

Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung

Band 71

**Karsthydrologische
Untersuchungen
im Weizer Bergland**

von

Peter Hacker

**Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion
Fachabteilung IIIa – Wasserwirtschaft
Graz 1991**

INHALTSVERZEICHNIS	Seite
Zusammenfassung.....	1
Vorwort.....	3
1. Darstellung des Untersuchungsgebietes.....	4
1.1 Geologisch - tektonischer Überblick.....	4
1.2 Die klimatischen Gegebenheiten.....	7
1.3 Topographie und Geomorphologie.....	10
1.4 Die karsthydrologischen Verhältnisse.....	11
1.5 Hydrologische Untersuchungen.....	19
2. Hydrochemisch-physikalische Untersuchungen.....	20
3. Isotopenhydrologische Untersuchungen.....	48
4. Berechnungen des Karstreservoirs für die Bemessung der Tracermenge.....	63
5. Durchführung und Ergebnisse des kombinierten Markierungs- versuches.....	65
5.1 Die Einspeisung am 29.10.1984.....	67
5.2 Probennahme und Probennahmestellen.....	68
5.3 Die unterschiedlichen Tracer und ihre Ergebnisse.....	69
6. Karsthydrographische Auswertung.....	90
7. Hydrogeologische Auswertung.....	98
8. Literatur.....	102

ZUSAMMENFASSUNG DER KARSTHYDROLOGISCHEN UNTERSUCHUNGEN IM

WEIZER BERGLAND WÄHREND DER JAHRE 1973 BIS 1984

Als der Verfasser im Jahre 1973 durch Eigeninitiative mit den karsthydrologischen Untersuchungen im Weizer Karst begann, konnte er auf den geologischen und hydrogeologischen Arbeiten von GÖTZINGER, G.(1925) H.FLÜGEL (1952) und V.MAURIN (1958) aufbauen. Von großem Wert war auch die sehr detaillierte geologisch-hydrogeologische Karte des Weizer Berglandes (1:25 000) von FLÜGEL, H. & V.MAURIN (1952).

Die umfangreichen karsthydrologischen Untersuchungen im Weizer Bergland (hydrogeologische Aufnahme, Langzeitbeobachtung des Karst- und Oberflächenabflusses, hydrochemische und isotopenhydrologische Serienanalysen, Markierungsversuche) führten zu Ergebnissen, die nicht nur für die Wissenschaft, sondern auch für die Praxis, besonders für die Wasserwirtschaft, neue Erkenntnisse erbrachten.

Im Rahmen des Forschungsprogrammes erfolgten 1973 und 1974 karsthydrologische/karstmorphologische Kartierungen, z.T. überlappend von 1973 bis 1976 Langzeitabfluß- u. Schüttungsmessungen, 1974 bis 1975 Serienanalysen zur Bestimmung der physikalisch-chemischen Kennwerte der Wässer, wie auch deren Isotopenzusammensetzung. Den Abschluß der Untersuchungen bildeten ein Markierungsvorversuch (1981/82) und ein kombinierter Großmarkierungsversuch (1982/83).

Das im Altpaläozoikum des Grazer Berglandes gelegene Untersuchungsgebiet wird von lithologisch höchst unterschiedlichen Einheiten mit komplexer Tektonik aufgebaut. Das Hauptaugenmerk der Studie galt dem karbonatischen Teil, dem "grünen Karst" des Weizer Berglandes, im speziellen der Karsthydrographie und der Speicherkapazität der großen Schöcklkalk-Synklinale.

Von der Raab, dem Weizbach und Poniglbach als den maßgebenden lokalen Vorflutern wird das Mittelgebirge nördlich der Bezirksstadt Weiz z.T. in engen Durchbruchstätern gequert.

Bedeutende Quellen mit beachtlicher Schüttung entspringen im Abschnitt des Raabdurchbruches, am Nordeingang und Südausgang der Weizklamm. Sie sind ein deutliches Zeichen für die bis in das Tertiär zurückreichende intensive Verkarstung der chemisch reinen Devon-Kalke. Die Konzentration der unterirdischen Karstentwässerung erfolgt zweifelsohne am südlichen Gebirgsrand des Weizer Berglandes und zwar nördlich der Stadt Weiz und im Gemeindebereich von Tannhausen. Es stand somit bereits nach den intensiven Kartierungsarbeiten, wie auch mit Hilfe des ausgezeichneten Kartenblattes "Geologische Karte des Weizer Berglandes" (H.FLÜGEL & V.MAURIN) in groben Zügen die Hauptentwässerungsrichtung des Weizer Karstes fest.

Das unterirdische Entwässerungssystem, seine Untergliederung und Reichweite, die Abgrenzung der Einzugsgebiete der bedeutenden Karstquellen, die Funktion der Schöcklkalkmulde für die regionale Entwässerung waren jedoch unbekannt oder nicht eindeutig belegt. Diese Unkenntnis bestand besonders bei der Baumühlquelle, die sowohl die Stadt Weiz als auch den Wasserverband "Oberes Raabtal" (für 6 Gemeinden) versorgt, bzw. für den Quellbezirk in deren näheren Umgebung.

Mit Hilfe der Untersuchungsergebnisse war es möglich die noch offenen karsthydrographischen, hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Fragen zu beantworten. So konnte die Bedeutung der speziellen geologischen und tektonischen Gegebenheiten (Schöcklkalkmulde, Schieferkern, Kristallinschwelle) auf die Entwicklung des lokalen und regionalen unterirdischen Entwässerungssystems im seichten und tiefen Karst, auf die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Wässer, auf ihre Verweilzeit im Untergrund sowie auf die Bedeutung der in die Karsthohlräume eingeschwemmten feinklastischen Sedimente für die hygienische Schutzfunktion herausgearbeitet werden.

Für die Wasserwirtschaft liefern die vorliegenden Ergebnisse wertvolle Unterlagen. Abgesehen davon, daß nun die Einzugsgebietsgrenzen für die meisten bedeutenden Quellen relativ genau bekannt sind, besonders wichtig ist dies für die Baumühlquelle, liegen nun Richtwerte über die Fließgeschwindigkeiten der Karstwässer im Untergrund vor. Letzteres wird sich vorallem dann bewähren, wenn nach einem Unfall die Frage gestellt wird, welche Quelle wie schnell und in welchem Ausmaß durch diese Schadstoffeinbringung betroffen sein wird.

Durch die Berechnung des Karstspeichervolumens der Schöcklkalkmulde können die gefaßten Quellen nun gezielter und wirksamer geschützt bzw. bewirtschaftet werden.

VORWORT

Hydrogeologische Untersuchungen über die Speicherkapazität, über die noch verfügbaren Grundwasserreserven und über die Abgrenzung der Grundwassereinzugsgebiete gewinnen verstärkt an Bedeutung, seit die Wasserversorgung für Österreichs Bevölkerung mit einwandfreiem Trinkwasser problematisch zu werden beginnt.

Ganz besonders gilt dies für die Kalkhoch- und Kalkvoralpen die hohe Niederschläge aufnehmen und damit bestes Trinkwasser in ausreichenden Mengen liefern können, jedoch durch den stetig steigenden, z.T. ganz-jährigen Tourismus außerordentlich gefährdet sind.

Karsthydrologische Untersuchungen sind nicht Selbstzweck. Wasserwirtschaftliche Planung, Raumordnung, Gesetzesgebung und administrative Schutzmaßnahmen müssen sich auf ausreichend faktische Kenntnisse wie Kapazität und Ausdehnung des Karstwasseraquifers, Grenzen des Quelleinzugsgebietes, Fließgeschwindigkeiten, hydraulische Verbindungen etc. einerseits und rechtliche Verhältnisse andererseits stützen können.

In diesem Sinne versucht das Forschungsprojekt "Weizer Bergland" einen Einblick in die hydrologischen Abläufe des zu einem großen Teil aus Karbonatgesteinen aufgebauten Mittelgebirges zu geben.

Die vorliegende Arbeit ist die Kurzfassung der drei Teilberichte, die z.T. beim Fonds zur wissenschaftlichen Forschung, z.T. beim Amt der Steierm. Landesregierung und beim Bundesmin. für Wissenschaft und Forschung aufliegen.

Finanziert wurden die Langzeituntersuchungen im Rahmen des Fonds zur wissenschaftlichen Forschung, im Rahmen der Bund-Bundesländer-Kooperation, aufgeteilt auf das Land Steiermark und den Bund sowie aus eigener Tasche. Ohne die Initiative von Herrn OBR Univ. Doz. Dr. H. ZETINIGG bzw. die aktive Unterstützung und Mithilfe von Herrn FARNLEITNER aus Weiz, sowie der Herren vom Stadtbauamt Weiz STRAHLHOFER und SCHAFFERNAK und der Freiwilligen Feuerwehr Weiz wären aber diese sicherlich nicht durchzuführen gewesen. Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlichst gedankt.

1. DARSTELLUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

1.1 Geologisch-tektonischer Überblick, (Abb.1)

Das Untersuchungsgebiet liegt im Altpaläozoikum des Grazer Berglandes und gehört hier der höchsten Alpeinheit, dem Oberostalpin, an. Es ist dies ein Gebiet mit lithologisch höchst unterschiedlicher Sedimentation, das überdies während der alpidischen Gebirgsbildung in mehreren Decken übereinandergeschoben und auch verfaltet wurde (Abb.2). Hierbei kam die Schöckldecke über dem mittelostalpinen Kristallin (Weizberg) "mit einem weitläufigen Sattel- und Muldenbau zu liegen, wobei die südlich der Weizklamm auftretenden Schiefereinheiten als die tektonisch auf den Kopf gestellte, nun über den Schöcklkalken verkehrt liegende ehemalige Unterlage dieser Kalke aufzufassen sind. Die sattelförmige Aufwölbung der Kalke kulminiert im Norden im Zug Sattelberg-Patschaberg und im Süden (geringer mächtig) im Sturm- und Landschaberg. In der dazwischenliegenden Mulde lagern, wie erwähnt, die Arzberg-Schichten, die auch nördlich der Klamm in steiler Stellung an die Schöcklkalke anschließen", bzw. mit diesen verschuppt sind. Weiter beschreibt EBNER, F. 1984, die Schichtfolge: "Unter den Schöcklkalken liegt eine mehrere 100 m mächtige Abfolge von Tonschiefern, Phylliten, Kalkphylliten und eingeschaltete Lagen von Quarziten, Diabasen, Fleckengrünschiefern. Gegen das Hangende zu dominieren dunkle Tonschiefer und Serizitschiefer mit vermehrter Einschaltung von Kalkphylliten und dunklen, plattigen Kalken (Striatoporenkalke). Allmählich leitet diese Schichtfolge zu dem einige 100 m mächtigen Schöcklkalk, einem hellgrauen, mitunter schön gebänderten, leicht kristallinen Kalk über. Fossilfunde, die allerdings außerhalb des Weiztales gefunden wurden, deuten auf mitteldevonisches Alter hin"

Sowohl die Raab, als auch der Weizbach haben sich in die mächtige und steile Antiklinale (FLÜGEL und MAURIN 1958, EBNER, 1984) von Sattelberg und Patschaberg, deren Faltenachse SW - NE verläuft, eingeschnitten.

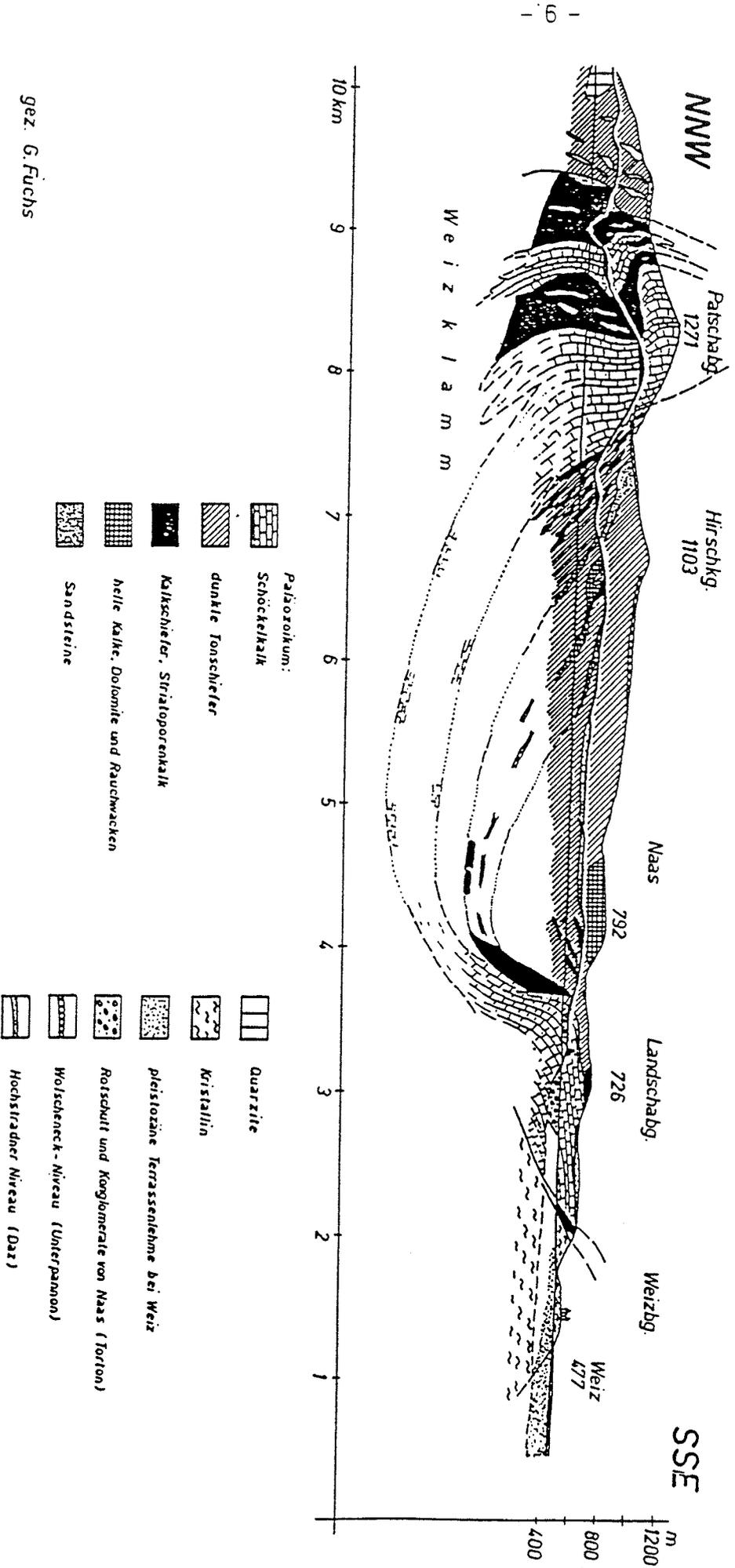
Der dichte bis feinkristalline Schöcklkalk, der bereits von CLAR 1874 als ein Kalktektonit angesprochen wird, gliedert sich nach SEELMEIER 1942 in drei Gesteinstypen:

- a) graublaue, helle bis dunkle, halbmetamorphe Kalke,
- b) reinweiße, entpigmentisierte Kalke und
- c) weißgraue bis graublaue, meist gut gebänderte Kalke.

Die hohe chemische Reinheit des meist deutlich gebankten, aber auch plattig entwickelten Schöcklkalkes, begünstigt eine intensive Verkarstung sehr.

Abb. 2

Geologisches Profil durch das Weizer Bergland
(FLÜGEL & MAURIN 1958)



gez. G. Fuchs

1.2 Die klimatischen Gegebenheiten; unter besonderem Bedacht auf die Niederschlagsverhältnisse der Jahre 1982 - 83

Das Klima des Weizer Berglandes wird durch seine spezielle geographische Lage geprägt : Durch seine Position südlich des Alpenhauptkammes im allgemeinen und durch die oststeirisch-pannonische Beckenrandlage im besonderen. Ersteres bewirkt, daß das Untersuchungsgebiet für die Störungsfronten aus dem Westen und Nordwesten leeseitig liegt, letzteres, daß Schlechtwettereinbrüche aus dem Adria-raum das Bergland erreichen können. Aus den Niederschlagsaufzeichnungen wird dieser Umstand dadurch ersichtlich, daß sich neben dem Maximum im Juni, Juli und August ein erneuter Anstieg der Niederschlagstätigkeit im November ausbildet. Die Niederschläge aus dem Süden gehören zwar nicht ihrer Dauer jedoch ihrer Intensität wegen zu den wichtigsten Erneuerer der unterirdischen Reservoirs.

Diese Klimazone mit ihrem randpannonisch-ozeanischen Klima, in dem die kontinentalen Komponenten abgeschwächt werden, zeigt bei eingehender Betrachtung jene Sonderstellung, die WAKONIGG, H. (1965) in seinen dynamischen Klimadiagrammen zum Ausdruck gebracht hat.

Eine Besonderheit am Ostalpenrand ist der Reichtum an Gewittern (35-45 Gewittertage/Jahr) bei NW-Wetterlagen. Sie kommen dadurch zustande, daß sich Kaltluft aus dem Norden unter die erhitzte Luft aus dem pannonischen Raum und aus dem Passailer Becken schiebt. Derartige Kaltluft-einbrüche verursachen des öfteren Niederschlagsexzesse, die auf engstem Raum Niederschlagshöhen auch von über 200 mm pro Tag brachten.

Der ausgeprägte Jahresgang mit einem Sommermaximum und einem Winterminimum drückt sich mitunter in der oft recht spärlichen Schneebedeckung aus. Einen Überblick über den Jahresgang der Niederschläge vermitteln die Langzeitbeobachtungen (Periode 1961 - 1970) bei den Stationen Weiz, St. Radegund, Schöckl und Sommeralm, die in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben sind.

Tab. 1

Beobachtungszeltraum 1961 - 1970

Messstelle	Höhe	Einzugsgebiet	Monatssummen in mm												Jahr
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Weiz	480	Weizbach	29	29	51	59	85	135	131	137	62	56	75	34	888
St. Radegund	720	Rabnitzbach	30	32	54	63	109	143	142	126	77	68	86	41	971
Schöckel	1436	Rabnitzbach	33	35	57	71	102	152	155	149	82	60	84	46	1026
Sommeralm	1410	Weizbach	37	40	57	68	108	157	154	138	87	70	59	43	1018

Aus dieser Aufzeichnung ist zu entnehmen, daß die Niederschlagshöhen der Stationen Schöckl und Sommeralm mit Sicherheit zu niedrig sind. Zurückzuführen ist dies wahrscheinlich auf die schon bekannte Problematik der Niederschlagsmessung in Gipfelregionen. Diese Erkenntnis erfährt eine Bestätigung, vergleicht man die Niederschlagszunahmen pro 100 m Höhenanstieg: Beträgt die Zunahme zwischen Weiz und St. Radegund ca. 35 mm pro 100 Höhenmeter, so ergibt sich aus der Berechnung ca. 8 mm/100 m zwischen St. Radegund und Schöckl und 14 mm/100 m zwischen Weiz und Schöckel.

Bei der Berechnung der jährlichen Niederschlagshöhe für das Karstgebiet des Weizer Berglandes und zwar für die Gebiete im Bereich des Sattlerberges, Patscha und der Zetz wird die durchschnittliche Gebietshöhe mit 940m und die langfristige Jahresniederschlagshöhe mit 1010mm angesetzt. Letztere ergibt sich aus einer Niederschlagszunahme von 30 mm pro 100 Höhenmeter. Ausgangsstation ist hierbei Weiz.

Eine entscheidende Rolle in den Auswirkungen von Niederschlag, Abfluß, Evaporation und Evapotranspiration spielen bekannterweise die Lufttemperaturverhältnisse. Im Weizer Bergland werden sie durch das relativ milde randpannonisch-ozeanische Klima geprägt. Verstärkt wird dieses durch die günstige geographische Position des Karstgebietes (ein Großteil der Flächen ist nach Süden und Westen exponiert) und durch die relativ hohe Sonnenscheindauer (dürfte mit ca. 46 % der effektiv möglichen Dauer, der von St. Radegund gleichen). Bei einer Temperaturabnahme von 0,33 °C pro 100 m Höhenzunahme -- errechnet nach den beiden Stationen Weiz und St.Radegund -- beträgt das Jahresmittel der Lufttemperatur für die mittlere Einzugsgebietshöhe (940 m) des Karstes östlich der Raab ca. 7 °C .

Die von verschiedenen Autoren erstellten Berechnungsmethoden der Evapotranspiration unterscheiden sich sowohl in der Berücksichtigung verschiedener Parameter, als auch in der Anwendung für bestimmte regionale Gebiete.

Der Mangel an geeigneten Grunddaten reduziert die verwendbaren Parameter zumeist auf Lufttemperatur und Niederschlagsmenge (mehr wird von den Stationen im Untersuchungsgebiet nicht gemessen).

In der Arbeit von BIZEK, P. 1974, wurde für ganz Österreich eine Verdunstungskarte erstellt, wobei die potentielle Evaporation und die potentielle Evapotranspiration nach TURC ermittelt wurde.

Tab.2 Mittel der potentiellen Evapotranspiration (nach TURC) in mm
(Sonnenscheindauermessung 1956-1970)

	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Summe
Schöckl	-	22,1	56,5	72,4	81,9	62,4	47,0	29,7	3,7	375,7
St.Radegund	19,8	58,3	88,4	99,0	106,7	82,7	59,8	39,2	12,9	566,8

Anhand der Werte aus Tab.2 wurde für die mittlere Einzugsgebietshöhe des Weizer Karstes (940 m) die Summe der potentiellen Evapotranspiration

$$ET_{pot} = 508 \text{ mm}$$

berechnet.

Unter Anwendung der nach TURC, 1963, erstellten Formel zur Berechnung der reellen Jahres-Evapotranspiration ergibt sich mit

$$ET_{reel} = \frac{N}{[0,9 + (N/I_t)^2]^{1/2}}$$

ein Näherungswert von : $ET_{reell} = 450 \text{ mm}$.

ET_{reell} reelle Evapotranspiration, Jahressumme in mm ;
 N Jahresniederschlagssumme in mm ;
 I_t $300 + 25 \times t + 0,05 \times t^3$;
 t Jahresmittel der Lufttemperatur .

Der Unterschied zwischen diesem ET_{reell}-Wert und dem nach BIZEK errechneten ET_{pot}-Wert ist als gering zu bewerten.

Berücksichtigt man zusätzlich die zum Teil ausgezeichneten Versickerungsmöglichkeiten (Verebnungen, nackter Karst, geringmächtige Humusdecke), so ist eine Verminderung der ET-Werte um 10 bis 20 % gerechtfertigt.

Für das Karstareal im Weizer Bergland wird daher die Höhe der reellen Evapotranspiration pro Jahr mit durchschnittlich

$$ET_{reell} = 400 \text{ mm}$$

angesetzt.

Die klimatische Situation in den Jahren 1982 und 1983

Den Niederschlagsaufzeichnungen der Station Weiz entsprechend lag im Jahre 1982 sowohl die Niederschlagssumme, als auch das Lufttemperaturmittel über dem langjährigen Durchschnitt. Speziell die Monate vor und nach dem Einspeisetermin der Markierungsstoffe waren dies.

Tab. 3 : Die Monatswerte von Niederschlag und Lufttemperatur im Jahre 1982 im Gegensatz zu den Werten aus Langzeitmessungen 1901 - 1970; Station Weiz, 480 m.ü.A.

<u>N I E D E R S C H L A G 1982 (mm)</u>												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
36,4	14,6	54,4	21,1	92,8	110,2	119,0	163,0	54,0	163,7	39,9	72,0	942
<u>N I E D E R S C H L A G 1901-1970 (mm)</u>												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
31	32	42	59	88	123	125	113	86	68	55	45	867
<u>L U F T T E M P E R A T U R 1982 (°C)</u>												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
-4,3	-2,2	4,1	7,2	14,0	18,0	19,7	18,4	16,7	9,5	4,1	1,7	8,9
<u>L U F T T E M P E R A T U R 1901-1970 (°C)</u>												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
-2,2	-0,4	3,8	8,6	13,2	16,5	18,2	17,3	13,8	8,7	3,6	-0,2	8,4

Nachdem bereits der August 1982 sehr feucht war, folgte einem trockeneren und warmen September ein überaus feuchter Oktoberbeginn. Letzteres war die Folge eines Kaltlufteinbruches, der einen Wetterumschwung mit anschließenden Gewittern und Starkregen bewirkte und damit die vorangegangene Wärmeperiode ablöste.

Die ersten beiden Quartale 1983, in die die Probennahme nach dem Großmarkierungsversuch noch hineinfällt, waren zunächst feuchter als im langjährigen Durchschnitt, in der zweiten Hälfte jedoch bedeutend trockener.

Die Berechnung der Jahresniederschlagshöhe 1982 für den Karstbereich des Weizer Berglandes (östlich der Raab), analog dem Niederschlagswert von Weiz und der Niederschlagszunahme von 30 mm/100 Höhenmeter, ergibt 1080 mm.

Die meteorologischen Gegebenheiten wurden in dieser Arbeit deshalb so ausführlich behandelt, weil Teile des Weizer Karstes kaum eine Retention besitzen und nur durch die Abschätzung der Größen Niederschlagsangebot, -Intensität, -Verteilung, Evapotranspiration, bei ganzjährigen Infiltrationsbedingungen, ein Verständnis für die Karstwasserführung im allgemeinen und für die Beziehung von N-Angebot und unterirdischer Entwässerung bei der Erstellung einer Wasserbilanz im speziellen, möglich ist.

1.3 Topographie und Geomorphologie

Das zum mittelsteirischen Karst zählende Untersuchungsgebiet erfährt im Süden durch die tertiäre Niederung, im Osten durch das breite Feistritztal, im Norden durch den relativ steilen Abbruch zum Passailer Becken seine natürliche Begrenzung. Nur im Westen steht es mit dem Schöcklmassiv im Zusammenhang. Die WSW-ENE verlaufende Mittelgebirgskette aus Karbonatgesteinen kulminiert in der Zetz mit Höhen von über 1200 m und erweckt aufgrund der markanten Erhebungen von Garracher Wald, Sattelberg und Patscha mit den schroffen Formen den Eindruck einer Barriere gegen Norden und Süden.

Der morphologische Kontrast des Gebietes wird durch die Geologie bewirkt: Im Süden, das flache tertiäre Vorland, mit seinen Riedeln, dann die sanft geformten kristallinen Berge, die die tertiäre Bucht umsäumen und den Sockel für die dritte Zone bilden, dem paläozoischen Mittelgebirge, in dessen Kalkregion die Raab und der Weizbach zum Teil pittoreske Klammern geschaffen haben.

Die Oberflächenformen des grünen Karstes sind vielfältig und zeugen von einer intensiven Verkarstung. Während allerorts unterschiedlichste Karrenformen unter dem Vegetations- und Verwitterungsmantel vielfach verborgen bleiben, treten Dolinen, Höhlen, Schächte, Naturbrücken, Trockentäler und Karstquellen nur punktförmig hervor. Bekannte Höhlen wie Katerloch oder Graslöhle zeugen von der engen Verknüpfung der weitreichenden Verkarstung und dem morphologischen Werdegang der Landschaft. Tatsächlich sind zwischen 660 und 770 m Sh. zahlreiche Höhlensysteme sowohl in der Raabklamm (MARINIC, 1968; UNTERSWEG, 1979) wie in der Weizklamm (FUCHS, 1983) im Niveau des dazischen Vorfluters zu finden.

Der morphologische Werdegang der Landschaft drückt sich auch in den in verschiedenen Höhen liegenden Verebnungen aus. Ihre Bildung begann im jüngsten Tertiär, als die Alpen phasenhaft herausgehoben wurden. Während in den Epochen der Stabilität die Abtragung in die Breite arbeitete und die ausgedehnten Verebnungen schuf, kam es in den Zeiten der Hebung zum Einschneiden der Täler (für die Anlage und den Verlauf des Raab- und Weizbachdurchbruches sind aber auch noch zusätzliche Faktoren, z.B. Tektonik, unterirdische Korrosion etc. verantwortlich).

Eine eingehende Bearbeitung dieser Verebnungen, sowie die Erörterung der Wechselbeziehungen zwischen diesen und den Karsterscheinungen ist nicht Aufgabe dieser Arbeit, doch darf dies nicht unerwähnt bleiben, da ihre einstige Funktion als Vorfluterbasis weitreichende Folgen für die unterirdische Karstentwässerung hatte und z.T. heute noch hat.

Bei der Entstehung der beiden Durchbruchstäler und der Höhlensysteme spielte aber auch die Bildung des Passailer Beckens und dessen Entwässerung eine entscheidende Rolle. Eine Entwicklung wie MAURIN und ZÖTL 1973 sie sahen, nämlich daß im Oberpliozän das Passailer Becken ein Polje mit unterirdischer Entwässerung war, das erst durch die rückschreitende Erosion der beiden Flüsse geöffnet wurde, erscheint als eine der Möglichkeiten.

Die Durchbruchtäler der Raab und des Weizbaches, die in einzelnen Abschnitten von einer Schlucht sogar in eine Klamm übergehen, sind normal zur generellen Streichrichtung der Schöcklkalke (SW-SE) angelegt. Schleifen und Ausbiegungen gibt es aber in beiden, da die Bäche immer wieder in das Streichen einlenken. Knicke werden durch den Wechsel in der Streichrichtung oder an Störungszonen gefördert.

Das Gefälle der Raab beträgt zwischen Arzberg und Oberdorf a.d.R. (auf 4 km) ca. 11 %. Innerhalb dieser Strecke schwanken jedoch die Werte zwischen 6 und 17 %. Der Weizbachdurchbruch hingegen hat auf einer Länge von ca. 6 km (Kreuzwirt - Ruine Sturmberg) ein bedeutend größeres Gefälle, nämlich von 20 % (Kreuzwirt - Felsenkeller: 34 %).

Die späleologischen Untersuchungsergebnisse in der Raab- und Weizklamm haben vor allem MARINIC, 1968; UNTERSWEG, 1979 und FUCHS, 1983 veröffentlicht.

1.4 Die karsthydrologischen Verhältnisse

In den Jahren 1954 - 1957 schufen FLÜGEL, H. und V. MAURIN mit ihrem Kartenblatt "Geologische Karte des Weizer Berglandes" erstmals für Österreich eine Darstellung, die nicht nur die Ergebnisse der geologischen Forschungen, sondern auch die morphologische Entwicklung, die Verkarstung und die allgemeinen hydrogeologischen Verhältnisse beinhaltet.

Trotz des weiträumigen Arbeitsfeldes und der Bearbeitung zweier so unterschiedlicher hydrogeologischer Einheiten -- dem Komplex der karbonatischen Gesteine und dem der nicht verkarstungsfähigen Gesteine -- läßt diese Arbeit für den Hydrogeologen nur noch Detailfragen offen, da die wesentlichsten und spezifischen Verhältnisse des Weizer Karstes darin bereits aufgezeigt werden.

Voraussetzungen für die intensive Verkarstung sind, wie bereits erwähnt, die regelmäßige und ausgeprägte Klüftung, die Bankungsfugen und die verhältnismäßig hohe chemische Reinheit der Schöcklkalke. Diese Kalke überwiegen im Karst des Weizer Berglandes.

Da diese Voraussetzungen sich nicht nur über Vorfluterniveau, sondern sowohl unter die lithologisch differenten Einheiten (z.B. Ton - Kalkschieferserie), als auch unter die Vorfluter Raab, Weizbach und Fladnitzbach erstrecken, können Bereiche des Weizer Karstes als seichter, überdeckter (abgeschirmter) und als tiefer Karst angesprochen werden. Daß eine Vegetationsdecke ihn zum bedeckten und grünen Karst macht, wurde bereits erwähnt.

Wie für viele Karbonatareale charakteristisch, ist auch die im Weizer Karst herrschende Armut an Oberflächengerinnen auf den Plateaus und hochgelegenen Fluren, verbunden mit dem Auftreten weniger aber größerer Quellen an der Basis der Karstmassive. Die Quellen sind dabei entweder als Schichtstauquellen (Kalkschiefer) oder in Vorflutniveau als Überlaufquellen entwickelt.

Für die Gestaltung der Karstoberfläche von Bedeutung waren und sind auch die den Verebnungen und Leisten auflagernden Lockersedimente des Jungtertiärs (z.B. südlich Schachner Kg.). An diesen Orten treten gehäuft großflächige Karsterscheinungen wie Einzeldolinen und Dolinenreihen auf.

Für die Entwässerung im überdeckten und tiefen Karst ist die aus der Großtektonik resultierende Situation Voraussetzung:

- a) die allseitig geschlossene und zum größten Teil überdeckte Schöcklkalkmulde mit ihrem Tiefstpunkt etwa unter dem Hirschkogel;
- b) Die ENE streichende Muldenachse;
- c) die z.T. bis unter das Vorflutniveau reichende saigere bzw. sehr steile Stellung der Kalke im Antiklinalbereich Sattelberg-Patscha-berg-Zetz und
- d) das Störungsgitter, das einerseits EW bis WNW, andererseits ENE streicht.

Die Entwässerung des Karstmassivs Garracher Wald-Sattelberg-Patscha-berg-Zetz erfolgt bis auf das kurze Gerinne westlich der Zetz (in ca. 1100 m Höhe) unterirdisch. Die Trockenrinnen und hängenden Trockentäler (südlich Schachner Kg. und Dürnthal) führen nur in den seltensten Fällen Wasser, auch stärkere Niederschläge versinken zumeist nach kürzestem Lauf.

Eine Besonderheit der Alimentation des Weizer Karstkörpers bilden die perennierenden Gerinne aus der hangenden Ton-Kalkschieferserie, wie z.B. durch den Haselbach und den Brunngraben am Westhang des Stroß. Diese Gerinne versinken je nach Wasser- und Feinsedimentführung unterschiedlich weit ab vom Kontaktbereich Schiefer/Kalk.

Das Gros der Karstaustritte im Weizer Bergland, vor allem die großen Quellen, treten im Talniveau aus. Dort wo sie höher liegen, werden sie zumeist durch den Gesteinswechsel bedingt.

Die vier wesentlichen "Quellbezirke" lassen sich aus der Vielzahl der aufgenommenen Austritte herauslösen (Abb.3).

- I) die Quellen im Raabdurchbruch,
- II) die Quellen am Nord- und Südenende des Weizbachdurchbruches,
- III) die Quellen von Oberdorf und Oberfladnitz,
- IV) die Quellen im Einzugsgebiet der Feistritz.

I) Die Quellen im Raabdurchbruch

Wie bereits von MAURIN (1958) bemerkt, müßten aufgrund der ENE fallenden Muldenachse des Garracher Kalkstockes und als Folge des tiefen Einschnittes der Raab, kräftige Quellen in der Raabklamm zu erwarten sein. In das Untersuchungsprogramm wurde daher auch der Bereich südlich des Schachner Kogels einbezogen, da durch das erwähnte Einfallen der Muldenachse unter das Raabtalniveau die Möglichkeit besteht, daß die Wässer unter der Raab hindurch und im Bereich der Baumühlquelle im Weizbachtal wieder herausgedrückt werden. Diese Einzelfrage stand im Zusammenhang mit dem wesentlichsten Fragenkomplex: Verhalten sich die morphologisch herausgearbeiteten Abschnitte Garracher Wald/Schachner Kg., Sattelberg, Patschaberg-Zetz wie getrennte hydrologische Einheiten, oder ist für deren unterirdische Karstentwässerung primär die Lage und die Funktion der Schöcklkalkmulde als Sammelbecken wichtig.

Die bedeutendsten Quellen im Raabdurchbruch, die auch den Charakter echter Karstquellen haben, sind die im Bereich einer Störung austretenden Quellen Nr.4 (Gänsebrunnen, Schüttung im Mittel 2,5 l/s), Nr.3 (Gösser Q., Mittel ca.30 l/s) am östlichen Talrand und die Finzen Quelle Nr.2 u. Nr.20, ein Quellhorizont unterhalb des Schachner Kg., am Fuße einer Schutthalde bzw. quartären Terrasse (Finzenquelle, hohe Schüttungsschwankungen, im Mittel 35 l/s) am westlichen Talrand.

Eine Wasserbilanz die MAURIN (1958) für das Gebiet östlich des Fuchskogels anstellte, ergab eine wesentliche Diskrepanz zwischen dem Gesamtabfluß und der Niederschlagsfracht (Defizit etwa 100 l/s). Auch bei einer Korrektur seiner Prämissen zu $A_u = \text{ca.}40 \text{ l/s}$ und $ET = 400 \text{ mm}$ blieb die Frage nach dem theoretischen Defizit im unterirdischen Abfluß aufrecht. MAURIN vermutete, daß ein kleiner Teil dieses Fehlbetrages unter dem Gehängeschutt unkontrollierbar in das Schiefergebiet übertritt, während der größere Teil direkt ins Grundwasser der Raab übertreten muß. Die zahlreichen von mir durchgeführten Abflußmessungen in der unteren Hälfte des Raabdurchbruches konnten jedoch weder bei Nieder- noch bei Mittelwasserführung der Raab verdeckte Zuflüsse feststellen.

In die steilen Osthänge der Raabklamm haben sich drei Gerinne tief in den Kalk eingeschnitten: der Haselbachgraben, der Brunngraben und der Unterlauf des Dürnthales. Die Wurzeln dieser Gräben liegen aber größtenteils in der Schieferserie des Stroß, führen daher entweder permanent Wasser, wie der Haselbach, oder doch beachtlichen Oberflächenabfluß nach längeren Starkniederschlägen bzw. nach der Schneeschmelze.

Diese talwärts fließenden Wässer versinken je nach Wasserführung und Abdichtung des Gerinnebodens durch angeschwemmtes feinklastisches Material innerhalb einer variablen Strecke im Kalkterrain. Die Kenntnis einer derartigen Anreicherung des liegenden Karstkörpers durch Wässer

aus der hangenden Schieferserie des Stroß zieht die Erweiterung des hydrologischen Einzugsgebietes über die Gesteinsgrenzen hinaus nach sich. Ob diese Wässer später wieder im Raabtaal austreten, oder sich in weitreichenden Karstsystemen verteilen, war noch zu klären.

