Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung
Band 70

Grundwassermodell Murtal, Abschnitt St. Stefan ob Leoben – Kraubath

von

W. Erhart-Schippek und Ch. Kaiser

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion
Fachabteilung IIIa – Wasserwirtschaft
Graz 1990

VORWORT

In den Jahren 1970 bis 1973 wurde vom Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung eine Grundwasseruntersuchung im Murtal im Abschnitt zwischen St. Stefan ob Leoben und Kraubath ausgeführt. Diese Arbeit erfolgte auf Grund des Auftrages der Steiermärkischen Landesregierung, nutzbare Wasservorkommen im Land festzustellen und zu untersuchen. Diese Untersuchung wurde in der damals zeitgemäßen Art und Weise ausgeführt. Dies bedeutet, daß vor allem Versuchsbohrungen und Pumpversuche zum Einsatz gelangten und ein Grundwasserbeobachtungsnetz eingerichtet wurde. Nach Beendigung der Arbeit wurden die Ergebnisse im Band 34 der Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung im Jahre 1976 publiziert. An ausgewählten Grundwassermeßstellen wurde die Grundwasserbeobachtung jedoch bis heute weitergeführt.

Da im Rahmen des Grundwasserschutzprogrammes der Steiermärkischen Landesregierung die Bestandsaufnahme der Grundwasservorkommen des Landes besondere Aktualität erhält, scheint es notwendig, auch die Ergebnisse älterer Untersuchungen auf ihre heutige Gültigkeit zu überprüfen. Dies nicht zuletzt, da sich inzwischen in der Methodik von Grundwasseruntersuchungen manches geändert hat und es heute üblich ist, Grundwasservorkommen durch mathematische Grundwassermodelle zu beschreiben. So scheint es angebracht, die Untersuchungsergebnisse der Jahre 1970 bis 1973 und die Meßergebnisse der seit damals laufenden Grundwasserbeobachtung einer neuerlichen Auswertung zu unterziehen und auf dieser Grundlage ein mathematisches Grundwassermodell zu erstellen. Dieses mathematische Grundwassermodell, das im wesentlichen die Aussagen der ersten Untersuchung bestätigt, wird nun in diesem Berichtsband vorgestellt. Das Grundwassermodell gibt in Form von 2 fiktiven Brunnen Auskunft über die gewinnbare Grundwassermenge. Besonders hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, daß die quantitative Belastung dieses Grundwasservorkommens durch Grundwasserentnahmen seit den 70er Jahren nur in einem unbedeutenden Maße gestiegen ist, so daß hiedurch künftige Entnahmemöglichkeiten kaum eingeschränkt sind.

Besonders hervorzuheben ist aber die Abhängigkeit dieses Grundwasservorkommens vom Abflußgeschehen in der Mur. Es ist dies ein Hinweis auf die Dringlichkeit und große Bedeutung der Mursanierung für das Grundwasser in diesem Tale.

Bei der ersten Grundwasseruntersuchung (1970 - 1973) wurde auch eine Bestandsaufnahme der Grundwasserqualität durch die Fachabteilung Ia vorgenommen. So war es angezeigt, auch eine neuerliche Erhebung der Grundwasserqualität durchzuführen, um allfällige wesentliche Änderungen zu erkennen. Diese Untersuchung wurde von Univ. Prof. Dr. Heinz Brantner als Auftragsarbeit im Rahmen des Gesamtauftrages für das Grundwassermodell ausgeführt, um die Fachabteilung Ia nicht zusätzlich zu belasten. Die Ergebnisse sind in diesem Berichtsband dargestellt. Besonders hervorzuheben ist, daß dieser Talabschnitt, wie es auf Grund der Bodennutzung auch zu erwarten war, vom Nitratproblem nicht berührt ist und die damaligen Aussagen über die Qualität im wesentlichen bestätigt werden.

Da dieser Abschnitt des Murtales außer der kommunalen Wasserversorgung der Gemeinde St. Stefan ob Leoben und Kraubath nur der Einzelwasserversorgung dient, hat schon vor mehr als 10 Jahren der Wasserverband Hochschwab - Süd sein Augenmerk auf diesen Talabschnitt gelegt. Bereits damals wurde von diesem Wasserverband bei der Wasserrechtsbehörde eine Schongebietsverordnung beantragt, um dieses Grundwasservorkommen für die Zukunft zu sichern. Dieses Ansuchen wurde vom Verband allerdings nicht mit besonderen Nachdruck verfolgt, da er bisher im Hochschwabgebiet voll engagiert ist und die Lage dieses Grundwasservorkommens als ungünstig zu der in Bau befindlichen Transportleitung des Verbandes gelten muß. Unabhängig davon wurde dieses Grundwasservorkommen in das Grundwasserschutzprogramm der Steiermärkischen Landesregierung aufgenommen und eines besonderen Schutzes (Schongebiet) für wert befunden. Die Absicht, daß Grundwasservorkommen als Reserve für die künftige Trinkwasserversorgung unter besonderen Schutz zu stellen und in seiner guten Beschaffenheit zu erhalten, rechtfertigt den Aufwand dieser Untersuchung. Letztendlich hat es ja nur dann einen Sinn diese Absicht zu verfolgen, wenn dieses Grundwasservorkommen heute noch die gleichen Möglichkeiten für die Wassergewinnung bietet, wie vor mehr als 10 Jahren. Dies konnte erfreulicher Weise durch die zweite Untersuchung festgestellt werden.

H. Zetinigg

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG 1

2. HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE 2

3. DER GRUNDWASSERHAUSHALT 4

3.1. Grundlagen 4

3.2. Der Niederschlag 5

3.3. Die Grundwasserstandsganglinie 6

3.4. Die Murwasserstandsganglinie 7

3.5. Austausch mit Oberflächengewässern 8

3.6. Entnahmeganglinien 8

3.6.1. WVA Kraubath a. d. Mur 8

3.6.2. WVA St. Stefan ob Leoben 9

3.7. Ermittlung der Grundwasserneubildung 9

3.7.1. Die Grundwasserneubildungsrate 9

3.7.1.1. Verfahren von TURC 11

3.7.1.2. Bestimmung nach DYCK 11

3.7.1.3. Zeitliche Verteilung der Grundwasserneubildung 12

3.7.2. Das Grundwasservolumen 13

3.7.3. Bilanzierung des Grundwasserhaushaltes 14

3.7.3.1. Bilanzzeitraum 2/75 - 5/75 15

3.7.3.2. Bilanzzeitraum 3/80 - 6/80 15

3.7.3.3. Bilanzzeitraum 3/83 - 5/83 15

3.7.4. Zusammenfassung 16

4. STATISTISCHE AUSWERTUNG DER HAUSHALTSGRÖSSEN 17

4.1. Grundlagen 17

4.2. Statistische Tests 18

4.2.1. Ausreißertest nach DIXON 18

4.2.2. Phasenhäufigkeitstest nach WALLIS-MOORE 18

4.2.3. Trendtest nach COX und STUART 19

4.2.4. KOLMOGOROFF-SMIRNOW-Test 20

4.3. Die Zeitreihenanalyse 20

4.3.1. Die Regressionsanalyse 20

4.3.2. Die Frequenzanalyse 21

4.3.3. Die Autokorrelation 22

4.4. Zusammenfassung der statistischen Auswertung 22

5. DAS GRUNDWASSERSTRÖMUNGSMODELL KRAUBATH 24

5.1. Das Modellkonzept 24

5.1.1. Die Zielsetzung 24

5.1.2. Der Mitteleinsatz 26

5.1.3. Annahme zur Auswahl des geeignetsten Modelles 26

5.1.3.1. Art der Grundwasserströmung 26

5.1.3.2. Aquifereigenschaften 26

5.1.3.3. Gültigkeit des Darcy'schen Gesetzes 26

5.1.3.4. Eigenschaften des Fluids 26

5.1.4. Gebietsabgrenzungen 27

5.1.4.1. Vertikale Gebietsabgrenzung 27

5.1.4.2. Horizontale Gebietsabgrenzung 27

5.2. Mathematische Formulierung des Modellkonzeptes 27

5.2.1. Grundlagen 27

5.2.2. Rand- und Anfangsbedingungen 28

5.2.3. Das numerische Modell 28

5.2.3.1. Räumliche Diskretisierung 29

5.2.3.2. Zeitliche Diskretisierung 29

5.3. Entwicklung des Modelles für Kraubath-St. Stefan 30

5.3.1. Festlegen des Differenzennetzes 31

5.3.2. Festlegen der geometrischen Modellränder 31

5.3.3. Die Geländeoberkante 31

5.3.4. Die Staueroberkante 32

5.3.5. Durchlässigkeitsbeiwerte 32

5.3.6. Der Speicherkoeffizient 32

5.3.7. Randbedingungen 33

5.3.8. Quellen und Senken 33

5.4. Die Kalibrierung 34

5.4.1. Stationärer Fall 34

5.4.2. Instationärer Fall 36

5.5. Kritische Bewertung und Weiterführung des Modelles 37

5.6. Simulation von Entnahmebrunnen 41

6. GRUNDWASSERCHEMIE 43

6.1. Meßumfang und Probennahme 43

6.2. Meßstellen 43

6.3. Untersuchungsergebnisse 45

6.3.1. Physikalische Parameter und titrimetrische Bestimmungen 45

6.3.2. Chemische Inhaltstoffe 45

7. UNTERLAGEN 46

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abb. 1: Hydrogeologische Übersichtskarte

Abb. 2: Hydrogeologische Talquerprofile

Abb. 3: Jährliche Niederschlagsmengen und Grundwasserneubildung nach TURC

Abb. 4: Grundwasserganglinie des Pegels 2614

Abb. 5: Entnahmeganglinie Brunnen Kraubath

Abb. 6: Ganglinie der Grund- und Niederschlagsvolumina

Abb. 7: Vergleich Ganglinie Murpegel mit Pegel 2614

Abb. 8: Powerspektrum des Pegels 2614

Abb. 9: Autokorrelogramm des Pegels 2614

Abb. 10: Frequenzbereinigtes Autokorrelogramm des Pegels 2614

Abb. 11: 3-D Modell der Staueroberkante

Abb. 12: Stationäres Grundwassermodell Kraubath
(Modellnetz, Stromlinien, Grundwassergleichen)

Abb. 13: Stationäres Grundwassermodell Kraubath mit zwei Entnahmebrunnen
(Modellnetz, Stromlinien, Grundwassergleichen)

Abb. 14: Absenktrichter der simulierten Entnahmebrunnen

Abb. 15: Lageplan der Beprobungsstellen

1. EINLEITUNG

Im April 1988 wurde die Planungsgemeinschaft Dipl.Ing. Christian Kaiser - HYDROSOFT Planungs- und EDV Leistungs- GesmbH vom Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung beauftragt, für den Murabschnitt St. Stefan ob Leoben - Kraubath a. d. Mur ein mathematisches Grundwasserströmungsmodell zu erstellen.
Die Arbeit sollte ausschließlich auf den Ergebnissen der detaillierten Untersuchungen, der Jahre 1970-1973 aufbauen, die in den Berichten der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, Band 34 "Das Grundwasservorkommen im Murtal bei St. Stefan ob Leoben und Kraubath a. d. Mur" zusammengefaßt und veröffentlicht wurden. Darüber hinaus wurden die Messungen des Grundwasserspiegels, sowie des Niederschlages durch den Hydrographischen Landesdienst bzw. durch das Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung bis Ende 1988, sowie erforderliche Murwasserstandsmessungen von Juni 1988 bis Juni 1989 in die Untersuchung miteinbezogen.
Durch diese Langzeitmessungen einerseits, sowie den Einsatz moderner rechengestützter hydrogeologischen Methoden konnte die Kenntnis des Grundwasserfeldes vertieft sowie Prognose für eine weitere Bewirtschaftung abgegeben werden.
Im vorliegenden Berichtband sind die Untersuchungsschritte und -ergebnisse in straffer Form zusammengefaßt und exemplarisch dargestellt.

2. HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Die folgende hydrogeologische Beschreibung des Untersuchungsgebietes, das ist die Talweitung zwischen Preg und St. Stefan ob Leoben samt umgebenden Festgesteinsrahmen, basiert größtenteils auf den Ergebnissen der umfangreichen Detailuntersuchungen des Jahres 1976, die im Band 34 des Berichtes der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung / 2/ veröffentlicht wurden.
Beidseitig wird das Talbecken durch mittelostalpine, polymetamorph überprägte Serpentinite und Para- bzw. Orthogneise (Seckauer Gneise) der Seckauer Tauern bzw. der Gleinalpe aufgebaut (siehe Abb.1). Aufgrund des beiderseitigen Auftretens ist eine Verbindung unter der jungen Talfüllung anzunehmen. Der prätertiäre Felsrahmen besitzt infolge seines petrographischen Bestandes, insbesondere durch das Fehlen verkarstungsfähiger Gesteine und der damit verbundenen geringen Trennfugendurchlässigkeit, nur untergeordnete hydrogeologische Relevanz.
Im Raum Leising, westlich von Kraubath an der Mur und nordwestlich von St. Stefan ob Leoben, tritt inneralpines Tertiär zutage. Die tonig-sandigen Sedimente dichter Lagerung bilden im Liegenden der quartären Talfüllung den Grundwasserstauer. Die Oberkante ist, wie refraktionsseismische Untersuchungen ergaben, stark strukturiert, was zu unterschiedlichen Mächtigkeiten der hangenden quartären Kiese führt (siehe Einlage 6). Nach F. WEBER fehlt das Tertiär im Bereich Niederdorf gänzlich, wo quartäre Kiese direkt auf kristallinem Untergrund liegen. Ausschließlich linksufrig fand man noch Reste der würmeiszeitlichen Terrasse, die jedoch durch die Schwemmfächer des Kraubath- sowie Leisingbaches samt benachbarter Bäche überprägt sind. Rechtsufrig morphologisch bedeutend ist bloß der Schwemmkegel des Aichbergbaches bei Niederdorf.
Nach der Karte des präquartären Untergrundes von F. WEBER / 2/ ist der Talabschnitt durch eine Tiefenrinne, die im zentralen Bereich 150 - 200 m Breite besitzt, charakterisiert. Die Deutung einiger Minima (= Übertiefungen) ist jedoch, wie der Autor zugibt, nicht eindeutig, da das Tertiär sandig ausgebildet sein kann. Prinzipiell bleibt dabei auch die Frage offen, wie durch fluviatile Erosion Tiefpunkte in einem Talabschnitt überhaupt entstehen können.
Der eigentliche Grundwasserleiter wird aus quartären fluvioglazialen Ablagerungen mit Mächtigkeiten über 30 m aufgebaut (siehe Abb. 2). Konglomeratbänke und feinsandige, schluffige Zwischenlagen in den vornehmlich aus Kristallingeröllen der Seckauer Masse bestehenden Kiesen führen zu Inhomogenitäten innerhalb des Aquifers, die sich in horizontalen und vertikalen Porositäts- und Durchlässigkeitsunterschieden manifestieren. Solche Inhomogenitäten zeigt auch die Isogeschwindigkeitskarte der grundwasserführenden, quartären Kiese, die Maxima (= geringere Durchlässigkeiten

durch Porositätsverminderung) in den Bereichen der Schwemmfächer, bedingt durch randliche Einflüsse, aufweist.
Zusätzlich deuten von H. JANSCHEK an den Bohrungen 2602, 2603, 2607, 2612, 2614 durchgeführte Temperaturlogs auch auf vertikale Inhomogenitäten hin. In der Bohrung 2614 konnte eine seichtliegende (3 - 6 m Tiefe) permeable Zone, sowie eine tiefliegende, gut durchlässige Zone großer Mächtigkeit im Tiefenbereich zwischen 16 und 22 m nachgewiesen werden. An den weiteren Bohrungen wurde wiederum ein gleichmäßig durchströmter pleistozäner Sand-/Kieskörper vermutet.
Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, daß der quartäre Grundwasserleiter Durchlässigkeiten zwischen 10^{-2} und 10^{-4} m/s und nutzbare Porenvolumina von 15 bis 25 % besitzt / 6/.
Im Jahre 1971 wurden an den Bohrungen 2607 und 2612 mehrtägige Pumpversuche /12/ durchgeführt. Anläßlich der jetzigen Untersuchungen wurden diese anhand der damaligen Protokolle nochmals ausgewertet.
Unter Zugrundelegung einer tiefengemittelten Grundwasserströmung und unter Annahme der für das Auswertverfahren (Absenkung nach JACOB und COOPER) erforderlichen Voraussetzungen (unbegrenzte Ausdehnung, Homogenität, Isotropie und konstante Mächtigkeit des Aquifers, vollkommene Brunnen, konstante Fördermenge) errechnen sich folgende Transmissivitäten:

$$T = 1500 - 6000\ m^2/d,$$

das entspricht bei den gegebenen Aquifermächtigkeiten Durchlässigkeitsbeiwerten von

$$k_f = 9.10^{-4} - 3.10^{-3}\ m/s.$$

Nimmt man ein mittleres Grundwasserspiegelgefälle von 2.3 ‰ an, beträgt die mittlere Filtergeschwindigkeit ca.

$$v_f = 5.10^{-6}\ m/s$$

und die mittlere Abstandsgeschwindigkeit bei einem nutzbaren Speichervolumen von $n_e = 0.2$ ca.

$$v_a = 2\ m/d.$$

3. DER GRUNDWASSERHAUSHALT

3. 1. Grundlagen

Der Teilbereich Kraubath/Mur - St. Stefan/Leoben stellt für die hydrologische Bilanzierung ein offenes System dar. In der Ermittlung des Grundwasserhaushaltes müssen somit sämtliche Zu- und Abflüsse sowie die Wechselwirkung zwischen Oberflächenwässern und Grundwasser miteinbezogen werden. Dieses einfache Zellenmodell ist noch um die anthropogenen Stresskomponenten wie Entnahme und Versickerung zu ergänzen. Eine Austauschströmung zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken im Untersuchungsgebiet braucht nicht berücksichtigt zu werden.
Für die hydrologische Bilanzierung ist somit die Kenntnis folgender Größen erforderlich:

Q_N:	direkte Grundwasserneubildung aus Niederschlag
Q_{ET}:	Evapotranspiration
Q_{OW} (Q_{ex} - Q_{in}):	indirekte Grundwasserneubildung durch Grundwasserzu- bzw. -abfluß aus Oberflächenwässern
Q_R:	Zuflüsse über die Gebietsränder
Q_S:	Änderung der Speichermengen
Q_E:	Entnahme und Infiltrationsraten

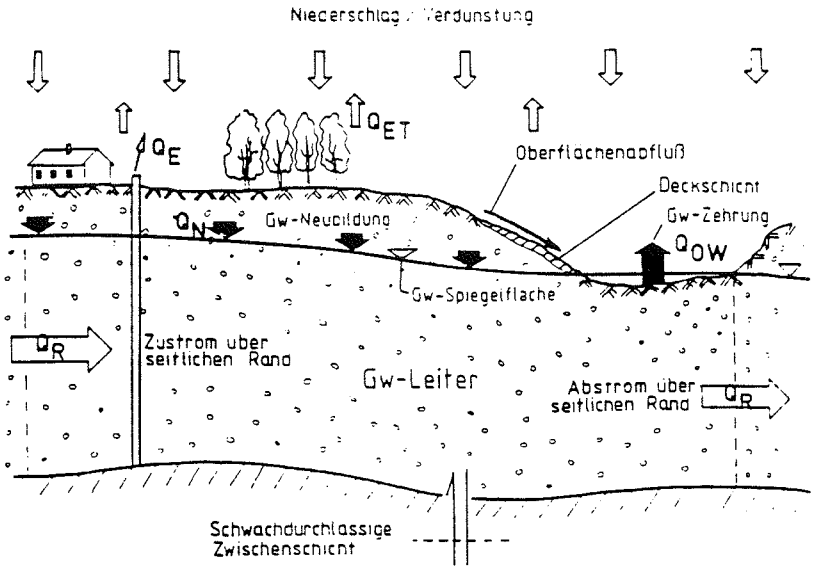


Bild 1: Komponenten des Grundwasserhaushaltes

Evapotranspiration, direkte Grundwasserneubildung und Grundwasserzu- bzw. -abfluß aus Oberflächenwässern können zu einer vertikal wirksamen Zu- bzw. Abflußkomponente Q_V zusammengefaßt werden.

$$Q_V = Q_N + Q_{OW} + Q_{ET}$$

Über den Bilanzraum kann die Bilanzgleichung somit, wie folgt, definiert werden:

$$Q_S = A \cdot S \frac{\delta h}{\delta t} = \int_t^{t+\Delta t} (Q_V + Q_R + Q_E)$$

A: Fläche des Bilanzraumes
S : Speicherkoeffizient

Da speziell der vertikale Zufluß nicht á priori durch Messungen bekannt ist, jedoch eine wichtige Bilanzgröße darstellt, wurde versucht, diese Größe aus den vorliegenden langjährigen Beobachtungsreihen von Niederschlag und Grundwasserstand durch Bilanzierung näherungsweise zu ermitteln.

3. 2. Der Niederschlag

Der Niederschlag der Jahre 1973 bis 1988 gemessen an der Niederschlagsstation Kraubath/Mur (Seehöhe 590 m ü.A.) schwankt zwischen 866 mm im Jahr 1979 und 512 mm im Jahr 1978 (siehe Abb. 3). Der Mittelwert der 16 Jahre beträgt:

$$h_N = 682 \pm 90 \text{ mm.}$$

Ausgesprochen niederschlagsarme Jahre waren 1977, 1978, 1980 und 1981 mit jährlichen Niederschlagshöhen unter 600 mm, während in den Jahren 1979, 1981 und 1985 die Niederschlagshöhe über 770 mm betrug. Für die weitere Betrachtungsweise wird angenommen, daß die an der Meßstelle Kraubath gemessenen Niederschlagshöhen repräsentativ für den Talabschnitt Kraubath/Mur - St. Stefan/Leoben sind.
Die Niederschlagsganglinie folgt einer Jahresperiode, wobei die größten Niederschlagshöhen in den Monaten Mai - September und die geringsten Niederschlagshöhen in den Herbst- und Wintermonaten gemessen wurden.

3. 3. Die Grundwasserstandsganglinie

Für die Beurteilung der Grundwasserdynamik wurde großteils seit 1971 an neun Beobachtungsstellen (5 Vertikalfilterbrunnen und 4 Hausbrunnen) in periodischen Abständen (1 - 2 x wöchentlich) der Grundwasserstand gemessen. Diese Beobachtung erfaßte jedoch nur die holozäne Talflur. Beobachtungspegel im Bereich der Schwemmfächer bzw. Terrassen wurden nicht errichtet.
Sämtliche Grundwasserspiegel des Beobachtungsgebietes unterliegen einem signifikanten Jahresgang mit Grundwasserhöchstständen in den Monaten Mai - August und Tiefstständen in den Monaten Januar und Februar (siehe Abb. 4).
Ein langfristiger Trend ist generell nicht feststellbar. Auffallend die niederen Jahresmittel und deutlich geringeren Maxima der Grundwasserstände ab dem Jahr 1983, die teilweise statistisch signifikant sind. Mögliche Ursachen können einerseits auf die Verlegung der drei Murschlingen beim Schnellstraßenbau der S 36, im Zuge dessen die Mursohle zwar nicht eingetieft wurde, sich aber die Wassertiefe der Mur durch Veränderung des Flußprofiles bei gleicher Wasserführung um ca. einen Meter (siehe /14/, /15/, /16/, /17/) reduzierte, andererseits auch klimatische Systemänderungen (geringere Niederschläge, geringere Hochwässer) zurückzuführen sein.
Anhand der Dauerlinien, die sich für alle Beobachtungspegel ähneln, läßt sich feststellen, daß der Grundwasserstand ca. 180 Tage im Jahr innerhalb einer Schwankungsbreite von ca. 0.5 m liegt. Die größten jährlichen Schwankungsbreiten des Grundwasserstandes sind bei den murnahen Pegeln am Beginn der Talweitung im Bereich Leising-Kraubath mit 3 - 3.3 m zu beobachten, sie pendeln sich im nordöstlichen Talabschnitt auf 2.5 m ein.
Aufgrund der hohen Korrelation zwischen allen Beobachtungspegeln untereinander kann das Grundwasserfeld als einheitliches Regime aufgefaßt werden. Diese Aussage gilt nur für den holozänen Bereich, da im Terrassenbereich keine Pegel, die für eine derartige Beurteilung herangezogen werden können, vorhanden sind.
Generell ist eine intensive Wechselwirkung zwischen Mur und Grundwasser gegeben. Die gegenseitige Austauschströmung wird durch die geringe flächenhafte Ausdehnung der Talweitung (4.7 km^2) die Linienführung der Mur, sowie der guten Durchlässigkeit des Aquifers begünstigt. Die weiteren statistischen Analysen ergaben, daß in erster Linie der Murwasserstand für die Grundwasserspiegelschwankungen verantwortlich ist, wie auch ein Vergleich des zeitlichen Verhaltens beider Ganglinien völlige Übereinstimmung zeigte. Scheinbar unabhängig vom jeweiligen Grundwasserstand infiltriert Murwasser eingangs der Schlingen in den Grundwasserkörper, um ausgangs der Schlingen wieder in die Mur zu exfiltrieren.
Die Grundwasserschichtenpläne für Hoch- (3. 7. 1989) und Niederwasserverhältnisse

(2. 2. 1989) bestätigen diesen intensiven Zusammenhang zwischen Mur und Grundwasserständen (siehe Abb. 1).

3. 4. Die Murwasserstandsganglinie

Für den Teilabschnitt Kraubath - St. Stefan/Leoben liegen keine langjährigen Messungen des Murwasserstandes vor. Sowohl für die statistische Auswertung der Beziehung Murwasser - Grundwasser, wie für die instationäre Modellerstellung, werden diese Daten jedoch benötigt.
Im Zuge des vorliegenden Projektes wurde an die drei Murschlingen je ein Murpegel gesetzt und für die Dauer eines Jahres durch ansäßige Beobachter täglich abgelesen .
Es war beabsichtigt, durch eine mehrfache, nicht lineare Regressionsanalyse den stochastischen Zusammenhang zwischen den Murpegeln in Zeltweg und Leoben unter Einbeziehung des Liesingpegels Kammern als unabhängige Variable und den Murpegeln "Badeteich", "Wolfersbach" und "St. Stefan" als unabhängige Variable zu untersuchen. Infolge eines Ausfalls der Station Leoben ab Oktober 1988 konnte die Korrelation nur zwischen den Pegeln Zeltweg und den Murpegeln innerhalb des Modellgebietes hergestellt werden.
Zwischen dem Abfluß des Pegels Zeltweg als unabhängige Variable und dem Abfluß des Pegels Wolfersbach als abhängige Variable wurde folgende Beziehung ermittelt:

$$Q_{Wolfersbach} = 16.13 + 0.942\, Q_{Zeltweg}.$$

Die aufgrund obiger Regression berechnete Ganglinie der mittleren monatlichen Murwasserstände von 1971 - 1988 zeigt ein sehr regelmäßiges Verhalten. Die Tiefstände, welche im Jänner/Februar jedes Jahr auftreten, variieren kaum, die Hochstände werden jeweils im Mai/Juni eines jeden Abflußjahres erreicht und liegen 2.5 - 3 m über den Pegeltiefstständen. Die Ganglinie besitzt eine ausgeprägte Jahrescharakteristik.

