

**Über die Erschließung von Lockerböden  
mittels Rotationsbohrungen, samt Durchlässigkeits-  
bestimmungen beim Bau des Dammes Feistritz**

5 Abb., 2 Tafeln (13, 14)

W. Demmer und E. Grollitsch

Anschrift:

Dr. W. Demmer,  
in Öst. Elektrizitätswirtschafts-AG.  
Am Hof 6a  
1010 Wien

Ing. E. Grollitsch  
in Öst. Draukraftwerke-AG.  
Anzengruberstraße 50  
9020 Klagenfurt

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.	18. Bd.	1967	S. 429-446	Wien, Juli 1968
-------------------------------	---------	------	------------	-----------------

## INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung, Summary, Résumé . . . . .	431
Vorwort . . . . .	431
<b>1</b> Einführung in die Fragestellung und Problematik der Bodenuntersuchungen für den Damm Feistritz . . . . .	432
1,1 Geologische Übersicht des Drautales ab Villach . . . . .	432
1,2 Das KW Feistritz-Ludmannsdorf . . . . .	433
1,21 Geologie der Umgebung des Hauptbauwerkes und der Dammstrecke . . . . .	433
1,3 Die Aufschlußarbeiten für den Damm Feistritz . . . . .	434
1,31 Schlagbohrungen . . . . .	434
1,32 Rotationsbohrungen . . . . .	436
<b>2</b> Die Ermittlung der Bodendurchlässigkeit . . . . .	437
2,1 Eine Auswahl verschiedener Methoden zur feldmäßigen K-Wertbestimmung . . . . .	438
2,11 Dauerpumpversuch im Filterbrunnen . . . . .	438
2,11.1 Nach DUPUIT-THIEM mit Beobachtungsbrunnen . . . . .	438
2,11.2 Nach GILG und GAVARD (erw. Formel); ohne Beobachtungsbrunnen . . . . .	438
2,12 Auffüllversuch beim Abteufen der Bohrung nach MAAG . . . . .	439
2,13 Dauerpumpversuch und Absenkversuch beim Abteufen des Bohrloches nach GILG und GAVARD; ohne Filterstrecke . . . . .	440
2,14 Dauerpumpversuch und Absenkversuch beim Abteufen der Bohrung mit einer Filterstrecke . . . . .	441
2,14.1 Dauerpumpversuch . . . . .	442
2,14.11 Nach der erweiterten Formel von GILG und GAVARD . . . . .	442
2,14.12 Nach SOLETANCHE . . . . .	442
2,14.13 Nach KÖRNER . . . . .	442
2,14.2 Absenkversuch nach dem EARTH MANUAL . . . . .	442
2,2 Die K-Wertbestimmung in Rotationsbohrungen . . . . .	443
2,3 Die K-Wertbestimmung aus Kornverteilungskurven . . . . .	443
2,4 Grenzen und Anwendbarkeit der verschiedenen Methoden zur K-Wertbestimmung . . . . .	444
2,5 Schlußfolgerungen . . . . .	445
Literaturauswahl . . . . .	445



### **Zusammenfassung**

Im Zuge der Bodenuntersuchungen für den Damm Feistritz wurde erstmals in größerem Umfang das Rotationsbohrverfahren zur Erkundung von Lockergesteinen angewandt. Hierbei konnten ausgezeichnete Resultate erzielt werden.

Im zweiten Hauptteil werden auf Grund praktischer Erfahrungen verschiedene Methoden zur Bestimmung der Bodendurchlässigkeit beschrieben und vergleichend gegenübergestellt. Im besonderen wird auf ein Verfahren hingewiesen, das auch in Rotationsbohrungen zu sehr guten Ergebnissen geführt hat.

### **Summary**

At the site investigation for the earth dam Feistritz (Carinthia, Austria) the rotary drilling method was used the first time to investigate loose soils. The result was successful.

In the second part various methods of tests for determining the permeability of soil on the basis of practical experience are reported and discussed. Specially a method is described which has brought very good results in rotary drilling holes.

### **Résumé**

Au cours de la reconnaissance du terrain de la digue de Feistritz (Carinthie, Autriche) on a pour la première fois appliqué la pratique de sondage rotatif à fin d'examiner le sol. On a obtenu des résultats excellents.

On décrit des différentes pratiques pour déterminer la perméabilité du sol. Parmi les premières il y a surtout une qui a donné de bons résultats pour le sondage rotatif.

### **Vorwort**

Die Planung von Großbauten, insbesondere aber die von Wasserkraftwerksbauten, erfordert stets genaueste Kenntnis der Gründungsbedingungen. Hierfür sind zumeist so umfangreiche Aufschließungsarbeiten nötig, daß sie nur von einem Team von Fachleuten verschiedenster Wissenszweige, wie Geologie, Bodenmechanik, Hydrologie etc., durchgeführt und ausgewertet werden können. Die erarbeiteten Daten geben erst die Grundlage einer möglichst wirtschaftlichen Verwirklichung solcher Großprojekte.

Auch bei den Bodenuntersuchungen für den Damm Feistritz überstieg die Vielschichtigkeit der Probleme bei weitem das Wissen eines einzigen. Es ist den Autoren dieses Berichtes daher durchaus bewußt, daß auch sie so manche Anregung erst in der Diskussion mit Kollegen erhalten haben, wofür allen nachträglich gedankt sei. Dank schulden wir aber vor allem Herrn Prof. BRETH (Darmstadt), der uns in seiner Eigenschaft als Haupt-

gutachter für den Damm Feistritz schon während der Aufschlußarbeiten mit seinem ganzen Wissen und seiner großen praktischen Erfahrung beratend zur Seite stand.

Es liegt in der großen Variationsbreite der Natur, daß keine Baugrube einer anderen gleicht und daß die Problematik der in diesem Zusammenhang zu lösenden Aufgaben stets eine andere ist. Trotz dieser Tatsache ist aber ein reger Erfahrungsaustausch durchaus angebracht, ja sogar unbedingt notwendig, zumal ja die Probleme woanders, wenn schon nicht gleich, so doch ähnlich sein können. Ein kleiner Beitrag dazu möge auch die vorgelegte Arbeit sein. Wenn sie nur einem einzigen Fachkollegen bei der Lösung seiner Aufgaben weiterhilft, so sehen wir den Zweck unserer Absicht erfüllt.

Für die Genehmigung zur Veröffentlichung dieses Berichtes danken die Verfasser dem Vorstand der Österr. Draukraftwerke AG.

## **1. EINFÜHRUNG IN DIE FRAGESTELLUNG UND PROBLEMATIK DER BODENUNTERSUCHUNGEN FÜR DEN DAMM FEISTRITZ**

### **1,1 Geologische Übersicht des Drautaales ab Villach**

Zwischen Villach und der Staatsgrenze durchfließt die Drau zwei morphologisch wie geologisch verschiedene Talungen. Vorerst ist es am Fuße der Karawanken das breite, trogförmig in Konglomerate eingesenkte Rosental, dessen strenger W-E-Verlauf von der Karawankennordrandstörung vorgezeichnet wurde, dann das Jauntal.

Die geologischen Verhältnisse sind im Rosental klar und gut überschaubar. Das Grundgebirge tritt nur in der Gegend von Rosegg an die Drau ufer heran. Es begleitet den Fluß noch linksufrig bis in die Nähe von Ludmannsdorf. Hier wird es von wesentlich jüngeren Ablagerungen zugeeckt, die auch sonst das Landschaftsbild prägen. Es sind dies einerseits die mächtigen, zu Konglomeraten verfestigten, fluviatilen Schottermassen des Stattnitzrückens, die am Karawankennordrand von HERITSCH, F., und KAHLER, F., 1938 Barentalkonglomerate genannt wurden, andererseits aber die großen Schwemmfächer der Karawankenbäche, welche mit ihren gewaltigen Schottermassen den Flußlauf der Drau immer wieder auf die linke Talseite abdrängen.

Von diesem breiten, zumindest in der Gesamtsicht eher einförmigen Rosental unterscheidet sich die enge Kerbe des Jauntales ganz wesentlich. Die Drau fließt hier entweder tief in Schotterfluren eingesenkt oder sie muß sich mühsam in schluchtartigen Felsdurchbrüchen ihren Weg bahnen. Nur das Verbindungsstück beider Tallandschaften zwischen der Gurkmündung und der Stadt Völkermarkt hat durch die Weiträumigkeit seinen eigenen Charakter.

Es ist daher verständlich, daß sich das Jauntal nicht nur auf Grund des reicheren Wasserdargebotes, sondern vor allem auf Grund der günstigeren geologisch-morphologischen Verhältnisse zuerst für den Kraftwerksbau anbot. Noch während des 2. Weltkrieges begann man die Stufen Schwab-

eck und Lavamünd zu bauen, an die sich nach dem 2. Weltkrieg Edling anschloß. Nach der Fertigstellung des KW Edling im Jahre 1962 war der energiewirtschaftliche Ausbau des Jauntales (Kraftwerkskette „Untere Drau“) abgeschlossen.

Die Österr. Draukraftwerke AG, welcher der Ausbau der gesamten österreichischen Draustrecke obliegt, mußte sich nun dem baugeologisch schwierigeren Rosental zuwenden. Während die drei Kraftwerke im Jauntal noch durchwegs auf Fels zu gründen waren, hatte man jetzt mit Fundierungen auf Lockergesteinen, bestenfalls auf unterschiedlich festen Konglomeraten zu rechnen. Damit verlagerte sich aber auch die Erforschung der Gründungsverhältnisse von der felsmechanischen auf die bodenmechanische Seite. Der Bau des Kraftwerkes Feistritz-Ludmannsdorf, das noch 1968 seiner Vollendung entgegengeht, sollte als erste von den vier geplanten Kraftwerksstufen im Rosental (Kraftwerkskette „Mittlere Drau“) in Angriff genommen werden.

