

BERICHTE
der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung

Band 62

Die Messungen
der Fließgeschwindigkeiten
des Grundwassers im Mur- und Mürztal

von

H. Zetinigg

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion
Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung
Graz 1983

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
1.) Vorwort	3
2.) Hinweise zur Hydrogeologie des Mur- und Mürztales	6
3.) Verfahren zur Messung der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers	13
3.1) Der Markierungsversuch	15
3.2) Die Einbohrloch- oder Verdünnungsmethode	19
3.3) Die indirekte Ermittlung	21
4.) Die bisherigen Meßergebnisse	23
4.1) Die Messungen im Murtal	24
4.1.1) Großlobming - Lind, Gemeinde Spielberg	24
4.1.2) Ritzendorf bei St.Margarethen b.K.	26
4.1.3) St. Stefan ob Leoben	28
4.1.4) St. Michael i.O.	30
4.1.5) Niklasdorf	32
4.1.6) Bruck a.d.Mur - Oberdorf	33
4.1.7) Judendorf - Straßengel	36
4.1.8) Wasserwerk Graz - Andritz	37
4.1.9) Graz - Andritz, linker Talrand	39
4.1.10) Graz - Puntigam	39
4.1.11) Wasserwerk Graz - Feldkirchen	40
4.1.12) Fernitz	41
4.1.13) Kalsdorf, Schottergrube Ast u. Co.	43
4.1.14) Kalsdorf - Wasserverband Umland-Graz	45
4.1.15) Werndorf	47
4.1.16) Wildon	49
4.1.17) Schottergruben Leibnitzerfeld	50
4.1.18) Gralla	51

	Seite
4.2) Die Messungen im Mürztal	52
4.2.1) Faschingboden nördlich Mürzsteg	52
4.2.2) Krieglach	54
4.2.3) Mitterdorf im Mürztal	57
4.2.4) Breitenfeld bei Wartberg	58
4.2.5) Mürzhofen	60
4.2.6) Kapfenberg - Oberpötschach	61
4.3) Die Messungen in Seitentälern	62
4.3.1) Söding	62
4.3.2) Kerschbaum bei St.Peter im Sulmtal	63
4.3.3) Pölfing-Brunn	66
4.3.4) Seegraben südlich Seewiesen	67
5.) Bemerkungen zum effektiven Porenvolumen	70
6.) Literaturverzeichnis	78
Verzeichnis der bisher erschienenen Bände	84

Taf. 1) Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeit

Taf. 2) Übersichtskarte 1 : 500.000

1. V O R W O R T

In Wasserrechtsverfahren für die Kiesgewinnung durch Naßbaggerung - also aus dem Grundwasserbereich - tritt häufig die Notwendigkeit zur Bestimmung der Strömungsrichtung und Messung der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers auf. Dies gilt natürlich auch für die Abgrenzung von Trinkwasser- bzw. Brunnenschutzgebieten, die hinsichtlich der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers im Mur- und Mürztal von H. Zetinigg (1983) eingehend erörtert wird.

Gerade das Haupttal der Steiermark - das Murtal - ist der Bereich mit den ergiebigsten Grundwasservorkommen, die im quartären Lockergesteinskörper dieses Tales, der einen guten Grundwasserleiter darstellt, liegen. Ähnliche Verhältnisse herrschen auch im Mürztal, das hier ebenfalls behandelt werden soll. Etwas anders gestalten sich die Verhältnisse im Ennstal, welches ebenfalls durch große Grundwasservorkommen charakterisiert ist. Dort liegt durch die das Tal flankierenden Gebirgszüge bedingt der Schwerpunkt der Wassergewinnung bei Quellen. Vor allem die Karstquellen des Dachsteinsüdrandes und des Südrandes des Toten Gebirges werden von den Gemeinden genutzt. Da in den Seitentälern bzw. in ihren ausgeprägten Schwemmkegeln genügend Möglichkeiten zur Schottergewinnung bestehen, weiters das mittlere Ennstal von Stainach-Irdning bis zum Gesäuse-Eingang durch gespannte Grundwässer, also eine Stockwerksgliederung der Grundwasserleiter, gekennzeichnet ist, wurden in diesem Tal bisher keine Messungen der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers vorgenommen. Bei den wenigen großen Grundwasserentnahmen im Mitterenstal erfolgen diese vornehmlich unter der ersten Stauschichte. Dieses Tal ist sohin mangels Meßergebnisse in die folgenden Darlegungen nicht einbezogen.

Die Strömungsrichtung des Grundwassers wird im allgemeinen durch Konstruktion der Grundwassergleichen aus den Meßdaten dreier Pegel (hydrologisches Dreieck) festgestellt. Diese Methode liefert, wenn mehrere Meßpunkte zur Verfügung stehen, ein flächenhaftes Bild der Strömungsverhältnisse. Daneben kann die Messung der Strömungsrichtung aber auch nach der Einbohrlochmethode erfolgen, die jedoch nur punktuelle Ergebnisse bringt, dafür aber eine differenzierte Messung einzelner Tiefenbereiche gestattet. Bei der Bestimmung der Strömungsrichtung spielt dabei das Netz der Grundwasserbeobachtungsstellen der hydrographischen Landesabteilung eine wesentliche bzw. grundlegende Rolle. Diese Daten sind darüberhinaus auf Grund des zum Teil langjährigen Beobachtungszeitraumes die einzigen Unterlagen zur Ermittlung des höchsten und tiefsten Grundwasserstandes, dessen Kenntnis zur Fixierung der Abbautiefe bei Naßbaggerungen ganz wesentlich ist. Durch dieses Grundwasserbeobachtungsnetz der hydrographischen Landesabteilung ist jedoch das Ennstal auf Grund der dort herrschenden besonderen Verhältnisse (artesisches Wasser) noch nicht erfaßt; es konzentriert sich bisher auf das Murtal vom Aichfeld (Judenburg) bis zur Landesgrenze bei Radkersburg und mit geringerer Dichte der Meßstationen auf das Mürztal. Daneben bestehen bereits auch einige Meßstationen im Feistritztal und Raabtal. Im übrigen wird auf die hydrographischen Jahrbücher verwiesen.

Die verschiedenen, derzeit Verwendung findenden Verfahren zur Messung der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers (Porengrundwasser) werfen nun die Frage auf, welches Verfahren für den jeweiligen Untersuchungsbereich und die jeweilige Fragestellung am besten geeignet ist.

Es soll daher vor dem Bericht über die bisherigen Meßergebnisse im Mur- und Mürztal eine zusammenfassende Darstellung

dieser Verfahren gegeben werden, um die Beurteilung ihrer Einsatzmöglichkeiten und eine kritische Bewertung der Meßergebnisse zu erleichtern.

Bei den bisher vorliegenden Meßergebnissen aus dem Mur- und Mürztal fällt eine große Streuung der Meßwerte bei der Feststellung der Fließgeschwindigkeit auf. Die Fließgeschwindigkeit variiert, bisher immerhin abgesehen von wenigen Ausnahmen, zwischen wenigen Metern bis zu einigen Zehnermetern pro Tag. Größere Fließgeschwindigkeiten treten vor allem in Seitentälern mit starkem Gefälle, wie z. B. im Seegraben südlich Seewiesen oder im oberen Mürztal auf.

Diese unterschiedlichen Meßergebnisse können vor allem durch die unterschiedliche Beschaffenheit des Grundwasserleiters eine Erklärung finden. In erster Linie sind daher neben Änderungen des Gefälles des Grundwasserspiegels sowie des Talquerschnittes die Inhomogenität der fluviatilen Lockerablagerungen, die in ihren Korngrößen vom Schluff- bis zum groben Blockwerk reichen und sich im k_f -Wert ausdrückt, dafür verantwortlich zu machen. Im Aichfeld, wo bisher das größte Material nachgewiesen wurde, tritt vermutlich fluvioglaziales Material in geringer Entfernung von der Endmoräne von Judenburg auf.

Die Lage der Meßpunkte und Meßbereiche ist auf der hydrogeologischen Karte des Generalplanes der Wasserversorgung Steiermarks (Entwurfsstand 1973) verzeichnet. In diesem Maßstab ist natürlich ein Auffinden der Meßpunkte im Gelände unmöglich, sondern kann nur ein Hinweis auf die erfaßten Talbereiche gegeben werden. Es ist daher beabsichtigt, in einem geplanten Berichtsband über die Strömungsverhältnisse des Grundwassers im Mur- und Mürztal mit Karten der Grundwassergleichen auch die hier behandelten Meßpunkte der Fließgeschwindigkeit einzutragen.

2. HINWEISE ZUR HYDROGEOLOGIE DES MUR- UND MÜRZTALES

Die Grundwasserverhältnisse im Mur-und Mürztal wurden im Zuge der Errichtung von Wassergewinnungsanlagen bereichsweise einer eingehenden Untersuchung unterzogen. Die diesbezüglichen Bemühungen der Städte Graz, Bruck, Leoben etc. sowie der Elektrizitätsgesellschaften im Zuge der Errichtung von Staustufen sollen hier aber nicht näher dargelegt werden, obwohl die Ergebnisse, die meist nur in unveröffentlichten Berichten und Gutachten vorliegen, in diesem Überblick mitberücksichtigt sind. Auch von der Steiermärkischen Landesregierung wurden durch das Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung in verschiedenen Abschnitten des Murtales Grundwasseruntersuchungen und -erschließungen ausgeführt, deren Ergebnisse in den "Berichten der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung" veröffentlicht wurden, die hier aufgezählt werden sollen, und zwar:

- Bd 7/1966 Seismische Untersuchungen im Grundwasserfeld Friesach nördlich von Graz
- Bd 22/1973 Grundwasseruntersuchungen im südöstlichen Grazerfeld
- Bd 23/1973 Grundwasseruntersuchungen im nordöstlichen Leibnitzerfeld
- Bd 34/1976 Das Grundwasservorkommen im Murtal bei St. Stefan o.L. u. Kraubath
- Bd 39/1978 Grundwasseruntersuchungen im "Unteren Murtal"
- Bd 52/1980 Grundwasseruntersuchungen im Murtal zwischen Knittelfeld und Zeltweg

Eine zusammenfassende Darstellung der Grundwässer des ganzen Landes Steiermark wird weiters von J. ZÖTL (1971) sowie von L. BERNHART et al (1974) im Generalplan der Wasserversorgung Steiermarks (Entwurfsstand 1973) geboten. Über die weststeirischen Seitentäler des Murtales, und zwar das Laßnitz-, Sulm- und Saggautal einschließlich der dort-

gen Erfahrungen bei der Grundwassergewinnung, berichten H. FESSLER (1978) und H. ZETINIGG (1978). Die Grundwasserverhältnisse im Kainachtal zwischen St. Johann o.H. und Weitendorf sind in Band 43 der Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung dargestellt.

Darüber hinaus liegt eine Bearbeitung von 9 Versuchsbohrungen zur Grundwassererkundung im Mürztal zwischen Krieglach und Kapfenberg von W. TRONKO (1963) vor. Eingehende Bearbeitungen des Aichfeldes und Murbodens führte E. WORSCH (1963 und 1972) durch. Desgleichen ist eine Darstellung der hydrogeologischen Verhältnisse des Leibnitzerfeldes von J. ZÖTL (1968) vorhanden. Eine Zusammenfassung der Grundwasseruntersuchungen bis zum Jahre 1977 gibt H. ZETINIGG (1978).

Über die langjährige systematische Grundwasserbeobachtung in Steiermark, die die Grundlage für die Konstruktion der Grundwassergleichen und damit zur Erfassung der Strömungsrichtungen des Grundwassers bildet, berichtet I. ARBEITER (1978).

Die auf Grund des ständigen Grundwasserbeobachtungsnetzes der Hydrographischen Landesabteilung und des in der Beobachtungsdauer beschränkten Schwerpunktnetzes des Referates für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung ausgearbeiteten Grundwassergleichen-Karten sind in den zuvor genannten Berichten des Referates veröffentlicht. Darüber hinaus liegt noch eine Grundwasserkarte des Grazerfeldes von I. ARBEITER (1971) im Maßstab 1 : 50.000 vor. Desgleichen sind in den Arbeiten von J. ZÖTL (1968) und E. WORSCH (1963 und 1972) derartige Grundwasserkarten enthalten. Die in Kartenform ausgearbeiteten Ergebnisse der Grundwasserbeobachtungsnetze von Wasserversorgungsunternehmen, wie vor allem der Städte Graz, Bruck, Leoben sowie der

Elektrizitätsgesellschaften wurden nicht veröffentlicht und sind daher nur schwer zugänglich, weswegen ihre Aufzählung unterbleibt. Auf eine Arbeit von W. SKRIBERTSCHNIG (1978) soll noch verwiesen werden, die die Bewegungen des Grundwasserspiegels im südlichen Grazerfeld behandelt. Weiters befinden sich derzeit Grundwassergleichen-Karten des Murtales von Graz bis Radkersburg für die Naturraumpotentialkarten in Arbeit, die bald veröffentlicht und somit zugänglich sein werden. Abschließend sei hierzu noch bemerkt, daß für das Mürztal - wohl auf Grund der geringen Dichte des Beobachtungsnetzes - bisher keine derartigen Karten angefertigt werden konnten.

Für die Beurteilung der Mächtigkeit des Grundwasserleiters von Bedeutung ist ein zusammenfassender Bericht über die Methodik und die Ergebnisse geophysikalischer Messungen von F. WEBER (1976).

Über die Terrassen und das Relief des präquartären Untergrundes im Grazerfeld liegt eine Arbeit von H. FLÜGEL (1960) vor. Die Terrassen des Murtales von Wildon bis zur Staatsgrenze wurden von E. FABIANI (1971) bearbeitet. Ältere Literatur über die Terrassen soll hier nicht angeführt werden.

Diese Arbeiten sowie eine zusammenfassende Charakteristik der quartären Lockerablagerungen im Hinblick auf ihre Eignung als Grundwasserleiter, die auch das Mur- und Mürztal umfaßt, von E. FABIANI (1978) bilden die Grundlage für die folgenden hydrogeologischen Bemerkungen.

Von der Endmoräne von Judenburg in talaufwärtiger Richtung ist das Murtal zumindest bis zur Einmündung des Katschtales glazial übertieft. Diese sowie die nach Westen anschließende Talstrecke ist noch nicht näher untersucht und für das gegenständliche Thema gegenstandslos, da westlich von Zelt-

weg bisher keine Messungen der Fließgeschwindigkeit erfolgt sind.

Zum glazial übertieften, also im Vereisungsgebiet gelegenen Talabschnitt, soll nur kurz erwähnt werden, daß im Jahre 1981 mit einer 196 m tiefen Bohrung bei Niederwölz der Felsuntergrund nicht erreicht werden konnte. Je eine 60 m tiefe Bohrung bei Scheifling und Wallersbach (Gmd. Unzmarkt) verblieben ebenfalls in quartären Lockerablagerungen. Bei St. Georgen ob Judenburg erreichten 3 Bohrungen nach wenigen Metern derart feinklastische Lockergesteine (Feinsande und Schluffe), daß eine Fortführung zur Grundwassererkundung sinnlos erschien. Gerade diese feinklastischen Sedimente sind für den glazial übertieften Talabschnitt charakteristisch, da sich in diesem Abschnitt, nach Rückzug des Eises, Wasser stauen und Feinsedimente ablagern konnten.

Nach E. FABIANI (1978) reichten Gletscherzungen älterer Eiszeiten über die letzteiszeitliche Endmoräne von Judenburg hinaus gegen Osten bis vor Zeltweg. Dort erreichte eine Untersuchungsbohrung der ÖAMG erst in 83 m Tiefe den tertiären Untergrund.

Von Judenburg talabwärts bis zur Staatsgrenze handelt es sich um fluvioglaziale Ablagerungen, die durch die Schmelzwässer der Gletscher verfrachtet und im Vorland derselben abgelagert wurden.

Durch den hinzukommenden Materialtransport aus den größeren Seitengraben ist eine Folge von zum Teil terrassierten, sekundären Schwemmfächern gegeben. Während im oberen Murtal bzw. im glazial übertieften Talabschnitt eine durchgehende Terrassierung fehlt und Schwemmkegel das Bild des Tales prägen, ist im fluvioglazialen Bereich, also ab dem Aichfeld und Murboden, wie bereits dargelegt, eine gut ausgeprägte Terrassierung der Lockergesteine zu bemerken.

Die Mächtigkeit der Lockerablagerungen nimmt, sowohl innerhalb der einzelnen breiten Talabschnitte bzw. Talbecken als auch generell auf die gesamte Längserstreckung des Tales bezogen, in talabwärtiger Richtung ab. Diese Abnahme erfolgt auf Grund des Materialtransportes aus den Seitengräben und der Gliederung in Talbecken und Engtäler eben nicht kontinuierlich. So nimmt z.B. im Grazerfeld die Mächtigkeit von ca. 35 m im N auf nur 6 m im Süden und im Leibnitzerfeld von ca. 13 m auf ca. 4 m ab. Auf den gesamten Talverlauf bezogen stehen Mächtigkeiten von 35 - 45 m bei Zeltweg solche von 6 - 10 m bei Radkersburg gegenüber.

Auch im Mürztal ist eine Terrassierung der Lockerablagerungen zu bemerken. Die Mächtigkeit der Lockergesteine übersteigt jedoch kaum 20 m. Nach E. FABIANI (1978) ist dieses Tal zwischen dem fluvioglazialen und periglazialen Bereich der Lockerablagerung einzuordnen. Als periglazialer Bereich gelten Talabschnitte, die nicht direkt mit Vereisungsgebieten zusammenhängen, bzw. deren Einzugsgebiet nicht vereist war und in dem daher auch kein Materialtransport durch große Schmelzwassermengen eintrat. Demgegenüber ist im Frostgürtel ein stärkerer Materialtransport von den Talflanken durch Bodenfließen anzunehmen, der sich im hohen Feinkornanteil ausdrückt. Insgesamt sind für diesen Bereich geringere Mächtigkeiten der Lockerablagerungen und höhere Feinkornanteile charakteristisch, wie sie vor allem in den west- und oststeirischen Tälern zu bemerken sind.

Da sich die bisherigen Messungen der Filter- und Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers im Murtal auf den fluvioglazialen Talabschnitt beschränken und das Mürztal bloß periglazialen Einfluß zeigt, sollen in der Folge nur mehr die hydrogeologischen Verhältnisse dieser Bereiche dargestellt werden.

Der Grundwasserleiter dieser Talabschnitte wird von fluvioglazialen Kiesen und Sanden unterschiedlichster Körnung, die vielfach Kreuzschichtung zeigen, gebildet. Da diese Lockerablagerungen in einem mehrphasigen Geschehen abgelagert wurden, spiegelt sich in ihrem Aufbau der Wechsel zwischen Akkumulation und Erosion wider.

Das Relief der aus präquartären Gesteinen bestehenden Grundwassersohle ist ebenfalls auf die fluviatile Erosion zurückzuführen. Durch Lateralerosion der schuttbeladenen Wässer entstanden die für den fluvioglazialen Bereich typischen kastenförmigen Talquerschnitte.

Hinsichtlich der Entstehung der Terrassen hat sich allgemein die Ansicht durchgesetzt, daß es sich um kaltzeitliche Ablagerungen handelt. Durch das Absinken der Vegetationsgrenze und die Zunahme der Frostsprengung vergrößerten sich die Schuttmengen derartig, daß die nur periodisch auftretenden Schmelzwässer der vorstoßenden Gletscher diese nicht mehr abtransportieren konnten. Das Gletschervorland ertrank förmlich im Schutt. Erst durch das Einsetzen einer Warmzeit wurden diese Ablagerungen durch infolge des Rückzuges der Gletscher verstärkte Schmelzwässer weitertransportiert und terrassiert. So entstand durch die Aufeinanderfolge mehrerer Eiszeiten ein getreptes Talquerprofil. Dies erklärt auch, wie H. FLÜGEL (1975) für das Murtal ausführt, die ineinander verschachtelten Terrassenkörper, die umso höher liegen, je älter sie sind. Neben diesen Sanden und Kiesen treten Konglomerate, Blockwerk, überdeckte Bodenhorizonte und auch feinsandig-schluffige Zwischenlagen auf, so daß die Talfüllung einen inhomogenen Grundwasserleiter bildet. Kurzpumpversuche während des Abteufens von Bohrungen zeigen dementsprechend unterschiedliche k_f -Werte. Die aus gestörten Bodenproben im Labor festgestellten k_f -Werte bestätigen dieses

Bild. Generell liegen die k_f -Werte in der Größenordnung von 10^{-3} m/s und reichen nur ausnahmsweise in die Größenordnung von 10^{-2} m/s und 10^{-4} m/s. Das für die Grundwasserführung wichtige Porenvolumen wird später erörtert.

Auf die lehmige Deckschichte der Terrassen sowie die feinkörnigen, über dem Grundwasserspiegel gelegenen Ablagerungen der holozänen Flur soll hier nicht weiter eingegangen werden. Sie sind vor allem durch ihre Schutzfunktion gegenüber dem Grundwasser von Bedeutung und daher bei der Abgrenzung von Brunnen-schutzgebieten zu berücksichtigen. Während diese feinkörnige Deckschichte bei den riß- und würmeiszeitlichen Terrassen nach heutiger Ansicht als Staublehme ein äolisches Produkt darstellt, handelt es sich im Bereich holozäner Fluren wohl um Überschwemmungsprodukte. Die Mächtigkeit schwankt zwischen wenigen Dezimetern und einigen Metern.

Die Grundwasserkarten für die einzelnen Talabschnitte des Murtales zeigen, daß im allgemeinen die Strömungsrichtung von den Talrändern schräg talabwärts zur holozänen Flur bzw. zur Vorflut verläuft. Dort schwenkt sie sodann in Tallängsrichtung bzw. in die Richtung des Flusses ein. Überall wo in Vorflutnähe Grundwassersonden bestehen, kann eine intensive Kommunikation mit der Vorflut bemerkt werden. Diese ist auch an der Qualität des Grundwassers merkbar. Auch die Seitenzubringer beeinflussen das Grundwasser und daher auch seine Strömungsrichtung, da sie vor allem in den breiten Talbecken wenigstens in niederschlagsarmen Perioden oft zur Gänze versickern und so das Grundwasser anreichern.

Ein offenes Problem stellen heute noch die Talengen dar, da sie bisher noch kaum näher untersucht wurden. Es muß vermutet werden, daß die Einengung des durchströmten Querschnittes durch eine Zunahme der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers und durch Exfiltration in die Vorflut kompensiert wird. Diesbezügliche Hinweise sind z.B. einer Untersuchung des Geotechnischen Institutes Bern (1983) zu entnehmen, die sich auf das Murtal zwischen Frohnleiten und der Badl-Enge bezieht.