3. 5. Austausch mit Oberflächengewässern

Im gegenständlichen Teilabschnitt wird durch die Murschlingen eine intensive Austauschströmung zwischen Mur und Talgrundwasser bewirkt. Wie bereits RABITSCH und FLÜGEL / 1/ feststellen, korrespondieren die Grundwasserspitzen mit einer durchschnittlichen zeitlichen Verzögerung von 24 Stunden mit den Murspitzen. Innerhalb der Murschlinge steigt das Grundwasser bei Hochwasserwellen der Mur überproportional an, da das infiltrierte Murwasser infolge des hohen Murwasserspiegels an der Exfiltration in die Mur gehindert wird. Die Mengen und die Art des Austausches werden von den jeweiligen Wasserständen und den Ein- bzw. Austrittswiderständen bestimmt.
Eine Selbstabdichtung der Mur mit starken Eintrittsverlusten wird für die hydrologische Bilanzierung ausgeschlossen, es wird vielmehr eine direkte Infiltration infolge hydraulischen Kontaktes zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser vorausgesetzt. Die Austauschströmung wird dann durch folgende Funktion beschrieben:

$$Q_{GW} = (kf \cdot \frac{\Delta h}{W}) \cdot L.$$

Der dimensionslose Strömungsbeiwert W ist ein Geometriefaktor, der vom Verhältnis Gewässerbreite zu Grundwasserleitermächtigkeit abhängt.
In der Bilanzierung der Haushaltsgrößen wird die Austauschströmung als linienförmiger Anteil der vertikalen Komponente des Ab- bzw. Zuflusses behandelt.

3. 6. Entnahmeganglinien

3. 6. 1. WVA Kraubath a. d. Mur

Die Konsensmenge des Schachtbrunnens Kraubath beträgt 10 l/s, das sind ca. 26.000 m^3 pro Monat (siehe Wasserbuchbescheid vom 27. 12. 1979, GZ: LBD Ia-470/12 Ka 62/5-79). Die Entnahmeganglinie 1979 - 1988 (siehe Abb. 5) zeigt keinen signifikanten Trend in Richtung eines zunehmenden Verbrauches, jedoch einen charakteristischen Jahresgang mit Entnahmeminima jeweils in den Wintermonaten.
Die Maximalentnahme während der neunjährigen Meßreihe wurde im Juli 1987 mit 13.800 m^3 und die Minimalentnahme im März 1985 mit 3.690 m^3 festgestellt.
Im Mittel wurde aus der Brunnenanlage in den Jahren 1980 - 1988 6.034 m^3 pro Monat (= 2.3 l/s) entnommen.

3. 6. 2. WVA St. Stefan ob Leoben

Die wasserrechtliche Bewilligung für die Entnahme der Konsensmenge von 10 l/s wurde 1953 mit Bescheid GZ: 3-348 Ste 10/2-1953 des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung erteilt.
Die jährlichen Entnahmemengen zeigen deutlich einen steigenden Trend zu einer vermehrten Entnahmemenge. So stieg die jährliche Fördermenge von 54.000 m^3 im Jahr 1972 stetig auf ca. 70.000 m^3 im Jahr 1987. Monatliche Aufzeichnungen der geförderten Mengen liegen keine vor, sodaß über jahreszeitlich bedingte Entnahmeunterschiede keine Angaben gemacht werden können.

3. 7. Ermittlung der Grundwasserneubildung

Im Modellgebiet sind die Schwankungen des Grundwasserspiegels in erster Linie von der Grundwasserneubildung aus Niederschlag und Oberflächengewässern abhängig. Im folgenden Abschnitt wird einerseits versucht, diese Grundwasserneubildungsrate aus empirischen Beziehungen abzuleiten, andererseits über die Bilanzierung der Grundwasservolumina zu bestimmen.
Integriert man die Grundwasserstände über die Fläche des Modellgebietes, erhält man das Grundwasservolumen, sowie seine zeitlichen Änderungen. Entsprechend der Bilanzgleichung können fehlende Bilanzglieder berechnet werden.

3. 7. 1. Die Grundwasserneubildungsrate

Im Folgenden wird unter Grundwasserneubildung Q_N ausschließlich diejenige Wassermenge verstanden, die dem Grundwasser als Anteil der Niederschläge abzüglich des kapillaren Aufstieges und der Verdunstung (Evapotranspiration) zufließt. Das Bilanzglied Q_{ET} fällt somit aus der Bilanzgleichung heraus. Die jenige Wassermenge, die dem Grundwasser infolge Infiltration aus Oberflächengewässern zufließt, wird gesondert durch die Komponente Q_{OW} behandelt. Beide werden als flächenhafter vertikaler bzw. linienförmiger vertikaler Zufluß aufgefaßt und in weiterer Folge in der vertikalen Zuflußkomponente Q_v zusammengefaßt.
Die oben erwähnten Komponenten des Bodenwasserhaushaltes sind sowohl von natürlichen wie anthropogenen Einflüssen abhängig. Niederschlagsrate, Bodendurchlässigkeit, Bodenbedeckung, Geländeneigung und Versickerungsgrad bestimmen die Infiltrationshöhe. Zusätzlich unterliegt diese noch jahreszeitlichen Einflüssen durch unterschiedliche Vegetationsdichten. Der kapillare Aufstieg hingegen besitzt nur dann Bedeutung, wenn das aufsteigende Wasser die Wurzelzone erreicht. Die Aufstiegshöhe wird dabei von der Porengröße des Bodens und die Aufstiegsrate vom

Gradienten des Kapillarpotentiales bestimmt. Die aktuelle Verdunstung ist abhängig vom Wassergehalt sowie Art und Dichte der Vegetation. Prinzipiell nimmt die aktuelle Verdunstung bei gleichem Boden in der Reihenfolge: Wald > Grünland > Acker ab und in gleicher Weise die Grundwasserneubildungshöhe zu. Zusätzlich liegt noch ein funktionaler Zusammenhang zwischen Verdunstung und Flurabstand vor. Je nach Bodenart und nutzbarer Feldkapazität besitzt die Verdunstung ab einem Flurabstand von 1.5 - 2.5 m keinen Einfluß mehr auf die Grundwasserneubildung.
Für die Bilanzierung des Wasserhaushaltes und die Modellierung der Grundwasserströmung wird jedoch die zeitliche Verteilung der Grundwasserneubildungshöhe, somit die Grundwasserneubildungsrate, benötigt. Diese zeitliche Verteilung der Grundwasserneubildung ist einerseits von der zeitlichen Verteilung der Jahresniederschläge, wobei sich als dominante Einflußgröße die Winterniederschläge auswirken, andererseits von aktueller Verdunstung, Flurabstand und Sickergeschwindigkeit im Boden abhängig. Bei Flurabständen größer 5 m beginnen sich jahreszeitliche Einflüsse zu verwischen, ab 10 m Flurabstand kann ein konstanter Zufluß zum Grundwasser angenommen werden.
Ein weiterer Faktor ist die Größe des betrachteten Bilanzierungsraumes. Bei Gebieten größer als 1 km^2 ist es nicht mehr möglich, einen Zusammenhang zwischen Infiltration und Erreichen der Grundwasseroberfläche herzustellen. Mit steigender Gebietsgröße muß somit auch der Bilanzierungszeitschnitt zunehmen. Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, daß bei Bezug der Niederschlagshöhen auf ein Jahr die jährliche Grundwasserneubildungshöhe in erster Näherung von der jährlichen Niederschlagshöhe abhängig ist.

Zusammenfassend gilt in grober Näherung für die Grundwasserneubildung:

- nur ein kleiner Teil des Niederschlages (ca. 1/3) trägt zur effektiven Grundwasserneubildung bei
- die Grundwasserneubildung tritt zeitverzögert auf
- die Grundwasserneubildung ist im Wesentlichen auf das Winterhalbjahr beschränkt.

Zur näherungsweisen Quantifizierung der Grundwasserneubildungsrate stehen eine Reihe von empirischen Verfahren zur Verfügung. Exakte Lösungen erhält man ausschließlich durch die Schematisierung und Modellierung der ungesättigten Bodenzone unter Berücksichtigung aller Randbedingungen (Niederschlag, Flurabstand, Bodendurchlässigkeiten, Evapotranspiration, Vegetation, etc.) mittels mathematischer

Verfahren. Solche Modelle bieten den Vorteil, daß die mengenmäßige und zeitliche Verteilung der Grundwasserneubildung für unterschiedliche Gebietsgrößen und Zeiträume ermittelt werden kann.
In der vorliegenden Studie wird nur auf diese Möglichkeit hingewiesen. Der für die weitere Berechnung erforderliche Quellterm "Grundwasserneubildung" wird vorerst mittels Näherungsverfahren aus meteorologischen Daten bestimmt.

3. 7. 1. 1. Verfahren von TURC

TURC /4/ stellt eine empirische Beziehung zwischen Evapotranspiration, Niederschlagshöhe und mittlerer Jahrestemperatur auf.
Die jährlichen Grundwasserneubildungshöhen für die Jahre 1973 - 1988 liegen demnach zwischen 150 und 437 mm, das entspricht 30 bzw. 50 % der jeweiligen Niederschlagshöhe (siehe Abb. 3).

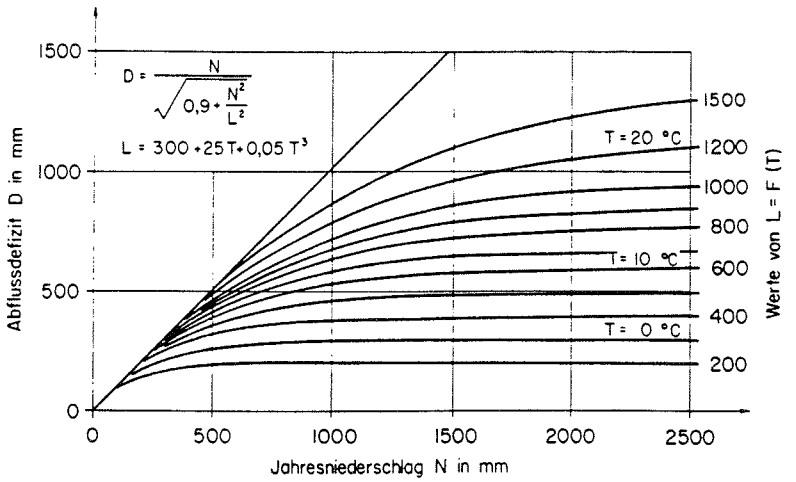


Bild 2: Grundwasserneubildung nach TURC

Berechnet man die Grundwasserneubildungsraten, so betragen diese 5 - 14 l/s.km^2. Größenordnungsmäßig entsprechen diese Werte den im Leibnitzer und Grazer Feld festgestellten Grundwasserneubildungsraten.

3. 7. 1. 2. Bestimmung nach DYCK

Durch Auswertung von Lysimetermessungen stellte DYCK eine Beziehung zwischen jährlicher Niederschlagshöhe, Bodenart und Sickerwasserhöhe auf.

Die nach DYCK bestimmten jährlichen Grundwasserneubildungshöhen liegen fast ausschließlich über den nach TURC ermittelten. Der prozentuelle Anteil an der jährlichen Niederschlagshöhe liegt zwischen 30 und 60 %, die Spende schwanken zwischen 5 und 16 l/s.km^2.

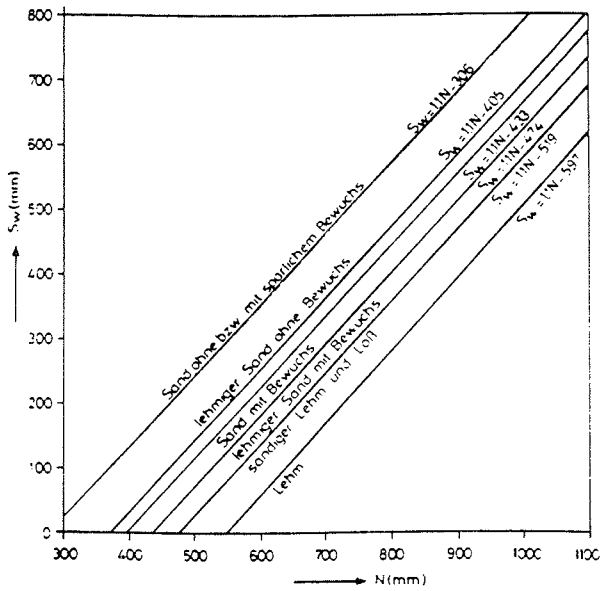


Bild 3:

Besonders bei großen Niederschlagshöhen erhält man nach DYCK erfahrungsgemäß zu große Sickerwasserraten, da der Oberflächenabfluß nicht berücksichtigt wird.

3. 7. 1. 3. Zeitliche Verteilung der Grundwasserneubildung

Aufgrund der Abhängigkeit der Grundwasserneubildungrate von Infiltration, kapillarem Aufstieg und Verdunstung, ist auch bei der Grundwasserneubildung ein Jahresgang, ähnlich Klima und Vegetation, gegeben. Etwa 80 % des Niederschlages der Wintermonate November - April tragen zur Grundwasserneubildung bei, während der Anteil in den Sommermonaten Mai - Oktober nur etwa 20 % beträgt.

FRIEDRICH /5/ gibt die monatliche Verteilung der Jahresverdunstungshöhe h_V wie folgt an:

Monat	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
%	2	1	1	2	5	8	16	17	17	15	11	5

3. 7. 2. Das Grundwasservolumen

Zur Berechnung des Grundwasservolumens im Modellgebiet wurde dieses in 6 Zellen unterteilt, wobei für jede Zelle die mittlere Kote der Oberkante des Grundwasserstauers sowie die Zellenfläche ermittelt wurde. Als nutzbares Porenvolumen werden 20 % angenommen. Für jede Zelle wurde ein repräsentantiver Brunnen festgelegt, anhand dessen die Schwankungen der Grundwasservolumensänderungen nach

$$V_{(t)} = h_{(t)} \cdot A \cdot n_f$$

berechnet wurden. Die Volumensganglinien für die einzelnen Zellen sowie das gesamte Untersuchungsgebiet sind in Einlage 11 dargestellt. Ebenso wie die Grundwasserstandsganglinien verhalten sich die Ganglinien der Grundwasservolumina der einzelnen Zellen ident, sodaß der alluviale Aquifer als einheitliches hydrogeologisches Regime erscheint. Vergleicht man die Ganglinien der Grundwasservolumina mit den Niederschlagshöhen, so stellt man fest, daß jährlich in den Frühjahrsmonaten März bis Juni eine Zunahme der Volumina unabhängig vom Niederschlag einsetzt und ein erstes Maximum im Jahresablauf erreicht wird. Die Starkniederschläge in den Sommermonaten wirken sich unmittelbar auf die Grundwasservolumina aus und bilden die darauffolgenden Maxima. In der Folge gehen die Volumina annähernd kontinuierlich, nur unterbrochen von Starkregenereignissen, die kurzfristige Erhöhungen der Grundwasservolumina bewirken, auf den Jahrestiefstwert, der jeweils im Jänner bzw. Februar erreicht wird, zurück. Dies läßt nun - ähnlich wie bei den Grundwasserganglinien - den Schluß zu, daß die Schwankungen der Grundwasserspiegel in erster Linie durch die Wasserführung der Mur bedingt sind. Speziell die spontanen Anstiege nach sommerlichen Starkniederschlägen untermauern diese Aussage. Da der grundwasserbildende Anteil von

Sommerniederschlägen infolge der hohen Verdunstung und des großen Oberflächenabflusses äußerst gering ist, kann der beobachtete Grundwasserspiegelanstieg nur auf den kurzfristigen Anstieg des Murwasserspiegels zurückzuführen sein.
Erhärtet wird dieser Zusammenhang durch den Vergleich des mittleren monatlichen Grundwasservolumens mit dem monatlichen Volumen des gefallenen Niederschlages (siehe Abb. 6), welcher verdeutlicht, daß die Niederschläge alleine nicht ausreichen, die Zunahme des Grundwasservolumens zu erklären.
Auffallend ist auch, daß besonders bei großen Grundwasservolumenszunahmen die Höchstwerte bereits vor den Niederschlagsmaxima eintreten. Die Grundwasservolumensspitzen sind auf die Hochwasserwellen durch Niederschläge im Einzugsgebiet der Mur zurückzuführen. Zugleich bedeutet dies, daß der Grundwasserspiegel sehr rasch auf geänderte Höhenlagen des Murwasserspiegels reagiert. Dies bestätigt auch der Vergleich der Ganglinien der Mur mit den Ganglinien der Grundwasserbeobachtungspegel für den Zeitraum Juli 1988 bis Juni 1989 (siehe Abb. 7).

3. 7. 3. Bilanzierung des Grundwasserhaushaltes

Nach der bereits erfolgten Zusammenfassung einzelner Bilanzgrößen zu vertikalen bzw. horizontalen Komponenten können nun über den Zusammenhang mit dem Grundwasservolumen fehlende Bilanzgrößen näherungsweise quantifiziert werden.

$$Q_v \cdot \Delta t = \Delta V - Q_h \cdot \Delta t$$

In der Vertikalkomponente Q_v sind alle jene Zu- und Abflüsse subsummiert, die zusätzlich zu horizontalen Zu- bzw. Abflüssen Q_h eine Änderung im Grundwasservolumen bewirken.

Diese sind insbesonders:

- flächenhafte Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag
- linienförmige In- und Exfiltration aus Oberflächengewässern
- punktförmige Entnahmen bzw. Versickerungen

Im Grundwassermodell Kraubath mußten der Vertikalkomponente Q_v infolge der unklaren Randstromverhältnisse auch die konzentrierten und diffusen Randzuflüsse angerechnet werden.

Die horizontalen Abflüsse eingangs und ausgangs der Talweitung wurden nach

$$Q = k_f \cdot h \cdot B \cdot i$$

berechnet. Für das Taleingangsprofil ergab sich ein Zufluß von 27 l/s (= 0.5 mm/d), während für das Talausgangsprofil ein Abfluß von 67 l/s (= 1.2 mm/d) berechnet wurde. Insgesamt ergibt sich somit ein horizontaler Abfluß von 40 l/s (= 0.7 mm/d).
Für drei Aufspiegelungsphasen des Grundwasservolumens wurde entsprechend obiger Gleichung die Bilanz aufgestellt.

3. 7. 3. 1. Bilanzzeitraum 2/75 - 5/75

Diese Aufspiegelungsphase ist charakteristisch für ein naßes Jahr. Die Grundwasservolumenszunahme beträgt $1.74 \cdot 10^6$ m^3 (= 4.1 mm/d) innerhalb von drei Monaten.
Aus der Bilanzgleichung errechnet sich eine vertikale Zuflußkomponente von 260 l/s (= 4.7 mm/d), die als Summe von Grundwasserneubildung aus Niederschlag, Infiltrationsraten und randlichen Zuflüssen zu interpretieren ist. Bei einer direkten Grundwasserneubildung von 55 l/s (= 1 mm/d) und einem randlichen Zufluß von 16 l/s (= 0.3 mm/d) aus der pleistozänen Terrasse verbleibt ein Anteil von 179 l/s (= 3.4 mm/d), der durch Murinfiltration und randliche Zuflüsse erklärt werden muß.

3. 7. 3. 2. Bilanzzeitraum 3/80 - 6/80

Die hydrologischen Verhältnisse dieser Abflußjahre entsprechen langjährigen mittleren Zuständen. Die Volumszunahme des Grundwassers beträgt $1.07 \cdot 10^6$ m^3 (= 2.5 mm/d). Die Gesamtvertikalkomponente Q_v errechnet sich zu 177 l/s (= 3.2 mm/d), wovon nach Abzug der direkten Grundwasserneubildung und des Zuflusses aus der Terrasse eine indirekte Grundwasserneubildung von 106 l/s (= 1.9 mm/d) verbleibt.

3. 7. 3. 3. Bilanzzeitraum 3/83 - 5/83

Diese Periode entspricht am ehesten einem Trockenjahr. Die Zunahme des Grundwasservolumens beträgt $0.74 \cdot 10^6$ m^3 (= 2.1 mm/d), woraus sich die totale vertikale Zuflußkomponente mit 162 l/s (= 3.0 mm/d) errechnet. Stellt man wiederum die direkte Grundwasserneubildung und den Zufluß über diese Terrasse in Rechnung, verbleibt eine indirekte Grundwasserneubildung von 91 l/s (= 1.7 mm/d).

3. 7. 4. Zusammenfassung

Aufgrund der vorhandenen Datenlage ist eine Ermittlung der direkten bzw. indirekten Grundwasserneubildungshöhe sowohl mit empirischen Verfahren als auch anhand der Bilanzgleichung nur näherungsweise möglich. Nach TURC beträgt die jährliche Grundwasserneubildungshöhe ca. 30 - 50 % des Jahresniederschlages, die zeitliche Verteilung dürfte wegen des mehrere Meter großen Flurabstandes nur einer Schwankung mit niedriger Frequenz unterliegen. Aus der Grundwasserbilanz läßt sich ableiten, daß der weitaus größere Teil der Grundwasservolumensschwankungen durch die indirekte Grundwasserneubildung bewirkt wird. Der prozentuelle Anteil ist direkt abhängig von der Größe der Volumsänderung (siehe Bild 4).
Aus der Bilanz allein läßt sich jedoch noch keine Aufteilung der indirekten Grundwasserneubildung auf Murinfiltration und randliche Zuflüsse durch Seitenbäche bzw. versickernden Oberflächenabfluß vornehmen.

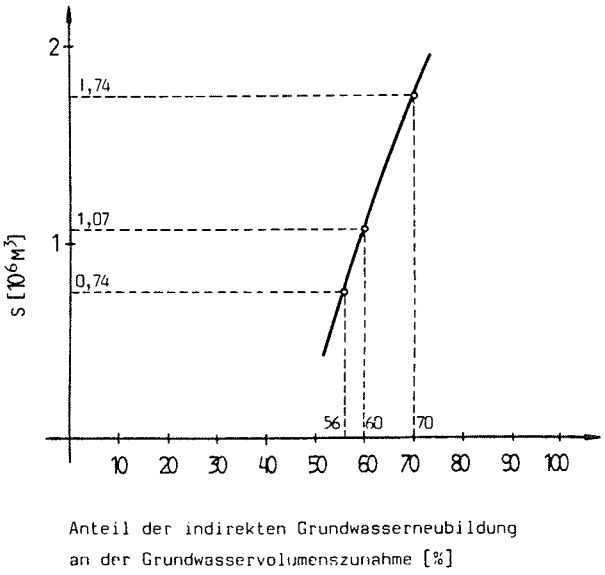


Bild 4:

4. STATISTISCHE AUSWERTUNG DER HAUSHALTSGRÖSSEN

4. 1. Grundlagen

Langjährige Meßreihen unterliegen neben dem Einfluß von deterministischen und stochastischen Komponenten der Beeinträchtigung von Störgrößen, die die einzelnen Werte der Zeitreihen verändern. Solche Störungen können durch

- Inkonsistenzen (fehlerhafte Messungen, Übertragungsfehler, etc.)
- Inhomogenitäten (natürliche oder anthropogene Änderungen des stochastischen Systems)

verursacht werden.
Um solche etwaigen Störeinflüsse erkennen zu können, werden sämtliche Zeitreihen vor einer weiteren statistischen Auswertung folgenden parameterfreien Ein- bzw. Zweistichprobentests unterzogen

- Ausreißertest nach DIXON zum Erkennen von groben Meßfehlern und untypischen Extremereignissen
- Phasenhäufigkeitstest nach WALLIS & MOORE zur Bestimmung von saisonalen Schwankungen und Trends
- Trendtest nach COX-STUART
- KOLMOGOROFF-SMIRNOFF-Test zur Erkennung von Sprüngen innerhalb einer Zeitreihe.

Im Anschluß daran werden durch eine Zeitreihenanalyse die einzelnen Komponenten der Meßreihe, das sind

- Trendanteil XT (t)
- Periodischer Anteil XP (t)
- Autokorrelativer Anteil XA (t)

bestimmt.

4. 2. Statistische Tests

Zur Erkennung von Ausreißern, Trends und periodischen Schwankungen werden in der Folge parameterfreie Ein- bzw. Zweistichprobentests eingesetzt. Eine Auswertung mit Hilfe von Regressionsverfahren unterblieb, weil diese Methoden normalverteilte Grundgesamtheiten, sowie eine zufällige Meßwertfolge voraussetzen.
Da hydrologische Meßreihen beide Annahmen nicht erfüllen, indem sie meist nicht normalverteilt sind und eine positive Schiefe besitzen, ist somit parameterfreien Tests der Vorrang zu geben.
Das Signifikanzniveau, welches maßgebend für die Annahme bzw. Ablehnung der Nullhypothese ist, wird in der Folge mit 95 % (= 0.95) festgelegt.

4. 2. 1. Ausreißertest nach DIXON

Durch einen kurzen, aber kräftigen Störeinfluß (Meßfehler, Übertragungsfehler, etc.) kann ein Einzelwert weit außerhalb des Erwartungsbereiches der stochastischen Variablen liegen.
Die Testvorschrift lautet: "Liegt kein Extremwert der Zeitreihe außerhalb des Bereiches $m \pm K \cdot \sigma$, so liegen auch keine Ausreißer vor." Der Häufigkeitsfaktor K kann je nach Art der Verteilung der Grundgesamtheit und des festgelegten Signifikanzniveaus variieren und wird für die durchgeführten Tests mit K = 4 festgelegt.
In der gemessenen Zeitreihe wurden keine Ausreißer festgestellt, die auf untypische Meßwerte hinweisen.

4. 2. 2. Phasenhäufigkeitstest nach WALLIS und MOORE

Mit Hilfe des Phasenhäufigkeitstests können saisonale Schwankungen und Trends in der Zeitreihe erkannt werden.
Aus den Meßwerten werden durch Differenzenbildung Phasen gleichen Vorzeichens der Meßwertdifferenz entwickelt.
Eine geringe Phasenanzahl deutet auf stetige Veränderung der Variablen hin, während eine hohe Phasenanzahl auf Perioden mit größerer Frequenz schließen läßt.

Die Prüfgröße für Stichprobenumfänge größer 30 errechnet sich mit:

$$Z = H - \frac{\frac{(2N-7)}{3}}{\left[\frac{(16N-29)}{90}\right]^{1/2}}$$

H: Anzahl der Phasen
N: Stichprobenumfang.

Überschreitet die Prüfgröße das Argument der Standardnormalverteilung (zweiseitige Fragestellung, vorgegebenes Signifikanzniveau), wird die Nullhypothese, die lautet: "Die Anordnung der Stichprobenwerte innerhalb der Stichprobe ist zufällig." verworfen. Die Testergebnisse für alle Zeitreihen lassen auf Gesetzmäßigkeiten in der Stichprobenverteilung schließen.

4. 2. 3. Trendtest nach COX und STUART

Dieser Test auf Trend ist ein parameterfreier Einstichprobentest. Entsprechend der Testvorschrift werden die Differenzen zwischen den Werten des ersten und letzten Stichprobendrittels gebildet und die Anzahl der negativen bzw. positiven Differenzen aufsummiert. Aus der größeren der beiden wird die normalverteilte Prüfgröße errechnet und gegen das Argument der Standardnormalverteilung für das 95 %-Signifikanzniveau und die zweiseitige Fragestellung getestet. Als Nullhypothese wird formuliert: "Die Meßreihe enthält keinen signifikanten Trend." Die Richtung des als signifikant erkannten Trends kann angegeben werden, seine Größe jedoch nicht.
Bei Ganglinien mit hohem periodischen Anteil tritt besonders bei Monatszeitreihen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit auf, daß der Fehler der 1. Art (= Ablehnung einer objektiv richtigen Nullhypothese) begangen wird. Um diesen Fehler zu vermeiden, dürfen entweder nur einander entsprechende Tages- bzw. Monatswerte zur Differenzbildung bzw. frequenzbereinigte Zeitreihen herangezogen werden.
Die Pegel 2601, 2602, 2603 und 2610 besitzen einen signifikanten negativen Trend.