II) Die Quellen im Weizbachdurchbruch

Durch den epigenetischen (?) Durchbruch des Weizbaches schneidet dieser zwischen Kreuzwirt im Norden und Weiz im Süden zunächst in den als stehende Antiklinale zusammengepreßten Nordschenkel, dann den Schieferkern und in der Enge von Sturmberg den Südschenkel der Synklinale. Hier, unmittelbar nördlich der Stadt Weiz, liegt auch der orographisch tiefste Punkt der Schöcklkalkmulde (483 m Sh.). Im Vergleich dazu liegt der tiefste Oberflächenpunkt im verkarsteten Anteil der Raabklamm etwas höher als 500 m Sh. Diese Situation müßte nicht nur für die Entwicklung, Ausrichtung und Konzentration des unterirdischen Entwässerungssystems der Schöcklkalkmulde von besonderer Bedeutung sein, sie ist es auch tatsächlich. Sowohl die Häufung der Quellaustritte bestätigt dies, unter ihnen befindet sich auch die größte des gesamten Weizer Berglandes, die Baumühlquelle. Der eindeutige Nachweis wurde aber durch die Ergebnisse aus dem kombinierten Markierungsversuch (1982/83) erbracht.

Die Karstentwässerung im nördlichen Klammabschnitt konzentriert sich auf die sogenannten "Patschawasser", 4 Quellaustritte (Nr.7 und Nr.34) die zwischen Kreuzwirt und Steinbruch am östlichen Talrand als Kluft- und Schichtstauquellen austreten. Die stärksten Austritte (Nr.7) liegen nahe beim Kreuzwirt und entspringen einem schmalen Schöcklkalkzug der durch Ton- und Kalkschiefer vom Hauptmassiv des Patschaberges getrennt ist. Die mittlere Gesamtschüttung dieser Quellen beträgt ca. 12 l/s. Wie der Lokalname besagt, war man der Ansicht, daß das Einzugsgebiet dieser Quellen im Patschamassiv läge. Der Markierungsversuch im Jahre 1981/82 jedoch konnte die Verbindung zwischen der Hauptschwinde in der Talgrabenmündung und den drei Quellen Nr.7 nachweisen. Damit schien zunächst das Einzugsgebiet dieser Quellen, nämlich das Schieferareal aus dem das Oberflächengerinne des Talgrabens mehrheitlich Wasser abführt, festzustehen. Die etwas erhöhte Gesamtschüttung der drei Quellen gegenüber dem Talgrabenabfluß wurde mit der Beimengung von Grundwasser aus dem Weiztal erklärt.

Auf den Markierungsversuch nicht angesprochen hatte die südl. Quelle Nr.34, die aus Bankungsfugen über Straßenniveau tritt. Dies war verständlich, da zwischen den Schwinden und der Quelle die Ton- und Kalkschieferschürze liegt.

Im unteren zweiten Drittel des Weizbachdurchbruches treten am Westfuße der Hochfläche von Naas Wässer sowohl direkt aus den Kalkschiefern der Muldenfüllung (hier NNE einfallend) als auch im Talboden selbst in Form von Wallern aus, die im Volksmund die Boarquelle (= Paarquelle, Nr.9) genannt werden. Nach der Austrittslage war zu schließen, daß ihr Einzugsgebiet in die Dolomit- und Kalkschieferbereiche des Hirschkogels zurückreicht. Es gab jedoch auch Überlegungen, ob nicht ein Teil der Wässer aus den Talalluvionen stammen könnte und hier mit dem Weizbach in Verbindung stünde.

Mit ihrer beachtlichen Durchschnittsschüttung von ca. 12 l/s gehört die Quellgruppe zu den stärkeren Austritten im Weizer Bergland; sie ist aber auch aufgrund der unterschiedlichen physikalisch-chemischen Kennwerte ihrer Einzelaustritte von Interesse. Die Quelle ist gefaßt, die Wässer werden zur Pumpstation Baumühlquelle geleitet.

Im Bereich der Ruine Sturmberg tritt aus den Talalluvionen eine Anzahl größerer Karstquellen mit Wallercharakter; es ist dies die Baumühlquelle (Nr.10), die Wiesenquelle (Nr.41), die Fladererquelle (Nr.11) und die beiden Quellen Nr.44.

Die mit Abstand stärkste Karstquelle -- auch im Weizer Bergland -- ist die Baumühlquelle mit einer Durchschnittsschüttung von 162 l/s (1986-89), einer registrierten Minimalschüttung von 70 l/s und einer Maximalschüttung von 1 100 l/s (29.06.1924).

Der Quellaustritt in 510 m Sh. lag ursprünglich in einem Quellteich zwischen Straße und Mühlgang. Bei den Fassungsarbeiten 1924 am Fuße des südwestlichen Berghanges wurden Teile des Primäraustrittes, ein 30 bis 60 cm weiter und 8 m tiefer Karstschlauch, freigelegt. Die Kalke fallen hier steil nach NW ein, ihr Streichen ist SW - NE. Annähernd parallel dazu treten auch tektonische Bewegungsbahnen auf, mit zum Teil eingeschuppten Tonschiefern. Es ist daher nicht verwunderlich, schreibt MAURIN (1958), wenn in der Fortsetzung dieser Störungszone auch in den Talalluvionen des linken Weizbachufers Quelltöpfe angetroffen werden. Es sind das die in einer Gruppe aufstoßenden drei Wiesenquellen mit periodischer Schüttung. Während der Fassungsarbeiten an der Baumühlquelle konnte der Zusammenhang zwischen diesen eindeutig nachgewiesen werden. Der Vorfluter bildet hier demnach keine hydrologische Grenze.

Die hohen Temperaturschwankungen (5,0 - 17 °C) der Wiesenquellen -- ganz im Gegenteil zur Baumühlquelle -- verhinderten zunächst deren Fassung für die Wasserversorgung, da diese als ein Anzeichen für den hohen Zuflußanteil von seichtem Talgrundwasser, wenn nicht gar von Bachwasser, gewertet wurden. Heute ist sie jedoch gefaßt und schüttet periodisch bis zu 20 l/s.

Südöstlich der Baumühlquelle, am Südfuße der Ruine Sturmberg, entspringt die Fladererquelle (Nr.11) in einem Quellteich. An ihr bemerkenswert ist nicht nur die relativ hohe und gleichbleibende Schüttung (ca. 16 l/s), es ist vor allem ihre überdurchschnittlich hohe Wassertemperatur (12,4 - 13,8 °C; mittlere Jahreslufttemperatur für Weiz: 8,4 °C) und das relativ hohe Alter der Wässer.

Im Gegensatz dazu stehen die beiden benachbarten Quellen Nr.44. Obwohl nur wenige Zehnermeter entfernt, hat vor allem die stärkere der beiden Quellen (sie entspringt nun im Keller eines Neubaus mit ca. 3,5 l/s) den Charakter der Baumühlwässer (Temperaturgang und Verweilzeit).

Am Westfuße des Landschaberg-Kalkstockes treten zwei erwähnenswerte Quellen aus: die Kalkleitenquelle Nr.46 in den Alluvionen der Naasgraben Mündung und die beiden Austritte südlich des Steinbruches, Nr.48.

Die Kalkleitenquelle diente der Stadt Weiz bis 1924 zur Wasserversorgung (im Mittel 11 l/s). Zur Auflassung kam es, nachdem durch einen

Färbeversuch nachgewiesen worden war, daß zwischen dem an der Kalkgrenze versinkenden Naasbach, einem jüngst zuvor entstandenen Erdfall talabwärts und der Quelle eine Verbindung in 3 1/2 Stunden besteht.

Von den beiden Steinbruchquellen (Gesamtschüttung ca. 7 l/s) tritt die mit der geringeren Schüttung in Talbodenlage aus (sie ist gefaßt und wird zur Versorgung des Schwimmbades herangezogen), die stärkere an der Berglehne.

III) Die Quellen von Oberdorf und Oberfladnitz:

Im Gebiet des Poniglgraben-Fladnitzbaches sind die hydrogeologischen Verhältnisse weniger übersichtlich. Zwischen Landschaberg und Raasberg ist eine alte, relativ breite Rinne ausgebildet, die mit zum Teil mächtigen sarmatischen und pannonischen Sedimenten (Schloß Thannhausen, über 80 m mächtig) ausgefüllt ist und die in ihrer Entwicklung über die Gesteinsgrenzen hinweggreift. Der Poniglgraben mit seinen Seitenästen zieht die morphologisch sichtbare Grenze zwischen Patschaberg und Zetz. Perennierende Wasser führt der östliche Seitenarm, allerdings nur über eine kurze Strecke, deren Länge von der Wasserführung jener Karstquelle abhängt, die im Grenzbereich zwischen Kalkschiefern und einem mächtigen Hangschutt in 100 m Sh. austritt. Die übrigen Gräben führen solange sie in den Kalken verlaufen nur nach Starkniederschlägen Wasser. Der ab Ponigl ständig fließende Fladnitzbach bezieht sein Wasser aus einem westlichen Seitengerinne und aus Quellen, mit einem Einzugsgebiet, das hauptsächlich in den Schiefern des Hirschkogels liegt.

Eine Quelle fällt in diesem Gebiet durch ihre hohe Schüttung (ca. 4 l/s) auf. Es ist dies Nr. 15 (bzw. 59). Schon vor den eindeutigen Ergebnissen aus dem kombinierten Markierungsversuch bestand die Vermutung, daß die im Hangenden des Ostschenkels der Synklinale auflagernde Schieferecke so dünn geworden ist, daß hier Karstwässer in einem Fenster aufstoßen können.

Südlich von Ponigl fließt der Bach wieder durch einen Schöcklkalkbereich; feinklastisches Material im Bachbett verhindert jedoch ein Versinken der Wasser. Dort aber, wo der Fladnitzbach sich epigenetisch in die Dolomite des Raasbergfußes eingeschnitten hat, versinkt der Bach an variablen Stellen bei einem bis zu Mittelwasser führenden Abfluß völlig. Im selben Talboden, noch nördlich der Straßengabelung nach Oberdorf und dort wo jungtertiäre Sedimente lagern, ist eine Quelle für den Fischereibetrieb gefaßt (Nr. 62; ca. 10 l/s), die wie Nr. 62b als Wiederaustritt der Bachwässer in Frage kommt.

Parallel zum Feistritzgraben haben kleinere Gerinne wie der Dörfler Bach die alte Tertiärfüllung zum Teil ausgeräumt. Mächtige Reste finden sich in Oberdorf, wo auch drei bedeutende, konstant schüttende Waller Nr. 50, 13 (bzw. 51), 53 mit ca. 15 l/s hochdrücken. Von der Lage her scheint es sich um Überlaufquellen zu handeln, die im geologischen Grenzbereich zwischen Ton-Kalkschiefern und den Dolomiten der Raasberg-Serie aus der Tiefe emporsteigen.

MAURIN (1958) vermutete, daß hier die Wässer des Fladnitzbaches wieder austreten, wobei sie zuvor den trennenden Dolomit- und Kalkschieferücken zwischen den beiden Gräben durchflossen haben müssen.

In Urtl, südlich von Raas, tritt am Fuße des Raasberges eine weitere starke Karstquelle aus, der Urtlbrunn (Nr.64), im Mittel ca. 3,5 l/s schüttend. Die hohe Wassertemperatur ($> 11^{\circ}\text{C}$) lassen auf tiefe Karstwässer schließen, deren Austritt durch den Stau der anlagernden pleistozänen Sedimente relativ hoch über den Talalluvionen (517 m Sh.) bewirkt wird.

Am Südfuß des Raasberges, nordwestlich von Nöstl, tritt an der Grenze zum Kristallin eine stärkere Überfallquelle in 450 m Sh. aus. Ihr ursprünglicher Quellcharakter wird durch die Quellfassung verdeckt.

Im Osten des Weizer Berglandes und damit im Einzugsgebiet der Feistritz liegen noch drei weitere, ihrer Schüttung wegen erwähnenswerte Quellen: Die Zetzbachquelle (Nr.120 bzw. 69), mit einer Mittelwasserführung von ca. 3,5 l/s, ist für den Ort Anger gefaßt und entspringt in 580 m Sh. einem Karbonatzug, der von der Hohen Zetz nach Süden zieht und hier in eine Schieferserie eingekeilt ist.

Am nordöstlichen Rand des Weizer Berglandes, am Abfall in den Naintschgraben, entspringen den in der Schieferserie eingeschalteten Kalkbändern noch zwei stärkere Quellen. Es ist dies in 915 m Sh. der Ursprung des Pözlaches (Nr.123 bzw. 76) und weiter nördlich, in der nördlichen Wurzel des Steingrabens, die Nr.124 bzw. 80 (915 m Sh.).

Obwohl die durchschnittliche Gesamtschüttung der in der Bucht von Weiz und Oberdorf/Oberfladnitz austretenden Karstquellen durchaus respektable ist (ca. 220 l/s bzw. ca.35 l/s), "muß doch angenommen werden, daß eine bedeutende, allerdings nicht erfaßbare Karstwassermenge, direkt in das Talgrundwasser übertritt" (MAURIN, 1958). Zwei Gründe sprächen dafür: Auf der einen Seite sind diese Gesamtabflußmengen für die unmittelbar anschließenden Kalkgebiete zu groß (Stroß und Hirschkogel haben ihre eigene Entwässerung), für das gesamte verkarstungsfähige Areal (inklusive Garracher Wald: 31,9 km²) aber erscheint die abfließende Karstwassermenge zu gering. Da sowohl aus der Häufung der Quellaustritte am Südrand der Schöcklkalkmulde wie auch aus der Schüttungsmenge ersichtlich ist, daß sich die Entwässerung des Weizer Karstes tatsächlich am tiefsten orographischen Punkt der Schöcklkalkmulde konzentriert, müsse man auf Grund einer Bilanzierung von Niederschlag, Fläche, ober- und unterirdischen Abfluß und Evapotranspiration zwangsläufig zu diesem Schluß kommen.

Neben der Abflußmenge sprechen noch weitere Faktoren für ein Zurückreichen der Quelleinzugsgebiete in die nördlichen Kalkmassive von Sattelberg, Patscha und Zetz. Es sind dies das Fehlen bedeutender Quellen im Südabschnitt der Raabklamm, innerhalb der Weizklamm und des Poniglgrabens, die relativ hohe und gleichbleibende Wassertemperatur -- GÖTZINGER, G.(1925) bemerkt dies bereits im Zusammenhang mit seinen Beobachtungen an der Baumühlquelle und Boarquelle -- und die relativ hohe mittlere Verweilzeit der Wässer aus der Fladererquelle. Demnach muß ein Teil der Karstwässer aus dem Norden und Nordwesten unter der Schieferdecke des Stroß und Hirschkogel hindurch und erfährt auf diesem Wege seine Erwärmung.

MAURIN (1958) schließt aufgrund der Temperaturunterschiede von Fladerer- und Baumühlquelle, daß es sich dabei um keinen Karstwassersee handeln kann der im unteren Weizbachtal ausfließt, sondern daß es einzelne, unterschiedlich tiefreichende, mehr oder weniger geschlossene Wasserwege geben muß. Sowohl die Isotopenmeßergebnisse (Kap.3) als auch der Markierungsversuch (Kap.5) haben dies bestätigt. Es ist daher anzunehmen, daß die Fladererquelle den Hauptteil ihrer Wässer aus dem Muldentiefsten der Schöcklsynklinale bezieht, die Baumühlquelle hingegen über seichter gelegene Hohlraumssysteme, die zudem auch großlumiger sein müssen. Für letzteres sprechen die hohe Schüttung und die Schüttungsschwankungen, die Trübung bei Hochwasserabfluß und das relativ rasche Anspringen der Quelle nach Niederschlagsexzessen. Durch ein derartiges System, meint MAURIN (1958), wäre es auch möglich, daß Hochwässer in höher gelegenen Schläuchen dem normalen Karstwasserstrom vorauslaufen, während bei Mittel- und Niederwasser tatsächlich nur ein langsames Überfließen aus dem tiefliegenden Karstwasserreservoir stattfindet. Letzteres kann, wertet man die Isotopenmeßergebnisse an den Quellwässern aus, nicht zutreffen. Vielmehr wird die Vorstellung einer Karstentwässerung in zwei, mehr oder weniger voneinander getrennten "Etagen", eher der Tatsache entsprechen. Auch der Nachweis des Tracers aus dem Zetzgebiet in der Baumühlquelle erhärtet diese Meinung.

Die von MAURIN (1958) mit Sicherheit aufgestellte Behauptung, Weizbachwasser würde im Bereich der Weizklamm in den Kalkuntergrund versinken, konnte durch viele Abflußmeßreihen bei Mittel- und Niederwasser nicht nachgewiesen werden. Die festgestellten Keime in der Baumühlquelle werden daher ihren Ursprung nicht im Vorfluter, sondern auf den Höhen von Sattelberg und Patscha (z.B. diente einst das Patschaloch als Deponie), bzw. von den Siedlungen im oder nahe dem Kalkareal.

1.5 Hydrologische Untersuchungen

Wie allgemein bekannt, können wir uns in der Karsthydrologie nicht mit dem spezifischen Abfluß (q), der als Funktion im Zusammenhang mit der Zunahme der Oberfläche des Niederschlagsgebietes abnimmt, behelfen. Ebenso können nicht immer die Abflußkoeffizienten (c) bestimmt werden, da die Niederschlagsmengen nicht genau bestimmt und der gesamte Abfluß nicht gemessen werden können. Auch die korrelativen Methoden, deren man sich gewöhnlich in nicht verkarsteten Bereichen bedient, versagen wegen des spezifischen Wasserregimes im Karst. Dieses kommt in dem unterschiedlichen Versickern der Wässer und in den zeitlich wie räumlich schwer bestimmbareren Retentionen im Untergrund zum Ausdruck.

Das Wasserregime im Weizer Karst ist kompliziert. Die Wassermengen konnten aufgrund der Daten, die durch herkömmliche Methoden gewonnen worden waren, weder für die Oberfläche noch für den Untergrund zuverlässig bestimmt werden. Der Umfang des Niederschlagsgebietes kann mit +/- 15%iger Genauigkeit angegeben werden, da der Karst inmitten nicht verkarsteter Gesteinskomplexe liegt.

Das Netz der hydrologischen Meßstellen

Vor dem Jahre 1982 befanden sich im Weizer Karst gleichzeitig maximal sieben hydrologische Meßstationen, von denen eine mit einem Limnographen, nämlich in Arzberg, ausgestattet war.

Auf diesem Stand war das Beobachtungsnetz auch bis zum Herbst 1982, als mit dem kombinierten Großmarkierungsversuch das Forschungsvorhaben abgeschlossen werden konnte.

Die größte Aufmerksamkeit wurde zu Beginn den Abflußmessungen an den Oberflächengewässern und den Schüttungsmessungen an den bedeutenden Quellen gewidmet.

Die hydrologische Begrenzung des Niederschlagsgebietes für den Weizer Karst:

Der von Karbonatgesteinen (Schöcklkalke) aufgebaute Anteil des Weizer Berglandes umfaßt 31,94 km². Diese Flächenangabe läßt die orographische Grenze außer acht und hält sich an den Verlauf der Gesteinsgrenzen zwischen verkarstungsfähigen und nichtverkarstungsfähigen Gesteinen. Es sind daher auch Flächen mit einberechnet, die jenseits der orographischen Wasserscheide liegen und die bei Starkniederschlägen ihren Oberflächenabfluß in das Gebiet der Schieferserie abführen. Andererseits sind in dieser Fläche noch nicht jene Gebiete miteinberechnet, die im Hangenden der Schöcklkalke liegen (z.B. Kalkschiefer im Zetz-Gebiet oder Ton- und Kalkschiefer im Stroßbereich) und über die dem Karst Oberflächenwasser zufließen. Einer dieser Oberflächengerinne ist der Haselbach, der ständig Wasser zu den Schwinden im Kalkterrain leitet.

Die Fläche des Schöcklkalkareales zwischen Raab und Fladnitzbach/Hohe Zetz, also das eigentliche Untersuchungsgebiet, umfaßt 24,7 km², die der NE- und E-Hänge des Stroß ca. 1,8 km².

2. HYDROCHEMISCH-PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die Karstwässer des Weizer Berglandes sind für die Stadt Weiz, für den Markt Anger sowie für die südlich gelegenen Gemeinden von großer wirtschaftlichen Bedeutung.

Die erste regionale Quellaufnahme erfolgte durch V. MAURIN (1957, 58 u. 75) die 1972 von P. HACKER über das gesamte Weizer Bergland ausgedehnt wurde. Die erste lokale hydrochemische Bearbeitung, und zwar für den Bereich westlich der Raabklamm (Bereich Garrach und nördl. Vorland), nahm K. STUNDL 1958 vor. Da dies eine Momentaufnahme war, fehlen Angaben über Mittelwerte und Langzeitschwankungen zur Beurteilung der charakteristischen hydrogeologischen-hydrographischen Verhältnisse.

Wie beim Isotopenprogramm wurden zwischen Juni 1974 und Juni 1975 dieselben 7 Quellen Nr. 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11 und die beiden Oberflächengerinne Raab und Weizbach (Nr. 6, 8) zunächst monatlich, ab September 74 im zwei- bis dreimonatlichen Abstand für chemische Analysen beprobt.

Monatliche bis zweimonatliche Probennahmen während eines Jahres genügen zumeist zur Charakterisierung größerer Variationen. Es ist klar, daß episodische Veränderungen nur dann richtig erfaßt werden können, wenn Analysen in kürzeren Abständen bzw. kontinuierlich erfolgen. Doch dazu bedarf es eines erhöhten personellen und finanziellen Einsatzes. Beide waren nicht vorhanden.

Die sieben Karstaustritte waren aufgrund ihrer Bedeutung (Schüttung, wasserwirtschaftliches Interesse) und ihrer geologisch-tektonischen Position wegen ausgewählt worden.

Durch den systematischen Vergleich der chemisch-physikalischen Eigenschaften der Wässer sowie der Schwankungsbreite ihrer Mineralisation sollten Hinweise über die Herkunft der Wässer (Einzugsgebiet), deren Genese und Verweildauer erhalten werden.

Untersuchungen der Wasserqualität sollten neben der chemischen Zusammensetzung auch den Grad der Karstwasserverunreinigung feststellen. Falls aufgrund typischer Kennwerte Ähnlichkeiten zwischen den Wässern der einzelnen Quellen gefunden werden würden, so wäre auch dies als Markierung, als Tracer, zur Feststellung unterirdischer Wasserverbindungen, zu werten.

Während der einjährigen Beobachtungszeit wurden 8 Probenserien gezogen. Die physikalischen Kennwerte, die hydrochemische Zusammensetzung und hygienisch-baktereologische Eigenschaften dieser Wässer sind in den Tabellen 4 bis 10 festgehalten.

Bei den Vollanalysen wurden auch die Spurenelemente Barium, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Zink mitbestimmt. Durch ihre Anwesenheit, bzw. durch die unterschiedliche Höhe ihrer Konzentration in den einzelnen Quellen, erhoffte man Informationen über die Reichweite der Karstsysteme, womöglich bis zu den Blei-Zink-Vererzungen im Kontaktbereich der nördlichen Antiklinale (zwischen Passailer Phylliten und den Schöcklkalken), zu erhalten.

Die physikalisch-chemischen Wasseranalysen wurden hauptsächlich nach den in den "Deutschen Einheitsverfahren für Wasser- u. Abwasseranalysen" beschriebenen Verfahren vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung durchgeführt (Ing. H. SCHWINGHAMMER).

Vor Ort wurden die Parameter Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Sauerstoffgehalt erfaßt.

Bei der Interpretation der Analysendaten steht zunächst die Beurteilung der Zusammensetzung von Kationen und Anionen an. Dabei geht man von der Überlegung aus, daß ihre Konzentrationshöhe primär von den Faktoren geologischer Aufbau, geochemische Zusammensetzung von Boden und Gestein, Klima, hydrogeologische Verhältnisse, anthropogene Einflüsse und letzten Endes von der Thermodynamik und Kinetik wässriger Lösungen im Kontakt mit den Mineralien abhängt.

Sowohl für die Klärung der karsthydrographischen Verhältnisse, als auch für die Durchführung des kombinierten Markierungsversuches, ist die Kenntnis des natürlichen "chemischen Spektrums" eine Notwendigkeit. Im ersten Falle werden einzelne chemische Elemente gleichsam als natürliche Tracer zur Interpretation herangezogen, im zweiten Fall gibt eine Vollanalyse Hinweise über die Grundbelastung und Schwankungsbreite in der chemischen Zusammensetzung des Karstabflusses (Hintergrundmessung).

Die chemische Zusammensetzung als natürlicher Tracer zur Klärung der karsthydrographischen Verhältnisse:

Aus den Aufzeichnungen (Tab.4 bis 10) wird ersichtlich, daß die Karstwässer des Weizer Berglandes niederminalisiert sind und wie erwartet sehr wenig Natrium und Kalium, hingegen überwiegend Calcium und Magnesium führen. Hydrogenkarbonat trägt am meisten, Sulphat, Chlorid und Nitrat aber wenig zum Gehalt an Anionen bei. Diesem Bild entsprechen auch die beiden Oberflächenwässer Raab und Weizbach, bei denen lediglich im leicht angehobenen Natrium-, Kalium-, Phosphat-Gehalt sowie im etwas erhöhten Kaliumpermanganatverbrauch sich der anthropogene Einfluß erkennen läßt.

Versuche, Korrelationen mit den Kationen Na und K, oder mit den Anionen Chlorid, Sulfat und Nitrat der Quellwässer durchzuführen schlugen fehl, da deren Konzentrationen zu gering und somit zu wenig kontrastreich sind.

Es wurde auch versucht, Ähnlichkeiten zwischen den einzelnen Quellen, bzw. zwischen diesen und den allochthonen Oberflächenwässern Raab oder Weizbach herauszufinden. Dies geschah auf folgende Art:

- Aus dem Vergleich der Analysendaten der einzelnen Probenserien (zuerst mit Hilfe der Produkt-Moment-Korrelation, nach erfolgter Selektion, durch Verhältnisbildungen) ebenso wie aus dem Vergleich der hydrogeologischen Situation vor und zur Zeit der Probennahme;
- aus dem Vergleich der Maxima-/ Minimawerte der einzelnen Parameter für die gesamte Untersuchungszeit;
- aus dem Vergleich der Durchschnittswerte der einzelnen Parameter für die gesamte Untersuchungszeit.

Tab. 4

Proben- bezeich- nung	Datum	T °C	Q (l/s)	pH	µS/cm	GH. °dH	KH. °dH	KMnO ₄ mg/l	O ₂ mg/l	Kolonie- zahl in 1 ml	coliforme Keime in 100 ml
Quelle 2	9. 6.1974	9,1	20	7,6	325	10,9	10,2	6,8	8,0	5	5
	14. 7.1974	9,35	20	7,5	337	10,9	10,2	8,7	7,0	14	2
	18. 8.1974	9,55	25	7,6	326	11,2	10,2	2,8	8,7	120	3
	15. 9.1974	9,6	25	7,8	300	11,2	10,2	3,9		3	29
	17.11.1974	9,0	20	7,5	330	10,9	10,1	12,0		7	0
	12. 1.1975	8,5	15	7,3	336	11,2	10,1	5,2		0	0
	13. 4.1975	8,7	60	8,2	338	11,5	10,6	2,5	10,2	56	7
	25. 6.1975	9,1	40	7,9	331	11,2	10,2	2,2	9,4	150	6
	9. 6.1974	9,45	15	7,4	313	10,9	10,5	5,1	8,8	3	0
	14. 7.1974	9,45	15	7,4	337	11,2	10,2	4,0	8,2	53	2
Quelle 3	18. 8.1974	9,3	20	7,5	315	10,9	10,2	4,1	9,6	111	12
	15. 9.1974	9,45	25	7,6	305	10,9	10,1	2,5		3	8
	17.11.1974	9,5	15	7,5	325	10,9	10,3	10,0		17	3
	12. 1.1975	9,5	15	7,4	330	10,9	10,1	4,4		8	0
	13. 4.1975	9,35	55	8,1	328	11,5	10,8	2,8	10,5	40	0
	15. 6.1975	9,4	35	7,4	323	11,5	10,5	2,1	10,1	100	6
	9. 6.1974	9,6	0,5	7,4	315	11,2	10,5	4,0	9,2	31	1
	14. 7.1974	9,55	0,2	7,4	337	11,8	10,8	3,5	7,9		
	18. 8.1974	9,5	1,5	7,5	320	11,2	10,4	2,8	8,8	45	6
	15. 9.1974	9,65	2,0	7,7	320	11,2	10,5	2,8		27	6
Quelle 4	17.11.1974	9,6	1,2	7,4	329	11,2	10,4	11,0		18	2
	12. 1.1975	9,6	0,6	7,4	332	11,2	10,4	4,9			
	13. 4.1975	9,45	5,0	8,1	331	11,5	10,8	3,2	10,4	11	0
	15. 6.1975	9,6	3,5	7,4	327	11,2	10,5	2,4	10,1	160	5
	9. 6.1974	15,3	30	8,9	264	9,0	8,3	8,2		4500	600
	14. 7.1974	20,7	31	8,5	304	10,1	8,5	9,5	7,3	4700	1
	18. 8.1974	21,4	37	8,3	339	11,2	9,7	6,0	8,2	195	4
	15. 9.1974	15,0	39,5	9,2	298	10,9	9,7	5,4		620	45
	17.11.1974	5,7	37	8,2	328	10,6	10,1	18,0		1200	2
	12. 1.1975	0,1	40	8,1	339	10,9	10,1	12,0		405	115
Raab 6	13. 4.1975	5,1	43	8,5	303	10,1	9,2	2,8	11,9	1740	258
	15. 6.1975	18,4	41	8,4	301	10,6	9,0	7,4	9,0	1200	58

Tab. 5

Proben- bezeich- nung	Datum	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻³ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	
Quelle 2	9. 6.1974	74	2,5	1,1	1,2	4	6,7	223	< 0,01	4	< 0,005	< 0,05	
	14. 7.1974	69	5,1	1,1	0,9	5	8,6	223	< 0,01	3	< 0,005	< 0,05	
	18. 8.1974	77	1,8	1,1	1,0	5	5,8	223	< 0,01	8	< 0,005	< 0,05	
	15. 9.1974	76	2,3	1,1	0,8	5	11,0	223	< 0,01	4	< 0,005	< 0,05	
	17.11.1974	76	1,0	1,0	0,9	4	7,7	221	< 0,01	4	0,005	< 0,05	
	12. 1.1975	76	2,3	1,4	0,8	5	12,0	220	< 0,01	7	< 0,05	< 0,05	
	13. 4.1975	81	0,7	1,9	0,8	4	14,0	232	< 0,01	6	< 0,005	< 0,05	
	25. 6.1975	77	1,8	1,1	1,0	4	7,0	222	< 0,01	7	< 0,005	0,05	
	Quelle 3	9. 6.1974	77	0,5	0,8	0,6	3	1,0	225	< 0,01	4	< 0,005	< 0,05
		14. 7.1974	77	1,6	0,6	0,7	3	7,6	223	< 0,01	3	< 0,005	< 0,05
		18. 8.1974	76	1,1	0,8	0,9	5	1,9	223	0,04	6	< 0,005	< 0,05
		15. 9.1974	78	0,0	0,8	0,5	4	8,6	220	< 0,01	3	< 0,005	< 0,05
		17.11.1974	74	2,0	0,5	0,6	3	6,7	224	0,05	4	0,005	< 0,05
		12. 1.1975	76	1,0	0,5	0,7	4	7,7	220	< 0,01	7	< 0,005	< 0,05
		13. 4.1975	78	2,1	1,0	0,6	4	8,6	234	< 0,01	5	< 0,005	< 0,05
15. 6.1975		72	6,0	1,0	0,4	4	8,0	229	< 0,01	6	< 0,005	0,05	
Quelle 4		9. 6.1974	77	1,8	0,8	0,6	3	2,9	226	< 0,01	4	< 0,005	< 0,05
		14. 7.1974	76	4,6	0,6	0,5	3	7,6	235	< 0,01	3	< 0,005	< 0,05
		18. 8.1974	76	1,10	0,7	0,6	4	1,0	226	< 0,01	8	< 0,005	< 0,05
		15. 9.1974	78	0,8	0,7	0,5	4	6,7	229	< 0,01	4	< 0,005	< 0,05
		17.11.1974	76	2,3	0,5	0,5	4	7,7	226	< 0,01	5	0,005	0,05
		12. 1.1975	79	0,4	1,0	0,5	4	7,7	227	< 0,01	6	< 0,005	< 0,05
		13. 4.1975	79	1,7	1,0	0,6	4	8,6	234	< 0,01	8	< 0,005	< 0,05
	15. 6.1975	74	3,3	0,9	0,4	4	7,7	229	< 0,01	6	< 0,005	< 0,05	
	Raab	9. 6.1974	54	6,4	2,6	2,0	7	17,0	131	0,18	7	0,030	< 0,05
		14. 7.1974	55	10,0	2,3	1,9	5	9,5	168	0,19	3	0,060	< 0,05
		18. 8.1974	62	11,0	2,4	2,2	7	12,0	211	0,13	10	0,040	< 0,05
		15. 9.1974	64	8,4	2,4	1,8	6	14,0	159	0,56	4	0,030	< 0,05
		17.11.1974	61	8,7	1,9	1,7	4	3,0	221	0,03	6	0,010	< 0,05
		12. 1.1975	58	12,0	2,4	1,7	7	13,0	219	0,14	7	< 0,005	< 0,05
		13. 4.1975	62	5,8	2,2	1,4	6	17,0	177	0,25	6	< 0,005	< 0,05
15. 6.1975		58	11,0	2,5	1,3	6	17,0	134	0,45	6	< 0,005	< 0,05	

Tab. 6

Proben- bezeich- nung	Datum	Mn mg/l	Ba µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l
Quelle 2	9. 6.1974	< 0,05	13	0,07	< 0,5	2,5	< 3,0	2,05	< 20
	14. 7.1974	< 0,05	17,0	< 0,01	< 0,5	4,5	< 3,0	2,25	< 20
	18. 8.1974	< 0,05	7,5	0,03	< 0,5	3,0	< 3,0	3,75	< 20
	15. 9.1974	< 0,05	9,0	0,08	< 0,5	0,6	< 3,0	1,40	< 20
	17.11.1974	< 0,05	9,0	0,02	< 0,5	1,6	< 3,0	< 2,00	< 20
Quelle 3	12. 1.1975	< 0,05	7,5	0,05	< 0,5	2,2	< 3,0	0,50	< 20
	13. 4.1975	< 0,05	10,5	0,48	< 0,5	4,4	< 3,0	5,50	< 20
	15. 6.1975	< 0,05	12,0	0,04	< 0,5	2,4	< 3,0	2,10	< 20
	9. 6.1974	< 0,05	7,5	0,05	< 0,5	2,5	< 3,0	3,00	< 20
	14. 7.1974	< 0,05	15,0	0,02	< 0,5	2,0	< 3,0	2,80	< 20
Quelle 4	18. 8.1974	< 0,05	9,5	0,02	< 0,5	3,0	< 3,0	1,85	< 20
	15. 9.1974	< 0,05	19,0	0,06	< 0,5	0,6	< 3,0	1,65	< 20
	17.11.1974	< 0,05	9,0	0,02	< 0,5	0,8	< 3,0	2,00	< 20
	12. 1.1975	< 0,05	7,5	0,06	< 0,5	1,5	< 3,0	0,50	< 20
	13. 4.1975	< 0,05	14,0	0,52	< 0,5	4,0	< 3,0	12,50	< 20
Raab 6	15. 6.1975	< 0,05	12,5	0,04	< 0,5	2,1	< 3,0	1,95	< 20
	9. 6.1974	< 0,05	7,5	0,05	< 0,5	2,0	< 3,0	4,15	< 20
	14. 7.1974	< 0,05	15,0	0,02	< 0,5	6,0	< 3,0	2,80	< 20
	18. 8.1974	< 0,05	9,5	0,02	< 0,5	2,0	< 3,0	2,05	< 20
	15. 9.1974	< 0,05	19,0	0,06	< 0,5	0,6	< 3,0	1,55	< 20
Raab 6	17.11.1974	< 0,05	9,0	0,02	< 0,5	0,8	< 3,0	2,00	< 20
	12. 1.1975	< 0,05	7,5	0,06	< 0,5	1,1	< 3,0	0,80	< 20
	13. 4.1975	< 0,05	14,0	0,52	< 0,5	8,8	< 3,0	7,50	< 20
	15. 6.1975	< 0,05	12,5	0,04	< 0,5	2,3	< 3,0	2,35	< 20
	9. 6.1974	< 0,05	9,5	0,06	< 0,5	5,0	< 3,0	4,75	< 20
Raab 6	14. 7.1974	< 0,05	19,5	0,05	< 0,5	3,0	< 3,0	2,05	< 20
	18. 8.1974	< 0,05	9,5	0,06	< 0,5	3,5	< 3,0	5,20	< 20
	15. 9.1974	< 0,05	9,0	0,02	< 0,5	1,4	< 3,0	2,95	< 20
	17.11.1974	< 0,05	9,0	0,05	< 0,5	0,9	< 3,0	2,00	< 20
	12. 1.1975	< 0,05	12,5	0,07	< 0,5	1,1	< 3,0	< 0,50	< 20
Raab 6	13. 4.1975	< 0,05	10,5	0,28	< 0,5	1,2	< 3,0	< 0,50	< 20
	15. 6.1975	< 0,05	15,0	0,05	< 0,5	2,8	< 3,0	2,80	< 20