3. VERFAHREN ZUR MESSUNG DER FLIESSGESCHWINDIGKEIT DES GRUNDWASSERS

Zur Beurteilung der praktischen Verwertbarkeit von Meßergebnissen ist ganz allgemein die Kenntnis der jeweiligen Meßmethode und ihrer Besonderheiten notwendig. Dies gilt in hohem Maße auch für die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers, da, wie G. KELLER (1967) aufzeigt, dieser Begriff in mehrere, auf verschiedene Weise feststellbare Arten untergliedert wird. Nach W. BEYER (1967) sind dabei zu unterscheiden:

- a) Die Filtergeschwindigkeit V_f , eine scheinbare Fließgeschwindigkeit, die sich aus dem Gesetz von Darcy ergibt, wenn der Durchfluß (Q) in Beziehung zur durchflossenen Fläche (F) eines Grundwasserleiters gesetzt wird.
- b) Die Porengeschwindigkeit V_p , eine reale mittlere Fließgeschwindigkeit, die sich aus der Annahme der Durchströmung des gesamten nutzbaren Porenvolumens (p) nach der Beziehung $V_p = \frac{V_f}{p}$ ergibt. Sie kann daher auch als mittlere Abstandsgeschwindigkeit bezeichnet werden.
- c) Die Bahngeschwindigkeit V_b , die reale, ständig wechselnde Geschwindigkeit, mit der sich ein Wasserteilchen auf einer unbekannt, nicht festlegbaren Strömungsbahn durch den Grundwasserleiter bewegt.
- d) Die Abstandsgeschwindigkeit V_a , als Geschwindigkeit mit der ein Wasserteilchen in der Hauptfließrichtung eine an der Erdoberfläche fixierte, geradlinige Strecke zurücklegt.

Diese Begriffsbestimmungen lassen bereits erkennen, daß für praktische Zwecke, wie z.B. die Abgrenzung von Brunnenschutzgebieten, der Abstandsgeschwindigkeit die größte Bedeutung zukommt. Da diese aber auch nach einem einfachen Ansatz aus

der Filtergeschwindigkeit ermittelt werden kann, ist auch letztere, bzw. ihre Messung näher zu betrachten. Vor allem auf Grund der Möglichkeit, die Filtergeschwindigkeit nach der Einbohrloch- oder Verdünnungsmethode, also mit einem geringen Aufwand an Sonden, zu messen, führt dazu, daß dieser Weg häufig gewählt wird.

Im Folgenden werden nun die derzeit üblichen Methoden zur direkten Messung der Abstands- und Filtergeschwindigkeit mit Hilfe von in das Grundwasser eingegebenen Markierungsmitteln (Tracern) und ihre indirekte Ermittlung aus verschiedenen, auf andere Art bestimmten Parametern, kurz umrissen.

Zuvor soll jedoch noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß für das hier angeführte Beispiel - nämlich die Abgrenzung von Brunnenschutzgebieten, die Messung der Fließgeschwindigkeit bei ungestörten Verhältnissen - nicht ausreicht. In diesem Falle muß die besondere Situation, die durch die Wasserentnahme aus dem Brunnen geschaffen wird, berücksichtigt werden, da sich bei jeder Entnahme ein Absenkungstrichter ausbildet, in dem sich die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers erhöht. Bei einem Markierungsversuch kann diese Situation durch die Ausführung desselben während eines Pumpversuches mit einer Fördermenge in Höhe der angestrebten Dauerentnahme ausreichend erfaßt werden. Für die Ermittlung aus anderen Parametern gibt es eigene Ansätze, wie z.B. den von R. VOIGT (1973), der eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers in einem Absenkungstrichter schnell errechnen läßt.

Da aber die Dimensionierung von Schutzgebieten nicht das Thema dieser Arbeit ist, soll auf die Zunahme der Fließgeschwindigkeit in einem Absenkungstrichter hier nicht näher eingegangen werden.

3.1) Der Markierungsversuch

Der Markierungsversuch, der eine direkte Messung der Abstandsgeschwindigkeit ermöglicht, stellt eine alt erprobte Methode dar. Hierzu sind für die Einspeisung des Markierungsmittels eine ausreichend kalibrierte Sonde und grundwasserstromabwärts, zumindest eine aber meistens doch mehrere Sonden zur Probennahme notwendig. Diese Sonden werden, um auch bei kleinen Änderungen der Strömungsrichtung in der Zeit zwischen der Fertigstellung der Sonden und Ausführung des Markierungsversuches sowie um trotz der Streuung, die das Markierungsmittel im Grundwasserleiter erfährt, den Durchgang des Tracers erfassen zu können, in einem Kreissektor angeordnet. Es muß daher für den vorgesehenen Meßbereich die Strömungsrichtung des Grundwassers bekannt sein, die entweder mittels hydrologischer Dreiecke oder nach der Einbohrlochmethode bestimmt werden kann. Da als Markierungsmittel vor allem Farbstoffe, wie Uranin oder Rhodamin verwendet wurden, wird diese Methode vielfach auch als "Färbeversuch" bezeichnet. Häufig werden aber auch Salze, wie vor allem Kalisalz, als Markierungsmittel verwendet, wobei der Durchgang mittels Leitfähigkeitsmeßgeräten festgestellt werden kann. Der Markierungsversuch stellt die einfachste, aber bezüglich Versuchseinrichtung, aufwendigste Methode dar. Bei tiefliegendem Grundwasserspiegel ist sie auch wegen der großen Anzahl von Sonden kaum anwendbar, was letztlich der Anlaß zur Entwicklung der Einbohrlochmethode war.

Die Meßergebnisse hängen bei dieser Methode davon ab, inwieweit die Beschaffenheit des Grundwasserleiters zwischen der Einspeisungsstelle des Markierungsmittels und den Entnahmesonden als repräsentativ für den zu beurteilenden Gesamtbereich anzusehen ist. In sehr inhomogenen Grundwasserleitern, wie sie die Talfüllungen des Mur- und Mürztales darstellen, sollten wenigstens Distanzen von mehreren Metern eingehalten wer-

den. Die Vergrößerung der Distanz zwischen der Eingabesonde und den Sonden zur Probennahme bringt jedoch größeren versuchs-technischen und damit finanziellen Aufwand mit sich. Bei geringen Abstandsgeschwindigkeiten werden sehr lange Beobachtungszeiträume notwendig, womit sich die Zahl der Proben, die zu ziehen und zu untersuchen sind, erhöht.

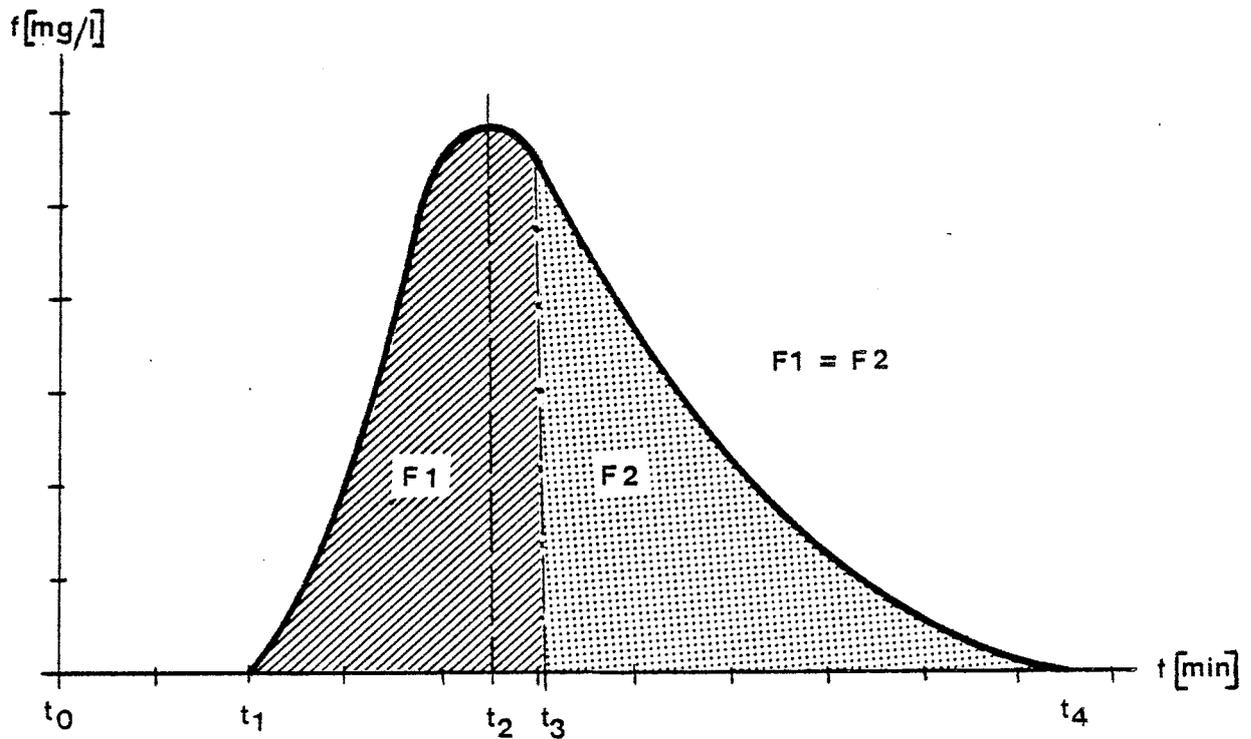
Die Auswertung derartiger Versuche erfolgt in quantitativer Hinsicht über eine Konzentrations-Zeit-Kurve, wobei sich zeigt, daß in kiesig-sandigen Grundwasserleitern, wie sie z. B. in alpinen Tälern vorliegen, generell drei Abstandsgeschwindigkeiten unterschieden und gemessen werden können, und zwar:

- a) Die maximale Abstandsgeschwindigkeit nach dem Zeitpunkt des ersten Auftretens des Markierungsmittels in einer der Beobachtungssonden,
- b) die mittlere Abstandsgeschwindigkeit nach dem Zeitpunkt des Durchganges von 50 % des eingebrachten Markierungsstoffes in der Beobachtungssonde,
- c) die dominierende oder intensive Abstandsgeschwindigkeit nach dem Zeitpunkt des Durchganges des Konzentrationsmaximums des Markierungsmittels in der Beobachtungssonde.

Da der Zeitpunkt des Durchganges des Konzentrationsmaximums durch eine Sonde bzw. auch dieses selbst einfacher zu bestimmen ist, als der Durchgang von 50 % des Markierungsstoffes und die mittlere von der intensiven Abstandsgeschwindigkeit im allgemeinen nur wenig abweicht, wird in der Praxis oft nur das leicht meßbare Konzentrationsmaximum verwendet und dieses Ergebnis also die intensive auch als "mittlere Abstandsgeschwindigkeit" bezeichnet und verwendet. In dieser Weise wurde auch bei den meisten Markierungsversuchen im Mur- und Mürztal verfahren.

Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeit (V_a)
 aus der Intensitätskurve des Markierungsmittels
 (nach W. Beyer, 1964)

Markierungsmittel

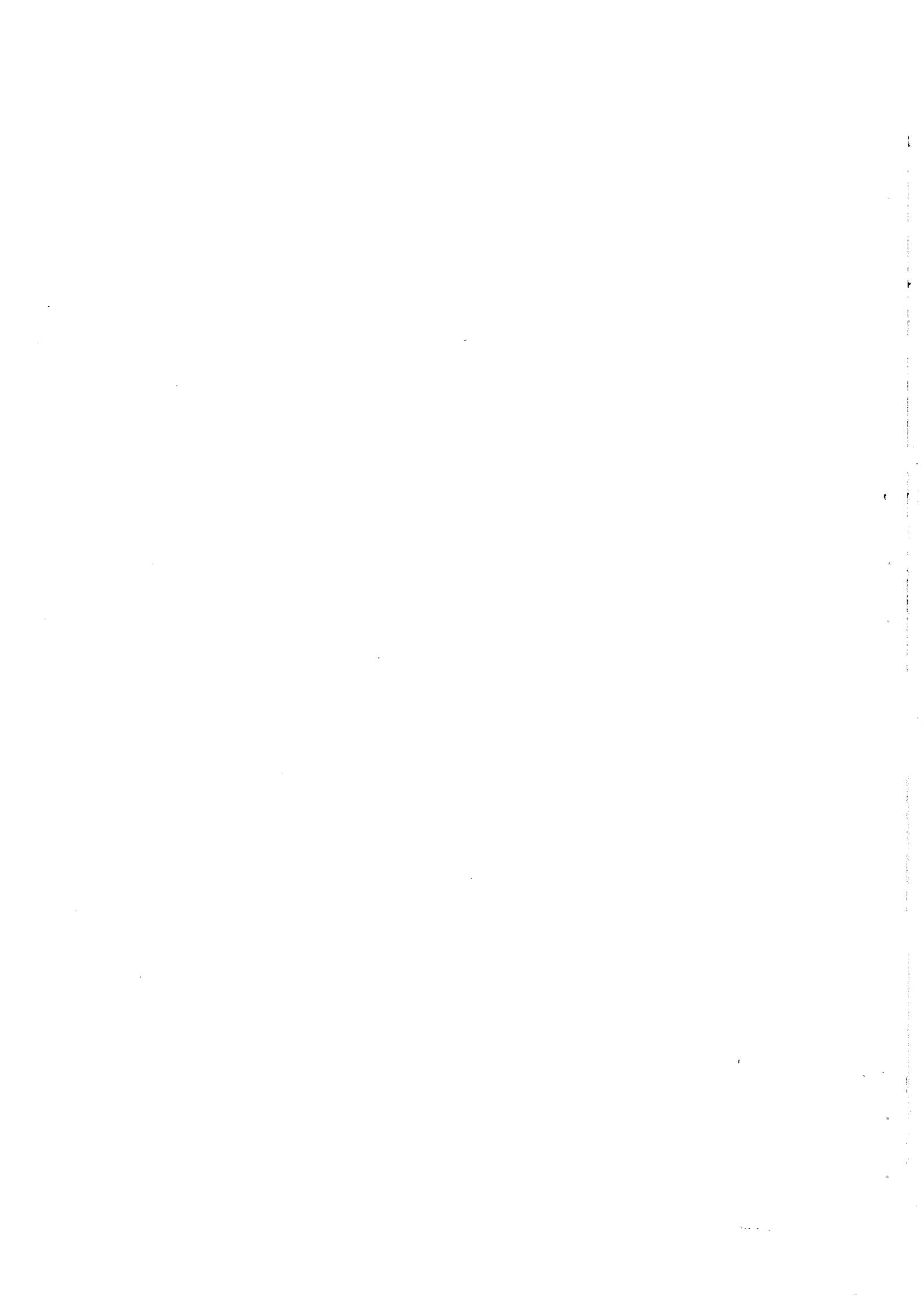


t_0 = Zeitpunkt der Eingabe des Markierungsmittels

t_1 = Zeitpunkt des ersten Auftretens des Markierungsmittels im Beobachtungspegel, gibt die maximale Abstandsgeschwindigkeit an

t_2 = Zeitpunkt der höchsten Konzentration des Markierungsmittels im Beobachtungspegel, gibt die intensive Abstandsgeschwindigkeit an

t_3 = Zeitpunkt des Durchganges der Hälfte des Markierungsmittels im Beobachtungspegel, gibt die mittlere Abstandsgeschwindigkeit an



Zur Festlegung der Meßstrecke, also der Distanz zwischen Eingabesonde und Beobachtungssonden, soll hier noch eine Beobachtung von R.V. BLAU (1978) hervorgehoben werden, die zeigt, daß diese noch in einer weiteren Hinsicht von Belang ist. Danach wurde beim Vergleich einer Reihe von Markierungsversuchen in Lockergesteins- Grundwasserleitern der Schweiz festgestellt, daß die maximale Abstandsgeschwindigkeit mit der Verlängerung der Meßstrecke abnimmt. Dies bedeutet aber, daß in derartigen Grundwasserleitern die bevorzugten Wasserbahnen, die für die maximale Abstandsgeschwindigkeit maßgeblich sind, nur eine kurze Längserstreckung im Verhältnis zum jeweiligen Grundwasservorkommen haben.

Nach experimentellen Untersuchungen von W. BEYER (1964) ist die intensive Abstandsgeschwindigkeit in einem homogenen porösen Medium nur 1,2-fach größer als die mittlere Abstandsgeschwindigkeit. Bei der Verwendung der intensiven an Stelle der mittleren Abstandsgeschwindigkeit ist zumindest für die Dimensionierung von Schutzgebieten eine größere Sicherheit gegeben. Bei Verwendung dieses Wertes für die Beurteilung von Durchflußmengen ist demgegenüber Vorsicht geboten und eher eine Abminderung vorzunehmen.

Diese Geschwindigkeiten weisen darauf hin, daß an bevorzugten Wasserbahnen ein geringer Teil der Hauptmasse des Grundwassers vorausseilt. Zeigt die Konzentrations-Zeit-Kurve des Markierungsmittels einen stark gegliederten Verlauf bzw. mehrere Folgemaxima, so ist dies nach J. ALBRECHT und H.M. SUCKOW (1968) ein Hinweis auf eine starke Inhomogenität des Grundwasserleiters. Es darf aber nicht vergessen werden, daß die Einbringung des Markierungsmittels einen gewissen Zeitraum in Anspruch nimmt, der sich auch auf den Durchgang des Markierungsmittels auswirken kann.

Nach bereits zitierten experimentellen Untersuchungen von W. BEYER (1964) ist die maximale Abstandsgeschwindigkeit in ei-

nem homogenen Porengrundwasserleiter ungefähr doppelt so groß wie die mittlere Abstandsgeschwindigkeit. Dies könnte für die Grundwasserleiter alpiner Täler, die poröse Medien darstellen, obwohl sie inhomogen sind, bis zum Vorliegen neuer Erkenntnisse als "Faustregel" verwendet werden. Ergebnisse von Markierungsversuchen aus derartigen Bereichen fügen sich gut in diese Versuchsergebnisse ein.

Bei der Anordnung der Sonden ist darauf zu achten, daß in einem inhomogenen Porengrundwasserleiter ein punktförmig eingebrachtes Markierungsmittel in seiner Ausbreitung um die Achse der Fließrichtung streut. Nach W. RICHTER und R. WAGNER (1969) beträgt diese Streuung in einem homogen aufgebauten, porösen Medium bereits etwa 3° und wird bei inhomogenen Verhältnissen entsprechend zunehmen, woraus sich die Notwendigkeit zur Verbreitung des Sondennetzes ergibt.

Ist ein besonders inhomogener Grundwasserleiter vorhanden oder mit geringen Änderungen der Strömungsrichtung infolge stark steigenden oder fallenden Grundwasserspiegels zu rechnen, so sollte auf eine Verbreitung des Markierungsmittels im Grundwasserleiter geachtet werden und eine breitere Streuung durch Eingabe in flüssiger Form herbeigeführt werden. Die hiedurch hervorgerufene Verfälschung des Meßergebnisses ist meist wohl einem Mißerfolg vorzuziehen und wird umso geringer, je größer die Distanz zwischen Eingabesonde und Beobachtungssonden ist.

Bei der Verwendung von Salzen als Markierungsmittel, die in gelöster Form in das Grundwasser eingebracht werden, kann die Salzlösung, wie F. DOSCH (1968) aufmerksam macht, auf Grund ihres höheren spezifischen Gewichtes im Grundwasserkörper absinken und daher in seichten Sonden nicht mehr erfaßbar sein. Auf eine ausreichende Tiefe der Sonden ist daher auch deshalb, abgesehen von den möglichen Schwankungen des Grundwasserspiegels, zu achten.

3.2) Die Einbohrloch- oder Verdünnungsmethode

Um nun die Fließgeschwindigkeit feststellen zu können, ohne eine größere Zahl von Sonden herstellen zu müssen, wurde die Einbohrloch- oder Verdünnungsmethode entwickelt.

Bei dieser Methode wird, wie O. ZELLHOFER (1967) ausführt, in einer Filterstrecke ein nach oben und unten abgeschlossener Bereich bzw. ein Wasservolumen mit einem radioaktiven Tracer markiert und die Konzentrationsabnahme als Folge der Durchströmung des Filterabschnittes durch das Grundwasser gemessen. Aus dem Konzentrations-Zeit-Diagramm in Form einer Dekonzentrationskurve wird die Filtergeschwindigkeit (V_f) ermittelt. Die Voraussetzung für ein einwandfreies Meßergebnis ist nach H. MOSER (1974) eine horizontale Grundwasserströmung und eine homogene Durchmischung der Tracerlösung im Verdünnungsvolumen des Filterrohrabschnittes. Liegt die Filtergeschwindigkeit unter 0,3 m/d, wird das Meßergebnis noch durch die molekulare Diffusion des Tracers im Wasser und osmotische Effekte an den Grenzflächen des Verdünnungsvolumens beeinflusst. Bei dieser Methode wird meist gleichzeitig auch die zuvor behandelte Strömungsrichtung gemessen.

Die Nachteile dieser Methode bestehen in dem fast auf einen Punkt reduzierten Meßbereich. Demgegenüber kann durch die Anordnung mehrerer Meßbereiche oder Meßpunkte über die Teufenerstreckung des Grundwasserleiters eine differenzierte Untersuchung einzelner Teufenbereiche erfolgen. Der Erfassung einer größeren Horizontaldistanz innerhalb des Grundwasserkörpers durch den Markierungsversuch (Abschnitt 3.1) steht daher die Möglichkeit zur Erfassung von vertikal differenzierten Meßbereichen durch die Einbohrlochmethode gegenüber.

Bei der praktischen Anwendung muß aber im Auge behalten werden, daß die Gültigkeit des Meßergebnisses auf einen kleinen

Bereich beschränkt ist. Messungen in mehreren Sonden und die kritische Abstimmung mit den hydrogeologischen Kenntnissen über das jeweilige Untersuchungsgebiet können einen gewissen Ausgleich bringen. Eine schadhafte Verrohrung, insbesondere fehlerhafte Filterrohre und ein unsachgemäß gewählter und eingebauter Filterkies sowie Störungen im Grundwasserleiter in unmittelbarer Umgebung der Verrohrung, hervorgerufen durch die Bohrarbeiten oder durch das Entsandungspumpen, werden sich bei dieser Methode negativ auswirken. Vertikalströmungen können die Meßergebnisse verfälschen.

Grundsätzlich ist daher eine technisch einwandfreie Ausführung der Bohrung samt Verrohrung die Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieser Methode, die vor allem bei tief liegendem Grundwasserspiegel einzusetzen ist.

Es ist darauf zu achten, daß hier als Meßergebnis die Filtergeschwindigkeit (V_f) vorliegt und die Abstandsgeschwindigkeit erst nach der Bezeichnung

$$V_a = \frac{V_f}{E}$$

ermittelt werden muß. Die Größe E stellt das effektive oder wirksame Porenvolumen dar. Es muß angenommen werden, daß dieses bisher bei derartigen Messungen im Mur- und Mürztal oft zu hoch geschätzt wurde.

Meßergebnisse über das effektive Porenvolumen der Kiese des Mur- und Mürztales liegen bisher nicht vor bzw. waren nicht auffindbar. Lediglich zahlreiche labormäßige Bestimmungen des gesamten Porenvolumens aus gestörten Bodenproben sind derzeit greifbar. Aus diesem Grunde sind alle bisherigen Ermittlungen der Abstandsgeschwindigkeit über die nach der Verdünnungsmethode festgestellten Filtergeschwindigkeit kritisch zu betrachten. Überlegungen bezüglich der Feststellung des effektiven Porenvolumens werden noch später angestellt.

Bei der so ermittelten Abstandsgeschwindigkeit handelt es sich im Vergleich zum Ergebnis vom Markierungsversuch wohl um eine "mittlere Abstandsgeschwindigkeit".

