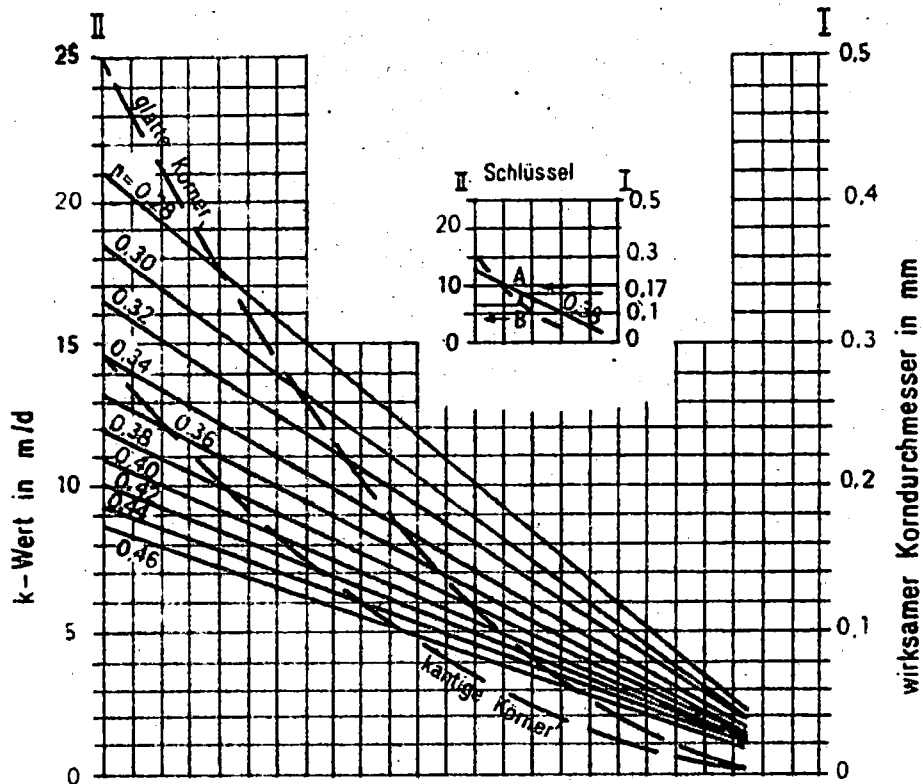


Bild 1

Nomogramm nach BINDEMAN
für $t = 0$ °C

- c - empirischer Faktor, der Kornform berücksichtigt
- | | |
|-------------------------|------------------|
| runde und glatte Körner | $c = 10,5$ |
| scharfkantige Körner | $c = 6,0$ |
| unbekannte Kornform | $c \approx 8,25$ |
- η - Viskosität in Poise
- n - Porenanteil
- d_{10} - wirksamer Korndurchmesser in (cm)

Bei Ermittlung von k nach Nomogramm Bild 1 ist Umrechnung auf eine Wassertemperatur von 10 °C analog zu 1.2.1.1. erforderlich.

Achtung:

Geänderte Dimensionen im Nomogramm.

Portsetzung 1.2.2.2.

2. Einschränkungen und Bemerkungen

Gute Übereinstimmung mit Laborwerten aus Permeametermessungen, wenn keine Feinstkornfraktionen enthalten sind.

3. Literatur

ALTOWSKI, M.E.

Handbuch des Hydrogeologen (russ.)

Moskau 1962

KOZERSKY, B.

Richtlinien zur Bestimmung des Sickerbeiwertes mit mittelbaren und Laborverfahren (poln.)

Warszawa 1977

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN

1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden

1.2.2. Berücksichtigung von Korndurchmesser und Porenanteil

1.2.2.3. Formel nach SAUERBREY

1. Bestimmung

$$k = \beta \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot d_{17}^2$$

k - in (m/d)

β - empirischer Faktor, abhängig von Korngröße und Homogenität

Kornanteil < 0,05 mm	β
2 %	3 000
3 %	2 500
4 %	2 000
5 %	1 150

d₁₇ - Korndurchmesser bei Siebdurchgang von 17 %
n - Porenanteil

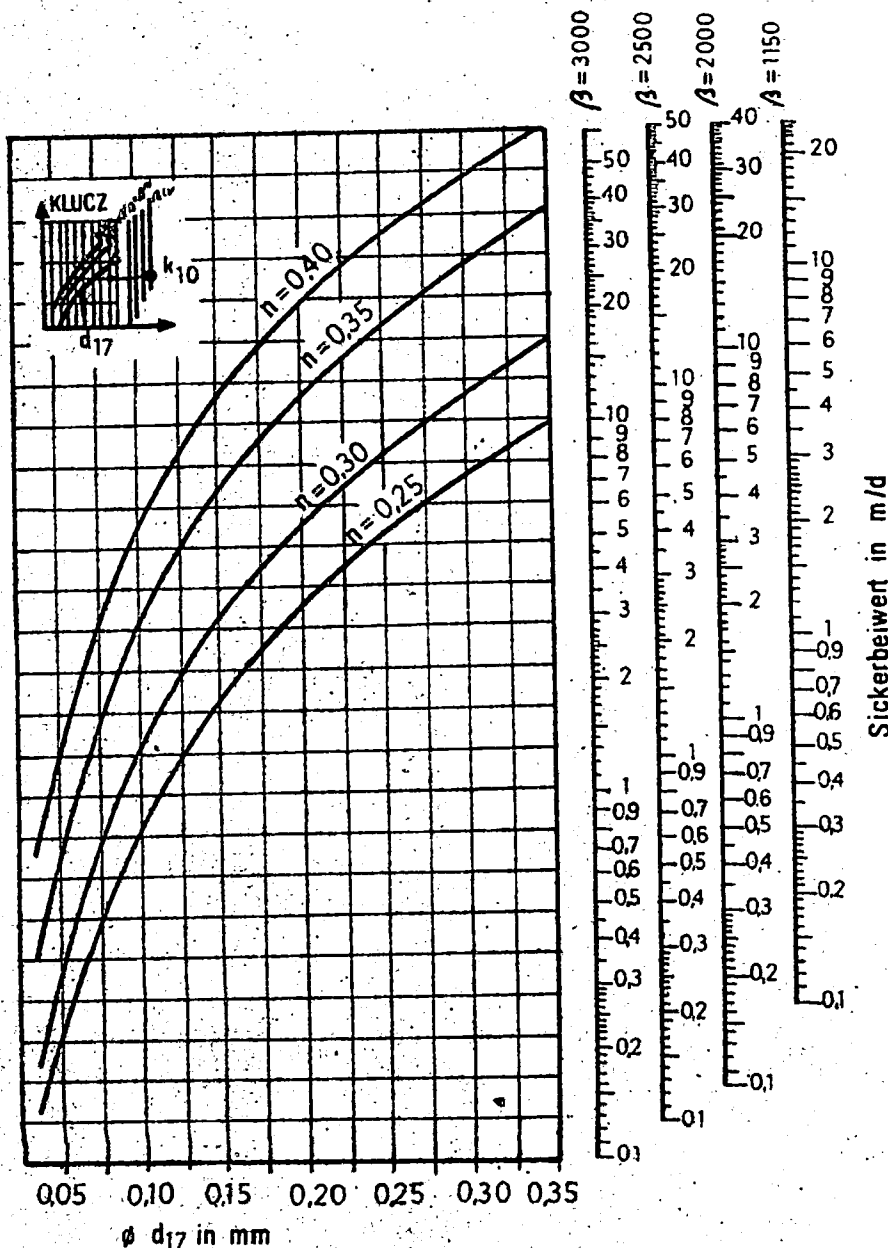


Bild 1
Nomogramma
nach KOZERSKY

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN
- 1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden
- 1.2.2. Berücksichtigung von Korndurchmesser und Porenanteil
- 1.2.2.4. Formel nach KRÜGER

1. Bestimmung

$$k = 322 \frac{n}{(1-n)^2} d_w^2 \quad 1)$$

k - in (m/d)

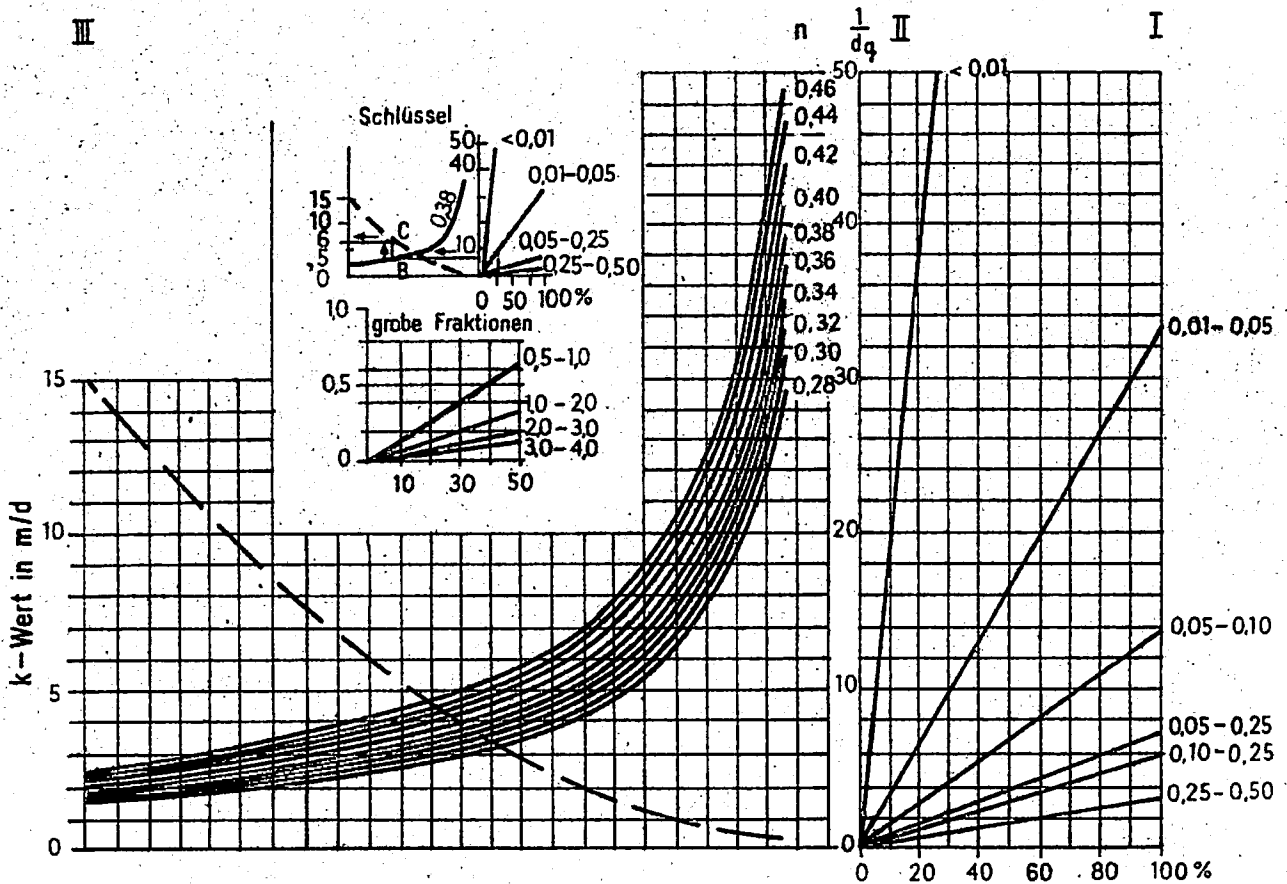


Bild 1

Nomogramm nach BINDEMAN

n - Porenanteil

d_w - wirksame Korngröße

$$\frac{1}{d_w} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{d_i}$$

x_i - Gewichtsanteil der Fraktion i in (%)

d_i - mittlerer Korndurchmesser der Fraktion i

N - Anzahl der Fraktionen

1) statt des Faktors 322 wird in ALTOWSKI 240 angegeben, wofür das Nomogramm Bild 1 aufgestellt wurde.

Verwendung des Monogramms Bild 1:

- Suche im rechten Diagramm für jede untersuchte Kornfraktion gemäß Skala I und deren zugehörigen Gewichtsanteil die Größe $\frac{1}{dq}$ auf Skala II.
(für größere Fraktionen kleines Diagramm verwenden)
- Mit der Summe der erhaltenen Einzelwerte wird, von Skala II ausgehend, im linken Diagramm parallel zur Grundlinie der Schnittpunkt mit der dem bekannten Porenanteil entsprechenden Kurve gesucht.
- Eine Senkrechte von diesem Schnittpunkt auf die unterbrochene Kurve ergibt den Punkt, in dessen Höhe auf Skala III der k-Wert abzulesen ist.