Tab. 7

Proben- bezeich- nung	Datum	T °C	Q(l/s)	pH	µS/cm	GH. °dH	KH. °dH	KMnO ₄ mg/l	O ₂ mg/l	Kolonie- zahl in 1 ml	coliforme Keime in 100 ml	
Quelle 7	9. 6.1974	8,5	5,8	7,8	314	10,9	9,8	4,4	8,8	4	0	
	14. 7.1974	8,7	5,0	7,7	337	10,9	9,5	4,0	7,5	8	0	
	18. 8.1974	8,9	10,0	7,7	246	11,2	10,1	3,2	9,3	15	8	
	15. 9.1974	9,15	10,0	7,8	315	11,5	10,4	5,8		100	0	
	17.11.1974	8,35	6,0	7,7	336	10,9	10,1	12,0		0	0	
	12. 1.1975	7,9	5,0	7,8	335	11,2	10,3	9,6		3	0	
	13. 4.1975	8,0	9,0	8,3	329	11,2	9,9	10,4	0	0	0	
	15. 6.1975	8,6	9,0	7,7	331	11,8	10,4	2,2	9,8	30	0	
	Weiz- bach 8	9. 6.1974	13,6	14	8,6	282	9,5	8,4	13,0		1000	400
		14. 7.1974	19,5	15	8,4	306	9,8	8,0	11,0	7,7	2800	109
		18. 8.1974	19,0	16	8,1	302	10,4	9,1	7,6	8,8	520	15
		15. 9.1974	14,3	17	9,0	291	10,4	8,5	8,5		732	384
		17.11.1974	7,5	15	8,5	303	9,5	9,0	14,0		520	180
		12. 1.1975	1,0	16	8,0	307	10,1	9,1	9,8		285	270
		13. 4.1975	17,7	25	8,4	269	9,8	7,7	6,6	8,6	580	125
Quelle 9		9. 6.1974	8,6	8,0	7,7	304	10,1	8,7	10,0	4,2	28	0
		14. 7.1974	9,9	4,0	7,6	326	10,4	9,2	9,6	3,5	25	0
		18. 8.1974	10,8	8,0	7,6	325	10,6	9,2	2,5	4,3	20	3
		15. 9.1974	10,9	13,0	8,0	296	10,6	9,4	2,5		1	1
		17.11.1974	8,9	10,0	7,6	331	10,6	9,9	13,0		35	0
		12. 1.1975	8,6	8,0	7,5	324	10,4	9,0	5,1		3	0
		13. 4.1975	8,75	12,0	8,3	332	10,3	8,5	2,2	7,9	14	0
		15. 6.1975	9,25	8,0	7,6	316	10,6	9,2	4,4	7,6	223	2
	Quelle 10	9. 6.1974	9,8	115	7,7	294	9,8	8,3	9,0	8,8	1	0
		14. 7.1974	10,0	110	7,6	312	10,4	9,0	7,7	7,8	0	0
		18. 8.1974	9,8	130	7,6	309	10,4	9,1	3,2	9,1	75	25
		15. 9.1974	9,9	150	7,9	300	10,6	9,5	4,9		76	23
		17.11.1974	9,9	125	7,6	315	11,2	9,8	11,0		1	1
		12. 1.1975	9,55	118	7,7	314	10,4	9,0	9,5		5	1
		13. 4.1975	9,4	480	8,2	319	10,9	9,0	2,2	10,3	0	0
15. 6.1975		9,7	260	7,6	302	10,6	9,2	3,2	10,0	39	1	

Tab. 8

Proben- bezeich- nung	Datum	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻³ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l
Quelle 7	9. 6.1974	66	7,1	1,5	1,4	5	16	214	< 0,01	6	< 0,005	< 0,05
	14. 7.1974	65	7,8	1,4	1,3	5	15	207	< 0,01	5	< 0,005	< 0,05
	18. 8.1974	68	9,1	1,6	1,5	5	13	220	< 0,01	8	< 0,005	< 0,05
	15. 9.1974	69	8,0	1,6	1,4	6	13	226	< 0,01	7	< 0,005	< 0,05
	17.11.1974	68	5,8	1,3	1,4	5	9	221	< 0,01	7	< 0,005	< 0,05
	12. 1.1975	66	8,1	1,7	1,4	6	13	225	< 0,01	8	< 0,005	< 0,05
	13. 4.1975	70	5,7	1,6	1,3	5	17	204	< 0,01	10	< 0,005	< 0,05
	15. 6.1975	63	12,6	1,8	1,1	6	15	225	< 0,01	12	< 0,005	< 0,05
	9. 6.1974	55	7,8	2,4	1,6	5	21	150	0,13	6	0,01	< 0,05
	14. 7.1974	56	8,4	2,2	1,5	6	12	156	0,08	5	< 0,005	< 0,05
	18. 8.1974	58	8,4	2,3	1,8	6	9,6	198	< 0,01	6	< 0,005	< 0,05
	15. 9.1974	59	9,0	2,2	2,2	7	14	180	< 0,01	6	< 0,005	< 0,05
	17.11.1974	57	6,3	2,1	2,1	6	2	184	0,06	5	< 0,005	< 0,05
	12. 1.1975	57	9,2	2,4	2,4	7	17	198	< 0,01	4	< 0,005	< 0,05
	13. 4.1975	58	6,9	3,6	3,6	6	17	170	0,16	8	< 0,005	< 0,05
15. 6.1975	50	8,8	2,4	2,4	6	12	131	0,23	6	0,01	< 0,05	
Quelle 9	9. 6.1974	58	8,2	2,6	1,6	7	19	186	0,05	6	< 0,005	< 0,05
	14. 7.1974	58	10,0	2,6	1,8	8	13	201	0,05	5	< 0,005	< 0,05
	18. 8.1974	56	10,9	2,9	1,8	8	9,6	201	< 0,01	8	< 0,005	< 0,05
	15. 9.1974	66	5,5	2,4	2,2	8	12	204	< 0,01	6	< 0,005	< 0,05
	17.11.1974	61	8,7	2,2	1,7	7	2,0	215	< 0,01	8	< 0,005	< 0,05
	12. 1.1975	62	7,0	2,2	1,6	8	13	197	< 0,01	8	< 0,005	< 0,05
	13. 4.1975	58	9,1	2,5	1,4	8	15	180	< 0,01	10	< 0,005	< 0,05
	15. 6.1975	55	12,3	2,7	1,1	8	12	201	< 0,01	10	< 0,005	< 0,05
	9. 6.1974	63	4,0	1,0	1,0	0,8	19	183	< 0,01	4	0,008	< 0,05
	14. 7.1974	65	5,6	1,0	1,0	0,8	13	195	< 0,01	5	< 0,005	< 0,05
	18. 8.1974	64	5,9	1,0	1,0	0,8	13	198	< 0,01	6	< 0,005	< 0,05
	15. 9.1974	68	4,6	1,0	0,7	0,7	10	207	< 0,01	6	< 0,005	< 0,05
	17.11.1974	64	9,6	1,3	1,3	0,7	15	214	< 0,01	6	< 0,005	< 0,05
	12. 1.1975	64	6,1	1,3	1,3	0,8	14	195	< 0,01	6	< 0,005	< 0,05
	13. 4.1975	70	4,9	0,9	0,9	0,8	19	195	< 0,01	8	< 0,005	< 0,05
15. 6.1975	62	7,9	1,2	1,2	0,6	15	201	< 0,01	8	< 0,005	< 0,10	

Tab. 9

Proben- bezeich-	Datum	Mn mg/l	Ba µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l
Quelle 7	9. 6.1974	< 0,05	26,0	0,02	< 0,5	3,0	< 3,0	0,80	< 20
	14. 7.1974	< 0,05	11,5	0,02	< 0,5	9,0	< 3,0	4,15	< 20
	18. 8.1974	< 0,05	59,0	0,02	< 0,5	3,5	< 3,0	1,85	< 20
	15. 9.1974	< 0,05	62,0	0,05	< 0,5	0,6	< 3,0	2,75	< 20
	17.11.1974	< 0,05	9,0	0,04	< 0,5	2,0	< 3,0	2,00	< 20
Weiz- bach 8	12. 1.1975	< 0,05	30,0	0,04	< 0,5	2,2	< 3,0	0,80	< 20
	13. 4.1975	< 0,05	25,0	0,12	< 0,5	4,8	< 3,0	0,50	< 20
	15. 6.1975	< 0,05	32,5	0,03	< 0,5	2,8	< 3,0	2,45	< 20
	9. 6.1974	< 0,05	11,5	0,02	< 0,5	2,2	< 3,0	1,85	< 20
	4. 7.1974	< 0,05	52,0	< 0,01	< 0,5	2,0	< 3,0	4,75	< 20
Quelle 9	18. 8.1974	< 0,05	19,5	0,01	< 0,5	3,0	< 3,0	1,85	< 20
	15. 9.1974	< 0,05	45,0	0,21	< 0,5	1,0	< 3,0	1,10	< 20
	17.11.1974	< 0,05	9,0	0,02	< 0,5	1,3	< 3,0	2,00	< 20
	12. 1.1975	< 0,05	20,0	0,05	< 0,5	1,1	< 3,0	0,80	< 20
	13. 4.1975	< 0,05	20,0	0,30	< 0,5	10,0	< 3,0	0,50	< 20
Quelle 9	15. 6.1975	< 0,05	34,0	0,02	< 0,5	1,9	< 3,0	2,15	< 20
	9. 6.1974	< 0,05	69,0	0,04	< 0,5	3,8	< 3,0	2,80	< 20
	14. 7.1974	< 0,05	7,5	0,01	< 0,5	2,0	< 3,0	2,80	< 20
	18. 8.1974	< 0,05	15,0	0,12	< 0,5	4,5	< 3,0	3,00	< 20
	15. 9.1974	< 0,05	87,0	0,11	< 0,5	1,4	< 3,0	1,40	< 20
Quelle 10	17.11.1974	< 0,05	50,0	0,06	< 0,5	1,1	< 3,0	2,00	< 20
	12. 1.1975	< 0,05	70,0	0,06	< 0,5	2,8	< 3,0	0,80	< 20
	13. 4.1975	< 0,05	45,0	0,16	< 0,5	4,0	< 3,0	0,70	< 20
	15. 6.1975	< 0,05	50,0	0,05	< 0,5	1,9	< 3,0	2,50	< 20
	9. 6.1974	< 0,05	11,5	0,2	< 0,5	2,0	< 3,0	3,75	< 20
Quelle 10	14. 7.1974	< 0,05	11,5	< 0,01	< 0,5	2,0	< 3,0	1,85	< 20
	18. 8.1974	< 0,05	19,5	0,01	< 0,5	4,0	< 3,0	1,85	< 20
	15. 9.1974	< 0,05	29,0	0,12	< 0,5	1,4	< 3,0	1,40	< 20
	17.11.1974	< 0,05	23,0	0,14	< 0,5	0,9	< 3,0	2,00	< 20
	12. 1.1975	< 0,05	20,0	0,06	< 0,5	1,1	< 3,0	< 0,50	< 20
Quelle 10	13. 4.1975	< 0,05	20,0	0,12	< 0,5	5,2	< 3,0	3,80	< 20
	15. 6.1975	< 0,05	20,0	0,03	< 0,5	2,4	< 3,0	1,70	< 20

Tab. 10

Proben- bezeich- nung	Datum	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻³ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l
Quelle 11	9. 6.1974	61	5,5	1,1	0,8	< 0,03						
	14. 7.1974	66	3,9	1,3	0,8	< 0,03						
	18. 8.1974	64	4,7	1,1	0,8	< 0,03						
	15. 9.1974	62	7,4	1,2	0,8	< 0,03						
	17.11.1974	61	7,8	1,5	0,7	< 0,03						
	12. 1.1975	62	7,3	1,5	0,8	< 0,03						
	13. 4.1975	62	7,1	1,5	0,8	< 0,03						
	15. 6.1975	51	14,7	1,9	0,8	< 0,03						

Proben- bezeich- nung	Datum	T °C	Q (l/s)	pH	µS/cm	GH. °dH	KH. °dH	RMnO ₄ mg/l	O ₂ mg/l	Kolonie- zahl in 1 ml	colliforme Keime in 100 ml
Quelle 11	9. 6.1974	13,1	10	7,6	294	9,8	9,0	7,7	8,4	320	8
	14. 7.1974	13,0	12	7,5	318	10,1	9,2	4,3	7,3	73	26
	18. 8.1974	12,9	12	7,6	294	10,0	8,8	2,2	8,5	52	3
	15. 9.1974	13,2	15	7,9	285	10,4	9,4	3,2		1325	100
	17.11.1974	12,8	15	7,5	309	10,4	9,1	12,0		61	16
	12. 1.1975	12,4	15	7,7	309	10,4	9,5	5,7		33	62
	15. 6.1975	13,8	15	7,6	307	10,6	9,2	6,3		298	4

Wie bereits aus der geologischen bzw. hydrogeologischen Beschreibung des Untersuchungsgebietes hervorgeht, überwiegt im Bereich des seichten und tiefen Karstes des Weizer Berglandes der reine, hochverkarstete Schöcklkalk. Die dunklen Kalkschiefer, Striatoporenkalke und Dolomite sind in der Minderheit. Ihre größte Ausdehnung erfahren sie am nördlichen und nordöstlichen Rand der Schöcklkalkmulde. Gegenüber den Schöcklkalken besitzen die Kalkschiefer nicht nur eine wesentlich geringere Durchlässigkeit (Verkarstung), ihre unterirdische Entwässerung ist auch weitaus selektiver. Davon zeugen kleinere Quellaustritte in höheren Lagen.

Da also die Schöcklkalkmulde im großen und ganzen eine großräumige karsthydrologische Einheit bildet deren Entwässerungsschwerpunkte an den südlichen Rändern liegen, würde man erwarten, daß die Quellen hier eher stärker mineralisiert wären, als jene am Nordrand, d.h., in den Durchbrüchen bzw. Hochlagen, und eine konstante Temperatur wie Wasserführung aufweisen würden.

Den Vollanalysen entsprechend sind die Quellwässer als niedermineralisierte hydrogenkarbonatische Erdalkaliwässer anzusprechen, vom Typ Calcium-Hydrogenkarbonat-Wasser. Die Lage der Durchschnittswerte im Piper Diagramm (Abb.4) veranschaulicht dies.

In der zu Beginn durchgeführten Produkt-Moment-Korrelation wurden alle physikalisch-chemischen Daten, die während der einjährigen Beobachtungszeit gemessen worden waren, eingegeben. Es erfolgte somit eine Korrelation zwischen den Jahresgängen aller Quellen und Oberflächenwässern.

Die daraus gewonnene Übersicht (Abb. 5) teilt mit, welche Parameter im Jahresgang aller Beobachtungsstellen mehr oder weniger parallel sich verändern: daraus ergibt sich der Hinweis über regional gleichlaufende Abläufe, über Gemeinsamkeiten, und somit über Verbindungen. Unter den direkt und verkehrt proportional in Abhängigkeit stehenden Parameter sind natürlich bekannte und nicht weiter zu verfolgende Tatsachen ebenso enthalten, wie interessante Hinweise, die in Einzelkorrelationen weiter verfolgt wurden. So fanden sich neben HCO_3^-/KH , HCO_3^-/Ca , Ca/KH , Cl/GH in positiv linearer und $p(\text{CO}_2)/\text{pH}$ in negativ linearer Abhängigkeit, auch Na/Cu , NO_3^-/Cu , Na/Q_0 , Na/NO_3^- , Cu/Q_0 , und NO_3^-/Q_0 mit hohen Korrelationskoeffizienten.

Bei Betrachtung der Erdalkali-Meßreihen fällt auf, daß der Magnesiumanteil bei einigen Quellen kurzzeitig über 20 % ansteigt; so bei Nr.7,9,10 u.11. Zurückzuführen könnte dies entweder auf die erhöhte Zumischung von älteren Wässern aus dem tiefen Karst, oder aber bereits der Hinweis für anthropogene Einflüsse sein. Mit Ausnahme bei den Patschawässern Nr.7, wo die Mg-Zunahme sich mit erhöhter Wasserführung einstellt, konnte bei den übrigen Quellwässern keine Abhängigkeit von der Wasserführung oder Jahreszeit nachgewiesen werden. Beim Patschawasser wird eine anthropogene Verunreinigung angenommen, und zwar deshalb, weil mit dem Anstieg des Mg auch der Gehalt an NO_3^- , Cl sowie Na und K zunahm. Bei der Boar Q. am 15.6.75 hingegen dürften Tiefenwässer den Magnesiumanstieg bewirkt haben, da zu dieser Zeit zwar der Na-Gehalt mitsteigt, nicht aber der K-, Cl -, SO_4 -, und NO_3^- -Gehalt. Ähnliches gilt für die Wässer der Baumühlqu.Nr.10 (17.11.74). Beim Tiefenkarstaustritt Fladerer Q. (Nr.11) allerdings erfolgte der Mg-Anstieg am 17.11.74 u.15.6.75 gleichzeitig und nur mit der Zunahme des Sulfatgehaltes. Ob

Abb. 4

Klassifikation nach dem Äquivalentprozentatz (mval%)

Pr. Nr. 2	Ca	HCO3
Pr. Nr. 3	Ca	HCO3
Pr. Nr. 4	Ca	HCO3
Pr. Nr. 6	Ca	HCO3
Pr. Nr. 7	Ca	HCO3
Pr. Nr. 8	Ca	HCO3
Pr. Nr. 9	Ca	HCO3
Pr. Nr. 10	Ca	HCO3
Pr. Nr. 11	Ca	HCO3

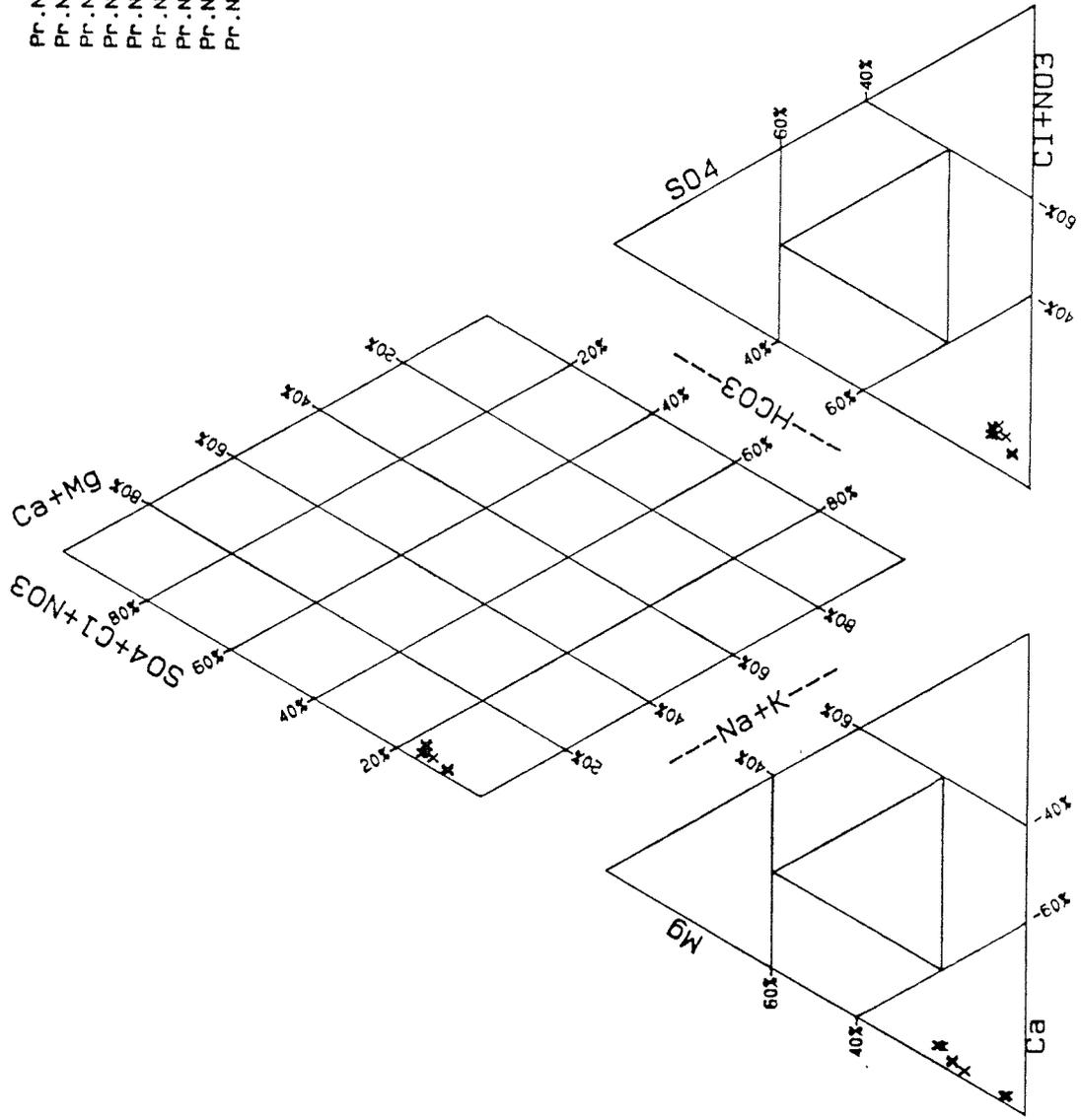
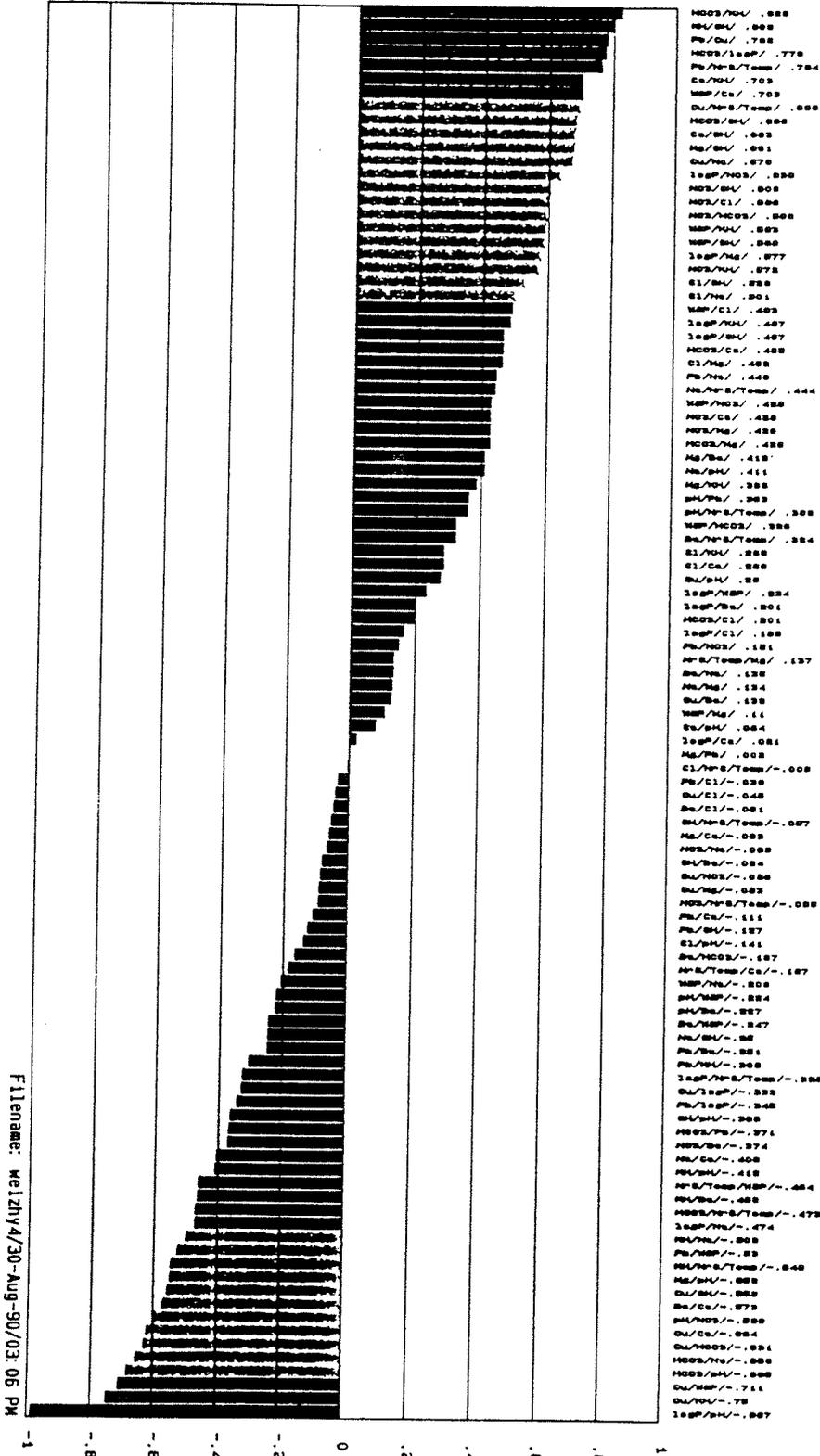


Abb. 5

GEORDNETE KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN

KORRELATIONSKOEFFIZIENT



HYDROGEOLOGIE UND ANGEWANDTE GEOPHYSIK

Filename: weizny4/30-Aug-90/03:06 PM

dies als Anzeichen zu werten ist, daß zu diesem Zeitpunkt hier auch Wasser aus dem Rauhwackenareal des Rabenwaldes abfließen, bleibt unbewiesen.

Bei den Oberflächenwässern Raab (Nr.6) und Weizbach (Nr.8) schwankt der Wassertyp, wohl je nach anthropogener Belastung und folgendem Ionenaustausch, zwischen Ca-HCO₃-Typ und Ca-Mg-HCO₃-Typ.

Die zur Klärung der hydrochemischen Charakteristik zunächst verwendeten Parameter Gesamthärte (GH) und Ca/Mg - Verhältnis bzw. (Abb.6) elektr. Leitfähigkeit und Ca/Mg - Verhältnis lassen eindeutig zwei Gruppen erkennen: Eine Gruppe mit einem sehr hohen Ca-Anteil an der Gesamthärte und eine mit einem deutlich geringeren Ca/Mg-Verhältnis, d.h. mit einem höheren Mg-Anteil. Sind in ersterer ausschließlich die reinen Kalkwässer aus dem seichten Karst des Goller Sattels (Finzen Q.) und des Sattelberges (Gösser Q., Gänsebrunnen) vertreten, so befinden sich in der zweiten Gruppe neben den Karstquellen des überdeckten Karstes im Süden (Boar-Q., Baumühl Q.), auch der Tiefenkarstaustritt Fladerer Q., die im Norden dem seichten Karst entspringenden Patschawasser und auch die beiden Oberflächenwässer Raab und Weizbach.

Diese beiden Gruppen unterscheiden sich zwar eindeutig hinsichtlich ihres Ca/Mg-Verhältnisses, ihre GH-Werte jedoch differieren nur geringfügig (bei den Quellen zwischen 9,8 u.11,5 °dH). Die Gesamthärten der Oberflächenwässer liegen während der Beobachtungszeit z.T. nur wenig darunter.

Die Schwankungen in der GH sind generell sehr klein und betragen bei der Boar Q. im Minimum 0,3 , bei der Baumühl Q. maximal 1,3°dH (2,2°dH bei der Raab).

Die relativ niedrigen Gesamthärten (Einstufung unter "mittelhart") und die geringe Mineralisation unterstreicht Schlüsse, die auch durch die übrigen physikalisch-isotopenhydrometrischen Untersuchungsergebnisse gezogen wurden: Die Niederschlagswässer dringen rasch in die Tiefe, durchströmen geschwind die Karstsysteme und erreichen nach kurzer Zeit die Quellen.

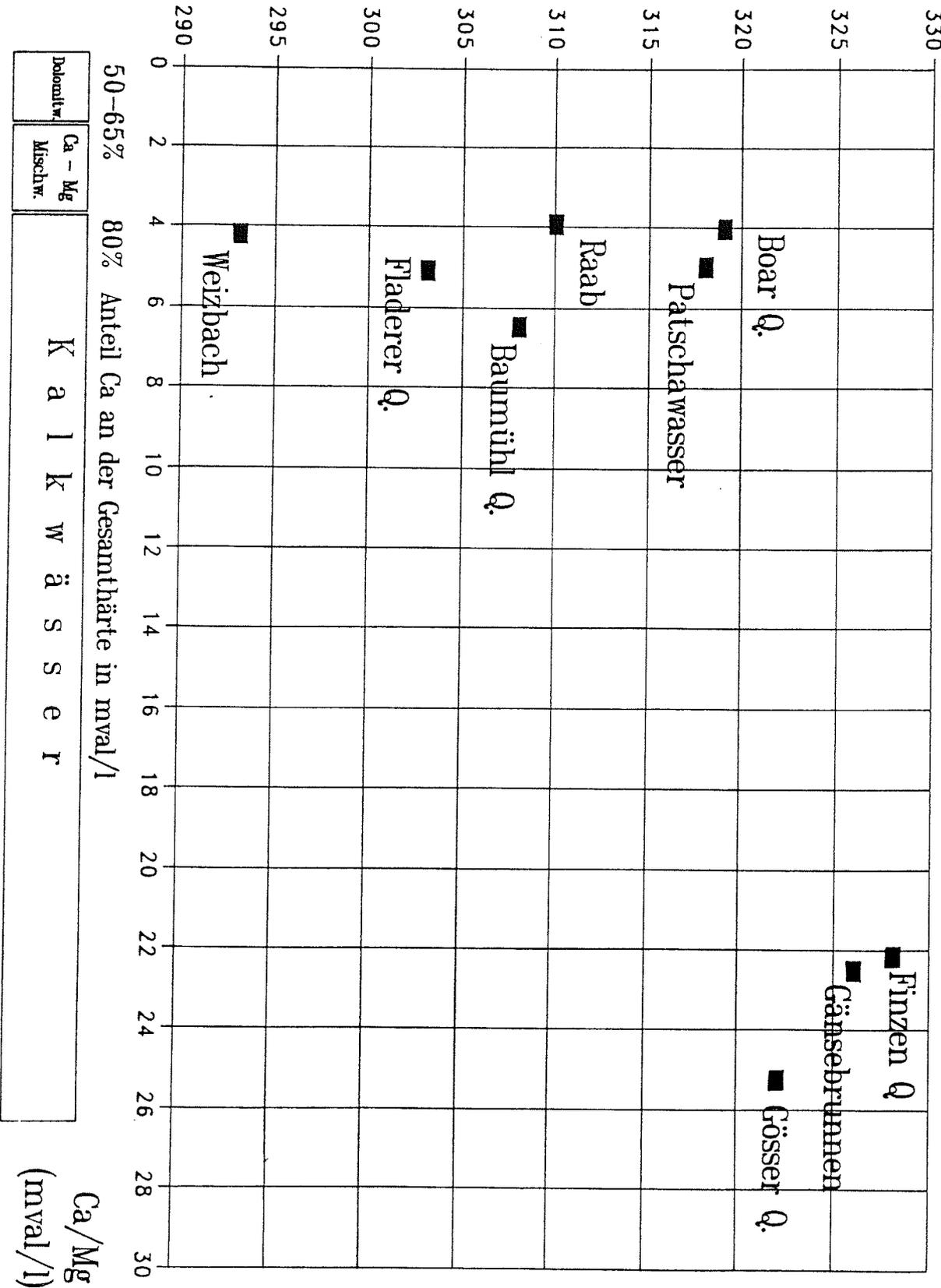
Andererseits ergibt sich durch die geringen Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der Wasser das Problem, Verbindungen zwischen den verschiedenen Wässern herauszuarbeiten.

Die Wassertemperatur-Verhältnisse der untersuchten Quellen

Aus den Tabellen 4 bis 10, in denen die Temp.-Meßergebnisse aufgelistet sind, geht hervor, daß die einzelnen Quellen darin beachtlich divergieren. Sowohl die Absolutwerte, als auch der Jahresgang variiert je nach den karsthydrologischen Bedingungen. So ist bei einigen Quellen eine unmittelbare Temperaturreaktion (saisonale) im Jahresgang ersichtlich (bei Nr.2,7,9), bei anderen hingegen ein verzögerter Temperaturgang (Nr.3,4) zu beobachten. Weiters sind einerseits geringe Temperaturschwankungen über das Jahr bei den reinen Kalkwässern (Nr.3 u.4: 0,2 u.0,15°C) - eigentlich typisch für Karstaustritte - andererseits Temperaturschwankungen von 1,4 bis 2,3 °C (Nr.11 u.9) bei den Quellen, die aus dem überdeckten u. tiefen Karstwasserkörper alimentiert werden.

Die höheren Temp.-Schwankungen sind durchwegs bei jenen Wässern anzu-
treffen, die dem Typ nach den Mischwässern nahe kommen (Abb.6).

Abb. 6 elektr. Leitf. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)



50-65% Anteil Ca an der Gesamthärte in mval/l

Deionaltw.
Ca - Mg
Mischw.

80% Anteil Ca an der Gesamthärte in mval/l

Ca/Mg
(mval/l)

K a l k w ä s s e r

Für die Patschawasser ist dies verständlich, hat doch ein Markierungsversuch die Verbindung mit dem Talgrabengerinne nachgewiesen. Für die Tiefenkarstquelle Nr.11 ist das ein Indiz, daß hier eine Mischung von Tiefenkarstwässern, mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen, $>13^{\circ}\text{C}$, und Wässern aus dem überdeckten Karst (=Baumühl Q., av: $9,8^{\circ}\text{C}$) austritt (was ebenfalls durch den kombinierten Markierungsversuch nachgewiesen wurde).

Der Temperaturunterschied zwischen den Wässern aus dem seichten bzw. verdeckten Karst und dem Tiefenkarst beträgt ca. 3,7 bis 4°C . Eine beachtliche Differenz wenn man bedenkt, daß die Wässer annähernd aus demselben Einzugsgebiet (Lage und Höhe) stammen und ähnliche Infiltrationszeiten (ganzjährig) haben.

Aus dieser Temp.-Differenz und unter Zuhilfenahme des Normalwertes der geothermischen Tiefenstufe von $1^{\circ}\text{C}/33\text{m}$ ist man versucht die Tiefenreichweite des Tiefenkarstes und damit der Schöcklkalkmulde zumindest abzuschätzen: Danach ergäbe sich ein Tiefgang des Tiefenkarstes von mindestens 130 Metern unter Vorfluterniveau.

Die Temperaturwerte an sich, bzw. ihre Schwankungsbreiten, können auch dahingehend interpretiert werden, daß sie wichtige Hinweise über die Höhe des Einzugsgebietes der Wässer und über die Exponiertheit des Einzugsgebietes vermitteln. So liegt der Tiefstwert der Wassertemperatur von Nr.2 und Nr.7 (hier auch der Mittelwert, vergl. Abb.7) deutlich unter dem der Quellen Nr.3 u.4, obgleich sie sich in vergleichbarer Position befinden (Klammereich, Vorflutniveau). Interpretiert wird dies so, daß das E-Gebiet der Quellen Nr.2 u.7 nicht nur höher als das der Gösser Q. u. Gänsebrunnen (Nr.3 u.4) liegt, sondern daß auch bei ersteren ein bedeutenderer Anteil des Abflusses aus nordexponierten Lagen stammt, als bei den Quellen 3 u.4 (für Nr.2: nordwestl. Goller Sattel, Burgstaller Höhe; für Nr.7: nordexpon. Hänge des Patscha Berges bis zur Zetz und Beeinflussung durch Oberflächenwasser - beides nachgewiesen durch den komb. Markierungsversuch).

Die zeitweise auftretenden höheren Temperaturwerte in der Boar Q. (Nr.9) dürften eher die Folge der Zumischung von seichtliegenden Grundwässern sein, als von Tiefenwässern. Dafür spricht der direkte Temperaturgang mit der Jahreszeit, aber auch die Lage der Mittelwerte in der Beziehung Wassertemperatur zu Sauerstoff-18 (Abb. 8) bzw. in der Beziehung Tritium zu Sauerstoff-18 ("Verweilzeit gegen Einzugsgebietshöhe", (Abb.18)).

Die Korrelation zwischen dem durchschnittlichen Temp.-Wert und dem Hydrogenkarbonat-Gehalt der Quellwässer sollte eine direkte Abhängigkeit zeigen. In Wirklichkeit ist ein Anstieg des HCO_3 -Gehaltes mit der Temperatur lediglich bei den Wässern des seichten Karstes zu beobachten, nicht bei den Wässern des überdeckten Karstes (Nr.9 u.10) und des Tiefenkarstes Nr.11. Auch die Oberflächenwässer bilden eine eigene Gruppe. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß der HCO_3 -Gehalt der Fladerer Q. Nr.11, trotz wesentlich höherer Wassertemperatur, dem der Baumühl Q. u. Boar Q. entspricht (Abb. 7). Und das auch trotz wesentlich geringerer Schüttung und wesentlich längerer Verweilzeit ihrer Wässer im Aquifer. Es hat sich also erstaunlicherweise während des Tiefganges der Karstwässer in die Schöcklkalkmulde weder ihr HCO_3 -Gehalt, noch ihr pH-

Wert (Abb.9), noch ihr Ca/Mg-Verhältnis gegenüber den Wässern des überdeckten Karstes verändert (Abb.6).