3.3) Die indirekte Ermittlung

Grundwasseruntersuchungen sind meist mit Pumpversuchen gekoppelt, deren Auswertung auch die Bestimmung des k_f -Wertes umfaßt. Ist nun der k_f -Wert bekannt, so läßt sich daraus sowie unter Verwendung des Gefälles des Grundwasserspiegels (J) und des effektiven Porenvolumens (E) nach dem Ansatz

$$V_f = k_f \cdot I \quad \text{bzw.} \quad V_a = \frac{k_f \cdot J}{E}$$

die Abstandsgeschwindigkeit ermitteln.

Wie Pläne der Grundwassergleichen, die bei den meisten großräumigen Grundwasseruntersuchungen angefertigt werden, aus Abschnitten unserer Täler zeigen, ist das Spiegelgefälle sehr unterschiedlich. Bezüglich des effektiven Porenvolumens ist zu vermuten, daß es im Mur- und Mürztal generell zwischen 15 - 25 % liegt. Nur in Ausnahmefällen wird es darüber ansteigen. Die starke Variation dieser Faktoren in fluvioglazialen Lockerablagerungen führt dazu, daß Mittelwerte verwendet werden müssen, was in derartigen Fällen, insbesondere bei großer flächenhafter Ausdehnung des Untersuchungsgebietes, als Vorteil anzusehen ist. Gerade hiedurch wird die Möglichkeit geboten, Ergebnisse, die nur für kleine Teilbereiche aussagekräftig sind, zu vermeiden. Auch diese Methode gestattet nach G. KELLER (1967) nur die Bestimmung einer "mittleren Abstandsgeschwindigkeit".

Für diese indirekte Methode ist es nun wesentlich, wie man zu den Werten für k_f , J und E gelangt und ob sie für den ge-

samten Untersuchungsbereich Gültigkeit haben. Da gerade die Bestimmung des k_f -Wertes und des effektiven Porenvolumens besonders vielen Unsicherheiten unterliegt, werden sich diese auch auf die Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeit auswirken. Wie J. ALBRECHT und H.M. SUCKOW (1968) ausführen, setzt die Auswertung von Pumpversuchen einen homogenen, isotropen, in seiner Mächtigkeit konstanten und in der Ausdehnung unendlichen Grundwasserleiter voraus, eine Idealisierung, die gerade in alpinen Flußtälern am wenigsten zutrifft. Auf Grund dieser nicht erfüllten Forderungen sind Auswirkungen auf den, aus Pumpversuchen gewonnenen k_f -Wert anzunehmen, die auch auf die Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeit rückwirken.

Wie CH. LEIBUNDGUT (1982) ausführt, kann gerade durch die Kombination anderer hydrologischer Methoden mit der Tracerhydrologie, zu der sowohl der Markierungsversuch (Zweipunkt-
methode) als auch die Verdünnungsmethode bzw. das Einbohrlochverfahren gehören, die Resultatausbeute verbessert werden.

Hier bietet sich der Vergleich mit den Ergebnissen von Pumpversuchen an, bei denen charakteristische Parameter (z.B. der k_f -Wert) des jeweiligen Grundwasservorkommens gewonnen werden können.

Bei komplizierten Verhältnissen, wie sie nun bei Porengrundwasser herrschen, genügt die Anwendung einer Methode nicht.

Der Vergleich der Ergebnisse, die nach verschiedenen Verfahren erzielt werden, ermöglicht erst die notwendige Kontrolle.

4. DIE BISHERIGEN MESSERGEBNISSE

Im folgenden soll nun über die bisherigen Messungen der Filtergeschwindigkeit und der Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers im Mur- und Mürztal sowie in vier Seitentälern berichtet werden. Um eine kritische Bewertung der Meßergebnisse zu ermöglichen, wird die jeweils verwendete Meßmethode angeführt. Bei den Markierungsversuchen wird überdies die Länge der Meßstrecke, also der Abstand von der Eingabesonde des Markierungsmittels bis zu den Sonden, aus denen die Probenahme erfolgte, genannt. Gerade diese Längenangabe erlaubt erst die Beurteilung, ob das Ergebnis repräsentativ für das gesamte jeweilige Untersuchungsgebiet ist.

Aus der, nach den Verdünnungsmethoden gemessenen Filtergeschwindigkeit werden unter Verwendung eines geschätzten effektiven Porenvolumens (E) die Abstandsgeschwindigkeiten (V_a) ermittelt, um auf diese Weise einen Vergleich zwischen den Ergebnissen beider Meßmethoden zu ermöglichen.

Dort, wo weiters der k_f -Wert aus Pumpversuchen und das Gefälle des Grundwasserspiegels (J) bekannt sind, wird auch der Bezug zu diesen beiden Parametern hergestellt.

Vielfach wird keine befriedigende Übereinstimmung der Ergebnisse verschiedener Meßmethoden festgestellt. In diesen Fällen wird versucht, eine Erklärung hierfür zu finden.

Über die, im Zuge der Errichtung größerer Brunnen erfolgte indirekte Ermittlung (nach Abschnitt 3.3) der Fließgeschwindigkeit aus den Parametern k_f , J und E wird hier, wenn nach der Örtlichkeit vergleichbare, direkte Meßergebnisse fehlen, bzw. keine Markierungsversuche durchgeführt wurden, nicht berichtet.

4.1) Die Messungen im Murtal

4.1.1) Großlobming - Lind, Gemeinde Spielberg

Im Zuge von Grundwasseruntersuchungen des Referates für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung im Murtal zwischen Knittelfeld und Zeltweg wurde im Bereich der holozänen Flur auf Grund der durch Pumpversuche gewonnenen Parameter, weiters durch Messungen der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, sowie eines Markierungsversuches auch die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers bestimmt. Hierüber wird von H.ZETINIGG (1980) ausführlich berichtet.

Bei der Errichtung eines Brunnens der Gemeinde Spielberg im östlichen Teil des Pfarrfeldes wurde von H. ZETINIGG (1973) ein Markierungsversuch durchgeführt, um Grundlagen für die Abgrenzung von Brunnenschutzgebieten zu erhalten. Hiezu wurden am 1.12.1973 in einem Pegelrohr 100 g Uranin AP eingebracht und in Intervallen über einen Zeitraum von 2 Tagen Wasserproben aus 5 Pegelrohren entnommen. Hierbei konnte in 4 Pegelrohren ein Farbdurchgang konstatiert werden, woraus die nachfolgend angeführten maximalen und mittleren Fließgeschwindigkeiten ermittelt werden konnten.

Pegel Nr.	Abstand zur Einspeisungsstelle	V_a max.	V_a mittel
P 4	5,0 m	18,6 m/d	9,8 m/d
P 5	20,5 m	15,1 m/d	12,7 m/d
P 6	20,5 m	38,4 m/d	20,0 m/d
P 7	20,5 m	25,6 m/d	15,1 m/d

Aus diesen Einzelergebnissen wird versucht, einen auch für den größeren Bereich des Pfarrfeldes repräsentativen Mittelwert der

Abstandsgeschwindigkeit zu bilden, und zwar:

V_a max	24 m/d
V_a mittel	14 m/d

Für den gesamten Untersuchungsbereich wurden aus Pumpversuchen zahlreiche k_f -Werte bestimmt und mit den Ergebnissen von Laboruntersuchungen der zentralen Bodenprüfstelle an gestörten Bodenproben verglichen. H. NOVAK (1978) gelangte dabei für den Grundwasserleiter im Bereich der holozänen Flur beidseits der Mur zu einem mittleren k_f -Wert von $6,5 \times 10^{-3}$ m/s. Unter Verwendung von $I = 3,8 \%$ und $E = 20 \%$ ergibt sich eine V_a mittel = 10,5 m/d.

Wird nun diese Fließgeschwindigkeit mit dem Ergebnis des Markierungsversuches verglichen und vor allem auf die Streuung der k_f -Werte, wie sie aus den einzelnen Pumpversuchen gewonnen werden konnten, Rücksicht genommen, so kann für das Untersuchungsgebiet eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von 10 - 14 m/d angeschätzt werden.

Hiezu muß weiters noch bemerkt werden, daß das Spiegelgefälle des Grundwassers nach I. ARBEITER (1980) im östlichen Teil des Untersuchungsraumes bis auf 2,5 % absinkt und weiters auch ein größeres wirksames Porenvolumen als 20 % zumindest bereichsweise nicht ausgeschlossen werden kann. Hiedurch könnten örtlich noch geringere Fließgeschwindigkeiten auftreten. Für das zuletzt angeführte Spiegelgefälle würde sich unter Verwendung des gleichen k_f -wertes und effektiven Porenvolumens die wesentlich geringere Abstandsgeschwindigkeit von rund 7 m/d ergeben.

Der Vollständigkeit halber soll trotz des unbefriedigenden Ergebnisses darüber berichtet werden, daß auch von der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien (1977), Messungen der Filtergeschwindigkeit nach der Einbohrloch- oder Verdünnungsmethode durchgeführt wurden. Diese Messungen erfolgten an 6 Ver-

suchsbohrungen, wobei sich aus der Filtergeschwindigkeit unter Verwendung von $E = 20$ und 30% Abstandsgeschwindigkeiten ergeben, die generell eine Zehnerpotenz höher liegen als die zuvor dargelegten. Die Meßwerte der Versuchsbohrung 24821 lassen sich in das hier vorgestellte Bild dieses Grundwasservorkommens überhaupt nicht einordnen. Das Ergebnis läßt sohin vermuten, daß bei diesen Messungen methodische oder technische, eventuell auch aus dem Kaliber der Versuchsbohrungen resultierende Schwierigkeiten aufgetreten sind, die eine Verwendung dieser Meßergebnisse zur Charakterisierung dieses Grundwasservorkommens nicht angebracht erscheinen lassen.

4.1.2) Ritzendorf bei St. Margarethen b. K.

In der Zeit vom 6. - 11.2.1974 wurden von der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, im Auftrag der Kiesunion Ges.m.b.H. bei Ritzendorf im Murtal Messungen der Filtergeschwindigkeit und Strömungsrichtung des Grundwassers durchgeführt. Der Meßbereich liegt nach H. POLESNY (1970) auf der Würmterrasse.

Die Messungen wurden im Zuge des wasserrechtlichen Verfahrens für eine Naßbaggerung angeordnet. Eine ca. 500 m westlich gelegene Versuchsbohrung (Ugendorf) des Referates für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung zeigt, daß hier die Lockergesteine eine Mächtigkeit von ca. 17 m besitzen. Darunter folgen tertiäre Schichten in Form von Schluffton.

Die Pegel für die Messungen, die nach der Verdünnungsmethode (V_f) erfolgten, wurden mit einem Vibrationshammer hergestellt. Der Verrohrungsdurchmesser dieser Pegel betrug 2", die Tiefe 6,0 m.

Dies zeigt, daß nur der hangendste Teil des Schotterkörpers den Messungen zugänglich gemacht wurde. Die Meßergebnisse sind in Tabelle (1) angeführt.

T A B E L L E 1

Bohrung	Datum der Messung	Grundwasserspiegel unter ROK	Tiefe des Meßpunktes ab ROK	V_f (10^{-5} m/s)	
1	16.2.1974	2,39 m	3,60 m	0,70	
		2,39 m	4,50 m	1,60	
2	14.2.1974	2,54 m	3,70 m	2,10	
		2,54 m	4,20 m	3,50	
3	18.2.1974	1,84 m	2,90 m	-	
		17.2.1974	1,84 m	3,05 m	0,30
		18.2.1974	1,84 m	3,85 m	1,50

Aus diesen Meßergebnissen wurde nun die mittlere Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers unter Verwendung von $E = 29 \%$ für die tieferen Meßpunkte, von $E = 21 \%$ für die seichteren Meßpunkte ermittelt. Diese Werte wurden auf Grund einer Korngrößenuntersuchung gewählt. Als durchschnittliche Filtergeschwindigkeit wurde für den tieferen Bereich $2 \cdot 10^{-5}$ m/s und den höheren Bereich $1 \cdot 10^{-5}$ m/s herangezogen.

Zusammenfassend wird danach die Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers für den oberen Bereich mit rund 4 m/d und den tieferen Bereich dieser Pegel mit rund 6 m/d angegeben.

Die Strömungsrichtung zeigt nach den obigen Messungen ein einheitliches Bild und weist, wie erwartet und durch die Messung und Auswertung der Lagen des Grundwasserspiegels in den Pegelrohren bestätigt, im spitzen Winkel zur Mur.

4.1.3) St. Stefan ob Leoben

Im Zuge der Grundwasseruntersuchungen des Referates für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung im Murtal zwischen St. Stefan o.L. und Kraubath wurden im August 1974 auch Messungen der Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers von P. HACKER und D. RANK (1976) vorgenommen. Diese Messungen der Filtergeschwindigkeit nach der Verdünnungsmethode brachten Ergebnisse, die im Gegensatz zu den wesentlich niederen diesbezüglichen Ermittlungen aus den Parametern k_f , J und E sowie einem Markierungsversuch standen.

Zur Aufklärung dieser Differenzen wurden weitere Untersuchungen durchgeführt, die neben Messungen der Filtergeschwindigkeiten in einer zusätzlich hergestellten kleinkalibrigen Sonde (2") auch die Messung der Vertikalströmung in zwei Bohrungen während eines Pumpversuches und im unbeanspruchten Zustand, sowie die Messung der Abstandsgeschwindigkeit durch einen Markierungsversuch mit Hilfe einer weiteren kleinkalibrigen Sonde umfaßten.

Für diesen Versuch wurde nach Bestimmung der Fließrichtung des Grundwassers durch ein hydrologisches Dreieck und die Einbohrlochmethode, die übereinstimmende Ergebnisse brachten, eine Injektionssonde (2" Durchmesser) 5 m stromaufwärts der Versuchsbohrung (B IV/2607) in der linksufrigen holozänen Flur des Murtales hergestellt. Danach wurde das Nuklid Tc 99^m in diese 4 m tiefe Sonde eingebracht. Das Konzentrationsmaximum trat in der Versuchsbohrung nach knapp 5 Stunden auf, woraus sich eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von rund 25 m/d ergibt. Aus der Intensität dieses Maximums wurde weiters der Schluß gezogen, daß die Wolke des Markierungsmittels die Bohrung Nr. IV nur randlich gestreift hat, so daß die Fließgeschwindigkeit tatsächlich noch größer ist.

Um diesen Wert mit den Filtergeschwindigkeiten vergleichen zu können, werden letztere für die Bohrung Nr. IV/2607 tabellarisch zusammengefaßt. Weiters wird darauf hingewiesen, daß in der zit. Arbeit derartige Meßwerte für 3 weitere Versuchsbohrungen vorliegen, die jedoch hier nicht wiedergegeben werden, da dort keine weiteren, vergleichenden Untersuchungen vorgenommen wurden.

B IV (2607)

Meßpunkt ab ROK	V_f (10^{-4} m/s) 9.-12.4.1973	V_f (10^{-4} m/s) 7.-10.8.1974
6 m	20	6
10 m	-	15
15 m	15,5	4
24 m	0,2	-

Die Unterschiede zwischen den beiden Meßzeiträumen konnten nicht befriedigend erklärt werden; doch mag hierbei die unterschiedliche Lage des Grundwasserspiegels eine Rolle gespielt haben (1973: 3,28 m unter ROK, 1974: 2,96 m unter ROK).

Insgesamt weisen aber alle diese Messungen, insbesondere aber die Vertikalströmungsmessungen, auf ausgeprägte Inhomogenitäten im Grundwasserleiter hin. Ermittelt man aus obigen Filtergeschwindigkeiten die Abstandsgeschwindigkeit unter Verwendung eines effektiven Porenvolumens von 20 %, so ergeben sich hohe, mit dem Markierungsversuch nicht mehr vergleichbare Werte.

Zur Aufklärung dieser Diskrepanz in den Meßergebnissen wurde in 15 m Entfernung von B IV eine weitere kleinkalibrige Sonde (2") hergestellt und Messungen nach der Verdünnungsmethode vorgenommen. Dabei ergaben sich Werte, die im Durchschnitt um eine Zehnerpotenz niedriger sind als die in den großkalibrigen Versuchsbohrungen (NW 200 mm) gemessenen Werte. Überdies korrespondieren diese Werte bei Umrechnung in V_a unter Verwendung von $E = 20 \%$ annähernd mit dem Ergebnis des Markierungsversuches ($V_a = 25 \text{ m/d}$). Auf Grund dieses Ergebnisses vermuten P. HACKER und D. RANK (1976), daß der Kaliber der Bohrungen die Ergebnisse stark beeinflußt und in großkalibrigen Sonden zu hohe Fließgeschwindigkeiten gemessen werden. Im einzelnen konnten im August 1974 in der kleinkalibrigen Sonde folgende Filtergeschwindigkeiten gemessen werden:

Meßtiefe m ab ROK	Grundwasserspiegel m ab ROK	V_f 10^{-4} m/s	V_a m/d bei $E = 20 \%$
6,8	3,70	0,6	25,9
10,5	3,70	0,8	30,2
14,0	3,70	0,7	34,5

4.1.4) St. Michael i.O.

Im Zuge der Grundwasseruntersuchungen im Murtal im Talabschnitt St. Michael o.L. wurden im Jahre 1968 von der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, im Auftrage des Referates

für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung Messungen der Filtergeschwindigkeit und der Strömungsrichtung nach der Verdünnungsmethode vorgenommen. Hierzu wurde ein 36 m tiefer Versuchsbrunnen mit 250 mm Nennweite der Verrohrung herangezogen, der den sandig-kiesigen Grundwasserleiter im Bereich der holozänen Talflur im Abschnitt von 4 - 20 und 24 - 36 m Tiefe durch Filterstrecken erschließt. Diese Messungen brachten nachstehendes Ergebnis:

Datum der Messung	Tiefe der Messung	V_f m/s	V_a m/d bei $E = 20 \%$
7.5.1968	5,0 m	$3,2 \cdot 10^{-5}$	13,8
7.5.1968	8,0 m	$3,6 \cdot 10^{-5}$	15,5
21.5.1968	8,0 m	$1,5 \cdot 10^{-6}$	} < 1
20.5.1968	11,5 m	$1,9 \cdot 10^{-6}$	
20.5.1968	15,5 m	$1,9 \cdot 10^{-6}$	
21.5.1968	19,0 m	$2,2 \cdot 10^{-6}$	
21.5.1968	25,0 m	$1,5 \cdot 10^{-6}$	
21.5.1968	29,0 m	-	

Der Unterschied in den Meßwerten von 7,5 und 21.5.1968 für 8,0 m Tiefe wird durch ein unterschiedliches Gefälle des Grundwasserspiegels erklärt, welches wiederum auf das inzwischen erfolgte Absinken des Grundwasserspiegels von 1,95 m auf 2,10 m unter Terrain zurückgeführt wird. Diese Messungen weisen auf mit der Tiefe rasch wechselnde, unterschiedliche Durchlässigkeitsbeiwerte des Grundwasserleiters hin.

An dieser Versuchsbohrung wurde auch ein Dauerpumpversuch in der Zeit vom 2.-7.10.1967 durchgeführt, der von E.P. NEMECEK (1968) ausgewertet wurde. Hierbei konnte eine maximale Förderleistung von 31 l/s erzielt und ein mittlerer k_f -Wert von $5,7 \cdot 10^{-2}$ m/s auf Grund eines Netzes von 4 Pegelrohren festgestellt werden. Unter Verwendung von $E = 20 \%$ und $I = 2 \%$ ergibt sich eine Abstandsgeschwindigkeit, die mehr als dreimal

so groß wie die nach der Verdünnungsmethode gemessene ist. Im Vergleich mit anderen Untersuchungen im Murtal ist dieser k_f -Wert jedoch außerordentlich günstig und mag nur auf einen kleinen Bereich beschränkt sein.

4.1.5) Niklasdorf

Im Zuge der Grundwasseruntersuchungen im Murtal wurde im Auftrage des Referates für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung auf der rechtsufrigen Würm-Terrasse westlich des Ortsgebietes von Niklasdorf eine 35,50 m tiefe Aufschlußbohrung bis zur Grundwassersohle niedergebracht. Diese Bohrung erschließt einen mächtigen sandig-kiesigen Aquifer. Im Zuge eines Dauerpumpversuches von 96 Stunden mit einer Leistung von 11,3 l/s konnte ein durchschnittlicher k_f -Wert von $6,5 \cdot 10^{-3}$ m/s festgestellt werden. Nach diesem Pumpversuch wurden von der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Messungen der Filtergeschwindigkeit nach der Verdünnungsmethode und Messungen der Fließrichtung des Grundwassers vorgenommen, die nachstehendes Ergebnis brachten:

Datum der Messung	Tiefe der Messung	V_f m/s
25.5.1968	14,5 - 16,0 m	$18,5 \cdot 10^{-6}$
29.7.1968	14,5 - 16,0 m	$9,6 \cdot 10^{-6}$

Der Unterschied zwischen den beiden Meßergebnissen wird hiebei auf ein inzwischen erfolgtes Absinken des Grundwasserspiegels von 12 auf 14 m u.T. zurückgeführt. Bei Verwendung von $E = 20 \%$ ergibt sich eine mittlere Fließgeschwindigkeit des Grundwassers von rund 4 m/d.

Da in diesem Bereich kein Pegelnetz errichtet wurde, kann das Gefälle des Grundwasserspiegels nicht festgestellt werden. Eine

Ermittlung der Fließgeschwindigkeit aus diesen Parametern zum Vergleich mit den Messungen nach der Verdünnungsmethode ist daher nicht möglich.

4.1.6) Bruck an der Mur - Oberdorf

Zur Abgrenzung des Brunnenschutzgebietes eines neu errichteten Horizontalfilterbrunnens im Wasserwerk Oberdorf der Stadtgemeinde Bruck an der Mur wurden im Jahre 1966 von der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, die Filtergeschwindigkeit nach der Verdünnungsmethode, die Fließrichtung, die Vertikalströmung und die Abstandsgeschwindigkeit gemessen.

Hiezu wurden 6 neue Pegel mit Tiefen von 2 - 4 m unter Grundwasserspiegel hergestellt.

Während der Meßperiode vom 21. - 24. September 1966 wurden aus dem alten Brunnen des Wasserwerkes und den neuen Horizontalfilterbrunnen 100 l/s gefördert, um den Betriebszustand zu erfassen.

Aus diesen Messungen wurde die Abstandsgeschwindigkeit unter Annahme eines effektiven Porenvolumens von 35 % ermittelt, das aus heutiger Sicht zu hoch erscheint.

Da sowohl die Ergebnisse dieser Ermittlung wegen ihrer großen Streuung ($V_a = 0,3 - 10,9$ m/d), als auch die Zahl und die Lage der Sonden, für die Abgrenzung des Schutzgebietes im S und W nicht ausreichend erschien, wurden im Jahre 1967 die Untersuchungen nach Herstellung von 4 weiteren Sonden mittels eines Vibrationshammers fortgesetzt und bei einer Förderleistung von 100 l/s die Filtergeschwindigkeit mit den in Tabelle 2 enthaltenen Ergebnissen gemessen.