## **1,2 Das KW Feistritz-Ludmannsdorf**

Am Eingang des Rosentales sieht ein genereller Rahmenplan der Österr. Draukraftwerke AG das Kraftwerk Rosegg vor. Flußabwärts folgt Feistritz-Ludmannsdorf und im unteren Talabschnitt sind noch die Stufen Ferlach und Annabrücke projektiert.

Für Feistritz-Ludmannsdorf ergab sich in Angleichung an die Unterwasserverhältnisse des KW Rosegg ein Stauziel auf Kote 461,50. Die nutzbare Fallhöhe beträgt 23,24 m, das sind über 2 m mehr als bei der bisher höchsten Draustufe, dem KW Edling (21,1 m).

Die Gründungsbedingungen für das KW Feistritz-Ludmannsdorf waren nicht einfach. Sie erforderten eine besonders sorgfältige Einpassung in die örtlichen geologischen Verhältnisse.

### **1,21 Geologie der Umgebung des Hauptbauwerkes (Tafel 13)**

Am linken Draufer, gegenüber der Ortschaft Feistritz im Rosental, konnte für die Fundierung einer Kraftstation samt Wehranlage noch Festgestein in Form einer in das Tal vorspringenden Konglomeratplatte aufgefunden werden. Obwohl auch hier die Drau durch die Schwemmkegel des Kleinen Dürrenbaches und Feistritzbaches auf die nördliche Talseite geworfen wurde, genügte doch noch der verbleibende, schmale linke Uferstreifen, um auf dieser Konglomeratplatte eine Kraftanlage im Trockenen bauen zu können (Taf. 13, Profil). Der Uferanschluß war mit einem verhältnismäßig kurzen, wenn auch max. 23 m hohen Damm zu erreichen. Besondere Probleme für die Gründung und seitliche Einbindung dieses Dammes hatte man von vornherein nicht zu erwarten, da sowohl im Untergrund, als auch in der Einbindungsflanke dichtes Konglomerat unter geringer Überlagerung vorhanden war.

Rechtsufrig weitet sich aber das Rosental zu einer Terrassenlandschaft aus Lockergesteinen, wobei das feste Konglomerat immer mehr in die Tiefe abtaucht. Hier mußte man den zu schaffenden Stauraum durch ein Kunstbauwerk einengen. Es galt nämlich nicht nur die Ortschaften Feistritz und Suetschach vor der Überflutung im Zuge der Stauerrichtung zu schützen, sondern auch für die Existenz einiger Kleinbauern lebenswichtiges Kulturland zu erhalten. Diese Aufgabe sollte der 2,5 km lange und maximal 28 m hohe Damm, der im Anschluß an das Wehr am rechten Draufer aufgeführt wurde, erfüllen.

Der Projektierung des Dammes Feistritz gingen umfangreiche Boden erkundungen voraus. Sie sollen auch im Mittelpunkt der vorgelegten Arbeit stehen.

### **1,3 Die Aufschlußarbeiten für den Damm Feistritz**

Die Hauptziele der geologischen Aufschlußarbeiten waren folgende: Erstens sollte der generelle Aufbau des später beeinflussten Dammuntergrundes erkundet werden, und zweitens mußten dessen bodenmechanischen Eigenschaften, vor allem aber die Wasserdurchlässigkeitsverhältnisse, geklärt werden.

Seit 1956, als unter der geologischen Beratung von Professor KAHLER die Österr. Draukraftwerke eine Reihe von tieferen Testbohrungen im Rosental niedergebracht haben, war in großen Zügen der Aufbau der Talauffüllung bekannt (KAHLER 1958). Eine Bohrung, die Testbohrung Nr. 7, noch in der unmittelbaren Umgebung von Suetschach gelegen (auf der Drauniederflur, knapp außerhalb des westlichen Kartenrandes der Taf. 13), brachte folgende Ergebnisse: Bis 23,60 m sandige Schotter, bis 31,90 m kiesiger Sand, dann bis 45,15 m Sande, darunter bis etwa 61,50 m Feinsande und schließlich bis zum Ende der 101,00 m tiefen Bohrung feinsandige Schluffe und Schluffe. Da auch die anderen Testbohrungen ähnliche Ergebnisse zeigten, mußte man von vornherein mit einer mächtigen, von Kiesen bedeckten Feinstoffablagerung im Beckenuntergrund rechnen. Ihre Tiefenlage war ausschlaggebend für die Linienführung des Dammkörpers, für die Bemessung der Dichtungsschürze sowie für die Auswahl der zweckmäßigsten Dichtungsmethode. Andererseits bestand aber auch der Wunsch nach einer möglichst genauen Gliederung der überlagernden Schotterschichten, zumal man vorerst bei der geologischen Begutachtung natürlicher Aufschlüsse den Eindruck hatte, daß auch hier erhebliche Unterschiede hinsichtlich Material, Kornaufbau und Wasserdurchlässigkeit bestehen.

#### **1,31 Schlagbohrungen**

Wie bis zu jener Zeit üblich, wurden zur näheren Erkundung des Dammuntergrundes in den Lockergesteinsbereichen Schlagbohrungen angesetzt. Diese Art der Bohrung ergibt zwar erfahrungsgemäß in nichtbindigen Materialien nur ein ungefähres Bild der durchhörtesten Bodenschichten, bot aber bis dahin die einzige Möglichkeit, auch die Durchlässigkeit zu

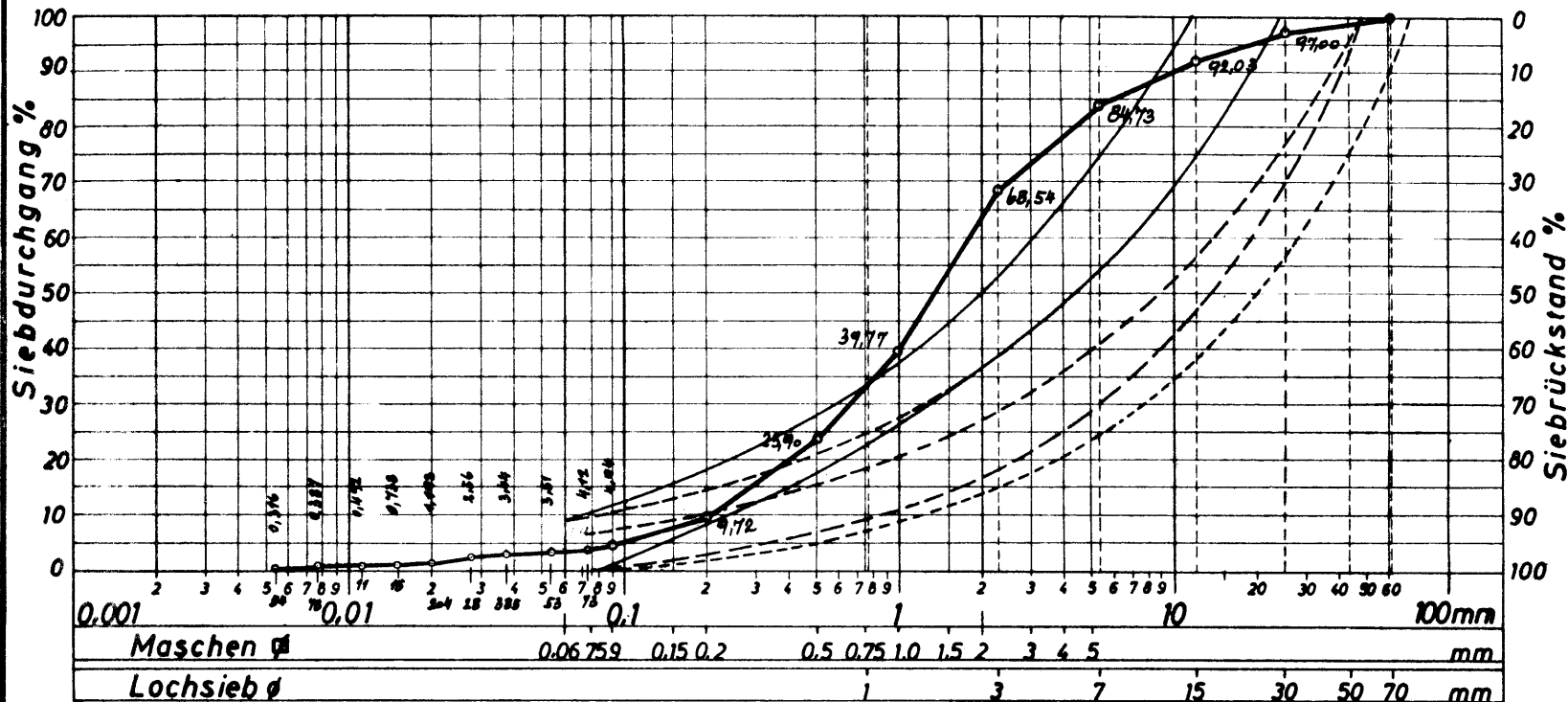
# Kornverteilungskurve

Baumassnahme: Feistritz i.R. Fei 114/10  
 Entnahme: 10.50-11.00 m 25.10.63

Abb: 1  
 Probe Nr. 181

Flussablagerungen

Ton	Schluff			Sand			Kies			Geröll
	fein	mittel	grob	fein	mittel	grob	fein	mittel	grob	