4. 2. 4. KOLMOGOROFF-SMIRNOW Test

Dieser Test überprüft, ob zwei Stichproben hinsichtlich Mittelwert, Standardabweichung und Schiefe aus derselben Grundgesamtheit stammen. Als Ergebnis werden somit Trends und Sprünge innerhalb einer Zeitreihe erkannt. Besonders scharf reagiert der Test auf ein instationäres Mittel (Sprung). Als Nullhypothese wird festgesetzt: "Es besteht kein signifikanter Unterschied in der Verteilung und den Parametern beider Stichproben".
Im vorliegenden Fall wurde der KOLMOGOROFF-SMIRNOW-Test als Homogenitätstest für eine einzelne Stichproben angewandt. Zu diesem Zweck werden die Zeitreihen geteilt und gegeneinander getestet. Neben der Überprüfung der Ergebnisse des Trendtests werden insbesonders die im Kapitel 4.3. beschriebenen Rückgänge der Monatsmittelwerte auf Signifikanz untersucht. Bei den Pegeln 2601 (- 22 cm), 2602 (- 19 cm) und 2603 (- 20 cm) wurden hiebei statistisch gesicherte Rückgänge der mittleren Grundwasserspiegelhöhen nachgewiesen. Ebenso verhält es sich mit den monatlichen Minimalwasserständen, während die monatlichen Grundwasserhöchststände keine Inhomogenität erkennen lassen.

4. 3. Die Zeitreihenanalyse

Zur Bestimmung der deterministischen Komponenten einer Zeitreihe, insbesonders des langfristigen periodischen Verhaltens, werden die Meßwerte sämtlicher Pegel einer Zeitreihenanalyse unterzogen. Diese setzt sich aus einer Trendermittlung in Form einer Regressionsanalyse, einer Periodizitätsanalyse und der Bestimmung des autokorrelativen Anteiles zusammen.

4. 3. 1. Die Regressionsanalyse

Ein Trend wird bei hydrologischen Problemen meist durch das lineare Glied eines Polynoms beschrieben:

$$x(t) = a_0 + a_1 t.$$

Die Regressionsparameter a_0 und a_1 werden nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate bestimmt, wobei als Maß für die Güte der Anpassung der Korrelationskoeffizient dient.
Dieses Verfahren weist im Gegensatz zu Trendtest und KOLMOGOROFF-SMIRNOW-Test auf keine Trends innerhalb der Zeitreihen hin. Durch nicht erfüllte Annahmen über die Verteilung der Grundgesamtheit ist aber auch die Teststärke dieser Methode äußerst gering.

4. 3. 2. Die Frequenzanalyse

Eine wichtige deterministische Komponente einer Zeitreihe ist ihr periodischer Anteil. Die gemessenen Werte können mathematisch durch eine Fourier-Reihe

$$X_p(t) = a_o + \sum_{k=1}^{k_{max}} \left[a_k \cos\left(\frac{2\pi k}{p} t\right) + b_k \sin\left(\frac{2\pi k}{p} t\right)\right]$$

a_k, b_k: Fourier Koeffizienten
k: Frequenz
p: Periode
t: Zeit

beschrieben werden. Aufgabe der Frequenzanalyse ist somit diejenigen Parameter a_k und b_k zu finden, die die beste Anpassung der berechneten Werte an die gemessenen ergeben. Da in vielen Fällen Frequenz bzw. Periode nicht á priori bekannt sind, werden die Parameter a_k und b_k für unterschiedliche Frequenzen bestimmt und als Amplitude $A = (a_k^2 + b_k^2)^{1/2}$ gegen die Frequenz im Power-Spektrum aufgetragen. Diejenigen Frequenzen sind für den periodischen Anteil der Zeitreihe maßgebend, die das Signifikanzniveau in Abhängigkeit von Irrtumswahrscheinlichkeit α, Intensität $I_k = A^2$ und kritischem Wert G_m nach FISHER /10/ übersteigen.
Bei allen Grundwasserbeobachtungspegeln des Untersuchungsgebietes wurde die Jahresschwingung (Frequenz 1 bei einer Grundperiode von 1 Jahr) als signifikant erkannt. Repräsentativ für alle Pegel ist das Power-Spektrum des Brunnens 2614 in Abb. 8 dargestellt.

4. 3. 3. Die Autokorrelation

Ist die Periode einer Zeitreihe nicht bekannt, kann sie aus der Autokorrelationsfunktion

$$R_{xx}(k) = \lim_{n \to 00} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-k} x_i x(i+k)$$

bestimmt werden.
Die physikalische Bedeutung dieser Funktion entspricht der einer Korrelation zwischen den verschobenen Werten. Da die Autokorrelationsfunktion einer rein periodischen Funktion der Periode P wiederum eine rein periodische Funktion mit der Periode P ist, kann aus dem Autokorrelogramm die maßgebende Periode entnommen werden. Für den Pegel 2614 wurde die Periode 1 bei einem jeweiligen Autokorrelationskoeffizienten von ca. 0.70 als signifikant bestimmt (Abb. 9).
Berechnet man die Autokorrelationsfunktion der um den periodischen Anteil bereinigten Zeitreihe, so erhält man auch keine periodische Funktion mehr (Abb. 10). Die trend- und periodizitätsbereinigten Meßwerte der Zeitreihe sind trotzdem nicht rein zufällig, weil speziell in hydrologischen Zeitreihen die Meßwerte autokorreliert sind und somit von den vorausgegangenen Meßwerten abhängen.

$$x(t + \Delta t) = f(x(t))$$

4. 4. Zusammenfassung der statistischen Auswertung

Der statistischen Auswertung liegen insgesamt neun Pegel im Untersuchungsgebiet zugrunde, mit deren dauernden Beobachtung durchwegs im Jänner 1971 begonnen wurde. Sechs Pegel wurden bis Ende 1988 und teilweise darüber hinaus beobachtet, die laufenden Messungen an den Pegeln 2603, 2605 und 2612 wurden zwischen Dezember 1986 und Juli 1987 eingestellt. Bis auf die Pegel 2605 (monatliche Messung) und 2614 (tägliche Messung) betrug das Meßintervall 3 - 4 Tage, sodaß im Schnitt bei einer Beobachtungsdauer von 18 Jahren ca. 1800 Meßwerte vorlagen.
Die Grundwasserstände schwanken innerhalb des Zeitraumes 1971 - 1988 maximal zwischen 2.5 - 3.5 Meter. Die Ganglinien lassen insbesonders ab dem Jahr 1983 eine Abnahme der Extremwerte (Maximal- und Minimalgrundwasserstände) erkennen.
Anhand parameterfreier Tests (COX-STUART, KOLMOGOROFF-SMIRNOW) konnte bei den Pegeln 2601, 2602 und 2603 ein signifikanter negativer Trend mit Rückgängen der mittleren monatlichen Grundwasserspiegel um ca. 20 cm nachgewiesen werden. Sowohl

Frequenzanalyse wie Autokorrelationsfunktion ergeben übereinstimmend einen periodischen Anteil der Frequenz 1 bei einer Grundperiode von einem Jahr. Diese Jahresschwingung korreliert deutlich mit dem Jahresgang des Murwasserspiegels.
Eine Kreuzkorrelation zwischen Murwasserspiegel und Grundwasserspiegel ergab je nach Lage des Pegels sowie seiner Entfernung zur Mur Reaktionszeiten von 1 - 3 Tagen auf Schwankungen der Wasserspiegelhöhen im Vorfluter. Die für die Grundwasserbilanzierung und die Modellerstellung maßgeblichen Ergebnisse der statistischen Auswertung sind:

- Das Grundwasserfeld des Untersuchungsgebietes verhält sich im Bereich des alluvialen Talbodens einheitlich.
- Die Grundwasserspiegelschwankungen hängen in erster Linie vom Murwasserspiegel ab, wobei eine kurze Reaktionszeit vorliegt.

5. DAS GRUNDWASSERSTRÖMUNGSMODELL KRAUBATH

Bevor die mathematische Formulierung des Strömungsmodelles erfolgen kann, müssen im Rahmen eines Modellkonzeptes eine Reihe von Annahmen und Schematisierungen getroffen werden, die den tatsächlichen physikalischen Gegebenheiten gerecht werden. Sind die Gleichungen zur Beschreibung der Grundwasserströmung aufgestellt, werden die Anfangs- und Randbedingungen festgelegt sowie die Quellen und Senken bestimmt. Nach Festlegen der räumlichen und zeitlichen Diskretisierung wird ein Lösungsverfahren festgelegt, das folgenden Ansprüchen genügen muß:

- es muß eine Lösung existieren
- das Problem darf nur eine Lösung haben
- die Lösung muß stabil sein.

Im darauffolgenden Kalibrierungsprozeß werden die unbekannten Parameter T, S_o identifiziert.
In / 9/ wird das Ablaufschema für den praktischen Einsatz eines Grundwassermodelles entsprechend Bild 5 angegeben. **Im Projekt "Grundwassermodell Kraubath" entfällt der erste Punkt der 2. Ablaufstufe "Ergänzende Untersuchungen zur Parameterbeschreibung", weil ausschließlich auf vorhandene Unterlagen und Untersuchungsergebnisse aufgebaut wurde.** In den nachstehenden Kapiteln werden die weiteren Schritte des Modellaufbaues behandelt.
Mit erfolgter Eichung ist die 2. Stufe und somit das Erkundungsproblem abgeschlossen. Eine Prognose, d.h. Modellanwendung zur Simulation bestimmter Eingriffe in den Grundwasserhaushalt wird im Anschluß an die Eichung für zwei Entnahmebrunnen durchgeführt

5. 1. Das Modellkonzept

Für die Schematisierung des realen Problemes zu einer vereinfachten Form, die den Zielen der Modellierung gerecht wird, bedarf es der genauen Formulierung der Ziele sowie einiger Annahmen, die im Folgenden diskutiert werden.

5. 1. 1. Die Zielsetzung

Untersuchungsziel ist die Modellierung der natürlichen gesättigten Grundwasserströmung im Talabschnitt Kraubath/Mur - St. Stefan/Leoben als Grundlage zur Quantifizierung des Wasserhaushaltes sowie der Grundwasserbewirtschaftung (= Erkundungsproblem).

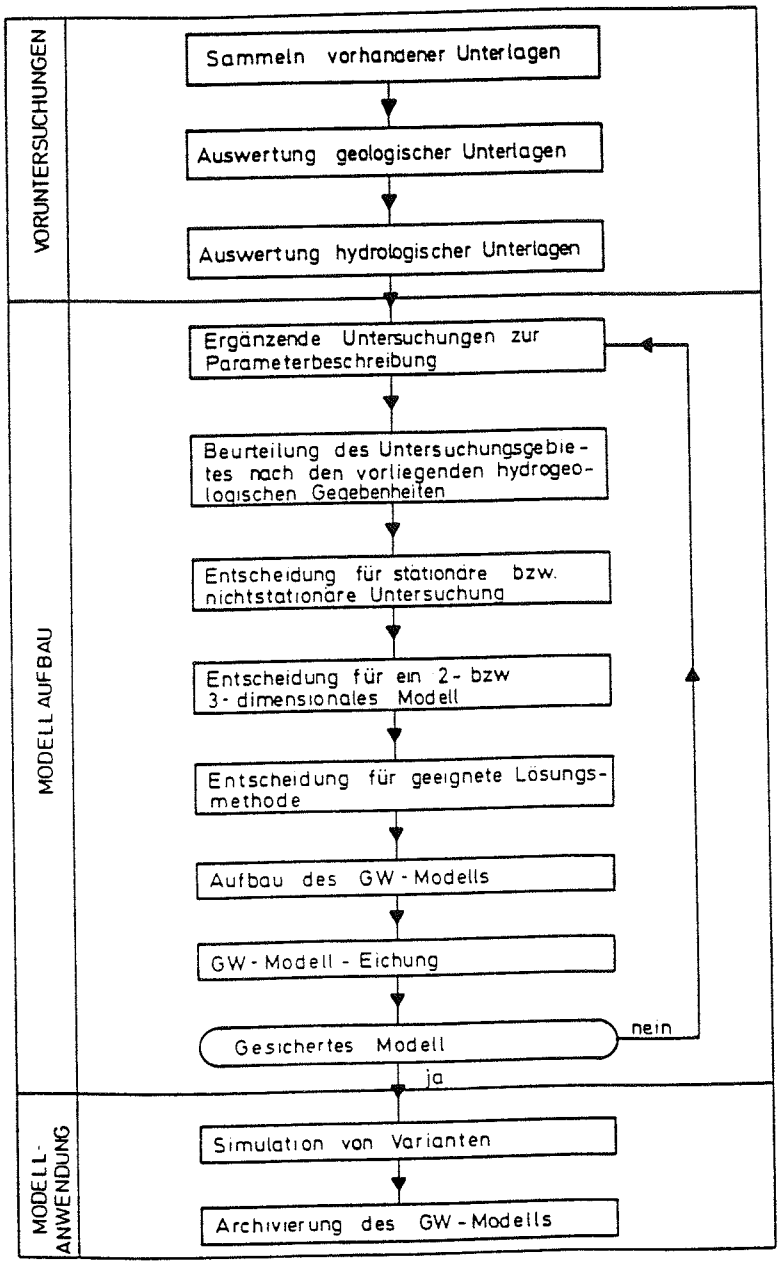


Bild 5: Modellablauf

5. 1. 2. Der Mitteleinsatz

Die Modellerstellung erfolgt entsprechend dem erteilten Auftrag auf Basis der vorhandenen Unterlagen, weitergehende hydrologische und geologische Detailuntersuchungen waren nicht vorgesehen.

5. 1. 3. Annahme zur Auswahl des geeignetsten Modelles

5. 1. 3. 1. Art der Grundwasserströmung

Das Verhältnis der horizontalen Ausdehnung von 4000 m zur Mächtigkeit des Aquifers von 20 m läßt für das gesamte Untersuchungsgebiet die Annahme einer horizontal ebenen Grundwasserströmung zu.

5. 1. 3. 2. Aquifereigenschaften

Aufgrund der vorhandenen Bohraufschlüsse kann der Grundwasserleiter im Talbereich vertikal einheitlich aufgefaßt werden, sodaß die Annahme einer tiefengemittelten, zweidimensionalen horizontal ebenen Strömung gerechtfertigt ist.
Weiters werden horizontale Inhomogenität und Anisotropie des Aquifers angenommen.

5. 1. 3. 3. Gültigkeit des Darcy'schen Gesetzes

Im gesamten Strömungsfeld wird laminare Strömung vorausgesetzt, sodaß die Gültigkeit des Darcy'schen Gesetzes gegeben ist.

5. 1. 3. 4. Eigenschaften des Fluids

Für das Grundwasser wird vorausgesetzt, daß seine Dichte konstant ist und somit das hydraulische Potential ϕ ausgedrückt in Standrohrspiegelhöhe h als Variable angenommen werden kann.
Weiters erfolgt weder ein Stoffeintrag noch Temperaturänderungen, die Auswirkungen auf die Dichte oder die kinematische Viskosität des Grundwassers ausüben.

5. 1. 4. Gebietsabgrenzungen

5. 1. 4. 1. Vertikale Gebietsabgrenzung

Die Integrationsgrenzen für die tiefengemittelte Strömung sind einerseits die Staueroberkante, andererseits der freie Grundwasserspiegel.

5. 1. 4. 2. Horizontale Gebietsabgrenzung

Das Untersuchungsgebiet wird parallel zur Talachse durch den Grundgebirgsrand und normal zur Talachse durch willkürlich festgelegte Talquerprofile begrenzt. Bleibt die pleistozäne Terrasse unberücksichtigt, erhält man das Berechnungsgebiet. Das Aussagegebiet, jenes Gebiet, für welches aufgrund der vorhandenen Daten und der Modellkonzeption verläßlich Aussagen möglich sind, wird auf den eigentlichen Talboden, also jenen Bereich, der nicht durch Schwemmfächer überprägt ist, beschränkt.

5. 2. Mathematische Formulierung des Modellkonzeptes

5. 2. 1. Grundlagen

Zur Beschreibung der Grundwasserströmung werden folgende Gleichungen benötigt:

- Fließgesetz nach Darcy: $\underline{q} = -\underline{K} \operatorname{grad} \underline{h}$

- Massenbilanzgleichung: $\operatorname{div} \underline{q} = S_o \frac{\partial h}{\partial t}$

Die vollständige Gleichung für die instationäre zweidimensional horizontale Grundwasserströmung in einem nichthomogenen anisotropen Medium lautet:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(Tx \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(Ty \frac{\partial h}{\partial y}\right) = S_o \frac{\partial h}{\partial t} + Q,$$

wobei Q den Quellterm repräsentiert, der Quelle und Senken beschreibt.

5. 2. 2. Rand- und Anfangsbedingungen

Für Ränder mit bekanntem piezometrischen Druck (= Dirichlet-Randbedingung) gilt:

$$h = h(x,y,t) = f_z(x,y,t)$$

wobei f_z eine bekannte Funktion darstellt.
Ist der Zu- oder Abfluß normal zum Modellrand bekannt (= Neumann-Randbedingung), gilt:

$$Q_n = f_z(x,y,t)$$

wobei f_z wiederum eine bekannte Funktion ist. Wird der Funktionswert Null, liegt ein undurchlässiger Rand vor.
In stationärem Fall stellt die Lösung der Strömungsgleichung eine Randwertaufgabe dar, der Ausgangszustand wird zur Berechnung nicht benötigt. Im Gegensatz dazu ist im instationären Fall die Anfangsbedingung zur Lösung erforderlich.

Sie ist definiert mit:

$$h = h(x,y,t_o) = f_z(x,y,t_o)$$

und muß eine bekannte Funktion sein.

5. 2. 3. Das numerische Modell

Anhand des beschriebenen Modellkonzeptes wird für die numerische Lösung ein ebenes zweidimensionales Finite-Differenzenmodell eingesetzt, welches im Zuge späterer Untersuchungen die Option offenläßt, die Berechnung auf dreidimensionale Strömungsverhältnisse auszudehnen. Das Modell wurde in seinen Grundzügen vom US-Geological-Survey entwickelt, in weiterer Folge adaptiert und um entsprechende graphische Ein- und Ausgabemodule zur Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit ergänzt. Die Installation und sämtliche Rechengänge erfolgten auf der Rechenanlage der Fa. Hydrosoft GmbH., (VAX II/RC).

5. 2. 3. 1. Räumliche Diskretisierung

Ausgangspunkt ist die partielle Differentialgleichung zweiter Ordnung für die stationäre bzw. instationäre horizontal ebene Grundwasserströmung.
Die räumliche Diskretisierung des Kontinuums erfolgt anhand des gewählten blockzentrierten orthogonalen Gitternetzes durch Differenzenbildung. Für jedes Element gilt, daß einerseits die geohydraulischen Parameter wie Durchlässigkeitsbeiwert und Speicherkoeffizient sowie geometrischen Parameter wie Stauer- und Geländeoderkante konstant sind. Durch geeignete Wahl des horizontalen Gitterabstandes werden die geometrischen Ränder möglichst exakt nachgebildet (siehe Abb. 11).

5. 2. 3. 2. Zeitliche Diskretisierung

Bei der Behandlung von instationären Problemen ist zusätzlich die Diskretisierung der Zeit erforderlich.

Prinzipiell gilt:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\phi'_{i,j} - \phi^{o}_{i,j}}{\Delta t}.$$

Die explizite Methode errechnet das hydraulische Potential $\phi'_{i,j}$ eines Knotens nach einem Zeitschritt Δt aus dem Anfangspotential ϕ^{o} der benachbarten Knoten

$$\phi'_{i,j} = f\,(\phi^{o}_{i,j}, \phi^{o}_{i-1,j}, \phi^{o}_{i+1,j}, \phi^{o}_{i,j-1}, \phi^{o}_{i,j+1}).$$

Die Lösung des derart erhaltenen Gleichungssystems ist äußerst einfach, jedoch ergeben sich Stabilitätsprobleme bei großen Zeitschritten und quasistationären Strömungsverhältnissen. Um eine Oszillation der Lösung zu verhindern, muß der Zeitschritt folgenden Ansprüchen genügen:

$$O < \Delta t < {}^{1}/_{2}\,\frac{S}{T}\,\frac{(\Delta x)^2(\Delta y)^2}{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}.$$

Dieses Stabilitätskriterium stellt somit eine bedeutende Beeinträchtigung der Effektivität des expliziten Verfahrens dar und bildet ein Gegengewicht zu dessen Einfachheit.
Im Gegensatz dazu wird bei der impliziten Methode das hydraulische Potential $\phi'_{i,j}$ eines Knotens nach einem Zeitschritt Δt aus Anfangspotential $\phi^{o}_{i,j}$ und den Potentialen der Nachbarknoten am Ende des Zeitschrittes berechnet

$$\phi'_{i,j} = f\,(\phi^{o}_{i,j}, \phi'_{i-1,j}, \phi'_{i,j-1}, \phi'_{i+1,j}, \phi'_{i,j+1}).$$

Je nach Wahl des Interpolationsparameters

$$\phi_{i,j} = \varepsilon\,\phi^{o}_{i,j} + (1-\varepsilon)\,\phi'_{i,j}$$

unterscheidet man zwischen dem total impliziten Verfahren ($\varepsilon = 0$, Strongly Implicite Procedure) und dem Crank-Nicholson Verfahren ($\varepsilon = \frac{1}{2}$). Alle impliziten Verfahren sind stabil, es müssen bei der Zeitschrittwahl keine Kriterien berücksichtigt werden.
Der Vorteil der Stabilität wird durch eine aufwendigere mathematische Lösung des Gleichungssystems erzielt, das iterativ nach Gauß-Seidl oder Overrelaxation gelöst werden muß.
Die Unterschiede in der Genauigkeit zwischen expliziten und impliziten Verfahren sind gering. Im eingesetzten numerischen Modell wird ausschließlich das total implizite Verfahren angewandt.
Die Simulationsdauer wird in Streßperioden - Zeiträume innerhalb derer Quellen, Senken und Randbedingungen konstant sind - und Zeitschritte für die Berechnung, unterteilt. Die Länge und Anzahl der Streßperiode sowie Zeitschritte können unter Berücksichtigung des Stabilisationskriteriums frei gewählt werden.

5. 3. Entwicklung des Modelles für Kraubath-St. Stefan

Basierend auf dem Modellkonzept und der mathematischen Formulierung des Problemes erfolgt im folgenden Kapitel die Umsetzung der durch die Natur vorgegebenen Verhältnisse in die für die weitere mathematische Behandlung erforderliche Form.

5. 3. 1. Festlegen des Differenzennetzes

Als Grundlage für die Berechnung der Grundwasserströmung nach der FDM-Methode muß zuerst über das gesamte Untersuchungsgebiet ein orthogonales Rechtecknetz gelegt werden, das folgenden Ansprüchen genügen muß:

- Da die Transmissivität ein Tensor ist, muß die Richtung einer Koordinatenachse des Netzes parallel zur Richtung der größeren Durchlässigkeit gelegt werden.
- In Bereichen mit örtlich unterschiedlicher Transmissivität ist das Netz entsprechend zu verfeinern.
- Entnahmestellen und Knoten sollen nach Möglichkeit mittig unterhalb der Elemente liegen.
- Sämtliche Modellränder, insbesonders interne, sollen durch entsprechende Wahl der Maschenweite exakt nachgebildet werden können.

Der Teilabschnitt Kraubath/Mur - St. Stefan/Leoben wurde entsprechend obigen Forderungen in ein Netz mit der Länge von 5500 m und einer Breite von 2000 m eingeteilt, wobei die Maschenweite zwischen 70 m und 140 m schwankt. Insgesamt ergab sich somit ein Differenzennetz mit 817 Elementen.

5. 3. 2. Festlegen der geometrischen Modellränder

Die Abgrenzung des Modellgebietes erfolgt am südöstlichen Talrand durch die Para- und Orthogneise des Mittelostalpins, ebenso wie am nördlichen und östlichen Talrand.
Da im Bereich der würmeiszeitlichen Niederterrasse keine Grundwassermeßstellen in Form von Hausbrunnen oder Pegeln vorliegen, wird dieser Bereich des Talabschnittes von der Berechnung ausgenommen. Berechnungs- und Aussagegebiet ist somit nur die holozäne Talflur.
Die Ränder quer zur Talachse werden durch willkürlich festgelegte Talquerprofile nachgebildet.

5. 3. 3. Die Geländeoberkante

Die Geländeoberkante wurde der ÖK 132 "Trofaiach", 1 : 25000 V (aufgenommen 1966, Kartenrevision 1983, Einzelne Nachträge 1985) entnommen.

5. 3. 4. Die Staueroberkante

Als Staueroberkante wurde die Tertiäroberfläche, wie sie durch refraktionsseismische Methoden ermittelt wurde, angenommen. Für jedes Element muß die aus dem Isolinienplan berechnete Höhe angegeben werden. Da neben dem k_f-Wert die Mächtigkeit des Grundwasserleiters erheblichen Einfluß auf die berechneten Grundwasserspiegelhöhen besitzt, kann sich im Zuge der Errichtung des Modelles die Notwendigkeit der Anpassung der Höhenlage der Staueroberkante ergeben.

5. 3. 5. Durchlässigkeitsbeiwerte

Für die erste Anschätzung der Durchlässigkeitsbeiwerte liegen die Pumpversuche der Jahre 1972 vor. Ihre Auswertung erbrachte vertikal gemittelte Durchlässigkeitsbeiwerte von

$$k_f = 9.10^{-4} - 3.10^{-3} \text{ m/s}.$$

Diese Durchlässigkeitsbeiwerte wurden als Startwert in den Kalibrierungsprozeß für einen annähernd stationären Strömungszustand eingesetzt. Die endgültige Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte ist das Ergebnis der Eichung und erfolgt durch Lösung des inversen Problems.

5. 3. 6. Der Speicherkoeffizient

Das durchflußwirksame Porenvolumen ist maßgeblich für die Änderung des Speichervolumens im Modellgebiet verantwortlich. Der Speicherkoeffizient als Maß für das spontan entwässerbare Wasservolumen bei einer Druckentlastung von 1 m entspricht dem Betrag nach dem nutzbaren Porenvolumen. ZETINIGG / 6/ gibt, basierend auf 15 Markierungsversuchen im Murtal, davon 7 als Einbohrloch-Methode ausgeführt, einen wahrscheinlichsten Größenbereich von 15 bis 25 % an. Die Auswertung der im Jahre 1974 durchgeführten Filter- und Abstandsgeschwindigkeitsmessungen / 2/ nach der Beziehung

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

ergibt leider nicht akzeptable Werte. In erster Näherung kann der Speicherkoeffizient auch über die Beziehung $S = 0.462 + 0.045 \ln (k_f)$ berechnet werden.

Der Speicherkoeffizient wurde vorerst mit 0.2 für das gesamte Modellgebiet festgelegt und im Zuge der instationären Berechnung geeicht.

5. 3. 7. Randbedingungen

Die Zuordnung von Randbedingungen an die festgelegten geometrischen Modellränder, stellt für die Schematisierung der Natur ein wichtiges Kriterium dar. Sie sind nur unter großem Aufwand quantifizierbar und werden deshalb vorerst aufgrund hydrogeologischer und geohydraulischer Überlegungen festgelegt. Im Zuge der Kalibrierung werden sie verifiziert und erforderlichenfalls variiert, wobei durch Plausibilitätskontrollen die physikalische Möglichkeit der Parameterkombinationen (Randbedingung - Durchlässigkeit - Speicherkoeffizient) überprüft werden muß. Durch dieses Feedback werden mathematisch mögliche, jedoch in der Natur unmögliche Lösungen ausgeschlossen.
Im Modell Kraubath wurden die talparallelen Gebietsränder vorerst als undurchlässige Ränder (= no flow boundary) festgelegt. Diese Annahme wird einerseits durch den Verlauf der Potentiallinien, andererseits durch den petrographischen Aufbau des Festgesteinsrahmens angeregt. Eine Ausnahme bilden hiebei die Ränder zur Würm-Terrasse sowie der Schwemmfächer des Leisingbaches. Hier wurden bekannte Zuflüsse aus der Terrasse bzw. des Leisingbaches angenommen, wie sie bereits in früheren Untersuchungen /18/ festgestellt wurden. Die Ränder normal zur Talachse eingangs und ausgangs des Modellgebietes wurden durch bekanntes konstantes Potential nachgebildet. In diesem Fall wird eine Zelle außerhalb des Modellgebietes einer Quelle zugeordnet, die Wasser entsprechend der Druckdifferenz zwischen der Quelle und der Zelle innerhalb des Modellgebietes einspeist.