Für die beiden ergiebigen Quellen Nr.10 u. 9 ist es verständlich, daß deren Karbonatwerte unter denen des seichten Karstes liegen. Die gut-entwickelten, weittlumigen Karstsysteme ,die derartig hohe Abflüsse

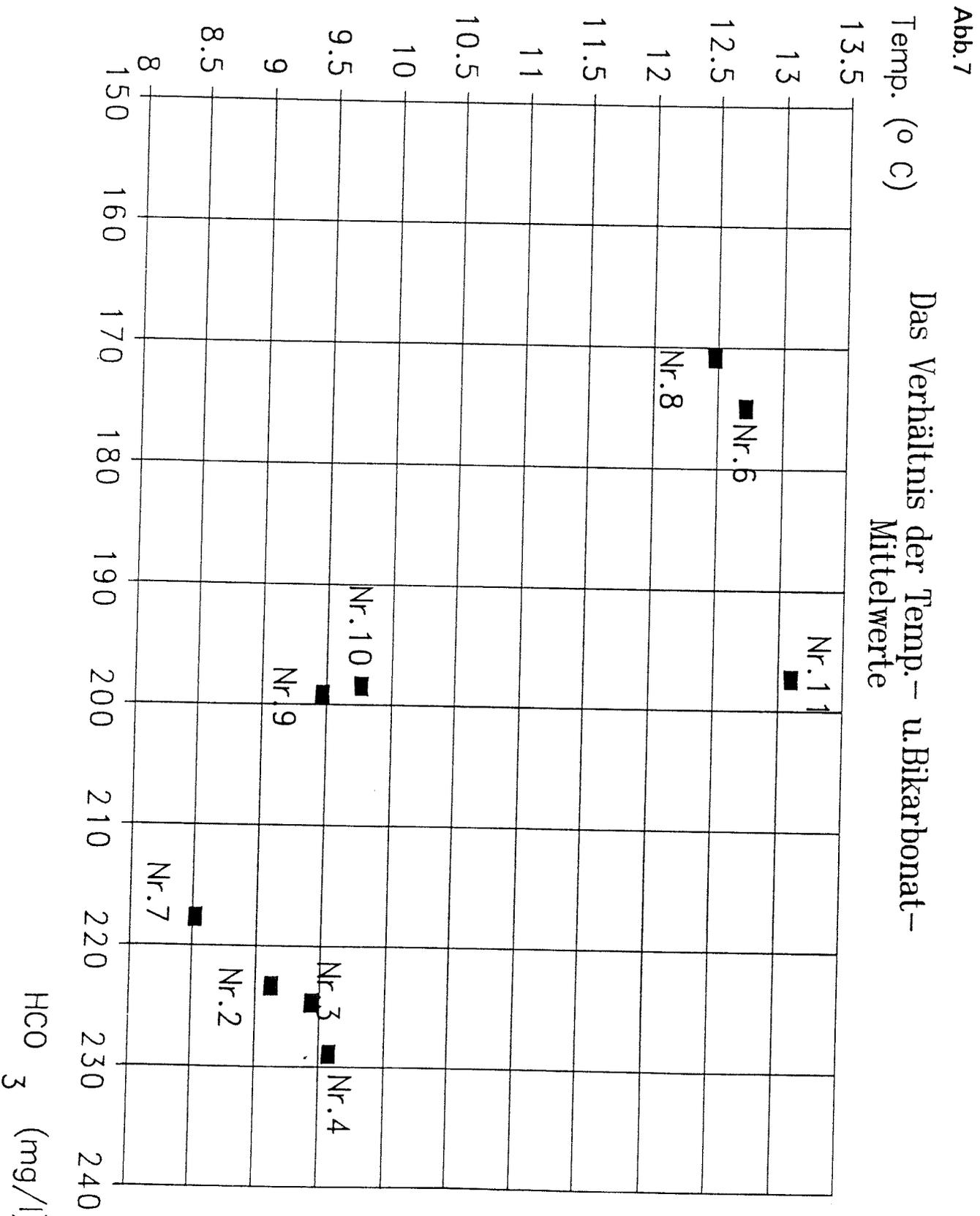


Abb. 8

Die Beziehung zwischen mittl. Wasser-
temperatur und 0-18-Gehalt

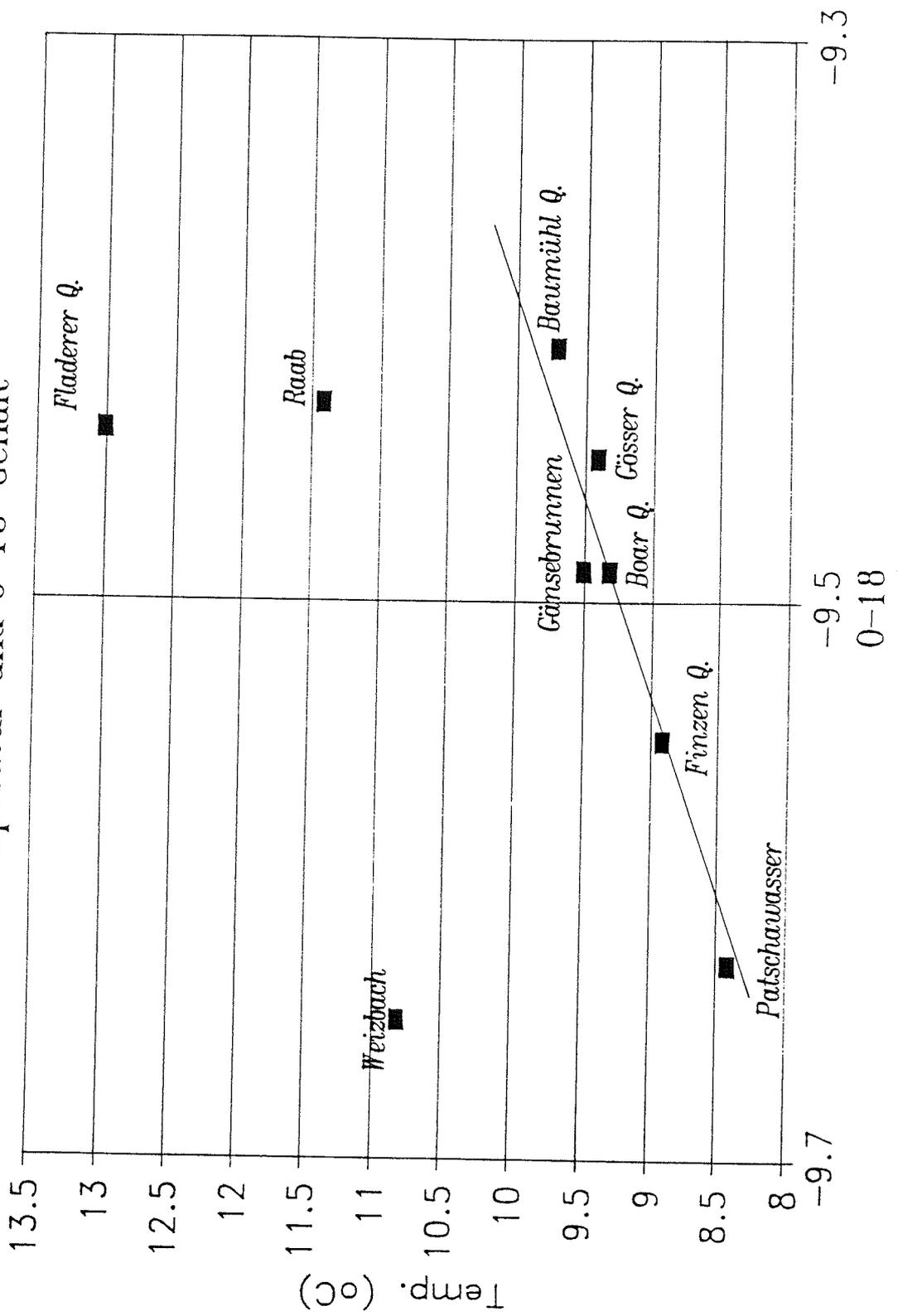
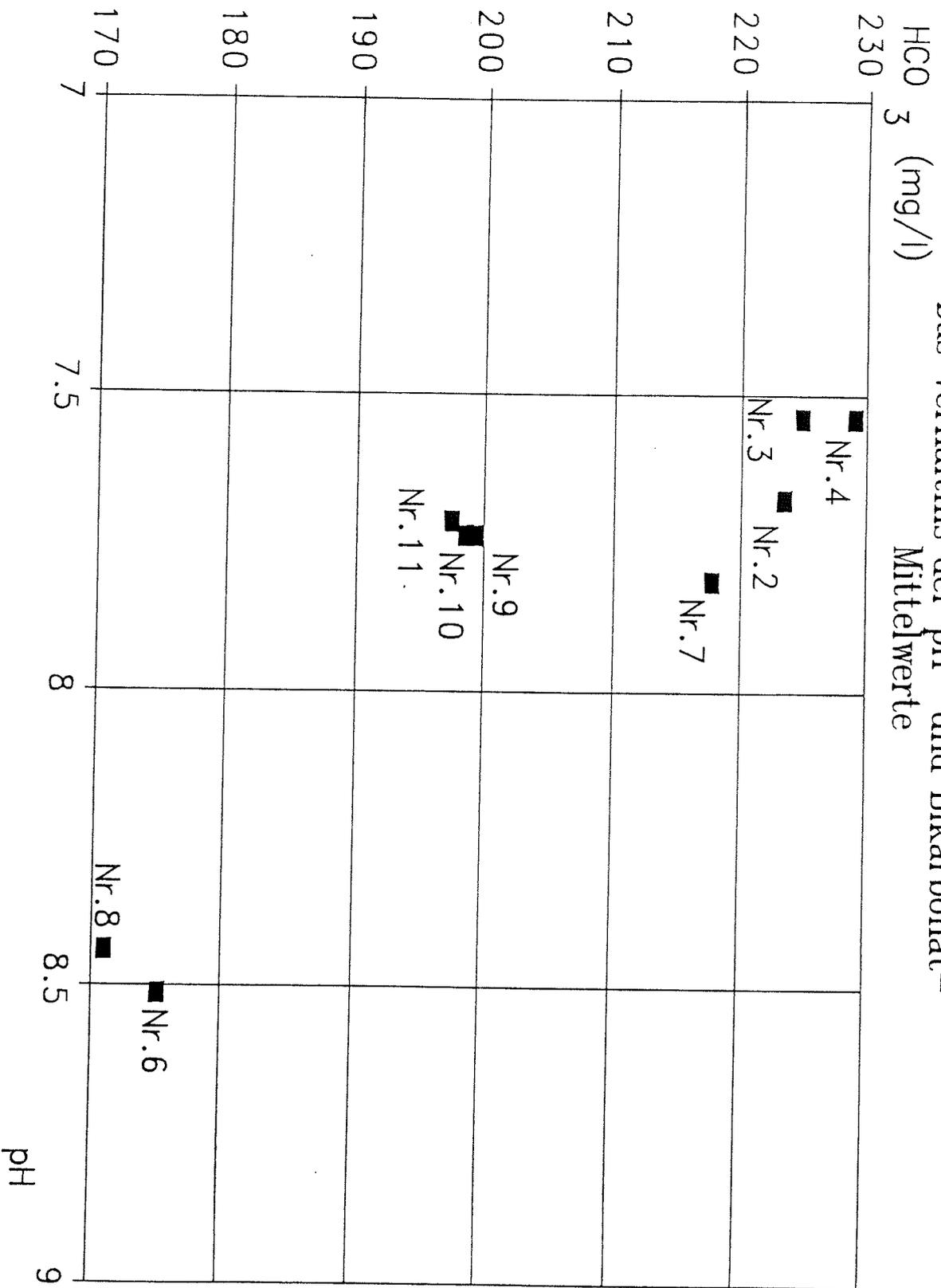


Abb. 9

Das Verhältnis der pH- und Bikarbonat-
Mittelwerte



ermöglichen (Nr.10, durchschnittl. Schütt. zw. 1986 u. 89: 162 l/s), werden rasch durchflossen, Lösungsprozesse werden vermindert. Für die Tiefenkarstwässer jedoch, die mit Sicherheit in den Tiefen der Schöcklkalkmulde sich nur langsam bewegen, gäbe es aber die Voraussetzungen für eine erhöhte Mineralisation.

(Die versuchte Relation zwischen der Größe des Quellabflusses und dem Hydrogenkarbonatgehalt brachte kein positives Ergebnis).

Eine mögliche Begründung für diese hydrochemische Situation ist wahrscheinlich im CO_2 -Angebot (Erneuerung, Aufzehrung) für die Karstwässer auf dem Weg durch das Entwässerungssystem zu suchen. Im seichten, durchlüfteten Karst (=offenes System) der nördlichen Antiklinale können intensivere Lösungsprozesse ablaufen, da das durch Lösung verbrauchte CO_2 ergänzt werden kann. Im südlich anschließenden geschlossenen System des überdeckten und tiefen Karstes (Schöcklkalkmulde) kann das verbrauchte CO_2 nicht mehr ergänzt werden, weitere Lösungsvorgänge sind unterbunden. Es ist sogar sehr wahrscheinlich, daß in den weitlumigen Karstsystemen die zur Baumühlquelle führen, es zur Ausfällung des Karbonates kommt.

Eine Möglichkeit solche Abläufe nachweisen zu können, besteht in der Untersuchung der thermodynamischen Verhältnisse, der Calcitsättigung ($\text{Si}_{\text{calcit}}$) und dem CO_2 -Partialdruck [$p(\text{CO}_2)$] der Wässer.

Diese Methode geht davon aus, daß Oberflächenwässer sich häufig mit dem $p(\text{CO}_2)$ der Luft (etwa $10^{-3,5}$ atm) in einem Gleichgewichtszustand befinden und daß die CO_2 -Partialdrucke eines Grundwassers vom CO_2 -Angebot im Infiltrationsbereich (z.B. unterschiedlich dichte Vegetation) und der Lösungsfähigkeit des durchflossenen Gesteins im Untergrund abhängen. Nach T.C. ATKINSON, liegen die $p(\text{CO}_2)$ -Werte hier etwa im Bereich zwischen $10^{-1,8}$ und $10^{-2,5}$ atm. Deutliche Abweichungen in der linearen Beziehung zwischen $\text{Si}(\text{Calcit})$ und $p(\text{CO}_2)$ treten dann auf, wenn sich die Infiltrations- bzw. Durchflußbedingungen zum und im phreatischen Bereich gravierend verändern, oder bei der Alimentation des Grundwassers durch allochthone Wässer (z.B. Oberflächenwässer).

Mit Hilfe der physikalisch-chemischen Parameter wurde der Sättigungsindex und der CO_2 -Partialdruck im Quellwasser berechnet, die in Tab.11 aufgelistet sind.

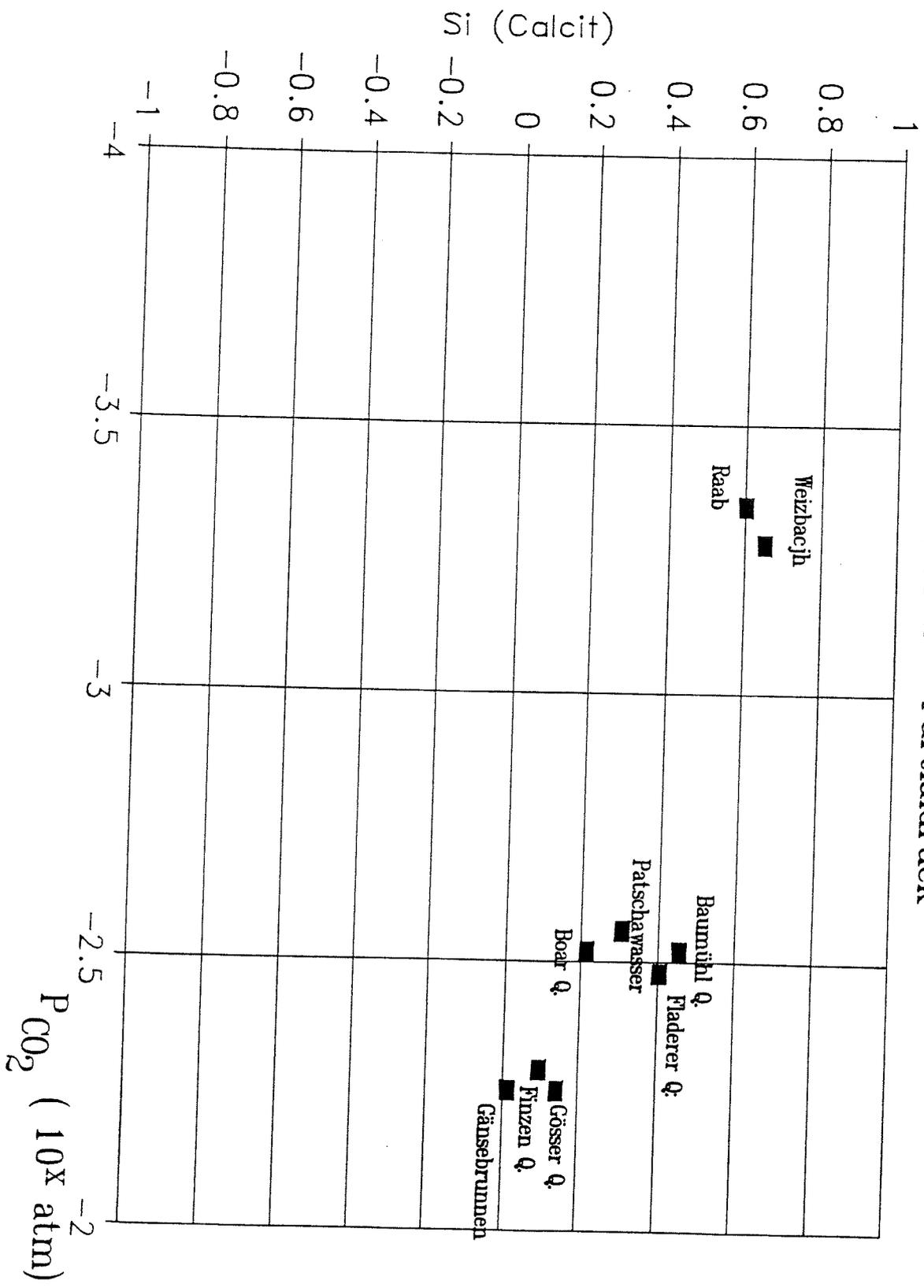
Für eine exakte Berechnung des Calcit-Sättigungsindex müßten neben der HCO_3^- -Konzentration auch die von CO_3 und dem gelösten Kohlendioxyd bekannt und eingesetzt werden. Da die beiden letzteren Größen nicht bekannt sind und somit nicht berücksichtigt werden konnten, ist zu vermuten, daß die absoluten Si-Werte zu hoch sind. Dennoch dürfte die aus der Wechselbeziehung zwischen den Mittelwerten von $\text{Si}(\text{calcit})$ und $p(\text{CO}_2)$, Abb. 10, sich ergebende Tendenz realistisch sein.

An Hand dieser Abbildung wird der Unterschied zwischen den Oberflächenwässern und den Karstwässern erneut offensichtlich; im Detail ist eine Dreiergruppe der calcitgesättigten Wässer erkennbar.

Während bei den beiden Oberflächenwässern das CO_2 sich schon fast im Gleichgewicht mit der Atmosphäre befindet und diese auch stark calcit-übersättigt sind, liegt der Partialdruck aller Karstwässer deutlich abseits der atmosphärischen Druckverhältnisse.

Abb. 10

Die Relation zw. Calcitsättigung (Si) und CO₂ - Partialdruck



Tab. 11

Probe Nr.	SiC-av	p(CO-2)av	max SiC	min SiC	max p(CO-2)	min p(CO-2)
2	0.09	-2.3	0.76	-0.43	-2.7	-2.04
3	0.14	-2.26	0.73	-0.43	-2.81	-2.12
4	0.01	-2.26	0.83	-0.82	-2.81	-2.11
6	0.6	-3.35	0.99	0.11	-4.11	-2.88
7	0.3	-2.56	0.77	0.15	-3.08	-2.43
8	0.65	-3.28	0.92	0.14	-3.83	-2.82
9	0.21	-2.52	0.65	-0.81	-3.13	-2.35
10	0.45	-2.52	0.8	0.11	-3	-2.34
11	0.4	-2.48	0.89	-0.2	-3.1	-2.25

Obgleich die Karstwässer ein ähnliches Einzugsgebiet haben, variieren die Wässer in ihrem CO_2 -Partialdruck und im Grad ihrer Calcitsättigung. Den unterschiedlichen Wegen zu den Quellen entsprechend verändern sich offensichtlich die beiden Parameter derart, daß 2 Gruppen sich herausbilden: die Wässer aus dem seichten Karst wie Gösler Q., Finzen Q., Gänsebrunnen und die Gruppe mit Baumühl Q., Fladerer Q., Patschawasser und Boar Q.

Die Lage [$p(\text{CO}_2)$: ca.-2.3] der im Calcitgleichgewicht sich befindenden seichten Karstwässer deutet auf reichliches CO_2 -Angebot hin (Vegetation, tiefreichende offene Klüfte sind vorhanden), typisch für ein offenes System. Die Höhe der Calcitsättigung der Wässer der 2. Gruppe läßt auf Nichterneuerung des CO_2 -Bedarfes und auf CO_2 -Ausgasung schließen. Ersteres ist verständlich, da wie eingangs erwähnt, die Wässer nach Eintritt in den überdeckten und tiefen Karst in ein geschlossenes System geraten sind; letzteres wird durch das weitlumige Karstsystem ermöglicht, was zur Abnahme der Ca-Konzentration (Abb.11) und der Gesamthärte (Abb.12) führt.

Im Verband der 2. Gruppe befinden sich auch die Patschawasser, bei denen bekanntlich der Abfluß zu einem guten Teil aus kurz zuvor infiltriertem Bachwasser besteht. Allein nun aus ihrer Position innerhalb der Wechselbeziehung auf eine Zumischung von Fremdwasser schließen zu wollen, wäre sicherlich gewagt.

In diesem Zusammenhang und abschließend wäre für den Abschnitt Hydrochemie zu resümieren, daß es aufgrund der doch sehr gleichmäßigen und niedrigen Mineralisation der Karstwässer nicht gelungen ist, weder durch Verhältnisbildungen mit einzelnen chemischen Elementen, noch unter Heranziehung der physikalischen Parameter, die Zumischung von Fremdwässern aus geologisch differenten Bereichen und anthropogen belastet, zu den Karstwässern der Patschaquelle eindeutig aufzudecken.

Spurenelemente in den Karstwässern des Weizer Berglandes

Obgleich bekannt ist, daß die Metallionen Blei bzw. Zink und Kupfer als Schad- bzw. biogene Stoffe durch die anthropogene Umweltbelastung in Luft, Boden und Wasser weit verbreitet sind, ist ihr Vorkommen in vielen Quellwässern des Weizer Berglandes sicherlich zum größten Teil natürlichen Ursprungs.

An den nördlichen Flanken der Schöcklkalkantiklinale, im Kontaktbereich Tonschiefer-Fazies/Kalke, finden sich in den devonischen Gesteinen oder in deren Liegendem die silberhaltigen Bleierzlagerstätten von Burgstall, Arzberg und Haufenreith. Mit diesen seit dem Mittelalter bis in die jüngste Vergangenheit abgebauten Erzen, sind auch immer wieder Siderit, Magnesit, Kupferkies, Antimon und Baryt vergesellschaftet.

Da die Tonschiefer-Fazies mit den Schöcklkalken verschuppt ist, ist es nicht verwunderlich, wenn "belastete" Wasser aus diesem Bereich den Karstwasserkörper erreichen.

Von den Spurenelementen Barium, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Zink lagen in den Quellwässern nur die Konzentrationen von Ba, Cd, Cu und Pb über der Nachweisgrenze (Tab. 4 bis 10).

Die Relation zw. SI-Calcit und Calcium
in den Wässern des Weizer Berglandes

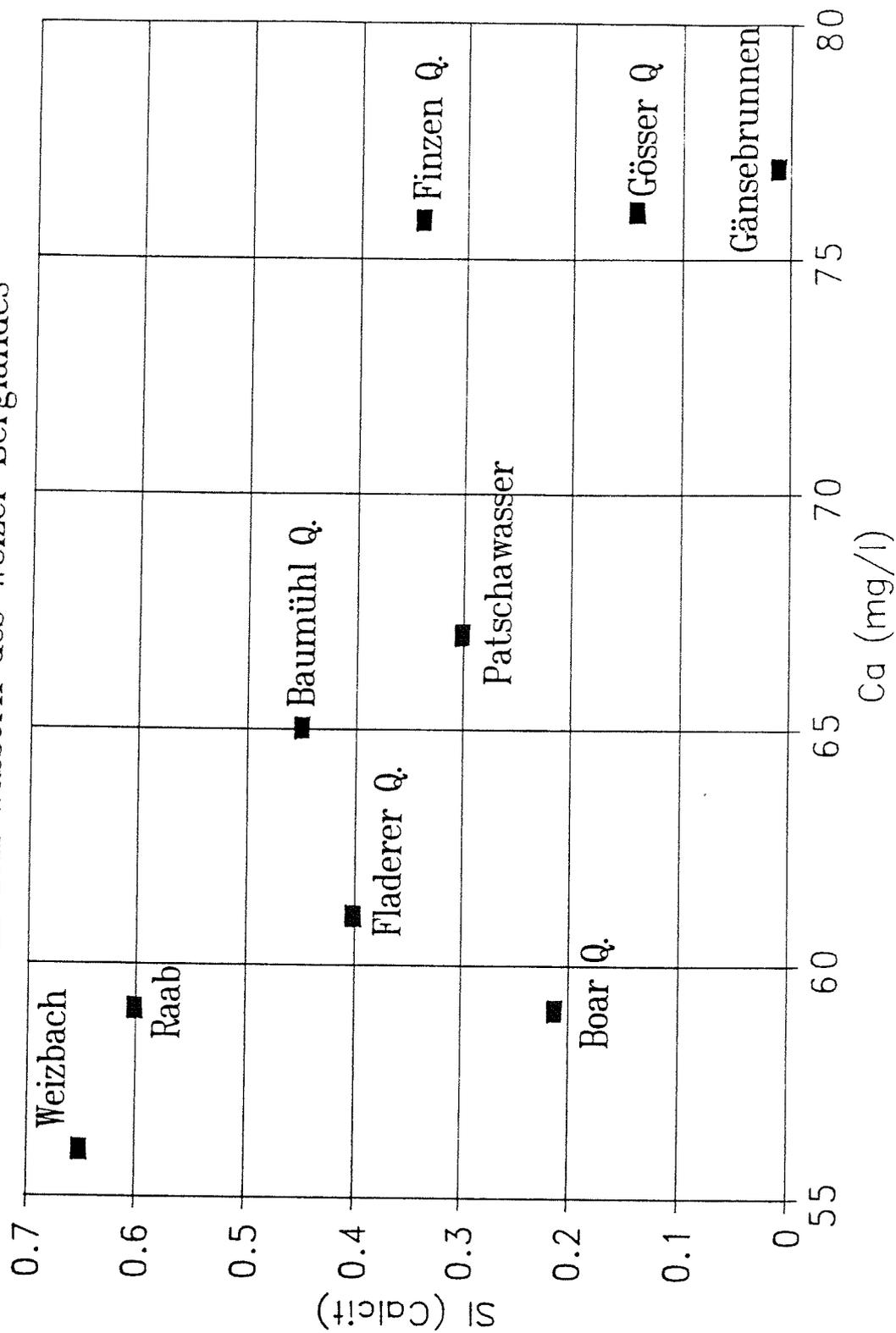
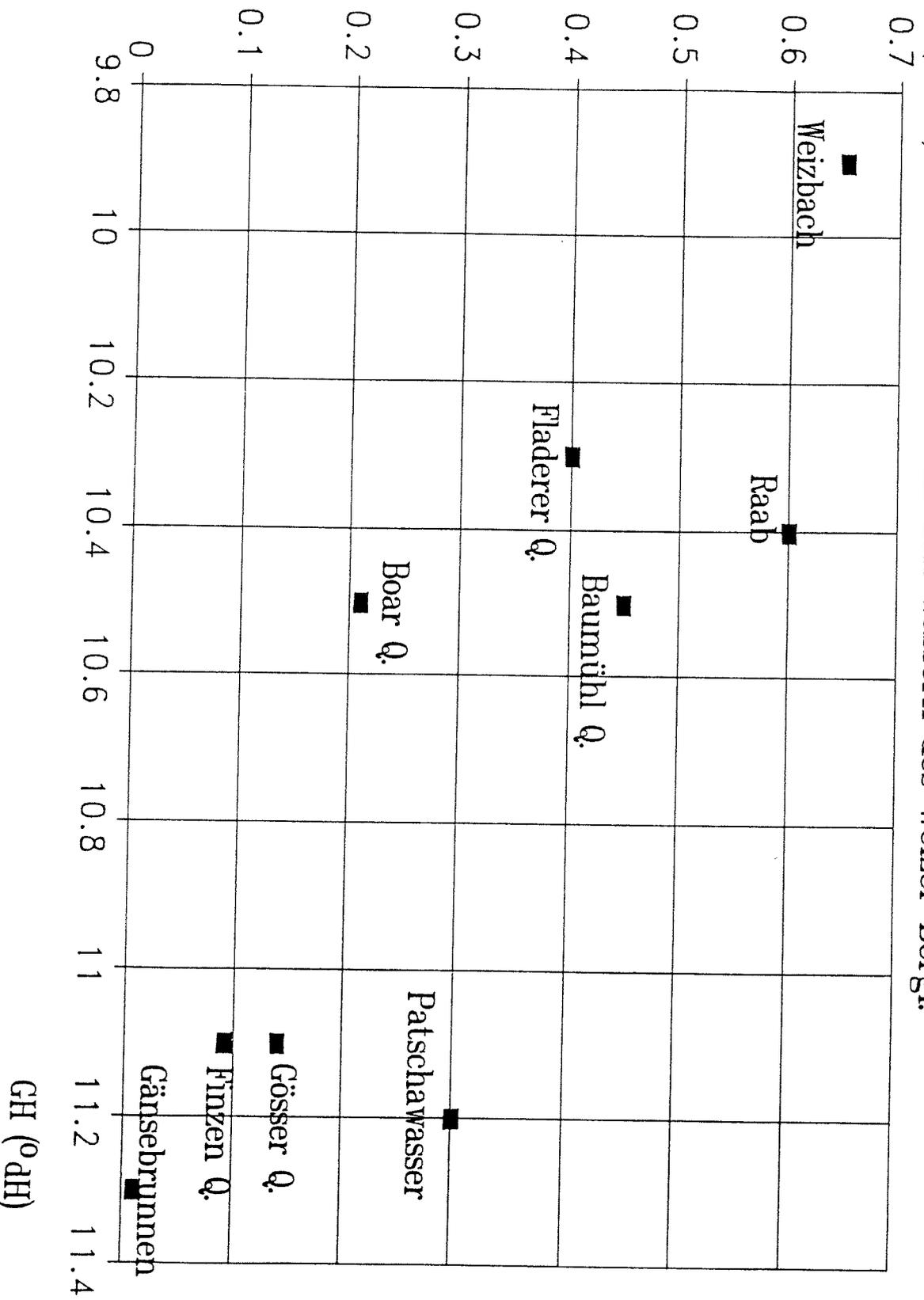


Abb. 11

Abb. 12

Die Relation zw. Si-Calcit u. der Gesamthärte in den Wässern des Weizer Bergl.



Wie bereits erwähnt, ergab sich aus der Produkt-Moment-Korrelation nur eine Wechselbeziehung im Jahresgang zwischen Na/Cu , NO_3/Cu , Na/Q_0 , Na/NO_3 , Cu/Q_0 , und NO_3/Q_0 . Aus diesen Korrelationen kann die Zunahme der Na-, Cu- und NO_3 -Konzentration mit der Zunahme des Oberflächenabflusses abgelesen werden, ein Indiz für die anthropogene Belastung der Bäche. Korrelationen zwischen einzelnen Mineralionen ergaben, daß bei den Karstwässern des Sattelberges (Gösser Q., Gänsebrunnen) eindeutig eine lineare Beziehung von Cu- u. Pb-Konzentrationsänderungen besteht, nicht aber zwischen Ba und Cu, Pb. Derartig eindeutige Korrelationen, die auch auf die Verbindung zu demselben Karstwasserkörper hinweisen, konnten zwischen den übrigen Quellen nicht eindeutig festgestellt werden.

Wohl zeichnet sich ein Gleichgang von Cu- u. Pb-Konzentration zwischen den Quellen Nr.10 (Baumühl Q.) und den Quellen des Sattelberges (Nr.3, 4; Gösser Q., Gänsebrunnen) ab, nicht aber zwingend zwischen Baumühl-Q. und den Patschawässern, den Wässern des Patschamassivs. Keine auffällige Beziehung gibt es zwischen den übrigen Quellen, abgesehen von den Ba-Gleichgängen im Jahresgang von Nr.7, 9 u. 11.

Somit kann lediglich für die Baumühl Q. eine Verbindung zum Gebirgszug des Sattelberges und Patschaberges (?) vermutet werden.

Gewiß ist jedoch eines: Aufgrund der Präsenz dieser ortsspezifischen natürlichen Tracer ergibt sich für alle unter Beobachtung gestandenen Quellaustritte die Gewißheit, daß zu ihrem Einzugsgebiet auch die Nordflanken der genannten Massive gehören, also Bereiche, die jenseits der orographischen Wasserscheide liegen.

Beim Vergleich der Einzel- u. Durchschnitts-Gehalte aller Wässer ist festzustellen, daß die Cd-, Cu-, Pb-Werte ähnlich hoch sind, hingegen der Ba-Gehalt der Wässer von Nr.2, 3, 4, 6, 10 bedeutend niedriger ist, als in denen von Nr. 7, 8, 9 u. 11.

Eine Beziehung zwischen klimatischen Ereignissen und Konzentrationshöhe läßt sich an Hand des weiten Beprobungsabstandes schwerlich herausarbeiten. In einigen Fällen ist die Erhöhung des Cu- u. Pb-Gehaltes nach der Infiltration aggressiver Wässer (nach der Schneeschmelze, 13.4.75) zu beobachten.

Anthropogene Einflüsse auf die chemisch-hygienischen Eigenschaften der Karstwässer

Nach der zuvor vorgenommenen Analyse der hydrochemischen Kennwerte für die Bewertung von Zusammenhängen und Verbindungen im Entwässerungssystem des Weizer Karstes, soll dieses Kapitel Anomalien gegenüber dem natürlichen chemischen Hintergrund aufzeigen, die auf Verunreinigungen durch anthropogene Aktivitäten schließen lassen.

Gemessen wurden routinemäßig während der Langzeitbeobachtung die Kationen und Anionen Na, K und Cl, SO_4 , zusätzlich aber auch die Stickstoffverbindungen, Phosphate, oxidierbare Substanzen, Keime und der biochemische Bedarf an Sauerstoff (Tab. 4 bis 10).

Wie bereits erwähnt wurde durch die hohe lineare Korrelation der Salze (Na), Schwermetalle (Cu) und Stickstoffverbindungen (NO_3) zur Abflußhöhe der beiden hochalkalischen Oberflächenwässer (Q_0) zwar die anthropogene Belastung offensichtlich, aufgrund der sehr niedrigen Absolutwerte bei Na, K, Cl, SO_4 , PO_4 , NO_3 , NO_2 (NO_2 nur bei der Raab im Grenzbereich) und NH_4 jedoch, sind auch die Bachwässer als chemisch unbedenklich einzustufen. Das gilt ebenso für die Spurenelemente Mn, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn, wobei die Konzentrationen durchwegs mit denen der Karstwässer - nur der Ba-Gehalt des Weizbaches liegt über dem Durchschnitt - vergleichbar sind.

Der KMnO_4 -Gehalt, als Verunreinigungsindikator für die organische Belastung, erreicht sowohl bei den Oberflächenwässern, als auch zeitweilig bei den Karstquellen, die in der ÖNORM festgelegten Richt- u. Grenzwerte von 8 - 12 mg/l.

Die Belastung der Karstwässer mit oxidierbaren Substanzen geht natürlich auf die mindere Filterfähigkeit des Karbonatgebirges zurück und äußert sich besonders in der nach Starkregen oder Schneeschmelze häufig auftretenden Trübe der Quellwässer. Letzteres wird aber nicht nur durch organisches Material, sondern im hohen Maße von eingeschlemmten Partikeln (hoher Quarzanteil !) bewirkt. Abb.13 zeigt die Wechselbeziehung zwischen der elektrischen Leitfähigkeit (was etwa der Summe der anorganischen Elemente entspricht) und dem Permanganatverbrauch (was etwa der Summe der organischen Substanzen entspricht). Diese Relation deutet eine lineare negative Korrelation an, d.h., daß mit abnehmendem KMnO_4 -Gehalt die Leitfähigkeit steigt.

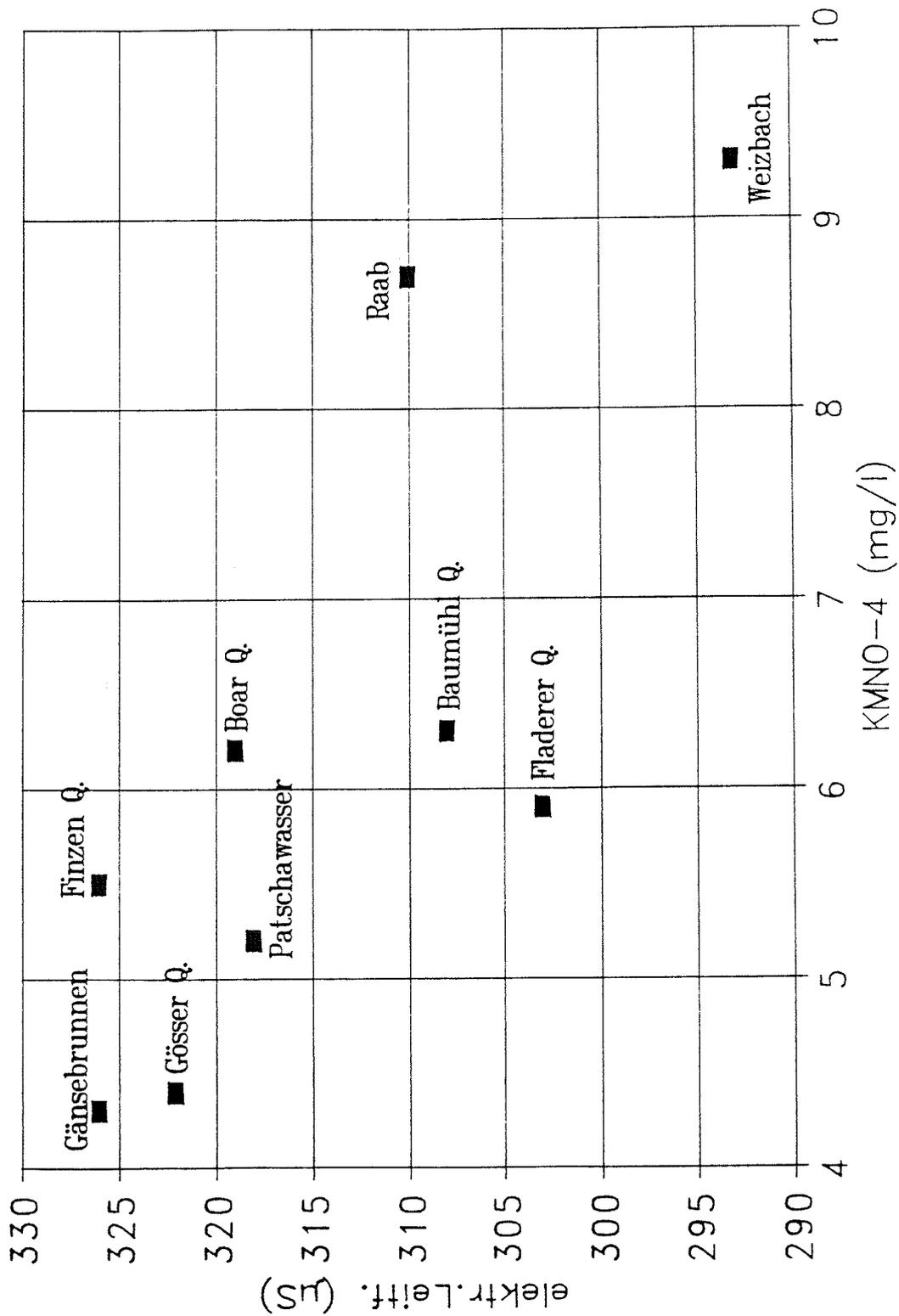
Die schwankende Belastung der Wasser mit organischem Material drückt sich übrigens auch im unterschiedlichen Sauerstoffgehalt, bzw. in der variierenden Sauerstoffzehrung aus.