Österr. Draukraftwerke A.G.  
 Materialprüfstelle

Datum: 4.12.63

*Kle*



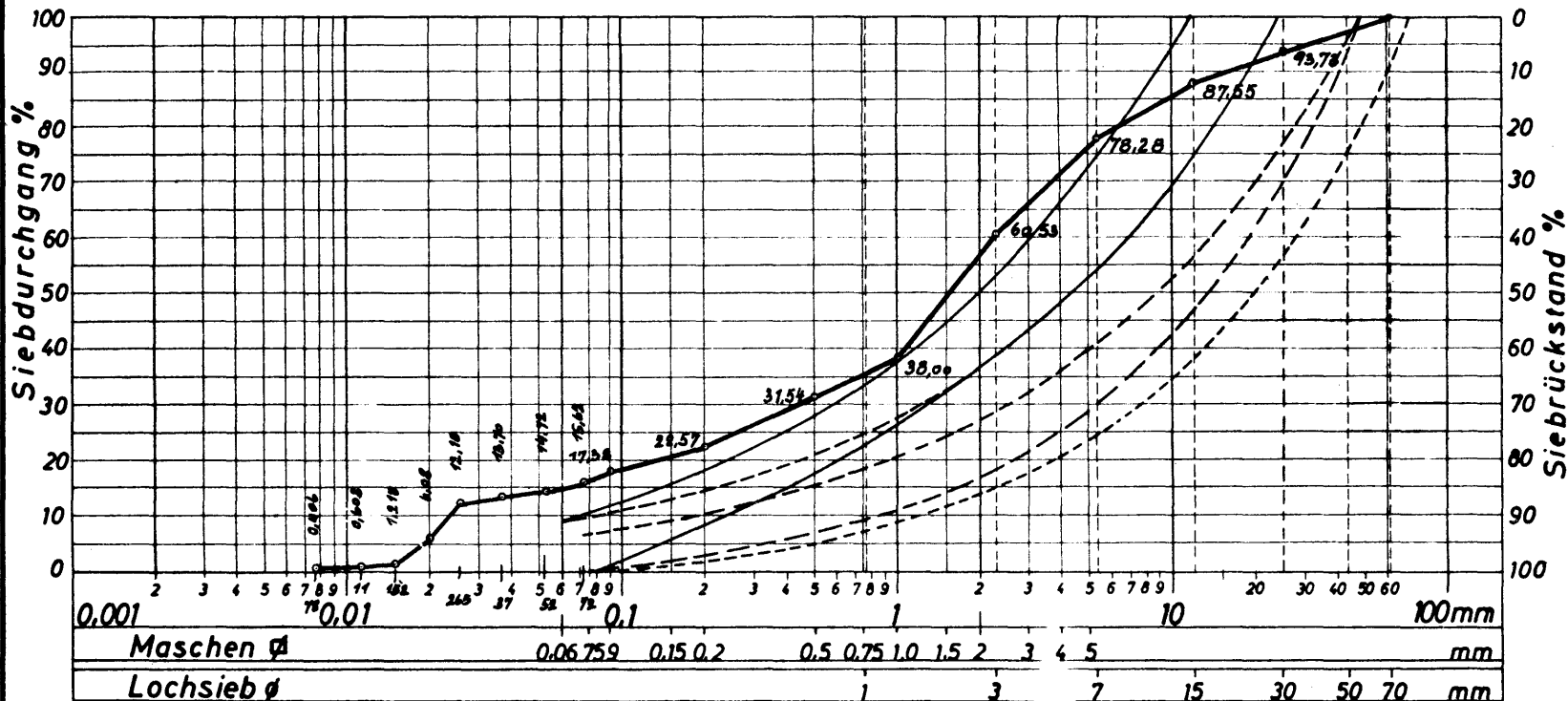
# Kornverteilungskurve

Baumassnahme: Feistritz i. R. Fei 114/10  
 Entnahme: 12.00 - 13.00 28.10.63

Abb: 2  
 Probe Nr. 197

Schwemmkegelablagerungen

Ton	Schluff			Sand			Kies			Geröll
	fein	mittel	grob	fein	mittel	grob	fein	mittel	grob	



Österr. Draukraftwerke A.G.  
 Materialprüfstelle

Datum: 4.12.63

*Handwritten signature*

prüfen. Bei gleichbleibenden Versuchsmethoden stellten sich aber bald Unterschiede in der Durchlässigkeit verschiedener Horizonte heraus, die aus dem gewonnenen Bohrgut nicht erklärt werden konnten. Das Material schien meist gleichwertig.

In vergleichenden petrographischen Kornanalysen natürlicher Aufschlüsse oder Schurfröschen konnte in der Folge ein Unterschied zwischen jenem Material erarbeitet werden, das die Karawankenbäche in Form der eingangs erwähnten Schwemmkegel in das Drautal geschüttet haben und jenem, das die Drau selbst abgelagert hat. Die folgende Tabelle soll die Unterschiede aufzeigen.

	Schwemmkegel- material	Fluß- ablagerungen
Farbe	hellgrau bis weiß	graubraun
Material	kalkalpin	kalkalpin und kristallin etwa 1 : 1
Korn	kantengerundet	gerundet
Kornanteil	häufig Steine, seltener Blöcke, Feinsand-Mittel- sandanteil fehlt zugunsten des Schluffes	alle Fraktionen vorhan- den, Schluff und Steine treten stark zurück, Blöcke fehlen
Verhältnis Su : (Fs + Ms) (im Mittel)	1 : 1—1 : 2	1 : 2—1 : 5
Sandaufbau	eckiger Grobsand	alle Sandfraktionen vorhanden Grobsand gerundet
Glimmer	fehlt	vorhanden

Wie deutlich sich der Unterschied im Kornaufbau bemerkbar macht, zeigen auch die Kornverteilungskurven (Abb. 2 und 3, vgl. auch Abb. 4).

Abb. 1 und 2:

Beide Kornverteilungskurven stammen von der Bohrung Fei 114/C, und zwar aus zwei verschiedenen, jedoch unmittelbar aufeinanderfolgenden Schichten. Charakteristisch für die Schwemmkegelablagerungen ist das Ausbuchten der Sieblinie im Schluffbereich und der flache Verlauf im Sandbereich. Bei den Flußablagerungen ist nur ein flacher Anstieg im Feinkornsektor ersichtlich, während ab der Mittelsandfraktion ein stetiger Anstieg der Siebkurve bemerkbar ist.

Es war naheliegend, daß man nach Kenntnis dieser Unterschiede bestrebt war, auch in den Bohrungen möglichst genau unterteilen zu können. Es gab nämlich genügend Hinweise, daß in der Dammstrecke Schwemmkegelmaterial und Flußkiese wechsellagern. Auch konnte man vermuten, daß die Schwemmkegelablagerungen auf Grund ihres höheren Schluffanteiles dichter waren als die Flußablagerungen. Das Wissen um die räumliche Verteilung dieser beiden Schichtglieder im Untergrund war daher für die Berechnung der Sickerwassermenge von ebenso großer Bedeutung, wie der sichere Nachweis, daß das Material geschichtet vorliegt. Im letzteren Fall ist ja, wie bekannt, bei vertikaler Durchströmung eine Verminderung der Sickerwassermenge zulässig.

In den Schlagbohrungen gelang es uns aber trotz genauester Auswertung nicht, feinere Unterschiede in der Schichtfolge zu registrieren. Das bei flüchtiger Betrachtung schon sehr ähnliche Material des Schwemmkegels und der Flußablagerungen war nach der Förderung aus dem Schlagbohrloch nicht mehr mit Sicherheit zu unterscheiden. Hauptgrund war die vollkommene Störung des Lagerungsverbandes sowie, bedingt durch den hohen Grundwasserspiegel, das Ausspülen eines großen Prozentsatzes der Feinkornanteile beim Ziehen der Proben.

Da die Probeentnahme nicht befriedigte und das Schlagbohrverfahren unserer Ansicht nach technisch kaum entscheidend verbesserungsfähig war, wandten wir uns immer mehr den Rotationsbohrungen zu.

### 1,32 Rotationsbohrungen

Aus den vorangeführten Gründen wurden in Feistritz schon 1962 Rotationsbohrversuche in Lockergesteinen angestellt. Der Wunsch des Auftraggebers nach einem möglichst vollständigen Kerngewinn stand an erster Stelle. Die Leistung interessierte bei den Versuchsbohrungen vorerst weniger.

Durchführungsmäßig mußte vor allem der störende Einfluß der Spülung ausgeschaltet werden, da ja durch sie wieder die Feinteile verlorengegangen wären. Man entschloß sich daher, Trockenbohrungen auszuführen. Wie erwartet, war anfangs der Verschleiß an Bohrkronen enorm.

Im Zuge der weiteren Aufschlußarbeiten gelang es aber doch, das Verfahren so weit zu verfeinern, daß man schließlich mittels Doppelkernrohr

#### Abb. 3:

Bohrprofil kombiniert mit Kernphotos. Diese Art der Dokumentation erwies sich bei den Aufschlußbohrungen für den Damm Feistritz deshalb als zweckmäßig, weil von den vielen Proben die Kornverteilungskurven ermittelt wurden. Die Photos können zwar nicht die Proben ersetzen, sie geben aber eine gute Vorstellung, welcher Kerngewinn der Profilauswertung zugrundeliegt. Berichtigung: Fußnote der: Abb. 3; Kerngewinn  $\geq 80\%$  statt  $\leq 80\%$ .