2. Einschränkungen und Bemerkungen

- Formel für Sande mit Korndurchmessern 0,06 ... 0,23 mm ausgearbeitet;
- gute Übereinstimmung mit Laborversuchen wurde auch für Sande mit Korndurchmessern 0,25 ... 2,0 mm und $n = 0,33 \dots 0,42$ erzielt;
- im Vergleich mit PV-Ergebnissen werden die k-Werte nach KRÜGER als zu hoch ermittelt;
- gültig für Temperatur $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

3. Literatur

ALTOWSKI, M.E.
Handbuch des Hydrogeologen (russ.)
Moskau 1962

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN

1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden

1.2.2. Berücksichtigung von Korndurchmesser und Porenanteil

1.2.2.5. Formel nach ZUNKER

1. Bestimmung

$$k = c \left(\frac{A}{1-n} \right)^2 \frac{1}{0.2(1 + 0.024 t)}$$

k = in (m/d)

n = Porenanteil

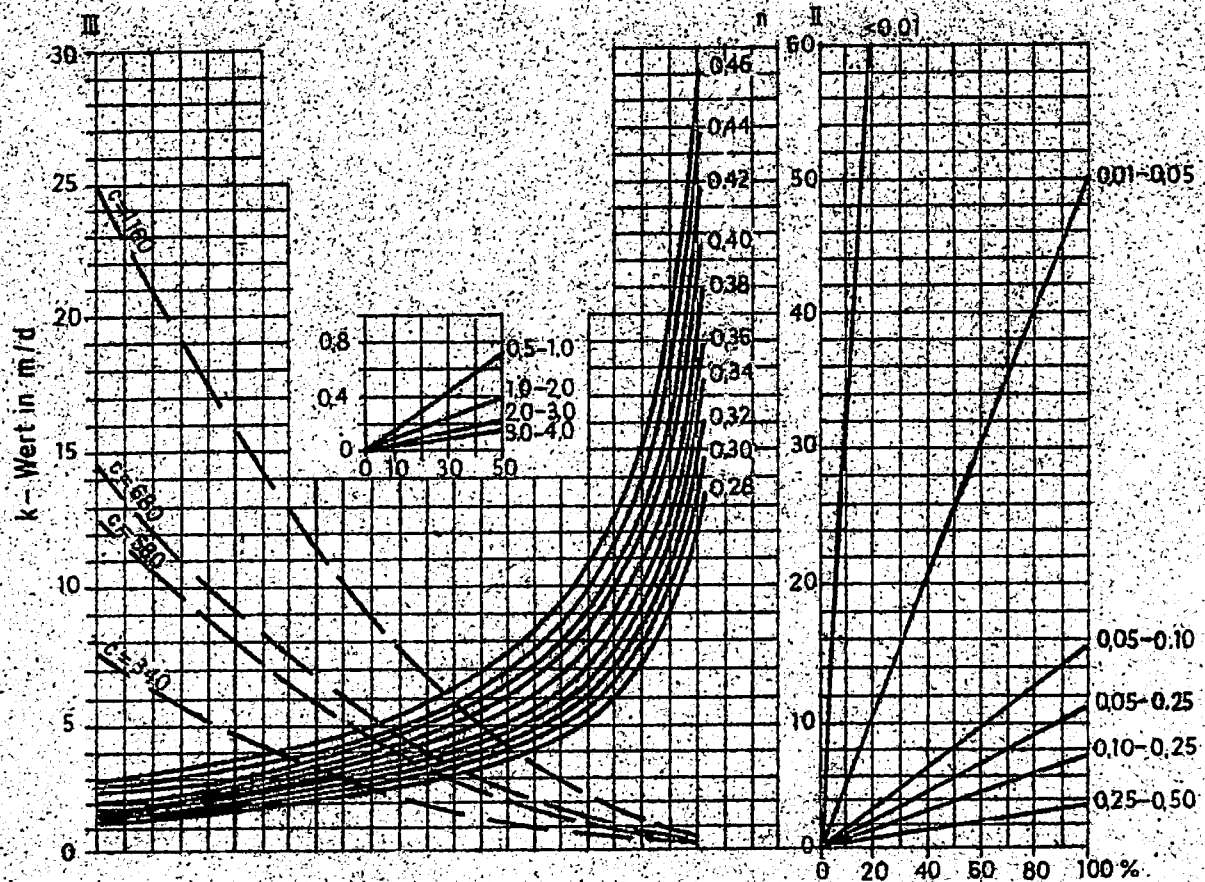


Bild 1

Nomogramm nach BINDEMANN
für $t = 0^\circ\text{C}$

σ - spezifische Oberfläche des Gesteins

$$\sigma = \sum_i \frac{\frac{1}{d_{i-1}} - \frac{1}{d_i}}{\ln d_i - \ln d_{i-1}}$$

d_i - Grenzdurchmesser der folgenden Fraktion in (mm)

d_{i-1} - Grenzdurchmesser der vorangegangenen Fraktion in (mm)

t - Wassertemperatur

c = empirischer Faktor, der die Gesteinsbeschaffenheit berücksichtigt (s. Tabelle 1)

Tabelle 1 Werte für c

Gesteinsbeschaffenheit	c
homogener Sand mit runden, glatten Körnern	1 160
homogener Sand mit scharfkantigen Körnern	680
inhomogener Sand mit runden Körnern	580
inhomogener Sand mit scharfkantigen Körnern	340

Anwendung des Nomogramms analog zu 1.2.2.4.

In der Originalarbeit von ZUNKER lautet die Gleichung

$$k_{10} \text{ cm} = 3740 \left[\frac{n_0}{(1 - n_0) \theta} \right]^2,$$

wobei k in cm/s angegeben wird und n_0 den spannungsfreien Porengehalt darstellt.

2. Einschränkungen und Bemerkungen

geeignet für Fein- und Mittelsande

3. Literatur

MAKSIMOW, W. M.

Handbuch der Hydrogeologie (russ.)

Leningrad 1967

KOZERSKY, B.

Richtlinien zur Bestimmung des Sickerbeiwertes mit mittelbaren und Laborverfahren (poln.)

Warszawa 1977

ZUNKER, P.

Bedeutung und Bestimmung der spezifischen Oberfläche und der Durchlässigkeit von Böden und anderen Dispersoiden.

Wiss. Ztr. TH Dresden 1 (1951/52) 2, S. 131 - 136

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN
- 1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden
- 1.2.2. Berücksichtigung von Korndurchmesser und Porenanteil
- 1.2.2.6. Formeln nach KOZENY, SCHÖNWÄLDER, CHARDABELLAS

1. KOZENY

$$k_{10} \text{ oC} = c \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} d_w^2$$

- k - in (m/s)
- d_w - wirksame Korngröße in (mm)
- n - Porenanteil
- c - Formfaktor
(in der Literatur werden für c unterschiedliche Werte angegeben, z. B.,
HACKESCHMIDT $c = 43 \cdot 10^{-3}$
MAKSIMOW $c = 63 \cdot 10^{-3}$
ALTOWSKI $c = 46 \cdot 10^{-3}$)

Literatur:

HACKESCHMIDT

Grundlagen der Strömungstechnik I.

Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1969

MAKSIMOW, W.M.

Handbuch der Hydrogeologie (russ.)

Leningrad 1967

2. SCHÖNWÄLDER

$$k = 10,45 \cdot 10^{-3} \cdot \epsilon^2 \cdot d_w^2$$

- k - in (m/s)
- d_w - wirksame Korngröße in (mm)
- ϵ - Porenziffer $\epsilon = \frac{n}{1-n}$

3. CHARDABELLAS

$$k_{10} \text{ oC} = K_{10} \cdot \epsilon^3 \cdot d_w^2$$

- k - in (cm/s)
- d_n - Nenndurchmesser in (cm)
 $= \frac{\sum d_i}{\sum (d_i/d_i)}$

Fortsetzung 1.2.2.6.

G_i - Gewichtsanteile der i -ten Kornfraktion

d_i - Nenndurchmesser der i -ten Kornfraktion

$$\frac{1}{d_1} = \frac{1}{d_2 - d_1} \ln \frac{d_2}{d_1}$$

d_2, d_1 , oberer und unterer Durchmesser der Fraktion

ε - Porenziffer $\varepsilon = \frac{n}{1 - n}$

K_{10} - Kennzahl der Kornform

Gestein	d_n in (cm)	K_{10} in ($\text{cm}^{-1}\text{s}^{-1}$)
schluffhaltiger Feinsand	$0,015 < d_n < 0,025$	140
mittlere und gröbere natürliche heterodisperse Sande	$0,025 < d_n < 0,050$	185
kieshaltige Grobsande	$0,050 < d_n < 0,100$	225

Literatur:

CHARDABELLAS, P.

Normung der k -Wert-Feldbestimmung durch Standardisierung der Korngrößenverteilungsdiagramme grundwasserhöffiger Lockergesteine.

Mitteilungen des Instituts für Wasservirtschaft Heft 20, Berlin 1964.

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN
- 1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden
- 1.2.2. Berücksichtigung von Korndurchmesser und Porenanteil
- 1.2.2.7. MULT-Verfahren nach KÖHLER

1. Bestimmung

Unter Verwendung der Gleichungen von

SCHÖNWALDER: $k = 10,45 \cdot 10^{-3} \epsilon^2 \cdot d_w^2$

CHARABELLAS: $k = 22,5 \cdot 10^{-3} \epsilon^3 d_w^2$ (vgl. 1.2.2.6.)

KOZENY: $k = 27,0 \cdot 10^{-3} \frac{\epsilon^3}{1 + \epsilon} d_w^2$

TERZAGHI: $k = 45,97 \cdot 10^{-3} \left(\frac{n - 0,13}{\sqrt{1 - n}} \right)^2 d_w^2$ (vgl. 1.2.2.2.)

wurden in Abhängigkeit von Porenanteil n und für beste Übereinstimmung jeweils mindestens zweier Verfahren Multiplikatoren (MULT) ermittelt und in der Tabelle zusammengestellt.

$1000 k = \text{MULT} \cdot d_w^2$

- k - in (m/s)
- d_w - wirksame Korngröße in (mm)
- n - Porenanteil
- ϵ - Porenziffer ($\epsilon = \frac{n}{1 - n}$)

Tabelle 1 Multiplikatoren in Abhängigkeit von n

n	Mult	n	Mult	n	Mult	n	Mult
0,160	0,155	0,240	0,638	0,320	2,23	0,400	4,71
0,165	0,173	0,245	0,746	0,325	2,35	0,405	4,91
0,170	0,192	0,250	0,812	0,330	2,47	0,410	5,12
0,175	0,212	0,255	0,882	0,335	2,59	0,415	5,34
0,180	0,235	0,260	0,956	0,340	2,72	0,420	5,56
0,185	0,259	0,265	1,03	0,345	2,86	0,425	5,78
0,190	0,284	0,270	1,12	0,350	3,00	0,430	6,02
0,195	0,312	0,275	1,20	0,355	3,14	0,435	6,26
0,200	0,342	0,280	1,30	0,360	3,29	0,440	6,50
0,205	0,374	0,285	1,39	0,365	3,44	0,445	6,75
0,210	0,409	0,290	1,50	0,370	3,60	0,450	7,01
0,215	0,446	0,295	1,60	0,375	3,77	0,455	7,28
0,220	0,485	0,300	1,72	0,380	3,94	0,460	7,58
0,225	0,528	0,305	1,84	0,385	4,11	0,465	7,89
0,230	0,573	0,310	1,96	0,390	4,31	0,470	8,22
0,235	0,625	0,315	2,09	0,395	4,51	0,475	8,55
						0,480	8,90

Fortsetzung 1.2.2.7.

Die Ermittlung von d_w erfolgt auf der Grundlage der Beziehung von KOZERNY

$$\frac{1}{d_w} = \sum \frac{x_i}{d_i}$$

x_i - relativer Gewichtsanteil der Fraktion

$$\sum x_i = 1 (= 100 \%)$$

d_i - mittlerer Korndurchmesser der Fraktion

Tabelle 2 Ermittlung von 1 000 k

Probe Kornklasse i	$\frac{1}{d_i}$	1		2	
		x_i	$\frac{x_i}{d_i}$	x_i	$\frac{x_i}{d_i}$
100/63	0,013		-		
63/20	0,033	0,04	0,001		
20/6,3	0,104	0,13	0,014		
6,3/5	0,179	0,03	0,005		
5/4	0,225	0,03	0,007		
4/2	0,375	0,12	0,045		
2/1	0,750	0,12	0,090		
1/0,63	1,290	0,13	0,168		
0,63/0,2	3,290	0,37	1,218		
0,2/0,1	7,500	0,03	0,225		
0,1/0,063	12,900	-	-		
0,063/0,02	32,900	-	-		
$\sum \frac{x_i}{d_i} = \frac{1}{d_w}$			1,779		
d_w			0,565		
d_w^2			0,32		
n			0,28		
MULT			1,30		
1000 k = MULT $\cdot d_w^2$			0,42		

2. Einschränkungen

Einschränkungen ergeben sich aus der Anwendbarkeit der verwendeten Berechnungsformeln und aus der beliebigen Auswahl gerade dieser Verfahren.

3. Literatur

KÖHLER

k-Wert-Bestimmungen aus der Kornverteilung (Manuskript) etwa 1964

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN

1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden

1.2.3. Ermittlung aus Ergebnissen von Druckversuchen für bindige Gesteine

1. Versuchsanordnung

siehe 1.1.4.

2. Auswertung

a) nach CASAGRANDE

$$k = \frac{h^2}{4} \cdot \frac{a}{1 + e} \cdot \frac{0,2}{60} \cdot \frac{1}{t_{50}}$$

h - Probenhöhe für die betrachtete Laststufe (Ausgangshöhe)

e - Porenziffer für die Probenhöhe h

a - Verdichtungsziffer (Änderung der Porenziffer) für die betrachtete Laststufe

$$a = - \frac{\Delta e}{\Delta p}$$

Δp - Laststeigerung (Belastungszuwachs)

t_{50} - Zeit bei 50 % des primären Setzungseffektes

k - in (cm/s)

b) nach TERZAGHI (für Ton)

$$k = \frac{Q}{3} \cdot \frac{t \cdot Q^2}{a \cdot p}$$

t - Zeitdauer in (s)

p - Druckzunahme

Q - aus dem Ton gequatschte Wassermenge pro Zeit und Flächeneinheit

h - in (cm/s)

c) nach OHDE

$$k = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{\gamma_{sw} \cdot h_m \cdot \Delta b^2}{60 \cdot \Delta p \cdot t^2}$$

γ_{sw} - Stoffgewicht Wasser (0,001 kg/cm³)

Fortsetzung 1.2.3.