Hygienisch bedenklich hingegen ist die verschieden hohe mikrobielle Verunreinigung der Oberflächengerinne und der meisten Karstquellen, auch der Baumühl Q. (daher Ozonanlage). Sowohl die Gesamtzahl an Mikroorganismen, wie auch die Zahl der coliformen Keime in den Karstwässern deuten darauf hin, daß die für die Eliminierung der pathogenen Organismen notwendige mechanische Filtrationswirkung und der Sauerstoffmangel nicht vorhanden sind. Beides begünstigt durch weitlumige, zusammenhängende Kluftsysteme, die zumindest einen Querschnitt haben, daß auch die beim Markierungsversuch eingesetzten *Lycopodium* Sporen (26 - 32 μm) durchtriften konnten.

Ausgang derartiger mikrobieller Verunreinigungen sind höchstwahrscheinlich die Streusiedlungen (landwirtschaftliche Betriebe, Einfamilienhäuser) auf den Höhen. Zwischen Raab und Weizbach wäre es das Gebiet von Dürnthal und Gscheid b.W., zwischen Weizbach und Zetz etwa das südlich von Eibisberg. Selbstverständlich kommen als potentielle Herde auch die "wilden" Deponien in Frage.

Abb. 13

Die Wechselbeziehung zwischen elektr. Leitfähigkeit u. Permanganatverbrauch



3. ISOTOPENHYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Von den Umweltisotopen die für hydrogeologische Interpretationen herangezogen werden können, wurden im vorliegenden Projekt die Radionuklide Tritium (^3H) und Kohlenstoff-14 (^{14}C) sowie die stabilen Isotope Deuterium (^2H) und Sauerstoff-18 (^{18}O) in Quell-, Oberflächen- u. Niederschlagswässern gemessen.

Über einen Zeitraum von 14 Monaten, und zwar vom Juni 1974 bis Juli 1975, wurden monatlich Wasser von 7 Quellen und 2 Oberflächengewässern analysiert. Vor und nach dieser kontinuierlichen Beprobung wurden zudem noch Einzelserien analysiert.

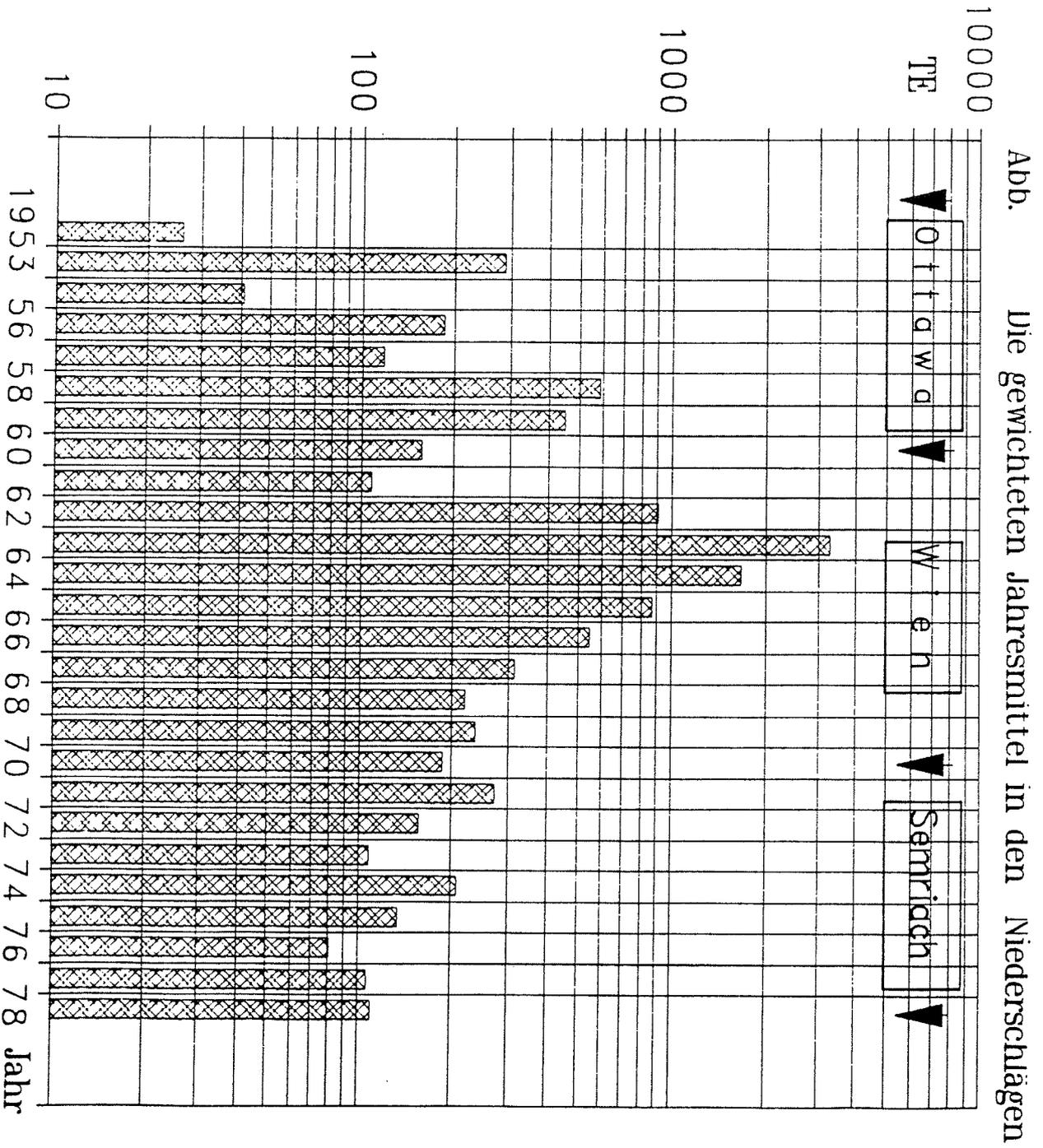
Die ausgewählten Beobachtungsstellen liegen im Einzugsgebiet der Raab, des Weizbaches, des Dörfler-Fladnitz Baches und des Naintsch Baches (Feistritz), (Abb.14).

Kann mit Hilfe der instabilen Umweltisotope Tritium und Kohlenstoff-14 die mittlere Verweildauer der Wasser im Untergrund seit ihrer Infiltration aus den Niederschlägen grob abgeschätzt, Fragen über Mischungs- u. Fließvorgänge in unterschiedlichen Aquiferen bearbeitet werden, so lassen sich mittels der stabilen Isotope Fragen der Herkunft (unter bestimmten Voraussetzungen auch die mittlere Höhe des Quelleinzugsgebietes) bzw. Migrations- und genetische Probleme einschätzen.

Die Schwierigkeit in der Bestimmung der mittleren Verweildauer besteht, vor allem im Karst, in den ständig variierenden Alt- u. Neuwasseranteilen, die je nach den herrschenden Abflußbedingungen stark schwanken können und zudem von der wechselnden Niederschlagskonzentration überlagert werden. Es ist daher ratsam, neben der Bestimmung des Isotopengehaltes im Quellwasser auch die jahreszeitliche Varianz in der Isotopenzusammensetzung der örtlichen Niederschläge zu verfolgen. Dies geschah auch im gegenständlichen Projekt. Die in Abb.15 aufscheinenden ^3H -Konzentrationen der Niederschläge sind, soweit Werte von Semriach vorlagen, standortrelevante N-Isotopen-Konzentrationen.

Ein Beispiel für die Notwendigkeit der Einbeziehung lokaler Daten zur Bearbeitung und Lösung karsthydrologischer Fragen, gibt der Vergleich der Absolutwerte in den Niederschlägen der Beobachtungsjahre 72/73 und teilweise 75 in Tab. 12. Deutlich ist zu erkennen, daß es zwar nur geringfügige Unterschiede zwischen der N-Station Semriach und Weiz gibt (beide Stationen liegen am Rand des Untersuchungsgebietes), hingegen doch z.T. beachtliche zwischen Wien und Semriach. Dementsprechend würde sich auch das gewichtete Monats- und Jahresmittel des Niederschlagsinputs für die Karstwasseralimentation beachtlich unterscheiden. Wäre dieser Umstand also nicht bedacht worden, so wäre bei der Abschätzung des Karstwasser-"Alters" ein beachtlicher Fehler entstanden.

Abb. 15



Tab.12 Ein Beispiel des unterschiedlichen Tritiumgehaltes in den Niederschlägen von Semriach und Wien (in TE).

Jahr	Monat	Semriach	Weiz	Wien	
1972	VI	170	-	206	
	VII	214	-	224	
	VIII	129	-	166	
	IX	86	-	105	
	X	75	-	54	
	XI	33	-	52	
	XII	44	-	73	
	1973	I	49	-	87
		II	50	-	120
		III	154	-	120
		IV	160	-	112
		V	160	-	176
VI		121	-	153	
1975	III	96	94	151	
	VII	160	144	155	
	IX	126	120	254	
	XII	27	32	40	

Ergebnisse aus der monatlichen Beprobung in den Jahren 1974 u.1975

Die gezogenen Proben konnten folgenden Systemen zugeordnet werden: Dem seichten und tiefen Karst mit autochthon gebildeten Karstwässern sowie den Oberflächengerinnen Raab und Weizbach, mit Wässern aus allochthonen Einzugsgebieten.

Die Resultate aus den Serienanalysen erlauben in Verbindung mit den Einzelanalysen von über das Untersuchungsgebiet verteilten Beprobungsstellen einen guten Überblick bzw. Einblick in das unterirdische Abflußgeschehen, in Mischungsvorgänge, über die Quelleinzugsgebiete bis hin zum Speichervermögen des Karstes im gesamten Untersuchungsgebiet.

Tabelle 13 Mittelwerte der ^3H -, ^2H - u. ^{18}O -Langzeitmeßreihen der Jahre 74/75 (SB = Schwankungsbreite)

Ort der Probennahme	Bezeichnung	H-3	$[\text{n}]$	SB	O-18	$[\text{n}]$	SB	H-2	$[\text{n}]$	SB
		$[\text{TE}]$			$[\%]$			$[\%]$		
Nr.2	Finsen-Q.	153	14	27	-9.55	13	0.33	-66.4	13	27
Nr.3	Göser Q.	129	14	43	-9.45	13	0.15	-65.6	13	27
Nr.4	Gänsebrunnen	136	14	33	-9.49	13	0.3	-65.9	13	2.1
Nr.6	Raab	182	14	43	-9.43	14	1.18	-65.4	14	9.4
Nr.7	Patschawasser	187	14	39	-9.63	14	0.34	-67	14	3
Nr.8	Weizbach	187	14	43	-9.65	14	0.5	-67.2	14	3.6
Nr.9	Boar Q.	167	14	51	-9.49	14	0.52	-65.9	14	2.3
Nr.10	Baumühl Q.	149	15	121	-9.41	14	0.48	-65.3	14	3.7
Nr.11	Fladerer Q.	64	14	22	-9.44	14	0.3	-65.5	14	3

Eindeutige Unterschiede in der Isotopenzusammensetzung sind zwischen den Tritium-Mittelwerten der Fladerer Q. Nr.11 und der Baumühlquelle Nr.10, oder zwischen diesen und den Oberflächenwässern Raab, Nr.6. bzw. Weizbach, Nr.8, zu erkennen. Nicht so klar fallen die Unterschiede bei den O-18-u.H-2-Mittelwerten aus, wobei sie am deutlichsten -- bei beiden Isotopen -- zwischen den Quellen Nr.9 - 11 und dem Weizbach hervortreten.

Während die erhöhten Schwankungsbreiten im stabilen Isotopengehalt der Oberflächenwässer nicht verwundern -- hier erkennen wir eben die direkte, nicht verzögerte Zumischung der Niederschläge zu allen Jahreszeiten (Temperatur-Effekt) -- ist die sehr hohe Schwankungsbreite im Tritiumgehalt der Baumühlquelle (Nr.10) zunächst doch verwunderlich. Vor allem im Vergleich zu den übrigen Quellen.

Sieht man jedoch die Baumühlquelle als großräumigen Entwässerungsschwerpunkt, bedenkt ihre unmittelbare Nähe zum Tiefenkarstwasserauftrieb Fladerer Q. einerseits sowie ihre beachtlichen Schüttungsextreme andererseits, so signalisieren eine SB von 121 TE und Absolutwerte zwischen 126 und 247 TE, daß ihr Entwässerungssystem in Speicherräume mit langsamer Austauschrate (höhere Verweilzeit) ebenso reicht, wie in Hohlraum- u. Kluftsysteme, die rasch durchflossen und schnell ausgetauscht werden (kurze Verweilzeit). Je nach den Druckverhältnissen in den einzelnen Systemen bzw. Zurückweichen einer Druckdominate, kommen die Wässer des jeweiligen Systems zum bevorzugten Abfluß.

Zudem führen derartige Schwankungen (auch durch Abb.16 veranschaulicht) zu Gedanken zurück, die bereits seit Beginn der karsthydrologischen Untersuchungen bestanden haben. Sie betrafen die Vermutung, daß die beiden Vorfluter Raab und Weizbach, die das Karstgebiet von N nach S queren, vor allem im Bereich der Durchbrüche, in den nördlichen Antiklinalschenkeln, den Karstkörper alimentieren könnten. Die Vermutung lag nahe, da aufgrund der geologisch-tektonischen Gegebenheiten mit der Schöcklkalkmulde, ein unter das Vorflutniveau beider Gerinne reichender Karbonatgesteinskörper existiert, welcher nachweislich von Tiefenkarstwässern durchflossen wird. Zudem gibt es entlang des Weizbachdurchbruches keine Quellaustritte; ebenfalls Anzeichen dafür, daß die rezente Verkarstung unter das Vorflutniveau reichen könnte. Letzteres eröffnet die Möglichkeit, daß der Karstwasserspiegel von Zeit zu Zeit unter das Vorflutniveau zu liegen kommt. In diesen Fällen wären die Bedingungen für eine Alimentation des Karstwasserkörpers durch Oberflächenwässer gegeben.

Zur Klärung derartiger Vorgänge, zur Ortung von Versickerungsstrecken, wurden über 100 Abflußmessungen (Serien) in beiden Bächen durchgeführt. Dies geschah zu unterschiedlichen Jahreszeiten, bzw. Abfluß- und Wasserstandsbedingungen (Nieder-, Mittel-, Hochwasserstände). Die Messungen, vom Hydrographischen Dienst und vom Sachbearbeiter mit dem Meßflügel und vom Institut für Geothermie, FGJ, mit der Salztracer-Methode vorgenommen, erbrachten jedoch diesbezüglich keinen Nachweis. Zwar konnten kurzzeitige Umläufigkeiten im "mäandrierenden" Bachverlauf der Raab festgestellt werden, jedoch keine Abgänge die größer waren, als die akzeptierte Meßfehlergröße der jeweiligen Methode es erlaubte, d.h. bis etwa 5% des Gesamtabflusses.

Schließlich ließ auch die zuletzt vorgenommene Summenbildung des unterirdischen Gesamtabflusses im Weizer Bergland keinen Verdacht hinsichtlich einer zusätzlichen Karstwasseranreicherung aufkommen.

Maxima- u. Minima-Werte im Tritium- und Sauerstoff-18-Gehalt

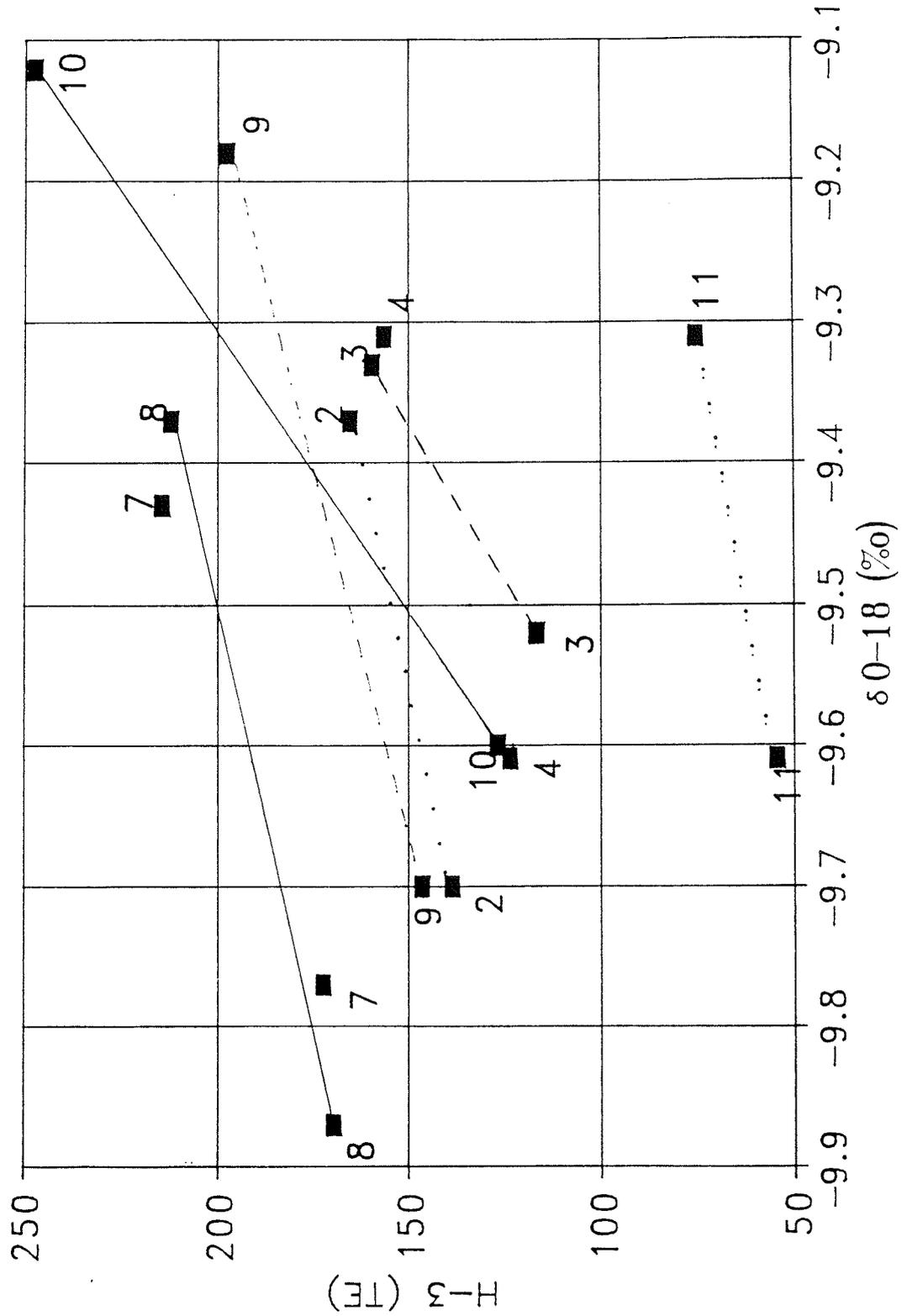


Abb. 16

Da der Gedanke darüber aber nie verloren gegangen war, wurden die Informationen aus den Isotopen-Relationen (O-18 zu H-2, Abb. 17 , und H-3 zu O-18 , Abb. 18) sofort in diese Richtung kritisch analysiert.

Bei der Relation der Maxima-Minima-Werte (Abb. 16) wird davon ausgegangen, daß die Schwankungsbreite im stabilen und instabilen Isotopengehalt anzeigt, ob und in welchem Ausmaß es durch Infiltration, durch Zumischung bzw. Änderung der Mischungsverhältnisse aber auch lediglich durch Abfluß während einer längeren Periode annähernd gleichbleibender hydraulischer, hydrographischer Bedingungen, es zu Veränderungen im Karstaquifer kommt. Hierbei zeigen Veränderungen des ^3H -Gehaltes, Veränderungen in der Verweilzeit der Wasser (Wasser -"Alter"), in der Umsatzrate an, die des ^2H - u. ^{18}O - Gehaltes hingegen liefern Informationen über die örtliche und zeitliche Änderung der Alimentation (Wechsel des Einzugsgebietes bzw. der klimatischen Bedingungen).

Abb.17 gibt beispielhaft die Beziehung zwischen den ^{18}O - u. ^2H -Durchschnittswerten der Wasser wieder, die unter Dauerbeobachtung standen. Diesem Diagramm ist sofort zu entnehmen, daß alle δ -Werte entlang der Niederschlagsgeraden liegen, was im Prinzip nur eine Bestätigung ist, daß die Karstwässer am aktuellen Niederschlagskreislauf teilnehmen und daß für die Konzentrationsschwankungen hauptsächlich Isotopentrennprozesse bei Phasenumwandlungen verantwortlich und nicht Austauschvorgänge mit dem Gestein (was gelegentlich bei Tiefengrundwässern vorkommt) beteiligt sind.

Unterschiedlich hohe δ -Werte signalisieren -- unter der Voraussetzung gleicher Infiltrationszeiten -- unterschiedliche Höhen der Einzugsgebiete. Da die Einzugsgebiete der Karstwässer des Weizer Berglandes geologisch einheitlich aufgebaut sind, kann von dieser Voraussetzung ausgegangen werden.

Offenkundig ist der Unterschied zwischen Weizbach (mittl. E-Höhe oberhalb der Probenentnahmestelle: 1000m) und Baumühlquelle, Fladerer Q., Raab (740m), etc. Hingegen gibt die benachbarte Lage Weizbach/Patschawasser doch Anlaß zu Überlegungen hinsichtlich Verbindungen zwischen beiden, bzw. Zumischung von Oberflächenwässern zum Karstsystem der Quelle. Eine derartige Konstellation ist übrigens während 2/3 der Beobachtungszeit gegeben.

Bei einem gebietsspezifischen Isotopenhöheneffekt im Sauerstoff-18-Gehalt von rund δ -0,4‰ pro 100m Höhenzunahme, der sich übrigens auch aus dem Konzentrationsunterschied zwischen dem O-18-Gehalt im Juli-Niederschlag von Weiz (490m Höhe) und jenem im Karstüberlauf des Patschamassives (ca.1050m) vom selben Monat ergibt, weiters bei einem mittl. ^{18}O -Gehalt der "reinen" Patschawasser von ca. δ -9,5 ‰, (ihr Einzugsgebiet wurde durch den kombinierten Markierungsversuch geklärt), dürfte der Anteil der allochthonen Oberflächenwässer im Mittel etwa 15 Prozent am Gesamtabfluß der Patschawasser (Nr.7) ausmachen.

Weitere Ergebnisse aus der Gegenüberstellung der Mittelwerte von H-2 und O-18 : Die geringfügig niedrigeren δ -Werte der Finzen Q. im Vergleich zur Gösser Q. (EGB-Höhe im Sattelbergmassiv: ca.850-900m) sind ein Indiz dafür, daß das mittl. Einzugsgebiet (EGB) der Finzen Q. etwa um 900m liegt. Es reicht damit bis zu den Ostflanken der Burgstaller Höhe und zum Garracher Wald zurück.

Abb. 17

Die Beziehung zwischen dem Deuterium- u.
Sauerstoff-18-Gehalt der Wasser

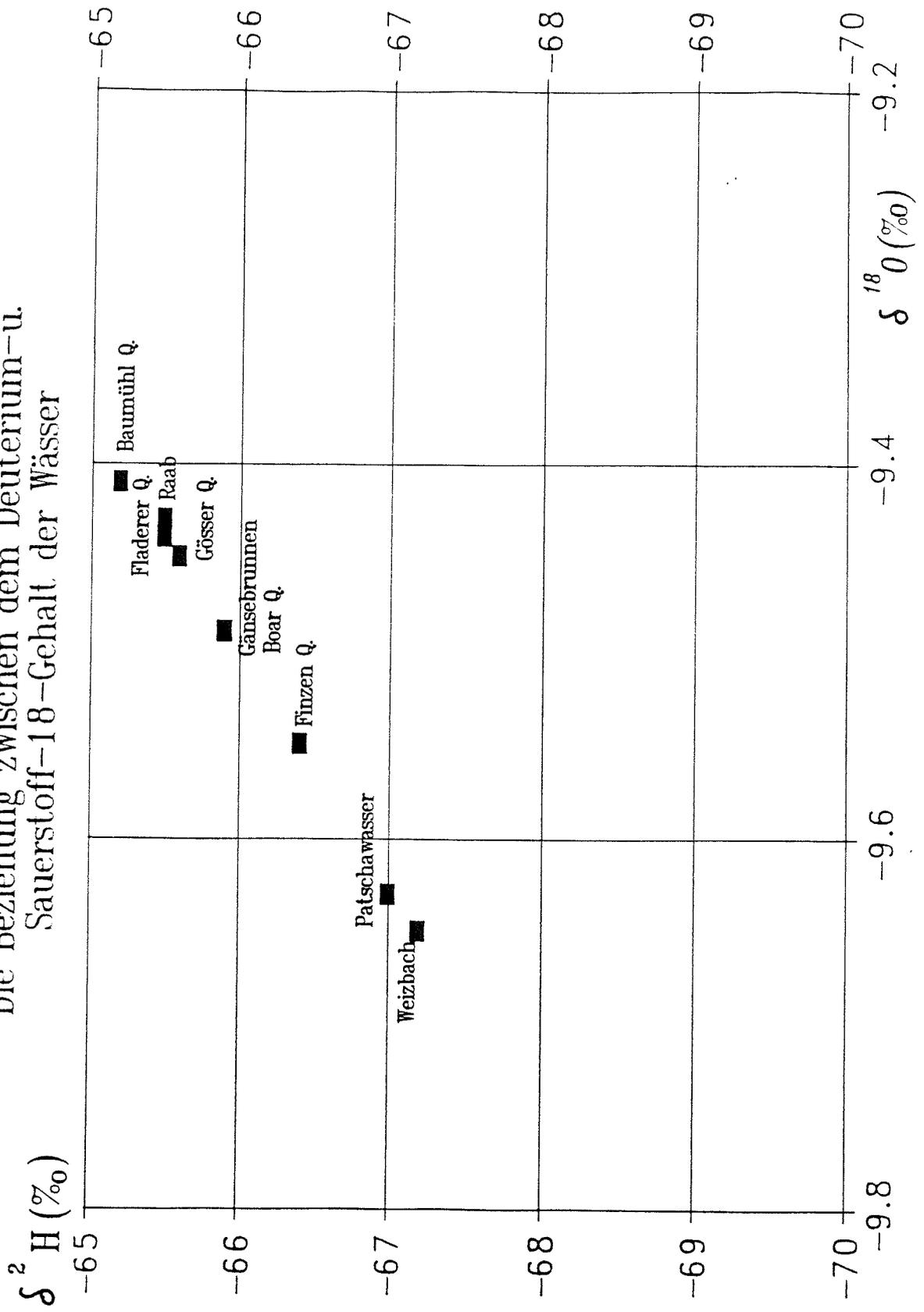
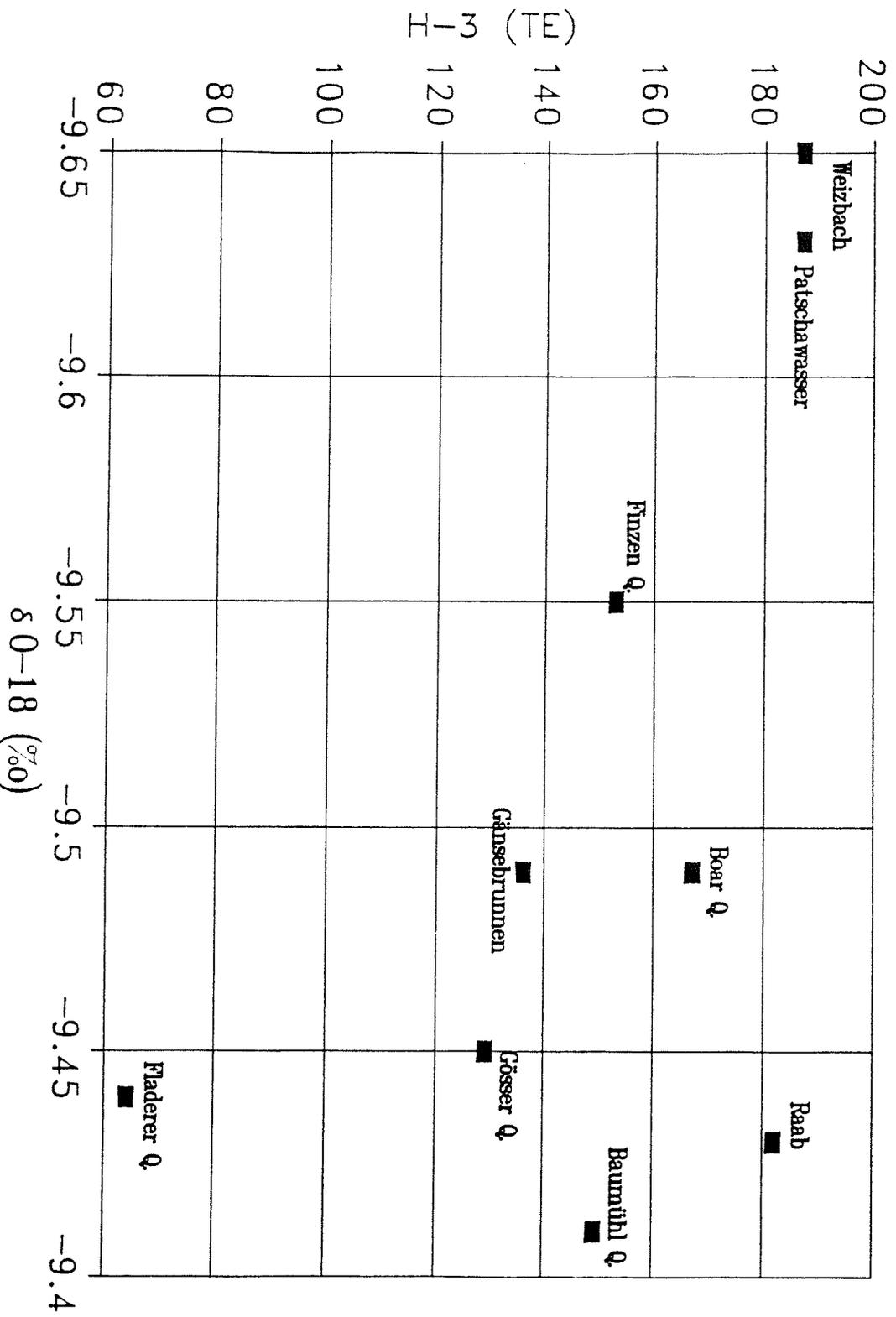


Abb.18

Die Beziehung zwischen dem Tritium- u. Sauerstoff-18-Gehalt der Wässer



Aufgrund der Position der Mittelwerte von Baumühl Q., Fladerer Q., Gösser Q., Gänsebrunnen und Boar Q. dürften sich deren E-Gebietshöhen voneinander nur geringfügig unterscheiden, zu klein ist nämlich der Konzentrationsunterschied (innerhalb der Meßfehlergrenze von 0,1% bei 0-18).

Bestätigt wird die Information über die Verbindung Talgrabengerinne-Patschawasser auch durch die Beziehung zwischen den mittleren ^3H - u. den ^{18}O -Werten einerseits (Abb. 18), wie durch die Relation der Maxima- u. Minima-Werte von ^3H und ^{18}O andererseits (Abb.16).

Zudem lassen sich aus diesen Abbn. noch weitere Informationen herauslesen: Die in der Passailer-Schiefer-Serie entspringenden Oberflächen-gerinne Weizbach u. Raab führen bei Trockenwetterabfluß Wasser mit einer längeren Verweilzeit als das Gros der Karstaustritte.

Die abseitige Lage der Fladerer Q. wird bedingt durch die Besonderheit ihrer Wässer: Tiefenkarstwässer aus den Tiefen der Schöcklkalk- Synklinale mit sehr hoher Verweilzeit.

Durch die sonderliche Position der Baumühl Q. in Abb.16 erscheint plötzlich ihr ^3H -Maximalwert etwas fragwürdig.

Abschätzung der Verweilzeiten

Die mittleren Tritiumwerte liegen zwischen 187 und 64 TE, wobei der niedrigsten Konzentration die längste Verweilzeit, den höheren Konzentrationen die kürzere Verweilzeit zuzuordnen ist.

Weiters ist festzuhalten, daß bei allen analysierten Wässern eine direkte Beeinflussung durch rezente Niederschläge oder durch Schneeschmelze nachweisbar ist, was eine Mischung rezenter Wässer mit älteren bedeutet. Zunächst wurde mit Hilfe des Exponentialmodells und den mittleren ^3H -Outputwerten versucht, die Verweilzeit der Wässer in konkreten Zahlen auszudrücken. Dieses Modell geht von der Annahme einer exponentiellen Altersverteilung der untersuchten Wässer und der Voraussetzung aus, daß noch vor der Entnahmestelle es zu einer vollständigen Durchmischung des Karstkörpers kommt. Der Versuch mißlang.

Die Erkenntnis wurde gewonnen, als die nach der Beobachtungszeit 74/75 errechneten Verweilzeiten wesentlich von jenen abwichen, die etwa zehn Jahre später (1984 u. 1986) aus den ^3H -Mittelwerten, abgeleitet wurden. Daraus wurde geschlossen, daß das Exponentialmodell für den seichten und tiefen Karstaquifer des Weizer Berglandes nicht anwendbar ist und somit weder die Berechnungsverfahren mit Tritium noch mit Sauerstoff-18 (nach U.SIEGENTHALER, 1971) verwendet werden können.

Zur Lösung der Frage nach den Verweilzeiten wurden nun die gewichteten ^3H -Jahresmittel der Niederschläge der Jahre 1953 bis 1978 aufgetragen (Abb. 15). Auf diese Weise, durch die Darstellung der potentiellen Inputwerte, kann die Zeit der möglichen Karstwasseralimentation eingengt und so das "Alter" der austretenden Wässer abgeschätzt werden. An Hand dieser Aufzeichnung fließen in der Finzen-, Gösser-, Boar-, Baumühlquelle und im Gänsebrunnen Wasser ab, deren "Alters"-Zusammensetzung zum

Großteil aus Wässern mit einer Verweilzeit von Wochen/Monaten, mit einer kleineren Komponente, von bis zu zwei Jahren besteht. Jedoch bei Quellen mit einem durchschnittlichen ^3H -Gehalt von 64 TE, wie bei der Fladerer Q., die aufgrund der Temperaturwerte eindeutig aus dem Tiefenkarst gespeist wird, hat der überwiegende Teil des Abflusses eine mittlere Verweilzeit von ca. 12 bis 17 Jahren.

Da offensichtlich bei allen beprobten Wässern ein erhöhter Tritiumgehalt gemessen wurde, ist somit eine direkte Beeinflussung durch rezente Niederschläge oder Schmelzwässer nachgewiesen, was wiederum die Mischung rezenter mit älteren Wässern bedeutet.

Für die Beurteilung der Verweilzeit jener Wässer, deren Tritiumgehalt nahe Null liegt, bzw. die ein höheres Alter signalisieren, kann die Kohlenstoff-14-Methode angewendet werden. Dies geschah bei der Fladerer Quelle (Nr. 11). Obgleich aufgrund der Tritiumwerte von Beginn an feststand, daß dem Austritt der Fladerer Q. ein bedeutender Teil von jungem Karstwasser beigemischt sein muß, wurde dennoch eine C-14-Analyse vorgenommen. Und zwar um zu erfahren, ob nicht doch kleine Anteile des Abflusses aus sehr langsam durchflossenen Tiefenkarstsystemen stammen. Ein ^{14}C -Wert von 82 (% modern) bescheinigt jedoch den Abfluß von nur jungen Wässern, aus einem reifen, gut wegigen Karst mit großem Tiefgang.

Ergebnisse aus Einzelbeobachtungen/Einzelanalysen

Bereits während der Dauerbeobachtung 74/75 wurden Wasserproben bei besonderen Ereignissen gezogen; danach erfolgten noch Probenahmen an ausgewählten Karstaustritten die über das gesamte Weizer Bergland verteilt sind.

Letzteres wurde 1984 und 1986 durchgeführt. Bei jeweils Trockenwetterbedingungen wurden im Dezember 84 u. Februar 86 neun bzw. 13 Proben von Karstaustritten gezogen. Darunter waren stets auch Wässer von solchen Quellen, die unter Langzeitbeobachtung gestanden hatten.

Benutzt man die Ergebnisse aus der Langzeitanalytik dazu, um die Meßwerte der Einzelproben (Tab. 14) einerseits interpretieren, andererseits in die Karsthydrographie des gesamten Untersuchungsgebietes einordnen zu können, so führen die Informationen aller Werte schließlich zur Gliederung des Weizer Karstes in Bereiche mit unterschiedlichem Speichervermögen.

Tab.14 Tritium-u.Sauerstoff-18-Werte von Karstwässern des Weizer Berglandes gezogen im Dez.84 und Feb.86.

Ort der Probe	Datum	^3H (TE)	^{18}O (‰)	Datum	^3H (TE)	^{18}O (‰)
Nr.3	18.12.84	-	-	22.2.86	64,6	-9,48
4		-	-		59,6	-9,56
7		-	-		55,8	-9,97
10		55,1	-9,65		48,6	-9,78
11		39,8	-9,49		36,8	-9,51
12		-	-		41,9	-9,41
13		47,0	-9,52		44,5	-9,41
15		85,6	-9,61		83,3	-9,41
48		52,1	-9,35		38,9	-9,15
116		58,2	-9,52		57,9	-9,29
120		71,8	-9,58		-	-
123		-	-		56,1	-9,92
124		47,2	-9,88		46,5	-9,89
126		34,2	-9,59		31,1	-9,35

Die kartographische Darstellung des Karstspeicherumsatzes bzw. des Retentionsvermögens im Karst des Weizer Berglandes, mit Eintragung der Austrittlage, der Abflußgröße und der Verweilzeit, wurde mit der Abb.19 versucht. Ihr ist zu entnehmen, daß dem Großteil der Karstquellen im W, N und NE Wasser hauptsächlich durch den seichten Karst rasch zugeführt werden, wobei sich dieser Karstkörper in max. 2 Jahren vollkommen austauschen wird. Im S, SE wo es zu einer Konzentration des Karstabflusses kommt, enden auf engstem Raum Karstsysteme des überdeckten Karstes (z.B. Baumühlqu.) ebenso wie solche des Tiefenkarstes. Letztere führen erzwungenermaßen, nämlich durch die vorgelagerte Kristallinschwelle, Wasser aus größerer Tiefe, aus der Tiefe der Schöcklsynklinale an die Oberfläche. So z.B. in der Fladerer Q., in der Urtil Q. (Nr.126, siehe auch Kap.1.3) und zu Trockenwetterzeiten auch in der Quelle Nr.48.