#### Abb. 4:

Es ist beabsichtigt aufzuzeigen, welchen Grad der Genauigkeit man bei der Auswertung guter Rotationsbohrungen im Vergleich zu Schlagbohrungen erzielen kann. Trotz größerer Entfernung lassen sich die beiden Rotationsbohrungen besser vergleichen als die viel dichter gesetzten Schlagbohrungen.

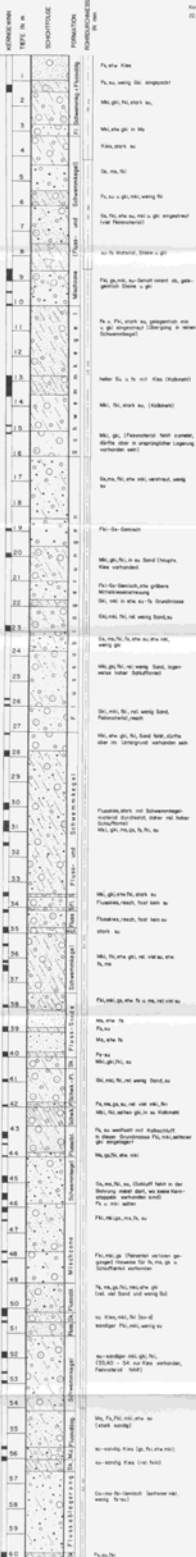
# ROTATIONSBOHRUNG FEI 102/C

KW FEISTRITZ, AUFSCHLUSSBOHRUNG ZUR ERKUNDUNG DES DAMMUNTERGRUNDES

TROCKENBOHRUNG MIT DOPPELLENNROHR UND FANSPINDER

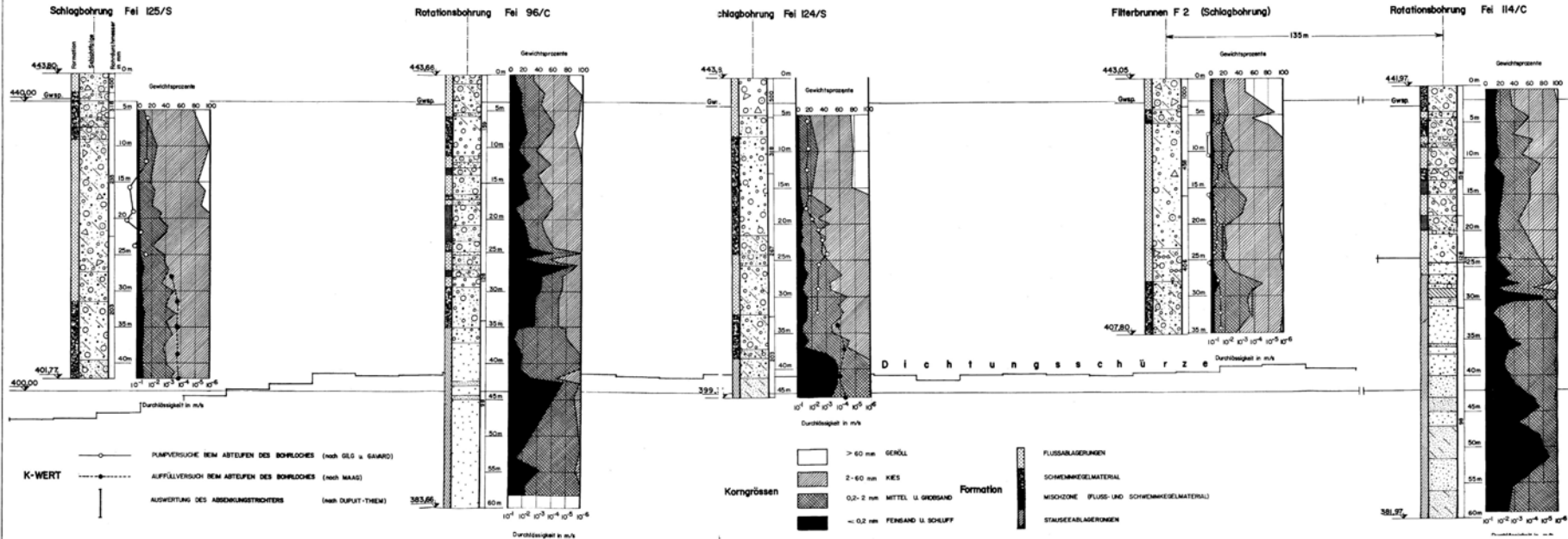
Koordinat: v=54808 y=63,277  
22.8.1965 bis 19.9.1965

SO 442.34



unvollständige Kornzusammensetzung  
100% Feinsand  
Korngröße < 0,25 mm

382.34



und Spezialkernfangfeder imstande war, wirtschaftlich einen durchgehenden, fast hundertprozentigen Kerngewinn in Lockergesteinen zu erzielen (Abb. 3).

Rotationsbohrungen wurden später zwischen die Schlagbohrungen gesetzt, die man sich wegen der K-Wertbestimmungen noch immer nicht ersparen konnte (Abb. 4). Es gelang allerdings schon durch diese Maßnahme, eine gute Übersicht über die Untergrundverhältnisse zu erhalten. Auch konnte man jetzt bei den Schlagbohrungen die Versuche zur K-Wertbestimmung gezielter durchführen.

Das nächste Ziel mußte aber zwangsläufig der K-Wertversuch in der Rotationsbohrung sein. Dieser Wunsch entsprang weniger einer Experimentierfreude, als einer praktischen Notwendigkeit. Durchlässigkeitsuntersuchungen in Rotationsbohrungen würden nicht nur hier, sondern auch in vielen ähnlich gelagerten Fällen zusätzliche Schlagbohrungen und damit Geld und Zeit einsparen.

Das Problem der K-Wertbestimmung in Rotationsbohrungen trat bis jetzt nur deshalb nicht in Erscheinung, weil man von vornherein bei der Erschließung von Lockerböden Schlagbohrungen ansetzte. Das Rotationsbohrverfahren war für diesen Zweck technisch noch nicht so weit gereift. Legte man auf ein möglichst genaues Bodenprofil wert, konnte dieses nur durch einen begehbaren Schacht gewonnen werden. Mit dem Erreichen des Grundwasserspiegels waren aber auch dem Schachtbau zumeist die Grenzen gesetzt. Es ist daher verständlich, daß sich auch die Literatur kaum mit dem Thema „K-Wertbestimmungen in Rotationsbohrungen“ befaßt. Ohne daß hier Wert auf Vollständigkeit gelegt wird, fanden wir z. B. nur in der amerikanischen Literatur einschlägige Hinweise. So in „Principles of Engineering Geology and Geotechnics“ von D. KRYNINE und W. R. JUDD, 1957, wo auf Seite 188 der sogenannte „Test B“, ein Auffüllversuch in einem Bohrloch mit durchschnittlich 6 inches (15,24 cm) Durchmesser, beschrieben wird. ZANGAR beschreibt 1953 praktisch denselben Versuch. Dieser Versuch konnte von uns nicht übernommen werden, da er, wie später erörtert, zu ungenaue K-Werte gebracht hätte. Aus demselben Grund konnten auch die zwei Auffüll- bzw. Abpreßversuche aus dem EARTH MANUAL (S. 541—546), nämlich der „Open-End Test“ und der „Packer Test“, nicht übernommen werden. Die Auswertungsformel des Packer Tests wurde uns aber in modifizierter Form von BRETH (1963) für die K-Wertermittlung in Absenkversuchen empfohlen (vgl. 2, 14.2).

Um das Ergebnis unserer Bemühungen nach einer brauchbaren Methode zur Bestimmung der Bodendurchlässigkeiten in Rotationsbohrungen vorwegzunehmen, sei schon an dieser Stelle erwähnt, daß wir glauben, tatsächlich einen einfachen Weg dazu gefunden zu haben. Dabei griffen wir sowohl bei der Wahl der Berechnungsformel als auch bei der Versuchs-anordnung auf bekannte oder ähnliche Beispiele aus dem Schlagbohrverfahren zurück.

## 2. DIE ERMITTLUNG DER BODENDURCHLÄSSIGKEIT

In der Folge werden Erfahrungen, die bei K-Wertbestimmungen im Zuge der Aufschließungsarbeiten für das KW Feistritz-Ludmannsdorf, und hier insbesondere für den Dammuntergrund, gesammelt wurden, bekanntgegeben. Der Auswertung liegen mehr als 1000 Feldversuche in rund 250 Bohrungen zugrunde. Selbstverständlich kann dabei nur auf eine bescheidene

Auswahl unter unzähligen Methoden näher eingegangen werden. Diese dürften aber durchwegs für den Praktiker interessant sein, da sie relativ einfach und ohne allzugroßen zeitlichen Mehraufwand während oder nach der Bohrung ausgeführt werden können.

Im Normalfall legt man sich auch bei größeren Aufschließungsarbeiten nur auf eine oder zwei der gebräuchlichsten Methoden fest und zieht sie bis zum Abschluß der Erkundung durch. Diese Vorgangsweise hat zwar den Vorteil, daß man richtige Relativwerte bekommt, die aber, je nach Versuchsart, bis zu mehreren Zehnerpotenzen von den tatsächlichen K-Werten differieren können (Taf. 14).