- h_{III} - mittlere Probenhöhe während betrachteter Laststufe in (cm)
 $\Delta s^M, t^M$ - aus Zeit-Setzungs-Linie ($\Delta s = f(\sqrt{t})$) abgeleitete Größen

3. Bedingungen für Anwendung

- Vorwiegend Verwendung für Baugrunduntersuchungen
- Bedingungen siehe 1.1.4.

4. Fehlerquellen

keine Angaben

5. Literatur

SCHLUTTIG, H.

Baugrundmechanik (3. Lehrbrief)

Berlin: VEB Verlag der Technik 1963

BEINDEL, I.

Ingenieur-Geologie II.

Berlin: Springer-Verlag 1949

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

1. LABORMETHODEN
- 1.2. Mittelbare Bestimmungsmethoden
- 1.2.4. Verwendung sonstiger petrophysikalischer Gesteinskennwerte
- 1.2.4.1. k-Werte für Tonböden nach WISHIDA

1. Bestimmung

$$\epsilon = \alpha + \beta \lg k$$

$$\epsilon - \text{Porenziffer} \quad \epsilon = \frac{n}{1-n}$$

α - Bodenkonstante
(entspricht Porenziffer bei $k = 1$)

β - Bodenkonstante

k - in (cm/s)

für k in vertikaler Richtung

$$\alpha = 0,085 w_{fa} + 1,1$$

$$\beta = 0,085 w_{fa} + 0,09$$

für k in horizontaler Richtung

$$\alpha = 0,10 w_{fa} + 1,2$$

$$\beta = 0,011 w_{fa} + 0,12$$

w_{fa} - Bildsamkeit

laborativ ermittelt aus Fließgrenze
und Ausrollgrenze.

Richtwerte für w_{fa}

Sand	0
Schluff, Löss	2 ... 10 %
Lehm, magerer Ton	10 ... 25 %
fetter Ton	25 ... 75 %

2. Einschränkungen, Bemerkungen

Empirisches Schätzverfahren, das mit ausreichender Genauigkeit über die Größenordnung des k-Wertes bindiger Böden Auskunft gibt.

3. Literatur

WISHIDA, Y.

Eine einfache Formel zur Abschätzung des Durchlässigkeitskoeffizienten von Tonböden.

Der Bauingenieur 36 (1961) 12, S. 461 - 463

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung
 2. FELDMETHODEN
 2.1. Pumpversuche
 2.1.1. Übersicht zur Auswertung

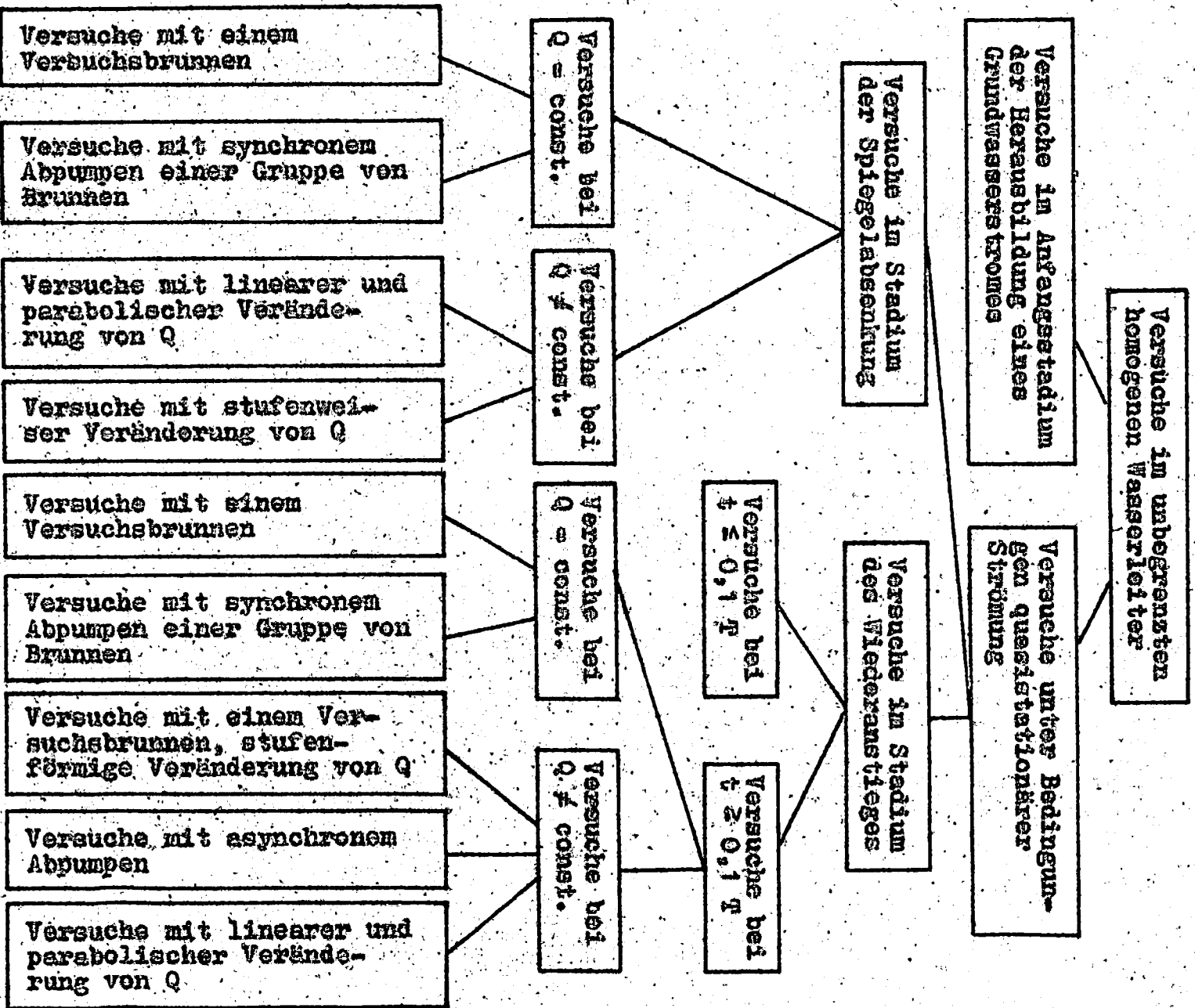
1) Gliederung nach TGL 23864/03

Gliederung der Auswertungsverfahren

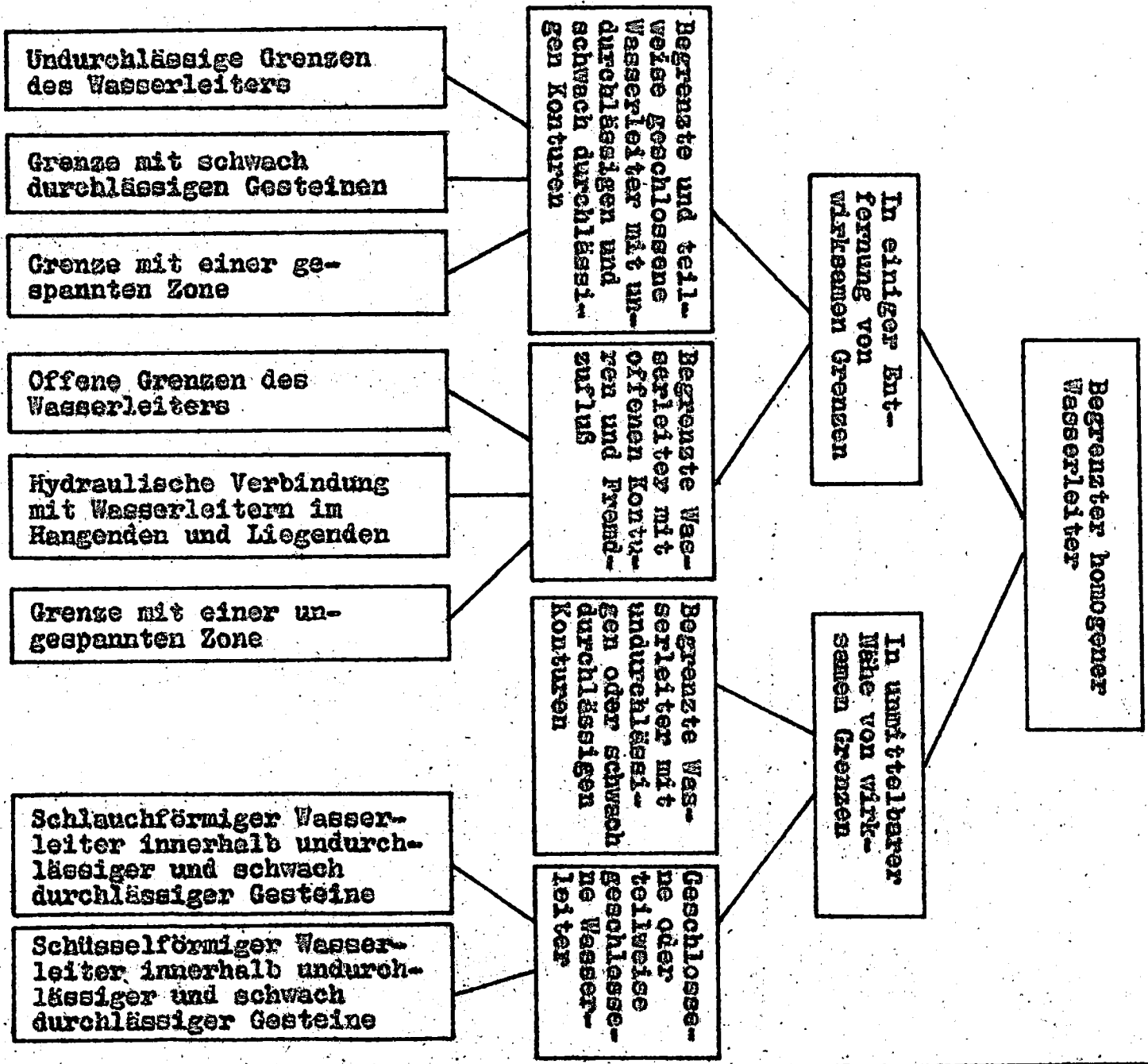
GW-Leiter			GW-Strömung				zusätzl. Sperrung		Randbeding.			Br.-Ausbau		Förderleistung				Auswertungsverf.				Auswert.nach		Bezugnahme		
isotrop	anisotrop	geschichtet	gespannt	ungespannt	nichtstationär	stationär	ohne	mit	ohne	einseitig	zweiseitig	vollkommen	unvollkommen	großer ϕ	konstant	variabel			graph.-analyt.		typische Kurve		Blatt	Abschnitt	Blatt	Abschnitt
																stufen	wiederanstieg	Sr-konst.	zeitlich	räumlich	zeitlich	räumlich				
o			o		o		o		o			o			o				o				4	1.1		
o			o		o		o		o			o			o				o					1.2		
o			o		o	o	o		o			o			o				o		o			2.1	4	1.1
o			o		o	o	o		o			o			o				o		o			2.2	4	1.2
o			o		o	o	o		o			o			o				o		o			2.3	4	2.1
o			o		o		o		o			o			o				o				5	1.1		
o			o		o		o		o			o			o				o					1.2		
o			o		o		o		o			o			o				o					1.3	4	1.1
o			o		o		o		o			o			o			o						1.4	4	2.2
o			o		o		o		o			o			o				o					2	5	1.1
o			o		o		o		o			o			o				o					2	5	1.2
o			o		o		o		o			o			o				o					2	5	1.2.2
o			o		o		o		o			o			o				o					2.1	5	1.3.2.1
o			o		o		o		o			o			o				o		o			2.2	5	1.4
o			o		o		o		o			o			o				o				6	1.1	4	1.1
o			o		o	o	o		o			o			o				o			o		1.1.2		
o			o		o		o		o			o			o				o					1.2.2	4	1.2
o			o		o		o		o			o			o				o					1.2.2	4	1.1.2.1
o			o		o		o		o			o			o				o					2	6	1.1.1
o			o		o		o		o			o			o				o			o		2	6	1.1.2
o			o		o		o		o			o			o				o					2	6	1.1.2.2
o			o		o		o		o			o			o				o					2	6	1.2
o			o		o		o		o			o			o				o		o		7	1.1	4	1.1.2.1
o			o		o		o		o			o			o				o					1.1.2	5	1.3
o			o		o		o		o			o			o				o					1.2.1	4	2.1.1.1
o			o		o		o		o			o			o				o					1.2.2	5	1.3
o			o		o		o		o			o			o				o					1.3.1	4	2.1.1.1
o			o		o		o		o			o			o				o					1.3.2	5	1.3
o			o		o		o		o			o			o				o					1.4.1	7	1.2.1
o			o		o		o		o			o			o				o					1.4.2	5	1.3.1.2.2
o			o		o		o		o			o			o				o					2	7	1.1.1
o			o		o		o		o			o			o				o					2	7	1.1.2
o			o		o		o		o			o			o				o					2	7	1.2.1
o			o		o		o		o			o			o				o					2	7	1.2.2
o			o		o		o		o			o			o				o					2	7	1.3.1
o			o		o		o		o			o			o				o					2	7	1.3.2
o			o		o		o		o			o			o				o					2	7	1.4.1
o			o		o		o		o			o			o				o					2	7	1.4.2
o			o		o		o		o			o			o				o				8	1.1	8	2.1
o			o		o		o		o			o			o				o					1.1.2		
o			o		o		o		o			o			o				o					1.2.1	8	2.2.1
o			o		o		o		o			o			o				o					1.2.2		
o			o		o		o		o			o			o				o					2.1.1	8	1.1.2.1
o			o		o		o		o			o			o				o					2.1.2		
o			o		o		o		o			o			o				o					2.2.1	8	1.1.1.2.1
o			o		o		o		o			o			o				o					2.2.2	8	1.2.2
o			o		o		o		o			o			o				o				9	1.1		
o			o		o		o		o			o			o				o					1.1.2		
o			o		o		o		o			o			o				o					1.1.3		
o			o		o		o		o			o			o				o					1.2	9	1.1-1.1.3
o			o		o		o		o			o			o				o					2.1.1	5	1.2.2.2
o			o		o		o		o			o			o				o					2.1.2		
o			o		o		o		o			o			o				o					3	4	1.2