5. 3. 8. Quellen und Senken

Anthropogene und natürliche Zu- und Abflüsse innerhalb des Modellgebietes (Grundwasserentnahmen, Versickerungen, Drainagen, etc.) stellen üblicherweise keine Randbedingung dar. Im Modell Kraubath - St. Stefan werden folgende Quellterme berücksichtigt:

- Flächenhafter Zufluß: Niederschlag, Verdunstung
- Linienförmiger Zufluß: Austauschströmung zwischen Mur und Grundwasser
- Punktförmiger Zufluß: Entnahmebrunnen

Die Niederschlagshöhe bzw. größenordnungsmäßig der grundwasserbildende Anteil des Niederschlages sind ebenso wie die Entnahmeraten der beiden kommunalen WVA's Kraubath und St. Stefan bekannt. Die Entnahme aus der geringen Anzahl Hausbrunnen stellt im Vergleich zum Grundwasservolumen von ca. 17 - 20 Millionen Kubikmeter einen verschwindend kleinen Teil dar und wird in der Modellrechnung vernachlässigt.
Der Austausch zwischen Mur und Grundwasser ist einerseits bedingt durch das Potentialgefälle zwischen Murwasserspiegel und Grundwasserspiegel, andererseits durch den hydraulischen Widerstand des Flußbettes. Infolge der regelmäßig wiederkehrenden Hochwässer kann in gegenständlichem Murabschnitt eine Kolmation des Flußbettes ausgeschlossen werden. Die Durchlässigkeit der Flußsohle wird somit gleichgesetzt der Durchlässigkeit des Untergrundes.

5. 4. Die Kalibrierung

Die Eichung ist der letzte Teil im Aufbau eines Grundwassermodelles. Unter ihr versteht man die Anpassung der Modellparameter an das beobachtete physikalische System. Prinzipiell ist die Variation der geometrischen und geohydraulischen Parameter sowie der Randbedingung und Quellterme möglich.

In der Praxis beschränkt sich die Variation der Eingabedaten auf:

- Verteilung von Durchlässigkeit und Höhenlage der Staueroberkante
- Verteilung des Speicherkoeffizienten
- Zu- und Abflüsse sowohl innerhalb des Modelles (= Quellen) als auch über die Modellränder

5. 4. 1. Stationärer Fall

Im Zuge der Modelleichung wurde jeweils für den 2. 2. 1989 und 18. 8. 1986 die Grundwasserspiegelhöhe berechnet (siehe Abb. 13). Für beide Tage lagen die gemessenen Grundwasserspiegelhöhen der Beobachtungspegel des Hydrographischen Dienstes sowie des Referates für Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung vor. Zusätzlich ist die Grundwasserspiegelhöhe für 6 - 7 Hausbrunnen für diese Tage bekannt. Die Wasserstände des 2. 2. 1989 entsprechen Niederwasserverhältnissen, sodaß die Annahme stationärer Strömungsverhältnisse gerechtfertigt erscheint. Im Gegensatz dazu entspricht der 18. 8. 1986 eher höheren Grundwasserverhältnissen. Die für die Austauschströmung Mur - Grundwasser maßgebende Murwasserspiegellage lag für den 2. 2. 1989 als Meßwert vor, für den 18. 8. 1986 wird sie der synthetischen Murganglinie entnommen.

Die Grundwasserneubildung wurde vorerst nach TURC für den 2. 2. 1989 mit 0.9 mm/d und für den 18. 8. 1986 mit 0.3 mm/d angenommen.
Bekannt waren ebenso die Entnahmemengen für die WVA Kraubath und St. Stefan.
Im Zuge des Kalibrierungsprozesses wurden für die optimierte k_f-Wertverteilung die geringsten Abweichungen der berechneten von den gemessenen Grundwasserspiegelhöhen festgestellt, wobei die Bezugsergebene auf + 500 m ü.A. gelegt wurde.

Br.Nr.	gem.	18. 8. 86 ber.	Fehler abs.	2. 2. 89 gem.	ber.	Fehler abs.	rel.%
1	83.43	83.48	+0.05	0.38	3.23	83.21-	0.02 0.1
2	---	---	---	---	---	79.42	79.38- 0.04 0.2
4	---	---	---	---	---	78.59	78.61 +0.02 0.1
6	74.83	74.80	- 0.03	0.27	4.55	74.48-	0.07 0.4
7	75.38	75.49	+0.11	0.67	5.35	75.30-	0.05 0.3
8	---	---	---	---	---	77.10	77.00- 0.10 0.5
14	81.34	81.32	- 0.02	0.18	1.02	81.17	+0.15 0.8
15	81.27	81.18	- 0.09	0.6	----------		
16	81.09	81.03	- 0.06	0.38	0.80	80.81	+0.01 0.1
17	81.43	81.35	+0.08	0.48	0.89	81.20	+0.31 1.6
18	82.63	82.52	+0.11	0.68	2.36	82.34-	0.02 0.1
19	77.66	77.73	+0.07	0.47	7.25	77.50	+0.25 1.3
20	77.53	77.67	+0.14	0.77	7.30	77.40	+0.10 0.5

mittlere Fehler:	+0.01	+ 0.05
mittl. quadrat. Abweichung:	0.08	0.14

Während die absoluten Fehler die tatsächlichen Abweichungen der gemessenen von den berechneten Werten angeben, bezieht sich der relative Fehler der tatsächlichen Abweichungen auf eine geschätzte mittlere Aquifermächtigkeit von 20 Metern.

Die hierbei als weiteres Ergebnis der Berechnung und des Eichprozesses ermittelte Grundwasserbilanz lautet:

	18. 8. 1986 [l/s]	2. 2. 1989 [l/s]
Zufluß über Talquerprofil:	+40	+30
Abfluß über Talquerprofil:	- 76	-100
Flächenhafter Recharge:	+21	+45
Randliche Zuflüsse:	+28	+22
Entnahmemengen:	- 5	- 5
Infiltration aus der Mur:	+83	+85
Exfiltration in die Mur:	- 92	- 77
Speicherung S:	0	0

Die Grundwasserschichtenpläne für den 2. 2. 1989 und 18. 8. 1986 sind in Einlage 18 dargestellt.

5. 4. 2. Instationärer Fall

Die Beschreibung der instationären Grundwasserströmung mittels eines numerischen Modelles erfordert im Vergleich zum stationären Fall einen ungleich höheren Aufwand, da ein Teil der erforderlichen Eingabedaten zeitabhängig ist.
Das sind insbesonders:

- randliche Zuflüsse
- Grundwasserneubildung
- Murwasserspiegelhöhen
- Grundwasserentnahmen.

Dieser Aufwand muß dann in Kauf genommen werden, wenn als Ergebnis der Eichung die räumliche Verteilung des Speicherkoeffizienten gefragt ist bzw. im Zuge der Simulation Prognoseberechnungen über das zeitliche Verhalten des Grundwasserkörpers durchgeführt werden sollen.
Bereits aus der stationären Eichung ist die Durchlässigkeitsverteilung bekannt. Im Zuge des instationären Kalibrierungsprozesses werden durch Variationen der Speicherkoeffizienten sowie der zeitlichen Verteilung der randlichen Zuflüsse und Quellterme die berechneten Ganglinien an die gemessenen angepaßt. Da für den Zeitraum

Juli 1988 - Juni 1989 sowohl die Ganglinien von Grundwasserständen als auch des Murwasserstandes als gemessene Werte vorlagen, wurde für diesen Zeitraum die instationäre Berechnung durchgeführt.
Die Eichung ist infolge der geringen Anzahl bekannter Grundwasserstandsganglinien eher schlecht abgesichert, sodaß auch keine räumliche Differenzierung des Speicherkoeffizienten durchgeführt wurde. Die Annahme eines nutzbaren Porenvolumens von ca. 20 % könnte jedoch prinzipiell bestätigt werden.

5. 5. Kritische Bewertung und Weiterführung des Modelles

Einen wesentlichen Punkt im Ablaufschema der Erstellung eines Grundwassermodelles stellt die Ergebnisinterpretation dar, die neben der Darstellung der Ergebnisse und der Erfolgskontrolle eine kritische Bewertung derselben im Hinblick auf die Qualität der Eingabedaten enthält. Vorausschickend sei nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die gesamte Modellerstellung auf vorhandenen Unterlagen und Untersuchungsergebnissen basiert, was eine zum Teil unbefriedigende Datenausgangslage schafft.
Die Genauigkeit einer Simulation ist prinzipiell abhängig von der Art der Schematisierung sowie dem Umfang der vorhandenen Daten. Nachstehende Fehlerquellen sind somit möglich:

- zu geringe Modellauflösung
- ungenaue Schematisierung
- fehlerhafte Beobachtungswerte
- falsche Randbedingungen
- falsche Quellterme
- nicht zutreffende Systemparameter.

Im Zuge der hydrogeologischen Bestandsaufnahme wurde festgestellt, daß für den Bereich der eiszeitlichen Terrasse keinerlei Untersuchungsergebnisse vorlagen und auch keine Grundwasserbeobachtungsstellen existierten. Aus diesem Grund mußte die Terrasse vom Untersuchungsgebiet abgetrennt werden. **Die Berechnung beschränkte sich somit ausschließlich auf den holozänen Bereich des Talabschnittes.** Die räumliche Diskretisierung, die maßgebend für das numerische Auflösungsvermögen des Modelles ist, muß in engem Zusammenhang mit der vorhandenen Datendichte gesehen werden. Ein engmaschiges Gitternetz bei geringer Datendichte vergrößert keineswegs die Aussagegenauigkeit. Für die stationäre Eichung lagen von je 20 Grundwassermeßstellen die Spiegelhöhen vor. Die Beobachtungswerte von 18 Meßstellen konnten für die Eichung

herangezogen werden, wobei die räumliche Aufteilung auf das Berechnungsgebiet relativ gut ist. Im Gegensatz dazu mußte die Eichung des instationären Strömungsvorganges anhand von sechs Eichpegeln durchgeführt werden, von denen vier im engeren Bereich um St. Stefan - Preßnitz, nicht weit voneinander entfernt, liegen. Im mittleren Abschnitt des Modellgebietes war überhaupt kein Pegel vorhanden.
Die **Schematisierung des Grundwassersystems** brachte aufgrund der einfachen hydrogeologischen Verhältnisse keine Probleme mit sich. Im Gegensatz zur Vereinfachung der Ränder des Untersuchungsgebietes war bei der Schematisierung des Murverlaufes im Hinblick auf die geänderte Linienführung und die Murschlingen gesondert Rücksicht zu nehmen.
Allgemein betrachtet ist der Einfluß ungenau nachgebildeter Gebietsränder örtlich beschränkt, während die Festlegung der Strömungsbedingung am Gebietsrand deutliche Auswirkungen auf die Ergebnisse des gesamten Berechnungsgebietes besitzt. Das gilt sinngemäß auch für die horizontalen Gebietsränder wie die Staueroberkante, deren Variation im Zuge der Modelleichung nur geringe Auswirkungen auf die berechneten Grundwasserspiegelhöhen zeigte.
Der einheitliche Aufbau des alluvialen Aquifers sowie die im Vergleich zu seiner Mächtigkeit große horizontale Ausdehnung erlaubte die **Annahme einer zweidimensionalen horizontal-ebenen Grundwasserströmung**. Eine Gliederung in Talgebiete mit einheitlichen geohydraulischen Eigenschaften war nicht erforderlich, weil sich der gesamte Aquifer als einheitliches Regime erwies.
Grundsätzlich schwer erkennbar sind falsche Beobachtungswerte, im besonderen dann, wenn sie im Kalibrierungsprozeß Verwendung finden und keine unplausiblen Rechenergebnisse bewirken. Hinweise auf falsche Beobachtungswerte im Modellgebiet Kraubath wurden nicht festgestellt, obgleich gewisse Schwierigkeiten bei Pegel Nr. 2601 auftraten. Speziell auf die pleistozäne Terrasse von Kraubath sowie das inneralpine Tertiär des Leisingbaches ist somit im Zuge der Weiterführung das Schwergewicht weitergehender Untersuchungen zu legen.
Besondere Bedeutung kommt der richtigen **Annahme der Randbedingungen** zu. Der berechnete Grundwasserspiegel reagiert äußerst sensitiv auf Änderungen des Strömungsverhaltens an den Rändern, wobei der Einflußbereich keineswegs örtlich begrenzt sein muß. Grundsätzlich sind die Randbedingungen nicht bekannt, außer es liegen gemessene Wasserspiegelhöhen am Gebietsrand vor. Derartige konstante Potentiale können durch offene Wasserflächen wie Seen oder Flüße, aber auch durch Drainagen repräsentiert werden. Im Grundwassermodell Kraubath wurde das Taleingangs- und Talausgangsprofil als konstantes Potential schematisiert. Die restlichen Ränder wurden vorerst als undurchlässig angenommen, was allerdings im Zuge der Eichung teilweise

revidiert werden mußte. Am Gebietsrand zur eiszeitlichen Terrasse, im Bereich des Eintrittes des Leisingbaches, des Chromwerkgrabens sowie des Aichbergbaches in die Talflur, mußten randliche Zuflüsse angenommen werden. Eine maßgebliche Zusickerung aus dem Kraubathbach ist auszuschließen, weil dieser hart verbaut ist und keinerlei Kontakt zum Grundwasserkörper besteht.
Ähnlich verhält es sich mit dem **Quellterm** (Grundwasserneubildung, Austauschströmung mit Oberflächengewässerentnahme), der bis auf die dokumentierte Entnahmemenge der beiden kommunalen WVA nicht von vornherein bekannt ist und dessen Bestimmung einen nicht unbeträchtlichtlichen Aufwand erfordert. Allein für die Quelle Mur müssen über ihren gesamten Verlauf die Höhen der Mursohlen, des Murwasserspiegels sowie der Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen Mur und Aquifer bekannt sein. Von der Genauigkeit dieser Eingabedaten hängen die In- und Exfiltrationsraten und in weiterer Folge die Grundwasserspiegelstände ab. Der k_f-Wert der Mursohle besitzt im Modell Kraubath eine untergeordnete Bedeutung, da eine Dichtschicht ausgeschlossen werden kann. Durch Interpolationsfehler der Murwasserspiegelhöhen können jedoch Ungenauigkeiten in der Berechnung entstehen.
Die letzte mögliche Fehlerquelle - nicht zutreffende Systemparameter - ist, da sie letztlich das Ergebnis der Eichung darstellt, nur dann zu erkennen, wenn physikalisch nicht mögliche bzw. unrealistische Ergebnisse vorliegen.
Da im Zuge der stationären Eichung des Grundwassermodelles für zwei Stichtage bei gleicher k_f-Wertverteilung ähnlich gute Ergebnisse berechnet wurden, kann davon ausgegangen werden, daß sich die angenommenen Durchlässigkeiten den tatsächlichen annähern. Anders verhält sich die Qualität der berechneten Speicherkoeffizientenverteilung. Infolge der geringen Meßstellendichte ist mit Sicherheit anzunehmen, daß die berechnete Verteilung der tatsächlichen nicht voll entspricht. Eine Verbesserung der Annäherung kann nur gemeinsam mit weiterführenden Untersuchungen und durch ein verdichtetes Beobachtungsnetz mit Langzeitmessungen erfolgen. **Während die Eichung und somit die Ergebnisse des stationären Strömungsfalles als gut bezeichnet werden können, ist die Qualität der Ergebnisse des instationären Strömungsfalles eher dürftig und sollte in der Fortführung des Modelles verbessert werden.**
In diesem Zusammenhang sollte auch über die Einsatzmöglichkeiten eines Grundwassermodelles in der Prognose und die Notwendigkeit eines instationären Modelles diskutiert werden. Mit Abschluß der Eichung ist prinzipiell das Erkundungsproblem abgeschlossen. Die Anwendung eines Grundwassermodelles kann in der Prognose bzw. Optimierung von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen liegen. Bei einer Vielzahl wasserwirtschaftlicher Fragen wie Optimierung von WVA im Hinblick auf Menge und Standort, Einfluß von Baumaßnahmen wie Kraftwerke, Naßbaggerungen, Verlegung

von Oberflächengewässern, Bodenversiegelungen etc. kann hiebei das Instrument Grundwassermodell helfend eingesetzt werden. In der Mehrzahl der Anwendung wird hiebei jeweils der sich einstellende Endzustand nach der getroffenen Maßnahme interessieren, wofür ein stationäres Modell vollends ausreicht. Sind jedoch die zeitlichen Veränderungen von Interesse oder soll der Einfluß sich langsam ändernder hydrologischer Randbedingungen ermittelt werden, muß auf ein instationäres Modell zurückgegriffen werden.

Um den Aufwand eines Grundwassermodelles nicht als Selbstzweck erscheinen zu lassen, ist die Fortführung jedes Grundwassermodelles nach Lösung der ursächlichen Aufgabenstellung hinaus anzustreben. Durch Einbinden neuer Untersuchungen und zusätzlichen Datenmaterials wird das Modell jeweils auf dem neuesten Stand gehalten und somit durch ständige Nacheichungen eine immer bessere Anpassung an das Natursystem erzielt. Der Vorteil für die wasserwirtschaftliche Verwaltung besteht darin, daß die Behörde über ein Instrument der Überwachung und Planung verfügt, welches rasche Entscheidungen und richtige Reaktionen auf geplante oder bereits existente Eingriffe in das wasserwirtschaftliche System ermöglicht.

Die kritische Bewertung der Ergebnisse führt zu folgender Aufstellung weiterführender Untersuchungen, die insbesonders für die Simulation des instationären Strömungszustandes unbedingt erforderlich sind.

- Abflußmessung an ausgewählten Murquerprofilen sowie der seitlichen Zubringer zur Kontrolle der Ex- und Infiltrationsraten.
- Überprüfung der angenommenen diffusen bzw. konzentrierten randlichen Zuflüsse durch hydrogeologische Kartierung in Verbindung mit hydrochemischen und isotopenhydrologischen Untersuchungen zur Abgrenzung von Einzugsgebieten.
- Ermittlung der zeitlichen Verteilung der Grundwasserneubildung mittels Lysimetermessungen oder mathematischer Modelle.
- Abteufen zusätzlicher Bohrungen bzw. Grundwasserbeobachtungspegel zur Abgrenzung der Geometrie und Erkundung des geologischen Aufbaues der Terrassen mit begleitender chemischer und isotopenhydrologischer Beprobung.

Darüberhinaus sollten die Ergebnisse von unabhängig vom Grundwassermodell durchgeführten hydrogeologischen Untersuchungen wie Kartierungen und

Geländeaufnahmen, Pumpversuchen, Markierungsversuchen, hydrologischen Messungen, Bohrungen, bodenmechanischen Untersuchungen etc. im Modell laufend berücksichtigt werden.

5. 6. Simulation von zwei Entnahmebrunnen

Aufbauend auf dem geeichten Modell wurde als Prognoserechnung der Einfluß zweier Entnahmebrunnen im Grundwasserfeld simuliert. Lage sowie Entnahmemenge wurden einvernehmlich mit dem Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung festgelegt. Sie besitzen rein hypothetischen Charakter und sollen lediglich die Ergiebigkeit des Grundwasserfeldes dokumentieren.
Der Brunnen I (fiktive Entnahmemenge 20 l/s) wurde in den Bereich der ersten Murschlinge etwa bei Pegel Nr.:4 (=2605) situiert, der Brunnen II (fiktive Entnahmemenge 60 l/s) talaufwärts von St. Stefan ob Leoben etwa im Bereich des Pegels Nr.:9 (=2614).

Die Prognoserechnung wurde für stationäre Strömungsverhältnisse durchgeführt, wobei die Randbedingungen als Ergebnis der Eichung unverändert blieben. Die Beeinflussung der ungestörten Grundwasserverhältnisse lassen sich einerseits durch die Veränderung des hydraulischen Potentiales ausgedrückt als Grundwasserspiegelhöhe andererseits als Änderung in der Grundwasserbilanz darstellen.

Die Absenktrichter beider simulierter Entnahmebrunnen sind infolge der unterschiedlichen Randbedingungen (Mur als Festpotentialrand und Gebietsrand als undurchlässige Berandung) äußerst assymmetrisch ausgebildet. Eine exakte Berechnung der Absenkparabeln im Nahfeld der Brunnen würde den Einsatz eines dreidimensionalen Modelles voraussetzen. Die berechneten Absenkungen in den Entnahmezellen betragen für den Brunnen I 61 cm und für den Brunnen II 111 cm.

Eine Veränderung innerhalb der Bilanzgrößen ergibt sich durch eine Zunahme der Murinfiltration von 47 l/s und eine Abnahme der Exfiltration von 9 l/s entsprechend nachstehender Tabelle. Die zusätzliche Infiltrationsrate wird durch direkte Murinfiltration speziell im Einzugsbereich des fiktiven Entnahmebrunnens II bedingt. Der davon betroffene Murabschnitt liegt zwischen Pegel Nr.:8 und dem nordöstlichen Modellrand. In diesem Bereich infiltrieren zusätzliche 30 l/s aus der Mur in den Grundwasserkörper.
Der Entnahmebrunnen I fördert hingegen hauptsächlich bereits in der ersten Murschlinge (nördl. Chromwerk) infiltriertes Murwasser, welches lediglich am Exfiltrieren in die zweite Murschlinge (nördl. Niederdorf) gehindert wird.

Grundwasserbilanz in l/s für den 2.2.1989 mit zwei Entnahmebrunnen

Zufluß über Talquerprofil:	+ 30
Abfluß über Talquerprofil:	- 75
Flächenhafter Recharge:	+ 45
Randliche Zuflüsse:	+ 22
Entnahmemengen:	- 85
Infiltration aus der Mur:	+ 129
Exfiltration in die Mur:	- 66
Speicherung:	0

Für die gewählten Entnahmemengen scheint infolge der längeren Untergrundpassage zum Entnahmebrunnen I dieser aus hygienisch-sanitären Grunden eine günstigere Lage als Brunnen II zu besitzen.

6. GRUNDWASSERCHEMIE

6. 1. Meßumfang und Probennahme

In den Jahren 1971 bis 1974 wurden an 17 Meßstellen Proben zur Bestimmung der Wasserbeschaffenheit entnommem und vom Labor für Gewässergüteaufsicht des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung untersucht. Eine detaillierte Beurteilung der Untersuchungen ist dem Berichtsband Nr.34/1976 des Referates für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung zu entnehmen. Im Zuge der Erstellung des Grundwassermodelles Kraubath wurde im Frühjahr 1990 (28. und 29. 5.) ebenfalls 17 Pegel und Brunnen beprobt. Die damals beprobten Meßstellen wurden mit den Nummern 1-17 gekennzeichnet, die 1990 beprobten mit A-R. Aus der nachstehenden Meßstellenliste geht hervor welche Meßstellen gleich geblieben sind.
Bei allen Meßstellen wurde nach ca. 20 minütigem Pumpen eine chemische Wasserprobe gezogen. Vor Ort wurden Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Temperatur und elektrische Leitfähigkeit elektrometrisch gemessen sowie die Säure- und Basenkapazität titrimetrisch bestimmt.

6. 2. Meßstellen

A: KICKENWITZ Juliane
8713 St. Stefan/Leoben 32
entspricht Nr.:6

B: PICHLER
Preßnitz 60, 8713 St. Stefan/Leoben
entspricht Nr.: 3

C: Pegel Nr.2614
entspricht Nr.: 10

D: Pegel Nr. 2612

E: Pegel Nr. 2602
entspricht Nr. 8

F: HARTENSTEINER Angela
Murweg 1, 8714 Kraubath/Mur

G: Schlosserei Lex
Bahnhofstr. 44, 8714 Kraubath/Mur
entspricht Nr. 14

H: Bahnwärterhaus
Bahnhofstraße 21, 8714 Kraubath/Mur

J: STEINER Friedrich
Auweg 9, 8714 Kraubath/Mur
entspricht Nr. 5

K: GT-Tankstelle
8714 Kraubath/Mur
entspricht Nr. 14

L: KRESSMAIER Florian
Preßnitz 34, 8713 Kraubath/Mur

M: GRUBER
Preßnitz 77, 8713 Kraubath/Mur
entspricht Nr. 16

N: WVA St. Stefan/Leoben
8714 St. Stefan/Leoben
entspricht Nr. 12

O: GALLOWITSCH Friedrich
Kaiserberg 103, 8713 Kraubath/Mur
entspricht Nr. 1

P: Pegel Nr.: 2607
enspricht Nr. 11

Q: WVA Kraubath/Mur
8713 Kraubath/Mur
enspricht Nr. 13

R: ZOLLER Rita
Auweg 1, 8713 Kraubath/Mur

6. 3. Untersuchungsergebnisse

6. 3. 1. Physikalische Parameter und titrimetrische Bestimmungen

Da in den Jahren 1971 bis 1974 auch im Winterhalbjahr beprobt wurde, sind Temperaturen von 5.5 bis 11.0 °C gemessen worden, während im Mai 1990 Temperaturen von 7.7 bis 12.3 °C gemessen wurden. Der pH-Wert schwankte damals zwischen 6.3 und 7.9. Im Mai 1990 ist dazu kein nennenswerter Unterschied feststellbar. Die Leitfähigkeit ist durchwegs angestiegen, bei den Pegeln A und K ziemlich deutlich von 300-420 μS/cm auf 650-670 μS/cm. Sowohl die Lage dieser Beprobungsstellen inmitten von Siedlungen als auch weitere Parameter lassen auf starke organische Verunreinigungen schließen. Es ist denkbar, daß die seinerzeitige Bestimmung des Sauerstoffgehaltes im Labor durchgeführt wurde und somit ein Vergleich zu den jetzigen Vorortmessungen nicht zweckmäßig erscheint. Zu erwähnen ist, daß durchwegs gute Sauerstofflösung gegeben ist mit Ausnahme beim Pegel D. Aus der Bestimmung des Säure- und Basenverbrauches sowie der Bestimmung des Qc-Wertes sind lediglich bei den Meßstellen K und L extreme Werte erkennbar. Beide Wässer weisen unüblich hohe Härtegrade auf. Unter Umständen sind auch diese Härten auf anthropogene Enflüsse zurückzuführen.

6. 3. 2. Chemische Inhaltstoffe

Bedingt durch die relativ rasche und ständige Erneuerung des Grundwassers im überwiegenden Teil des Talbodens und die kaum veränderte landwirtschaftliche Nutzung haben sich die chemischen Inhaltsstoffe kaum verändert. Zu deren Dokumentation sind auf den folgenden Seiten die Äquivalenzgewichtsprozente der Inhaltsstoffe dargestellt. Die Konzentrationen von Erdalkalien und Alkalien wurden hierbei aus der Ionenbilanz rechnerisch ermittelt und für 1990 auch als Summenwerte ausgegeben.
Bei einzelnen Meßstellen sind hohe organische Verunreinigungen festzustellen, die vermutlich infolge ihrer Lage zu Siedlungen durchwegs anthropogenen Einflüssen zuzuschreiben sind. Dies gilt besonders für den Bereich Leising (Meßstelle K) sowie für Teile des Ortes St. Stefan (Meßstelle A).
Aus der Sicht der physikalisch-chemischen Grundwasserbeschaffenheit wäre eine Wassergewinnung im gesamten Bereich des Talbodens zwischen St. Stefan unf Kraubath möglich.