Im Zuge der gegenständlichen Untersuchungsreihen bot sich nun mehrmals die Gelegenheit, verschiedene Verfahren der K-Wertbestimmung auf engstem Raume anzuwenden und ihre gegenseitigen Unterschiede zu ermitteln. Dies geschah auch in der Nähe von Filterbrunnen mit Beobachtungsbrunnen. Durchlässigkeitswerte, die aus solchen Filterbrunnenversuchen gewonnen werden, haben wir als die zuverlässigsten angesehen. Mit ihnen konnten die Ergebnisse aus anderen Methoden dann verglichen werden, wenn von geologischer Seite kaum ein Zweifel bestand, daß zwischen beiden Versuchsorten primäre unterschiedliche Bodenverhältnisse vorliegen. Diese Voraussetzung war beispielsweise in der Versuchsgruppe um den Filterbrunnen F 3 gegeben (Taf. 14). Hier sollte auch das Verfahren der K-Wertbestimmung in Rotationsbohrungen getestet werden.

## **2.1 Eine Auswahl verschiedener Methoden zur feldmäßigen K-Wertbestimmung**

### **2.11 Dauerpumpversuch im Filterbrunnen:** (Nach Fertigstellung der Bohrung und Ausbau des Filterbrunnens)

#### **2.11.1 Nach DUPUIT-THIEM (mit Beobachtungsbrunnen)**

$$K_h = \frac{Q}{\pi} \cdot \frac{\ln \frac{x_2}{x_1}}{(y_2^2 - y_1^2)}$$

#### **2.11.2 Nach GILG und GAVARD (erweiterte Formel, Absenkung im Filterbrunnen)**

$$K_h = \frac{Q}{2\pi H} \cdot \left[ D + \frac{1}{\ln \frac{2R}{D}} \right]$$

Es bedeuten:

- Q = geförderte Wassermenge  
 H = Absenkung im Brunnen  
 D = gemittelter Filterdurchmesser  
 L = Filterstrecke  
 R = Halbmesser des Absenkungstrichters  
 x = Abstand des Beobachtungsbrunnens vom Filterbrunnen  
 y = Wasserstände in den Beobachtungsbrunnen über Filterunterkante

ad **2,11.1:** Am zuverlässigsten erfolgt die Ermittlung des K-Wertes durch einen Dauerpumpversuch aus einem Filterbrunnen, in dessen Umgebung mehrere Beobachtungsbrunnen abgeteuft sind. Die Bodendurchlässigkeit wird dabei ausschließlich über den Absenkungstrichter, der sich aus den verschiedenen Spiegelhöhen in den Beobachtungsbrunnen ergibt, nach der zitierten Formel von DUPUIT-THIEM errechnet.

ad **2,11.2:** Bei dem Dauerpumpversuch im Filterbrunnen ohne Beobachtungsbrunnen wird nur die Absenkung im Brunnen und nicht die Form des Absenkungstrichters berücksichtigt. Hierbei verursacht der Eintrittswiderstand in den Filterbrunnen eine gewisse Fehlerquelle, woraus sich z. B. im Filterbrunnen F 3 der geringfügige Unterschied zu den Ergebnissen der Methode 2,11.1 erklären läßt (Taf. 14).

Im Filterbrunnen F 3 wurde sowohl nach DUPUIT-THIEM als auch nach GILG und GAVARD ausgewertet. Im Mittel ergaben sich für die untere Filterstrecke folgende Werte:

Nach DUPUIT-THIEM	$K = 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
Nach GILG und GAVARD	$K = 3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

## 2,12 Auffüllversuch beim Abteufen des Bohrloches (fallender Wasserspiegel)

### 2,12.1 Nach E. MAAG

$$K_v = \frac{r}{4t} \cdot \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

oder:

$$K_v = \frac{r}{4 h_m} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Es bedeuten:

- r = Radius des Sondierrohres in cm  
 t = Zeitunterschied zwischen Beginn und Ende der Wasserspiegelbeobachtung in sec.  
 h<sub>1</sub> = Wasserstand im Rohr über dem Grundwasserspiegel bei Beginn der Beobachtung  
 h<sub>2</sub> = Wasserstand im Rohr über dem Grundwasserspiegel am Ende der Beobachtung  
 Δ h = Höhe des Wasserabsinkens während des Versuchszeitraumes  
 Δ t = Zeit des Wasserabsinkens während des Versuchszeitraumes  
 h<sub>m</sub> = Abstand Grundwasserspiegel bis Mitte des Absinkbetrages



Die Versuchsdurchführung zur K-Wertbestimmung erfolgt durch Wasserzugabe, wobei in der Zeiteinheit das Absinken des Wasserspiegels im Bohrrohr gemessen wird.

Die Voraussetzung für die Versuchsdurchführung ist eine verrohrte Bohrung, die mindestens bis zum ruhenden Grundwasserspiegel abgeteuft werden muß. Der Durchmesser der Bohrung soll möglichst groß sein, da der Wassereintritt durch den gewachsenen Boden nur in der Aufstandsfläche erfolgt. Grobkörniges Material würde bei zu kleinem Bohrdurchmesser verfälschte Werte ergeben.

**Fehlerquellen:** Durch den Absatz aufgewühlter Feinteile auf der Bohrlochsohle bildet sich sehr rasch eine dichtende Schicht. Sie beeinflusst mitunter die K-Wertbestimmung ganz erheblich. Meist ergeben sich wesentlich kleinere K-Werte, also viel zu günstige Annahmen.

Durch vorsichtiges Säubern der Bohrlochsohle mittels eingepreßtem Wassers in einem, am unteren Ende aufgebogenen Rohr soll diesem mißlichen Umstand abgeholfen werden. Laborversuche haben nämlich bestätigt, daß ein eventuell durch das Pumpen bedingter Materialnachbruch in der Sohle, also eine unregelmäßige Sohlausbildung, für die Berechnung eine geringere Fehlerquelle bedeutet, als ein zu rasches Verschlämmen durch Trübeilchen. Ein teilweises Zuschlämmen der Bohrlochsohle während der Versuchsdurchführung läßt sich aber in der Praxis trotzdem nicht ganz vermeiden.

Eine weitere Fehlerquelle liegt im Verhältnis Rohrdurchmesser — Material. Ist der Rohrdurchmesser zu klein, können größere Steine in der Aufstandsfläche ungenaue K-Werte ergeben; ist der Rohrdurchmesser aber zu groß, ist bei einem stark durchlässigen Material das Auffüllen mit Wasser und die Messung der Spiegelabsenkung oft mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden.

### 2,13 Dauerpumpversuch (konstanter Wasserspiegel) und Absenkversuch (steigender Wasserspiegel) beim Abteufen des Bohrloches nach GILG und GAVARD

Die Einströmung erfolgt in erster Linie vertikal in der Bohrlochsohle.

$$\text{Dauerpumpversuch} \quad K = \frac{Q}{2 \pi \varnothing h_m}$$

$$\text{Absenkversuch} \quad K = \frac{\varnothing}{8h_m} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Es bedeuten:

- Q = geförderte Wassermenge
- h = Betrag der Wasserspiegelabsenkung im Bohrloch unter dem Grundwasserspiegel
- $\varnothing$  = Durchmesser des Bohrloches
- $\Delta h$  = Höhe des Wasseranstieges während des Versuchszeitraumes
- $\Delta t$  = Zeit des Wasseranstieges
- $h_m$  = Abstand Grundwasserspiegel bis Mitte des Wiederanstieges

**Versuchsdurchführung:** Zuerst wird der ruhende Grundwasserspiegel gemessen. Das kann man am besten vor Arbeitsbeginn, aber auch nach der Mittagspause oder, im Bedarfsfalle, auch dazwischen. Im Durchschnitt soll diese Messung aber nicht mehr als 1 bis 1½ Stunden vor Versuchsbeginn oder nach Versuchsende erfolgen. Nach dem Reinigen der Bohrlochsohle (Achtung auf Grundbrüche) und dem Einsetzen der Pumpe und Meßapparaturen kann der eigentliche Versuch begonnen werden.

**2,13.1 Dauerpumpversuch:** Es wird vorerst der Ruhewasserspiegel abgesenkt und diese neue Spiegellage gehalten. Auf Grund der geförderten Wassermenge, des Absenkbetrages und des Bohrrohrdurchmessers kann der K-Wert bestimmt werden.

**2,13.2 Absenkversuch:** Der Ruhewasserspiegel wird auf ein bestimmtes Maß abgesenkt. In regelmäßigen Zeitabständen wird hierauf der Wiederanstieg gemessen. Dieser Vorgang soll nach Möglichkeit dreimal wiederholt werden, um eventuelle Veränderungen (z. B. verursacht durch Grundbruch) feststellen zu können. In der graphischen Auswertung dieser Daten ergibt sich eine Zeit-Höhenkurve, aus deren regelmäßig verlaufenden Teil die für die Berechnung notwendigen Daten, nämlich  $\Delta t$  (Zeitintervall) und  $\Delta h$  (Höhenintervall) entnommen werden können.

In Bereichen größerer Durchlässigkeiten, etwa  $10^{-1}$  m/s bis  $10^{-3}$  m/s ergibt diese Methode eine einigermaßen gute Übereinstimmung mit den Dauerpumpversuchen in Filterbrunnen. Man muß allerdings berücksichtigen, daß die solcherart ermittelte Durchlässigkeit K-vertikal im Vergleich zu K-horizontal (beim Filterbrunnenversuch) zu niedrig ist (Taf. 14). Außerdem erhält man bei dieser K-Wertbestimmung nur einen Punktwert, während man bei jener des Filterbrunnenversuches für bestimmte Tiefenmeter und Reichweiten einen räumlichen Wert bekommt.