T A B E L L E 2

Bohrung	Datum der Messung	Tiefe der Messung ab ROK	V_f m/s	V_a m/d bei $E = 30 \%$
I	27.9.1967	2,50 m	$0,52 \cdot 10^{-5}$	14,9
		3,00 m	$0,31 \cdot 10^{-5}$	9,1
		(Mittel)	$(0,415 \cdot 10^{-5})$	(12,0)
II	27.9.1967	2,00 m	$0,513 \cdot 10^{-5}$	14,8
		2,50 m	$0,527 \cdot 10^{-5}$	15,17
		(Mittel)	$(0,520 \cdot 10^{-5})$	(15,0)
III	26.9.1967	5,00 m	$0,38 \cdot 10^{-5}$	11,0
		6,00 m	$0,28 \cdot 10^{-5}$	8,3
		(Mittel)	$(0,33 \cdot 10^{-5})$	(9,6)
IV	29.9.1967	5,00 m	$0,59 \cdot 10^{-5}$	17,1
		6,50 m	$0,60 \cdot 10^{-5}$	17,3
		7,00 m	$0,51 \cdot 10^{-5}$	14,8
		(Mittel)	$(0,56 \cdot 10^{-5})$	(16,4)
Mur 4	29.9.1967	11,00 m	$0,104 \cdot 10^{-4}$	31,4
		17,00 m	$0,54 \cdot 10^{-5}$	15,6
		(Mittel)	$(0,81 \cdot 10^{-5})$	(23,5)

Die großen Unterschiede machten nun weitere Messungen der Fließgeschwindigkeit notwendig. Hierzu wurde in die Sonden B 8, B 13, B III und B IV Tritium als Markierungsmittel eingebracht und nach dem Durchgang des Aktivitätsmaximums in dem in Betrieb befindlichen Brunnen die Abstandsgeschwindigkeit festgestellt.

Bohrung	Datum der Einspeisung von Tritium	Länge des Fließweges zum Horizontalfilterbrunnen	V _a mittel m/d	Förderleistung des Brunnens
8	27. 9.1966	178 m	192,0	100 l/s
13	26. 9.1966	58 m	36,7	100 l/s
III	28. 9.1967	580 m	10,0	100 l/s
IV	8.11.1967	448 m	18,0	100 l/s
13	23.11.1966	58 m	33,5	80 l/s
IV	19.12.1967	448 m	13,8	80 l/s

Auf Grund der Lage der Sonden, insbesondere aber ihrer Entfernung zu den Förderbrunnen kann angenommen werden, daß bei Sonde III (10,0 m/d) annähernd ungestörte Verhältnisse geherrscht haben bzw. nur diese vom Absenkungstrichter, wie aus dem Verlauf der Grundwasserisohypsen zu entnehmen ist, nicht mehr erreicht wurde.

Dementsprechend wirkt sich auf einen Teil des vom Markierungsmittel zurückgelegten Weges zum Brunnen, die Beschleunigung durch die Wasserentnahme nicht aus.

Bei Sonde IV und 13 sind, wie die Vergleichsmessungen zeigen, markante Unterschiede in der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers zwischen den Förderstufen von 100 l/s und 80 l/s zu bemerken.

Auf Grund dieser Ergebnisse wird unter Berücksichtigung der Inhomogenität der Talfüllung bzw. des Grundwasserleiters im untersuchten Bereich bei ungestörten Verhältnissen, also ohne Wasserentnahme, mit einer mittleren Abstandsgeschwindigkeit von knapp 10 m/d zu rechnen sein.

4.1.7) Judendorf - Straßengel

Im Zuge der Erweiterung der zentralen Wasserversorgung der Gemeinde Judendorf - Straßengel wurde im Jahre 1976 im Bereich der Würmterrasse nordwestlich des Ortskernes ein Filterrohrbrunnen von 27,70 m Tiefe und 400 mm Nennweite der Verrohrung hergestellt, der den gesamten quartären Aquifer aufschließt. Die Grundwassersohle befindet sich in 26,60 m Tiefe und besteht aus sandigem Ton (Tertiär). Dieser Terrassenbereich ist durch einen tiefliegenden Grundwasserspiegel (ca. 16 m unter Terrain) charakterisiert.

Zur Ermittlung der Strömungsrichtung und Filtergeschwindigkeit des Grundwassers wurde von der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, ein Markierungsversuch nach der Einbohrlochmethode in der Zeit vom 6. - 10.9.1976 durchgeführt, wobei das Nuklid Technetium 99^m Verwendung fand. Hierbei konnte in 21 m und 23 m Tiefe eine Filtergeschwindigkeit von $1,3 \cdot 10^{-4}$ m/s und $0,7 \cdot 10^{-4}$ m/s gemessen werden. Die Richtungsmessung ergab mit 350° ab N in 19,2 - 20,5 m Tiefe und 10° ab N in 21 - 22,5 m Tiefe eine Fließrichtung schräg zur Mur. Diese Messung sollte zur Abgrenzung des Brunnenschutzgebietes herangezogen werden, doch war die hohe Filtergeschwindigkeit auffällig, so daß eine Überprüfung bzw. Abstimmung mit dem Ergebnis eines Pumpversuches angezeigt erschien. Dieser Pumpversuch ergab einen k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Da über das Gefälle des Grundwasserspiegels und auch das Porenvolumen aus diesem Bereich keine näheren Angaben gewonnen werden konnten - weitere Sonden wurden nicht hergestellt - mußten beide Parameter geschätzt werden. Unter Verwendung des obgenannten k_f -Wertes sowie eines Spiegelgefälles von 3 - 4 ‰ und eines effektiven Porenvolumens von 20 - 25 % ergeben sich mittlere Fließgeschwindigkeiten von 1 - 2 m/d. Dieses Ergebnis ist mit den Messungen der Filtergeschwindigkeiten nach der Einbohrlochmethode nicht in Einklang zu bringen. Unter Verwendung des gleichen effektiven Porenvolumens von 20 - 25 % lassen sich Abstandsgeschwindigkeiten von 24 - 30 m/d für die niedere Filtergeschwindigkeit

($0,7 \cdot 10^{-4}$ m/s) ermitteln. Dieses Meßergebnis der Einbohrlochmethode kann entweder auf technische oder methodische Schwierigkeiten durch den großen Durchmesser des Filterrohrbrunnens oder auf eine besonders gute Wasserwegigkeit im Bereich der beiden Meßstrecken zurückgeführt werden. Im Hinblick auf ähnliche Erfahrungen in anderen Untersuchungsgebieten des Murtales, wie z.B. dem Talabschnitt zwischen Knittelfeld und Zeltweg, kommt wohl der ersten Vermutung höhere Wahrscheinlichkeit zu.

4.1.8) Wasserwerk Graz - Andritz

Im Einzugsbereich des Wasserwerkes Graz - Andritz wurden von Mai bis September 1957 Messungen der Abstandsgeschwindigkeit durch Salzungen vorgenommen. Hierüber konnte ein Lageplan mit Angabe der Meßstellen und Meßergebnissen, jedoch ohne schriftliche Erläuterungen, aufgefunden werden. Diesem Plan im Maßstab 1 : 5000 kann folgendes entnommen werden:

Meßstelle 1)	Abstandsgeschwindigkeit	35	m/d,	Meßstrecke	30 m
Meßstelle 2)	Abstandsgeschwindigkeit	200	m/d,	Meßstrecke	ca. 25,0 m
Meßstelle 3)	Abstandsgeschwindigkeit	5	m/d,	Meßstrecke	ca. 10 m
Meßstelle 4)	Abstandsgeschwindigkeit	0,4	m/d,	Meßstrecke	ca. 2 m

In diesem Jahr wurde für den 5.3. ein Plan der Grundwassergleichen erstellt, auf dem die gegenständlichen Messungen eingetragen sind. Dieser Plan läßt erkennen, daß im Bereich der Meßstellen 1, 3 und 4 auch nach den Grundwassergleichen die Strömungsrichtung zur damals in Verwendung stehenden Brunnenreihe des Wasserwerkes Andritz weist. Die Meßstelle 1 ist laut Plan nur 170 m von der Brunnenreihe entfernt, so daß hier sicherlich schon eine Beschleunigung der Abstandsgeschwindigkeit durch den Absenkungstrichter gegeben ist, der sich hier bereits auch durch eine Ver-

minderung der Distanz der Schichtenlinien, also eine Versteilung des Gefälles des Grundwasserspiegels, zu erkennen gibt.

Die geringe Abstandsgeschwindigkeit bei Meßstelle Nr. 4 muß wohl auch auf Grund der kurzen Meßstrecke von nur 2 m als nicht repräsentativ für diesen Teil des Murtales angesehen werden. Die enorm hohe Abstandsgeschwindigkeit bei Meßstelle Nr. 2 kann nur durch den Einfluß der Weinzödl-Wehr, von der sie ca. 350 m in flußabwärtiger Richtung entfernt ist, erklärt werden. Die Grundwassergleichen vom 5.3.1957 zeigen eine vom Stauraum dieser Wehr ausgehende deutliche Infiltration von Flußwasser in das Grundwasser, wobei auffallenderweise diese Infiltration an den damaligen 359 m und 358 m Isolinien, die ober der Abzweigung des linksufrigen Mühlganges liegen, am deutlichsten sind. Hier beträgt der Abstand der Meßstelle vom Fluß nur ca. 100 m.

Aus diesen Darlegungen geht hervor, daß die Messungen Nr. 1, 2 und 4 nicht als repräsentativ angesehen werden können, da entweder gestörte Verhältnisse, wie der Absenkungstrichter für Meßstelle Nr. 1, der Aufstau der Mur für Meßstelle Nr. 2 oder wahrscheinlich eine zu kurze Meßstrecke bei Nr. 4 vorliegen.

Demgegenüber kann der Meßwert von Meßstelle Nr. 3 auf Grund seiner guten Übereinstimmung mit anderen Messungen im Grazerfeld sowie auf Grund des zitierten Planes der Grundwassergleichen, die in diesem Bereich keinerlei Störungen erkennen lassen, als durchaus repräsentativ angesehen werden.

Es soll hier ausdrücklich vermerkt werden, daß diesen Meßergebnissen unabhängig von den obigen Darlegungen bezüglich des Wasserwerkes durchaus Bedeutung zukommt und die größere Abstandsgeschwindigkeit (Meßstelle 1) im Bereich des Absenkungstrichters, damals eben als Realität aufzufassen war, die entsprechend berücksichtigt werden mußte, die Umstellung der Förderung auf zwei Horizontalfilterbrunnen mag hier zu Änderungen geführt haben.

Auch der Messung bei Punkt 2 kommt nach Errichtung des Laufkraftwerkes Weinzödl nur mehr eingeschränkte Bedeutung zu, da sicherlich Änderungen im Strömungsverhalten des Grundwassers in diesem Bereich eingetreten sind.

Abschließend sei nochmals vermerkt, daß leider kein Bericht über die Art und das genaue Datum der Messungen beschafft werden konnte.

4.1.9) Graz - Andritz, linker Talrand

Zur Festlegung des Brunnenschutzgebietes eines zur Wasserversorgung einer Siedlung des Eigenheimbau- und Siedlerring Süd-Ost dienenden Schachtbrunnens wurde von der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien (1967), die Filtergeschwindigkeit und Strömungsrichtung des Grundwassers gemessen. Hiezu wurde ein 2,5" Pegelrohr von der Sohle des 19,60 m tiefen Schachtbrunnens von 2 m Durchmesser bis zur Grundwassersohle in Form tertiärer Tegel in 21,90 m Tiefe geschlagen und in diesem die Messung in der Zeit vom 28.2. - 2.3.1967 mittels Br⁸² ausgeführt, wobei eine $V_f = 2,2 \cdot 10^{-6}$ m/s festgestellt wurde. Unter Annahme eines wahrscheinlich zu hoch geschätzten $E = 30\%$ wurde sodann eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von 0,62 m/d ermittelt, die auch bei Verwendung von $E = 20\%$ noch knapp unter 1 m/d liegt. Wenn dieser Brunnen auch bereits im Randbereich des Grazerfeldes liegt, so scheint diese Abstandsgeschwindigkeit trotzdem sehr niedrig.

4.1.10) Graz - Puntigam

Zur Beweissicherung und für die Einleitung rechtzeitiger Gegenmaßnahmen bei einer allfälligen Beeinträchtigung der Brunnen der Brauerei Puntigam im Bereich der rechtsufrigen holozänen

Flur der Mur südlich der Liebenauer Brücke durch den Bau des Kanal-Dükers der Grazer Stadtgemeinde wurden von der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Messungen der Strömungsrichtung und Fließgeschwindigkeit des Grundwassers ausgeführt. Diese Messungen wurden an zwei verrohrten Aufschlußbohrungen von 12 m Tiefe und 100 mm Durchmesser nach der Verdünnungs- oder Einbohrlochmethode im Jahre 1966 vorgenommen. Dabei wurden in der Bohrung Nr. I in einer Tiefe von ca. 5 - 9,5 m Filtergeschwindigkeiten zwischen 0,05 und 0,7 m/h festgestellt. In der Bohrung Nr. II konnten zwischen 6,5 und 9 m Tiefe Filtergeschwindigkeiten von 1,5 - 3 m/h gemessen werden. Angaben über die Abstandsgeschwindigkeit sind in dem Bericht über die Messungen nicht enthalten. Werden aus diesen Filtergeschwindigkeiten unter Verwendung eines effektiven Porenvolumens von 20 % mittlerer Abstandsgeschwindigkeiten errechnet, so ergeben sich Werte von rund 6 - 84 m/d bei Bohrung I und rund 60 - 351 m/d bei Bohrung II. Da diese Messungen während der Bauarbeiten am Düker ausgeführt wurden, ist anzunehmen, daß sie durch diese, in den Grundwasserbereich eingreifenden Arbeiten beeinflusst sind. Diese Werte übertreffen jedenfalls alle anderen Meßwerte im Grazerfeld, mit Ausnahme der Messung beim Weinzödl-Wehr (4.1.8) bei weitem, so daß eine Beeinflussung durch andere Faktoren zu ihrer Erklärung nahe-liegend ist.

4.1.11) Wasserwerk Graz - Feldkirchen

Im Zuge der Projektierungsarbeiten für das Wasserwerk Graz - Feldkirchen wurde nach einer kurzen Anmerkung von G. KREVETS (1947) auch eine Messung der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers durchgeführt. Diese Messung wurde im Bereich des in der holozänen Flur gelegenen Bohrloches V durch Einbringen einer nicht näher definierten Salzlösung ausgeführt.

Die Meßstrecke betrug 25 m. Der Durchgang des Konzentrationsmaximums wurde nach 48 Stunden konstatiert, woraus sich eine mittlere Fließgeschwindigkeit von 12,5 m/d ergibt. Nähere Angaben über die Ausführung des Versuches, insbesondere die Anzahl der Pegelrohre für die Probennahme, können nicht aufgefunden werden.

4.1.12) Fernitz

Im Zuge der Grundwasseruntersuchungen im südöstlichen Grazerfeld wurde von H. ZETINIGG (1973) ein Markierungsversuch zur Messung der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers ausgeführt. Dieser Versuch fand im Bereich der auf der Würm-Terrasse gelegenen Versuchsbohrung III unter Ausnutzung der für den Pumpversuch hergestellten Pegelrohre statt. Hievon lag nur eines (P 4) annähernd in der Strömungsrichtung. Am 18.1.1973 wurden 140 g Uranin AP in den Pegel Nr. 6 eingebracht und mit der regelmäßigen Probennahme begonnen, die nachstehendes Ergebnis brachte:

P 4	Weglänge	7 m	V_a max	15,8 m/d	V_a mittel	6,5 m/d
P 5	Weglänge	13 m	V_a max	17,2 m/d	V_a mittel	9,6 m/d
P 8	Weglänge	10 m	V_a max	7,4 m/d	V_a mittel	6,7 m/d

Während bei dem in der Strömungsrichtung des Grundwassers gelegenen Pegel Nr. 4 eine hohe Farbstoffkonzentration (Größenordnung 10^{-3} mg/l) zu bemerken war, bewegten sich in den von der Farbstoffwolke nur gestreiften Pegeln Nr. 5 und 8 die Farbstoffkonzentration in der Größenordnung von 10^{-6} mg/l. Es können daher vor allem die Ergebnisse von P 4 als aussagekräftig bewertet werden.

Um die Auswirkungen der Inhomogenität des Grundwasserleiters aufzuzeigen, werden noch die Ergebnisse des in der Zeit vom

27.11. - 15.12.1972 durchgeführten und von J. NOVAK (1973) ausgewerteten Dauerpumpversuches bei Versuchsbohrung B III mitgeteilt. Aus den dort gewonnenen Parametern $k_f = 1,75 \cdot 10^{-3}$ m/s und $J = 5 \text{ ‰}$ sowie einem angeschätzten $E = 20 \text{ ‰}$ läßt sich eine mittlere Fließgeschwindigkeit von rund 3,7 m/d ableiten, die im Gegensatz zum Ergebnis des Markierungsversuches steht.

Einen weiteren Anhaltspunkt für die Fließgeschwindigkeit gab eine im Bereich der Puch-Werke (Thondorf) in das Grundwasser gelangte Chromverunreinigung. Diese, im Jahre 1972 in Form einer Wolke talabwärts ziehende Verunreinigung wurde von L. ZWITTNIG durch Analysen der Brunnenwässer zahlreicher Hausbrunnen in ihrer Bewegung verfolgt, woraus sich eine mittlere Fließgeschwindigkeit des Grundwassers von rund 6 m ergab. Da die Ausbreitung des Chroms im Grundwasser der Strömungsrichtung folgt, trat diese Verunreinigung schon nach kurzem aus dem Bereich der Würm-Terrasse in den der holozänen Flur über, so daß die hieraus ermittelte Fließgeschwindigkeit gegenüber dem Markierungsversuch vor allem für den holozänen Bereich Gültigkeit hat.

Die beiden Meßwerte der Abstandsgeschwindigkeit von 6,5 und 9,7 m/d im unmittelbaren Umkreis der Versuchsbohrung B III, die bereits in einem hangbeeinflußten Teil des Grazerfeldes mit einem Gefälle des Grundwasserspiegels von 5 ‰ liegt, steht eine Abstandsgeschwindigkeit von ca. 6 m/d in der holozänen Flur gegenüber. Dort beträgt aber das Spiegelgefälle nur mehr 2 ‰. Es verwundert daher nicht, daß im Bereich der Versuchsbohrung die größere Abstandsgeschwindigkeit gemessen wurde.

Das Ergebnis der Ermittlung nach den Parametern k_f , J und E mit nur 3,7 m/d muß wohl nach dem Zustandekommen der verwendeten Größen dieser Parameter beurteilt werden. Da der Pumpversuch an einer Versuchsbohrung, die als vollkommener Brunnen ausgeführt ist, erfolgte, muß vermutet werden, daß - wie Messungen der Vertikalgeschwindigkeit in anderen derartigen Fällen gezeigt haben - im wesentlichen nur begrenzte Abschnitte

des Grundwasserleiters für die Fördermenge verantwortlich sind. Diese Abschnitte weisen dann aber günstigere k_f -Werte auf. Verwendet man für die Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeit $E = 17,6 \%$ (siehe Abschnitt 5), so erhöht sich diese immerhin auf rund $4,30 \text{ m/d}$ und die Diskrepanz wird geringer.

4.1.13) Kalsdorf, Schottergrube Ast & Co.

Für die Erstellung der Projektunterlagen zur Erlangung der wasserrechtlichen Bewilligung einer Naßbaggerung nordwestlich von Kalsdorf im Bereich der Würm-Terrasse des Grazerfeldes wurde von H. FESSLER (1982) im Auftrag des Konsenswerbers, der Firma Ast & Co., Graz, ein Markierungsversuch zur Messung der Abstandsgeschwindigkeit durchgeführt. Diese Untersuchung erfolgte bereits im Bereich einer Trockenbaggerung, so daß es möglich war, ein entsprechendes Sondennetz herzustellen.

Die Strömungsrichtung des Grundwassers wurde für den gegenständlichen Bereich durch die Konstruktion von Grundwassergleichen festgestellt. Hiezu wurden neben mehreren Brunnen, bzw. Grundwasserbeobachtungsstellen des hydrographischen Dienstes auch 5 Hausbrunnen verwendet. Die Strömungsrichtung verläuft im Untersuchungsgebiet von Nordwesten gegen Südosten. Das Gefälle des Grundwasserspiegels betrug am Meßtag, dem 15.2.1982, ca. $2,6 \%$. Auf Grund dieses Ergebnisses war es möglich, ein Netz von insgesamt 6 kleinkalibrigen Pegeln, sowie einer Sonde von $110 \text{ mm } \emptyset$ für die Einspeisung des Markierungsmittels herzustellen.

Der erste Markierungsversuch wurde am 4.3.1982 unter Verwendung von 50 g Uranin, das in Pulverform in die Sonde eingebracht wurde, vorgenommen. In zwei Beobachtungssonden war ein Farbdurchgang zu bemerken, aus dem die nachstehenden Abstandsgeschwindigkeiten ermittelt werden konnten.

Sonden	Distanz zur Eingabesonde	V_a max (Meterangabe abgerundet)	V_a mittel (Meterangabe abgerundet)
Sonde 2	3,92 m	6,70 m/d	2,60 m/d
Sonde 6	6,30 m	6,50 m/d	3,60 m/d

Da die Sonden Nr. 2 und Nr. 6 in der Strömungsrichtung auf einer Geraden liegen, wird weiters versucht, auch die Abstandsgeschwindigkeit für den Durchgang des Markierungsmittels von Sonde Nr. 2 zu Sonde Nr. 6 auszuwerten. Für die Distanz zwischen diesen beiden Sonden von nur 2,38 m läßt sich eine V_a max von ca. 6,30 m/d ermitteln, das sich gut in obige Ergebnisse einfügt. Aus der Zeitdifferenz zwischen den Konzentrationsmaximas in den beiden Sonden läßt sich jedoch kein brauchbares Ergebnis ermitteln.

Um das Ergebnis zu überprüfen, wurde am 22.3.1982 ein zweiter Markierungsversuch durchgeführt. Bei diesem Versuch wurde Uranin in gelöster Form (10 l) in die Eingabesonde eingebracht. Für die Distanz zu Sonde Nr. 6 von 6,30 m ergab sich bei diesem Versuch eine V_a max von rund 7,20 m/d und eine V_a mittel von rund 4,50 m/d. Diese beiden Werte liegen deutlich höher als die Meßwerte des ersten Versuches. Eine Erklärung hierfür könnte sowohl in einer Zunahme des Gefälles des Grundwasserspiegels als auch in der Einbringung des Markierungsmittels in flüssiger Form gesehen werden.

Der Versuch, die mittlere Abstandsgeschwindigkeit aus den für das Untersuchungsgebiet meß- und abschätzbaren Parametern J , k_f und E zu ermitteln, führt zu vergleichbaren Ergebnissen. Wird hierbei ein k_f -Wert von $4,5 \cdot 10^{-3}$ m/s, ein $J = 2,6$ ‰ - wie es aus den Grundwassergleichen zu entnehmen ist - und $E = 20$ ‰ verwendet, so gelangt man zu einer V_a mittel von rd. 5 m/d.

4.1.14) Kalsdorf - Wasserverband Umland Graz

Im Bereich der Würm-Terrasse des Grazerfeldes westlich und südwestlich von Kalsdorf wurden, wie L. BERNHART und K. PIRKNER (1977) schildern, ab dem Jahre 1963 mit längeren Unterbrechungen Grundwassererschließungen mit Bohrungen und Pumpversuchen vorgenommen, deren Ergebnis die Brunnenanlage des Wasserverbandes Umland - Graz westlich von Kalsdorf darstellt.