2.1.1.2. Übersicht nach SAMSONOW

a) Unbegrenzter Grundwasserleiter



b) Begrenzter Grundwasserleiter



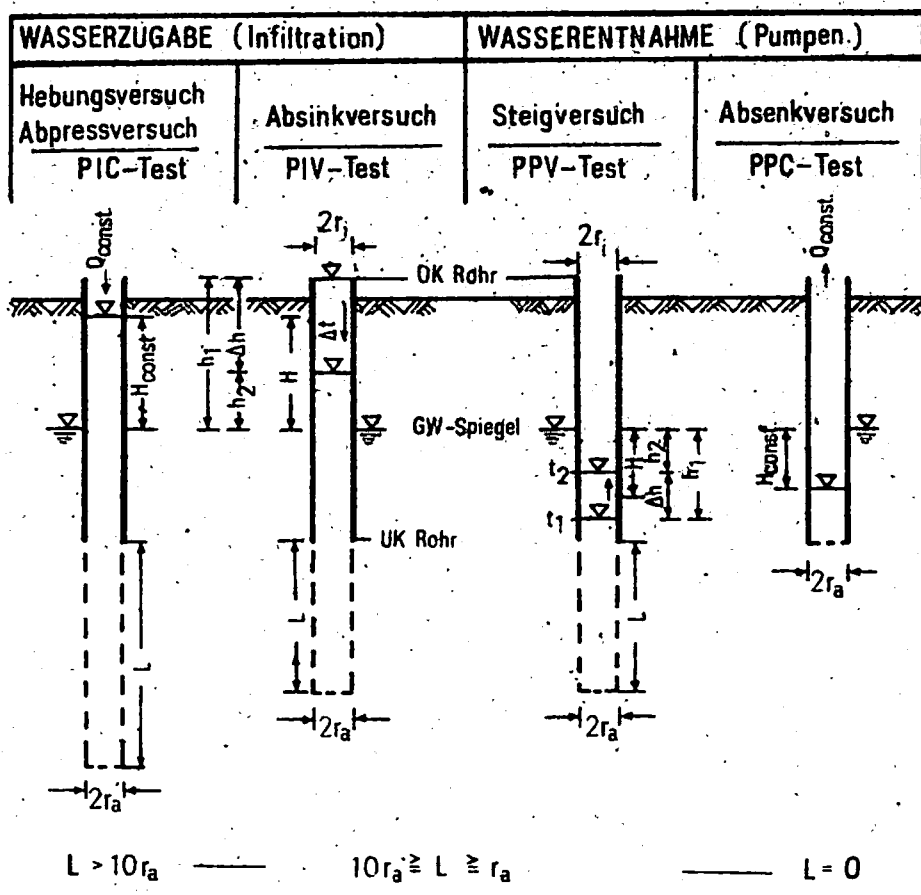
Verfahren zur k-Wert-Bestimmung
2. FELDMETHODEN
2.2. Hydraulische Bohrlochversuche
2.2.1. Übersicht

1. Arten/Versuchsdurchführung

Tabelle 1
Arten und Benennung nach SCHULER

PERMEABILITÄTS-TESTS ^P (DURCHLÄSSIGKEITSVERSUCHE)			
Druckhöhe (Wasser- spiegel) beim Versuch		I	
		P	
Hydrodynamische Verf.	V	variabel (veränderlich)	infiltrationstest (Wasserzugabe)
		constant (unveränderlich)	Pumptest (Wasserentnahme)
Hydrostatische Verf.	C	variabel (veränderlich)	PIV - Test (Absink-, Eingieß-, Sickerversuch)
		constant (unveränderlich)	PPV - Test (Steig-, Ausspiege- lungsversuch)
		constant (unveränderlich)	PIC - Test (Hebungs-, Füll- bzw. Abpressversuch)
		constant (unveränderlich)	PPC - Test (Absenk-, Bohrloch- Kurzpumpversuch)

Bild 1
Versuchsdurchführung (schematisch)



2. Auswertung

In der Literatur werden eine Vielzahl von Verfahren für Bohrloch- bzw. Infiltrometerversuche beschrieben, die sich gemäß Tabelle 1 untergliedern lassen. Die Auswertung erfolgt generell auf der Grundlage des DARCY-Gesetzes für hydrostatische Verfahren

$$k_f = Q/H \cdot 1/c \quad \text{in (m/s)}$$

Q - Durchfluß (Förderstrom) in (m³/s)

H - Potentialunterschied in (m)

c - Bereichsfaktor in (m), abhängig von Form des Strömungsbereiches, d. h. dessen äußerer und innerer Berandung

für hydrodynamische Verfahren

$$Q = r_i^2 \pi \Delta h / \Delta t \quad \text{in (m}^3/\text{s)}$$

Empfohlene Formeln nach LOHR:

für hydrostatische Verfahren

$$k = f \frac{Q}{H \cdot r_a} \quad \text{in (m/s)}$$

für hydrodynamische Verfahren

$$k = f \frac{r_i^2 \cdot \pi \cdot \Delta h}{r_a \cdot H \cdot \Delta t} \quad \text{in (m/s)}$$

mit $f = 0,034$ für isotropen Vollraum

$f = 0,044$ für isotropen Halbraum

$f = 0,050$ für anisotropen Vollraum
zur Ermittlung von k_h
(für $L/r_a = 10$)

(Es bedeuten Isotropie: $k_h = k_v$

Vollraum tritt i. allg. bei ungespanntem Grundwasser,
Halbraum bei gespanntem Grundwasser auf.)

3. Bedingungen, Bemerkungen

- Hydraulische Bohrlochversuche sind mit geringem Aufwand in jeder beliebigen Tiefe beim Niederbringen von Erkundungsbohrungen

Fortsetzung 2.2.1.

möglich:

- Bohrloch bis in den zu untersuchenden Abschnitt abteufen;
- Verrohrung möglichst nicht vorausarbeiten lassen;
- Bohrlochschle von Bohrschmand reinigen;
- Verrohrung um ca. 0,5 bis 2,0 m ziehen, nachdem zuvor der freizuziehende Bereich mit Filterkies verfüllt oder mit Filterrohr versehen wurde.
(Auf Ziehen der Verrohrung kann ggf. auch verzichtet werden, d. h. $L = 0$.) In der Praxis hat sich $L/r = 10$ als günstig erwiesen.
- Versuche werden i. allg. in Abständen von 2 - 3 m oder bei Schichtwechsel durchgeführt.
- Abpumpversuche günstiger als Auffüllversuche;
- möglichst kurze Zeitintervalle Δt und viele Zeitstufen untersuchen;
- Verfahren besonders für Vorerkundung und Grundwasserleiter in Tiefen > 10 m empfohlen.

4. Fehlerquellen, Einschränkungen

- Geringere Schwankungen der Ergebnisse nach Bohrlochversuchen gegenüber Auswertung nach Kornverteilung für SF und SM (HAZEN-Werte i. allg. zu hoch).
- Fehler entstehen durch
 - Bestimmung von H als geometrisches Mittel,
 - ungenügende Abdichtung Rohraußenwandung (ggf. Packer einsetzen),
 - Verschlammung Bohrlochschle bei $L = 0$,
 - fehlerhafte Wasserstandsmessungen (Ruhewasserstand!),
 - Erosion der Bohrlochwandung,
 - Anisotropie des untersuchten Grundwasserleiters,
 - ungenügende Absenkung bzw. zu raschen Wiederanstieg.
- Verfahren bevorzugt für Bereiche von
 $10^{-8} \text{ m/s} < k < 10^{-3} \text{ m/s}$
verwenden.

5. Literatur

GEIGER, K.

Die Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes im Zusammenhang mit bautechnischen Bodenuntersuchungen.

Hamburg: Verlag Wasser und Boden 1967

LOHR, A.

Beitrag zur Ermittlung des k_h -Wertes durch hydraulische Feldversuche.

gwf 110 (1969) 14, S. 369 - 376

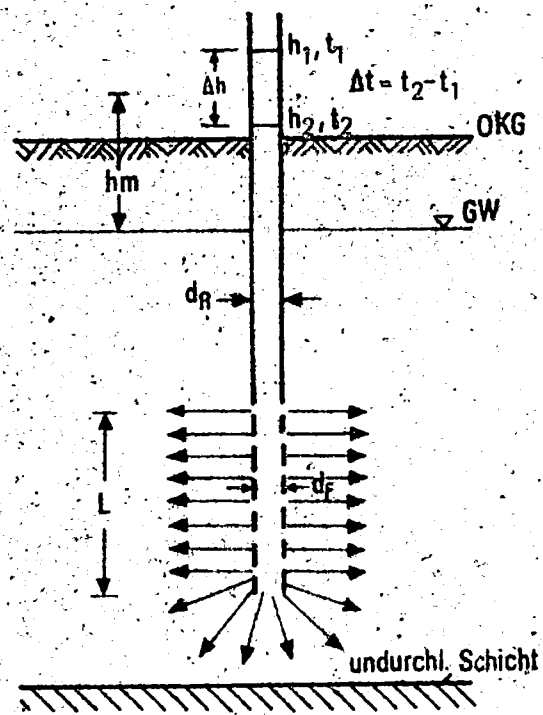
SCHULER, G.

Über Durchlässigkeitsbestimmungen durch hydraulische Bohrlochversuche und ihre Ergebnisse in tertiären Feinsanden Süddeutschlands.

bbr 24 (1973) 8, S. 291 - 299

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung
2. FELDMETHODEN
2.2. Hydraulische Bohrlochversuche
2.2.2. Homogramme nach GILG/GAVARD

1. Versuchsanordnung



- k - in (cm/s)
- d_R - Bohrrohrdurchmesser in (m)
- d_F - Filterdurchmesser in (m)
- L - Filterrohlänge in (m)
- h_1, h_2 - Wasserstand nach Auf-füllung zum Zeitpunkt t_1, t_2 in (m)
- h_m - $\frac{h_1 + h_2}{2}$ (mittlerer Was-serstand in m)
- Δh - $h_2 - h_1$ in (m)
- Δt - $t_2 - t_1$ in (min)
- A - Faktor nach Homogramm Bild 2 bzw. Bild 3 in (m)

Bild 1
Schema der Versuchsanordnung

2. Auswertung

a) Versuch mit gleichbleibendem Wasserstand bei $Q = \text{const.}$

Q - Einspeisungsmenge in (l/min)

$$k = \frac{1}{600 A} \cdot \frac{Q}{h_m}$$

b) Absenkungsversuch

$$k = \frac{1,308}{A} \cdot \frac{d_R^2 \cdot \Delta h}{h_m \cdot \Delta t}$$

Fortsetzung 2.2.2.