7. UNTERLAGEN

A) ALLGEMEINE PUBLIKATIONEN

/ 1/ RABITSCH H. und FLÜGEL H.: Das Ergebnis einer hydrogeologischen Untersuchung im Bereich der Murschlinge Kraubath. Beiträge zu einer Hydrogeologie Steiermarks, 2 H. Graz 1949

/ 2/ Das Grundwasservorkommen im Murtal bei St. Stefan ob Leoben und Kraubath. Bericht der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung - Band 34, Graz 1976

/ 3/ Computergestützte wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, Mitt. Institut für Wasserwirtschaft und landwirtschaftlichen Wasserbau der TU-Hannover, Hannover 1978

/ 4/ DRACOS Th., Hydrologie, Wien 1980

/ 5/ Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdarbotes, DVWK Schriften 58/1.2, Hamburg 1982

/ 6/ ZETINIGG H.: Folgerungen aus Grundwasserverhältnissen für die Dimensionierung von Grundwasserschutzgebieten im Mur- und Mürztal, Österr. Wasserwirtschaft, 35, H. 1/2, 1983

/ 7/ DVWK Merkblätter 206/1985 - Voraussetzung und Einschränkungen bei der Modellierung der Grundwasserströmung

/ 8/ BEAR J., VERRUJIT A.: Modelling of Groundwater Flow and Pollution, 1987

/ 9/ Grundwassermodelle und ihr praktischer Einsatz, DVGW Schriftreihe Wasser Nr. 9, 1975

/10/ FISHER, R.A.: Tests on signifikance in harmonic analysis. Royal Soc. London, 125, 1929

/11/ Geologische Karte der Steiermark 1 : 200.000

B) GUTACHTEN

/12/ Technischer Bericht, betreffend Pumpversuch Niederdorf/Preßnitz von Dipl. Ing. J. NOVAK vom Juni 1972

/13/ Bericht über Messung der Strömungsgeschwindigkeit und -richtung in den Bohrungen I - IV bei Kraubath/Stmk. des BVFA Arsenal vom 10. 5. 1973.

/14/ S 36 - Murtalschnellstraße, Detailprojekt 1983, Murverlegung Kaisersberg I, von Dipl. Ing. A. FENNEBERG vom Februar 1983

/15/ S 36 - Murtalschnellstraße, Detailprojekt 1983, Murverlegung Kaisersberg II, von Dipl. Ing. A. FENNEBERG vom Februar 1983

/16/ S 36 - Murtalschnellstraße, Detailprojekt 1983, Murverlegung Kraubath, von Dipl. Ing. A. FENNEBERG vom Februar 1983

/17/ S 36 - Murtalschnellstraße, St. Michael - Preg, Murverlegung Kraubath, Querprofile 1 : 500 vom 28. 10. 1985

/18/ Hydrogeologisches Gutachten, betreffend Badesee Kraubath, von Dipl. Ing. Chr. KAISER, vom August 1986

C) MESSUNGEN

/19/ Abflußmessungen mit Extremwerten des Pegels Leoben von 1971 - 1988

/20/ Abflußmessungen mit Extremwerten des Pegels Kammern im Liesingtal von 1971 - 1988

/21/ Abflußmessungen mit Extremwerten des Pegels Zeltweg von 1971 - 1988

/22/ Niederschlagslisten der Station Kraubath von 1971 - 1988

/23/ Grundwasserstandsmessungen der Pegel 2601, 2602, 2603, 2605, 2607, 2610, 2611, 2612, 2614 von 1971 - 1988

/24/ Fördermenge aus den gemeindeeigenen WVA der Gemeinde Kraubath/Mur (1980 - 1988) und St. Stefan/Leoben (1972 - 1987).

/25/ Murpegelmessungen an den Pegeln Badesee, Wolfersbach und St. Stefan/Leoben

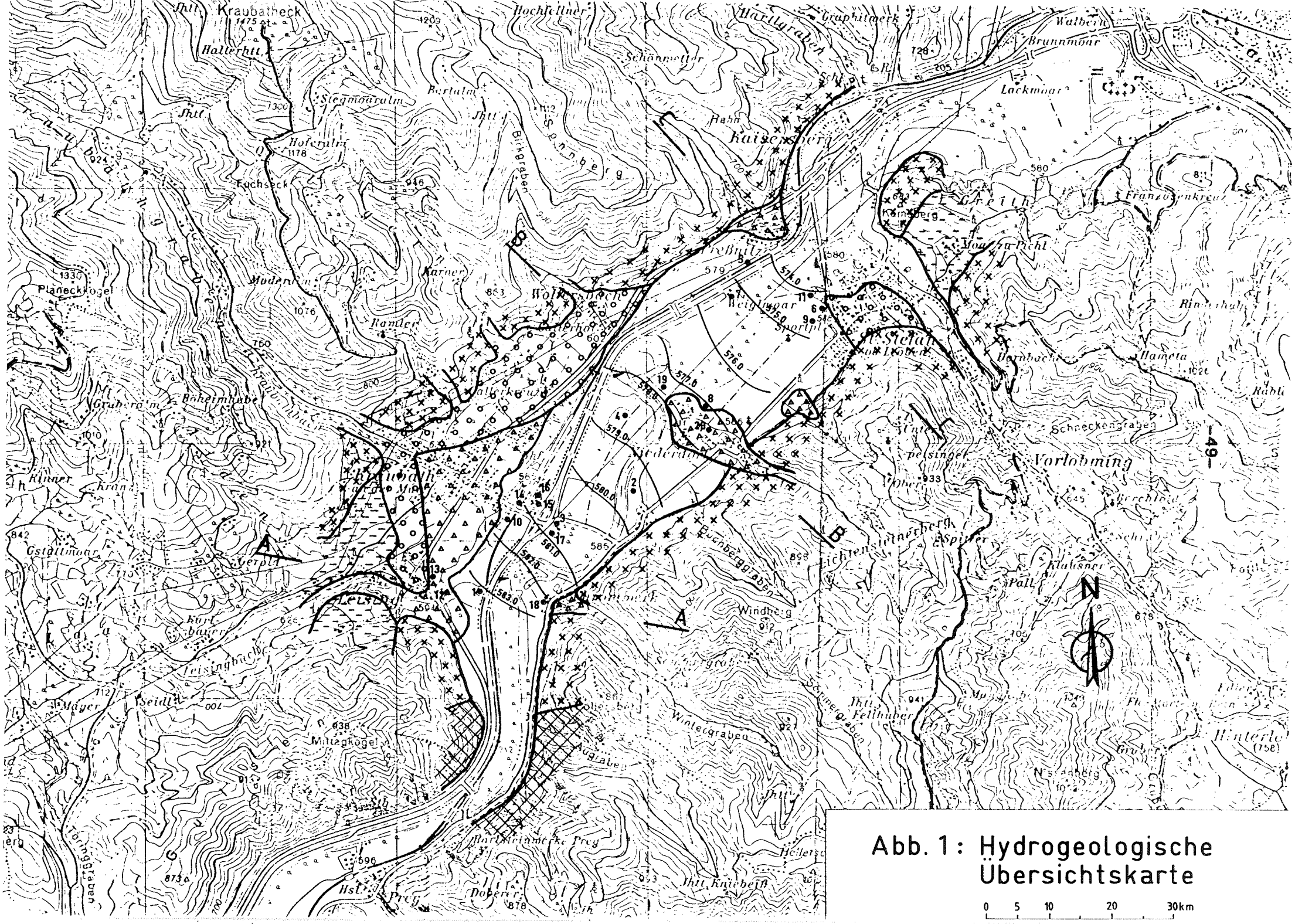


Abb. 1: Hydrogeologische Übersichtskarte

0 5 10 20 30km

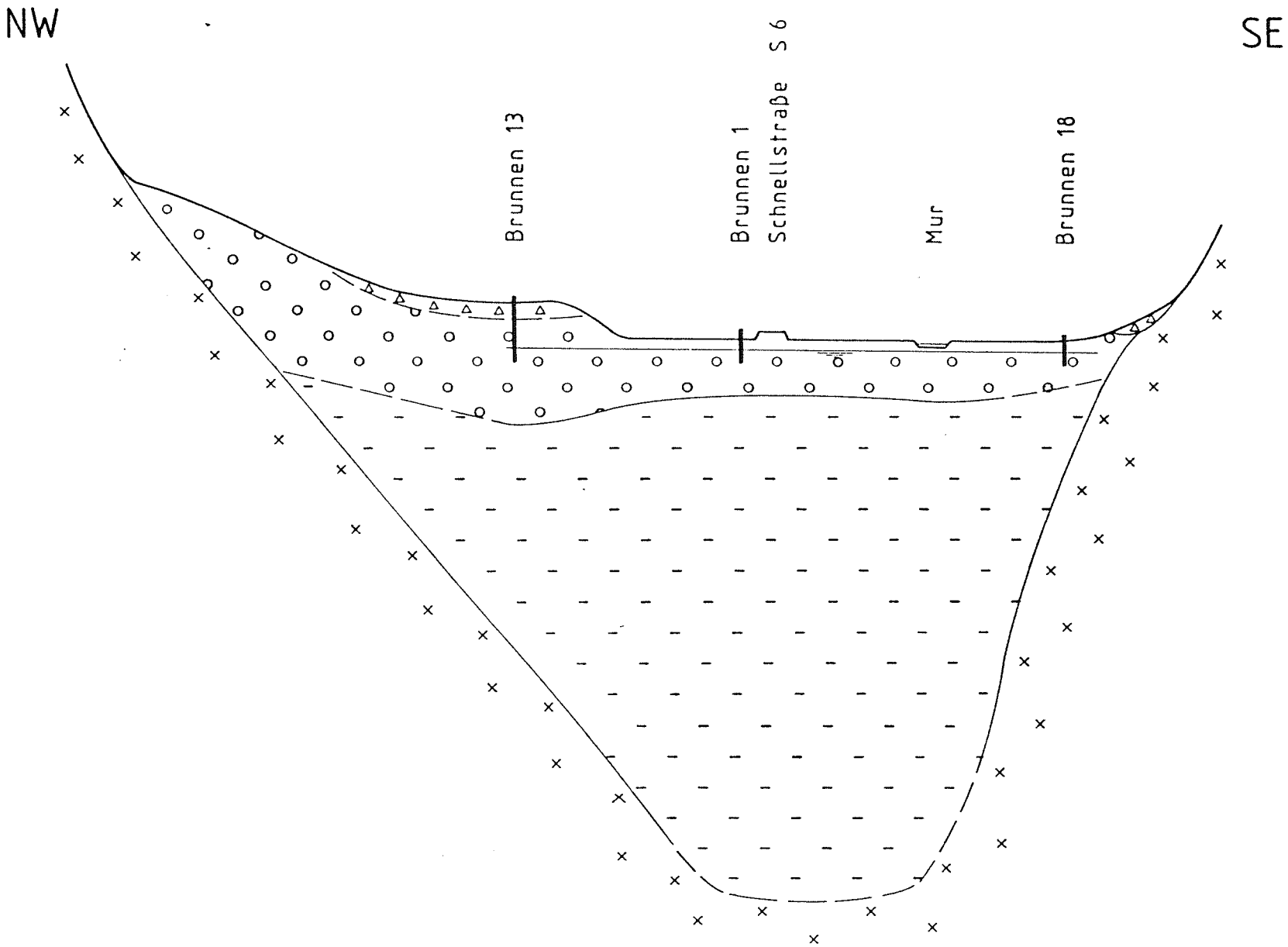


Abb.2a: P r o f i l A M = 1:10.000/2.000

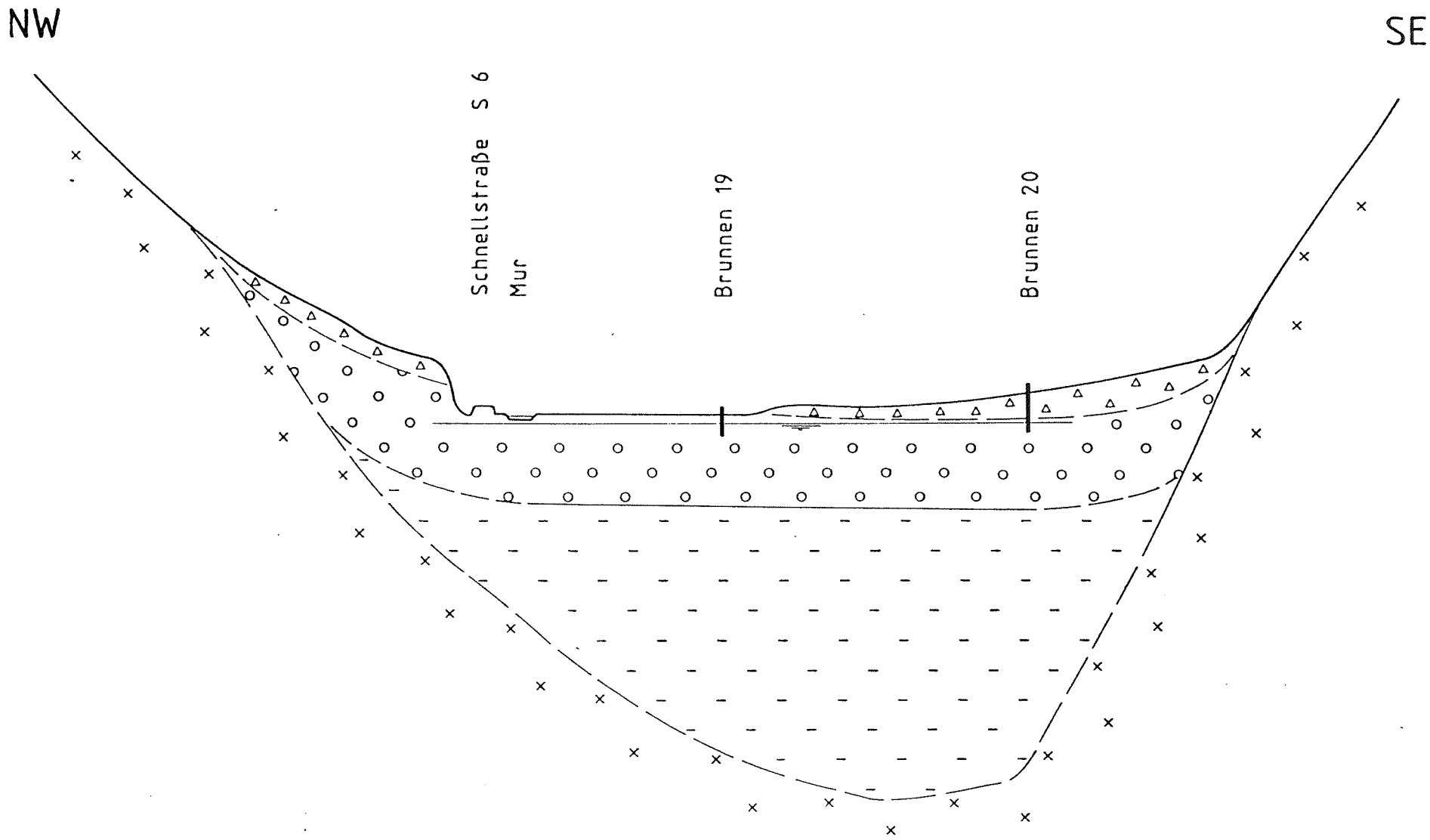


Abb. 2b: P r o f i l B M = 1:10.000/2.000

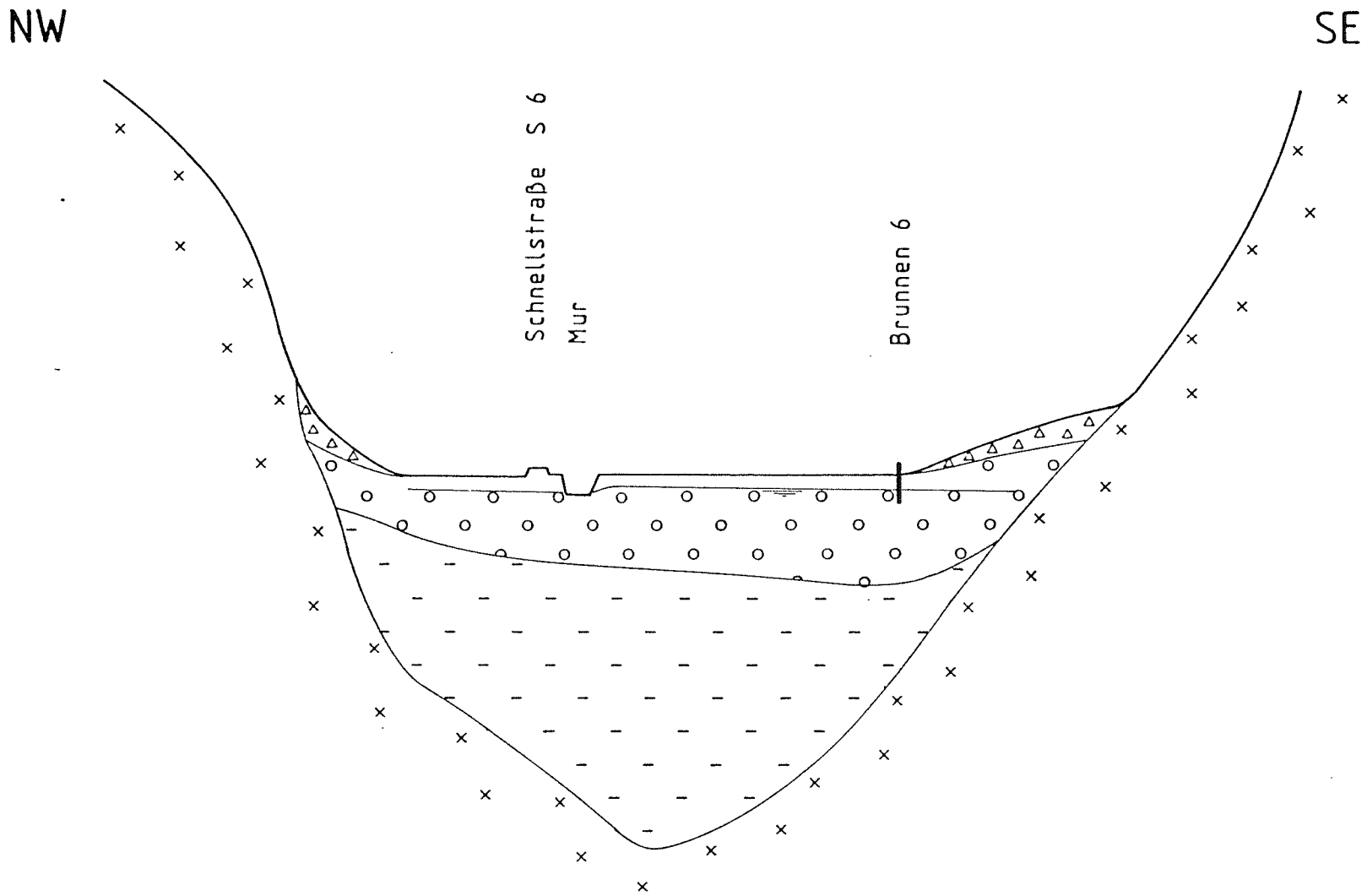
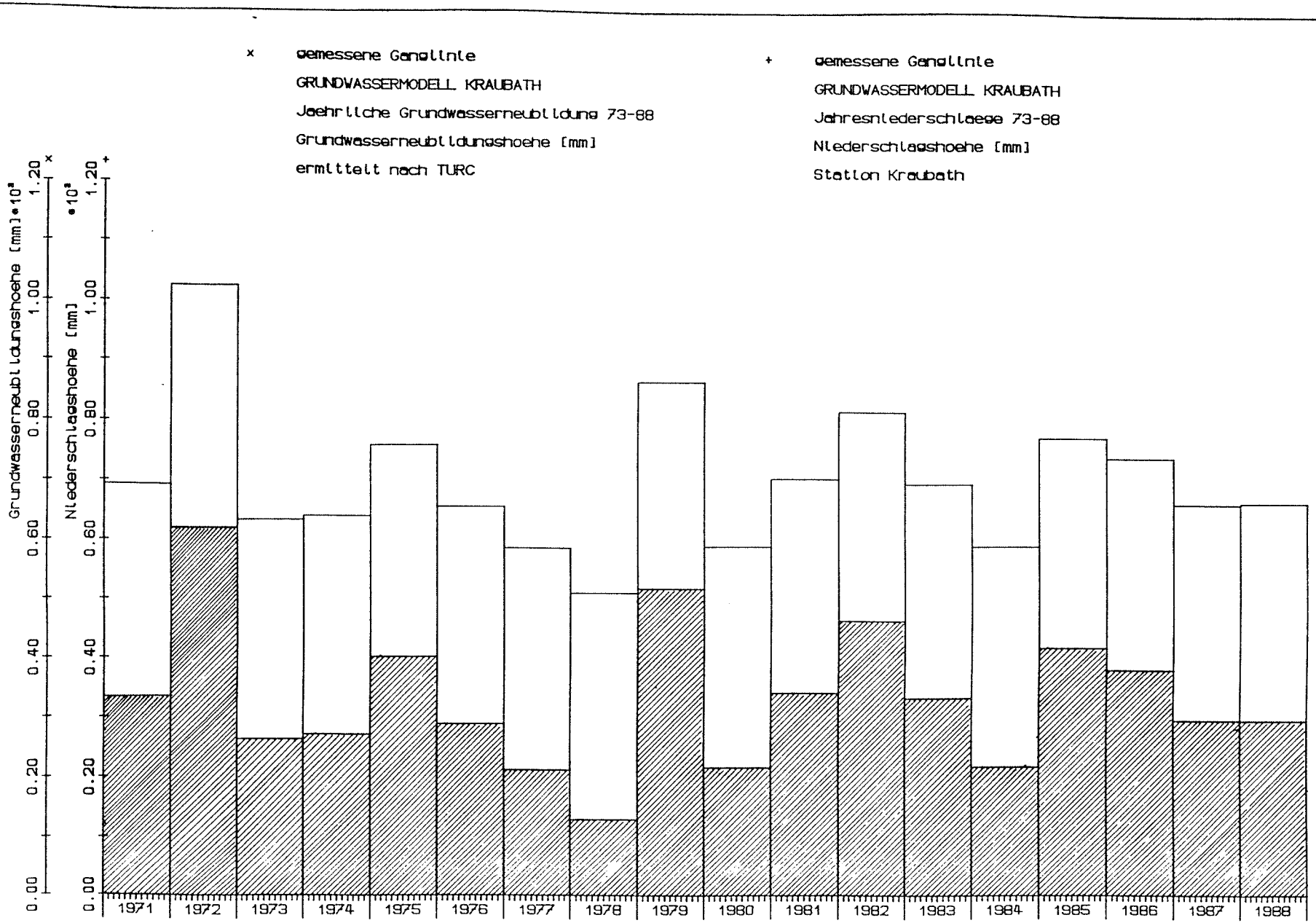
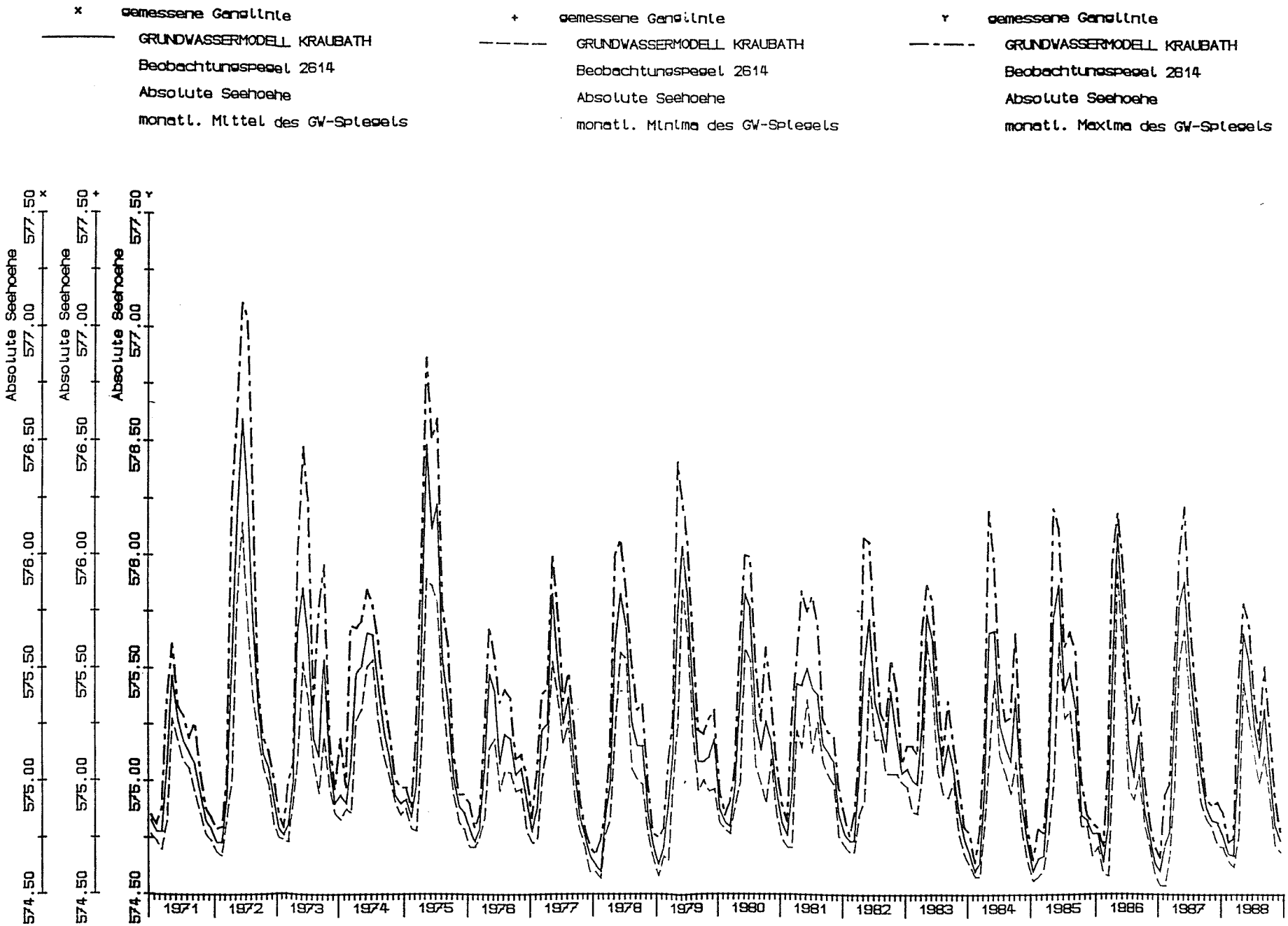


Abb. 2b: P r o f i l C M = 1:10.000/2.000



Inhalt:	jährliche Niederschlagsmengen Grundwasserneubildung nach TURC	Maßstab:	----------	Abbildung:	03



Inhalt:	Maßstab:	Abbildung:
Grundwasserganglinie mit monatl. Mittel-, Maximal- und Minimalwerten	----------	04