In Zonen überwiegend feinkörnigen Materials oder dichter Lagerung, wie z. B. in der Schlagbohrung Fei 125/S ab 25 m Tiefe, ist von vornherein eine geringe Durchlässigkeit zu erwarten (Abb. 4). In diesem Fall wäre es technisch schwierig, mittels eines Dauerpumpversuches einen konstanten Wasserspiegel im Bohrloch zu halten. In dem zitierten Beispiel wurden deshalb Auffüllversuche durchgeführt. Es ergaben sich aber damit die bereits unter 2,12 angeführten Ungenauigkeiten. Für ähnliche Fälle kann deshalb nur empfohlen werden, Absenkversuche mit steigendem Wasserspiegel durchzuführen und nach der Formel von GILG und GAVARD auszuwerten (2,13.2).

**2,14 Dauerpumpversuch (konstanter Wasserspiegel) und Absenkversuch (steigender Wasserspiegel) beim Abteufen der Bohrung mit einer Filterstrecke**

Die Einstromung erfolgt bei diesen Methoden in erster Linie horizontal durch die Bohrlochwandung.

### 2,14.1 Dauerpumpversuch

2,14.11 Nach der erweiterten Formel von GILG und GAVARD\*).

$$K_h = \frac{Q}{2\pi H} \cdot \frac{1}{\left[ D + \frac{L + \frac{D}{2}}{\ln \frac{2R}{D}} \right]}$$

2,14.12 Nach SOLETANCHE.

$$K_h = \frac{Q}{H} \cdot \frac{\ln \left[ \frac{L}{D} + \sqrt{\frac{L}{D} - 1} \right]}{2\pi \sqrt{L^2 - D^2}}$$

2,14.13 Nach KÖRNER.

$$K_h = \frac{Q}{H} \cdot \frac{\ln \left[ \frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left( \frac{L}{D} \right)^2} \right]}{2\pi L}$$

### 2,14.2 Absenkversuch

Nach der erweiterten Formel aus dem EARTH MANUAL\*\*).

$$K_h = \frac{Q}{H} \cdot \frac{1}{2\pi L} \cdot \ln \frac{L}{r}$$

$$L \geq 10 r$$

$$H = h_m$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Es bedeuten:

- Q = die gepumpte Wassermenge
- H = Höhenunterschied zwischen dem Grundwasserspiegel und dem abgesenkten Wasserspiegel
- L = Filterlänge
- D = Durchmesser der Bohrung
- r = Radius der Bohrung
- R = Halbmesser des Absenktrichters
- $\Delta h$  = Höhe des Wasseranstiegs während des Versuchszeitraumes
- $\Delta t$  = Zeit des Wasseranstiegs

\*) Wurde der Österr. Draukraftwerke AG von Prof. BRETH zur Verfügung gestellt (1963).

\*\*) Wurde der Österr. Draukraftwerke AG von Prof. BRETH zur Verfügung gestellt (1963)

Die Versuchsdurchführung für die K-Wertbestimmung erfolgt sowohl beim Dauerpumpversuch als auch beim Absenkversuch wie unter 2,13 beschrieben. Der Unterschied besteht nur in der überwiegend horizontalen Einströmung des Wassers innerhalb der Filterstrecke, die eine Mindestlänge von 10 r haben soll.

## 2,2 Die K-Wertbestimmung in Rotationsbohrungen

Von allen aufgezählten Methoden der K-Wertbestimmung schien uns nur die letzte Versuchsgruppe (2,14) hinreichend geeignet, auch in Rotationsbohrungen ausgeführt zu werden.

Die Versuchsdurchführung, bei der wir generell einer Anregung des EARTH MANUAL (p. 551) folgen, ist nicht komplizierter als in Schlagbohrungen. Das auf die vorgesehene Untersuchungstiefe abgeteufte Futterrohr der Rotationsbohrung wird nach Einfüllen von Filterkies, dessen Kornabstufung von der Kornzusammensetzung des Untergrundes abhängt, um diejenige Strecke zurückgezogen, die untersucht werden soll. Sodann kann nach Installation der Meßeinrichtung und der Pumpe entweder ein Dauerpumpversuch oder auch ein Wiederanstiegsversuch durchgeführt werden. Nach Abschluß des Versuches wird vorerst die Filterstrecke aufgebohrt und dann die Bohrung fortgesetzt.

Wenn auch die kurze Beschreibung jetzt wie selbstverständlich erscheinen mag, zumal sich die Versuchsdurchführung in Rotationsbohrungen kaum von jener in Schlagbohrungen unterscheidet, so ging ihr doch ein zähes Ringen nach der Ermittlung der geeignetsten Methode voraus. Selbst KÖRNER war ja noch 1957 der Meinung, daß in Rotationsbohrungen auf Grund ihrer kleinen Durchmesser nur Abpreßversuche durchgeführt werden könnten. Daß dem aber nicht so ist und K-Wertbestimmungen in Rotationsbohrungen durchaus ihre Berechtigung haben, zeigt die sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit jenen aus Pumpversuchen in Filterbrunnen (Taf. 14).

## 2,3 Die K-Wertbestimmung aus Kornverteilungskurven

Überschlägige Durchlässigkeitswerte kann man nach HAZEN, KRÜGER, KOZENY, BEYER u. a. auch auf indirektem Wege über die Ermittlung der Korngrößen bzw. den Kornverteilungskurven erhalten. Mit denselben Problemen haben sich in Sanden und Sandsteinen auch ENGELHARDT und PITTER befaßt. Wichtigste Voraussetzung für alle K-Wertbestimmungen ist die einwandfreie Entnahme von Bodenproben. Sie dürfen weder ausgewaschen, noch entmischt sein. Auch hier ist im besonderen der K-Wert vom Anteil des Feinkornes abhängig. Nach unseren Erfahrungen eignet sich daher zur Probeentnahme aus Bohrungen am besten die Rotationsbohrung. Dies aber nur unter der Bedingung, daß die Qualität der in Feistritz ausgeführten Bohrungen erreicht wird (Abb. 3) und daß die zu prüfende Bodenschicht nicht allzu grobkörnig ist. Bei Schlagbohrungen hingegen müßte man besonders unter dem Grundwasserspiegel mit größeren Ausschwemmungen der Feinkornanteile rechnen (1,31). Die vergleichsweise errechneten K-Werte aus den Kornverteilungskurven nach BEYER (1964), die für eine mittlere Bodendichte Gültigkeit haben, brachten jedenfalls eine überraschend gute Annäherung an die K-Werte aus Filterbrunnenversuchen (Taf. 14).

## 2,4 Grenzen und Anwendbarkeit der verschiedenen Methoden zur K-Wertbestimmung

Mit Ausnahme der zuletzt beschriebenen Methode können alle anderen angeführten K-Wertbestimmungsversuche nur u n t e r dem Grundwasserspiegel durchgeführt werden. Für Durchlässigkeitsbestimmungen ü b e r dem Grundwasserspiegel müßte man andere Formeln, wie etwa jene nach ZANGAR (vgl. auch 1,32) zur Anwendung bringen. Ferner ist zu beachten, daß überall dort, wo Durchlässigkeitsbestimmungen in geschichtetem Material durchgeführt werden, nach wie vor das Problem der Abminderung des Durchlässigkeitswertes bei vertikaler Durchströmung offen bleibt. In den meisten Fällen wird man nur einen empirisch ermittelten Abminderungsfaktor in der K-Wertbestimmung berücksichtigen können.

Auf andere Randbedingungen, wie Temperatureinfluß etc., deren es eine Unzahl gibt, kann hier nicht eingegangen werden. Sie sind zwar bei der Lösung spezieller Probleme von Bedeutung, können aber bei Serienuntersuchungen über größere Flächen kaum berücksichtigt werden.

Was die A n w e n d b a r k e i t der verschiedenen Methoden zur K-Wertbestimmung betrifft, so ist nach unseren Erfahrungen der Dauerpumpversuch im Filterbrunnen mit Beobachtungsbrunnen am zuverlässigsten. Dieser Versuch ist aber auch mit Abstand der kostspieligste.

Gerade noch brauchbare Ergebnisse zeitigten auch die Dauerpumpversuche bzw. Absenkversuche beim Abteufen der Bohrung nach GILG und GAVARD. Wie in Taf. 14 ersichtlich, sind die solcherart ermittelten K-Werte in der Schlagbohrung F 3 im Vergleich zu jenen des großen Filterbrunnenversuches nur um etwa eine Zehnerpotenz kleiner, oder wie beim Filterbrunnen F 2 (Abb. 4) größer. (Eine konstante Abweichung entweder auf die eine oder die andere Seite konnten wir nicht beobachten.)

Sehr stark weichen allerdings die Ergebnisse der Auffüllversuche nach MAAG, wie sie z. B. in der Schlagbohrung Fei 149/S durchgeführt wurden, von jenen des großen Filterbrunnenversuches ab. Der Unterschied von zwei bis drei Zehnerpotenzen wird nur zum Teil durch die vorwiegend v e r t i k a l e Durchströmung verursacht. Zum größeren Teil dürfte hiefür der Absatz von Bohrschmant auf der Bohrlochsohle verantwortlich sein. Da man bei dieser Methode eine Verschlammung der Bohrlochsohle nie mit Sicherheit ausschalten kann, sollte sie besser überhaupt nicht angewendet werden.