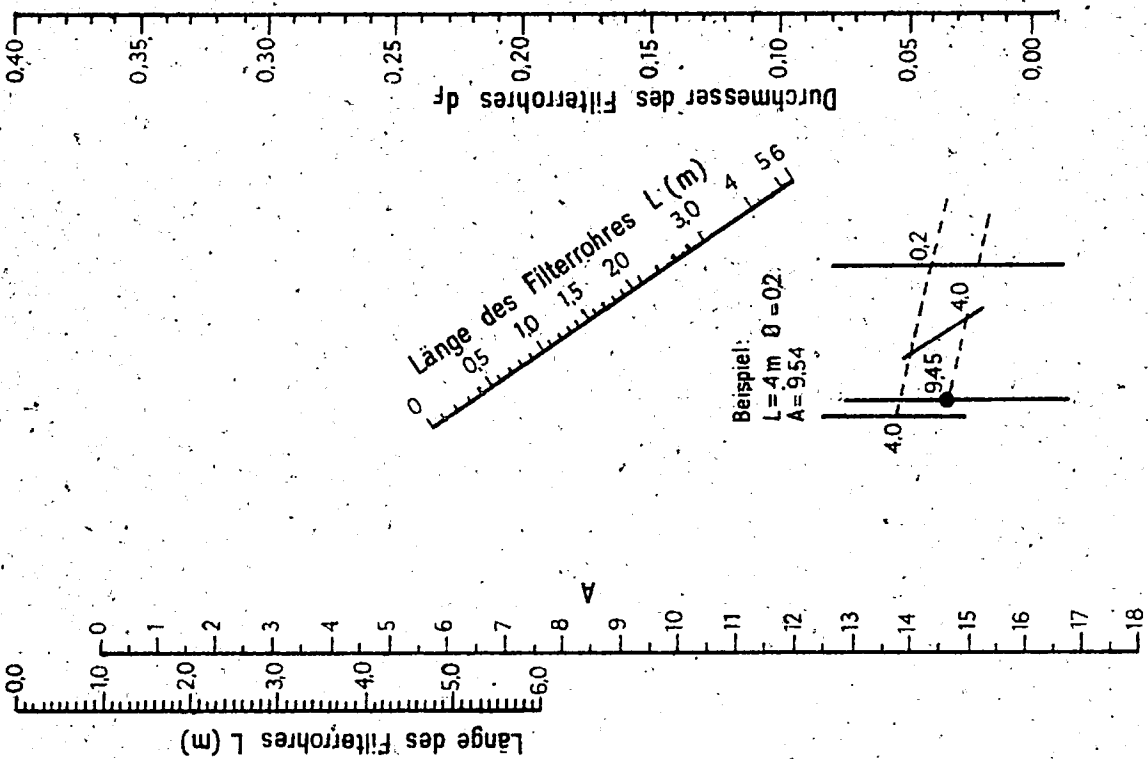


Bild 2

Bestimmung von A für $L \leq 6,0\text{ m}$

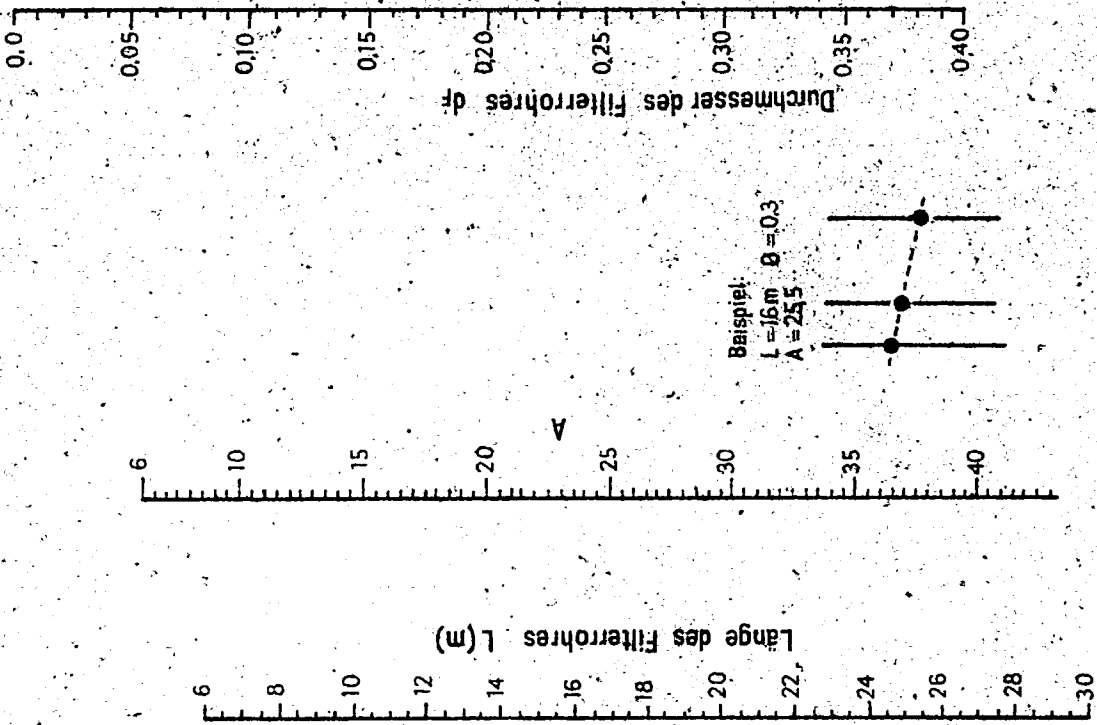


Bild 3

Bestimmung von A für $L > 6,0\text{ m}$

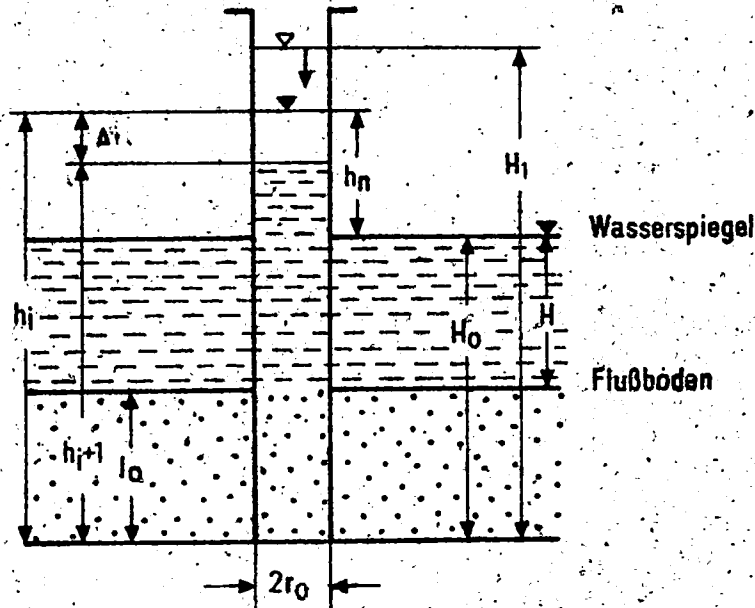
Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

2. FELDMETHODEN

2.2. Hydraulische Bohrlochversuche

2.2.3. Bestimmung vertikaler k-Werte nach JARODZKI mittels Infiltrometer im Gewässer

1. Versuchsanordnung



2. Auswertung

$$k_v = \frac{h_i - h_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \cdot \frac{l_0 + \frac{r_0^2}{4}}{4 \sqrt{4 l_0^2 + r_0^2}} \cdot \frac{r_0^2}{\bar{h}_i - H_0}$$

für $l_0 \geq 5 r_0$

$$k_v = \frac{4 l_0 + r_0}{4 t} \ln \frac{H_1 - H_0}{h_t - H_0}$$

- l_0 - Einschlagtiefe des Infiltrometers in die Sohle
- H - Tiefe des Gewässers an Untersuchungsstelle
- H_0 - Höhe Wasserstand des Gewässers über Zylinderunterkante
- H_1 - Anfangsfüllhöhe zum Zeitpunkt $t = 0$
- h_n - Höhe Wassersäule im Meßzylinder über Gewässerspiegel
- h_i, h_{i+1} - Wasserstände im Zylinder zur Zeit t_i, t_{i+1}
- \bar{h}_i - Mittelwert $\frac{h_i + h_{i+1}}{2}$
- r_0 - Innenradius Zylinder

3. Bedingungen

- Genaue Beachtung der untersuchten Schicht erforderlich (Kolmation, Schichtung);
- Struktur der Sohlenablagerung darf nicht gestört werden;
- Strömungsrichtung im Gerät soll der tatsächlichen entsprechen;
- bei Eindrücken des Zylinders (manuell) hydraulischen Durchbruch zwischen Gewässer und Zylinderinnenraum vermeiden ($l_0 > 10$ cm);
- mehrfache Versuchsdurchführung erforderlich;
- Kolmationsvorgänge im Gerät beachten.

4. Fehlerquellen

nicht angegeben;
ausreichende Genauigkeit vermerkt.

5. Literatur

ZBOROWSKI, K.

Polowe badania infiltrometryczne (poln. Manuskript)

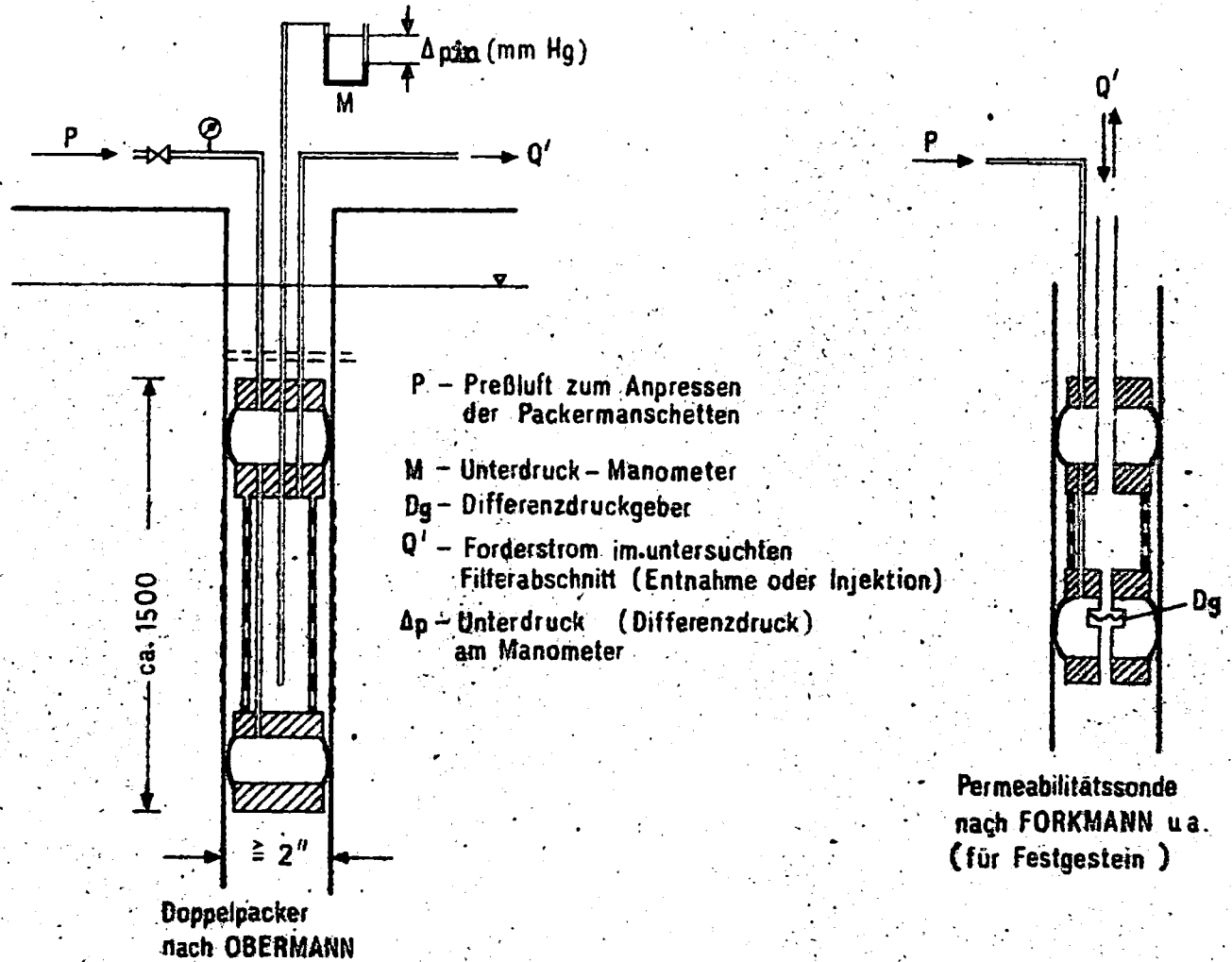
Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

2. FELDMETHODEN

2.3. Geophysikalische Bohrlochmessungen

2.3.1. Abschnittsweise Bestimmung mittels Doppelpacker (Permeabilitätssonde)

1. Versuchsanordnung (Schema)



2. Auswertung

allgemein:

$$K = f \left(\frac{Q'}{\Delta p} \right)$$

nach OBERMANN:

$$k_h = \frac{Q' \cdot \ln \left(\frac{f \cdot L}{D} + \sqrt{1 + \left[\frac{f \cdot L}{D} \right]^2} \right)}{2 \pi L \cdot H_K}$$

K - Permeabilität in (cm²)

k_h - Durchlässigkeitsbeiwert in horizontaler Fließrichtung in (cm/s)

f - $\sqrt{k_h = k_v}$; Annahme für $\frac{L}{D} \cong 5 \rightarrow k_h = k_v \rightarrow f=1$

k_v - Durchlässigkeitsbeiwert in vertikaler Fließrichtung in (cm/s)

- L - Länge des untersuchten Filterabschnittes in (m)
- D - Außendurchmesser des Filters in (m)
- H_K - Unterdruck an der Außenseite des untersuchten Filterabschnittes in (cm WS)
 $H_K = H_{q_f} - H_f$
- H_{q_f} - Unterdruck im Doppelpacker
 $H_{q_f} = H_q - H_o$
- H_q - Unterdruck am Manometer bei $q = \text{const.}$
- H_o - Unterdruck am Manometer bei $q = 0$
- H_f - Druckabfall im Filter + Doppelpacker bei Eichung in Wasserbecken (W) mit allseitig freiem Zufluß
 $H_f = H_q(W) - H_o(W)$

nach FORKMANN u. a.:

$$K = \frac{A \cdot \mu}{4 \pi \rho} \cdot \frac{Q'}{\Delta p \cdot R}$$

- A - Geometrie-Konstante
- μ - Zähigkeit des Wassers
- ρ - Dichte des Wassers
- R - Sondenradius

3. Bedingungen

- Gleichmäßiger Förderstrom (stationäre und laminare Strömung);
- rotationsymmetrische Anströmung;
- homogene und isotrope Verhältnisse;
- zur Vermeidung von Entgasung des Wassers soll Unterdruck ≤ 450 mm Hg sein;
- vollkommene Wassersättigung des Gesteins erforderlich.
- Abmessungen und Durchlässigkeit der Filterrohre müssen bekannt sein; für Lockergestein sollten deshalb Fertigfilter mit fest aufgebrachtem Filterkies verwendet werden (Konstanz geometrischer und hydraulischer Eigenschaften).
- Filter sollten in Abmessungen auf Maße des Doppelpackers abgestimmt sein.