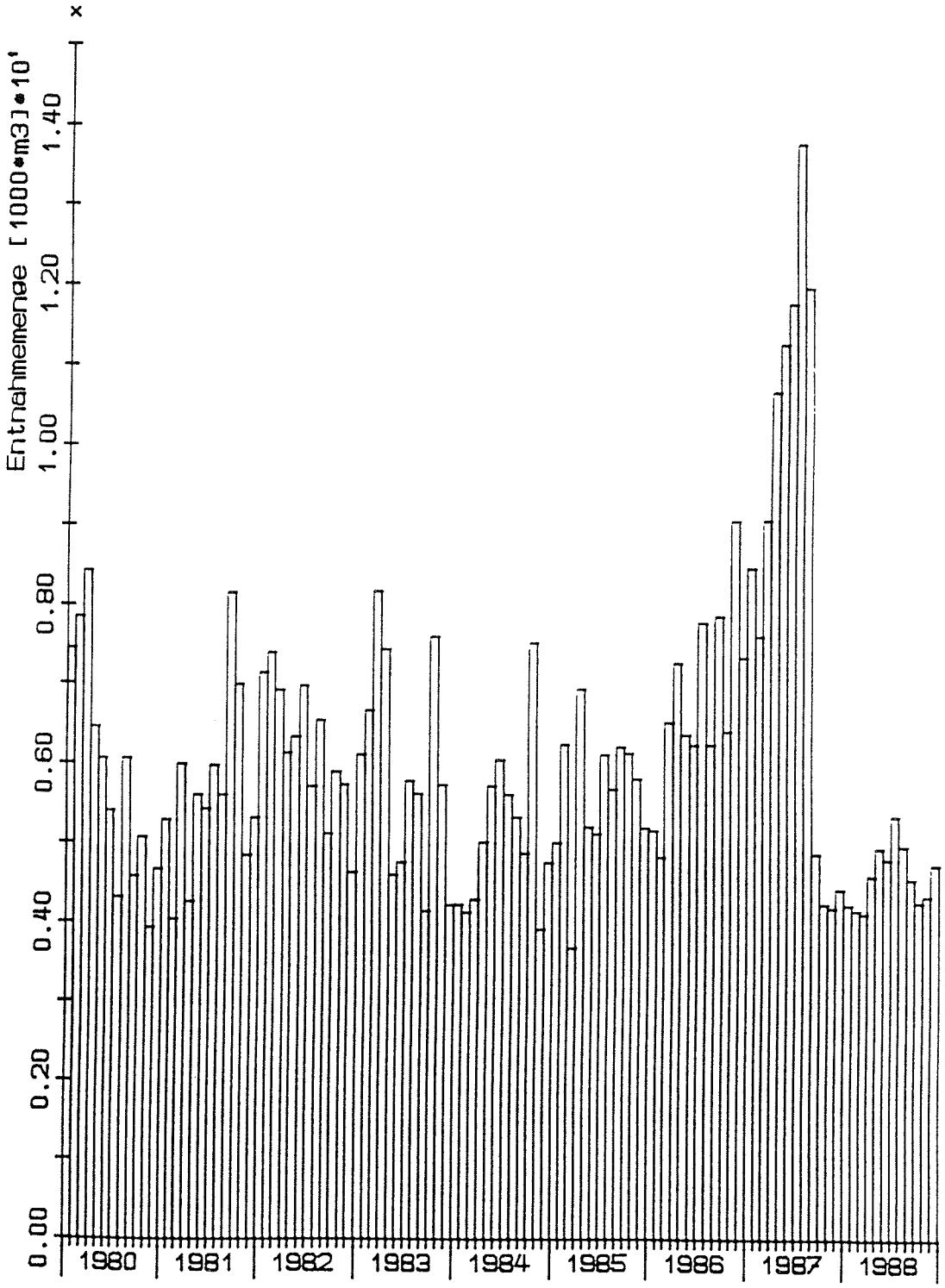
× gemessene Ganglinie

GRUNDWASSERMODELL KRAUBATH

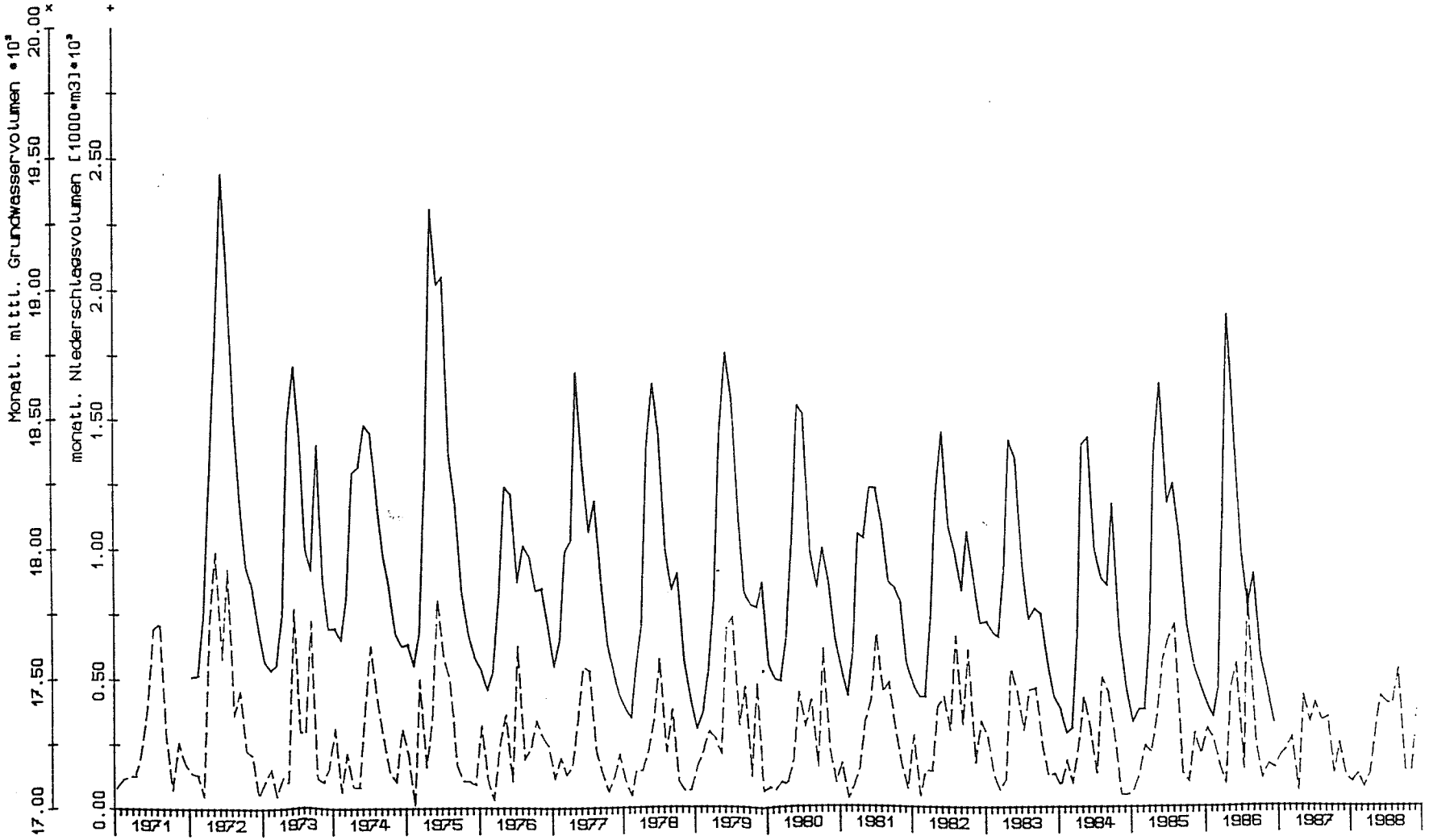
Monatliche Entnahmemenge 80-88

Entnahmemenge [1000*m3]

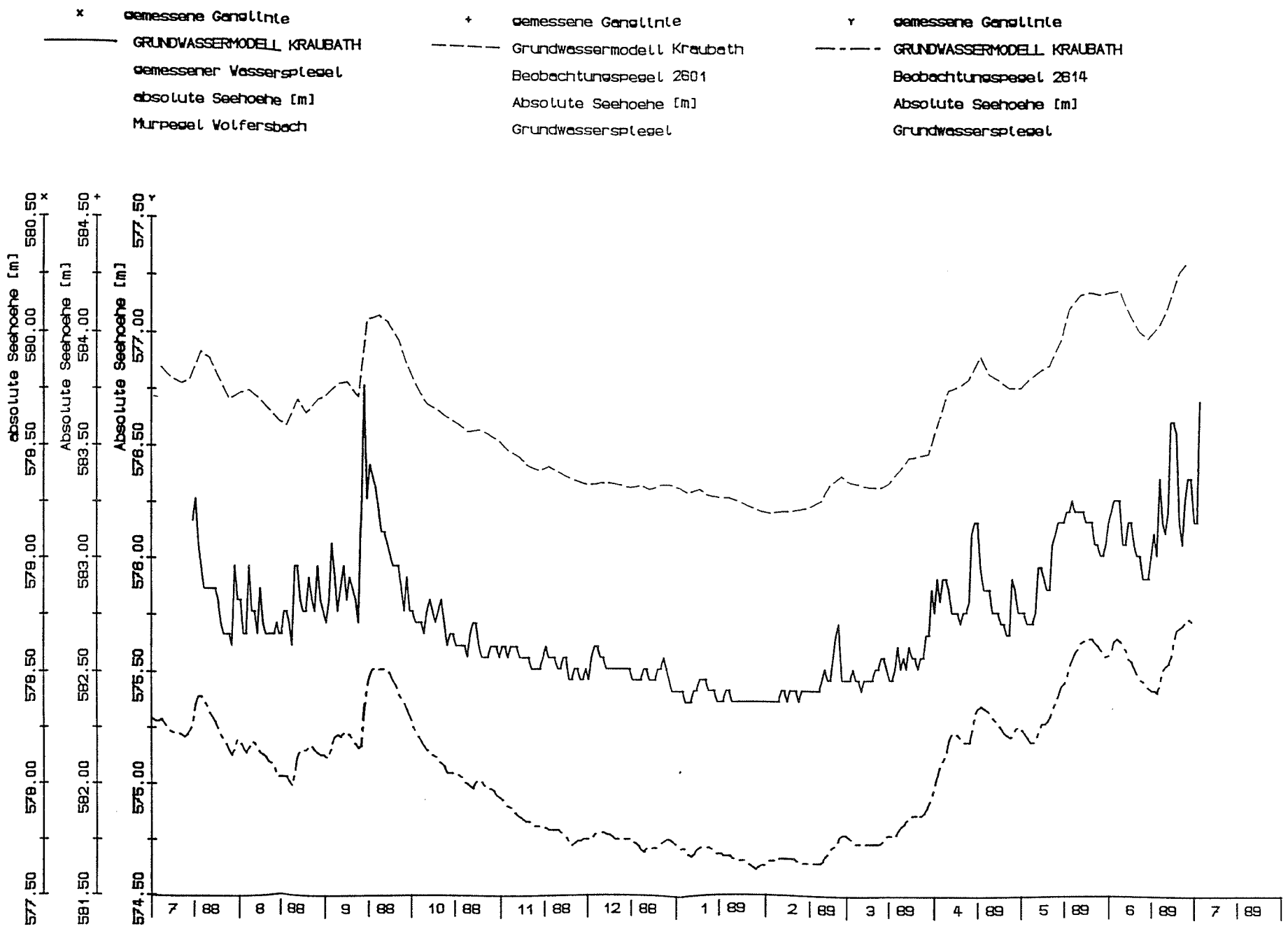
Brunnen Kraubath



Inhalt:	Maßstab:	Abbildung:
Entnahmeganglinie Brunnen Kraubath	----------	05



Inhalt:	Maßstab:	Abbildung:
Vergleichsganglinie monatl. mittlere Grund- und Niederschlagsvolumina	----------	06



Inhalt:	Maßstab:	Abbildung:
Vergleich Murpegel mit den Pegeln BR2614 und BR2601	----------	07

Powerspektrum Periode : 365.25 Tage

gemessene Ganglinie

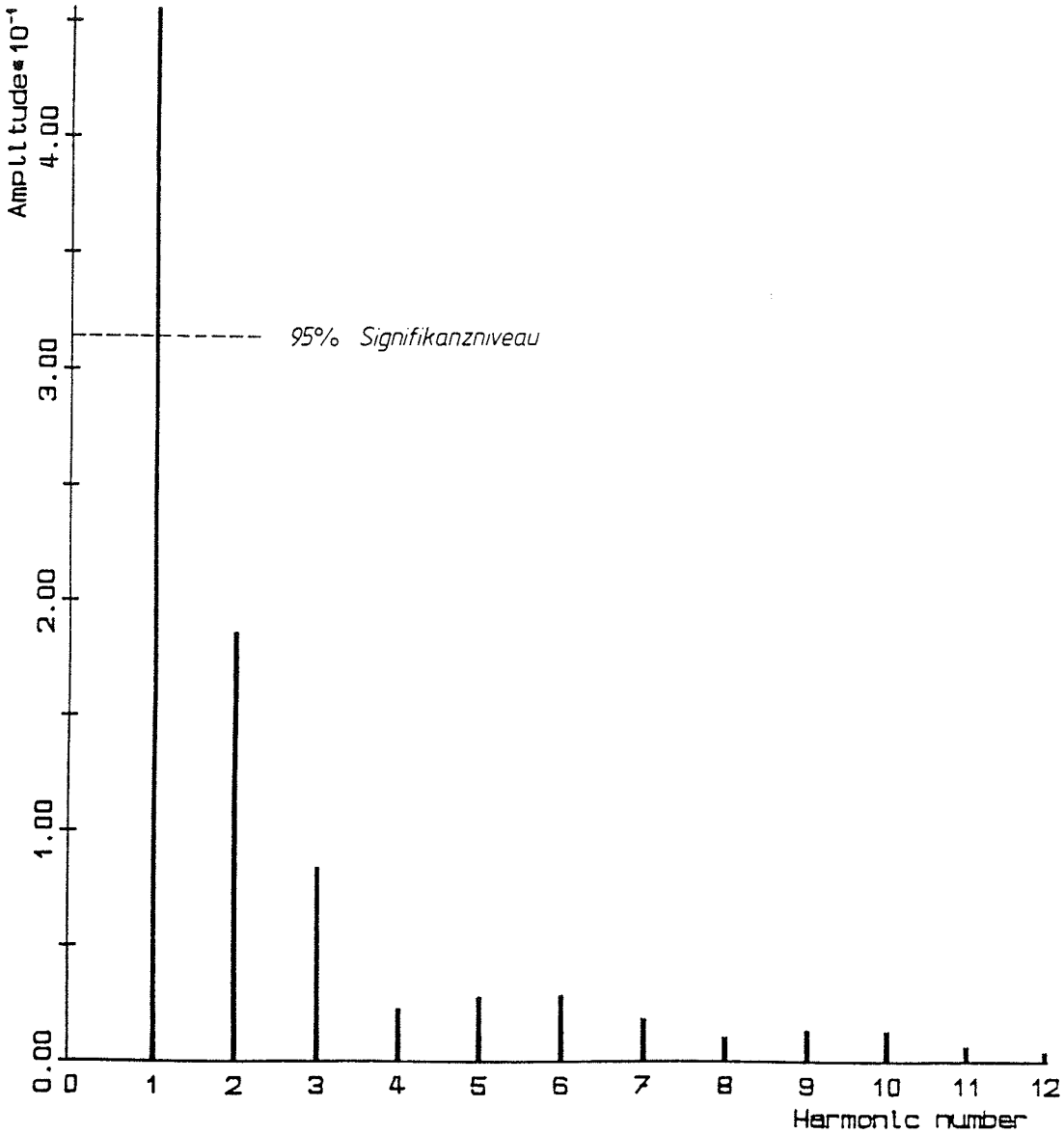
GRUNDWASSERMODELL KRAUBATH

Beobachtungspegel 2614

Absolute Seehoehe

Grundwasserspiegel

Fourierintegration von 31 . 12. 1971 (+0.75) bis 31 . 12. 1988



Inhalt:	Maßstab:	Abbildung:
Power Spektrum Pegel BR2614	----------	**08**

Autokorrelation

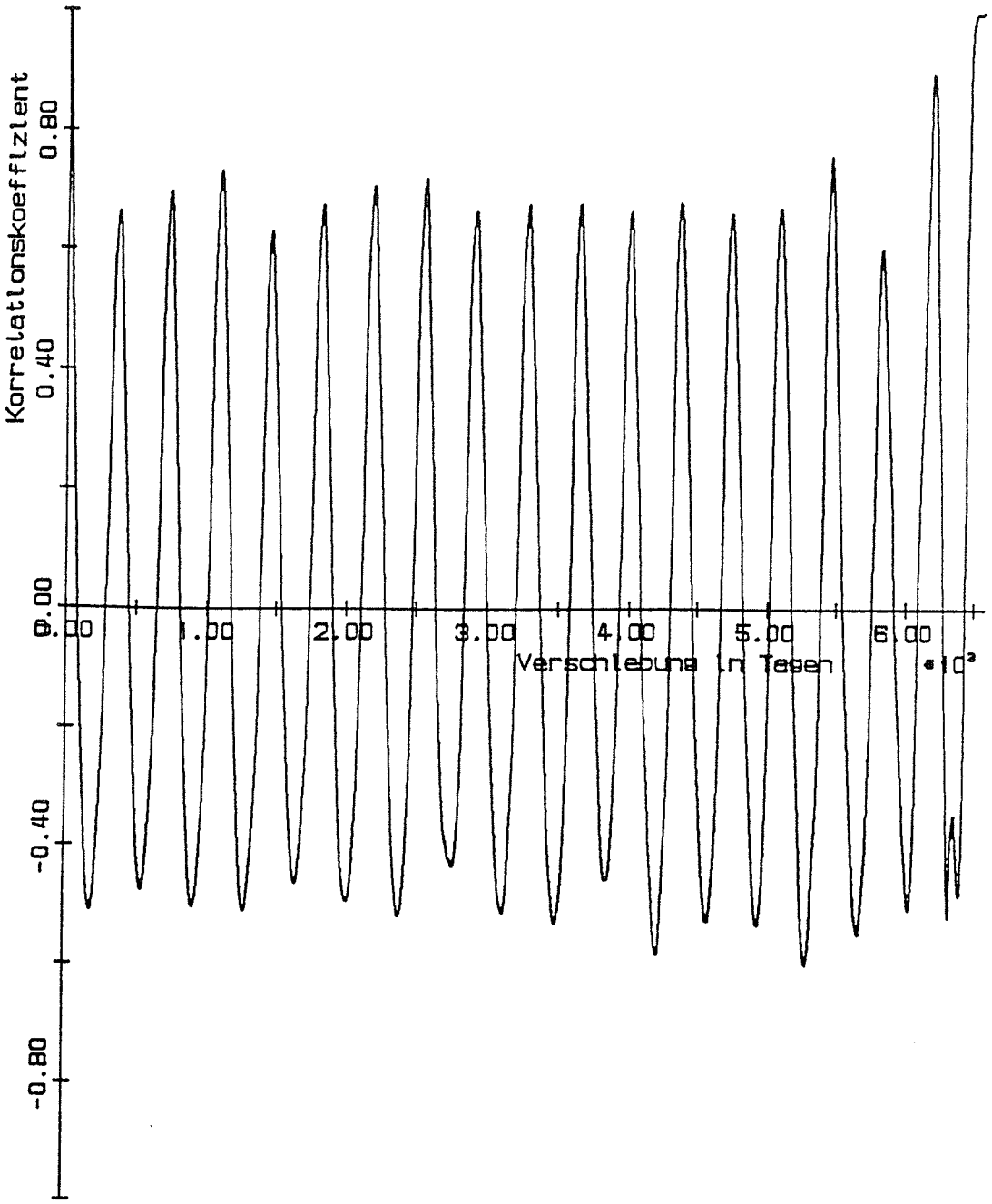
um Mittelwert bereinigt

GRUNDWASSERMODELL KRAUBATH

Beobachtungspegel 2614

Absolute Seehoehe

Grundwasserspiegel



Inhalt:	**Autokorrelation** (mittelwertbereinigt) Pegel BR2614	Maßstab: ----------	Abbildung: 09

Autokorrelation

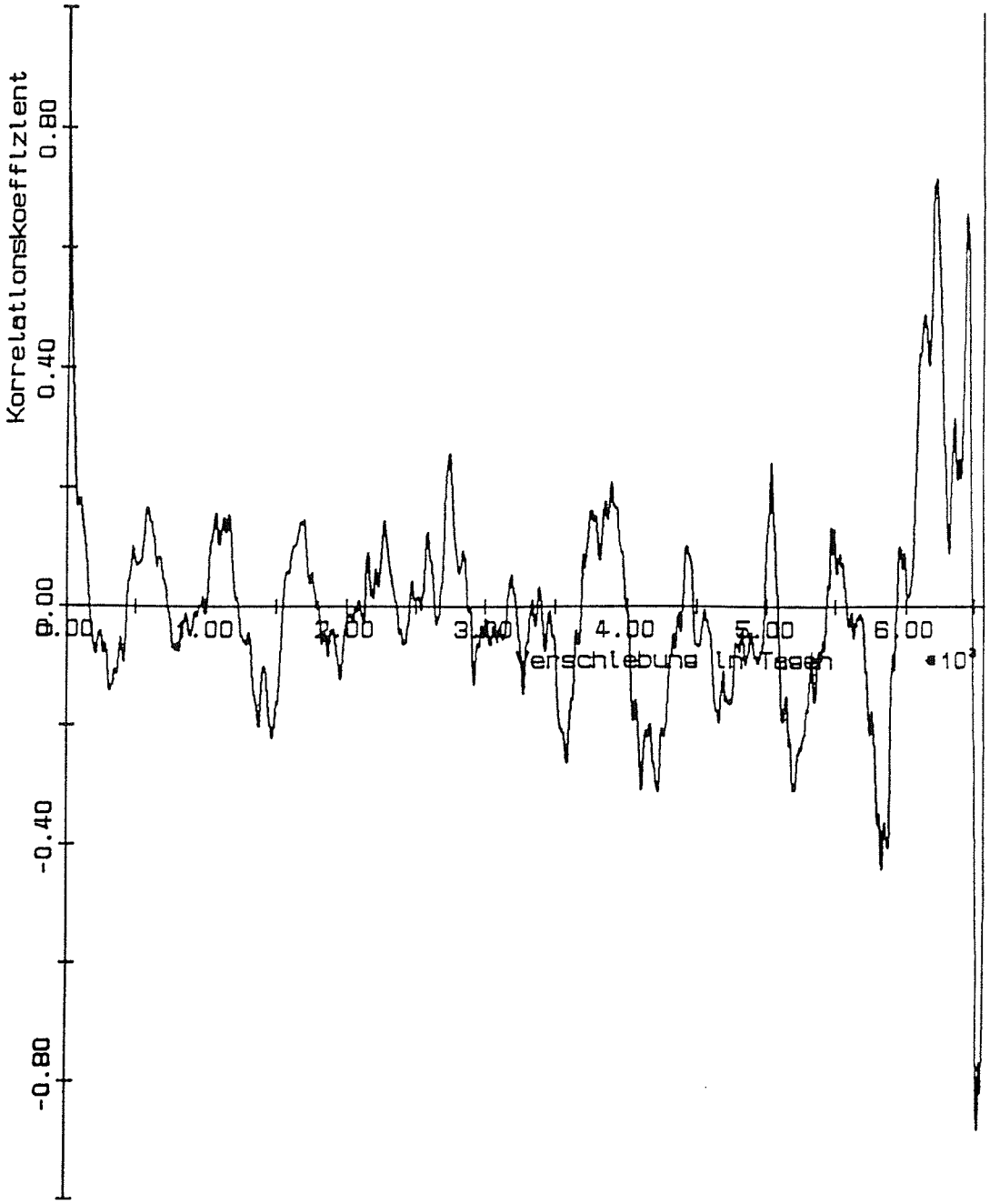
frequenzbereinigt

GRUNDWASSERMODELL KRAUBATH

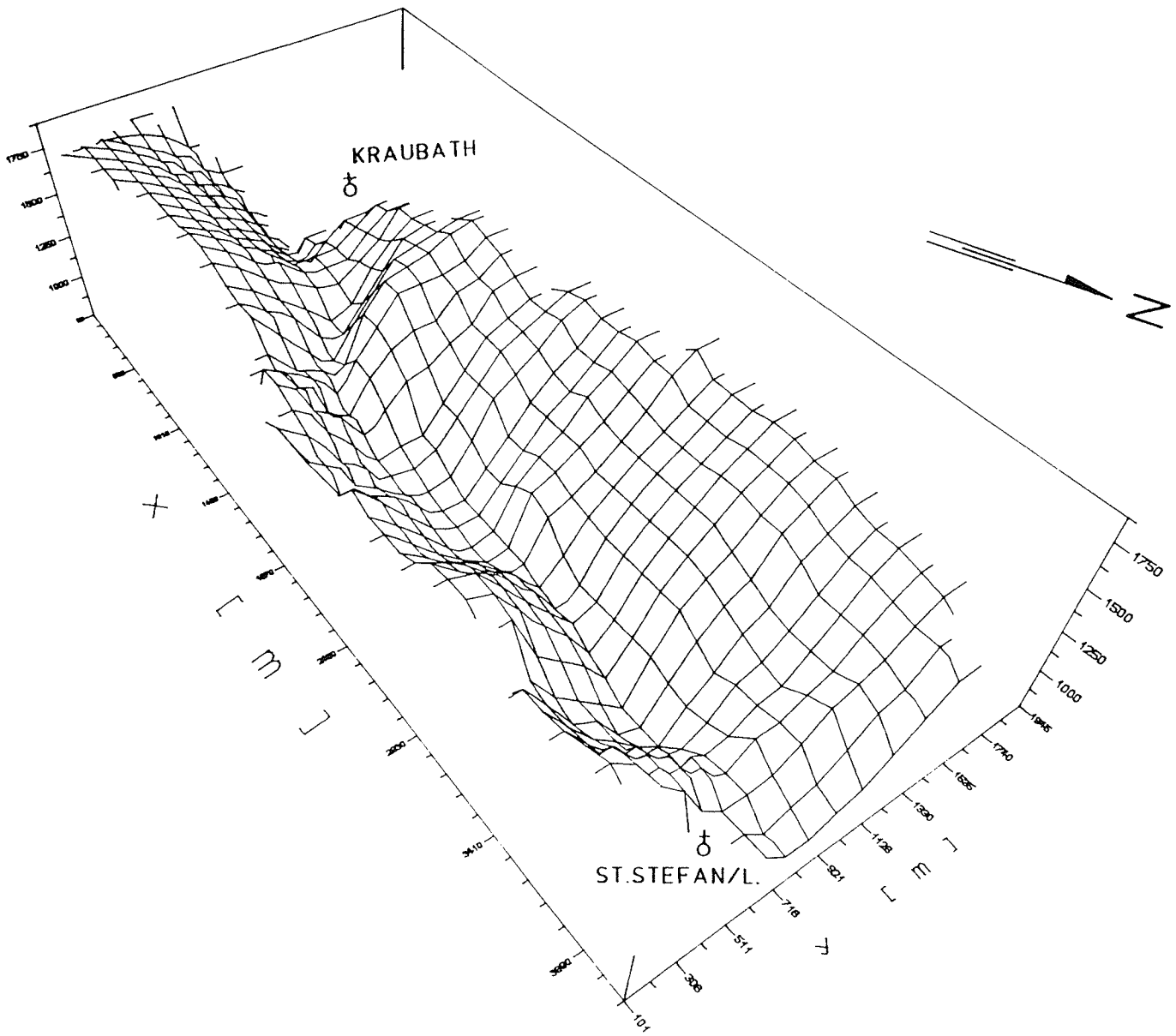
Beobachtungspegel 2614

Absolute Seehoehe

Grundwasserspiegel



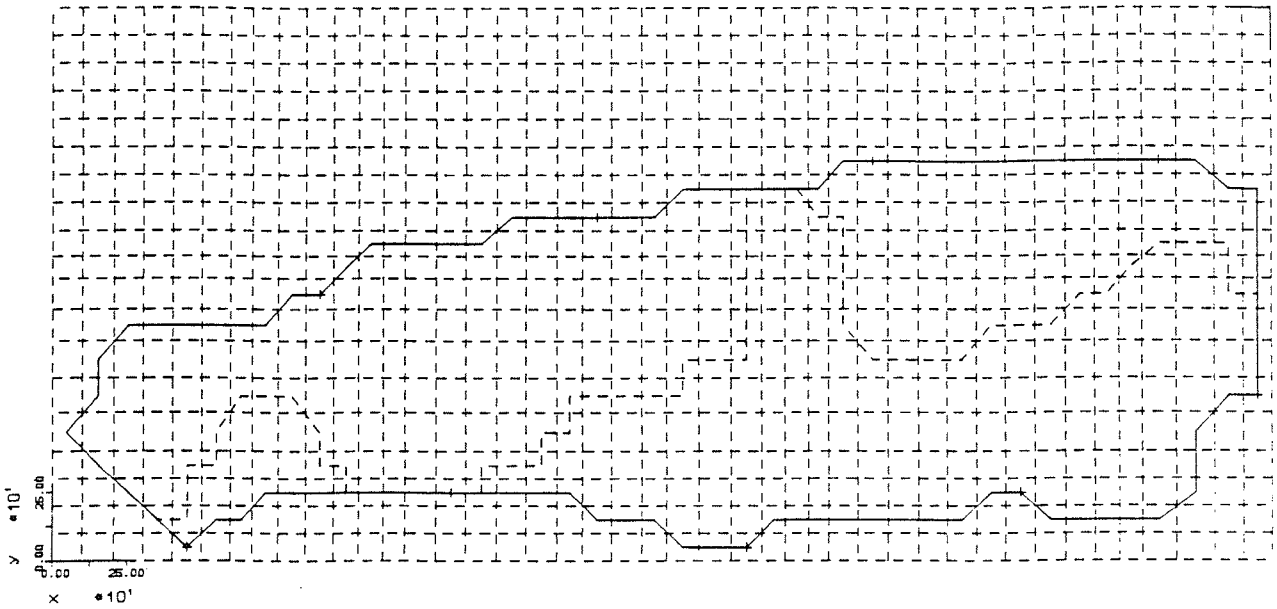
Inhalt:	**Autokorrelation** (frequenzbereinigt) Pegel BR2614	Maßstab: ----------	Abbildung: 10