Zu den besten Vergleichsdaten mit den großen Filterbrunnenversuchen führten Dauerpumpversuche und Absenkversuche in Rotationsbohrungen mit Filterstrecken. Wie auch das Beispiel Fei 102/C zeigt, liegen die so ermittelten K-Werte zumeist noch innerhalb derselben Zehnerpotenz jener Werte, die mittels Dauerpumpversuche in dem nahegelegenen Filterbrunnen mit Beobachtungsbrunnen gewonnen wurden. Selbstverständlich führt dieser Versuch auch in Schlagbohrungen zu ausgezeichneten Ergebnissen, wie das bei dem Beispiel des Filterbrunnens 3 demonstriert wurde. Hier sollte aber in erster Linie die gute Eignung dieses Verfahrens

in Rotationsbohrungen hervorgehoben werden, zumal das ein relativ neuer Anwendungsbereich sein dürfte.

## 2,5 **Schlusfolgerungen**

Im Zuge der Aufschlußarbeiten für den Damm Feistritz ist es gelungen, das Rotationsbohrverfahren so zu vervollkommen, daß es heute nicht nur für Untersuchungen in Festgesteinen, sondern auch für die Erschließung von Lockergesteinen mit Erfolg anwendbar ist. Wichtigste Bedingung ist nur, daß die Bohrung trocken, also ohne Spülung, abgeteuft wird. (Daneben hat sich im Laufe der Zeit auch herausgestellt, daß ein Hartmetallbesatz der Bohrkronen dem Diamantbesatz überlegen ist.) Da es darüber hinaus auch gelungen ist, ein geeignetes Verfahren zur K-Wertbestimmung in Rotationsbohrungen zu finden, wird empfohlen, künftig das Rotationsbohrverfahren überall dort einzusetzen, wo ein genauere Aufschluß gewünscht wird. Nur in jenen Fällen, wo es einzig darum geht, ein Loch in Lockergesteinen herzustellen, um beispielsweise einen Grundwasserbeobachtungsbrunnen setzen zu können, sollte man auf das einfacher zu installierende Schlagbohrverfahren zurückgreifen. Letzteres ist allerdings nicht viel billiger. Bei den Aufschlußarbeiten für den Damm Feistritz differierten die durchschnittlichen Laufmeterpreise im Jahre 1963 noch um S 200,— zugunsten der Schlagbohrungen, 1967/68 waren hingegen die Rotationsbohrungen nur mehr um S 50,— teurer. Dabei wurde in der Ausschreibung ein Mindestkerngewinn in Lockerböden von 80 Prozent pro Laufmeter gefordert.

### **Literaturauswahl:**

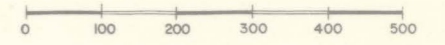
- AICHINGER, H.: Benutzung von Probebohrungen zur Bestimmung des Durchlässigkeitswertes. Österr. Bauzeitschr., 9. Jhg., H 4, 1954
- BEYER, W.: Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve. WWT, 14. Jhg., H 6, 1964
- BRETH, H.: Skizze betr. Durchlässigkeitsprüfung im Bohrloch. Brief an die ÖDK vom 22. 3. 1963
- BRETH, H.: KW Feistritz; Rechtsufriger Anschlußdamm, Bodenmechanisches Gutachten. Darmstadt März 1964. (unveröffentl. Gutachten für die ÖDK)
- BRETH, H.: Einfluß der Taschenlänge auf die Ergebnisse der Durchlässigkeitsprüfung im Vollraum. Ableitungen und Formeln zur Durchlässigkeitsbestimmung in Lockerböden; der TKW im Jänner 1965 zur Verfügung gestellt
- EARTH MANUAL: Field Permeability Tests in Boreholes. US Department of the Interior Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, July 1960
- ENGELHARDT, W., und PITTER, H.: Über die Zusammenhänge zwischen Porosität, Permeabilität und Korngröße bei Sanden und Sandsteinen. Heidelberger Beiträge zur Min. u. Petr., Bd. 2, 1951

- GILG, B., und GAVARD, M.: Calcul de la perméabilité par des Essais d'eau dans les sondages en alluvions. Bull. Techn. de la Suisse Romande, 16. février 1957
- HERITSCH, F., und KAHLER, F.: Die Gliederung der Jungen Geröllablagerungen am Nordrande der Karawanken. Ak.Anz. Nr. 14, Ak. d. Wiss. in Wien, Sitzung der math. naturw. Klasse, 15. Juni 1938
- KAHLER, F.: Der Bau der Karawanken und des Klagenfurter Beckens. Car. II, 16. Sonderheft, Klagenfurt 1953
- KAHLER, F.: Die Tiefe der Felsoberfläche in den Senken des Klagenfurter Beckens. Car. II, 68. Jhg., Klagenfurt 1958
- KAHLER, F.: Geologische Karte der Umgebung von Klagenfurt. Geol. Bundesanstalt 1962
- KÖRNER, H.: Die Prüfung der Durchlässigkeit von Lockergesteinsinjektionen im Bauzustand. Die Wasserwirtschaft, H 8, 1957
- KRYNINE, D., und JUDD, R. W.: Principles of Engineering Geology and Geotechnics. McCraw-Hill-Book Company, New York, Toronto, London. 1957
- MAAG, E.: Methode zur feldmäßigen Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit. Straße und Verkehr, Nr. 19, 1941
- ZANGAR, C.: Theory and Problems of Water Percolation. Engineering Monograph No. 8, Denver, Colorado, 1953
- SOLETANCHE: Essais de perméabilité ponctuels dans des écrans d'étanchéité. (226, 136) 31. 3. 1960

# GEOLOGISCHE KORTE DER UMGEBUNG DES DRAUKRAFTWERKES FEISTRITZ

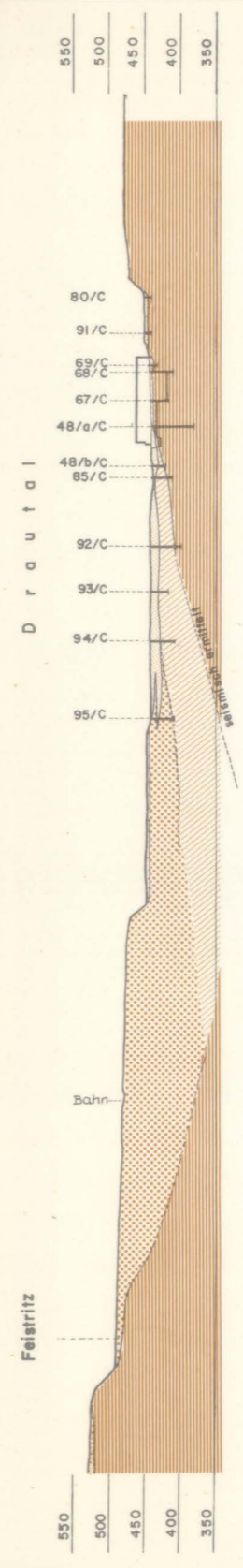
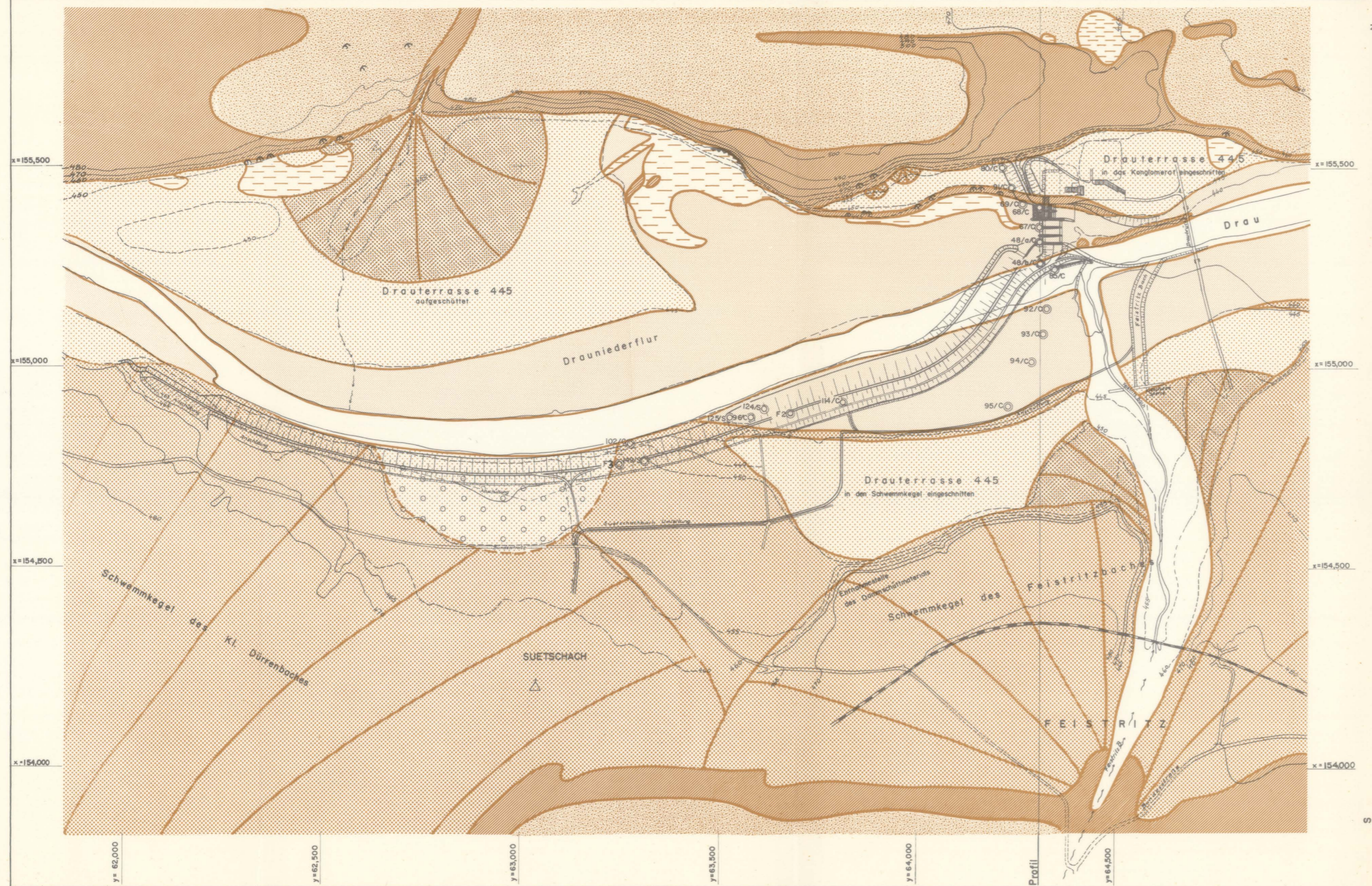
v. W. DEMMER