Bei einem ersten Dauerpumpversuch an einem Schachtbrunnen in der Zeit vom 13.3. - 12.6.1967 mit einer Entnahme von 38 l/s konnte E.P. NEMECEK (1967) einen k_f -Wert von $6 \cdot 10^{-3}$ m/s feststellen. Bei einem Gefälle des Grundwasserspiegels von 3,5 ‰ und der Annahme eines effektiven Porenvolumens von 20 % gelangt er zu einer mittleren Fließgeschwindigkeit von rund 9 m/d für den Untersuchungsbereich.

Erst im Jahre 1975 wurden diese Untersuchungen weiter nördlich wieder aufgenommen und hiezu vom Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung ein Versuchsbrunnen in Form eines vollkommenen Filterrohrbrunnens von 400 mm Nennweite geschaffen. Ein in der Zeit vom 19.5. bis 9.7.1976 mit verschiedenen Förderleistungen ausgeführter Pumpversuch, bei dem maximal 62 l/s erzielt wurden, ergab nach E.P. NEMECEK (1976) einen k_f -Wert von $3 \cdot 10^{-3}$ m/s.

In diesem Filterrohrbrunnen wurden am 12. und 13.7.1976 von der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Messungen der Filtergeschwindigkeit nach der Verdünnungsmethode vorgenommen. Die zwischen 8 und 16 m Tiefe an insgesamt 5 Punkten ausgeführten Messungen brachten V_f -Werte zwischen $0,3$ und $1,9 \cdot 10^{-4}$ m/s bzw. im Mittel $1,2 \cdot 10^{-4}$ m/s. Eine Messung in 6,5 m Tiefe fällt mit $7,1 \cdot 10^{-4}$ m/s aus der Reihe und wird auf die unmittelbar vor den Messungen gefallenen Niederschläge zurückgeführt. Nur bei Verwendung der niedersten V_f -Werte ($0,3 \cdot 10^{-4}$ m/s) ergibt sich mit $E = 20 \%$ eine $V_a = 12,9$ m/d, die noch mit den Er-

gebnissen der Pumpversuche bzw. der daraus ermittelten Abstandsgeschwindigkeit vergleichbar ist. Die aus der mittleren V_f von $1,2 \cdot 10^{-4}$ m/s gewonnene $V_a = 51$ m/d liegt weit über den bisherigen Untersuchungsergebnissen aus ähnlichen Bereichen des Grazerfeldes. Hier müssen daher entweder Störungen im Ablauf der Messungen infolge des großen Durchmessers oder Störungen im Grundwasserleiter in der unmittelbaren Umgebung der Filterstrecke, hervorgerufen durch die Bohrarbeiten, vermutet werden.

Trotz dieser Untersuchungsergebnisse wurden, im Hinblick auf die Ergebnisse der Pumpversuche, den Schutzgebietsfestlegungen für eine dauernde Grundwasserentnahme von 200 l/s eine Fließgeschwindigkeit von 11,5 m/d ($k_f = 3 \cdot 10^{-3}$ m/s, $J = 11,1$ ‰, $E = 25$ %) im diesbezüglichen Projekt des Wasserverbandes Umland Graz zugrundegelegt. Demgegenüber nahm W. WESSIAK (1977) bei einer Untersuchung des Wasserhaushaltes des Einzugsgebietes dieser Grundwasserentnahme nur eine Fließgeschwindigkeit von 3 - 3,5 m/d an, wobei er von einem k_f -Wert von 3 - $6 \cdot 10^{-3}$ m/s, einem J von 2,8 ‰ und einem Porenvolumen von 25 % ausging.

Aus diesen verschiedenen Einschätzungen zeigt sich die Problematik der Fließgeschwindigkeit. Während für Wasserhaushalts- oder Mengenuntersuchungen eine vorsichtige bzw. möglichst niedere Annahme, basierend auf ungestörten Strömungsverhältnissen getroffen wird, wird für die Festlegung von Schutzgebieten gegensätzlich verfahren, da die Zunahme der Fließgeschwindigkeit im Absenkungstrichter bedacht werden muß. Dabei wird hier als einfachster Ausweg ein mittleres Spiegelgefälle des Grundwassers verwendet, das die Absenkung durch die Entnahme berücksichtigt und so die Geschwindigkeitszunahme auf den Einzugsbereich umlegt.

4.1.15) Werndorf

Im Auftrage der STEWEAG wurde im Zuge des Baues des Dampfkraftwerkes Werndorf von der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen, Graz, ein Markierungsversuch zur Bestimmung von Fließgeschwindigkeit (Abstandsgeschwindigkeit) und Strömungsrichtung des Grundwassers im Grazerfeld im Bereich der rechtsufrigen holozänen Flur durchgeführt.

Auf der Grundlage von Hydroisohypsen konnte ein Kreissektor von nur 20° in der Strömungsrichtung durch 8 Pegelrohre kontrolliert werden.

Der Grundwasserspiegel lag zur Zeit des Versuches nur 1,4 m u.T., so daß bei diesen Pegelrohren Tiefen von 4,0 m ausreichten.

Die Einspeisung von ca. 100 g Uranin erfolgte am 8.4.1967.

Da auf Grund einer inzwischen erfolgten Änderung der Strömungsrichtung die Uraninwolke nur zwei Pegel berührte bzw. der Kreissektor nur z.T. in der Fließrichtung des Grundwassers lag, mußten drei weitere Pegel errichtet und der Versuch wiederholt werden. Am 26.4.1967 wurden wiederum 100 g Uranin in der Zeit von 7.52 - 8.02 Uhr in das Grundwasser eingebracht. Das Ergebnis ist aus Tabelle 3 (Seite 48) zu ersehen.

Im Pegel Nr. 10 konnte erst 31 Stunden nach der Einspeisung die geringe Farbstoffkonzentration von $5 \cdot 10^{-10}$ g/l nachgewiesen werden. Das späte Eintreffen und die geringe Farbstoffkonzentration im Pegel 9 weist daraufhin, daß dieser auf Grund seiner Lage nur mehr von der Farbstoffwolke gestreift wurde.

Die Zeitunterschiede beweisen eine starke Inhomogenität des Grundwasserleiters, die vor allem durch die Ergebnisse bei Pegel Nr. 10 ersichtlich gemacht wird. Auffallend sind hier die geringen mittleren Fließgeschwindigkeiten im Gegensatz zu den Ergebnissen aus den nördlichen Teilen des Grazerfeldes.

T A B E L L E 3

Markierungsversuch Werndorf

Pegel Nr. Distanz zur Ein- speisst.	Zeitraum bis zum 1. Auftre- ten von Uranin	Max. Fließ- geschw. m/d	Zeitraum bis Max. der Ura- ninkonzent- ration	Max. Kon- zentra- tion g/l	Mittlere Fließge- schw. m/d
Nr. 11 (1,62 m)	248 Min.	9,36	728 Min.	$9 \cdot 10^{-6}$	3,2
Nr. 8 (2,50 m)	480 Min.	7,5	1140 Min.	$5 \cdot 10^{-6}$	3,2
Nr. 9 (2,62 m)	630 Min.	6,0	850 Min.	$5 \cdot 10^{-9}$	4,5

4.1.16) Wildon

Zur Vergrößerung der gewinnbaren Grundwassermenge für die zentrale Ortswasserversorgung der Gemeinde Wildon sollte im Jahre 1980 der Standort für einen 3. Brunnen im Murtal im Bereich der Talenge zwischen Grazer- und Leibnitzerfeld ausfindig gemacht werden. Für die Wassergewinnung wurde hierbei die holozäne Flur im Bereich des Brunnens Nr. 2 vorgesehen. Hierzu sollten die Strömungsverhältnisse, insbesondere aber die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers, ausgekundschaftet werden. Der Auftrag zur Durchführung dieser Arbeit erging an H. ZOJER (1980), der sodann im April dieses Jahres einen Markierungsversuch durchführte.

Für diesen Versuch wurden insgesamt 9 Pegel von 5 m Tiefe halbkreisförmig um eine zentrale Bohrung in jeweils 3 m Abstand angeordnet und mit einer 2" PVC-Verrohrung ausgestattet. Am 19. April 1980 wurden um 12,00 Uhr 40 g Uranin in die zentrale Bohrung eingespeist. Die Beprobung wurde sodann in unterschiedlichen Intervallen bis 21. April 1980 fortgesetzt, wobei 200 Proben zur Untersuchung gelangten. Nur bei einer Bohrung konnte ein positiver Tracernachweis erbracht werden, woraus sich eine Fließrichtung des Grundwassers von 140° - 150° N ableiten ließ. Das erste Auftreten des Farbstoffes wurde am 19. April 1981 um 22.00 Uhr festgestellt, woraus sich eine maximale Fließgeschwindigkeit von 7,20 m/d ergibt. Das Konzentrationsmaximum zeigt sich am 20. März 1980 um 20.00 Uhr. Daraus konnte eine mittlere Fließgeschwindigkeit von 2,25 m/d ermittelt werden. Diese geringe Fließgeschwindigkeit wird auf den hohen Feinkornanteil des Grundwasserleiters zurückgeführt, da gerade im Untersuchungsbereich ein Seitenzubringer (Wurzinger Graben) aus der tertiären, östlichen Begrenzung des Murtales verläuft und diesem derartige feinkörnige Ablagerungen zugeschrieben werden.

4.1.17) Schottergruben Leibnitzerfeld

Zur Abschätzung der Auswirkungen von Naßbaggerungen auf das Grundwasser des Leibnitzerfeldes wurden im Jahre 1967 Messungen der Strömungsrichtung und Fließgeschwindigkeit des Grundwassers im Auftrag der Eigentümer von bestehenden Schottergruben von der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, durchgeführt. Diese Arbeiten umfaßten Messungen der Strömungsrichtung und Filtergeschwindigkeit nach der Einbohrlochmethode. Erst auf Grund dieser Ergebnisse wurde sodann ein Pegelnetz geschaffen und die ersten Ergebnisse durch Markierungsversuche überprüft. Die Messungen wurden in den Schottergruben Oswald und Strohmaier, die beide nördlich von Leibnitz auf der oberen Niederterrasse liegen, durchgeführt.

In der Schottergrube Oswald wurde ab Grubensohle eine Sonde mittels eines Vibrationshammers hergestellt und nach der Verdünnungsmethode mit Gold -198 eine $V_f = 5,5 \cdot 10^{-5}$ m/d und eine Strömungsrichtung von 190° ab N gemessen.

Auf Grund dieses Wertes wurde die V_a auf ca. 15 m/d geschätzt und ein Sondennetz, bestehend aus 4 Sonden, in 5 m und 2 Sonden in 2 m Entfernung von der Injektionssonde hergestellt. Der Markierungsversuch mit Brom -82 brachte eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von 12,1 m/d.

In der südlicher gelegenen Schottergrube Strohmaier wurde in gleicher Weise verfahren. Die Messung der V_f nach der Verdünnungsmethode brachte nur $2,3 \cdot 10^{-5}$ m/d, die Strömungsrichtung wurde wieder mit 190° ab N bestimmt. Auf Grund der geringen Filtergeschwindigkeit wurden hier 5 Sonden in 2 m Abstand von der Injektionssonde errichtet und nur 2 Pegel in 6 m Abstand. Wider Erwarten wurde durch den Markierungsversuch eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von 27,8 m/d gemessen. Die geringe Filtergeschwindigkeit wird auf eine Verlegung der Schlitze des

Filterrohres durch Feinmaterial zurückgeführt.

Die unterschiedlichen Meßergebnisse im Bereich der oberen Niederterrasse werden auf Inhomogenitäten des Grundwasserleiters, der Mächtigkeiten zwischen 4 m (Grube Oswald) und 6 m (Grube Strohmaier) gemessen ab Sohle der Trockenbaggerungen besitzt, zurückgeführt.

Vergleicht man die Strömungsrichtungen mit der Karte der Grundwasserisohypsen vom 30.9.1965 von J. ZÖTL (1968), so kann eine gute Übereinstimmung festgestellt werden. In beiden Fällen weist die Richtung zur Laßnitz, die wohl die Vorflut des Grundwassers dieses Terrassenabschnittes darstellt.

4.1.18) Gralla

Im Zuge der Grundwasseruntersuchungen für den Bau des Kraftwerkes Gralla bzw. zur Erfassung der Auswirkungen des Einstaues auf das Grundwasser wurden von J. ZÖTL (1968) im Bereich der linksufrigen, holozänen Flur Messungen der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers durch Markierungsversuche durchgeführt. Diese Messungen brachten bis zum Jahre 1968 maximale Fließgeschwindigkeiten von 20 - 31 m/d, wobei während des Einstaues des Stauraumes sogar noch größere Geschwindigkeiten auftraten.

Da für diese Messungen, die auch die Strömungsrichtung umfaßten, ein Testkreis aus 22 Pegel in Abständen von 2,66 - 3,18 m von der zentralen Eingabestelle geschaffen worden war, wurde diese Einrichtung auch weiterhin für derartige Messungen zu Demonstrationszwecken verwendet.

Im Zuge des "Post-graduate training course on groundwater tracing techniques" wurden folgende weitere Meßergebnisse erzielt:

Datum	Markierungs- mittel	max. Abstands- geschwindigkeit	Strömungs- richtung
21.9.1971	40 g Fluoreszein	25,92 m/d	N 135° E
7.9.1973	- " -	18,72 m/d	N 140° E
5.9.1975	- " -	18,72 m/d	N 140° E

Diese Messungen werden im Zuge der obzitierten Kurse weitergeführt und sollen zu einer vergleichenden Bearbeitung Verwendung finden.

Aus den drei hier angeführten Meßergebnissen ist bereits eine Abhängigkeit der Abstandsgeschwindigkeit von der Strömungsrichtung, die wohl ihrerseits wieder durch die jeweilige Grundwasserspiegellage bedingt ist, ersichtlich. Die immer wieder festgestellte Inhomogenität des aus Terrassenschottern bestehenden Grundwasserleiters drückt sich auch hierin aus.

4.2) Die Messungen im Mürztal

4.2.1) Faschingboden nördlich Mürzsteg

Im Zuge der Grund- und Karstwasseruntersuchungen im oberen Mürztal wurde von E. FABIANI im Abschnitt Faschingboden, nördlich von Mürzsteg, ein Markierungsversuch zur Messung der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers in den quartären Lockergesteinen durchgeführt. In diesem Talabschnitt verbreitert sich der Talboden auf ca. 150 m und die Mürz folgt direkt dem rechten Talrand, so daß linksufrig ein flacher Talboden entwickelt ist. Das Grundgebirge wird von Karbonatgesteinen (überwiegend Dolomite) gebildet, die eine Kluftwasserführung aufweisen, die hier jedoch außer Betracht bleibt. Die Mächtigkeit der Lockergesteine beträgt, wie zwei Bohrungen zeigen, ca. 15 m.

Rund 300 m talabwärts einer Erkundungsbohrung (OM 4) verengt sich das Tal annähernd auf die Breite des Flusses. Knapp davor entspringt linksufrig der Mürz eine stärkere Quelle (MU 5) mit Schüttungen von 9 - 30 l/s, von der anzunehmen ist, daß sie vom Grundwasser aus den quartären Lockergesteinen gespeist wird, da der durchflossene Querschnitt des Grundwasserleiters hier nahezu auf Null reduziert wird. Es war sohin naheliegend, die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers zwischen der Bohrung und der Quelle zu messen.

Am 7.10.1982 um 11^h wurden 1,5 kg Uranin in die Bohrung eingegeben. In der Folge wurde die Quelle täglich um 8^h beprobt. Während die Probe vom 8.10. noch ein negatives Ergebnis aufwies, zeigte die vom 9.10. bereits das Konzentrationsmaximum des Farbstoffdurchganges, das hernach rasch abklang. Aufgrund der großen Zeitabstände der Proben ist der Zeitpunkt des ersten Auftretens des Markierungsmittels in der Quelle nicht bekannt. Desgleichen ist es nicht auszuschließen, daß zumindest kurz vor der Probennahme am 9.10. um 8^h eine noch höhere Konzentration in der Quelle aufgetreten ist. Aufgrund des vorliegenden Meßergebnisses kann die mittlere Abstandsgeschwindigkeit sohin mit mindestens 158 m/d angegeben werden.

Da die Bohrung OM 4 zur Erkundung des seichtliegenden Grundwassers der quartären Lockergesteine abgeteuft wurde, wurde auch ein zweistufiger Pumpversuch in der Zeit vom 30.1. bis 9.12. 1982 ausgeführt, bei dem Förderleistungen von 4,0 und 6,9 l/s erzielt werden konnten.

In dieser Zeit ist auch die Schüttung der Quelle deutlich gesunken, so daß auch hiedurch der Zusammenhang bestätigt wird. Die Auswertung dieses Pumpversuches erfolgte durch H. NOVAK (1983), der einen k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s errechnete. Ermittelt man nun aus diesem k_f -Wert, sowie $J = 5 \%$ und $E = 20 \%$, die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers, so ergeben sich nur 2,16 m/d. Es ist dies ein Wert, der in keinem Verhältnis zum Ergebnis des Markierungsversuches steht.

Aufgrund dieser divergierenden Ergebnisse muß angenommen werden, daß in diesem inhomogenen Lockergesteinsgrundwasserleiter Teilbereiche eine außerordentlich große Wasserwegigkeit besitzen und nur diese für die große, durch den Markierungsversuch nachgewiesene Fließgeschwindigkeit verantwortlich sind.

4.2.2) Krieglach

In der Zeit vom 2. bis 6.5.1972 wurden von der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Messungen der Filtergeschwindigkeit und Strömungsrichtung des Grundwassers nach der Einbohrlochmethode im Bereich der damals geplanten, aber hernach nicht zur Errichtung gelangten Müllveraschungsanlage durchgeführt.

Die Pegel wurden mit einem Vibrationshammer hergestellt.

T A B E L L E 4

Filtergeschwindigkeit und Strömungsrichtungsmessungen
bei Krieglach

Pegel Nr.	Datum der Messung	Grundwasserspiegel unter ROK	Tiefe des Meßpunktes ab ROK m	V_f (10^{-5} m/s)	Strömungsrichtung Grade ab Nord	V_a m/d E = 20%
1	2.5.1972	1,96 m	3	18	190	62
			4	7	-	24
			5	4,5	210	15
2	3.5.1972	0,69 m	1,7	1,0	220	3,4
			2,7	*	-	
			3,7	*	-	
3	6.5.1972	1,40 m	2,4	50	210	172
			3,4	32	-	110
			4,4	22	130	76
4	6.5.1972	1,62 m	2,6	1,5	120	5
			3,6	2,3	-	8
			4,6	3,0	-	10
			5,6	17,0	70	58

(* kein über den natürlichen Zerfall hinausgehender Aktivitätsabfall)

$$V_f < 10^{-8} \text{ m/s}$$

Im Bericht ist der Durchmesser der Pegel nicht angegeben, doch kann auf Grund des verwendeten Bohrgerätes vermutet werden, daß er 2" betrug.

Zum Meßergebnis, das in Tabelle 4 dargestellt ist, wird bemerkt, daß die unterschiedlichen Fließrichtungen und Filtergeschwindigkeiten auffallen. Als Erklärung wird dafür neben der geringen Anzahl der Meßpunkte vor allem die erfahrungsgemäß großen Inhomogenitäten des Grundwasserleiters dieses alpinen Tales verantwortlich gemacht.

Der Pegel Nr. 2 liegt nur 12 m vom Bahndamm entfernt. Gerade hier können die auffallenden Ergebnisse des in geringer Tiefe gelegenen Meßpunktes (1,7 m) durchaus vom Damm beeinflusst sein; dies umsomehr, als die Strömungsrichtung annähernd parallel zum Bahndamm verläuft.

Weiters ist zu vermerken, daß zur Zeit der Messungen ein hoher Grundwasserstand herrschte, der vom 5.5.1972 bis zum 17.5.1972 noch um 25 cm anstieg.

Bei Pegel Nr. 2 befand sich der Wasserspiegel damals nur 0,3 m unter Geländeoberkante.

Eine Ermittlung der wahren Fließgeschwindigkeit auf Grundlage der Filtergeschwindigkeit wurde vom Arsenal nicht vorgenommen. Angaben über das Porenvolumen fehlen ebenfalls.

Um jedoch eine Vorstellung von der Größenordnung der Fließgeschwindigkeit zu geben, ist in der Tabelle eine Umrechnung auf die Abstandsgeschwindigkeit unter Verwendung von $E = 20\%$ aufgenommen.

Der Meßbereich liegt ca. 220 - 350 m von der Mürz entfernt in der holozänen Flur des Mürztales, in der eine Gesamtmächtigkeit des Aquifers von ca. 20 m zu vermuten ist. Die Meßpunkte verteilen sich sohin auf die obersten Teufen des sandig-kiesigen Aquifers.

4.2.3) Mitterdorf im Mürztal

Für die Planung der Ortsumfahrung von Mitterdorf im Mürztal durch die L 102 Veitscherstraße wurde eine Grundwasseruntersuchung im Auftrag der Fachabteilung IIc von H. FESSLER (1982) durchgeführt. Ziel dieser Untersuchung war die Abstimmung der Trassenführung auf den Schutz des Einzugsgebietes des Brunnens der kommunalen Wasserversorgungsanlage von Mitterdorf, der am linken Talrand des Mürztales östlich des Siedlungsgebietes liegt. Im Zuge dieser Untersuchung wurde auch ein Markierungsversuch unter Verwendung von 40 g Uranin ausgeführt.

Für diesen Markierungsversuch wurde ein Eingabepiegel von 2" NW und annähernd in einem Halbkreis 6 Pegel zur Probennahme mit unterschiedlichen Durchmessern (2" und 5/4") hergestellt. Die Distanzen vom Eingabepiegel zu den Probennahmepiegeln lagen zwischen 6,85 und 7,07 m. Eine erste Einspeisung des Farbstoffes führte zu keinem Ergebnis bzw. gelang es nicht, den Durchgang des Markierungsmittels über die angeführten Distanzen zu verfolgen. Da zwei der für die Probennahme vorgesehenen Pegel in einer Distanz von nur 1,18 m annähernd in der Strömungsrichtung lagen, wurde dort am 11.8.1982 ein weiterer Markierungsversuch mit Erfolg ausgeführt. Bei diesem Versuch gelang es, den Durchgang des Markierungsmittels nachzuweisen und hieraus eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von 8,09 m/d zu bestimmen. Weiters konnte nach dem Konzentrationsmaximum eine dominierende Abstandsgeschwindigkeit von 11,3 m/d ermittelt werden.

Im Zuge dieser Grundwasseruntersuchung wurden an einem dieser Pegel auch Kurzpumpversuche mit Fördermengen bis zu 1,7 l/s vorgenommen und die k_f -Werte bestimmt. Unter Verwendung der benachbarten Pegel ergaben sich für diesen Bereich k_f -Werte von 1,59 - 3,24 $\cdot 10^{-3}$ m/s. Weiters gestatteten für diesen Bereich angefertigte Grundwassergleichenpläne die Messung des Gefälles des Grundwasserspiegels, das gerade hier auf Grund der

Auswirkungen der Unterwassereintiefung einer Staustufe in der Mürz auf das Grundwasser versteilt ist. Bei Verwendung von $k_f = 3,24 \cdot 10^{-3}$ m/s, $J = 7,2$ ‰ und $E = 20$ ‰, ergibt sich eine Fließgeschwindigkeit von rund 10 m/d. Es ist dies ein Wert, der mit dem Ergebnis des Markierungsversuches eine gute Übereinstimmung zeigt.