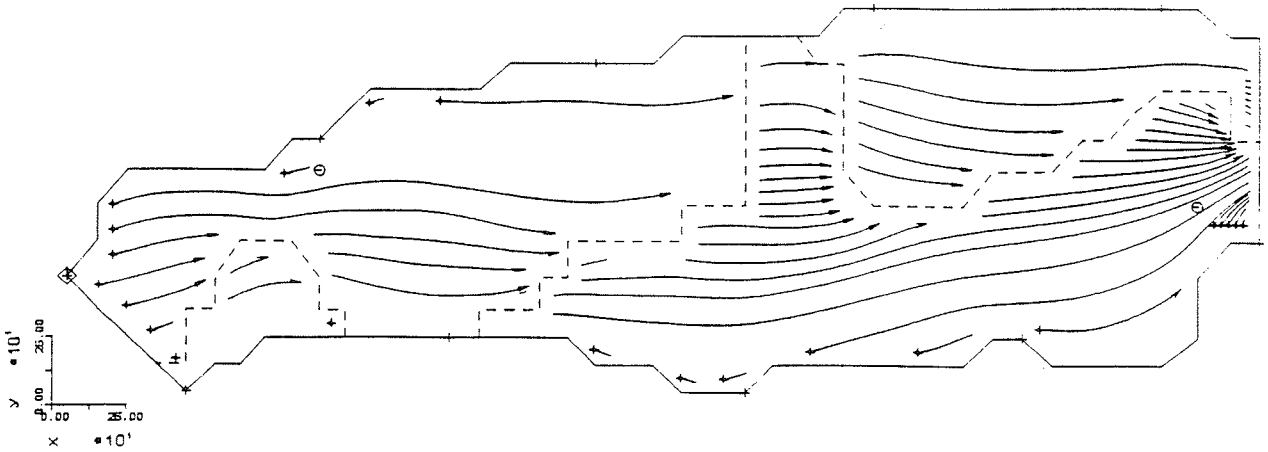
Inhalt:	Maßstab:	Abbildung:
3D - Staueroberkante	----------	11

STATIONÄRES GRNDWASSERSTRÖMUNGSMODELL Kraubath

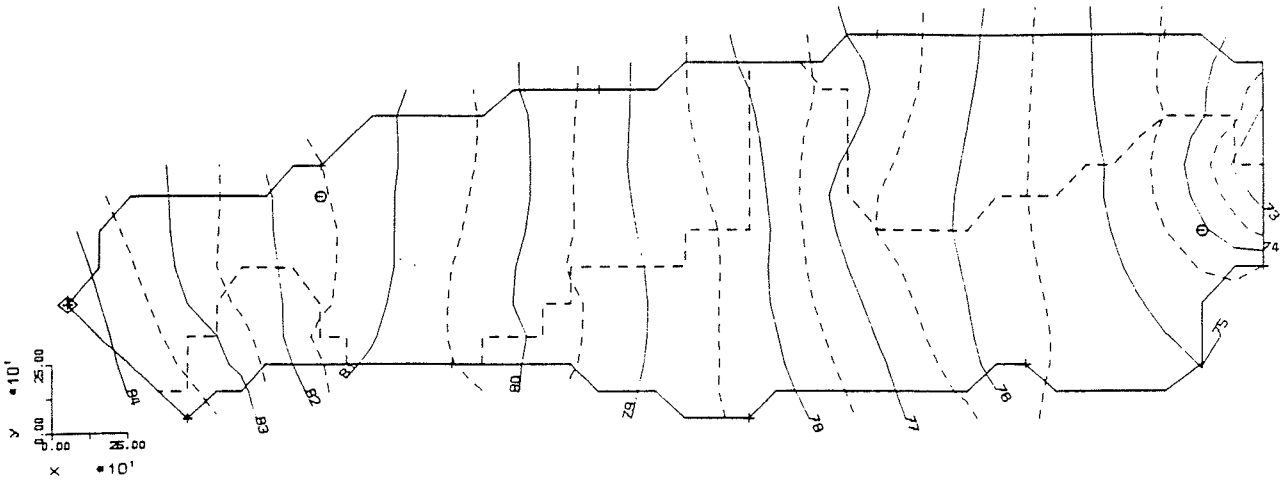
Schematisches Modellnetz



berechnete Strömungslinien vom 2.2.1989



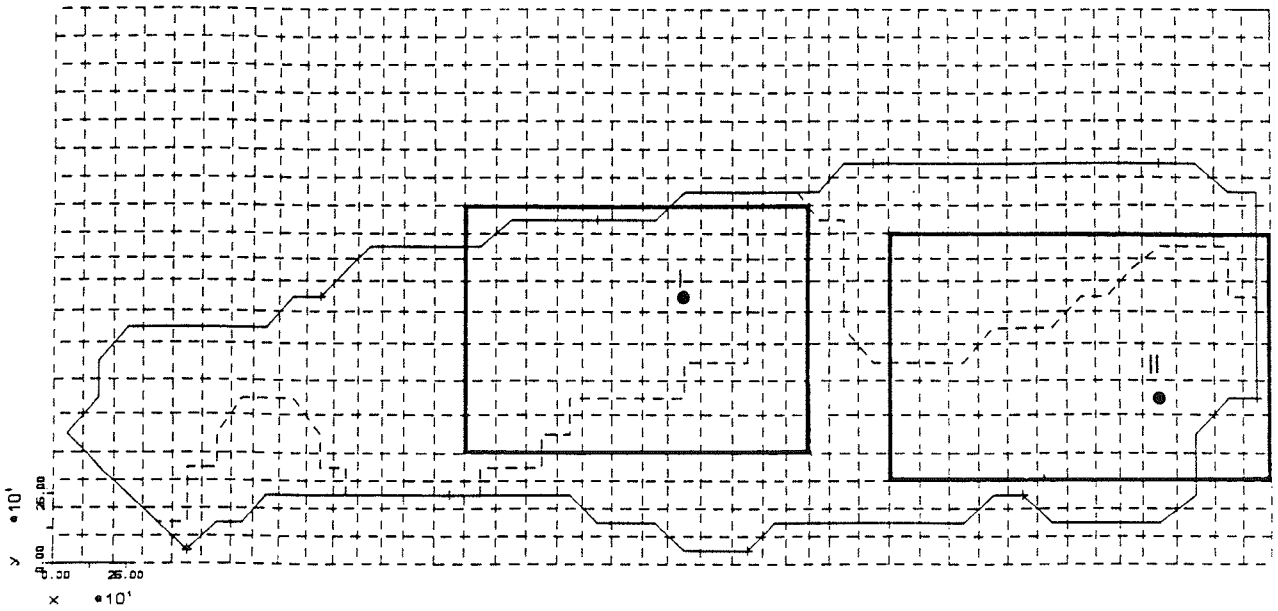
berechnete Grundwassergleichen vom 2.2.1989



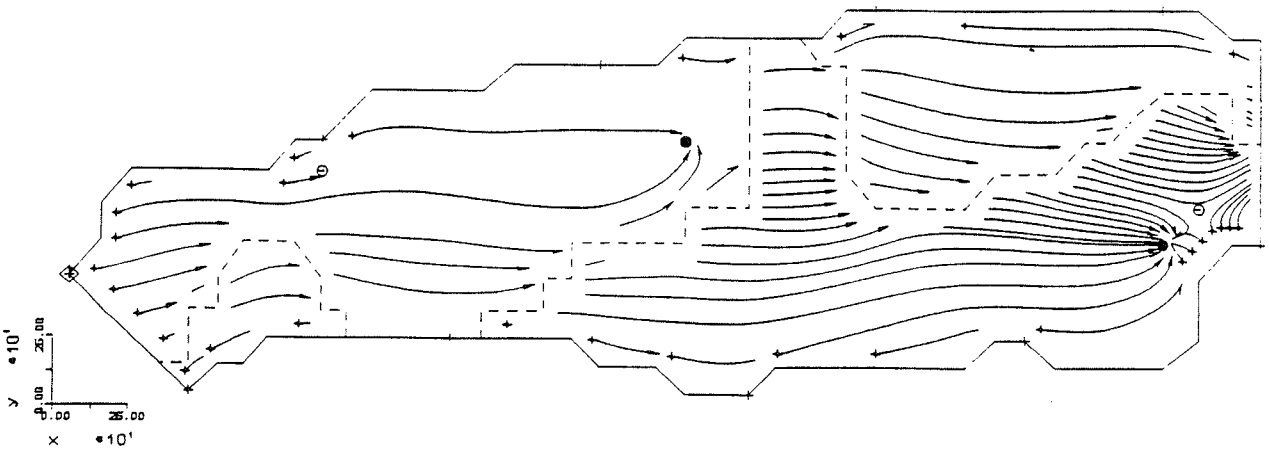
Inhalt:	Maßstab:	Abbildung:
Grundwassermodell vom 2.2.1989	1 : 25.000	12

STATIONÄRES GRNDWASSERSTRÖMUNGSMODELL Kraubath
mit 2 simulierten Entnahmebrunnen

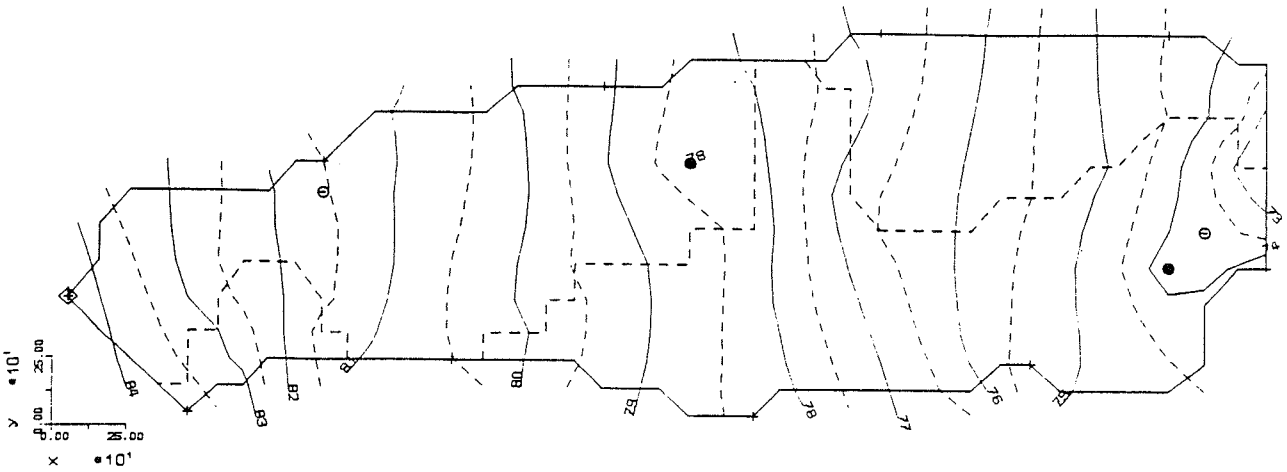
Schematisches Modellnetz
mit 2 simulierten Entnahmebrunnen



berechnete Strömungslinien vom 2.2.1989
mit 2 simulierten Entnahmebrunnen



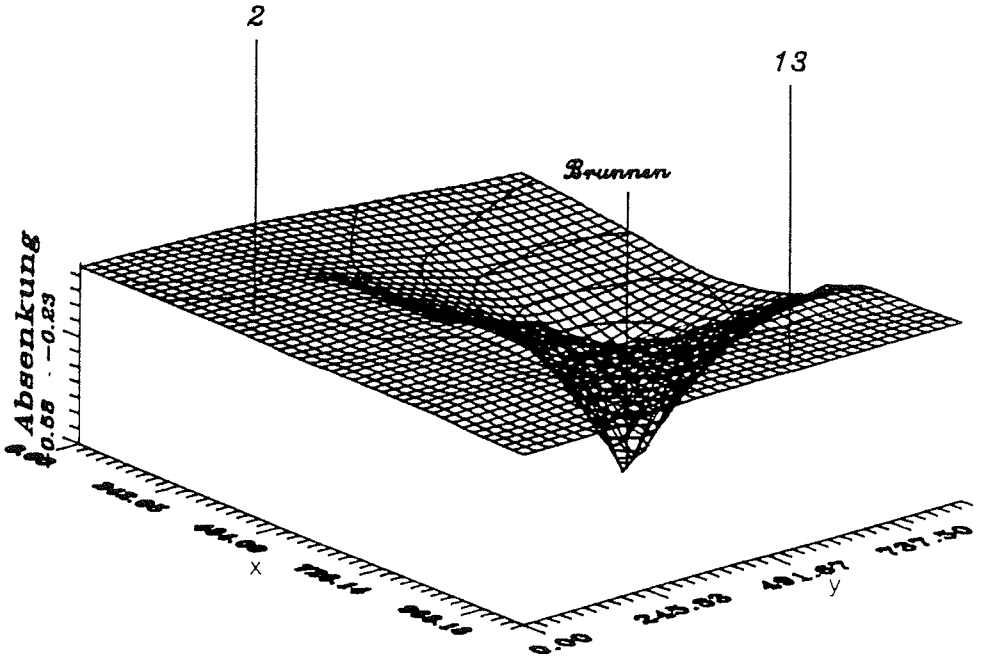
berechnete Grundwassergleichen vom 2.2.1989
mit 2 simulierten Entnahmebrunnen

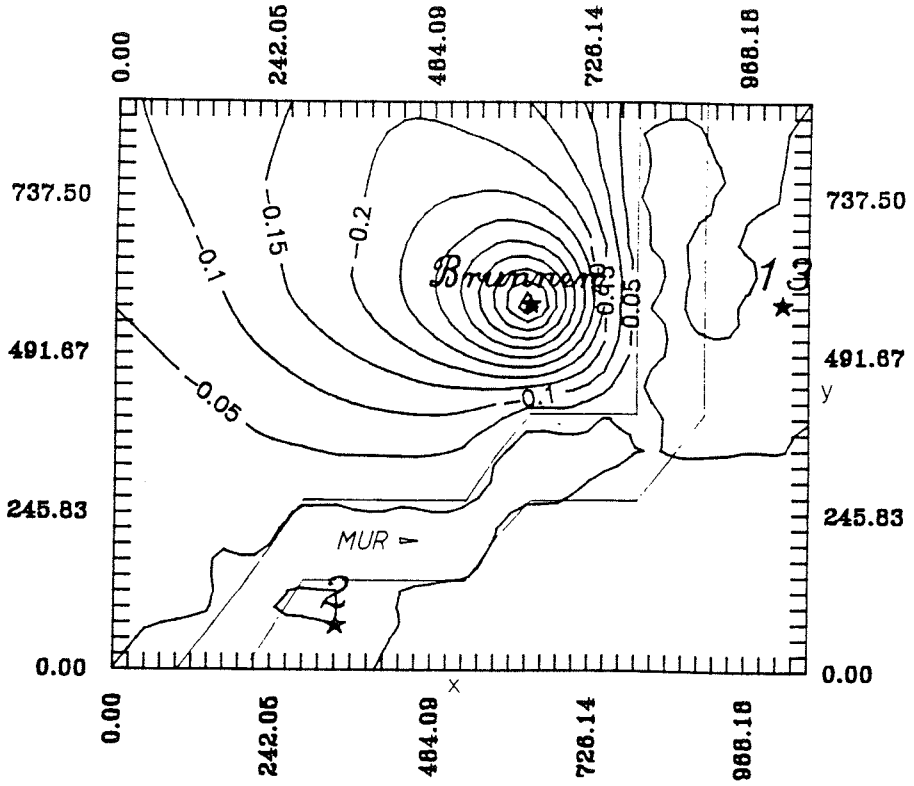


Inhalt:	Maßstab:	Abbildung:
Grundwassermodell vom 2.2.1989 mit 2 simulierten Entnahmebrunnen	**1:25.000**	**13**

Wasserspiegeldifferenz Brunnen I

Bereich entsprechend Abb. 13

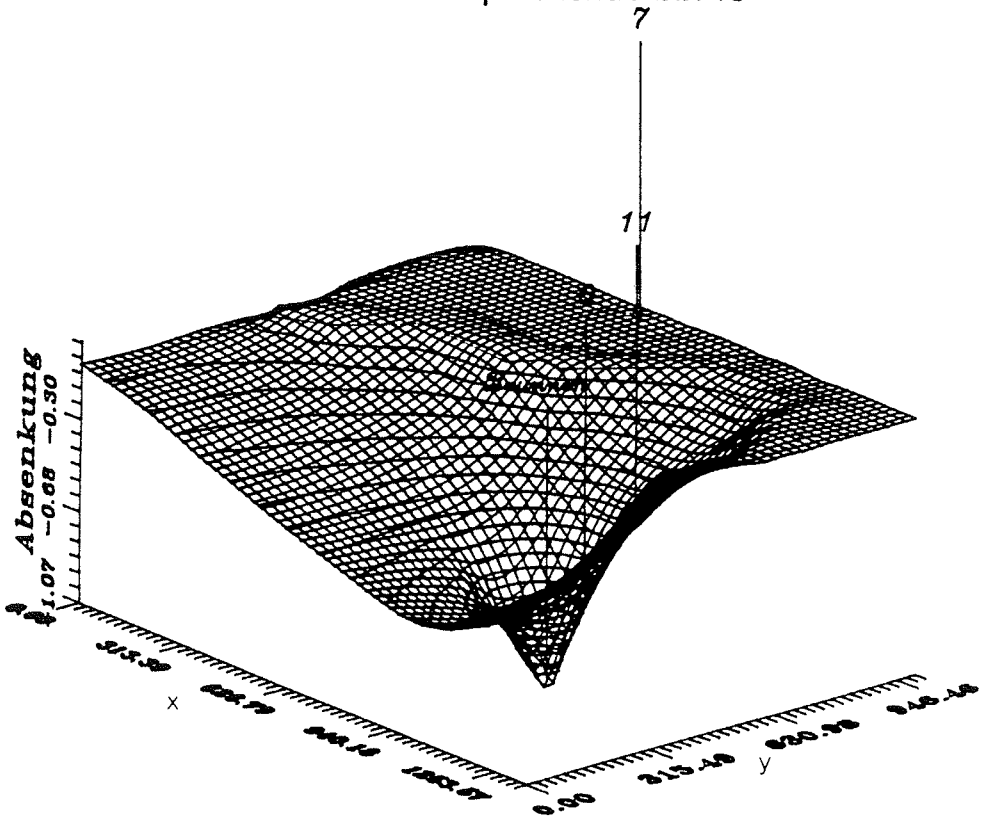


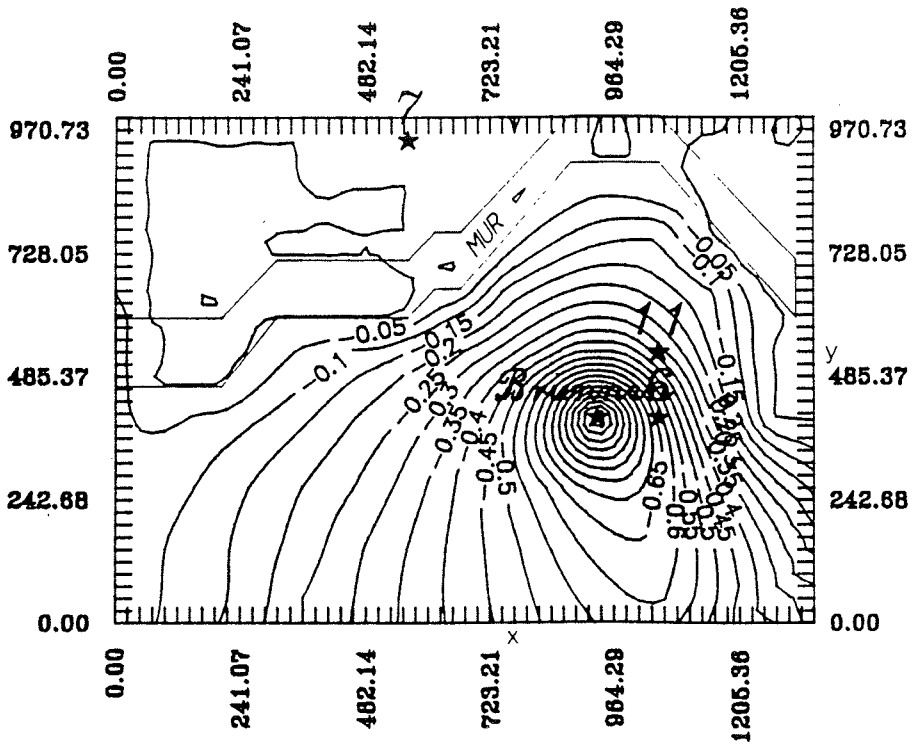


Inhalt:	Wasserspiegeldifferenz in 3-D Infolge Entnahme bei Brunnen I, Q = 20l/s	Maßstab:	---------	Abbildung:	14a

Wasserspiegeldifferenz Brunnen II

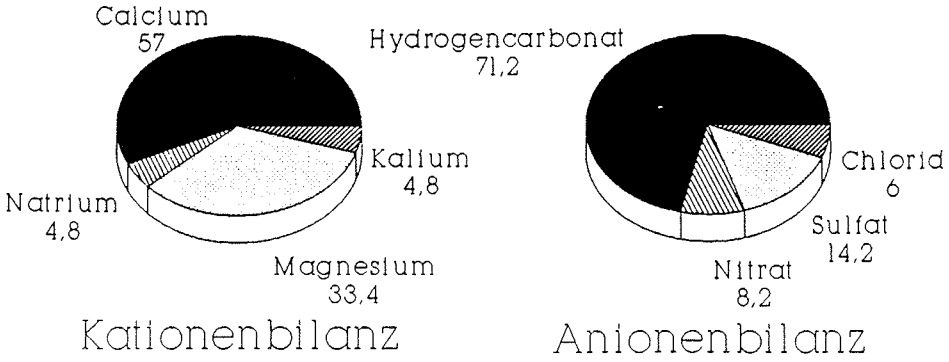
Bereich entsprechend Abb. 13





Inhalt:	Maßstab:	Abbildung:
Wasserspiegeldifferenz in 3-D infolge Entnahme bei Brunnen II, Q=60l/s	-------	14b