Während im hochverkarsteten überdeckten Karbonatgebirge das Speichervolumen vorwiegend durch die weitverzweigten, großlumigen, schnell durchflossenen Karstsysteme gebildet wird, die in ihrer Gesamtheit ebenfalls in max.2 Jahren ausgetauscht zu sein scheinen, dürfte der Verkarsungsgrad im tiefen Karst der Schöcklkalksynklinale demgegenüber drastisch reduziert sein. Der vollständige Austausch dieses Kluftaquifers liegt zwischen etwa 12 und 17 Jahren.

Im Bereich Ponigl (Nr.15) und an der Ostflanke des Untersuchungsgebietes (Nr.120, WV von Anger) treten Quellen aus, die entsprechend ihrem geologischen Umfeld, (Schiefer, Dolomite und Kalke), Wasser aus unterschiedlichen Aquiferen abführen. Deren Tritiumgehalt läßt auf max. Verweilzeiten von etwa 6 bis 7 Jahren schließen.

Um Einsicht in die raschen Abläufe der Karstentwässerung und Speichervorgänge zu erhalten, wurden Proben auch von bemerkenswerten Ereignissen gesammelt. So etwa während der Schneeschmelze 1975 oder z.Z. der außergewöhnlichen Regenperiode im Sommer 1975 und zuletzt nach der Katastrophe von Tschernobyl.

Die Schneeschmelze im März 1975 setzte nach dem Probenstermin am 16.3. ein und war mit dem 21.3., beschleunigt durch Regenfälle, bereits abgeschlossen. Auffallend in diesem Zusammenhang ist nun, daß beim Vergleich der Sauerstoffwerte in den Quellwässern vom 16.3.--- die etwa denen der vorangegangenen Wintermonate entsprechen --- die Werte vom 21. u. 22.3.75 zwischen 0,3 u. 0,41 ‰ im O-18 und 3,3 u.2 ‰ im H-2 angehoben wurden. Die Proben von Mitte April zeigen hingegen wieder ein Abfallen des Gehaltes bzw. ein Einpendeln auf die Ausgangswerte; siehe Tab.15

Tab.15 Die H-2- und O-18- Werte in den Quellwässern vor und nach der Schneeschmelze im März 1975, ausgedrückt in ‰

Proben Nr.	16.03.1975		21.03.1975		22.03.1975		13.04.1975	
	H-2	O-18	H-2	O-18	H-2	O-18	H-2	O-18
2	-67,4	-9,68	-	-	-64,1	-9,27	-65,4	-9,42
3	-66,1	-9,52	-	-	-64,1	-9,27	-65,7	-9,47
4	-66,3	-9,54	-	-	-64,1	-9,25	-65,3	-9,41
7	-67,9	-9,74	-	-	-	-	-65,8	-9,48
9	-66,1	-9,51	-	-	-	-	-66,1	-9,51
10	-66,8	-9,60	-64,4	-9,30	-64,6	-9,33	-64,1	-9,27
11	-65,8	-9,48	-	-	-	-	-66,3	-9,54

Nach dem Infiltrieren der Schmelzwässer aus den Winterniederschlägen gemeinsam mit den März-Niederschlägen (März-Niederschläge von Weiz in 470m Höhe: H-2 = -77,3 ‰; O-18 = -10,91 ‰) wäre eigentlich ein Abfallen der ‰-Werte erwartet worden. Da die beachtliche Schüttungszunahme zu dieser Zeit nicht nur mit dem Anstieg der ‰-Werte, sondern auch mit dem der H-3-Werte (Nr.2 : 138 / 148; Nr.3: 118 / 138; Nr.4: 123 / 148; Nr.10: 128 / 149 TE), der Leitfähigkeitswerte und z.T. der Wassertemperatur einher ging, dürfte es sich in diesem Falle um eine indirekte Auswirkung (hydrostatische) der Schneeschmelze auf das Abflußverhalten der Quellen handeln.

Von diesem Vorgang verschieden lief das Infiltrationsereignis während und nach der sommerlichen Regenperiode im Juli 1975 ab. Nach einem bereits regenreichen Juni, mit Niederschlagshöhen von über 227,9 mm (Weiz) und intensiven Niederschlägen im Juli (Weiz: 174,4 mm), kommt es nach Anstieg des Karstwasserspiegels weit über Vorflutniveau sowohl in der Weiz- als auch in der Raabklamm zum Überlauf des Karstwasserkörpers, zum Anspringen der Hungerquellen.

Während in der Juli-Niederschlag-Sammelprobe von Weiz ein Tritiumgehalt von 144 TE, ein Deuteriumgehalt von -47‰ und ein Sauerstoffgehalt von -5,87 ‰ gemessen werden konnte, lautete die Isotopenzusammensetzung der Überlaufwässer : 159 TE, -54,6 ‰ u. -8,07 ‰ (aufgrund des Höheneffektes!).

Aus der Veränderung der ‰-Werte in den Probenreihen vom 16.6.75 u. vom 28.7.75, also vor und nach der außergewöhnlichen Starkregenperiode, kann diesmal die direkte Alimentation des Karstkörpers "abgelesen" werden. Derartige ist mit Hilfe der Tritiumwerte jedoch nicht möglich und zwar deshalb, weil der mittlere Tritiumgehalt der Quellen (mit Ausnahme bei der Fladerer Q.) sich von dem Regeninput nur geringfügig unterscheidet.

Die unmittelbaren Auswirkungen der Juli-Niederschläge auf den Karst-

körper bzw. den Quellabfluß sind in den χ -Werten der am Rande des Untersuchungsgebietes gelegenen Finzen Q.(Nr.2) und der Tiefenkarstquelle (Nr.11) nicht erkennbar, wohl aber bei den Probenstellen Nr.3, 4, 5, 7, 8, 9, 10. Zieht man nun die Mischungsformel zu Hilfe, so läßt sich etwa für das System der Baumühlquelle jener Prozentsatz von jüngstem Infiltrat berechnen, der notwendig war, um dieses System bis zu der vorgefundenen Isotopenzusammensetzung zu mischen. Im Falle des Baumühl-Quellen-Systems waren es ca.30%.

Diese Ergebnisse liefern nicht nur den Nachweis, daß der Karstkörper des Weizer Berglandes sowohl im Winter-, als auch im Sommerhalbjahr alimentiert wird, sie bezeugen zudem die hohe Austauschrate im seichten und überdeckten Karstkörper, bzw. das geringe Retentionsvermögen (Verweilzeit), lassen die hohen Fließgeschwindigkeiten und damit die Geometrie der Karstgefäße und deren Reichweite erahnen. Fakten und Größen die z.T. Probleme für Wasserversorgungen mit sich bringen können. Dazu gehört auch das schnelle Ansprechen der Quellen auf Kontaminationen, sei es durch lokale Verschmutzungsherde, sei es durch überregionale bis globale Katastrophen. Eine Folge des häufig zu geringen Filtervermögens der Karbonatgesteine.

Auch die globale radioaktive Verseuchung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl zeigte unmittelbar nach dem 'fall out' Folgen für die Qualität der meisten Weizer Karstquellen (abhängig von der Verweilzeit der Wässer).

Wurde im Niederschlag von Weiz zwischen dem 28. und 30. April 1986 ca. 16 nCi/l Gesamtradioaktivität gemessen, so betrug die Gesamtradioaktivität in der Wasserprobe Baumühlquelle vom 3.5.86, also 5 Tage nach dem Super GAU, 1,41 nCi/l. Die Auflistung der einzelnen Radionuklide wurde in der Tab. 16 vorgenommen.

Tab.16 Der Gehalt einiger typischer Radionuklide des Tschernobylfall out im Wasser der Baumühlquelle vom 3.5.86.

Radionuklid	Bq/m ³	nCi/l	T _{1/2}	HZK ₁₆₈ nCi/l (österr.Grenzw.)
Ru 103	4500	0,12	39,4d	26,7
J 131	16000	0,42	8,02d	0,67
Te 132	16000	0,42	3,18d	6,7
J 132	13000	0,30	2,3h	20
Cs 134	900	0,02	2,06a	3
Cs 137	1400	0,04	30,20a	6,7
La	3400	0,09	40h	6,7

4. BERECHNUNG DES KARSTRESERVOIRS FÜR DIE BEMESSUNG DER TRACERMENGE

Grundsätzliche Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung künstlicher Markierungsstoffe zur Klärung etwa von Quelleinzugsgebieten und Durchgangszeiten, ist die Abschätzung des Speichervolumens, des Karstreservoirs, da die Bemessung der Einspeisemenge davon abhängt. Unter Speichervolumen ist hierbei nicht nur der frei abflußfähige Speichervorrat gemeint, sondern auch die Speicheranteile, die, wie im vorliegenden Fall, weit unter das Überlauf- oder Vorflutniveau reichen.

Geht man davon aus, daß die bevorzugten Karstentwässerungssysteme verstärkt an der Karstwasserkörperoberfläche verlaufen, wird vorwiegend in diesem Bereich der Abfluß der Tracerwolke erfolgen. Unter HQ-Abflußbedingungen würden aber dem zentralen Karstwasserspeicher zu geringe Tracermengen für eine erfolgreiche Markierung zufließen. Aus diesem Grund ist die Berechnung der Tracermenge so zu wählen, daß auch tiefere und zentrale Speicherräume ausreichend beschickt werden.

Für eine Abschätzung des Speichervolumens stehen grundsätzlich vier Möglichkeiten zur Verfügung :

1. Aus der Beziehung : Volumen des Reservoirs - unterirdischer Abfluß mal mittlere Verweilzeit;
$$V_{Res} = A_u \times T_{Res}$$
2. Aus der Analyse der Trockenwetterauslauflinie (TWL) und der Berechnung des frei abflußfähigen Speichervolumens nach der Beziehung :
$$Q_t = Q_0 \times e^{-(t_1 - t_0)}$$
3. Aus der Abschätzung von Klufthohlraum (Khl) und dem wassergesättigten Felsvolumen :
$$V_{Sp} = Khl (\%) \times V_{Fels}$$
4. Aus dem Verdünnungsfaktor des Markierungsstoffes und dessen prozentueller Ausbringung.

Da für eine Berechnung oder auch nur für eine grobe Abschätzung des Speichervolumens aus Werten des Klufthohlraumes und des phreatischen Gebirgsvolumens keinerlei Anhaltspunkte gegeben sind, scheidet diese Art der Bestimmung für den Weizer Karst aus.

Wesentliche Voraussetzung für die Berechnung des Karstkörpervolumens ist in jedem Fall die möglichst exakte Erfassung der unterirdischen Abflußkomponente (Quellschüttung).

Für die exakte Ermittlung des A_u wären kontinuierliche, synchrone Langzeitmessungen sämtlicher Quellen, die dem Karstgebiet zugeschrieben werden (80), die Voraussetzung. Aus Kostengründen konnten derartige Messungen nicht bei allen Quellaustritten vorgenommen werden, wohl aber bei den bedeutendsten. Zur Bemessung des gesamten unterirdischen Reservoirabflusses für den Karst östlich der Raab wurden die Abflußwerte der Langzeitbeobachtungen ebenso herangezogen wie die durch sporadische Messungen bei den übrigen Quellen gewonnenen. Auf diese Weise stand in den Jahren 1976 bis 1978 sowie 1982, 83% des gesamten Karstabflusses unter Beobachtung.

Der größte Unsicherheitsfaktor ergab sich in der Abschätzung der mittleren Verweilzeit der Karstwässer (MVZ), da im ganzen Untersuchungsbe- reich Wässer mit stark unterschiedlichem Alter austreten.

Während die Niederschläge im seichten Karst des Garracher Waldes, des Sattelberg, Parscha- u. Zetzuges rasch und konzentriert abfließen (vergl. Laufzeiten der Markierungsstoffe), tritt im tiefen Karst der Schöcklsynklinale, und zwar im tiefsten Stockwerk, ein deutlich verzögerter Abfluß auf (über Isotopenuntersuchungen im Detail siehe Kap.3).

Das Reservoirvolumen der "langfristigen Komponente":

Im vorliegenden Projekt wurde die Berechnung bzw. Abschätzung des Reser- voirvolumens (Speichervolumen) nach der isotopenhydrologischen Methode durchgeführt. Für den langfristigen unterirdischen Abfluß (A_U) wurden $11,05 \text{ Mio. m}^3$, für die MVZ der langfristigen Komponente aller Karstwäs- ser wurden 2 Jahre eingesetzt.

Aufgrund dieser Daten dürfte das Reservoir des Weizer Karstes ein Volu- men von

$$V_{\text{Res}} = 22,1 \text{ Mio. m}^3$$

haben.

Bezogen auf die Niederschlagshöhe von 1080 mm für das Sattelberg-Pat- scha-Zetz-Massiv und den mit ihnen verbundenen Randgebieten ergibt dies für 1982 folgenden A_U - Anteil :

	N-Menge	A_U
Karstfläche östlich der Raab, inkl. Rand- bereiche: 24 km ²	$25,92 \times 10^6 \text{ m}^3$ 100 %	$11,05 \times 10^6 \text{ m}^3$ 42,6 %

5. DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE DES KOMBINIERTEN MARKIERUNGSVERSUCHES

Die umfangreichen Untersuchungen im Weizer Karst in den Jahren 1972 bis 1982 waren die Voraussetzung für die Planung und Durchführung des umfangreichen Markierungsversuches am 29.10.1982.

Für die Auswahl der geeigneten Markierungsstoffe und deren Eingabemenge waren Ergebnisse aus Detailkartierungen, einem Markierungsversuch beim Nordeingang der Weizklamm (1981/82), sowie aus hydrographischen und physikalisch-chemisch-radiometrischen Untersuchungen herangezogen worden. Selbstverständlich wurden auch die Position und die Entfernung der Einspeisestellen zu den Hauptquellen im Süden in die Überlegungen einbezogen. Der wahrscheinliche Verdünnungsgrad der Markierungsstoffe wurde der Volumensberechnung für den Karstwasserkörper entnommen, doch lag die große Unbekannte in der Frage nach der bevorzugten Entwässerungsrichtung und Durchgangsgeschwindigkeit.

Die Aufgabe des kombinierten Markierungsversuches war es, Kenntnis über

- o die unterirdische Verbindung zwischen den Einspeisestellen und den Quellen zu erhalten
- o die hydrologischen und hydrogeologischen Eigenheiten des Weizer Karstes, im besonderen über die Entwässerung unter der Synklinalfüllung, also im tiefen Karst, zu erlangen
- o den Durchgang bzw. Rückhalt der unterschiedlichen Tracer (wie Sporen und Fluoreszenztracer) in der Schöcklkalkmulde zu erhalten und
- o das Retentionsvermögen, die Ausbildung der Transportwege, die Art der Karstwasserbewegung in der Schöcklkalksynklinale zu erhalten

Für den Markierungsversuch wurden 5 inaktive und 2 aktive Einspeisestellen (Abb. 20) gewählt: Westlich der Raab EINSPEISESTELLE Nr.1 und 2 (beim Jagdhaus südlich des Schachner Kogel und Röhre in der Dolinenwand südöstlich des Jagdhauses); östlich der Raab Nr.3, die aktive Schwinde des Haselbaches, Nr.4 ein Schacht in der Graslhöhle, Nr.5 der Höhlenaufschluß am Wachthaussattel; östlich der Weizklamm, Nr.6 das Pat-schaloch und Nr.7 eine aktive Schwinde in der Talwurzel des Poniglgrabens.

Mitte September 1982 wurden die 5 inaktiven Einspeisestellen mit 15-prozentiger Salzsäure vorbehandelt, wobei stets der Vorspülung mit 200 l reinem Wasser die Säuerung folgte. Ziel dieser Vorbehandlung war es, besonders die oberflächennahen Klüfte, die durch Verwitterungsprodukte verstopft sein können, "wasserwegiger" zu machen und womöglich eine Verbindung dieser Klüfte mit solchen, die in die Tiefe reichen, zu erzwingen. Eine Verbesserung der Einspeisebedingungen zieht zwangsläufig einen günstigeren Ausgang des Markierungsversuches nach sich, was in der Tat auch eintrat.

Die meteorologischen und hydrologischen Voraussetzungen für den positiven Ausgang eines kombinierten Markierungsversuches waren zunächst ungünstig. Noch vor dem ersten Einspeisetermin am 4.10.1982 hatten katastrophale Einzelniederschläge im Juli (22. u. 24.7.: 57 mm) und August

(8.8.: 52,4 mm) die hydrologischen Verhältnisse wesentlich verändert, das Reservoir des Karstkörpers aufgefüllt. Als dann noch am 1.10. (45 mm) und 4.10. Gewitter und Starkregen niedergingen, mußte der Versuch aufgeschoben werden, da sowohl die Abflüsse der Oberflächengerinne als auch der Quellen über die Hochwasserschwelle gestiegen waren.

Nach beinahe einmonatiger Wartezeit, nach Beruhigung der Lage, erfolgte am 29.10.1982, unter erhöhten Mittelwasserbedingungen, die Einspeisung der Markierungsstoffe.

5.1 Die Einspeisung am 29.10.1982

Nr.1 - Jagdhaus südlich des Schachner Kogels (675 m Sh).

Die Einspeisestelle wurde künstlich geschaffen, indem an der Außenwand vor der ehemaligen Küche des Jagdhauses die Deckschicht über dem massiven Schöcklkalk abgehoben und eine Kluft freigelegt wurde. In diese Kluft wurden 15 kg blaue Sporen, die in 150 l aufgeschlämmt waren, in der Zeit zwischen 12:15 und 12:25 Uhr abgehebert.

24 Stunden vor und nach der Einspeisung wurde mit Leitungswasser (0,2 l/s) gespült.

Nr.2 - Doline südöstlich des Jagdhauses (ca.660 m Sh).

Am Nordhang einer Walddoline, in erhöhter Lage über dem Dolinenboden, befindet sich die 2.Einspeisestelle. Es ist dies eine nach NE einfallende inaktive Karströhre, in die nach einer Vorspülung von ca.3 m³ Wasser, 15 kg violette Sporen, aufgeschlämmt in 200 l, in der Zeit zwischen 12:20 und 12:28 Uhr eingespeist wurden. Die Nachspülung erfolgte ebenfalls mit 3 m³ Wasser.

Nr.3 - Haselbachschwinde (585 m Sh).

Das Haselbachgerinne, mit seinem oberen Einzugsgebiet in der Ton-Kalk-schieferserie des Stroß, versinkt nachdem es das Kalkterrain erreicht hat, je nach Wasser- und Sedimentfracht, auf einer variablen Strecke. Zur Zeit der Einspeisung betrug der Abfluß im engeren Schwindenbereich (20 bis 30 m³) 0,3 l/s. Nachdem zuvor erfolglos versucht worden war das Festgestein im Schwindenbereich zu ergraben, um damit den Abfluß in den Karst konzentriert markieren zu können, wurde in der Zeit zwischen 9:30 und 9:35 Uhr 10 kg Eosin, vorgelöst in 100 l, mit dem Schlauch in das offene Gerinne abgehebert.

Nr.4 - Schacht in der Graslöhle (ca.700 m Sh).

Im System der Graslöhle befindet sich etwa auf halber Strecke zum "Dom" der Abgang zu einem etwa 8 m tiefen Schacht. In diesen wurden zwei Markierungsstoffe eingebracht: Indiumkomplexlösung (4,5 kg metallisch) und 16 kg grüne Sporen. Vom Höhleneingang bis zum Schacht wurde eine Schlauchleitung gelegt, durch die zuerst die Vorspülung mit 4 m³ Wasser, anschließend, in der Zeit zwischen 12:00 und 12:05 das als EDTA-Komplex in ca. 250 l vorgelöste Indium, zwischen 12:05 und 12:30 Uhr, die in

200 l aufgeschlämmten Sporen und zuletzt die Nachspülung mit 8 m³ Wasser geleitet wurden.

Nr.5 - Höhle am Wachthaussattel (ca. 880 m Sh).

Durch den vom Parkplatz Katerloch nach Osten führenden Forsterschließungsweg wurde ein Höhlensystem am SE-Abfall des Sattelberges freigelegt, das sich im Bereich einer NNW-SSE verlaufenden Störung gebildet hatte. In dieses System wurde über ein Rohr, das zu einem Höhlenschlauch führte, in der Zeit zwischen 12:00 und 12:20 Uhr, 10 kg Rhodamin BX 3, vorgelöst in ca.270 l, zwischen 12:30 und 12:37 Uhr 15kg rote Sporen, abgehebert. Die Spülung erfolgte mit ca. 6m³ Wasser, das sofort abzog.

Nr.6 - Patschaloch (ca. 980 m Sh).

Am Nordwestabfall des Patschaberges, kurz oberhalb des Forsterschließungsweges von Greith zum Patschaberg-Sattel, liegt das Patschaloch. Es ist eine geräumige Klufthöhle (3 - 5 m breit, ca 15 m tief und ca. 50 m lang), deren Boden mit Bruchmaterial von Decke und Wänden bedeckt ist. Im Höhlentiefsten führen an der Ostwand, die mit Sinter belegt ist, zwei Klüfte in die Tiefe. Hier wurde nach einer Vorspülung mit ca. 3 m³ in der Zeit zwischen 12:50 und 13:00 Uhr, bei gleichzeitiger Einbringung von 4 m³ Wasser, 10,5 kg Uranin, vorgelöst in 100 l Wasser, eingespeist. Die Nachspülung erfolgte mit 3 m³.

Nr.7 - Poniglgraben / Hohe Zetz (ca. 1030 m Sh).

In einem östlichen Seitengraben des obersten Poniglgrabens, nordwestlich der Zetz (1275 m), entspringt dem Kalkschieferverband eine Schichtstauquelle in 1100 m Sh. Die Schüttung der Quelle ist stark schwankend, zur Zeit der Einspeisung betrug sie ca. 1 l/s. Ein erneutes Versiegen der Quellwasser in den liegenden Schöcklkalk wird zunächst durch die unterhalb des Quellmundes anschließende Hangschuttverkleidung mit Tuffablagerungen verhindert. Dort aber, wo die Überdeckung zu geringmächtig wird, wo die Wasser wieder in direkten Kontakt mit den Kalken treten, versinken sie auf einer variablen Strecke - je nach Wasserführung - von etwa 40 Metern. In diesem Schwindenbereich wurden in der Zeit zwischen 10:45 und 11:05 Uhr 10 kg Amidorhodamin G-extra, vorgelöst in 100 l, abgehebert. Rückstau entstand keiner.

5.2 Probennahme und Probennahmestellen

Über das gesamte Untersuchungsgebiet waren 44 Probennahmestellen verteilt (Abb. 3). Aus hydrogeologischen Überlegungen wurden Planktonnetze für die gefärbten Sporen (blau, violett, grün, rot) nur in den Quellen der Raabklamm (Nr.2, 3, 4) sowie in der Baumühlquelle (10) und Wiesenquelle (41) eingesetzt. Mit Ausnahme bei der Quelle Nr.2 wurde in allen übrigen sowohl Direktproben als auch Aktivkohlesäckchen gezogen. In den Oberflächengewässern hingegen ausschließlich Kohlesäckchen.

Der Probenahmerythmus für die Direktproben erfolgte bei den Quellen im Raabtal während der ersten 2 1/2 Tage dreistündig, die folgenden 1 1/2 Tage vierstündig, am 5. Tag fünfstündig, vom 6. bis 9. Tag sechsstündig,

vom 10. bis 13. Tag achtstündig, vom 14. bis 17. Tag zwölfstündig und ab dem 18. Tag einmal pro Tag. Im selben Rhythmus wurden auch die Proben in Ponigl gezogen.

Für den Bereich Weizbach hingegen konnten diese Zeitintervalle aufgrund der großen Entfernung zwischen der nördlichsten und südlichsten Probenstelle nicht eingehalten werden. Es wurden daher die Probennahmefahrten so arangiert, daß in den ersten 15 Tagen dreimal täglich, vom 16. bis 29. Tag zweimal täglich und ab dem 30. Tag einmal täglich beprobt wurde.

Das Intervall für die Aktivkohlesäckchen war höchst unterschiedlich und richtete sich nach der Entfernung zur Einspeisestelle, Bedeutung des Quellaustrittes, Erreichbarkeit und verfügbarem Personal.

Die Probennahme begann noch vor der Einspeisung am 29.10.1982 und endete in der Raabklamm am 26.1.1983 (Wasserprobe) und 13.5.1983 (Kohle), im Weizbachtal am 15.12.1982 (Wasserprobe) und 9.5.1983 (Kohle), in Obersdorf am 15.12.1982 (Wasserprobe) und 18.5.1983 (Kohle), in Ponigl am 15.12.1982 (Wasserprobe) und 18.5.1983 (Kohle) und in Anger am 15.1.1983 (Kohle).

Die Proben für die Sporenanalysen wurden termingleich mit den Wasserproben gezogen. Zu zusätzlichen Probennahmen kam es lediglich bei der Baumühlquelle, als nämlich im Anschluß an Gewitter und Starkregen im April und Juni 1984 bei dieser die Schüttung stark gestiegen und ihr Wasser trübe war.

Die Messung der fluoreszierenden Tracer in den Direktproben, wie auch in den Kohleproben erfolgte im Institut für Geothermie und Hydrogeologie der FGJ-Graz, die Analysen nach dem inaktiven Tracer Indium am Österreichischen Atominstitut Wien und die Sporenmikroskopie am Geotechnischen Institut der BVFA-Arsenal Wien.

5.3 Die unterschiedlichen Tracer und ihre Ergebnisse

Die Fluoreszenztracer

Die zur Einspeisung gelangten Fluoreszenztracer waren Uranin, Eosin, Amidorhodamin G-extra und Rhodamin BX 3.

In den Wasser- und Aktivkohleproben der 43 von 44 Beobachtungsstellen (Nr.2 nur auf Sporen) wurde der Nachweis auf Fluoreszenztracer spektralfluorimetrisch geführt. Über die Nachweisprobleme mehrerer Fluoreszenzfarbstoffe in ein und derselben Probe schreiben H. BEHRENS, et al (1976): "Die relativ breiten Peaks der Fluoreszenzfarbstoffe liegen im Spektrum jedoch so nahe beieinander, daß sie sich zum Teil überlagern. Daher ist es nicht immer möglich, Mischungen der Fluoreszenztracer nur durch Fluoreszenzmessungen allein zu analysieren. Ohne eine gegenseitige Störung lassen sich Uranin und Rhodamin in Gemischen rein instrumentell bestimmen. Relativ geringe gegenseitige Störungen treten in den Mischungen Uranin/Amidorhodamin und Eosin/Rhodamin auf. Stärkere gegenseitige Beeinträchtigungen des Nachweises sind in den Gemischen Uranin/Eosin und Amidorhodamin/Rhodamin zu verzeichnen. Nur noch begrenzt gelingt der instrumentelle Nachweis von Eosin und Amidorhodamin in Gemischen".

Die Schwierigkeiten bei der fluorimetrischen Analyse von Gemischen der Fluoreszenzfarbstoffe können durch zusätzliche Behandlungsverfahren behoben werden.

Aus dieser Tatsache ergibt sich übrigens auch die Notwendigkeit, daß bei kombinierten Markierungsversuchen den an unterschiedlichen Stellen gleichzeitig eingespeisten Fluoreszenztracern, völlig verschiedene "Begleittracer" mitgegeben werden, da wegen der weiten und oft komplexen unterirdischen Karstverbindungen in einem Austritt vielfach mehrere Tracer gleichzeitig austreten können.

Für die Auswahl der Fluoreszenztracer und deren Zuordnung zu den verschiedenen Einspeisestellen waren die aus mehreren Großmarkierungsversuchen gewonnenen Erfahrungen über die Eignung des einen oder anderen Tracers in unterschiedlichem lithologischen Milieu, sowie Überlegungen über die mögliche Durchgangsdauer, den Verdünnungsgrad und damit Nachweisgrenze maßgebend.

Spektrale Überlegungen, wie sie zuvor genannt wurden, spielten bei der Auswahl der Fluoreszenztracer eine geringere Rolle, da wie ebenfalls erwähnt, von vornherein klar war, daß wegen der Komplexität des Untersuchungsgebietes und der besonderen Lage der Quellaustritte mit dem Zutagetreten sämtlicher Fluoreszenztracer in einigen Quellen gerechnet werden mußte.

Die Entnahme, der Transport und die Aufbewahrung der Proben für die Bestimmung der Fluoreszenzfarbstoffe geschah in Polyäthylenflaschen von 100 ml.

Einen Überblick über die mit Fluoreszenztracern nachgewiesenen Verbindungen vermittelt Abb. 21. Sie zeigt in schematischer Weise die Fließwege von den Einspeisestellen zu den Quellen.

Die wesentlichen Daten der Fluoreszenzaustritte werden in Tabellenform für die einzelnen Tracer zusammengefaßt (Tab. 17 bis 22).

In den Tabellen wird angeführt:

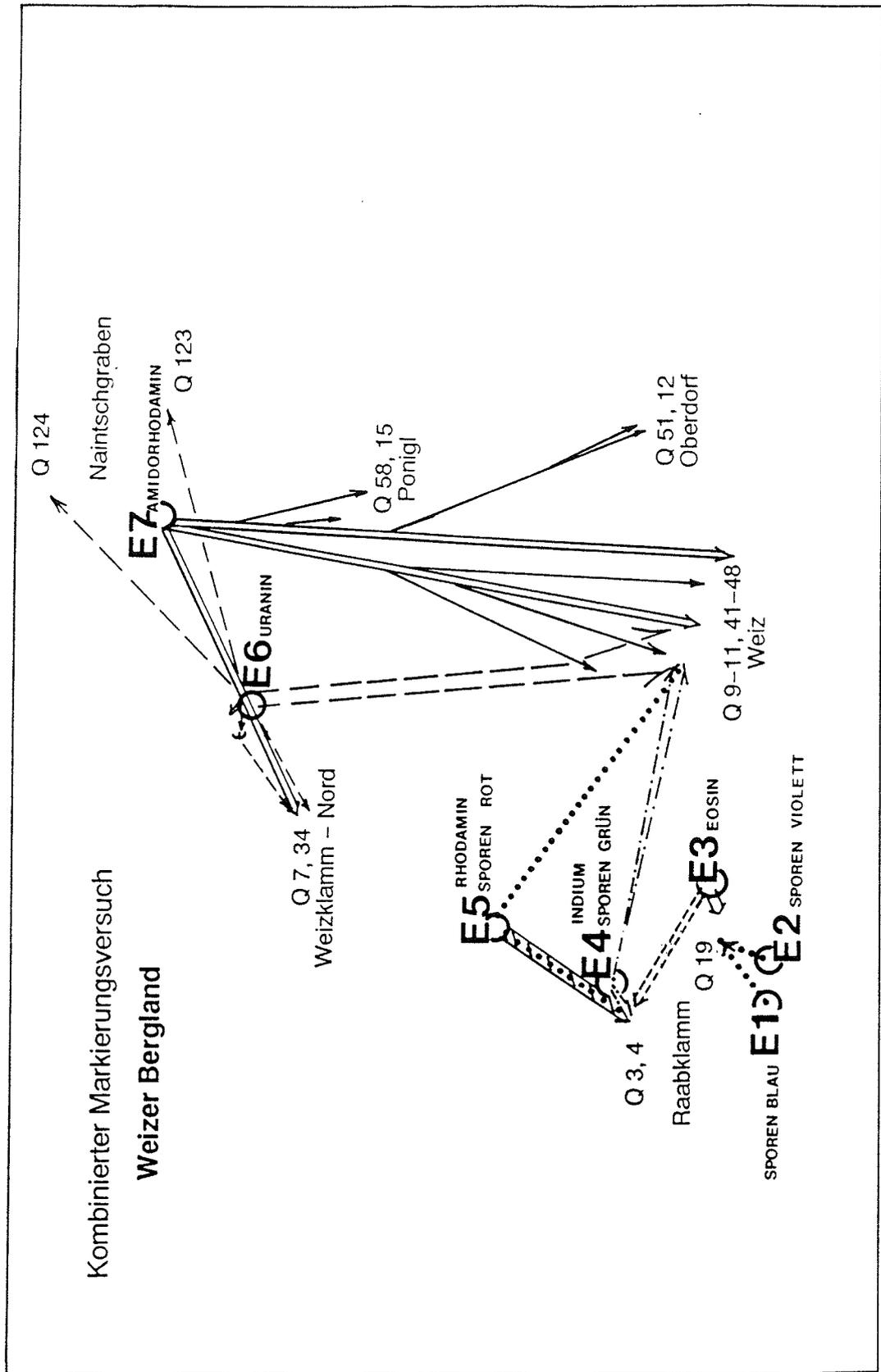
- o Ort der Probennahme
- o Fließzeit bis zum ersten Tracernachweis
- o Fließzeit bis zum Durchgang des Konzentrationsmaximum
- o maximale Tracerkonzentration in den Wasserproben

Die Reihung der in den Tabellen angeführten Probennahmestellen folgt von West nach Ost: Proben des Raabtales, des Weizbachtals, des Fladnitzbachtals und Feistritztales.

Ergebnisse mit Eosin (Abb. 20)

Mit Eosin wurde die aktive Schwinde im Haselgraben markiert. Da im Schwindenbereich feinklastisches Material mit hohem Tonanteil vorlag, wurde Eosin gewählt.

Abb. 21 Schema der unterirdischen Wasserverbindungen nach den Ergebnissen
des Markierungsversuches 1982



Mit der Markierung der Haselbachwässer sollte festgestellt werden, ob diese im Untergrund ausnahmslos der Raabklamm zufließen, oder ob auch ein Teil den tieferen Karstwasserkörper alimentiert und von hier unter dem Stroß hindurch zur Quellgruppe um die Baumühlquelle gedrückt wird. Wäre dem so, dann würde sich auch das Einzugsgebiet für den Karstkörper der Synklinale auf die Nordwest- und Westhänge des Stroß ausweiten.

Bis zum Beginn des Markierungsversuches war trotz eingehender Quellkartierung der schwer ersichtliche Quellaustritt (Hs) im Bachbett der Raab, kurz unterhalb der Haselgrabenmündung in die Raabklamm, nicht registriert worden. Erst bei der Kontrolle dieses Streckenabschnittes, nachdem die Einspeisung schon zwei Tage vorüber war, fiel durch die rötliche Färbung der Austritt (0,2 l/s) auf.

Durch den verspäteten Probennahmebeginn kann die Zeit bis zum ersten Eosinaustritt in Hs nur annäherungsweise aus den Aktivkohleanalysen der Station Q 100 (=Raabunterlauf) mit ca. 1 Stunde abgeschätzt werden. Die Maximalkonzentration, die in Hs gemessen wurde, betrug 54,1 mg/m³ (am 2.11.82, 12:00 Uhr).

Von den Quellen im Raab- und Weizbachtal zeigte nur der Austritt Nr.3 (Gösser Q.) in zwei Aktivkohleproben positive Werte und dies zudem noch sehr spät (12.12. bis 29.12.1982; 26.1. bis 13.5.1983). Eine Verbindung Einspeisestelle - Gösser Q. wäre aufgrund der Höhendifferenz möglich; die Fließzeit von ca. 45 bis 60 Tagen auf 2 km (Luftlinie) ist allerdings für Karstverhältnisse relativ lang.

In den Proben (Wasser und Aktivkohle) der Baumühlquelle konnte kein Eosin nachgewiesen werden. Für die Haselbachwässer scheint damit die Haupttrichtung ihres unterirdischen Abflusses, nämlich die Raabklamm, gesichert (Abb.20).

Gerade weil nur ca. 1,3 % der eingespeisten Eosinmenge mengenmäßig nachgewiesen werden konnte und das trotz der Eingabe unter günstigen Voraussetzungen (aktive Schwinde), liegt der Schluß nahe, daß der Großteil der unterirdischen Haselbachwässer direkt in das Talgrundwasser bzw. schwer ersichtlich in die Raab abfließt.

Die Ergebnisse mit Rhodamin BX 3 (Abb. 20)

Durch die Rhodaminmarkierung der inaktiven Schwinde Nr.5 am SE-Hang des Sattelberges sollte geklärt werden, ob Verbindungen zu dem Quellbezirk Baumühlquelle/Ruine Sturmberg, den Quellen Nr.3 und 4 in der Raabklamm und zu der Quelle Nr.35 in der Weizklamm bestehen. Die anschließende Tab. Nr. 17 gibt die Daten der mit Rhodamin BX 3 registrierten Tracerdurchgänge bekannt.

Tab. 17

Probennahme- stelle	Quelle Nr.	Zeit bis zum ersten Tracernachweis (h)	Zeit bis zum Durchgang d. Tracemax.(h)	Konzentration im Tracemax. (mg/m ³)
2	3	7 h 40 min	51	0,03
3	4	22 h 40 min	51	0,03
8	10	n.n.*	n.n.	n.n.
5	35/1	n.n.	n.n.	n.n.

* n.n. = nicht nachweisbar

Die Einspeisung erbrachte also den Nachweis der primären Verbindung zwischen der Einspeisestelle Nr.5 und den südöstlich gelegenen Quellen in der Raabklamm, was auf eine bevorzugte und rasche Karstentwässerung entlang dem NE-SW-Streichen der steilstehenden Schichtflächen mit ihren Korrosionshöhlräumen hinweist (Abb. 20).