M 1:10 000



## LEGENDE

- 96/C ○ ROTATIONSBOHRUNG
- 125/S ○ SCHLAGBOHRUNG
- ⌒ HÖHLE
- ⌒ QUELLE
- ▭ SUMPF
- ▨ JÜNGERE SCHWEMMKEGEL
- ▨ ÄLTERE SCHWEMMKEGEL
- ▨ ÜBERWIEGEND FLUSSABLAGERUNGEN MIT SCHWEMMKEGELSCHICHTEN
- ▨ SCHOTTER UND SANDE DER DRAUNIEDERFLUR
- ▨ SANDE UND SCHOTTER DER DRAUTERRASSE UM 445
- ▨ SCHLUFF- UND FEINSANDABLAGERUNGEN (STAUSEEABLAGERUNGEN)
- ▨ GRUNDMORÄNE
- ▨ SATTNITZ-BÄRENTAL-KONGLOMERAT



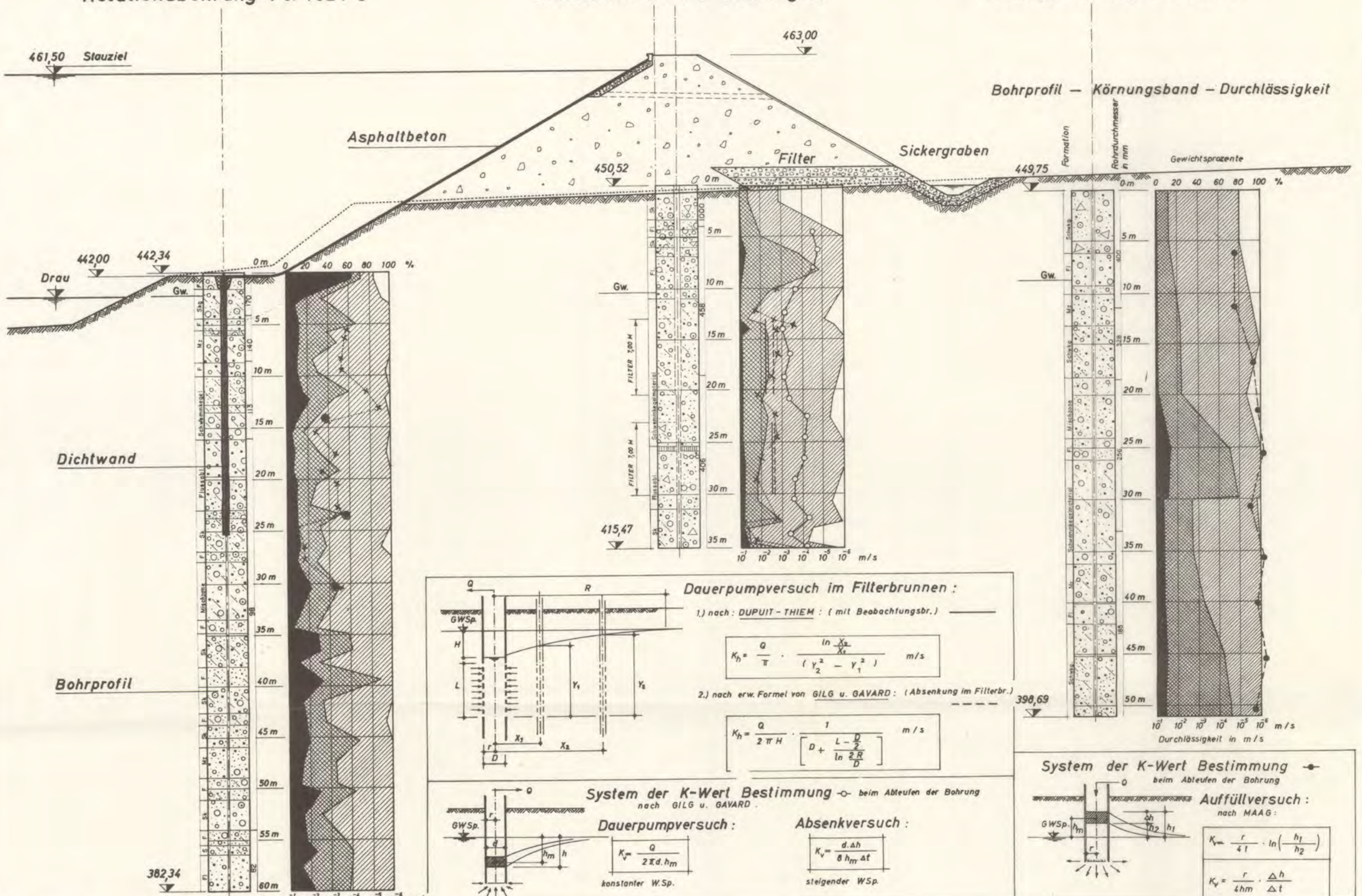


# K-WERT BESTIMMUNGSMETHODEN

Rotationsbohrung Fei 102/C

Filterbrunnen F3 (Schlagb.)

Schlagbohrung Fei 149/S



**Dauerpumpversuch im Filterbrunnen:**

1.) nach DUPUIT-THIEM: (mit Beobachtungsbr.)

$$K_h = \frac{Q}{\pi} \cdot \frac{\ln \frac{X_2}{X_1}}{(y_2^2 - y_1^2)} \text{ m/s}$$

2.) nach erw. Formel von GILG u. GAVARD: (Absenkung im Filterbr.)

$$K_h = \frac{Q}{2\pi H} \cdot \frac{1}{\left[ D + \frac{L-D}{\ln \frac{2R}{D}} \right]} \text{ m/s}$$

**System der K-Wert Bestimmung beim Abteufen der Bohrung nach GILG u. GAVARD:**

**Dauerpumpversuch:**  $K_v = \frac{Q}{2\pi d \cdot h_m}$  konstanter W.Sp.

**Absenkversuch:**  $K_v = \frac{d \cdot \Delta h}{8 h_m \cdot \Delta t}$  steigender W.Sp.

**System der K-Wert Bestimmung beim Abteufen der Bohrung**

**Auffüllversuch:** nach MAAG:

$$K_v = \frac{r}{4t} \cdot \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

$$K_v = \frac{r}{4hm} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

**System der K-Wert Bestimmung beim Abteufen der Bohrung**

**Dauerpumpversuch**

1.) nach erw. Formel von GILG u. GAVARD:  $K_v = \frac{Q}{2\pi H} \cdot \frac{1}{\left[ D + \frac{L-D}{\ln \frac{2R}{D}} \right]}$

2.) nach SOLETANCHE:  $K_v = \frac{Q}{H} \cdot \frac{\ln \left[ \frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left( \frac{L}{D} \right)^2} \right]}{2\pi \sqrt{L^2 - D^2}}$

3.) nach KÖRNER:  $K_v = \frac{Q}{H} \cdot \frac{\ln \left[ \frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left( \frac{L}{D} \right)^2} \right]}{2\pi L}$

**Absenkversuch**

nach EARTH MANUAL: (erw. F.)  $L \geq 10r$   
 $H = h_m$   
 $Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t}$

$$K_v = \frac{Q}{H} \cdot \frac{1}{2\pi L} \cdot \ln \frac{L}{r}$$

**LEGENDE:**

- Auffüllversuch beim Abteufen des Bohrloches
- Pumpversuche beim Abteufen des Bohrloches
- Pumpversuche im Bohrloch mit 1m Filterlänge aus Kies
- x--- K-Wert Bestimmung aus der Kornverteilungskurve (nach BEYER)
- Pumpversuche im Filterbrunnen:
- Auswertung des Absenkungstrichters (nach DUPUIT-THIEM)
- nur Auswertung der Absenkung im Brunnen (nach erweiterter Formel von GILG u. GAVARD)

**K = Durchlässigkeit**     $K_h$  = horizontal     $K_v$  = vertikal

- < 0,2mm Feinsand u. Schluff
- ▨ 0,2-2mm Mittel u. Grobsand
- ▧ 2-60mm Kies
- > 60mm Geröll

Kornfraktionen in Gewichtsprozenten