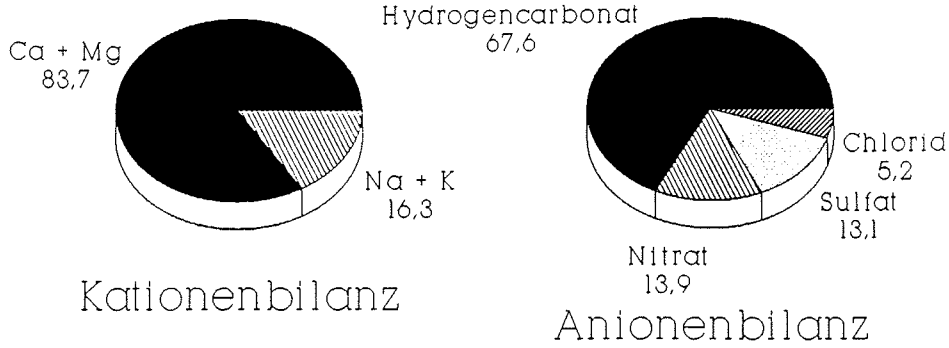
Brunnen A
Messung 1973



Leitfähigkeit 426µS/cm

in VAL%

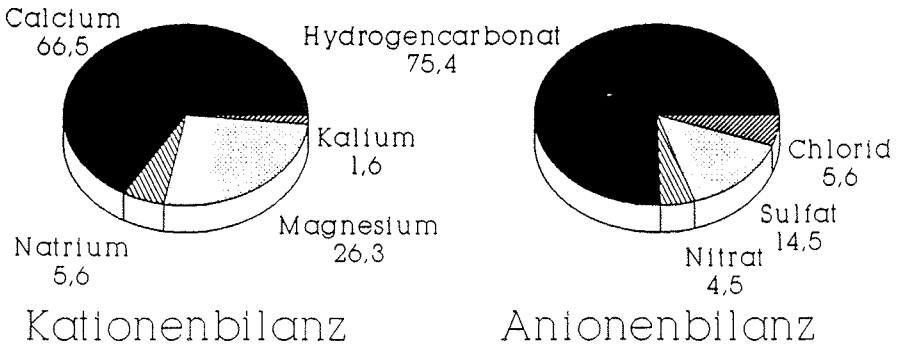
Messung 1990



Leitfähigeit 650µS/cm

in VAL%

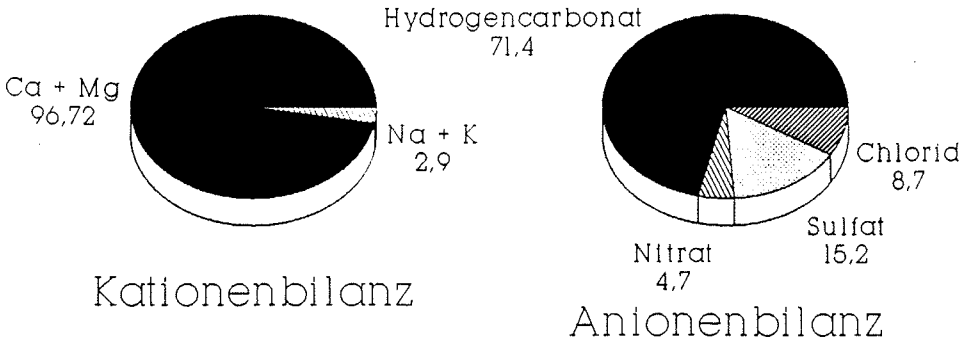
Brunnen B
Messung 1973



Leitfähigkeit 287µS/cm

in VAL%

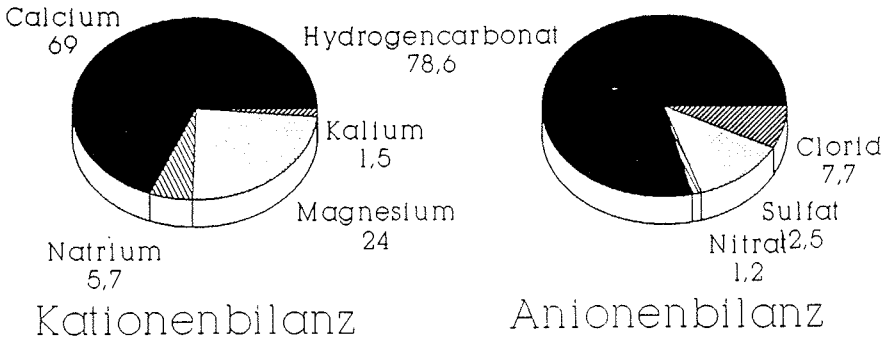
Messung 1990



Leitfähigkeit 396µS/cm

in VAL%

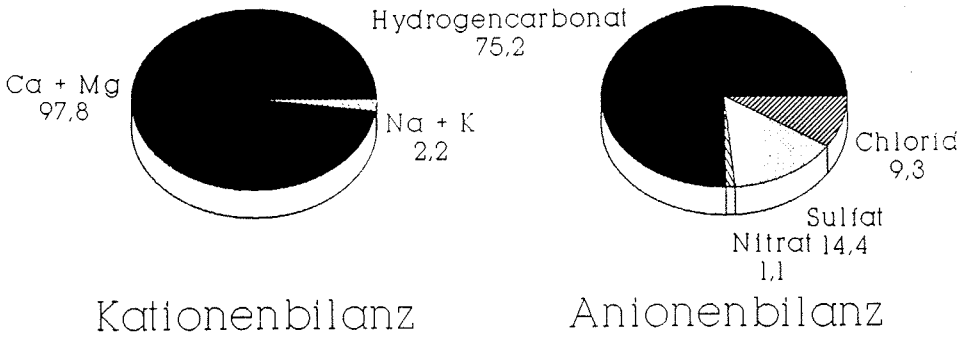
Brunnen C
Messung 1974



Leitfähigkeit 316µS/cm

in VAL%

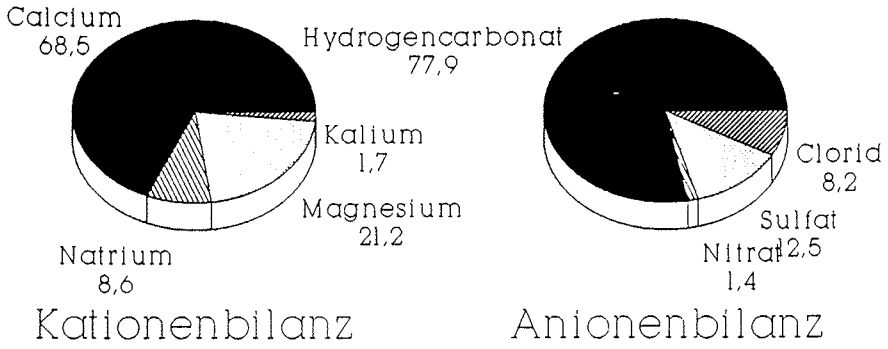
Messung 1990



Leitfähigkeit 398µS/cm

in VAL%

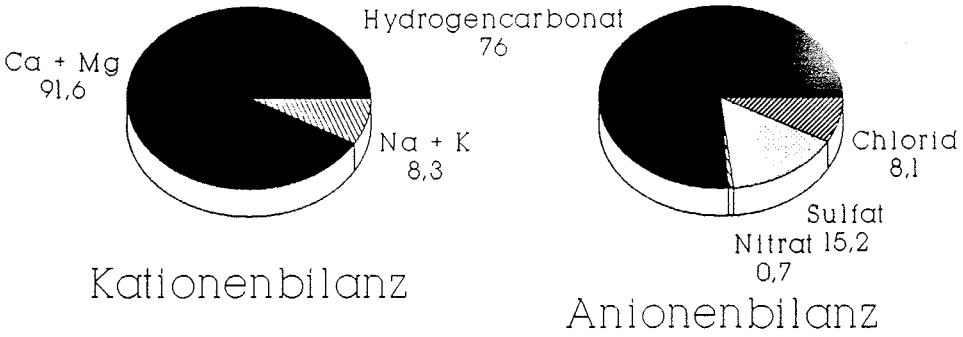
Brunnen E
Messung 1974



Leitfähigkeit 336µS/cm

in VAL%

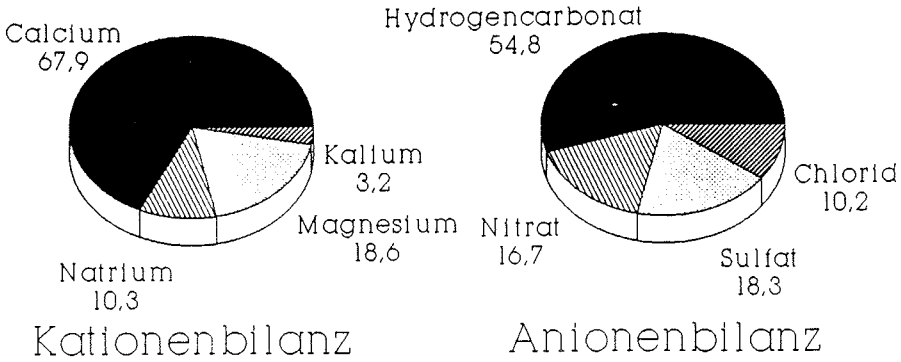
Messung 1990



Leitfähigkeit 358µS/cm

in VAL%

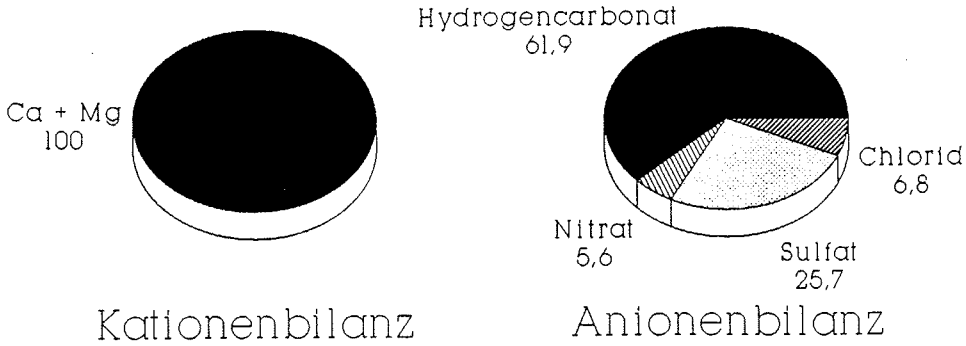
Brunnen G
Messung 1974



Leitfähigkeit 261µS/cm

in VAL%

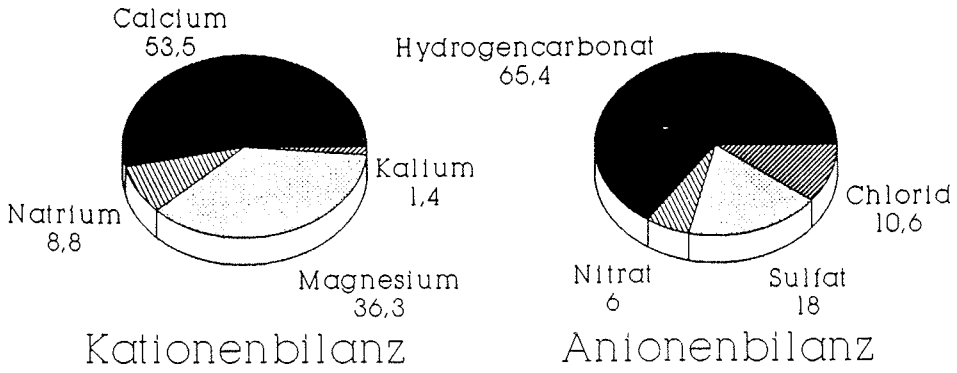
Messung 1990



Leitfähigkeit 345µS/cm

in VAL%

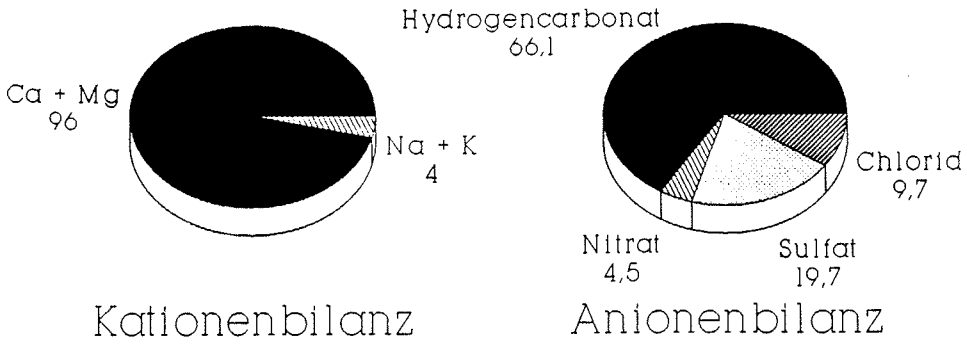
Brunnen J
Messung 1973



Leitfähigkeit 362µS/cm

in VAL%

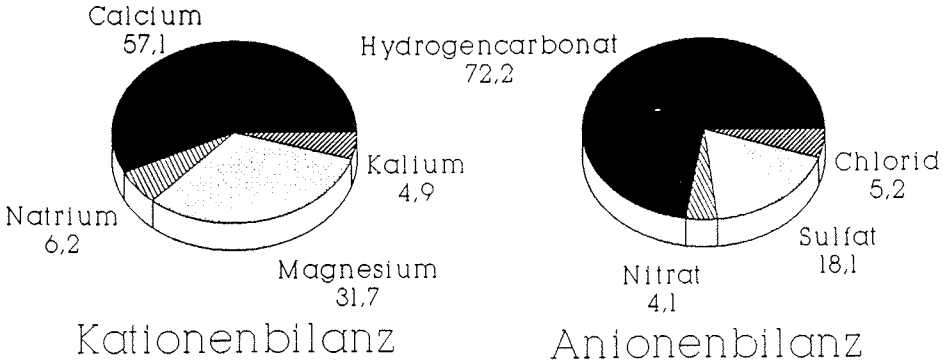
Messung 1990



Leitfähigkeit 376µS/cm

in VAL%

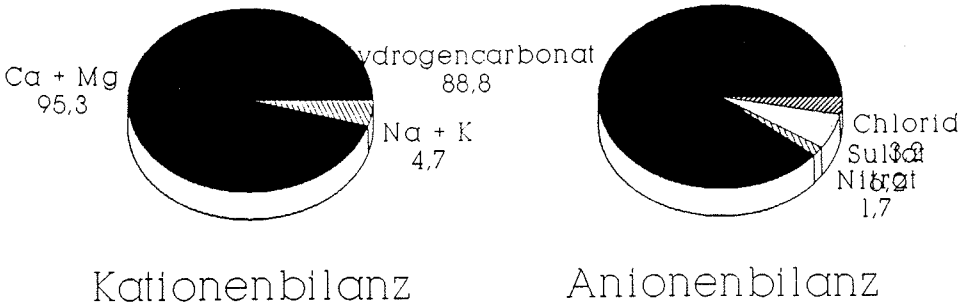
Brunnen K
Messung 1974



Leitfähigkeit 303µS/cm

in VAL%

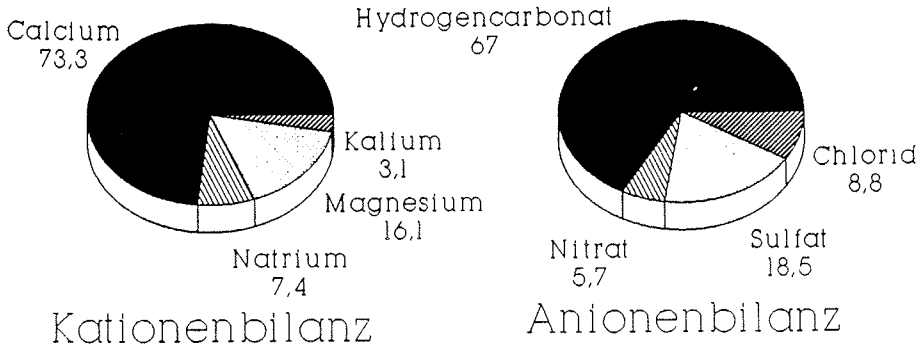
Messung 1990



Leitfähigkeit 674µS/cm

in VAL%

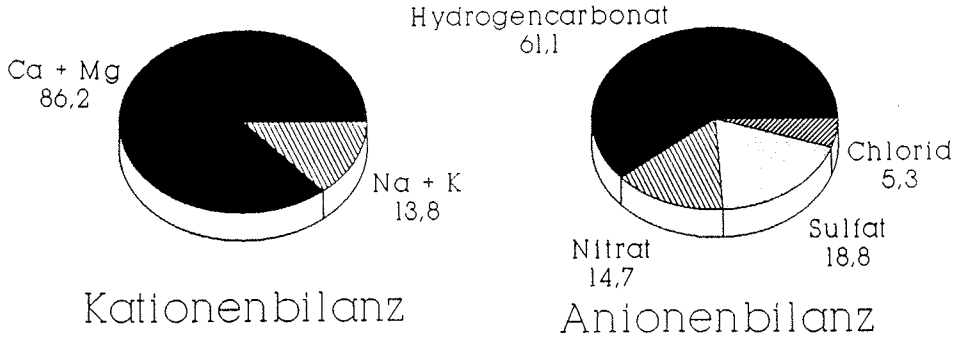
Brunnen M
Messung 1974



Leitfähigkeit 193µS/cm

in VAL%

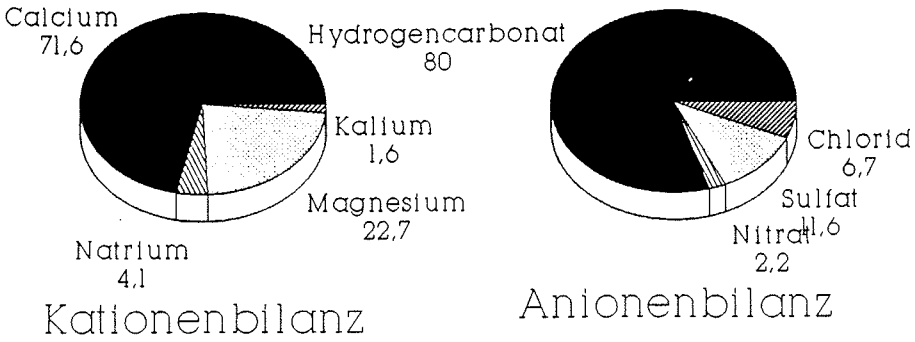
Messung 1990



Leitfähigkeit 254µS/cm

in VAL%

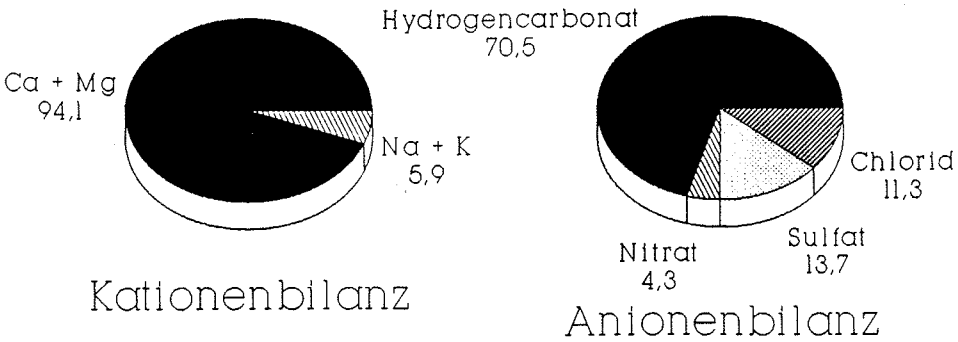
Brunnen N
Messung 1974



Leitfähigkeit 360µS/cm

in VAL%

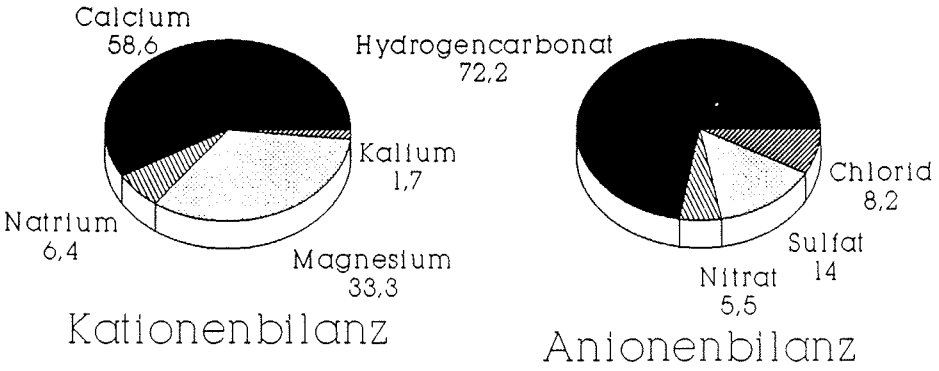
Messung 1990



Leitfähigkeit 449µS/cm

in VAL%

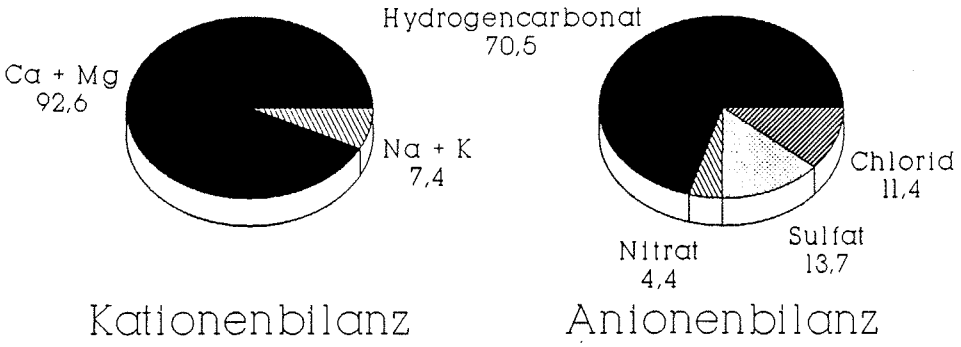
Brunnen O
Messung 1973



Leitfähigkeit 356µS/cm

in VAL%

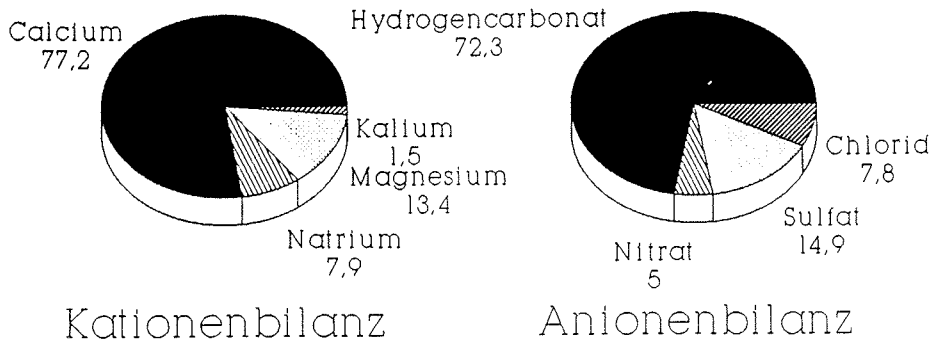
Messung 1990



Leitfähigkeit 451µS/cm

in VAL%

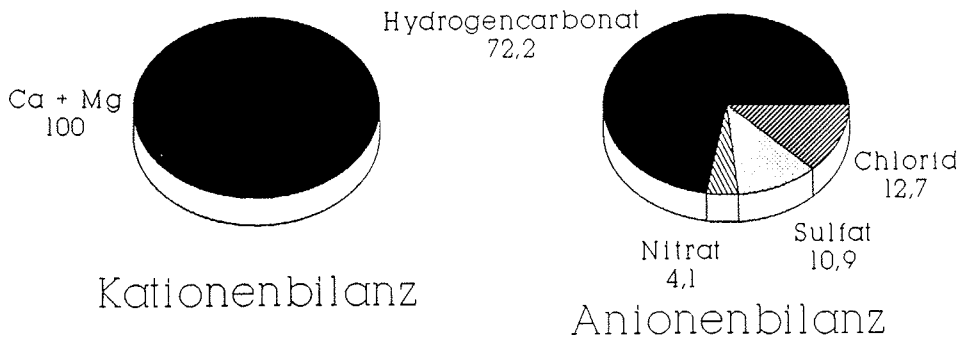
Brunnen P
Messung 1974



Leitfähigkeit 376µS/cm

in VAL%

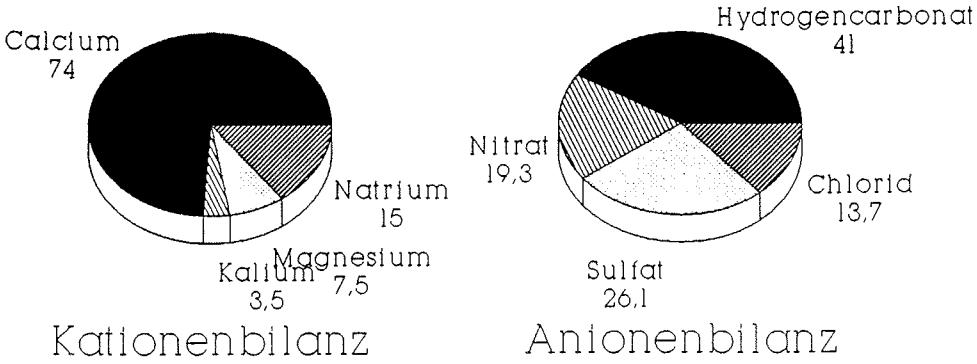
Messung 1990



Leitfähigkeit 498µS/cm

in VAL%

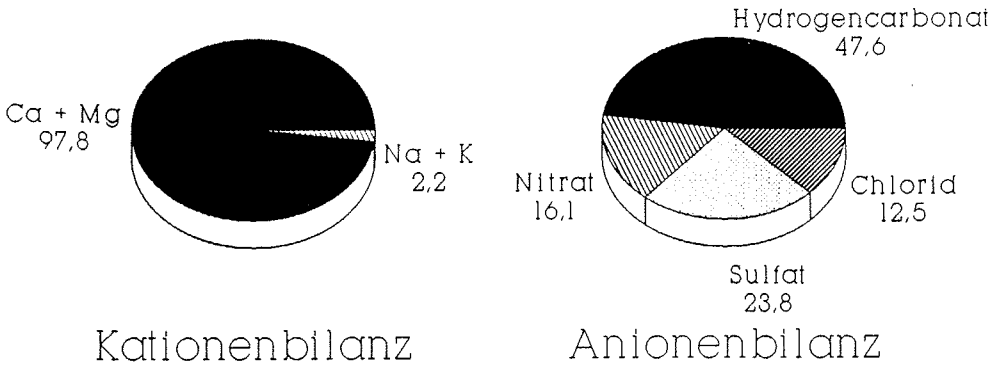
Brunnen Q
Messung 1974



Leitfähigkeit 243µS/cm

in VAL%

Messung 1990



Leitfähigkeit 270µS/cm

in VAL%

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 MORPHOLOGIE 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 H.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.Spinola, K.Stundl, W.Tronko, 1966	S 112,--
Band 7	SEISMISCHE UNTERSUCHUNGEN IM GRUNDWASSERFELD FRIESACH NÖRDLICH VON GRAZ, von H.Zetinigg, Th.Puschnik, 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.Holub, 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	HYDROLOGIE 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.Noe, 1969	S 112,--

Band 14	GEWÄSSERSCHUTZMASSNAHMEN IM 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	UNTERSUCHUNG AN ARTESISCHEN WÄSSERN IN DER NÖRDLICHEN OSTSTEIERMARK, von L.Bernhart, J.Zötl, H.Zetinigg, 1972	S 112,--
Band 22	GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM SÜDÖSTLICHEN 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, H.Schwinghammer, 1973	S 250,--
Band 24	GRUNDWASSERVERSORGUNG AUS DEM LEIBNITZERFELD, von L.Bernhart, 1973	S 150,--
Band 25	WÄRMEBELASTUNG STEIRISCHER GEWÄSSER, von L.Bernhart, H.Niederl, J.Fuchs, H.Schlatte, H.Salinger, 1973	S 150,--
Band 26	DIE ARTESISCHEN BRUNNEN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 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 ENERGIEWIRTSCHAFTLICHEN VERGLEICH THERMISCHER ABLAUGEVERWERTUNGSANLAGEN, von L.Bernhart, D.Radner, 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 WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 1. TEIL, EINFÜHRUNG HYDROGEOLOGIE, KLIMATOLOGIE, von L.Bernhart, J.Zötl, H.Zojer, H. Otto, 1975	S 120,--
Band 31	GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 2. TEIL, GEOLOGIE, von L.Bernhart, P.Beck-Mannagetta, A.Alker, 1975	S 120,--
Band 32	BEITRÄGE ZUR WASSERWIRTSCHAFTLICHEN RAHMENPLANUNG IN DER STEIERMARK, von L.Bernhart, 1975	S 200,--
Band 33	HYDROGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN BOHRUNGEN UND BRUNNEN IN DER OSTSTEIERMARK, 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, 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, von L.Bernhart, 1978	S 140,--
Band 39	GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM UNTEREN MURTAL, von E.Fabiani, H.Krainer, H.Ertl, W.Wessiak, 1978	S 250,--
Band 40	GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 3. TEIL, DIE GRUNDWASSERFÜHRUNG IM TALE DER LASSNITZ, SULM UND SAGGAU ZWISCHEN GRUNDGEBIRGE UND LEIBNITZERFELD, von H.Feßler, 1978	S 30,--
Band 41	GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, 4. TEIL, GRUNDWASSERERSCHLIESSUNGEN IM TALE 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, H.Zojer, H.Krainer, 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 - ISOTOPENUNTERSUCHUNG - HYDROCHEMIE, von Ch.Schmid, H.Zojer, H.Krainer, H.Ertl, R.Ott, 1980	S 200,--
Band 47	GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWABGEBIET, TEIL IV. DIE UNTERSUCHUNGEN IM TRAGÖSSTAL, 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 EINER 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, 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.Rupprecht, H.Sölkner, G.Bujatti, E.Wurzer, A.Zdarsky, J.Krainer, V.Ahrer, 1981	S 100,--

Band 57	GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, von L.Bernhart, E.Hübl, E.Schubert, E.Fabiani, H.Zetinigg, H.Zojer, E.P.Nemecek, E.P.Kauch, 1981	S 200,--
Band 58	WASSERBEDARF DER SÜDWESTSTEIERMARK, von L.Bernhart, 1982	S 200,--
Band 59	KOSTENAUFTEILUNGSSCHLÜSSEL FÜR ABWASSERVERBÄNDE, von P.Bilek, E.Kauderer, 1982	S 200,--
Band 60	DIE QUELLEN DES SCHÖCKLGEBIETES, von H.Zetinigg, W.Grießler, Th.Untersweg, V.Weißensteiner, Ch.Meidl, 1982	S 200,--
Band 61	BEDARFSERMITTLUNG FÜR EINEN STEIRISCHEN WASSER-VERBUND von Ch.Meidl, Ch.Kaiser, mit einer Einführung von L.Bernhart, 1983	S 200,--
Band 62	DIE MESSUNGEN DER FLIESSGESCHWINDIGKEITEN DES GRUND-WASSERS IM MUR- UND MÜRZTAL, von H.Zetinigg, 1983	S 100,--
Band 63	GRUNDLAGEN FÜR EINEN STEIRISCHEN WASSERVERBUND - LEITUNGSFÜHRUNGEN IN DER SÜDWESTSTEIERMARK, von J.Novak, Ch.Kaiser, 1983	S 200,--
Band 64	STEIRISCHES WASSERVERBUNDMODELL 1982, von J.Novak, 1983	S 200,--
Band 65	DER KARST AM OSTUFER DER WEIZKLAMM, von G.Fuchs, 1983	S 150,--
Band 66	HYDROGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IN DEN NÖRDLICHEN GESÄUSEBERGEN, von W.Kollmann, 1983	S 250,--
Band 67	DIE AUSWIRKUNGEN DES KRAFTWERKSBAUES VON SPIELFELD AUF DAS GRUNDWASSER, von H.Fessler, 1983	S 250,--
Band 68	BEITRÄGE ZUR KENNTNIS DER ARTESISCHEN WASSER IM STEIRISCHEN BECKEN, von H.Zojer, H.Zetinigg, 1987	S 200,--
Band 69	BEITRÄGE ZUR KENNTNIS DER GESPANNTEN GRUNDWÄSSER IM MITTERENNSTAL UND PALTENTAL, von G.Suette, H.Zetinigg, 1988	S 200,--
Band 70	GRUNDWASSERMODELL MURTAL, ABSCHNITT ST.STEFAN O.L. - KRAUBATH, von W.Erhart-Schippek und Ch. Kaiser, 1990	S 200,--