Daß dieses große Spiegelgefälle nur für einen kleinen Talbereich charakteristisch ist, zeigt eine Grundwasseruntersuchung rechtsufrig der Mürz, talaufwärts des dortigen Siedlungsgebietes der Gemeinde Mitterdorf, wo diese Unterwassereintiefung nicht mehr wirksam ist. Dort wurde im Jahre 1982 eine Grundwassererschließung für die Errichtung eines zweiten Gemeindebrunnens ausgeführt und ebenfalls Grundwassergleichen entworfen. Aus einem mehrstufigen Dauerpumpversuch von 113 Stunden (11.- 17.5.1982), bei dem eine Förderleistung von maximal 50 l/s erzielt wurde, konnten für die einzelnen Förderstufen k_f -Werte unter Verwendung von 4 Peilrohren bestimmt werden. Unter Heranziehung des hieraus gemittelten k_f -wertes von $6,4 \cdot 10^{-3}$ m/s ergibt sich bei $J = 2,5$ ‰ und $E = 20$ ‰ eine Fließgeschwindigkeit von 6,9 m/d, die bei einer Vergrößerung des Gefälles auf 3,0 ‰ auf 8,2 m/d ansteigt.

4.2.4) Breitenfeld bei Wartberg

Im Auftrag der Firma Eisenwerke Breitenfeld Ges.m.b.H. wurden in der Zeit vom 10. - 15.12.1973 von der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Messungen der Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung des Grundwassers nach der Verdünnungsmethode durchgeführt, um Auskunft über das Einzugsgebiet eines flußabwärts des Werkes gelegenen Versorgungsbrunnens zu erhalten.

Hiezu wurden in der Nähe des Brunnens in der holozänen Flur 3

Pegel in der Anordnung eines hydrologischen Dreiecks im Schlagbohrverfahren hergestellt, die jedoch die Grundwassersohle nicht erreichten. Die Filtergeschwindigkeitsmessung erfolgte unter Verwendung von Technetium - 99 und brachte folgendes Ergebnis:

Bohrung	Datum	Wasser- spiegel ab GOK	Meß- tiefe ab GOK	V_f 10^{-5} m/s	V_a m/d E = 20 %
1	12.12.1973	3,73 m	5,38 m	5,0	21,6
2	13.12.1973	3,05 m	5,32 m	8,0	34,5
3	14.12.1973	0,33 m	1,20 m	0,2	0,86
			1,40 m	3,0	12,90
			2,40 m	0,5	2,16

Durch diese Messungen wurde unter Annahme einer durchschnittlichen Gesamtmächtigkeit des Aquifers von 20 m nur der oberste knapp unter dem Grundwasserspiegel gelegene, ca. 100 - 150 m von der Mürz entfernte Bereich erfaßt.

Die 3 in verschiedenen Teufen gewählten Meßpunkte lassen, wie für die quartäre Talfüllung des Mürztales typisch, ausgeprägte Inhomogenitäten des sandig-kiesigen Grundwasserleiters erkennen.

Die durchschnittliche Filtergeschwindigkeit ist auf Grund dieses Ergebnisses mit $5 \cdot 10^{-5}$ m/s angegeben. Bei Verwendung von E = 20 % ergibt sich eine wahre Fließgeschwindigkeit von rund 21,6 m/d für die Dimensionierung von Schutzgebieten, die auf die Beschleunigung im Absenkungstrichter Rücksicht nimmt. Hierbei ist der Wert für E nur angeschätzt und kann die Geschwindigkeit nur als Mittelwert aufgefaßt werden.

Da während der Messungen aus dem ca. 900 m von B 1 und 50 m von B 2 entfernten Brunnen rund 30 l/s gefördert wurden, könnten die in diesen beiden Pegeln gemessenen hohen

Fließgeschwindigkeiten darauf zurückgeführt werden. Dies würde bedeuten, daß den in B 3 gemessenen Fließgeschwindigkeiten für ungestörte Verhältnisse eher Bedeutung zukommt.

4.2.5) Mürzhofen

Im Jahre 1981 wurde für die Firma "Müscho" Ges.m.b.H. in der holozänen rechtsufrigen Flur des Mürztales zwischen Mürzhofen und Aumühl von der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, eine Messung der Filtergeschwindigkeit nach der Verdünnungsmethode durchgeführt. Diese Untersuchung erfolgte im Zuge eines wasserrechtlichen Ansuchens um Genehmigung einer Naßbaggerung. Hierzu stand ein Pegelrohr von 150 mm Durchmesser und 7,0 m Tiefe zur Verfügung, das mit Schlitzbrückenfilter versehen war. Der Ringraum des mittels eines Baggers hergestellten Pegels wurde mit Aushubmaterial aufgefüllt. Zur Zeit der Messung befand sich der Grundwasserspiegel ca. 5,60 m unter Terrain.

Die Messung ergab eine Filtergeschwindigkeit von $1,2 \cdot 10^{-4}$ m/s, wobei dieser Wert wahrscheinlich von der Auffüllung des Ringraumes beeinflusst ist. Unter Verwendung von $E = 20 \%$ ergibt sich eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von rund 51 m/d, die im Vergleich mit den übrigen Messungen im Mürztal unwahrscheinlich ist. Das Ergebnis wird hier wohl auf die Herstellungsweise des Pegels zurückzuführen sein, die folgendermaßen im zitierten Bericht der Bundes-Versuchsanstalt beschrieben ist:

"Mit einem Greifbagger wurde ein Schacht (1,5 - 2,0 m Ø) bis ca. 7,5 m ab GOK ausgehoben, das Filter- und Vollrohr zentrisch hineingestellt und der Ringraum mit Aushub verfüllt". Ein derartiger Pegel kann als ungeeignet zur Erfassung der natürlichen Verhältnisse im Grundwasserleiter mittels der Einbohrlochmetho-

de bezeichnet werden. Sicherlich stellt der mit unverdichtetem Aushubmaterial verfüllte Ringraum einen Bereich erhöhter Durchlässigkeit dar.

4.2.6) Kapfenberg - Oberpötschach

In der Zeit vom 16. 3. - 21.3.1974 wurden von der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, im Auftrag der Schotter-Erdbau Ges.m.b.H. & Co. KG im Mürztal bei Oberpötschach Messungen der Filtergeschwindigkeit und Strömungsrichtung des Grundwassers durchgeführt. Diese Messungen erfolgten für die wasserrechtliche Genehmigung einer Naßbaggerung im Hinblick auf die talabwärts gelegene Brunnenanlage der Stadtgemeinde Kapfenberg.

Von der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, wurden dafür 3 in der holozänen Flur gelegene Schlagbohrungen von 2" Verrohrungsdurchmesser hergestellt. Die Messungen nach der Verdünnungsmethode (Filtergeschwindigkeit) brachten folgendes Ergebnis:

Pegel Nr.	Datum der Messung	Grundwasserspiegel ab ROK	Tiefe des Meßpunktes ab ROK	V_f (10^{-4} m/s)
1	18.3.1974	1,16 m	3,20 m	2,5
			3,70 m	2,0
2	19.3.1974	2,65 m	3,00 m	1,0
			3,50 m	1,8
3	20.3.1974	3,04 m	3,45 m	0,5
			3,75 m	0,3

Im vorliegenden Bericht werden danach die Ergebnisse eingehend diskutiert. Die Abnahme der Filtergeschwindigkeit von Pegel 1 gegen den Bereich von Pegel 3 hin wird von der Topographie her erklärt. Während Pegel 1 im Bereich einer Talenge liegt, öffnet sich das Tal in Richtung zu Pegel 3. Weiters wird diese Zunahme der Filtergeschwindigkeit auch mit bevorzugten Wasserwegen im Grundwasserleiter im Bereich eines alten verlandeten Müzrarmes in Zusammenhang gebracht.

Da es im gegenständlichen Gutachten um die Sicherheit einer Brunnenanlage geht, wird nun adäquat zur Vorgangsweise bei der Festlegung von Brunnenschutzgebieten die Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers zur Beurteilung der Verweildauer ermittelt. Hierzu wird ein effektives Porenvolumen von 25 % und eine mittlere V_f von $4 \cdot 10^{-5}$ m/s (für B 3) verwendet, woraus sich eine Abstandsgeschwindigkeit von 13,8 m/d ergibt. Es soll dabei aber ausdrücklich vermerkt werden, daß der Porenraum nicht an Bodenproben festgestellt wurde, sondern nur geschätzt wurde. In gleicher Weise gelangt man unter Verwendung des arithmetischen Mittels der V_f -Werte aller Meßpunkte ($V_f = 1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s) zu einer Abstandsgeschwindigkeit von rund 50 m/d. Auf Grund dieses Ergebnisses scheint die Mittelwertbildung und ihre Anwendung auf größere Talbereiche nicht angebracht. Die unterschiedlichen Meßergebnisse sollten daher nur als Hinweise auf starke Inhomogenitäten des Grundwasserleiters aufgefaßt werden. Extremwerten kommt hierbei nur eine geringe Verbreitung zu.

4.3.) Die Messungen in Seitentälern

4.3.1) Söding

Im Tale des Södingbaches wurden vom Wasserverband Söding-Lieboch im Jahre 1977 Grundwasseruntersuchungen zur Projektierung

eines Brunnens durchgeführt, in deren Rahmen am 12.2.1977 von H. ZOJER ein Markierungsversuch zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers im Bereich der holozänen Flur des Södingtales vor der Ausmündung in das Kainachtal vorgenommen wurde.

Die Mächtigkeit des Aquifers ist hier nicht bekannt, doch dürfte sie nach Vergleichen mit Bohrungen in ähnlichen Talabschnitten nur wenig über 6 m betragen.

Für diesen Versuch wurden in einem Kreissektor 8 Sonden von 5 - 6 m Tiefe hergestellt und in eine dazu zentral gelegene Bohrung 40 g Uranin eingebracht (Einspeisung 12.2.1977, 9.00 - 9.25 Uhr). Die Probennahme erfolgte regelmäßig und wurde am selben Tag um 16.00 Uhr abgeschlossen. Die Farbkonzentration wurde im Labor mit einem Spektralphotometer festgestellt. Nur an zwei Sonden wurde ein Farbdurchgang beobachtet, wobei sich eine Fließrichtung fast genau nach Osten ergab. Aus dem Konzentrations-Zeitdiagramm konnte bei einer Sondendistanz von 3,45 m eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von 13,8 m/d ermittelt werden. Der Durchgang des Konzentrationsmaximums konnte ungefähr 6 Stunden nach der Einspeisung beobachtet werden. Der erste Nachweis des Farbstoffes gelang bereits 3 Stunden nach der Einspeisung, so daß die maximale Fließgeschwindigkeit ca. 27,6 m/d, beträgt.

4.3.2) Kerschbaum bei St. Peter im Sulmtal

Bei Grundwasseruntersuchungen des Referates für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung im Tal der Schwarzen Sulm wurde an einer Versuchsbohrung westlich der Ortschaft Kerschbaum (Gemeinde St. Peter im Sulmtal) in der holozänen Flur rechtsufrig, ca. 100 m vom Fluß entfernt, ein Dauerpumpversuch (vom 19. - 24.3.1974) mit einer maximalen Fördermenge von 3,36 l/s durch-

geführt. Für diesen Pumpversuch wurden 8 Pegelrohre hergestellt, die am 14.3.1974, also noch vor Beginn des Pumpversuches, auch für einen Markierungsversuch mit Uranin (100 g) zur Messung der Abstandsgeschwindigkeit Verwendung fanden.

Über diesen Markierungsversuch berichtet H. ZETINIGG (1978), daß am Tage der Versuchsdurchführung 3, ursprünglich in der Strömungsrichtung gelegene Sonden, durch eine inzwischen erfolgte Lageänderung des Grundwasserspiegels um ca. 25° verschwenkt waren. Trotz dieser ungünstigen Anordnung und der geringen Zahl der hierfür verwendbaren Pegel zeigte sich in einem vierten ein Durchgang des Markierungsmittels.

Die zugehörige Konzentrations-Zeitkurve weist ausgeprägte Folgemaxima auf, die sohin auf zwei Ursachen zurückgeführt werden können. Es ist dies einerseits die starke Inhomogenität des Grundwasserleiters, die durch das Profil dieser, sowie anderer Bohrungen in diesem Talabschnitt belegt ist. Andererseits mag wohl auch die zuvor erwähnte Änderung der Strömungsrichtung eine Rolle gespielt haben. Aus dem beobachteten Durchgang des Markierungsmittels über eine Distanz von 10 m ergibt sich eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von 11 m/d und eine maximale Abstandsgeschwindigkeit von 16 m/d.

Aus dem Pumpversuch konnte ein k_f -Wert von $1,8 \cdot 10^{-4}$ m/s ermittelt werden. Wird aus diesem k_f -Wert nun unter Verwendung von $J = 1 \%$ und $E = 15 \%$ eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit ermittelt, so zeigt diese mit rund 1 m/d keine Übereinstimmung mit dem Ergebnis des Markierungsversuches. Der niedere Wert von $E = 15 \%$ wird hier auf Grund des hohen Feinkornanteiles des Grundwasserleiters gewählt.

Eine Erklärung hierfür könnte die labormäßige k_f -Untersuchung der gestörten Bodenproben bieten, die nachfolgendes Ergebnis zeigt:

Entnahmetiefe der Bodenprobe	k_f -Wert
4,60 - 6,50 m u.T.	$2,7 \cdot 10^{-3}$ m/s
6,50 - 7,90 m u.T.	$5,0 \cdot 10^{-4}$ m/s
7,90 - 9,50 m u.T.	$1,1 \cdot 10^{-4}$ m/s

Während die Bodenproben aus dem unteren Teil des Grundwasserleiters einen mit dem Ergebnis des Pumpversuches annähernd übereinstimmenden k_f -Wert aufweisen, ist der des oberen Teiles wesentlich günstiger.

Da der Markierungsversuch schon auf Grund der geringen Tiefe des Eingabepegels (5,3 m) aber auch des Pegels (5,3 m), in dem der Durchgang des Markierungsmittels nachgewiesen wurde, nur den oberen Teil des Grundwasserkörpers betraf, so scheint es vertretbar, für die vergleichende Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeit, den k_f -Wert von $2,7 \cdot 10^{-3}$ m/s heranzuziehen.

Für diesen Bereich kann weiters E mit 20 % geschätzt werden, so daß bei gleichem I die mittlere Abstandsgeschwindigkeit 11,6 m/d beträgt.

Nur unter Einschränkung der Gültigkeit auf den oberen Teil des Grundwasserleiters, bzw. den Bereich unmittelbar unter dem Grundwasserspiegel, läßt sich hier eine Übereinstimmung der Untersuchungsergebnisse konstatieren.

Dies bedeutet aber, daß in den tieferen Bereichen des Grundwasserleiters andere Verhältnisse bzw. wesentlich geringere Fließgeschwindigkeiten herrschen.

4.3.3) Pölfing - Brunn

Die Gemeinde Pölfing-Brunn errichtete als Wasserspender für ihre zentrale Wasserversorgungsanlage einen 3,6 m tiefen Schachtbrunnen im Tal der Schwarzen Sulm in nur 35 m Entfernung vom Fluß. Für die Abgrenzung der Brunnenschutzgebiete wurde im Zuge der Grundwassererschließung im Jahre 1969 von J. ZÖTL ein Markierungsversuch zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers durchgeführt und auf Grund der Ergebnisse eine Entkeimungsanlage errichtet.

Für diesen Versuch wurden im Umkreis des in der holozänen Flur mit einer Mächtigkeit des Aquifers ca. 3 - 3,5 m gelegenen Brunnens drei Sonden hergestellt und die Fließrichtung des Grundwassers bestimmt. Danach wurden vier weitere Sonden in einem Abstand von jeweils 1,6 m von der Einspeisungs-sonde, also in einem Kreissektor, für die Probennahme abgeteuft.

Zum Zeitpunkt des Versuches, dem 2.4.1969, zog das Grundwasser in einem nicht ausgeprägt spitzen Winkel zur Sulm, so daß eine Exfiltration angenommen werden mußte. Das Gefälle des Grundwasserspiegels war damals mit 4,5 ‰ außerordentlich hoch.

Nach der Einspeisung von Uranin um 9,30 Uhr wurden bis 11,00 Uhr regelmäßig Proben entnommen und im Labor untersucht.

Bei einer Sonde konnte auf Grund des Farbdurchganges eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von rund 38 m/d ermittelt werden.

Diese Sonde lag damals genau in der durch die Grundwassergleichen ausgewiesenen Strömungsrichtung. Die maximale Abstandsgeschwindigkeit konnte auf Grund der Intervalle der Probennahme nicht bestimmt werden. Die hohe mittlere Fließgeschwindigkeit wurde von J. ZÖTL auf das starke Gefälle des Grundwasserspie-

gels und auf günstige k_f -Werte des Grundwasserleiters zurückgeführt.

Weiters wurde das Meßergebnis nur für die unmittelbare Umgebung des Brunnens als gültig bezeichnet und auf die starken Inhomogenitäten des Grundwasserleiters hingewiesen.

4.3.4) Seegraben südlich Seewiesen

Im Zuge der Grund- und Karstwasseruntersuchungen im südlichen Hochschwabgebiet wurde von E. FABIANI (1980) im Seegraben südlich von Seewiesen ein Markierungsversuch durchgeführt. Südlich von Seewiesen durchbricht der Seegraben in einer Engstrecke mit nur 120 - 200 m Breite eine Folge von Wettersteindolomit, Reingrabner Schiefer und Aflenzer Kalk. Dieser Talabschnitt mit einem Gefälle von 2,5 % folgt unmittelbar auf das glazial übertiefte Becken des Seetales, das von Seewiesen gegen Westen zieht.

Hier besitzen die grundwasserführenden Lockerablagerungen, wie durch zwei Bohrungen (BS 1 und 2) nachgewiesen ist, nur mehr eine Mächtigkeit von 30 - 35 m. Weiters befindet sich in diesem Durchbruchstal talabwärts der beiden Bohrungen mehrere Quellen, die in den Versuch einbezogen wurden.

Die Eingabe von 1,5 kg Uranin erfolgte am 17.8.1976 in die Bohrung BS 2 (34 m tiefe Verrohrung, 400 mm \emptyset). Die Probennahme erfolgte aus der 60 m talabwärts gelegenen Bohrung BS 1 (Gesamttiefe 75 m nur im Bereich der Lockergesteine bis 34 m Tiefe verrohrt mit 5" \emptyset) sowie aus insgesamt 7 Quellen, die zwischen 500 m und 800 m talabwärts der Eingabestelle liegen. In der Bohrung BS 1 konnte in 25 m Tiefe bereits nach einer Stunde erstmalig Farbstoff nachgewiesen und nach zwei Stunden

das Konzentrationsmaximum eines zweiten Farbdurchganges festgestellt werden. Aus diesem zweiten Konzentrationsmaximum ergibt sich eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von 240 m/d. Für die rund 500 m talabwärts gelegene Quelle (MÜ 2) konnte sodann eine Abstandsgeschwindigkeit von 550 m/d ermittelt werden.

An der Bohrung BS 2 wurde in der Zeit vom 13. bis 25.2.1976, also noch vor dem Markierungsversuch, ein dreistufiger Pumpversuch durchgeführt, bei dem nur in der ersten Stufe mit 16 l/s ein Beharrungszustand erzielt werden konnte. Bei den weiteren Stufen mit 42 l/s und 50 l/s konnte dieser nicht mehr erreicht werden. Aus diesem Pumpversuch wurden sodann k_f -Werte von $6 \cdot 10^{-4}$ (1.Stufe), $6 \cdot 10^{-4}$ (2.Stufe) und $3 \cdot 10^{-4}$ (3.Stufe), bzw. ein Mittel von $4 \cdot 10^{-4}$ m/s errechnet. Gleichzeitig konnte auch festgestellt werden, daß die ca. 500 m tababwärts aus dem Talboden entspringenden Quellen rasch durch einen Schüttungsrückgang auf den Pumpversuch reagierten.

Diesem Ergebnis des Pumpversuches steht nun der Markierungsversuch gegenüber, dem k_f -Werte von $2 \cdot 10^{-2}$ bis $5 \cdot 10^{-2}$ m/s entsprechen würden. Es wurde der Schluß gezogen, daß die hohe Fließgeschwindigkeit auf wenige, besonders durchlässige Schichten in Basisnähe (Grundwassersohle) beschränkt ist. Überdies war das Ergebnis des Pumpversuches wahrscheinlich durch im Grundwasserleiter verbliebene Reste der Bohrspülung (Dickspülung) beeinträchtigt. Wird weiters der durchströmte Talquerschnitt von ca. 1100 m^2 , der bei einem k_f -Wert von $4 \cdot 10^{-4}$ m/s, bzw. einer $V_f = 0,7 \text{ m/d}$ ($8 \cdot 10^{-6}$ m/s) nur den Durchfluß von 10 l/s gestatten würde, in Betracht gezogen, dem immerhin eine Fördermenge von 16 l/s beim Beharrungszustand (1.Stufe des Pumpversuches) und zumindest teilweise die Schüttung der Quellen gegenübersteht, so werden auch hiedurch die obigen Schlußfolgerungen gestützt.

Die Messung der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers in diesem Alpental, einem Seitental der Mürz, diente in erster Linie zur Überprüfung der aus dem Pumpversuch ermittelten Durchlässigkeitsverhältnisse des Grundwasserleiters, da diese im Hinblick auf die geförderten Wassermengen zu ungünstig erschienen. Tatsächlich weist auch das Ergebnis des Markierungsversuches in Übereinstimmung mit den beiden Bohrprofilen auf einen sehr inhomogenen Grundwasserleiter hin.

Dieses Ergebnis ist aber nicht als überraschend anzusehen, sondern bestätigt nur die bisherigen Erfahrungen mit derartigen Tälern.

5. BEMERKUNGEN ZUM EFFEKTIVEN PORENVOLUMEN

Dem effektiven Porenvolumen kommt zur Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeit nach der Beziehung $V_a = \frac{V_f}{E}$ größte Bedeutung zu. Die zahlreichen Meßwerte, die mittels der Einbohrloch- oder Verdünnungsmethode gewonnen werden, aber auch alle Ermittlungen mit Hilfe des k_f -wertes und des Grundwasserspiegelgefälles, lassen nur dann gute, bzw. richtige Ergebnisse erwarten, wenn das effektive Porenvolumen bekannt ist. Diesbezüglich liegen jedoch für das Mur- und Mürztal keine speziellen Untersuchungen vor. Lediglich allgemein gehaltene Hinweise, wie der von A. THURNER (1967), daß das Porenvolumen in den hier behandelten Bereichen zwischen 20 und 30 % liegt, sind auffindbar. Es scheint daher notwendig, dieser Frage mehr Aufmerksamkeit zu widmen.