4. Fehlerquellen, Einschränkungen

ergeben sich aus Bedingungen
(mittl. Meßfehler 10 - 20 %)

5. Vorteile

- Möglichkeit direkter Permeabilitätsbestimmung im Bohrloch;
- Möglichkeit der Untersuchung einzelner Abschnitte des Grundwasserleiters;
- Untersuchung bei geringen Filterdurchmessern möglich ($\geq 2''$);
- zusätzliche Untersuchungen zum Filtereintrittswiderstand und zur Grundwasserbeschaffenheit in bestimmten Schichten möglich.

6. Literatur

OBERMANN, P.

Möglichkeiten der Anwendung des Doppelpackers in Beobachtungsbrunnen bei der Grundwassererkundung.

bbr, 27 (1976) 3, S. 93 - 96

FORKMANN, B. u. a.

Moderne geophysikalische Verfahren zur Ermittlung hydrogeologischer Parameter und Strukturen.

Z. angew. Geol. 19 (1978) 7, S. 345 - 350

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

2. FELDMETHODEN

2.3. Geophysikalische Bohrlochmessungen

2.3.2. Tracer-(Indikator-)versuche

2.3.2.1. Farbversuche nach BEYER

1. Versuchsdurchführung

- Versuch wird in Zusammenhang mit Pumpversuch durchgeführt, wobei dem Versuchsbrunnen im Abstand r_1 und r_2 2 GWBR zugeordnet werden.
- Eingabe des in Wasser gelösten Farbstoffes (Uranin, Eosin) nach Erreichen eines Beharrungszustandes gleichzeitig in beide GWBR; Durchmischung im GWBR erforderlich; im entfernteren GWBR ist eine größere Farbmenge erforderlich.
- Entnahme von Wasserproben aus Brunnen (oder besser bei Eingabe in brunnenfernes GWBR aus brunnennahen GWBR) in vorher festzulegenden Äquidistanten Zeitabständen; i. allg. genügt Erfassung des Farbmaximums, und es ist nicht erforderlich, den Farbdurchgang vollständig abzuwarten. Wasserstände und Förderstrom sind zu messen.
- Alkalisierung der Proben auf pH = 10 mit NaOH und Filtration;
- visuelle und kolorimetrische Bestimmung der Farbintensität.

2. Auswertung

- Auftragung der Farbintensitätskurven gemäß Bild 1 für die zu verschiedenen Zeiten ankommenden Farbschwalle aus den beiden Eingabestellen.
- Auftragung des Wasserstandes h und der Fließdauer t_2 (Farbmaximum) in Abhängigkeit von der räumlichen Anordnung der GWBR und Zeichnen einer parabelförmigen Verbindungskurve gemäß Bild 2 (oben).
- Graphische Differentiation der ermittelten Kurven:

$$h = f(r) \longrightarrow h' = \frac{\partial h}{\partial r} = I$$

$$t = f(r) \longrightarrow \frac{1}{t'} = \frac{1}{\frac{\partial t}{\partial r}} = v_a$$

(Durchführung erfolgt durch Anlegen verschiedener Tangenten an die Ausgangsfunktion und Bestimmung der Tangentensteigung als Differentialquotient im betreffenden Punkt.)

- Bestimmung eines mittleren Gefälles I_m und der mittleren Abstandsgeschwindigkeit v_{am} durch visuellen Flächenausgleich gemäß Bild 2 (unten).

Fortsetzung 2.3.2.1.

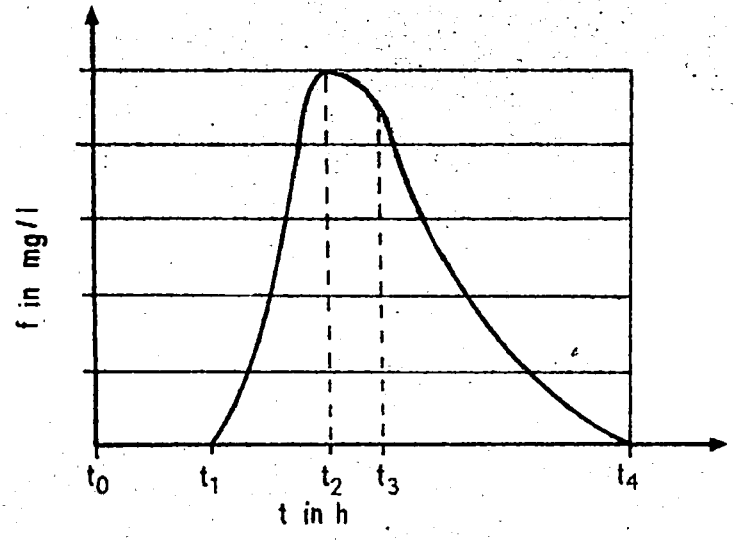


Bild 1
Farbintensitätskurve

- t_0 - Zeitpunkt der Farbstoffeingabe
- t_1 - erste Farbspuren
- t_2 - Maximum der Farbintensität
- t_3 - halber Farbdurchgang
- t_4 - Verschwinden der Farbe
- f - Farbintensität in (mg/l)

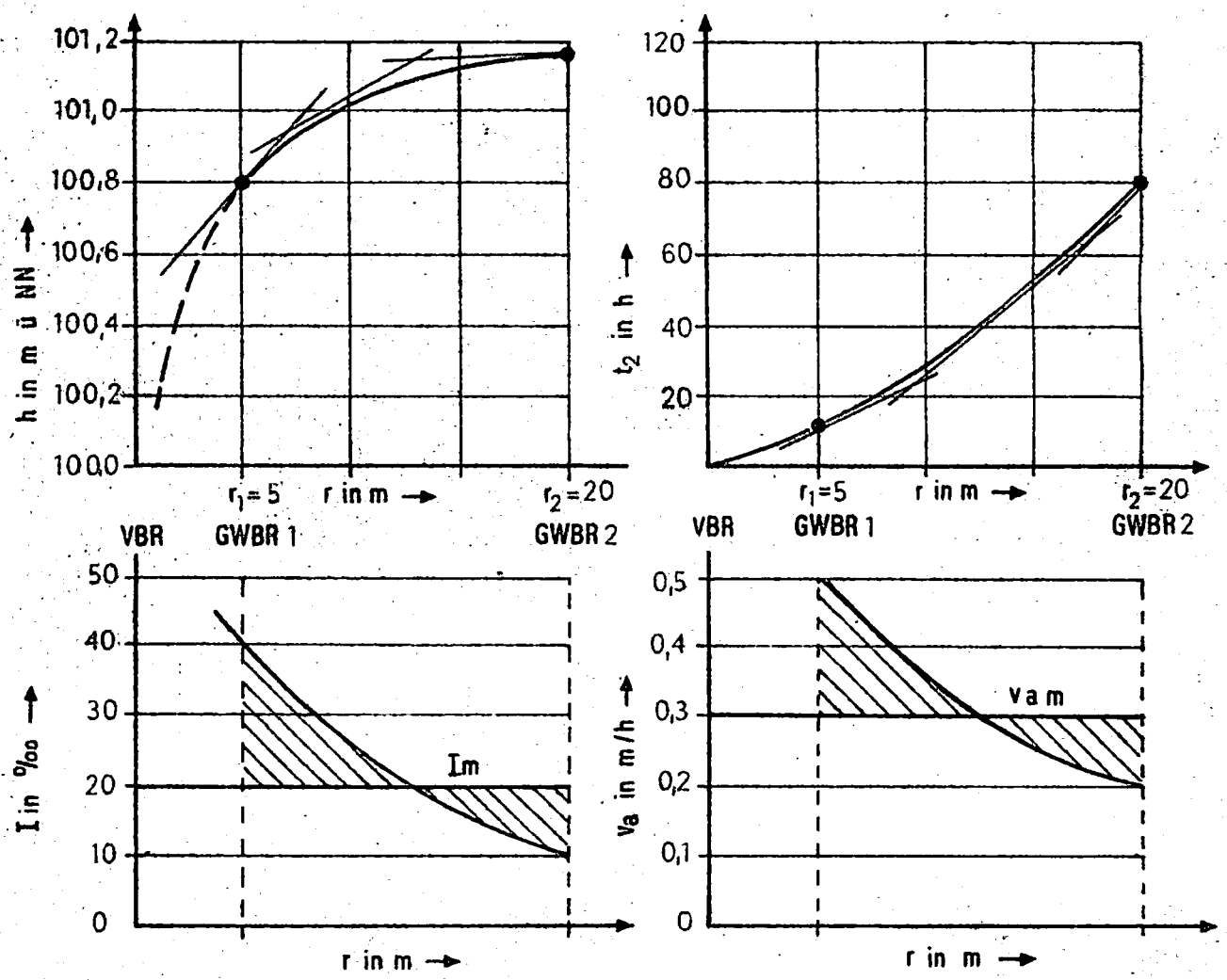


Bild 2
Graphisches Verfahren zur Auswertung von Farbversuchen

Fortsetzung 2.3.2.1.

- Unter Berücksichtigung des Zusammenhanges

$$v_a = \frac{v_f}{n}$$

- v_a - Abstandsgeschwindigkeit in (m/s)
- v_f - Filtergeschwindigkeit in (m/s)
- n - Porenanteil

ergibt sich

$$k_{\text{Farb}} = \frac{n \cdot v_{\text{am}}}{I_m}$$

3. Bedingungen, Einschränkungen, Fehlerquellen

- Probleme bei richtiger Wahl der Abstände und Einbautiefen der GWBR;
- Unklarheiten bei Einschätzung der Beharrung;
- Schwankungen des Förderstromes;
- besondere Sorgfalt im Gelände bei Umgang mit Farbstoff erforderlich.

4. Literatur

BEYER, W.

Die Erfassung von Grundwasserfließvorgängen mittels Farbstoffen in Verbindung mit Pumpversuchen.

Z. angew. Geol. 10 (1964) 6, S. 295 - 301

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

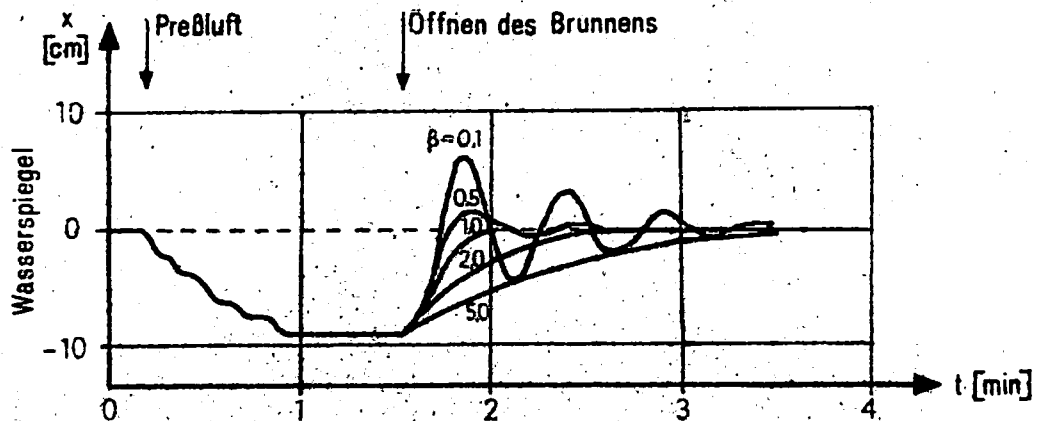
2. FELDMETHODEN

2.3. Geophysikalische Bohrlochmessungen

2.3.3. Einschwingverfahren nach KRAUSS

1. Versuchsdurchführung

- Brunnen oder GWBR werden nach oben gut abgedichtet;
- Preßluft in Brunnen einlassen, bis Wasserspiegel einige cm bis dm unterhalb seines ursprünglichen Niveaus liegt;
- Aufrechterhalten dieses Gleichgewichtszustandes für ca. 0,5 ... 1 Minute;
- sprunghafte Entfernung der Abdichtung führt zu mehr oder weniger gedämpften Einschwingvorgang auf Normallage. (Bild 1);
- Messung mittels Druckdöse;
- Dauer des Einschwingvorganges liegt in der Größenordnung von Minuten.



2. Auswertung

$$T = r_w^2 \cdot \omega_w / c(\beta)$$

$T = k \cdot m$ → Transmissibilität in (m^2/s)

r_w - Brunnenradius in (m)

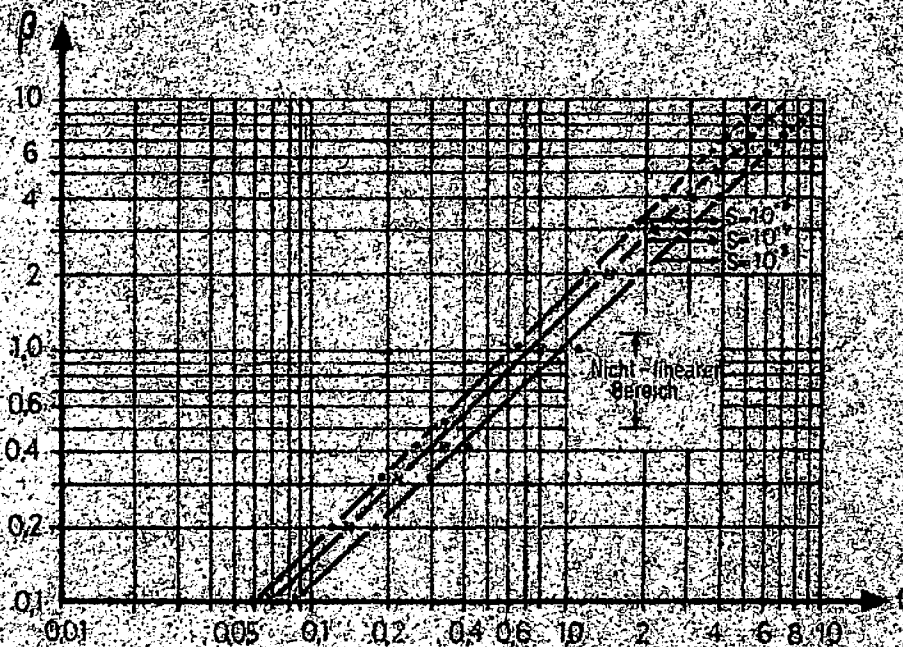
ω_w - Eigenfrequenz des Brunnen
in (s^{-1})

$c(\beta)$ - Dämpfungsfaktor nach Bild 2

β - Dämpfungskoeffizient

Fortsetzung 2.3.3.