Da aber der Gesamtabfluß dieser Quellen im Vergleich zur infiltrierten Niederschlagsmenge sicherlich zu gering ist, muß ein Teil der Wässer einen weiteren Abfluß finden, z.B. nach Südosten. Die Begründung, weshalb in der Baumühlquelle oder den benachbarten Austritten kein Rhodamin nachgewiesen werden konnte, liegt vermutlich an seiner Sorption durch tonige Sedimente. Die starke Trübung der Baumühlquelle im Gleichschritt mit ihrer Schüttungszunahme nach Starkniederschlägen im Hinterland ist ein Indiz für das Vorhandensein feinklastischer Sedimente in den Karsthöhlräumen.

Die Fließgeschwindigkeiten zu den Quellen in der Raabklamm (ca. 2,2 km Luftlinie) und in der Weizklamm (ca. 2,6 km) sind wesentlich höher als die von der Haselbachschwinde zur Gösser Q.

Die Ergebnisse mit Uranin (Abb. 22)

Der Einspeisepunkt für Uranin liegt am NW-Hang des Patschaberges im inaktiven Patschaloch, von Weiz aus gesehen jenseits der orographischen Wasserscheide. Zudem liegt die Klufthöhle in einem Schöcklkalkstreifen der südlich und nördlich von ebenfalls steilgestellten Kalk-Schiefer-Paketen flankiert wird. Die Einspeisung sollte klären, ob die zum Schöcklkalk relativ undurchlässigeren Kalk-Schiefer-Zwischenlagen als Schürze fungieren, oder ob das unterirdische Entwässerungssystem von Süden über die orographische Wasserscheide hinweg auch die Nordhänge des Patschaberges miteinbezieht.

Tabelle Nr. 18 gibt die Daten der mit Uranin registrierten Tracerdurchgänge bekannt.

Tab. 18

Probennahme- stelle	Quell- Nr.	Zeit bis zum ersten Tracernachweis (h)	Zeit bis zum Durchgang d. Tracernachweis (h)	Konzentration im Tracernachweis. (mg/m ³)
106	7/3	< 15	< 17	439
4	34	73	113	8
6	9	114	274	0,009
7	41	50	138	5,3
8	10	50	186	0,8
9	11	186 (Spuren)	Spuren	Spuren
10	44	58	138	0,0011
11	46	n.n.	n.n.	n.n.
12	53	n.n.	n.n.	n.n.
13	51	n.n.	n.n.	n.n.
104	31 u.30	< 23	<173	Aktivkohle
123	123	<144	<312	Aktivkohle
124	124	<144	<144	Aktivkohle

n.n. = nicht nachweisbar

Als Beispiel für den Uranindurchgang (aus Ergebnissen der Direktproben wie Aktivkohleproben) wurde jener in der Baumühlquelle Nr. 10 (Abb. 23) dargestellt.

Interessanter Weise sprachen auf diesen Versuch auch die nördlichen Patschawasser (7/1/2/3) an, die 1981/82 der Grund für einen Vorversuch waren und bei dem bewiesen werden konnte, daß eine Verbindung zwischen diesen und den versinkenden Bachwässern des Talgraben besteht. Aufgrund der Vorversuchsergebnisse sowie aus Überlegungen, die sich mit der speziellen Austrittslage der Quellen oder dem Mengenvergleich zwischen Bachabfluß und Quellschüttung befaßten, konnte man eher zu dem Schluß kommen, daß diese Quellen ein engeres Einzugsgebiet haben, wobei die Schüttungshöhe der Quellen vorwiegend vom Abfluß der nahen Oberflächengewässer abhängt. Dies war auch der Grund, warum zunächst die Patschawasser nicht mit Direktproben, sondern nur mit Aktivkohle beobachtet wurden.

Zu diesem überraschenden Ergebnis gesellten sich noch weitere. Die Markierung des Patschaloches bestätigte mit dem Uranindurchgang in den Quellen des Kohlgraben (= oberer Talgraben, Q 104), weiters in den Quellen Nr.34 bis in den Quellen nördlich von Weiz, wie auch in den hochgelegenen Quellen des Pözlbaehes (Nr.123) bzw.Steingrabens (Nr.124), daß weder das südliche noch das nördliche Kalk-Schiefer-Band eine Trennfunktion ausübt, und daß vom Injektionsbereich eine radiale Entwässerung besteht. Somit ist der Patschaberg nicht in einzelne hydrologische Einheiten zerlegt. (Abb. 22 u. 21)

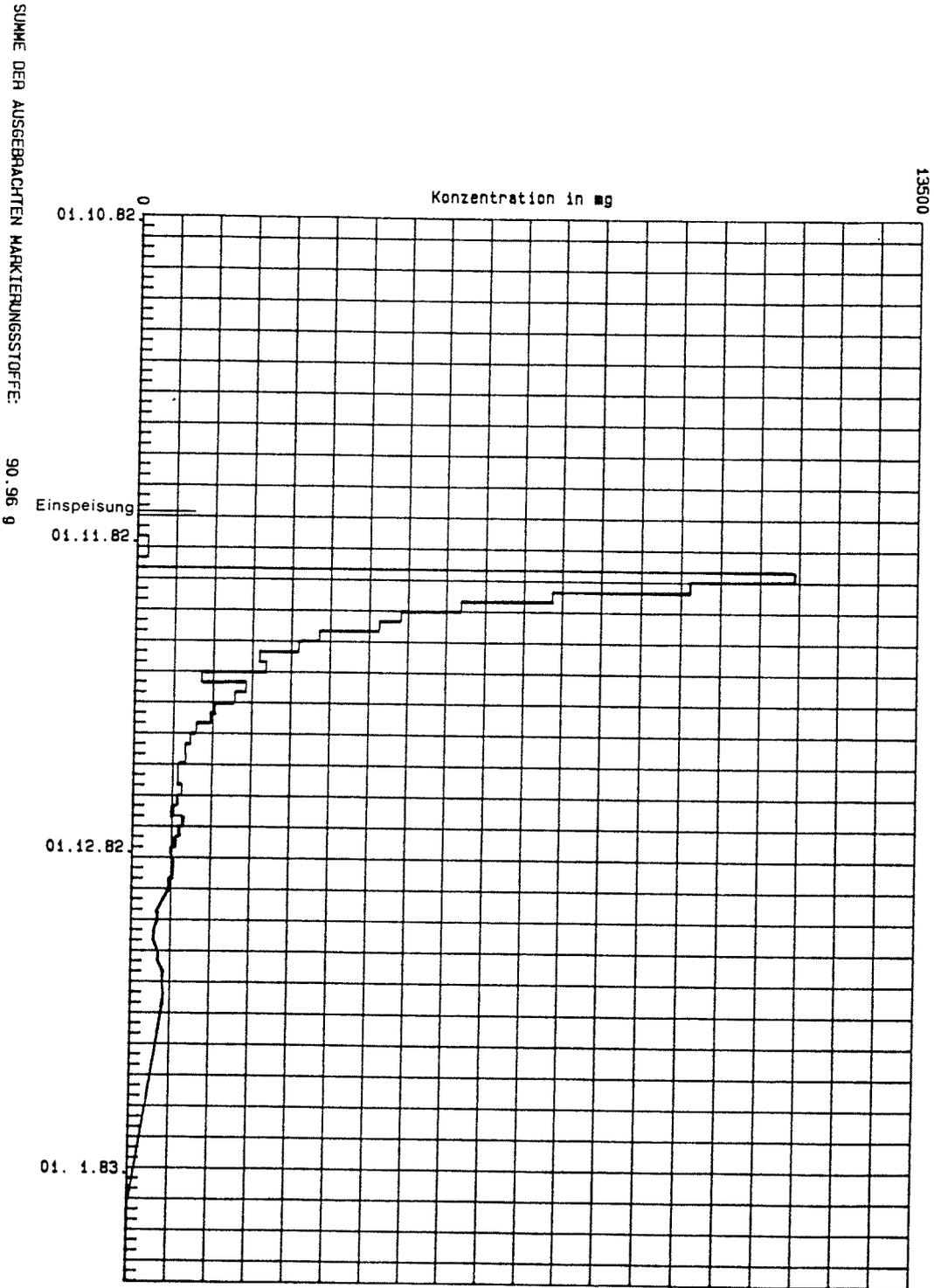
Auf die Uranineinspeisung nicht angesprochen haben weder die Quellen im Ponigl-Oberdorf-Bereich, noch im Graben westlich von Anger. Einzelne positive Werte werden als antropogene Verunreinigungen gewertet. Begünstigend für den überaus positiven Ausgang des Versuches war der zum Zeitpunkt der Einspeisung erhöhte Karstwasserstand.

Abb. 23

KOMBINIERTER MARKIERUNGSVERSUCH 'WEIZER BERGLAND'

SUMMENKURVE DES MARKIERUNGSTOFFES URANIN

IN QUELLE: 0.10



Bezieht man in die Auswertung der Tracerdurchgänge auch die Entfernung zwischen Einspeisestelle und Quellaustritt mit ein, so lassen sich daraus die Abstandsgeschwindigkeiten (maximale und mittlere) berechnen:

Tab. 19

Vom Patschaloeh zur Quelle E6	Nr.	Entfernung (m, Luftlinie)	max. Geschw. (m/h)	mittl. Geschw. (m/h)
	7/3	1 000	> 126	> 112
	34	1 850	25	16
	9	4 750	42	17
	41	5 450	109	39
	10	5 500	110	29
	123	3 870	> 27	12
	124	3 250	> 25	> 23

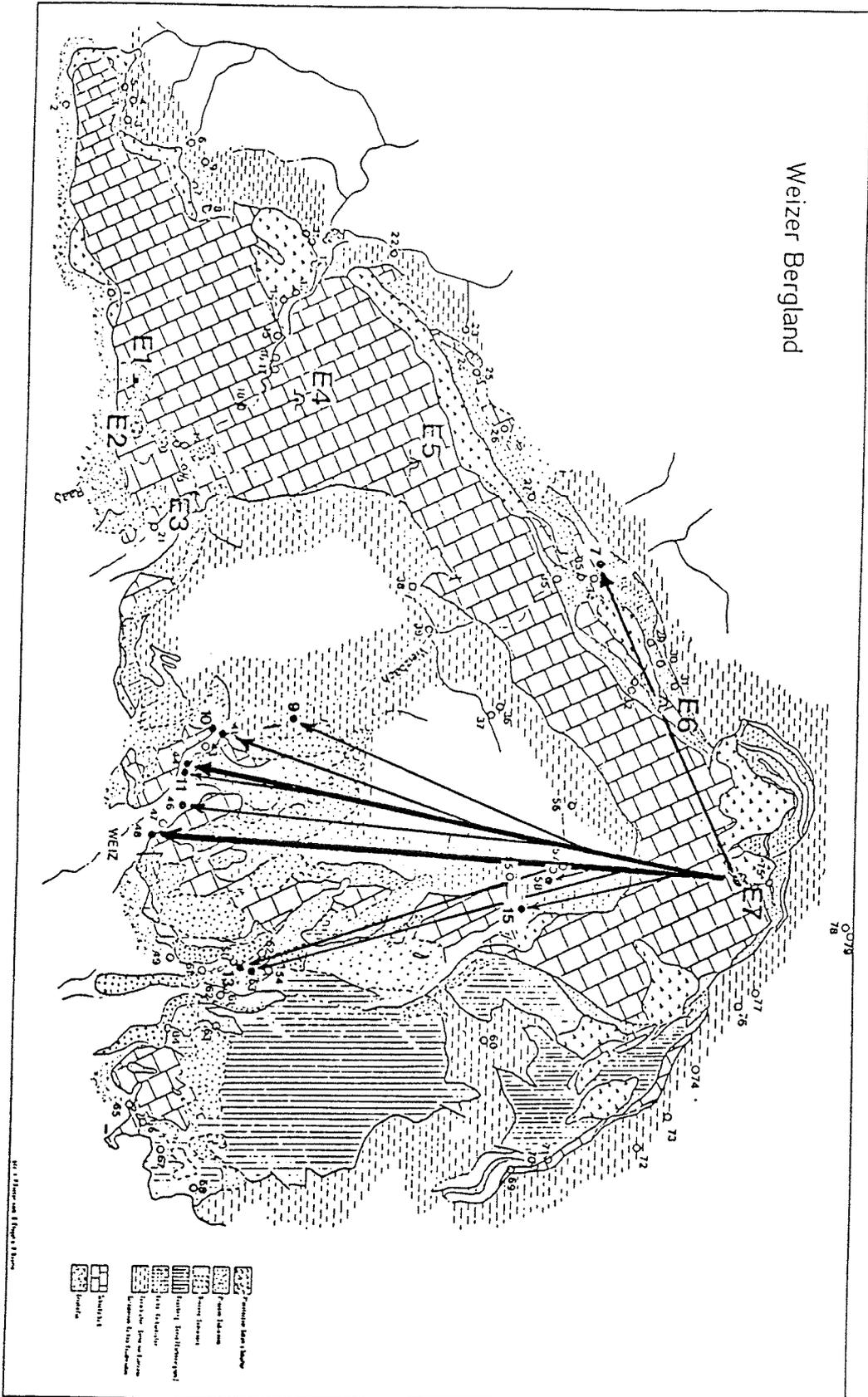
Aus dieser Aufstellung wird ersichtlich, daß es im seichten Karst der nördlichen Antiklinale wie auch im überdeckten Karst der Synklinale neben dem weiterverzweigten Kluftsystem einige besonders gut entwickelte und über weite Strecken wahrscheinlich isoliert verlaufende Karstschläuche und Höhlengänge geben muß, die einerseits SW-NE, andererseits N-S verlaufen und in denen die infiltrierten Wässer mit hoher Geschwindigkeit der Quelle zufließen. Unterstrichen wird dies durch ein weiteres Faktum: je geringer die Fließgeschwindigkeit, etwa zu den Randbereichen hin, desto niedriger ist auch die maximale Tracerkonzentration im Durchgang.

Die Ergebnisse mit Amidorhodamin (Abb. 24)

Die Einspeisung erfolgte in die aktive Schwinde (E 7) des Quellabflusses Nr. 75, etwa 80 Höhenmeter unterhalb des Austrittes. Zu klären war, ob von hier eine Verbindung zu den Quellen in Oberdorf (Nr. 50 bis 54), ob zu der im Schieferbereich gelegenen, in ihrem Chemismus aber wesentlich von den Wässern der Schieferserie abweichenden Quelle Nr. 15 in Ponigl, zu den Quellen im Zetzachtal westlich von Anger, oder gar zu dem Quellbezirk nördlich von Weiz besteht.

Wie aus der Tabelle 20 entnommen werden kann, brachte diese Einspeisung die spektakulärsten Ergebnisse (Abb. 24).

Abb. 24 Verbindungen zwischen der Amidorhodamin - Einspeisestelle und den Quellen mit einem eindeutigen Tracerdurchgang



Tab. 20

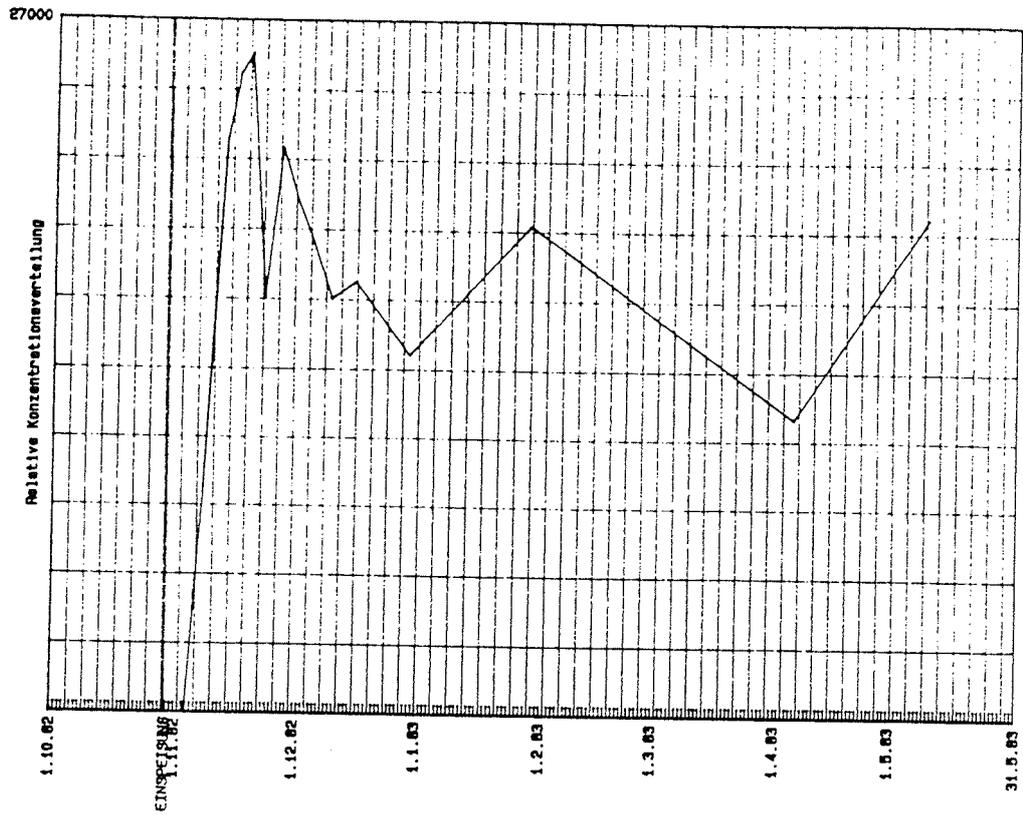
Probennahme- stelle	Quell- Nr.	Zeit bis zum ersten Tracer- nachweis (h)	Zeit bis zum Durchgang d. Tracermax.(h)	Konzentration im Tracermax. (mg/m ³)
106	7/3	27	91	21
6/109/110	9	< 480	-	Aktivkohle
7	41	220	260	0,04
8	10	180	276	0,04
9	11	28	*	0,007
10	44	11	20	0,06
11	46	20	*	0,02
12	53	54	*	0,03
13	13	29	*	0,02
14	58	15	49	0,04
15	15	12	65	0,07
113	48	< 48	*	Aktivkohle

* läßt sich nicht mit Sicherheit ermitteln

Der Tracerdurchgang (qualitative und quantitative Auswertung) in der Baumühl Q. Nr. 10 wird stellvertretend für die übrigen Quellen gezeigt (Abb. 25).

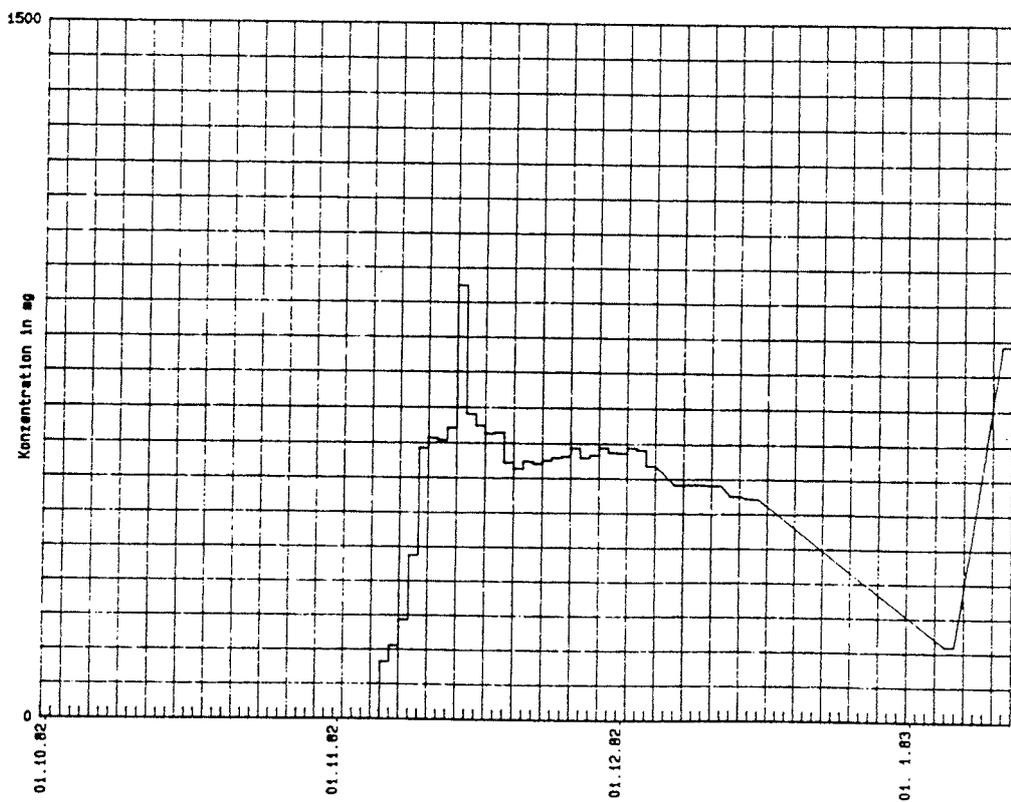
Abb. 25 KOMBINIERTER MARKIERUNGSVERSUCH "WEIZER BERGLAND"

Qualitative Auswertung des Amidorhodamin - Durchganges in der Baumühl - Quelle Nr. 10



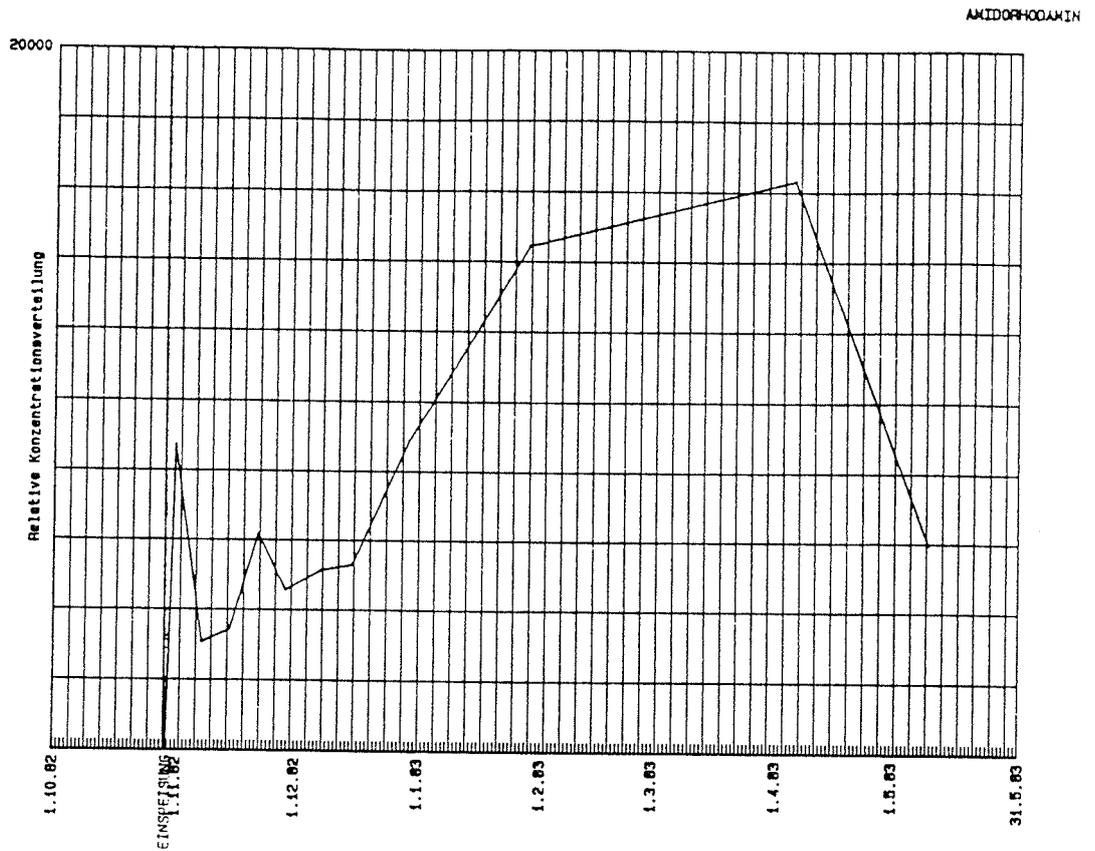
Quantitative Auswertung des Amidorhodamin-Durchganges in der Baumühl-Quelle Nr. 10

SUMMENKURVE DES MARKIERUNGSTOFFES AMIDORHODAMIN

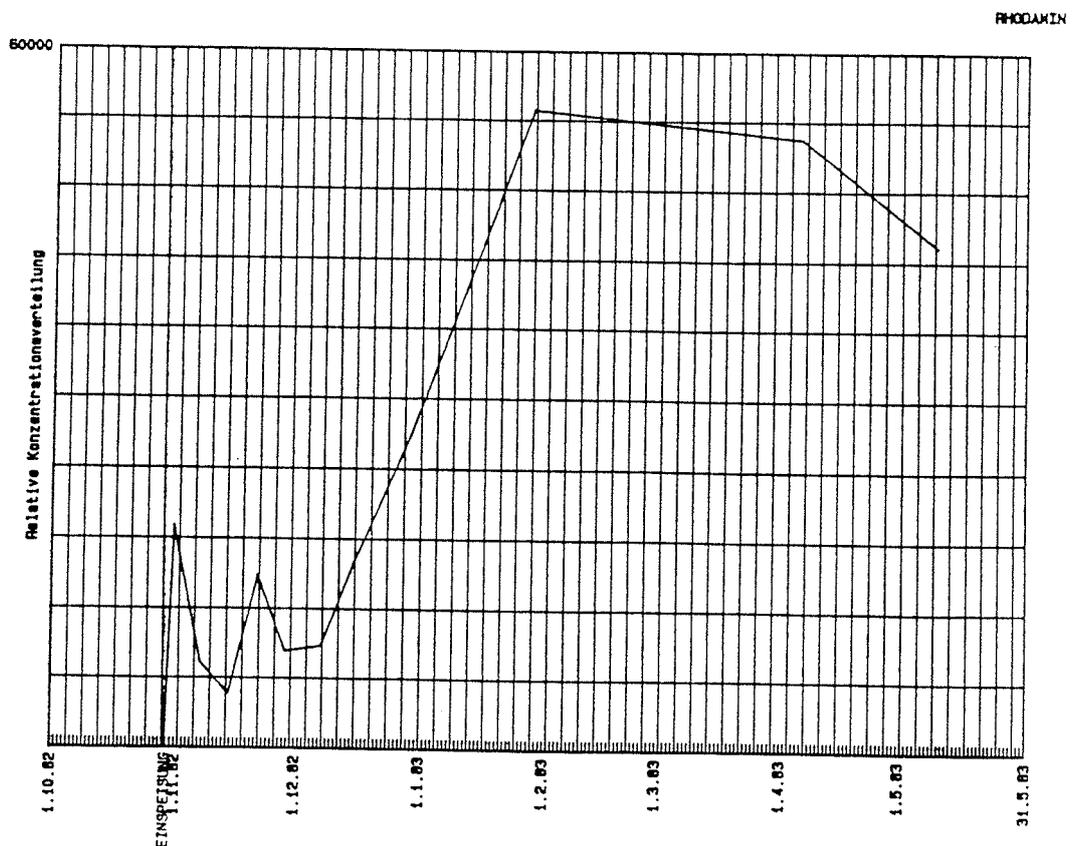


SUMME DER AUSGEBRACHTEN MARKIERUNGSTOFFE: 30.23 g

Abb. 26 Qualitative Auswertung des Amidorhodamin-Durchganges in der Quelle Nr. 48



Qualitative Auswertung des Rhodamin-Durchganges in der Quelle Nr. 48



Da die Entfernung Einspeisestelle E 7/Quellaustritte im Süden die größte im Untersuchungsgebiet war, mit einer hohen Verdünnung des Tracers daher gerechnet werden mußte, wurde der Tracer Amidorhodamin G-extra gewählt. Von diesem ist bekannt, daß er in geringsten Konzentrationen nachweisbar und seine Sorbierbarkeit niedrig ist.

Wie sich später herausstellte, war jedoch das von einer Handelsfirma bezogene Amidorhodamin nicht wie angenommen rein sondern bestand aus einer Mischung von 40 % Amidorhodamin und 60% Rhodamin. Somit waren in die Schwinde E 7 neben 4 kg Amidorhodamin auch 6 kg Rhodamin eingespeist worden.

Glück im Unglück: Allein die Trennung der Quellen in solche mit einem Durchgang beider Markierungsstoffe und solche in denen ausschließlich Amidorhodamin nachgewiesen werden konnte, führte jedoch zu wesentlichen karsthydrologischen Erkenntnissen.

Beide Tracer wurden zuerst in den der Einspeisestelle relativ nahe gelegenen Quellen Nr.58 und 15, später, ebenfalls mit einem eindeutigen Durchgang, in der Quelle Nr.48 (Abb. 26).

Amidorhodamin allein trat in den Quellen Nr. 9, 41, 10, 44, 11, 46, 13 u. 53 auf, Austritte, die am Gebirgsrand und bis zu 7 1/4 km von der Einspeisestelle entfernt liegen.

Die Austritte im Zetzbachgraben, westlich von Anger, sprachen auf die Markierung nicht an; lediglich eine positive Aktivkohleprobe (mit Amidorhodamin) wurde im Steingraben gezogen.

Durch den Wiederaustritt beider Tracer in den Quellen Nr.58 und 15 ist bewiesen, daß Wasser des seichten Karstes dem mit Schiefermaterial überdeckten Karst zufließen und hier in zwei "Fenstern" hochgedrückt werden. Bestand bei der Quelle Nr. 15 schon aufgrund der physikalisch-chemischen Kennwerte die Vermutung, daß hier Karstwässer austreten, so war dies für die Quelle Nr.58 neu.

Die beiden eindeutigen Tracerdurchgänge in der Quelle Nr.48, der südlichsten aus der Quellgruppe nördlich von Weiz und ca.7,25 km Luftlinie von der Einspeisestelle entfernt, erbrachten das interessanteste Ergebnis des kombinierten Markierungsversuches. Ohne die ungewollte Mischung der beiden Tracer aber wäre es dazu nicht gekommen. Diese Karstwässer, die die Entfernung Zetz-Quellaustritt in weniger als 48 Stunden zurücklegen, d.h. mit einer Geschwindigkeit von mehr als 151 m/h, müssen durch ein gut entwickeltes System von großlumigen Karstschläuchen fließen. Die hohe Fließgeschwindigkeit in Verbindung mit der Tatsache, daß das Rhodamin nicht sorbiert wurde, führt zu dem Schluß, daß die Hohlräume oberflächennah, (daher durch Hochwässer vom feinklastischen Material freigespült) und beinahe exakt N-S verlaufen müssen. Da die Quelle Nr.48 aber zu den Karstaustritten mit geringen Schüttungsschwankungen zählt, muß es ein weiteres System geben aus dem die "Grundlast" (mittlere Verweilzeit >2 Jahre) abgedeckt wird. Die physikalisch-chemischen Kennwerte lassen eine eindeutige Zuordnung über ihren Ursprung nicht zu. Genauere Hinweise lieferte erst deren Isotopenzusammensetzung (Kap.3), durch die die Mischung von Wässern aus dem überdeckten und tiefen Karst zu erkennen ist.

Wie aus der Tracerkonzentration in den Quellen am Südrand des Weizer Berglandes hervorgeht, erfuhr der überdeckte Karstkörper eine unglaublich gleichmäßige Durchmischung auf einer Breite, die durch die Uraninmarkierung nicht erreicht wird.

Während sich also die Wasser aus dem Zetzgebiet fächerförmig zu bei - nahe allen Quellen im Süden verteilen, konzentriert sich der Südabfluß der Infiltrate aus dem Bereich Patschaloch und westlich davon, auf die Quellen südlich und westlich der Ruine Sturmberg (Abb. 24 u. 21).

Die Daten der Tabelle 20 lassen aber auch erkennen, wie unterschiedlich die Fließgeschwindigkeiten im hangenden Karstsystem sein müssen. Berechnungen ergaben, daß sie, ausgehend von der Einspeisestelle E 7, zwischen 15 m/h zur Boarquelle Nr. 9 im Westen, und maximal 636 m/h zur Quelle Nr.44 im Süden reichen.

Die Markierung mit Indium (Abb. 27)

Indium ist ein aktivierungsanalytischer Tracer, der als EDTA-Komplex gemeinsam mit grünen Sporen in den Schacht der Graslöhle (Einspeisestelle Nr.4) eingebracht wurde.

Durch die Einspeisung sollte geklärt werden, ob von hier eine Verbindung zu den Quellen in der Raabklamm oder/und zu dem Quellbezirk mit der Baumühlquelle besteht.

Tabelle 21 gibt die Daten der mit Indium registrierten Tracerdurchgänge, Abb. 27 die Verbindungswege bekannt.

Tab. 21

Probennahme- stelle	Quell- Nr.	Zeit bis zum ersten Tracer- nachweis (h)	Zeit bis zum Durchgang d. Tracermax.(h)	Konzentration im Tracermax. (mg/m ³)
2	3	14	131	0,6
3	4	25	125	0,5
7	41	114	*	0,1
8	10	58	74	0,2

* läßt sich nicht eindeutig bestimmen

Der Nachweis einer Verbindung zwischen Graslöhle und Raabklammquellen war erwartet, unbestimmt war jedoch, ob die Verbindung zur Baumühlquelle nachweisbar ist, da der tiefe Schacht als Einspeisestelle sicherlich nicht als ideal bezeichnet werden kann (nur gab es nichts besseres) und außerdem die Frage offen stand, wie sich Indium im Kontakt mit dem feinklastischen Material der Karsthohlräume verhalten wird. Zudem war offen, ob die eingespeiste Menge nach Verdünnung ausreicht, um noch einen eindeutigen Durchgang nachweisen zu können.

Durch den eindeutigen Indiumnachweis in der Baumühl- und Wiesenquelle war es nun erstmals gelungen, eine Verbindung dieser mit dem westlichsten Teil des Sattelberges nachzuweisen.

Die maximalen Fließgeschwindigkeiten zu den Quellen in der Raabklamm (Nr. 3, ca. 1,15 km; Nr.4 , ca. 1,4 km entfernt) betragen z.Z. des Versuches 82 m/h bzw. 56 m/h; zu den Quellen am Südennde des Weizbachdurchbruches, der Baumühlquelle (Nr.10) und Wiesenquelle (Nr.41) in ca. 4 km Entfernung, betragen sie 69 m/h bzw.35 m/h.

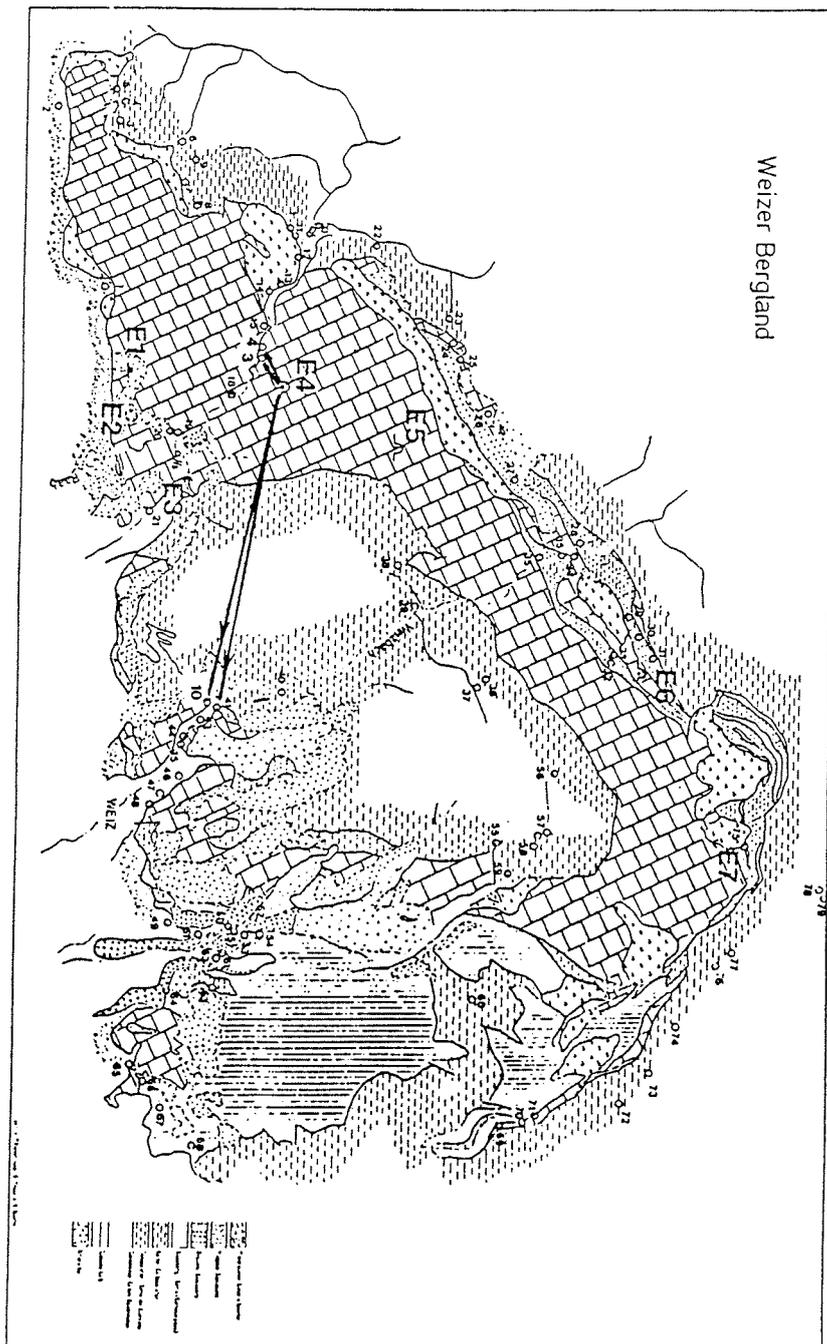


Abb. 27

Verbindungen zwischen der Indium - Einspelsestelle und den Quellen mit einem eindeutigen Tracerdurchgang

Die Markierung mit gefärbten Sporen

Da sich der Einsatz gefärbter Sporen (*Lycopodium clavatum*) bei zahlreichen karsthydrologischen Großversuchen bewährt hat, wurden sie auch im Weizer Karst zum Teil als Haupttracer, zum Teil als Begleittracer eingesetzt. Die speziellen Gründe für deren Einspeisung waren:

- * Ihre Wiederausbringung und Durchgangsgeschwindigkeit mit den übrigen Tracern zu vergleichen und in Abhängigkeit von den lokalen karsthydrologischen Bedingungen zu setzen ;
- * Um der bekannten Tatsache Rechnung zu tragen, daß unter günstigen Bedingungen unterirdische Zusammenhänge mit dem Suspensionsmaterial gefunden werden können, auch dann, wenn andere Tracer fehlschlagen, weil ihre Verdünnung zu hoch ist;
- * Es bestand die Möglichkeit, daß die Durchgangszeit von der Einspeisestelle Nr.1 und 2 bis zu den östlichsten unter Beobachtung stehenden Quellen wesentlich länger dauern würde, als von den übrigen Schlucklöchern; die Sorptionsgefahr stiege dadurch beträchtlich;
- * Die Anzahl guter Tracer für kombinierte Markierungsversuche ist beschränkt und
- * der Antransport auch größerer Mengen von Sporen zu den im Bergland schwer zugänglichen Schwinden, wie auch die Einspeisung der Sporen selbst, ist relativ unproblematisch.