Natürlich wurden im Zuge der zahlreichen Grundwassererschließungen im Mur- und Mürztal bei der labormäßigen Untersuchung der Bodenproben neben der Kornverteilung auch die Porenvolumina bestimmt. Zu den auf diese Weise gewonnenen Werten scheint jedoch eine kritische Bemerkung angebracht. Die Aufschlußbohrungen zur Gewinnung der Bodenproben wurden - wie in derartigen als Schotter bezeichneten Lockergesteinen üblich - durchwegs im Schlagbohrverfahren ausgeführt. Dies bedeutet, daß die Bodenprobe mittels Kiesbüchse oder Greifer aus dem Bohrloch gefördert wird. Sobald nun die Bohrung im Bereich der Grundwasserführung angelangt ist, werden bei dieser Art ihrer Gewinnung die Feinteile ausgespült und es findet sozusagen bereits eine Fraktionierung von Korngrößen statt. Es stehen daher für die Untersuchung im Labor nur "gestörte Bodenproben" zur Verfügung, die entweder nach den obigen Darlegungen zu wenig Feinkorn, oder nach längeren Stehzeiten, wenn sich das Feinkorn auf der Bohrlochsohle absetzen kann, zuviel Feinkorn aufweisen. Bei der Schlagbohrung ist es daher schwierig - und viel-

fach unmöglich - repräsentative Bodenproben, die alle Kornfraktionen im richtigen Verhältnis aufweisen, zu gewinnen. Weiters darf nicht vergessen werden, daß die in der Natur vorgegebene Lagerungsdichte bei der Untersuchung dieser gestörten Bodenproben im Labor kaum reproduzierbar ist. Überdies handelt es sich hier auf Grund der Vorgangsweise bei der Bestimmung des Porenvolumens im Labor, wie B. HÖLTING (1980) ausdrücklich feststellt, um das Gesamtvolumen. Zu dieser Aussage soll die Vorgangsweise der Untersuchung, wie sie B. HÖLTING (1980) beschreibt, wiederholt werden. Zur Bestimmung des Porenvolumens wird eine getrocknete und abgewogene Probenmenge in einen Behälter gelegt, randvoll mit Wasser gefüllt und schließlich diese wassergefüllte Probe wieder gewogen.

Aus allen diesen Gründen soll hier von einer Betrachtung der zahlreichen Ergebnisse von Laboruntersuchungen derartiger Bodenproben aus dem Grundwasserleiter des Mur- und Mürztales abgesehen werden und versucht werden, auf andere Art einen Beitrag zu dieser Frage zu leisten.

Vorausgehend soll in Erinnerung gerufen werden, daß das Porenvolumen als offener Hohlraumgehalt einer bestimmten Raumeinheit der jeweiligen Lockermasse nur angibt, wieviel Wasser insgesamt aufgenommen werden kann. Die Abgabefähigkeit ist demgegenüber aber geringer und hängt wesentlich von der Porengröße ab, da mit abnehmender Porengröße die Reibungswiderstände zunehmen. Dadurch bleibt ein immer größerer Teil des Wassers als Haft- und Porenwinkelwasser an den Körnern haften. Der nutzbare Hohlraumgehalt oder das "wirksame Porenvolumen" (E) nimmt daher mit der Zunahme des Feinkornanteiles ab, obwohl das absolute Porenvolumen sich vergrößert. So gibt z.B. B. HÖLTING (1980) für Lockergesteine folgende nutzbare oder effektive Porenvolumina an:

Ton	< 5 %
Feinsand	10 - 20 %
Mittelsand	12 - 25 %
Grobsand	15 - 30 %
kiesinger Sand	16 - 28 %
Feinkies	15 - 25 %
Mittelkies	14 - 24 %

Um eventuell vorhandene gesetzmäßige Abhängigkeiten des effektiven Porenvolumens vom k_f -Wert eines Lockergesteins-Grundwasserleiters nachweisen zu können, wurden von G. MAROTZ (1968) verschiedenartig aufgebaute körnige Mineralmassen im Labor systematisch untersucht. Die hierzu verwendeten Bodenproben wurden aus natürlichen Sanden nach Aufbereitung in 9 Kornfraktionen wieder systematisch zu 22 Korngemischen zusammengesetzt. Es zeigte sich dabei, daß ein effektives Porenvolumen von 33 % praktisch den Grenzwert nach oben darstellt, der auch bei größerem Material kaum wesentlich überschritten wird. Fällt das Kleinstkorn der Probe unter 0,2 mm Durchmesser, so sinkt das effektive Porenvolumen unter 15 % ab. Weiters konnte G. MAROTZ für den Zusammenhang vom k_f -Wert mit dem effektiven Porenvolumen die logarithmische Gleichung

$$E_{[\%]} = 46,2 + 4,5 \ln k_f \quad [\text{m/s}]$$

finden.

In der Folge soll aus k_f -Werten, die durch längere Pumpversuche im Mur- und Mürztal gewonnen wurden, nach der zuvor erwähnten Beziehung von G. MAROTZ (1968) das effektive Porenvolumen ermittelt werden. Dabei soll mit Untersuchungsgebieten begonnen werden, die einen Vergleich mit Meßwerten der Abstandsgeschwindigkeit aus Markierungsversuchen gestatten. Das effektive Porenvolumen wird zum Zweck des Vergleiches zusätzlich nach der Beziehung

$$E = \frac{k_f \cdot J}{V_a}$$

festgestellt. Treten in den Ergebnissen große Diskrepanzen auf, so wird versucht, diese auf Grund der örtlichen hydrogeologischen Verhältnisse zu erklären, bzw. herauszufinden, welchem Ergebnis größere Wahrscheinlichkeit zukommt.

In Lind bei Knittelfeld wurde, wie in Abschnitt 4.1.1) bereits dargelegt, aus einem Dauerpumpversuch ein k_f -Wert von $6,5 \cdot 10^{-3}$ m/s abgeleitet. Diesem würde nach der Beziehung von G. MAROTZ (1968) ein $E = 23,5 \%$ entsprechen. Unter Verwendung von $J = 3,8 \%$ und V_a mittel = 10 - 14 m/d ergeben sich nach der zweiten Beziehung gerundete effektive Porenvolumina von 15 - 21 %. Geht man davon aus, daß der Markierungsversuch nach der Tiefe der verwendeten Pegelrohre nur für den hangendsten Teil des Grundwasserleiters Gültigkeit hat, demgegenüber aber der k_f -Wert aus einem Pumpversuch an einem vollkommenen Brunnen stammt, so kann eine genaue Übereinstimmung auf Grund der Inhomogenität des Grundwasserleiters nicht erwartet werden. Es ist sohin anzunehmen, daß den beiden obgenannten Werten nur bereichsweise Gültigkeit zukommt und der untersuchte Grundwasserleiter effektive Porositäten aufweist, die zumindest zwischen 15 und 23 % liegen.

Da vom Untersuchungsbereich bei Preßnitz (Abschnitt 4.1.3) zahlreiche Meßergebnisse vorliegen, soll auch für diesen ein derartiger Vergleich versucht werden. Ausgehend von dem, aus dem Pumpversuch ermittelten $k_f = 2,0 \cdot 10^{-3}$ m/s, dem nach G. MAROTZ (1968) $E = 18 \%$ entspricht und einem J von 3,1 %, ergibt sich hieraus eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von rund 3 m/d. Dieser Wert liegt somit um eine Zehnerpotenz niedriger als das Ergebnis des Markierungsversuches mit 25 m/d. Da Messungen der Vertikalströmung in dieser Versuchsbohrung gezeigt haben, daß nur kurze Teufenabschnitte des erschlossenen Grundwasserleiters einen wesentlichen Anteil an der Fördermenge besitzen (75 % der Fördermenge stammen aus dem Teufenabschnitt von 5 - 6 m) wurde eine zweite Auswertung des Pumpversuches von H. NOVAK (1976) unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Vertikalströmungsmessung vorgenommen und hieraus ein k_f -Wert von $3,3 \cdot 10^{-2}$ m/s be-

stimmt. Diesem k_f -Wert entspricht nach der Beziehung von G. MAROTZ (1968) ein E von 31 %. Es muß sohin angenommen werden, daß sich der Teufenabschnitt 5 - 6 m durch besonders gute Durchlässigkeiten auszeichnet, die sich in dem großen Beitrag zur Gesamtfördermenge manifestieren. Unter Verwendung dieser Werte für die Ermittlung der mittleren Abstandsgeschwindigkeit ergeben sich 30 m/d. Dieser Wert stimmt mit dem Ergebnis des Markierungsversuches von 25 m/d annähernd überein. Die gute Vergleichbarkeit verwundert nicht, wenn die Tiefe der für den Markierungsversuch verwendeten Pegel in Betracht gezogen wird. Mit einer Tiefe von 5 - 6 m erreichten die Pegel gerade den besonders durchlässigen Teufenbereich. Die hohe effektive Porosität von 31 % muß in diesem Falle jedoch schon auf Grund der geringen Mächtigkeit des hiedurch ausgezeichneten Teufenabschnittes des Grundwasserleiters als Ausnahme gewertet werden. Für die übrigen Teufenabschnitte ist die effektive Porosität entsprechend niedrig anzuschätzen und dürfte zwischen 10 und 15 % liegen.

Auch die Ergebnisse der Grundwasseruntersuchung nördlich von Fernitz (Abschnitt 4.1.12) sollen in gleicher Weise behandelt werden. Aus diesem Bereich stehen folgende Meßwerte zur Verfügung: $k_f = 1,75 \cdot 10^{-3}$ m/s, $J = 5$ %, V_a 6,5 und 9,6 m/d.

Nach G. MAROTZ (1968) ergibt sich aus obigem k_f -Wert ein effektives Porenvolumen von 17,5 % und bei Verwendung von $V_a = 6,5$ m/d, jedoch nur ein solches von 11,5 %, bzw. ein noch geringeres für $V_a = 9,6$ m/d. Da hier keine Messung der Vertikalströmung in der Versuchsbohrung durchgeführt wurde, ist eine Berücksichtigung der Inhomogenitäten des Grundwasserleiters nicht möglich. Es kann daher nur der Schluß gezogen werden, daß die effektive Porosität im untersuchten Bereich teilweise unter 17,5 % absinkt. Hiezu kann auch auf einen hohen Feinkornanteil im Grundwasserleiter verwiesen werden.

Verwendet man daher $E = 15$ % sowie die zuvor angeführten Werte

für k_f und J , so ergibt sich hieraus eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von 5 m/d, die an den Mittelwert von 6 m/d nahe herankommt. Die durchgeführten Vergleiche der einzelnen Meßwerte läßt die Annahme berechtigt erscheinen, daß das effektive Porenvolumen im untersuchten Bereich bei 15 % liegt.

Die vielen Untersuchungsergebnisse aus dem westlichen Grazerfeld gestatten es auch, in diesem Bereich Vergleiche zwischen den einzelnen Meßwerten im Hinblick auf die effektive Porosität anzustellen. Nordwestlich von Kalsdorf (Abschnitt 4.1.13) wurden zwei Markierungsversuche in kurzen zeitlichen Abständen an den gleichen Sonden ausgeführt und mittlere Abstandsgeschwindigkeiten von 2,6, weiters 3,6 und 4,5 m/d gemessen. Für diesen Bereich läßt sich auf Grund der Erfahrungen im Grazerfeld der k_f -Wert mit $3 - 6 \cdot 10^{-3}$ m/s anschätzen. Das Spiegelgefälle des Grundwassers kann einem Plan der Grundwassergleichen des Untersuchungsgebietes entnommen werden und beträgt ca. 2,6 ‰. Für die angeführten k_f -Werte ergeben sich nach der Beziehung von G. MAROTZ (1968) effektive Porenvolumina von 20 - 23 %. Unter Verwendung von $k_f = 4,5 \cdot 10^{-3}$ m/s, $J = 2,6$ ‰ und $V_a = 4,5$ m/d kann E mit 22,5 % als übereinstimmender Wert gefunden werden. Bei Verwendung der zuvor angeführten niedrigeren Abstandsgeschwindigkeiten steigt das effektive Porenvolumen nach der verwendeten Beziehung in einem nicht mehr real erscheinenden Ausmaße an.

Die Grundwasseruntersuchungen im Bereich der linken Talseite östlich von Mitterdorf im Mürztal (Abschnitt 4.2.3) gestatten ebenfalls eine vergleichende Betrachtung zur Feststellung des effektiven Porenvolumens. Neben einer durch einen Markierungsversuch gemessenen V_a von 8 m/d wurden durch Absenkversuche in mehreren Pegelrohren k_f -Werte von $1,59 - 3,24 \cdot 10^{-3}$ m/s bzw. im Mittel von $2,57 \cdot 10^{-3}$ m/s festgestellt. Nach der Beziehung von G. MAROTZ (1968) ergeben sich hieraus effektive Porenvolumina

von rund 17 - 20 %. Bei der Ermittlung aus obigen k_f -Werten sowie aus $J = 7,2 \%$ und $V_a = 8 \text{ m/d}$ ergeben sich effektive Porenvolumina von rund 12 bis 25 %. Hier ist im Hinblick auf die Untersuchungsergebnisse anderer Talabschnitte dem Ergebnis nach der Beziehung von G. MAROTZ (1968) als Mittelwert größere Wahrscheinlichkeit zuzumessen.

Zusammenfassend ergeben sich aus diesen Versuchen durch den Vergleich von den bei Pumpversuchen gewonnenen Parametern k_f und J mit den durch Markierungsversuche gemessenen mittleren Abstandsgeschwindigkeiten effektive Porenvolumina zu bestimmen, folgende Werte:

Lind bei Knittelfeld	(4.1.1)	E = 15 - 23 %
Fernitz	(4.1.12)	E = ca. 15 %
Kalsdorf (Nord)	(4.1.13)	E = 20 - 23 %
Mitterdorf i.M. (linksufrig der Mürz)	(4.2.2)	E = 17 - 20 %

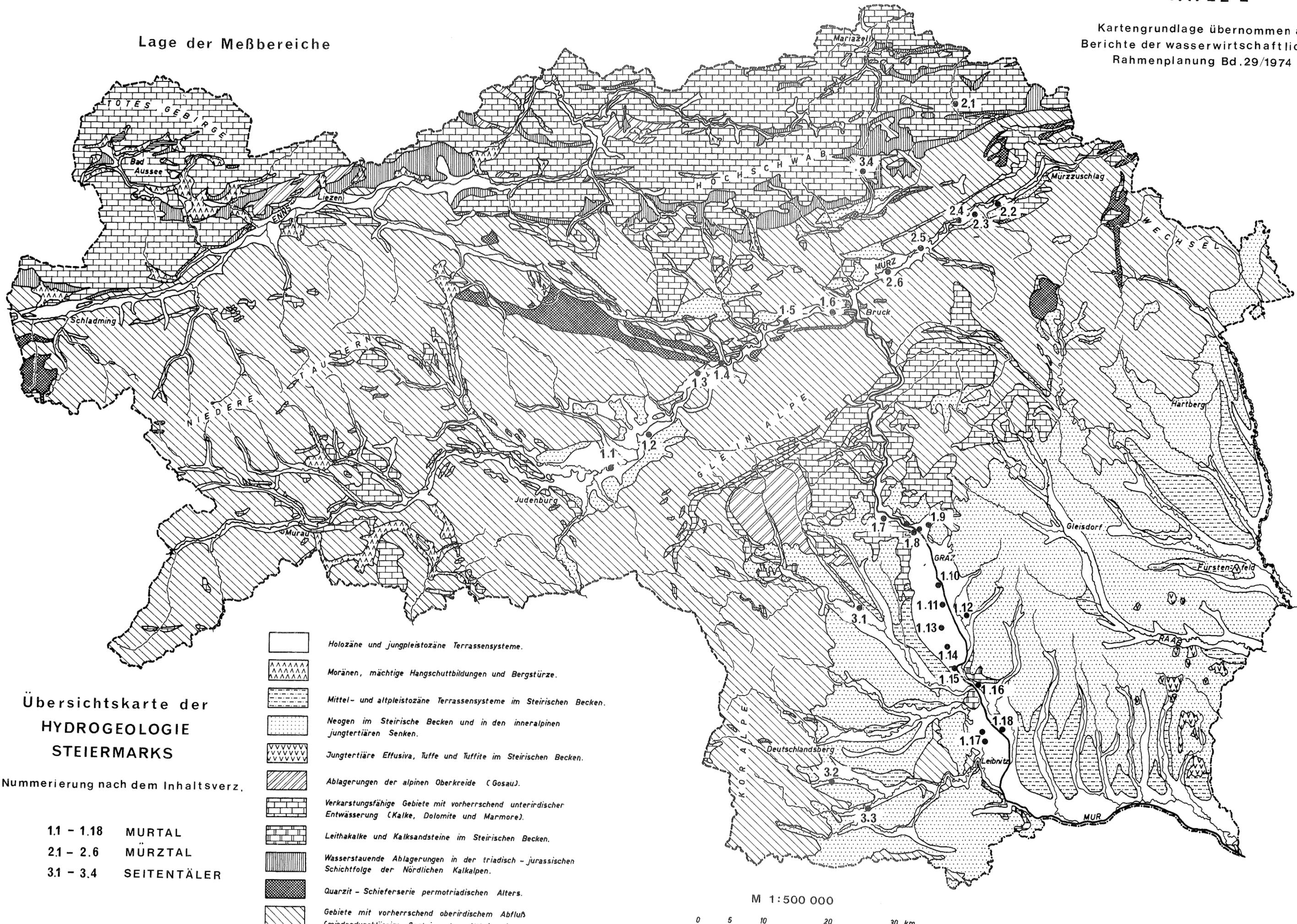
Da aus einigen anderen Versuchsgebieten zwar keine Abstandsgeschwindigkeit, aber immerhin aus Pumpversuchen gewonnene k_f -Werte vorliegen, werden diese für eine Ermittlung des effektiven Porenvolumens nach der Beziehung von MAROTZ (1968) herangezogen, woraus sich folgende Werte ergeben:

St. Michael i.O.	(4.1.4)	$k_f = 5,7 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$	E = 33,3	%
Niklasdorf	(4.1.5)	$k_f = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	E = 23,5	%
Judendorf	(4.1.7)	$k_f = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	E = 15,1	%
Kalsdorf Süd	(4.1.14)	$k_f = 3-6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	E = 20-23,1	%
Mitterdorf i.M.	(4.2.2)	$k_f = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	E = 23,4	%

Abgesehen von dem besonders günstigen k_f -Wert der Versuchsbohrung in St. Michael, liegen die Ergebnisse aller Ermittlungen zwischen 15 und 23 %. Für vergleichbare Talbereiche bzw. Grundwasserleiter der Schweiz gibt R.V. BLAU (1978) ein effektives Porenvolumen von 15 - 25 % an. Es kann sohin eine gute Überein-

stimmung festgestellt werden. Für weitere Ermittlungen der Abstandsgeschwindigkeit aus den mittels der Einbohrlochmethode gemessenen Filtergeschwindigkeiten kann daher für vergleichbare Talabschnitte im Mur- und Mürztal die Verwendung eines Porenvolumens von 15 - 25 % vorgeschlagen werden. Hierbei sollte jedoch auf das Bohrprofil und auch auf allfällige im Labor gemessene Gesamtporenvolumina, obwohl es sich um gestörte Bodenproben handelt, da sie zumindest eine obere Grenze angeben, Rücksicht genommen werden. Mit Ausnahme ist - wie die Untersuchungen bei Preßnitz zeigen - sicherlich häufig zu rechnen.

Lage der Meßbereiche



Übersichtskarte der
HYDROGEOLOGIE
STEIERMARKS

Nummerierung nach dem Inhaltsverz.

- 1.1 - 1.18 MURTAL
- 2.1 - 2.6 MÜRZTAL
- 3.1 - 3.4 SEITENTÄLER

-  *Holozäne und jungpleistozäne Terrassensysteme.*
-  *Moränen, mächtige Hangschuttbildungen und Bergstürze.*
-  *Mittel- und altpleistozäne Terrassensysteme im Steirischen Becken.*
-  *Neogen im Steirische Becken und in den inneralpinen jungtertiären Senken.*
-  *Jungtertiäre Effusiva, Tuffe und Tuffite im Steirischen Becken.*
-  *Ablagerungen der alpinen Oberkreide (Gosau).*
-  *Verkarstungsfähige Gebiete mit vorherrschend unterirdischer Entwässerung (Kalke, Dolomite und Marmore).*
-  *Leithakalke und Kalksandsteine im Steirischen Becken.*
-  *Wasserstauende Ablagerungen in der triadisch - jurassischen Schichtfolge der Nördlichen Kalkalpen.*
-  *Quarzit - Schieferserie permotriadischen Alters.*
-  *Gebiete mit vorherrschend oberirdischem Abfluß*

M 1:500 000

0 5 10 20 30 km

6. LITERATURVERZEICHNIS

Albrecht, J. u. Suckow, H.M., Methoden zur Erfassung von Fließvorgängen im Grundwasser als Grundlage der Ermittlung von Schutzgebieten. - Beih.Ber.Naturh.Ges.5, Keller Festschrift, S 75 - 92, Hannover 1968.

Arbeiter, I., Systematische Grundwasserbeobachtung in der Steiermark. - Mitt.Abt.Geol.Paläont.Bergbau, Landesmus.Joanneum, H 39, S 15 - 33, 1 Taf., 3 Abb., Graz 1978.

Arbeiter, I., Ergebnisse aus der Grundwasserbeobachtung im Murtal zwischen Knittelfeld und Zeltweg. - Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, Bd 52, S 1 - 16, 6 Tab., 13 Taf., Graz 1980.

Bernhart, L. et al., Generalplan der Wasserversorgung Steiermarks (Entwurfsstand 1973). - Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, Bd 29, 206 S, 25 Taf., Graz 1974.

Bernhart, L. u. Pirkner, K., Wasserversorgung für das Umland von Graz. - Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, Bd 35, 80 S, 2 Abb., Graz 1977.

Beyer, W., Die Erfassung von Grundwasserfließvorgängen mittels Farbstoffen in Verbindung mit Pumpversuchen. - Zeitschr. angew. Geol., Bd 10, H 6, S 3 - 6, Berlin 1964.

Beyer, W., Zur Analyse der Grundwasserfließbewegung. - Wiss.Z. Techn.Univ.Dresden, Bd 16, 4, S 1043 - 1048, Dresden 1967.

Blau, R.V., JAH Regional Meeting Trinkwasser - Schutzgebiete. Die schweizerische Wegleitung zur Ausscheidung von Trinkwasserschutzgebieten. - Unveröffentl. Rundschreiben, 4 S, Basel 1978.

Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Bericht über Messungen der Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit in den Aufschlußbohrungen Puntigam I und II. - Unveröffentl., 4 S, 2 Beil., Wien 1966.

Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Bericht über die Bestimmung der Fließrichtung und Geschwindigkeit in einem Schachtbrunnen in Graz - Andritz. - Unveröffentl., 4 S, 2 Beil., Wien 7.3.1967.

Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Bericht über Bestimmung der Verweildauer des Grundwassers in Schottergruben im Raume nördlich Leibnitz. - Unveröffentl., 6 S, 6 Fig., Wien 27.Juli 1967.

Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Die Bestimmung der Fließrichtung und der Filtergeschwindigkeit in den Versuchsbohrungen St. Michael und Niklasdorf. - Unveröffentl., 5 S, 4 Beil., Wien 16. Oktober 1968.

Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Bericht über Grundwasseruntersuchungen für die Müllveraschungsanlage Mürztal. - Unveröffentl., 7 S, Wien 6. Juni 1972.

Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Untersuchungen der Grundwasserströmung im Bereich des Eisenwerkes Breitenfeld zwecks Abgrenzung des westlichen Brunnenschutzgebietes. - Unveröffentl., 7 S, 2 Tab., 1 Lageplan, Wien 17. Jänner 1974.

Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Untersuchungen der Grundwasserströmung im Bereich der Kiesgrube Ritzersdorf. - Unveröffentl., 4 S, 1 Tab., 1 Lageplan, Wien 6. März 1974.

Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Bericht über Untersuchungen der Grundwasserströmung im Bereich von Oberpötschach /Kapfenberg. - Unveröffentl., 5 S, 1 Tab., 1 Lageplan, Wien 16. April 1974.

Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Bericht über Grundwasserströmungsmessungen in einem Brunnen in Judendorf - Straßengel. - Unveröffentl., 6 S, 2 Abb., Wien 30. November 1976.

Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Bericht über Grundwasserströmungsmessungen in einem Brunnen in Kalsdorf. - Unveröffentl., 4 S, 1 Tab., Wien 22. 12. 1976.

Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Bericht über Grundwasserströmungsmessungen im Raum Aichfeld - Murboden. - Unveröffentl., 10 S, 1 Kt., 1 Tab., Wien 9. 9. 1977.

Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, Bericht über Grundwasserströmungsmessungen im Bereich der KG. Rumpelmühle, Gemeinde St. Lorenzen/Steiermark. - Unveröffentl., 5 S, 3 Beil., Wien 13. Februar 1981.

Dosch, F., Erfahrungen mit verschiedenen Methoden der Grundwassermarkierung. - Gas-Wasser-Wärme, Bd XXII/8, S 153 - 160, Wien 1968.

Fabiani, E., Die Terrassen des Murtales zwischen Wildon und der Staatsgrenze mit Erläuterungen zur geologischen Grundkarte. - Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, Bd 20, S 7 - 74, 2 Kt., Graz 1971.

Fabiani, E., Über die Bedeutung des Quartärs für die Wasserwirtschaft. - Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, H 39, S 35 - 64, 1 Kt., Graz 1978.

Fabiani, E., Untersuchungen in den südlichen Hochschwabtälern. (Ilgnertal - Seegraben). - Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, Bd 48 (Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet, Teil V), 237 S, 72 Taf., Graz 1980.

Fessler, H., Die Grundwasserführung im Tale der Laßnitz, Sulm und Saggau zwischen Grundgebirge und Leibnitzerfeld. - Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, Bd 40 (Grundlagen für Versorgungswasserwirtschaftliche Planungen in der Südweststeiermark, 3. Teil), 41 S, 18 Abb., Graz 1978.

Fessler, H., Hydrogeologisches Gutachten über die "Ortsumfahrung Mitterdorf" L 102, Veitscher-Straße. - Unveröffentl., 5 S, 6 Abb., Graz 1982.

Fessler, H., Hydrogeologisches Gutachten über die Kiesgrube V der Fa. Ast, KG. Thalerhof/Wagnitz bei Graz. - Unveröffentl., 5 S, 3 Beil., Graz 1982.

Flügel, H., Die jungquartäre Entwicklung des Grazer Feldes (Steiermark). - Mitt. österr. Geograph. Ges., Bd 102, H 1, S 52 - 64, Wien 1960.

Flügel, H., Die Geologie des Grazer Berglandes. - 2. Neubearb. Aufl., Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergbau Landesmus. Joanneum, SH 1, Graz 1975.

Geotechnisches Institut AG, Kraftwerk Rabenstein, Hydrogeologie I. - Unveröffentl. Bericht, 70 S, 16 Beil., Bern 5.1.1983.

Hacker, P. und Rank, D., Methodische Untersuchungen zur Aufklärung von Widersprüchen zwischen den Ergebnissen von Bohrlochmessungen und Pumpversuchen im Raume St. Stefan o.L. - Krauth. - Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, Bd 34, S 53 - 63, 5 Taf., Graz 1976.

Höltling, B., Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und angewandte Hydrogeologie. - 340 S, 103 Abb., 26 Tab., Stuttgart 1980.

Keller, G., Hydrogeologischer Beitrag zur Trinkwasserschutzgebietsfrage bei porigen Grundwasserleitern. - Internat. Assoz. Hydrogeol. Memoirs, Bd VII. Kongreß in Hannover 1965, S 176 - 178, Hannover 1967.

Krevets, G., Bericht über die Ergebnisse der zusätzlich durchgeführten Untersuchungen zum Projekt Südwerk. - Unveröffentl., Graz 1947.

- Leibundgut, Ch., Stand und Entwicklung der Tracerhydrologie. - Beitr. Geol. Schweiz - Hydrologie, Bd 28 I, S 23 - 35, Bern 1982.
- Marotz, G., Technische Grundlagen einer Wasserspeicherung im natürlichen Untergrund. - Inst. f. Wasserwirtschaft, Grundbau u. Wasserbau, Mitteilungen H 9, VII, 228 S, 96 Abb., 14 Tab., Univ. Stuttgart 1968.
- Moser, H., Die Verwendung künstlicher radioaktiver Markierungen zur Lösung hydrologischer Probleme. - Österr. Wasserwirtschaft, Jg 26, H 3/4, S 75 - 80, 6 Abb., Wien 1974.
- Nemecek, E. P., Pumpversuch Kalsdorf, Gutachten. - Unveröffentl., 6 S, 8 Beil., Graz 14.11.1967.
- Nemecek, E. P., Grundwasserfeld St. Michael, Gutachten. - Unveröffentl., 11 S, 19 Beil., Graz 1968.
- Nemecek, E. P., Befund und Gutachten über die Auswertung des Dauerpumpversuches 1976 in Kalsdorf. - Unveröffentl., 35 S, Graz 23.10.1976.
- Novak, H., Pumpversuche im südöstlichen Grazerfeld. - Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, Bd 22, S 63 - 76, 3 Abb., Graz 1973.
- Novak, H., Die Pumpversuche im Murtal bei St. Stefan o.L. - Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, Bd 34, S 81 - 90, 5 Taf., Graz 1976.
- Novak, H., Grundwassererschließung Aichfeld - Murboden. - Unveröffentl., 31 S, zahlreiche Beil., Graz 1978.
- Novak, H., Pumpversuche Faschingboden, oberes Mürztal, Gutachten. - Unveröffentl., 30 S, Graz 1983.
- Polesny, H., Beitrag zur Geologie des Fohnsdorf-Knittelfelder und Seckauer Beckens. - Phil. Diss., 233 S, zahlreiche Abb., 1 Kt. 1 : 50.000, Wien 1970.
- Richter, W. u. Wagner, R., Hydrogeologie - In: A. Bentz: Lehrbuch der angewandten Geologie, Geowissenschaftliche Methoden Bd II, Teil 2, Stuttgart 1969.
- Schribertschnig, W., Untersuchungen des Einflusses der Jahresniederschlagshöhe auf die Grundwasserspiegelhöhe im südlichen Grazer Feld. - Veröffentl. Inst. Siedlungs- und Industrierwasserswirtschaft etc. TU Graz, 4, S 137 - 164, Graz 1978.
- Thurner, A., Hydrogeologie. - New York, Wien 1967.
- Tronko, W., Die wasserwirtschaftliche Rahmenplanung im Mürztal. - Steir. Beitr. Hydrogeol., Jg 1962, S 5 - 57, 3 Abb., Graz 1963.

Voigt, R., Zum Problem der Bestimmung der Grundwasserfließgeschwindigkeit im Absenkungstrichter eines Förderbrunnens. - Bohrtechnik Brunnenbau, 24, S 221 - 223, 2 Abb., Köln 1973.

Weber, F., Beiträge zur Anwendung geophysikalischer Methoden bei Problemen der angewandten Geologie. - Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergbau Landesmus. Joanneum, H 36, S 1 - 48, Graz 1976.

Wessiak, W., Grundwassererkundung Grazer Feld - Raum Kalsdorf, Abschätzung der Ergiebigkeit des Grundwasserfeldes. - Unveröffentl., 12 S, 6 Beil., Graz 27.5.1977.

Worsch, E., Geologie und Hydrologie des Aichfeldes. - Mitteil. Mus. Bergbau, Geol. Techn. Landesmus. Joanneum, H 25, 46 S, zahlreiche Beil., Graz 1963.

Worsch, E., Geologie und Hydrologie des Murbodens. - Mitteil. Abt. Geol. Paläont. Bergbau Landesmus. Joanneum, H 32, 115 S, zahlreiche Beil., Graz 1972.

Zellhofer, O., Die Messung von Grundwasserbewegungen mittels radioaktiver Tracer. - Österr. Wasserwirtschaft, Jg 19, H 1, S 16 - 20, Wien 1967.

Zetinigg, H., Die Hydrogeologie des südöstlichen Grazerfeldes. - Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, Bd 22, S 25 - 62, 9 Taf., Graz 1973.

Zetinigg, H., Die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers im Bereich der Brunnenanlage der Gemeinde Spielberg. - Unveröffentl., 5 S, Graz 1973.

Zetinigg, H., Grundwasseruntersuchungen in der Steiermark. - Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergbau Landesmus. Joanneum, H 39, S 109 - 139, Graz 1978.

Zetinigg, H., Grundwassererschließungen im Tal der Laßnitz, Sulm und Saggau zwischen Grundgebirge und Leibnitzerfeld. - Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, Bd 41 (Grundlagen für Versorgungswasserwirtschaftliche Planungen in der Südweststeiermark, 4. Teil), 57 S, 9 Taf., Graz 1978.

Zetinigg, H., Bohrungen und Pumpversuche im Murtal zwischen Knittelfeld und Zeltweg. - Berichte wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, Bd 52, S 27 - 54, 11 Abb., 7 Tab., Graz 1980.

Zetinigg, H., Folgerungen aus den Grundwasserverhältnissen für die Dimensionierung von Grundwasserschutzgebieten im Mur- und Mürztal. - Österr. Wasserwirtschaft, Jg 35, H 1, 2, S 1 - 12, Wien 1983.

Zötl, J., Untersuchung der Fließrichtung und Fließgeschwindigkeit des Grundwassers im Bereich des DKW Werndorf. - Unveröffentl. Bericht, 4 S, 2 Beil., Graz 3.5.1967.

Zötl, J., Das Grundwasser im Leibnitzerfeld (Steiermark). - Steir. Beitr. Hydrogeol., Jg 1968, S 99 - 151, 25 Abb., 1 Tab., Graz 1968.

Zötl, J., Bericht über die Bestimmung der Fließrichtung und Fließgeschwindigkeit des Grundwassers im Bereich des neuen Brunnens im Talboden nördlich der Weißen Sulm. - Unveröffentl., 2 S, 2 Fig., Graz 9. April 1969.

Zötl, J., Wasser und Gewässer in Steiermark. - In: Die Steiermark, Land, Leute, Leistung, 2. Aufl., S 94 - 141, Graz 1971.

Zojer, H., Bericht über die Ergebnisse eines Grundwasserfärbeversuches im Gemeindegebiet von Söding. - Unveröffentl., 3 S, Graz 15. Februar 1977.

Zojer, H., Hydrogeologische Untersuchungen für eine Erweiterung der Wasserversorgung von Wildon. - Unveröffentl., 7 S, 1 Fig., Graz 1980.

Anschrift des Verfassers:

ROBR. Dr. Hilmar Zetinigg
LBD-Referat für WWR
Landhausgasse 7, 8010 Graz.

Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung
des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung
Landesbaudirektion

Verzeichnis der bisher erschienenen
Bände:

Band 1	Vortragsreihe Abfallbeseitigung, 18. April 1964, Neuauflage 1968, von W.Tronko, P.Bilek, J.Wotschke, K.Stundl, F.Heigl, E.v.Conrad	S 84,--
Band 2	Ein Beitrag zur Geologie und Morpho- logie des Mürztales von R.Sperlich, W.Scharf, A.Thurner, 1965	S 84,--
Band 3	Vortragsreihe Abfallverarbeitung 18. März 1965 von F.Fischer, R.Braun, F.Schönbeck, W.Tronko, K.Stundl, B.Urban	S 84,--
Band 4	"Gewässerschutz ist nötig" von J.Krainer, F.Hahne, H.Kalloch, F.Schönbeck, H.Moosbrugger, L.Bernhart, W.Tronko, 1965	S 56,--
Band 5	Die Müllverbrennungsanlage, Versuch einer zusammenfassenden Darstellung von F.Heigl, 1965	S 140,--
Band 6	Vortragsreihe Abfallverarbeitung 18. November 1965 von F.Schönbeck, H.Sontheimer, A.Kern, H.Rasworschegg, J.Wotschke, J.Brodbeck, R.Spincla, K.Stundl, W.Tronko, 1966	S 112,--
Band 7	Seismische Untersuchungen im Grund- wasserfeld Friesach nördlich von Graz von H.Zetinigg, Th.Puschnik und H.Novak, F.Weber, 1966	S 140,--
Band 8	Der Mürzverband von E.Fabiani, P.Bilek, H.Novak, E.Kauderer, F.Hartl, 1966	S 140,--
Band 9	Raumplanung, Flächennutzungspläne der Gemeinden von J.Krainer, H.Wengert, K.Eberl, F.Plankensteiner, G.Gorbach, H.Egger, H.Hoffmann, K.Freisitzer, W.Tronko, H.Bullmann, I.E.Hclub, 1966	S 140,--
Band 10	Sammlung, Beseitigung und Verarbeitung der festen Siedlungsabfälle von H.Erhard, 1967	S 66,--

Band 11	Siedlungskundliche Grundlagen für die wasserwirtschaftliche Rahmenplanung im Flußgebiet der Mürz von H.Wengert, E.Hillbrand, K.Freisitzer, 1967	S 131,--
Band 12	Hydrogeologie des Murtales von N.Anderle, 1969	S 131,--
Band 13	10 Jahre Gewässergüteaufsicht in der Steiermark 1959 - 1969 von L.Bernhart, H.Sölkner, H.Ertl, W.Popp, M.Noë, 1969	S 112,--
Band 14	Gewässerschutzmaßnahmen in Schwerpunktsgebieten Steiermarks, 1970 (Das vorläufige Schwerpunktsprogramm 1964 und das Schwerpunktsprogramm 1966) von F.Schönbeck, L.Bernhart, E.Gangl, H.Ertl	S 66,--
Band 15	Industrieller Abwasserkataster Steiermarks von L.Bernhart, 1970	S 187,--
Band 16/ 17	Tätigkeiten und Organisation des Wirtschaftshofes der Landeshauptstadt Graz Abfallbehandlung in Graz; Literaturangaben zum Thema "Abfallbehandlung" von A.Wasle	S 112,--
Band 18	Abwasserfragen aus Bergbau und Eisenhütte von L.Bernhart, K.Stundl, A.Wutschel, 1971	S 66,--
Band 19	Maßnahmen zur Lösung der Abwasserfragen in Zellstoffabriken von B.Walzel-Wiesentreu, W.Schönauer, 1971	S 150,--
Band 20	Bodenbedeckung und Terrassen des Murtales zwischen Wildon und der Staatsgrenze von E.Fabiani, M.Eisenhut, mit Kartenbeilagen, 1971	S 168,--
Band 21	Untersuchungen an artesischen Wässern in der nördlichen Oststeiermark von L.Bernhart, J.Zötl, H.Zetinigg, 1972	S 112,--
Band 22	Grundwasseruntersuchungen in nordöstlichen Grazerfeld von L.Bernhart, H.Zetinigg, J.Novak, W.Popp, 1973	S 90,--
Band 23	Grundwasseruntersuchungen im nordöstlichen Leibnitzerfeld von L.Bernhart, E.Fabiani, M.Eisenhut, F.Weber, E.P.Nemecek, Th.Glanz, W.Wessiak, H.Ertl u. H.Schwinghammer, 1973	S 250,--
Band 24	Grundwasserversorgung aus dem Leibnitzerfeld von L.Bernhart, 1973	S 150,--

Band 25	Wärmebelastung steirischer Wässer von L.Bernhart, H.Niederl, J.Fuchs, H.Schlatte u. H.Salinger, 1973	S 150,--
Band 26	Die artesischen Brunnen der Süd-West- steiermark von H.Zetinigg, 1973	S 120,--
Band 27	Die Bewegung von Mineralölen in Boden und Grundwasser von L.Bernhart, 1973	S 150,--
Band 28	Kennzahlen für den energiewirtschaft- lichen Vergleich thermischer Ablauge- verwertungsanlagen von L.Bernhart, D.Radner u. H.Arledter, 1974	S 100,--
Band 29	Generalplan der Wasserversorgung Steiermarks, Entwurfsstand 1973, von L.Bernhart, E.Fabiani, E.Kauderer, H.Zetinigg, J.Zötl, 1974	S 400,--
Band 30	Grundlagen für wasserversorgungs- wirtschaftliche Planungen in der Süd- Weststeiermark, 1. Teil, Einführung Hydrogeologie, Klimatologie, von L.Bernhart, J.Zötl u. H.Zojer, H.Otto, 1975	S 120,--
Band 31	Grundlagen für wasserversorgungs- wirtschaftliche Planungen in der Süd- Weststeiermark, 2. Teil, Geologie, von L.Bernhart, P.Beck-Mannagetta, A.Alker, 1975	S 120,--
Band 32	Beiträge zur wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung in Steiermark von L.Bernhart, 1975	S 200,--
Band 33	Hydrogeologische Untersuchungen an Bohrungen und Brunnen in der Ost- steiermark von H.Janschek, I.Küpper, H.Polesny, H.Zetinigg, 1975	S 150,--
Band 34	Das Grundwasservorkommen im Murtal bei St.Stefan o.L. und Kraubath von I.Arbeiter, H.Ertl, P.Hacker, H.Janschek, H.Krainer, J.Novak, D.Rank, F.Weber, H.Zetinigg, 1976	S 200,--
Band 35	Wasserversorgung für das Umland von Graz. Zur Gründung des Wasserverbandes Umland-Graz von L.Bernhart, K.Pirkner, 1977	S 180,--
Band 36	Grundwasserschongebiete von W.Kasper u. H.Zetinigg, 1977	S 150,--

Band 37	Vorbereitung einer Zentralwasserversorgung für die Südoststeiermark von L.Bernhart, 1978	S 140,--
Band 38	Zentralwasserversorgung für die Südoststeiermark, Entwicklung eines Konzeptes von L.Bernhart, 1978	S 200,--
Band 39	Grundwasseruntersuchungen im "Unteren Murtal" von E.Fabiani, H.Krainer u. H.Ertl, W.Wessiak, 1978	S 250,--
Band 40	Grundlagen für wasserversorgungswirtschaftliche Planungen in der Süd-Weststeiermark, 3. Teil. Die Grundwasserführung im Tale der Laßnitz, Sulm und Saggau zwischen Grundgebirge und Leibnitzerfeld von H.Fessler, 1978	S 80,--
Band 41	Grundlagen für wasserversorgungswirtschaftliche Planungen in der Süd-Weststeiermark, 4. Teil, Grundwassererschließungen im Tal der Laßnitz, Sulm und Saggau zwischen Grundgebirge und Leibnitzerfeld von H.Zetinigg, 1978	S 100,--
Band 42	Zur Geologie im Raum Eisenerz-Radmer und zu ihrem Einfluß auf die Hydrochemie der dortigen Grundwässer von U.Mager, 1979	S 120,--
Band 43	Die Grundwasserverhältnisse im Kainachtal (St.Johann o.H. - Weitendorf) von M.Eisenhut, J.Novak u. J.Zojer, H.Krainer u. H.Ertl, H.Zetinigg, 1979	S 150,--
Band 44	Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet, Teil I. Naturräumliche Grundlagen Geologie - Morphologie - Klimatologie von E.Fabiani, V.Weissensteiner, H.Wakonigg, 1980	S 180,--
Band 45	Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet, Teil II. Die Untersuchungen Geschichte - Durchführung - Methodik von E.Fabiani, 1980	S 80,--
Band 46	Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet, Teil III. Geophysik - Isotopenuntersuchungen - Hydrochemie von Ch.Schmid, J.Zojer, H.Krainer u. H.Ertl, R.Ott, 1980	S 200,--

Band 47	Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet, Teil IV. Die Untersuchungen im Tragöstal von E.Fabiani, 1980	S 200,--
Band 48	Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet, Teil V. Untersuchungen in den südlichen Hochschwabtälern (Ilgenertal bis Seegraben) von E.Fabiani, 1980	S 280,--
Band 49	Untersuchung über die Möglichkeit zur Entnahme von Grundwasser im südlichen Hochschwabgebiet und deren Bewirtschaftung von Ch.Meidl, J.Novak, W.Wessiak, 1980	S 150,--
Band 50	Konzept der Zentralwasserversorgung Hochschwab-Süd von L.Bernhart, 1980	S 200,--
Band 51	Regionale Abwasseranlagen in der Steiermark, Bemühungen und Ergebnisse, von L.Bernhart, P.Bilek, E.Kauderer, H.Senekowitsch, O.Thaller, 1980	S 300,--
Band 52	Grundwasseruntersuchungen im Murtal zwischen Knittelfeld und Zeltweg von I.Arbeiter, H.Krainer u. H.Ertl, H.Zetinigg, 1980	S 100,--
Band 53	Grundwasseruntersuchungen im unteren Saggautal von I.Arbeiter, H.Krainer, H.Zetinigg, 1980	S 100,--
Band 54	"10 Jahre Wasserverband Hochschwab-Süd" von L.Bernhart, W.Küssel, J.Novak, R.Ott, F.Schönbeck, 1981	S 120,--
Band 55	Die Auswirkungen des Kraftwerksbaues von Obervogau auf das Grundwasser von H.Fessler, 1981	S 200,--
Band 56	Festveranstaltung "10 Jahre Wasserverband Hochschwab-Süd 1971-1981" von L.Bernhart, R.Burgstaller, M.Ruprecht, H.Sölkner, G.Bujatti, E.Wurzer, A.Zdarsky, J.Krainer, V.Ahrer, 1981	S 100,--
Band 57	Grundlagen für wasserversorgungswirtschaftliche Planungen in der Südweststeiermark, L.Bernhart, E.Hübl, E.Schubert, E.Fabiani, H.Zetinigg, H.Zojer, E.P.Nemecek u. E.P.Kauch, 1981	S 200,--

Band 58	Wasserbedarf der Südweststeiermark, L.Bernhart, Graz, 1982	S 200,--
Band 59	Kostenaufteilungsschlüssel für Abwasserverbände von P.Bilek und E.Kauderer, Graz, 1982	S 200,--
Band 60	Die Quellen des Schöcklgebietes von H.Zetinigg, W.Grießler, Th.Untersweg, V.Weissensteiner und Ch.Meidl, Graz, 1982	S 200,--
Band 61	Grundlagen für einen steirischen Wasserverbund. Bedarfsermittlung von Ch.Kaiser und Ch.Meidl, Graz, 1983	S 200,--
Band 62	Die Messungen der Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers im Mur- und Mürztal von H.Zetinigg, Graz, 1983	S 100,--

In diesen Preisen ist die 8 %ige Mehrwertsteuer nicht enthalten.

Soweit lagernd, sind sämtliche Berichtsbände bei der Steiermärkischen Landesdruckerei (Verlag: A-8010 Graz, Hofgasse 15) erhältlich.