- Ermittlung von β und ω_0 aus Darstellungen gemäß Bild 1 unter Verwendung einschlägiger Literatur bzw. durch Frequenzanalyse (Verwendung vorhandener Rechenprogramme)
- Ermittlung von $c(\beta)$ nach Bild 2



3. Bedingungen, Einschränkungen, Fehlerquellen

- Abschätzung der Durchlässigkeit von gespannten GW-Leitern;
- Ergebnisse sind sehr schnell und mit geringen Kosten zu erhalten und gut reproduzierbar;
- Abweichungen für verschiedene Messungen ca. 0,5 %;
- möglichst Brunnen mit kleinem Radius benutzen;
- gute Übereinstimmung mit PV-Ergebnissen;
- Speicherkoeffizient nicht bestimmbar;
- Methode erfasst einen Radius von ca. 50 - 100 m um den Brunnen;
- nicht geeignet für stark klüftige GW-Leiter (nur Maß für Klüftdurchlässigkeit in unmittelbarer Brunnen-umgebung).

4. Literatur

KRAUSS, I.:

Die Bestimmung der Transmissivität von Grundwasserleitern aus dem Einschwingverhalten des Brunnen-Grundwasserleitersystems.

Ztr. für Geophysik 40 (1974) S. 381 - 400

KRAUSS, I.:

Das Einschwingverfahren - Transmissivitätsbestimmung ohne Pumpversuch.

gef - Wasser/Abwasser 118 (1977) 9, S. 407 - 410

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

- 3. **INDIREKTE METHODEN**
- 3.1. **Ermittlung aus Wasserhaushaltsgrößen**
- 3.1.1. **Verfahren nach SCHULZ**

1. Bestimmung

Grundlagen: natürliche Grundwasserstände und Abflüsse;

DARCY-Gesetz $v = k \frac{\Delta h}{\Delta x}$

$$k = \frac{4 Q_0 \cdot \Delta x_n}{(h_n - h_{n-1}) (h_n - a_n + h_{n-1} - a_{n-1}) (b_n + b_{n-1})}$$

Q_0 - Abfluß/Durchfluß in (m^3/s)

Vereinfachende Annahme: $v_s = 0$

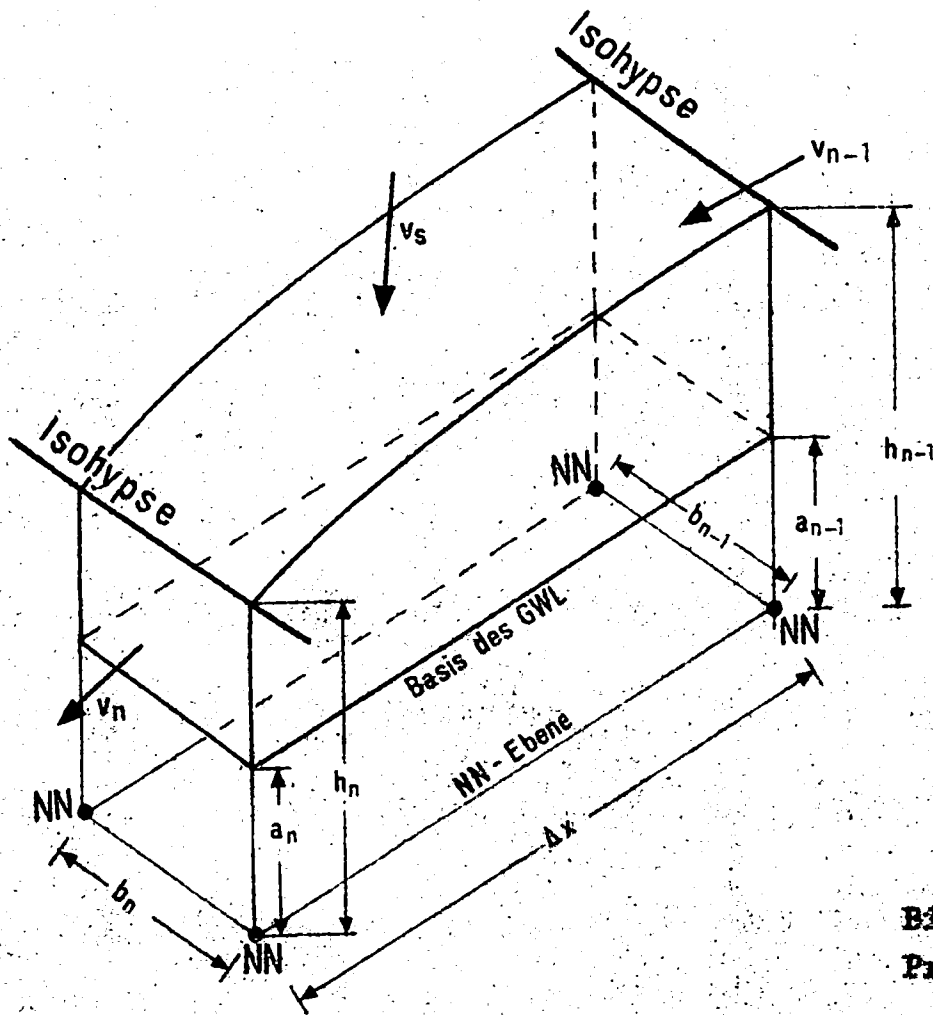


Bild 1
Prinzipskizze

Fortsetzung 3.1.1.

- Die Berechnung erfolgt abschnittsweise ("Einschritt-Methode") mittels Rechner.
- Ausgehend von einem konkreten Hydroisohypsenplan sind die Werte Q_0 (Durchfluß oder Entnahme), Δx_n , h und a weitgehend bekannt. Schwieriger ist die Bestimmung von b (Breite des Einzugsgebietes).
- Der k -Wert wird für jeden Abschnitt Δx berechnet.

2. Einschränkungen und Bemerkungen

- Vorhandensein von Wasserstands- und Abflußmessungen für relativ homogenes Gebiet;
- im betrachteten Strömungsabschnitt muß Strömung weitgehend zweidimensional sein, d. h. Stromlinien möglichst gerade und parallel (wenig gekrümmt und äquidistant);
- Untergrenze des Grundwasserleiters muß bekannt sein;
- GWER möglichst alle auf Stromlinie durch Abflußmeßstelle angeordnet;
- im Betrachtungszeitraum gleichmäßige Wasserzufuhr durch Niederschläge (möglichst Trockenperiode ohne N);
- vorteilhafte Mittelwerte über größere Bereiche zu bestimmen;
- für kleinere Einzugsgebiete mit relativ einheitlichen hydrogeologischen Verhältnissen geeignet;
- Randbedingungen sorgfältig beachten;
- Genauigkeit des Ergebnisses ist weitgehend von der Qualität der Angaben über das betrachtete Einzugsgebiet (h_n , a_n , b_n) abhängig.

3. Literatur

SCHULZ, G. und SCHULZ, H.D.

Berechnung der Gesteinsdurchlässigkeit (k_f) aus Grundwasserständen und Abflüssen.

bbr 27 (1976) 10, S. 359 - 362

Verfahren zur k-Wert-Bestimmung

3. INDIREKTE METHODEN

3.1. Ermittlung aus Wasserhaushaltsgrößen

3.1.2. Verfahren nach KRÄTZSCHMAR

1. Bestimmung

Grundlagen: Grundwasserneubildung

DARCY-Gesetz

$$k = \frac{Q}{H \cdot B \cdot I}$$

$$Q = \sum Q_i = \sum_{i=1}^n M_{qi} \cdot F_i \quad - \text{Gesamtabfluß in (m}^3/\text{s)}$$

M_{qi} - mittlerer jährlicher unterirdischer Abfluß
in (l/s km²)
bezogen auf charakteristische Versickerungseinheiten
(z. B. Wald, Acker usw.)

F_i - Fläche der i-ten Versickerungseinheit

H - Grundwassermächtigkeit in (m)

B - Durchflußbreite in (m)

I - Gefälle

2. Einschränkungen und Bemerkungen

sehr grobes und fehleranfälliges Verfahren zur Ermittlung von Gebietsmittelwerten

3. Literatur

KRÄTZSCHMAR, H.

Vergleichende Untersuchungen bekannter und neuerer geohydrologischer Verfahren.

Wiss. Ztr. TU Dresden 13 (1964) 4, S. 1057 - 1062

Anlage 4

Diagnostizierung

von

PV-Ergebnissen

Diagnostizierung von PV-Ergebnissen (nach DABROWSKI/PRZYBYLEK, 1978)

1fd. Hydrogeologisches
Nr. Schema

Diagramm
 $s = f(lg t)$

Hydrogeologische Interpretationen

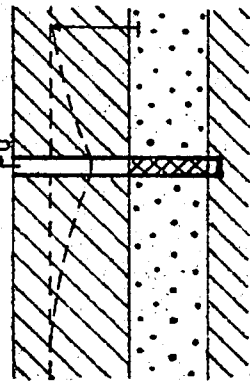


Diagramm $s = f(lg t)$ wird nach Ablauf einer gewissen Zeit geradlinig und während der ganzen Förderzeit bleibt gleiche Neigung gegenüber der Achse $lg t$: wasserführende Schicht mit dichten Wasserstauern im Hangenden und Liegenden sowie entfernten Beschickungsgrenzen (∞ ausgedehnt).

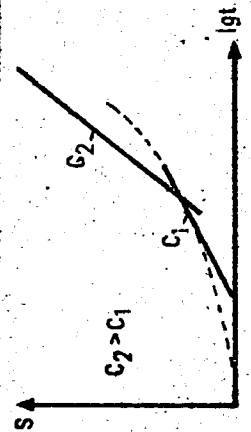
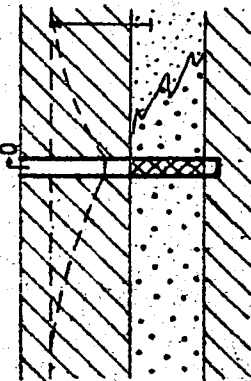


Diagramm $s = f(lg t)$ weist zwei geradlinige Abschnitte auf, von denen der zweite eine etwas größere Neigung hat: Verschlechterung der Leitfähigkeit des durch Förderung beeinflussten Gebietes im Verhältnis zum Erfassungsgebiet.

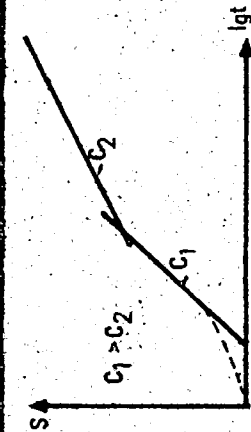
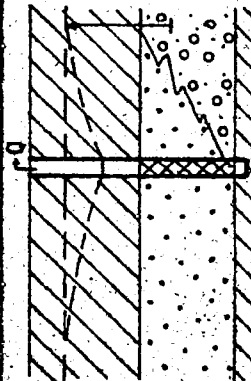


Diagramm $s = f(lg t)$ besteht aus zwei geradlinigen Abschnitten, von denen der zweite eine geringere Neigung als der erste aufweist: Widerpiegelung des Anstieges der Leitfähigkeit im weiteren Gebiet, das durch die Zone des Fördereinflusses gegenüber dem PV-Standort erfasst ist.

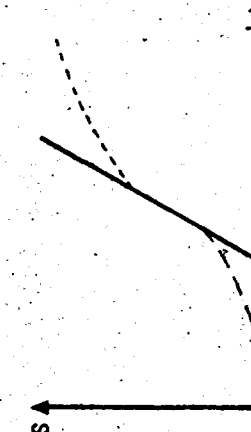


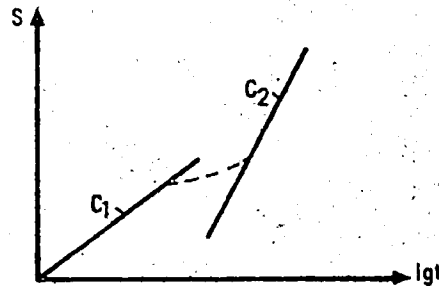
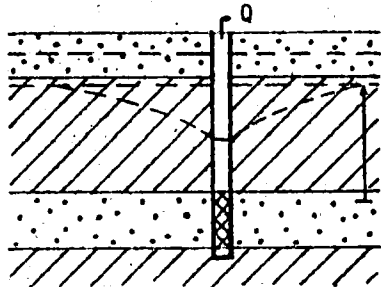
Diagramm $s = f(lg t)$ hat die Form wie auf der Abbildung angegeben. Förderung wird in Schicht mit gespanntem Wasserspiegel durchgeführt und Wasser sickert aus der überliegenden Speisungsschicht durch, wobei in der Speisungsschicht keine Senkung des Niveaus eintritt ($H = \text{const.}$). Vor Beginn der Berechnungen ist zu prüfen, ob keine Beschickungsumrisse in der Nähe vorhanden sind.

lfd. Hydrogeologisches
Nr. Schema

Diagramm
 $s = f(\lg t)$

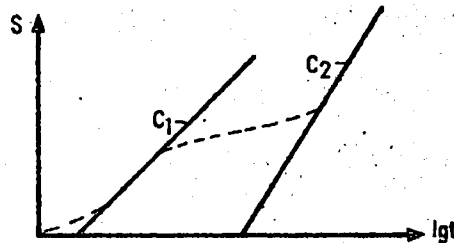
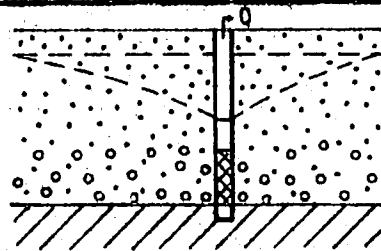
Hydrogeologische Interpretationen

5.



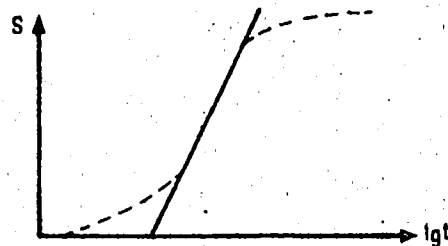
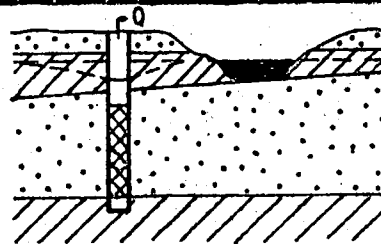
Das Diagramm spiegelt ein kompliziertes wasserführendes System der wasserführenden und untersuchten Schicht sowie der schwach durchlässigen Schicht mit beträchtlichem Wasservolumen wider. In der ersten Etappe verlangsamt sich die Senkung des Wasseranteils aus der der schwach durchlässigen Schicht, und dies kann zu einer Pseudostabilisierung führen (Neigung C_1). In der Endphase der Förderarbeiten verhält sich das System wie eine Einheit, und die Entwicklung des Trichters erfolgt wie in der freien und unbegrenzten Schicht.

6.



Das Diagramm spiegelt das typische Verhalten der freien und unbegrenzten sowie heterogenen Schicht wider. Die Interpretation der Parameter ist nach dem Berechnungsschema von BOULTON vorzunehmen. Orientierungswerte sind aus der logarithmischen Annäherung zu erhalten.

7.



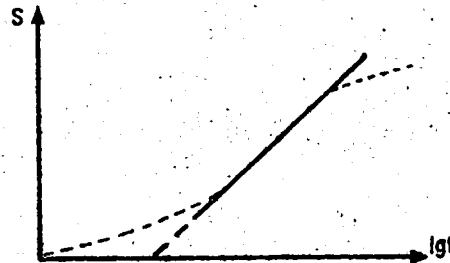
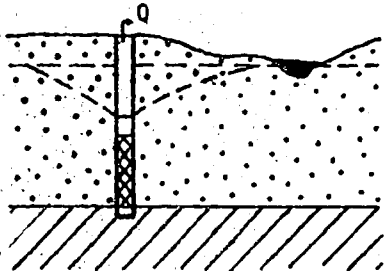
Dieses Diagramm ist dem in Schema 8 dargestellten ähnlich. Die Filterparameter kann man nach den Formeln für die nichtstationäre oder stationäre Filterströmung berechnen.

1fd. Hydrogeologisches
Nr. Schema

Diagramm
 $s = f(\lg t)$

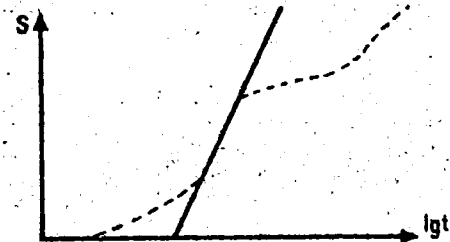
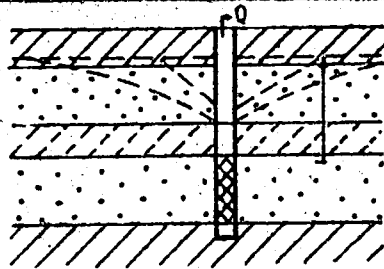
Hydrogeologische Interpretationen

8.



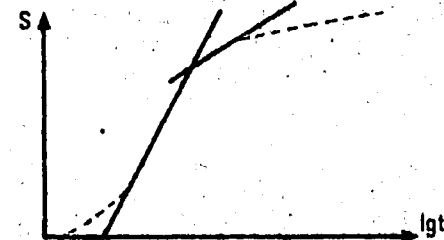
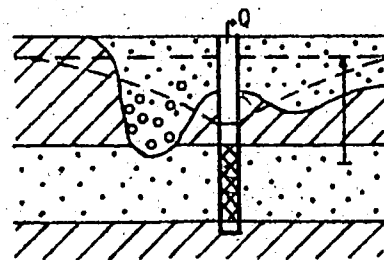
Wenn der Versuchsbrunnen in der Nähe des Flusses angeordnet ist, so verflacht das Diagramm nach einer gewissen Förderzeit und verläuft parallel zur Achse $\lg t$. Allgemein kommt diese Erscheinung eher vor, wenn eine hydraulische Stützung des Niveaus unter Druck stattfindet. Die Berechnung der Parameter ist nach den allgemeinen Filterformeln für die nicht-stationäre Filterung unter Berücksichtigung des Einflusses der Grenze bzw. nach den Formeln für stationäre Filterung vorzunehmen.

9.



Das Diagramm $s = f(\lg t)$ hat die dargestellte Form dann, wenn die Förderung in einer Schicht mit gespanntem Wasserspiegel vorgenommen wird, in die das Wasser aus der darüberliegenden Schicht (Beschikungsschicht) durchsickert und infolge dieser Erscheinung die Senkung des Niveaus dieser Schicht ($H = f(t)$) eintritt. Interpretation nach der Methode von Boulton; Orientierungswerte nach Theiss/Jacob

10.



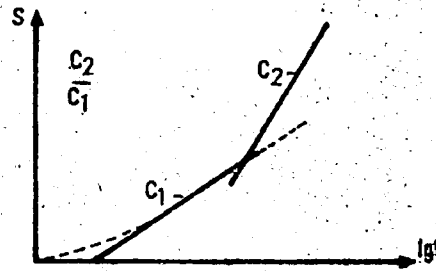
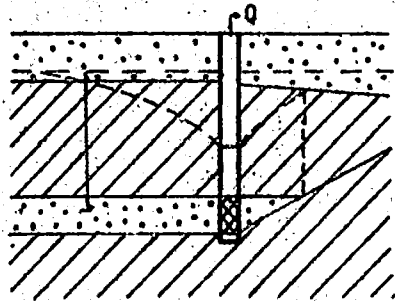
Die erste Neigung spiegelt die Entwicklung des Trichters in der regionalen wasserführenden Filterzone wider. Die Neigung C_2 kennzeichnet die hydraulische Stützung in der Zone des ausgedehnten hydrogeologischen Fensters.

lfd. Hydrogeologisches
Nr. Schema

Diagramm
 $s = f(\lg t)$

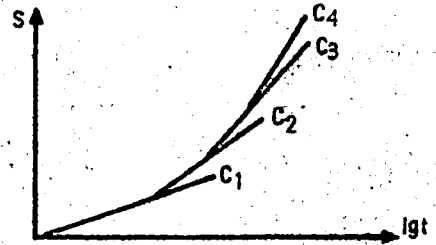
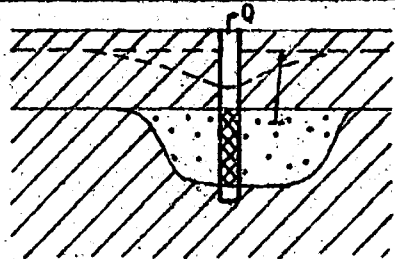
Hydrogeologische Interpretationen

11.



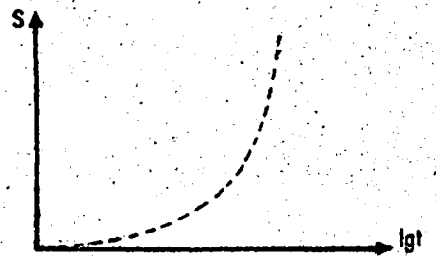
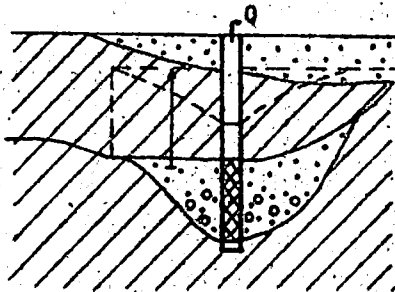
Wenn das Diagramm $s = f(\lg t)$ zwei Abschnitte (geradlinige Abschnitte) hat und der zweite Abschnitt eine etwa zweifach größere Neigung als der erste Abschnitt aufweist, so ist das ein Signal für das Auftreten der seitlichen undurchlässigen Grenze in der nächsten Nachbareinheit. Es ist hierbei daran zu denken, daß, sofern der Verlauf der Schichtgrenze nicht geradlinig ist, sich das Verhältnis der Neigungen von dem 2. Wert beträchtlich unterscheiden kann, so daß dann eingehend zu untersuchen ist, ob man es mit dem Schema 2 oder 11 zu tun hat.

12.

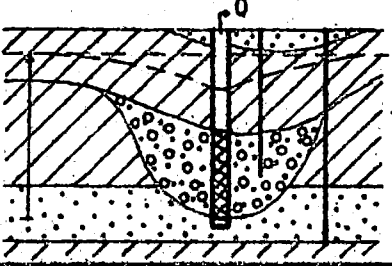
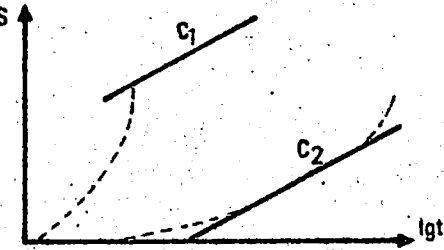
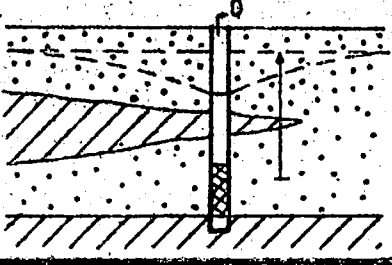
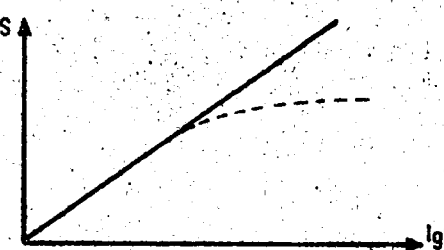
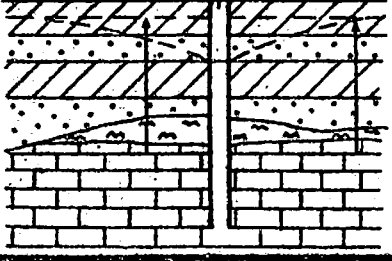
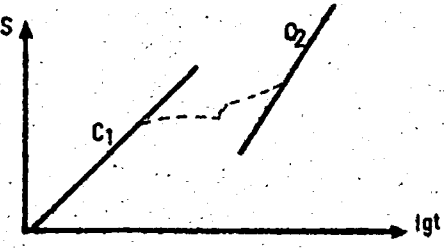


Das Diagramm spiegelt die Senkung des Wasserspiegels in der schmalen hydrogeologischen Streifenstruktur wider. Die Neigung C_1 spiegelt die Entwicklung des Trichters innerhalb der wasserführenden Schicht bis zu den Grenzen wider. Folgende Neigung C_2 bis C_4 - Einfluß der seitlichen Grenzen. Die letzte Neigung enthält die Mittelung des Einflusses der undurchlässigen und die Struktur speisenden Grenzen.

13.



Wenn das Diagramm $s = f(\lg t)$ die der Parabel angenäherte Form aufweist, so ist dies ein Signal dafür, daß die untersuchte Schicht durch Konturen undurchlässigen Gesteins bzw. ganz schwach durchlässigen Gesteins umgeben ist. Danach erfolgt das Erschöpfen der statischen Vorräte in der untersuchten Schicht. Man kann keine Berechnungen anstellen. Das Volumen des Brunnens ist zu verringern, und man kann auf experimentellem Wege Bedingungen des stabilen Durchflusses erreichen.

lfd. Nr. Hydrogeologisches Schema	Diagramm $s = f(\lg t)$	Hydrogeologische Interpretationen
<p>14.</p> 		<p>Wenn das Diagramm $s = f(\lg t)$ anfänglich die der Parabel angenäherte Form aufweist und nach gewisser Zeit im Verlaufe der Förderarbeiten die Form einer Geraden mit bestimmter Neigung annimmt, so ist dies für Ablagerungen mit erhöhter Durchlässigkeit in schmalen Erosionseinschnitten im Umkreis bedeutend weniger durchlässiger älterer Ablagerungen kennzeichnend.</p>
<p>15.</p> 		<p>Die untersuchte Druckschicht wird in der weiteren Umgebung frei. In Anbetracht der Veränderlichkeit der Filterung erfolgt ein zusätzlicher Zufluß des Wassers, der zur Stabilisierung führt, ähnlich wie bei der Grenze $H = \text{const.}$</p>
<p>16.</p> 		<p>Das Diagramm spiegelt die doppelte Porosität klüftigen Festgesteins wider; des Systems von feinen Zerklüftungen in der anfänglichen Phase und des Systems von Poren oder großen Fugen in der zweiten Phase. Die Diagramme ähneln den Diagrammen nach Boulton.</p>