Eingespeist wurden *Lycopodium*-Sporen in 4 verschiedenen Farben: blau, violett, grün, rot. Die Einspeisestellen lagen relativ dicht beieinander (SE-Rand des Garracher Waldes/Schachner Kogel und Westteil des Sattelberges), wurden aber bewußt so ausgesucht, damit

- o die Anzahl der Beobachtungsstellen so gering wie möglich blieb (5) und
- o dennoch die Beantwortung der wichtigsten Frage, nämlich die der Verbindung zur Baumühlquelle, möglich wird.

Die Sporen wurden zudem jenen Tracern mitgegeben, die aus Erfahrung nicht die Qualitäten von Uranin oder Amidorhodamin besitzen.

Die Einspeisung von Sporen westlich der Raab (Abb. 28)

In die Einspeisestellen, Nr.1 Jagdhaus und Nr. 2 Karstschlauch südlich des Schachner Kogel, wurden blau bzw. violett gefärbte Sporen eingebracht. Der Sinn lag nicht so sehr im Nachweis einer Verbindung zwischen den Einspeisestellen und der Finzenquelle (Nr.2) am westlichen Ufer der Raab, als in der Klärung der Frage, ob das Abtauchen der Muldenachse des Garracher Kalkstockes unter die Raab auch hydrologische Folgen hat, indem nämlich Karstwässer westlich der Raab unter dieser hindurch in den Karstkörper östlich der Raab fließen und von hier zu den Quellen der südlichen Weizklamm (Baumühlquelle). Da die Lösung dieser Frage so bedeutsam erschien, wurden anstatt einer Einspeisestelle deren zwei gewählt. Trotz langwährender und aufwendiger Probennahmen ist dieser Nachweis leider nicht geglückt, wohl aber ihr Nachweis in der Finzenquelle.

Die Aufteilung der Farben Blau und Violett westlich der Raab sowie Grün und Rot östlich der Raab geschah absichtlich. Im Falle eines Durchganges wären nämlich die blauen und violetten Sporen optisch schwerer zu trennen gewesen, als blau/grün oder violett/rot etc. Jede "bläuliche" Spore in der Baumühlquelle aber hätte die Verbindung mit dem Gebiet jenseits der Raab bedeutet.

Tabelle 22 zeigt die Ergebnisse der Sporendurchgänge in den Quellen westlich der Raab nach der Einspeisung in E 1 und E 2, Abb. 28 die Verbindungswege.

Tab.22

Probennahme- stelle	Quell- Nr.	Zeit bis zum ersten Sporen- nachweis (h)	Zeit bis zum Durchgang d. Tracermax.(h)	Farbe d.Sporen
1	2	> 17 > 31	> 37 > 162	violett und
7	41	n.n.	n.n.	blau
8	10	n.n.	n.n.	

Die maximalen Fließgeschwindigkeiten zur Finzenquelle (E 2, ca.1 km vom Jagdhaus und ca. 0,7 km von der Einspeisestelle Nr.2 entfernt) betragen zur Zeit des Versuches 32 m/h bzw. 41 m/h.

Die Einspeisung von Sporen östlich der Raab

In die Einspeisestelle E 4, Schacht der Graslöhle, wurden grüne - färbte, in E 5, Höhlentorso südlich Wachthaussattel, rotgefärbte Lycopodium-Sporen eingebracht. In beiden Fällen wurden die Sporen mit einem zweiten Tracer injiziert: Die grünen Sporen gemeinsam mit Indium, die roten Sporen mit Rhodamin.

Durch die Einspeisung in die am SE-Abhang des Sattelberges gelegenen inaktiven Schwinden sollte der Nachweis einer Verbindung zu den Quellen Nr.3 und 4 (Gösser Q., Gänsebrunnen) in der Raabklamm und zu den Quellen am Südausgang des Weizbachdurchbruches, Nr.41 (Wiesenquelle) und Nr.10 (Baumühlquelle) erbracht werden. Die Tabelle 23 gibt die Daten der roten Sporendurchgänge, Abb. 28 die Verbindungswege bekannt. Grüne Sporen wurden in keiner der 4 Beobachtungsstellen gefunden.

Tab. 23

Probennahme- stelle	Quell- Nr.	Zeit bis zum ersten Sporen- nachweis (h)	Zeit bis zum Durchgang d. Tracermax.(h)	Farbe d.Sporen
3	4	92	126	rot
2	3	16	113	rot
7	41	n.n.	n.n.	-
8	10	6.4.84 - 10.4.84 *		rot
		10.4.84 - 11.4.84		rot
		12.4.84 - 13.4.84		rot
		3.6.84 - 5.6.84		rot
		5.6.84 - 8.6.84		rot

* Dauer der Sammelprobe mit positivem Nachweis

Die maximalen Fließgeschwindigkeiten der roten Sporen zu den Raabklamm-Quellen Nr.4 und 3 (Entfernung ca. 1,5 und 1,4 km) betragen zur Zeit des Versuches 27 m/h bzw. 150 m/h.

Rote Sporen wurden in der Baumühlquelle Nr.10 etwa 1 Jahr und 4 Monate nach der Einspeisung aufgefangen. Das geschah nachdem im Hinterland von Weiz Starkregen niedergegangen waren und diese einen Anstieg der Schüttung wie der Trübung in der Baumühl-Q. bewirkten. In der Zeit zwischen dem 6.4. und 13.4.84 wurden 3 positive Proben gezogen. Zum zweiten Male, ebenfalls bei einer Schüttung über Mittelwasser und eindeutiger Trübung, wurden im Juni 1984, in den Proben vom 3.6.84 - 5.6.84 und 5.6.84 - 8.6.84, drei rote Sporen gefunden.

Der späte und nur unter bestimmten Abflußbedingungen sowie im Gefolge einer Trübe einhergehende Wiederaustritt von Sporen zeigt, daß diese, nachdem sie gefiltert und sedimentiert worden waren, erst wieder durch eine Druckwelle gemeinsam mit dem Filtermaterial mobilisiert und an die Oberfläche befördert werden konnten.

Mit dem Nachweis der roten Sporen in 5 Proben war somit erstmals der Beweis der Verbindung zwischen dem Bereich Wachthaussattel - Baumühlquelle geglückt.

Fluoreszenzfarbstoffe in den Oberflächengewässern

Die Gewässer Raab, Weizbach und Fladnitzbach waren in den Probennahme- und Meßzyklus auf fluoreszierende Farbstoffe einbezogen.

Eine Belastung der Gerinne durch Abwässer von flußaufwärts gelegenen Ortschaften zeigen die Probenstellen an der Raab (Q 101 und 102). Die Gefahr einer Fehlinterpretation positiver Analysenwerte in Q 101 wurde durch die parallele Beobachtung in Q 102 ausgeschaltet. Die Probenstelle 102 liegt nämlich am Beginn der Raabklamm; stromaufwärts gibt es keine wesentlichen Karstaustritte.

Eosin wurde ausschließlich in der südlichsten Probenstelle der Raabklamm (Q 100) nachgewiesen. Mit Sicherheit ist der Ursprung dieses Farbstoffes auf den Wiederaustritt des Haselbaches in der Raabklamm zurückzuführen, liegt doch dieser Austritt zwischen den Probenstellen Q 101 und 100. Zudem stimmen die Durchgangszeiten des Konzentrationsmaximum von Q 100 und HS überein.

Die Anwesenheit von Uranin im Oberflächengerinne nördlich des Sattelberges (Q 103, Abb. 14) muß ebenfalls auf Abwässer, und zwar von Hohenau und Haufenreith, zurückgeführt werden. Aufgrund der Höhenlage der Probenstelle Q 103, ca. 650 m Sh., ist eine Verbindung mit den Quellen im Norden der Weizklamm (Nr.7 /1/2/3, Nr.34) in 620 bis 618 m Sh. nicht möglich.

Der Konzentrationsgang von Uranin, wie auch von Amidorhodamin in den Probenstellen Q 107 und 108 des Weizbaches ist das Produkt aus Abwasserfracht und Tracerwiederaustritt in den Quellen Nr.7 und 34.

Obwohl die Uranin- und Amidorhodamin-Konzentration im Weizbach vom Nord- eingang der Klamm an ab dem 31.10.82 einige Tage hindurch hoch war, (die grün-gelbliche Färbung war deutlich zu sehen), ist eine Verbindung Weizbach-Boarquelle (Nr.9), wie sie des öfteren vermutet wurde, aus den Analysenaufzeichnungen nicht zu erkennen. Sowohl die Werte der Direktproben wie auch die der Aktivkohleproben sind vom 29.10. bis einschließlich 2.11. bzw.1.11.82 negativ. Diese Negativwerte sind deswegen von großer Bedeutung, führt doch der Weizbach ständig Uranin aus Abwässern!

Die Belastung des Fladnitzbaches mit Uranin aus Abwässern ist bereits im obersten Abschnitt, in der Schieferzone, bei der Probenstelle Q 118 nachweisbar und nimmt noch, nachdem der Bach die Streusiedlung durchflossen hat, bis zur zweiten Probenstelle Q 117 zu.

Amidorhodamin hingegen konnte nur bei der Probenstelle Q 117 festgestellt werden und dürfte seinen Ursprung hauptsächlich in den Quellen Nr.58 und 15 gehabt haben.

Uranin wurde auch in den Aktivkohleproben der Austrittsstelle Q 115 gefunden. Es handelt sich hier um den Wiederaustritt des Dörfler Baches im trockenen Bachbett. Das Uranin dürfte mit hoher Wahrscheinlichkeit von häuslichen Abwässern stammen.

Über die positiven Aktivkohleproben mit Uranin und Amidorhodamin im Steingraben (Q 124) und Pözlbach (Q 123) wurde in den Kapiteln zuvor berichtet. In beiden Fällen kann mit Sicherheit eine Kontamination durch Abwässer ausgeschlossen werden, da bachaufwärts keine Ansiedlungen mehr bestehen. Die positiven Werte sind daher die Folge des kombinierten Markierungsversuches.

Probenstellen, die keinen Tracerdurchgang hatten

In 9 von 44 Probenstellen im Weizer Bergland konnte kein Tracerdurchgang festgestellt werden. Diese sind: Nr.49, 55, 62, 64, 65, 69, 70, 122, 127, 80 % der beobachteten Stellen waren daher positiv und bezeugten damit die Verbindung zu zumindest einer Einspeisestelle.

6. KARSTHYDROGRAPHISCHE AUSWERTUNG

In diesem Abschnitt wird versucht, die im vorangegangenen Kapitel erarbeiteten Ergebnisse aus dem kombinierten Markierungsversuch zusammenzufassen und zu vergleichen, um so eine Vorstellung vom unterirdischen Entwässerungssystem und dem Abfluß der Karstwässer im Weizer Bergland zu erhalten.

Der im Jahre 1982 durchgeführte kombinierte Markierungsversuch war der erste Großversuch im Weizer Bergland, in seinen Ausmaßen auch der umfangreichste im Grazer Paläozoikum. Die zuvor erfolgten Markierungsversuche im Weizer Karst sollten im Rahmen hydrologischer Fragestellungen die Verbindung zwischen dem Weizbach und der Boarquelle (negativ verlaufen), der Schwinde des Naasbaches östlich von Sturmberg sowie einem Erdfall und der Kalkleitenquelle (mit positivem Erfolg) und der Schwinde des Talgrabenbaches mit den Patschaquellen (positiv verlaufen) klären.

Die zu Beginn des kombinierten Markierungsversuches noch ungeklärten Fragen konnten größtenteils beantwortet werden. Aufgrund der spezifischen Karstverhältnisse, im speziellen die feinklastischen Sedimentablagerungen in den Karsthohlräumen, gelang es leider nicht, die unterirdische Verbindung zwischen den Karstkörpern diesseits und jenseits der Raab nachzuweisen. Wäre dieser Gedanke jemals zu abwegig, dann allerdings war der Erfolg des Versuches 100-prozentig.

Die wichtigsten Ergebnisse des kombinierten Markierungsversuches im Weizer Karst:

- * Das unterirdische Abfließen der Wässer aus den nördlichen Schenkeln der Schöcklmulde nach Süden bzw. Südosten, und damit unter der Muldenfüllung hindurch, wurde mehrfach nachgewiesen;
- * Die durch die Vorfluter Weizbach und Ponigl/Fladnitzbach morphologisch herausgearbeiteten Abschnitte Sattelberg/Stroß, Patschaberg/Hirschkogel, Zetz/Hohe Zetz verhalten sich nicht wie getrennte hydrologische Einheiten;
- * Die im Schöcklkalkmassiv des Patschaberges eingeschalteten Ton- u. Kalkschiefer-Bänder gliedern diesen nicht in einzelne getrennte Karsteinheiten;
- * Die Baumühl- und Wiesenquelle haben ihr Einzugsgebiet im Sattelberg, Patschaberg und der Zetz;
- * Wie die Verbindungen zur Einspeisestelle E 6 zeigen, entspricht die Karstwasserscheide nicht der orographischen Wasserscheide;

- * Die Funktion der Schöcklkalkmulde als Sammelbecken ist nicht generell gültig, da es mehr oder weniger isolierte Karstschläuche gibt, die eine direkte Verbindung von Norden nach Süden bzw. Südosten herstellen;
- * Der Nachweis von Uranin aus E 6 in den obersten Bachläufen des Pözlbaehes und Steingrabens bedeutet, daß die Karstwässerscheide zwischen den Flußgebieten der Feistritz und der Raab weit in das Patschamassiv reicht;
- * Die Entwässerung aus dem Bereich der Einspeisestelle E 6 (Patschaloch) ist radial;
- * Eine Verbindung zu den Austritten westlich von Anger (Zetzbach) wurde nicht festgestellt;
- * Durch die nachweisliche Konzentration der Karstentwässerung in den beiden Quellgruppen am Grundgebirgsrand liegt der Schluß nahe, daß das oft zitierte Abflußdefizit direkt in die Talfüllungen von Weizbach und Fladnitzbach überwechseln müßte.

Zusammenfassung der Fließgeschwindigkeiten

Die aus der Zeit bis zum ersten Tracernachweis und der kürzesten Distanz zwischen Einspeisestelle und Austrittsstelle errechneten maximalen Fließgeschwindigkeiten der Karstwässer im Weizer Bergland werden in der folgenden Tabelle 24 zusammengefaßt. Da die kürzeste Distanz auf der Karte sicherlich nicht der tatsächlichen im Gelände entsprechen wird, müssen die angegebenen Werte als eher zu niedrig eingeschätzt werden. Weiters muß ausdrücklich betont werden, daß diese Geschwindigkeiten strenggenommen nur für die Karstverhältnisse zum Zeitpunkt des Versuches gelten können.

Tab. 24

Einspeisestelle	Tracer	Fließrichtung	Unterschiedliche Höchstfließgeschwindigkeiten zu verschiedenen Quellen (m/h)	Höhenunterschied (m)
E 1, 2 Garracher Wald	Sporen	SW-NE	32, 41	130-145
E 3, Haselbach	Eosin	NE-SW	ca. 375	54
E 4, Graslöhle	Indium	NE-SW NW-SE	56, 82 35, 69	148 190
E 5, Wachthaus- sattel	Rhodamin Sporen	NE-SW NE-SW	106, 290 27, 150	328 328
E 6, Patschaloch	Uranin	NE-SW-NE N-S	25, >25, >27, >126 42, 109, 110	352-65 470
E 7, Zetz	Amidorho- damin	NE-SW N-S	157 12, 0, 113, >152, 153, 215, 229, 250, 331, 340, 636	412 505-530

Die Berechnung der mittleren Fließgeschwindigkeiten erfolgte nach dem Maximum in der Konzentration-Zeit-Kurve. Einen Überblick vermittelt die folgende Tabelle 25.

Tab. 25

Einspeisestelle	Tracer	Fließ- richtung	Unterschiedliche Durchschnittsgeschw. verschiedenen Quellen (m/h)
E 1, 2 Garracher Wald	Sporen	SW-NE	>6, >16
E 3, Haselbach	Eosin	NE-SW	4
E 4, Graslhöhle	Indium	NE-SW	17, 19
		NW-SE	54
E 5, Wachthaus- sattel	Rhodamin	NE-SW	22, 27
	Sporen	NE-SW	10, 11
E 6, Patschaloch	Uranin	NE-SW-NE	12, 16, >23, >112
		N-S	17, 29, 39
E 7, Zetz	Amidorho- damin	NE-SW	46
		N-S	24, 25, 42, 47, 350

Das arithmetische Mittel dieser Durchschnittsgeschwindigkeiten beträgt - bezieht man den Höchstwert von 350 m/h nicht mit ein - 28 m/h.

Eine derartige Varianz der Fließgeschwindigkeiten wird im vorliegenden Untersuchungsgebiet nicht durch den geologischen Aufbau, sondern durch die Entwicklung des Entwässerungssystems sowie durch die Ausmaße und Verästelung der großlumigen Karsthohlräume hervorgerufen. Wie Tab. 24 beweist, müssen diese hydrogeologischen Voraussetzungen eine wesentlich entscheidendere Rolle für das Ausmaß der Fließgeschwindigkeit spielen, als etwa der Höhenunterschied zwischen Einspeisestelle und Quellaustritt. Auch der Tracertyp allein kann derartige Geschwindigkeitsunterschiede nicht bewirken. Selbst die Geschwindigkeit der Sporen im Sattelberg ist im Vergleich zu den im selben Gebirge eingesetzten Indium und Rhodamin nicht, wie so oft beobachtet, geringer.

Die Zeit bis zum ersten Auftauchen des Markierungsstoffes bzw. die bis zum Maximum des Tracerdurchganges ist bei den einzelnen Quellen unterschiedlich. Diese Abweichungen entstehen höchst wahrscheinlich durch die Art und Länge des vom Tracer durchflossenen Karstsystems; untergeordnet auch vom verschiedenen Verhalten des Tracers gegenüber dem durchflossenen Medium.

Die maximalen Geschwindigkeiten, nicht jedoch die mittleren Geschwindigkeiten des mit Indium markierten Wassers in Richtung Raabklammquellen unterscheiden sich von denen, die mit Rhodamin markiert waren und ebenfalls zu diesen SW-gelegenen Quellen flossen, um das zwei- bis dreifache. Dies, obwohl beide Einspeisungen in demselben Massiv stattfanden. Demzufolge müssen sich die Abflußverhältnisse im vadosen Bereich innerhalb kurzer Distanzen stark ändern.

Der Abfluß der Wasser unter dem Stroß hindurch nach SE (Indium), also zu den Quellen nördlich von Weiz, verläuft hingegen geglätteter: Maximale und mittlere Geschwindigkeiten sind ähnlich hoch; ein klares Zeugnis für den großen Karstwasserkörper (Puffer), der gut durchmischt wird.

Die Fließgeschwindigkeiten im Patschaberg-Zetz-Massiv konnten mit den Tracern Uranin und Amidorhodamin festgestellt werden. Die mittleren Fließgeschwindigkeiten im westlichen Patschamassiv und zentralen Muldenbereich (Uranin) sowie im östlichen Patscha-Zetzmassiv und zentralen Muldenbereich (Amidorhodamin) sind durchaus mit denen im Sattelberg-Stroßbereich vergleichbar, ob von NE nach SW oder von N nach S. Hingegen unterscheiden sich die Höchstgeschwindigkeiten deutlich: Östlich des Weizbaches, also im östlichen Teil der Schöcklkalkmulde, durchlaufen die Hochwasserwellen den Tiefenkarst bedeutend schneller. Hier wurde auch die höchste Geschwindigkeit im Weizer Karst nachgewiesen: 636 m/h ! Diese Geschwindigkeit wurde zwischen der Einspeisestelle E 7 und dem Austritt Nr.44, südlich der Ruine Sturmberg festgestellt.

Demnach dürften im östlichen N-S-Entwässerungssystem der Schöcklkalksynklinale mehr isolierte Karstschläuche verlaufen, als im westlichen.

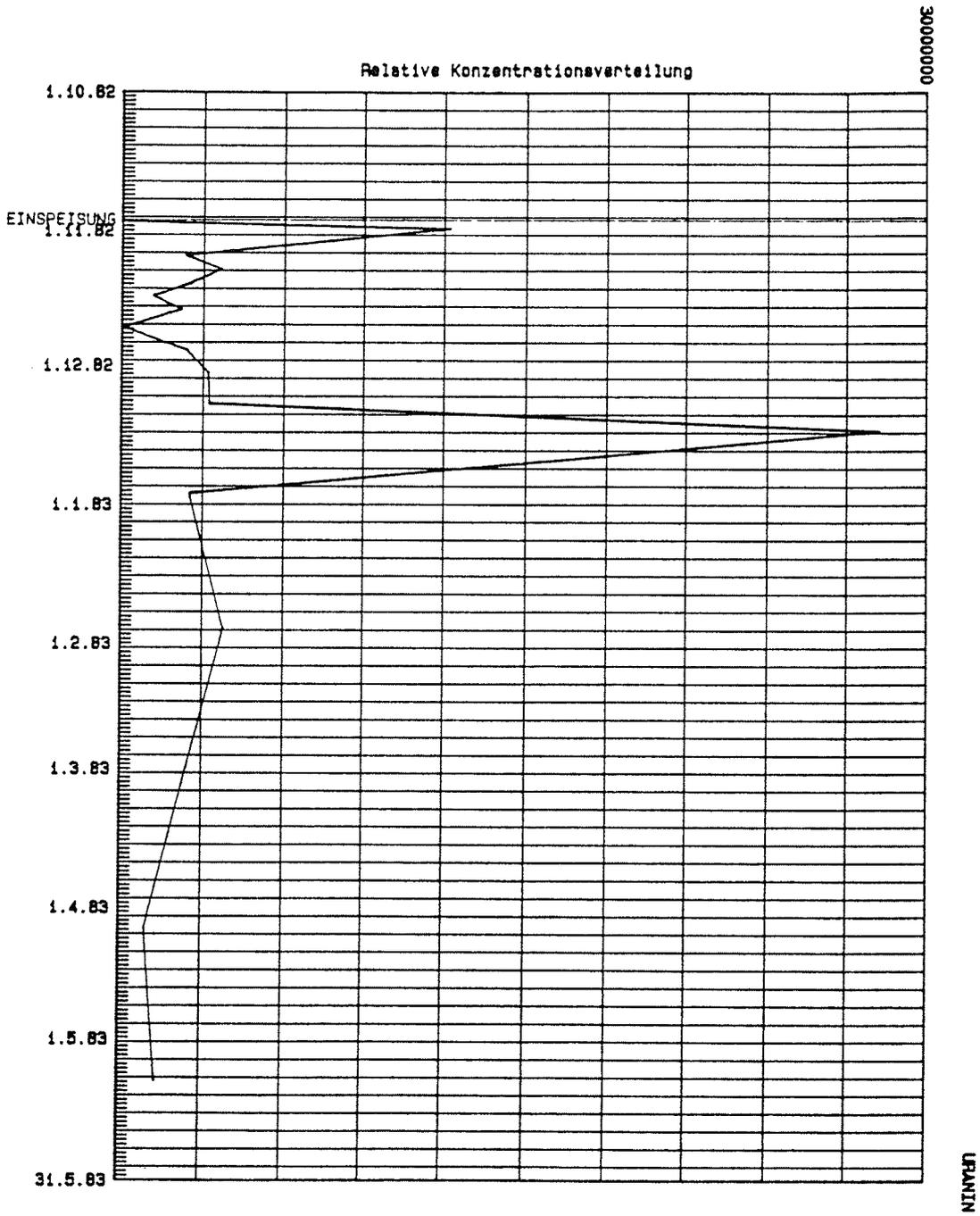
Neben diesen mehr oder weniger in sich abgeschlossenen Karstwasserwegen muß es andererseits ein weitverzweigtes Kluftsystem geben, innerhalb dessen langsamere Fließgeschwindigkeiten vorherrschen. Die langsamste Bewegung wurde zwischen der Einspeisestelle E 7 und dem Austritt Nr.40 (Boarquelle) gemessen, sie betrug 12 m/h.

Mit dem Nachweis von Amidorhodamin, Uranin und Indium in der Quellgruppe nördlich von Weiz ist zum erstenmal die weitreichende Verflechtung der unterirdischen Wasserläufe lokalisiert worden.

Bemerkenswert ist auch der Umstand, daß die maximale Amidorhodaminkonzentration bei allen betroffenen Austritten am Grundgebirgsrand annähernd gleich hoch war (eine Ausnahme bildete der Tiefenkarstwasseraustritt Nr.11, hingegen der Maximalwert im Uraningehalt von Quelle zu Quelle beachtlich schwankte. Eine Erklärung dafür wäre, daß die mit Amidorhodamin markierten Wasser aus dem Zetzbereich über mehrere Karstschläuche ähnlicher Größenordnung aufgeteilt zu den Quellen fließen, wobei die maximale Geschwindigkeit durch die kürzeste Verbindung zwischen Einspeisestelle und Quelle zustande kommt. Die mit Uranin markierten Wasser hingegen werden hauptsächlich durch einen N-S-verlaufenden Hauptstrang geleitet, von dem sie die Quellen über unterschiedlich große Hohlräume erreichen, wobei sie sich noch vor ihrem Austritt mit Wässern eines weiteren Systems (Kluftwässer) vermischen. Abb. 21 zeigt dementsprechend ein Schema über die Verbindungen zwischen Einspeisestellen und Quellen.

In der Uranindurchgangskurve der Quellen 7/3 (106), Abb. 29, sind zwei deutlich abgesetzte Maxima zu erkennen. Da detaillierte Voruntersuchungen und deren Ergebnisse vorliegen, ist die Erklärung einfach. Wie bereits berichtet, ergab der Markierungsversuch im Winter 81/82 eindeutig eine Verbindung zwischen der Bachschwinde im Talgraben/Kohlgraben und den Quellen 7/1/2/3. Da während des Großmarkierungsversuches 1982 auch die Quellen im Kohlgraben angesprochen haben, war es verständlich, daß die Aktivkohleproben des Kohlgrabenbaches ebenso einen Konzentra-

Abb. 29 Qualitative Auswertung des Uranin-Durchganges im Patschawasser Nr. 7



tionsgang aufwiesen. Das Maximum des Konzentrationsdurchganges im Bach lag in der Zeit zwischen dem 1.12.82 und 1.1.83. Auf der Durchgangskurve der Quelle Nr.7/3 (106) fällt das zweite Konzentrationsmaximum in diese Zeit, womit erneut die Verbindung Bach-Quelle bestätigt wurde.

Mit Hilfe von Schüttung und Tracerkonzentration der einzelnen Quellen wurde die wiederausgebrachte Tracermenge berechnet. Die Ergebnisse liegen in der Tabelle Nr. 26 vor. Wie man aus der untersten Zeile auf einen Blick erkennen kann, ist der Anteil der in den Quellen wiederausgebrachten Markierungsstoffe äußerst gering. Die Ursache dafür wird weniger den erschwerten Einspeisebedingungen zuzuschreiben sein (immerhin waren zwei von sieben Einspeisestellen aktive Schwinden, auch lag der Karstwasserstand erhöht, die Klüfte waren durch die vorangegangenen Niederschläge benetzt und z.T. gefüllt), als vielmehr den besonderen hydrogeologischen Verhältnissen des Weizer Karstes. Wie schon gesagt, ist es das "Abtauchen" der Wässer unter den Schieferkern der Schöcklkalkmulde, die Füllung der Karsthohlräume mit Verwitterungsmaterial aus der Überdeckung und die z.T. hohe mittlere Verweilzeit der Wässer im Tiefenkarst. Es scheint nun so, daß ein Teil der bis in den Karstwasserkörper gelangten Markierungsstoffe über hochliegende Röhrensysteme schnell zu den Quellen gelangt, ein anderer Teil weiter in die Tiefe vordringt und von hier sowohl das zum "oberen Stockwerk" zählende weitverzweigte Kluftnetzsystem alimentiert, als auch Wässer dem in noch größerer Tiefe beginnenden "liegenden Stockwerk", dem tiefen Karst, zuführt (Abb. 30). Dem unterschiedlichen Isotopengehalt der Quellaustritte entsprechend ein Stockwerkbau mit relativ guter Trennung vorliegt. Zu dieser Trennung wird es wahrscheinlich erst unterhalb der Muldenfüllung kommen.

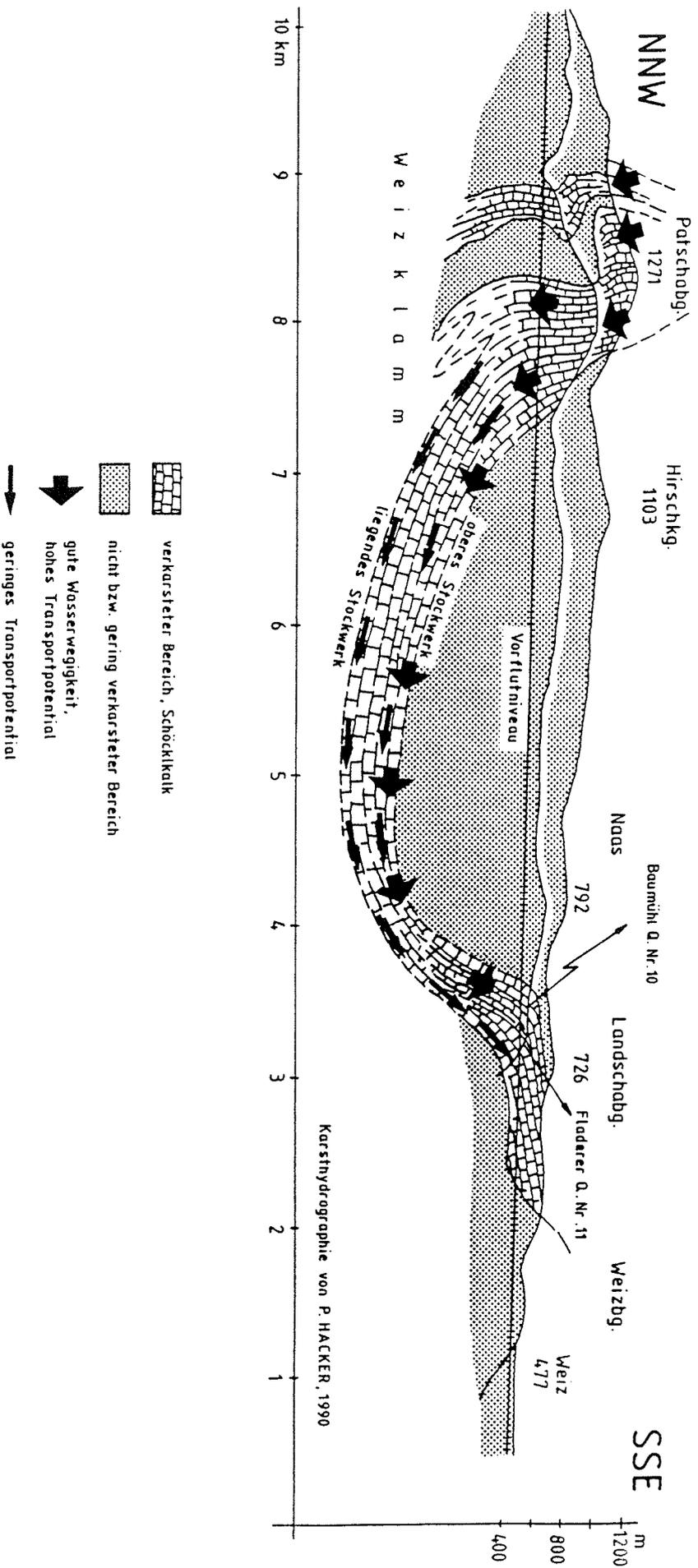
Zieht man die ausgebrachte Uraninmenge von ca. 16 % für die Abschätzung der Aufteilung des Niederschlaginfiltrates auf die beiden Stockwerke der östlichen Schöcklkalkmulde heran (aufgrund seiner guten Eigenschaften ist Uranin dafür sicherlich am besten geeignet), so scheint davon ca. 20% im oberen Stockwerk ohne nennenswerte Verweilzeit abzufließen, während mit etwa 40 bis 50 % der Speicher des oberen und unteren Stockwerkes alimentiert wird. Der Rest, ca. 20 - 30 %, ist Verlust durch Sorption im vadosen Bereich.

Hat eine Druckwelle das eine oder andere hochliegende System von den Sedimenten freigespült, dann ist es auch den sorptionsanfälligen Tracern möglich, über längere Strecken hinweg den Quellaustritt zu erreichen (z.B. Rhodamin von E 7 nach Quell. Nr. 48: 7,3 km Luftlinie). Dort aber, wo Sedimente eingeschwemmt sind, werden Sporen gefiltert, anfällige Tracer sorbiert, die verbleibenden Markierungsstoffe langsam "ausgestoßen". Noch länger und weiter ist der Weg durch das Tiefenkarstsystem.

Während es nur eine Frage der Zeit ist, bis der Großteil der markierten Wässer wieder über den Quellabfluß austritt, alimentiert ein kleinerer Teil unbeobachtet das Porengrundwasser der Talfüllungen.

Abb. 30

Karsthydrographie in der Schöcklkalke mulde des Weizer Berglandes



Tab. 26 : Aufstellung der in den Quellen wieder ausgebrachten Tracermengen in % .

Einspeisestelle Tracer	Nr.3 Eosin	Nr.4 Indium	Nr.5 Rhodamin	Nr.6 Uranin	Nr.7 * Amidorhodamin
eingespeiste Menge (kg)	10	4,5	10	10,5	4
a u s g e b r a c h t e M e n g e (g)					
Quelle					
4		3,70	0,07		
3	?	20,00	0,38		
Hs	122,26				
7/1/2				ca.900	ca.100
7/3				607,96	60,65
34				2,37	
9				?	17,00
41		?		4,10	0,41
9 + 10		12,14		96,96	30,23
44				0,01	0,03
11					0,04
46					
48					?
13					?
53					?
58					0,01
15					0,10
123				?	
124				?	
ausgebrachte Menge in %	1,2	0,8	0,45	ca. 16	ca. 5,5

? = Spuren ; * = bei der eingespeisten Gesamtmenge von 10 kg entfallen 4 kg auf Amidorhodamin G-extra und 6 kg auf Rhodamin

7. HYDROGEOLOGISCHE AUSWERTUNG

Am Ende der langjährigen interdisziplinären Untersuchungen im Karst des Weizer Berglandes stehen nun den FLÜGEL, H. und MAURIN, V. (1952) aufgestellten allgemeinen hydrogeologischen Aussagen konkrete Daten gegenüber. Diese stehen nicht im Gegensatz zu ersteren, sondern passen in das vorgegebene hydrographische Bild.

Den Schwerpunkt der Untersuchungen bildete dabei der kombinierte Markierungsversuch 1982. Durch ihn sollte vor allem das Einzugsgebiet der Quellen im Süden der Schöcklkalkmulde, die z.T. von regionaler Bedeutung für die Wasserversorgung sind, geklärt und abgegrenzt werden. Die Diskussion über die Art der Karstwasserzirkulation wurde im vorangegangenen Kapitel auch mit einer Theorie über die Karstwassersysteme abgeschlossen.

Die durch Oberflächenkarstformen signalisierte intensive Verkarstung ist tatsächlich im Untergrund existent, auch unter Vorflutniveau. Sie ist in den hydrochemischen Kennwerten der niedermineralisierten Wässer ebenso zu erkennen wie in den z.T. sehr hohen Fließgeschwindigkeiten bzw. den kurzen Durchlaufzeiten (Verweilzeiten) der Karstwässer im offenen System des seichten Karstes oder im geschlossenen System des überdeckten Karstes.

Aus dem Nachweis unterschiedlicher Tracer von verschiedenen Karstmassiven (Sattelberg, Patschaberg, Zetz) in einer Quelle kann geschlossen werden, daß die Tiefenkarstsysteme unabhängig von den morphologischen Gegebenheiten verlaufen. Auch die Taleinschnitte von Weizbach und Fladnitzbach bilden kein Hindernis. Für den seichten Karstwasserkörper hingegen bildet jedes einzelne Massiv eine getrennte hydrologische Einheit.

Die im Profil des Weizer Berglandes (Abb.2) dargestellte Großtektonik mit der überdeckten Schöcklkalkmulde und den randlichen Antiklinalbereichen ist für die Entwicklung der Karsthydrographie entscheidend. Die tatsächliche Existenz eines großräumigen karsthydrologischen Entwässerungssystems und seine Funktion wurde sowohl durch die Ergebnisse des kombinierten Markierungsversuches, als auch durch die Beobachtung der physikalisch-chemischen Kennwerte, im speziellen durch den Nachweis ortsspezifischer Spurenelemente aus dem Bereich der nördlichen Antiklinale und letztlich durch die Zusammensetzung der Umweltisotope in den Quellen am Südrand des Berglandes bestätigt.

Hydrogeologisch interessant dabei ist, daß die Auswirkungen der Großtektonik auf die Entwicklung und den derzeitigen Stand der Entwässerungssysteme offensichtlich fogendermaßen sind:

Im seichten Karst der Kalkstöcke Garracher Wald, Sattelberg, Patschaberg-Zetz scheint die Entwässerung bevorzugt entlang dem EW und ENE streichenden Störungsgitter entwickelt zu sein. Der primäre Bezugspunkt ist für diese demnach die nahegelegene Vorflut.

Sobald jedoch die Wässer in den steilstehenden Bankungsfugen und im Hohlraumgeflecht in den Bereich des überdeckten und tiefen Karstes eintreten, ist für ihre Abflußrichtung die tiefste orographische Stelle maßgeblich, es ist dies die Bucht von Weiz.

Für das hangende Stockwerk im überdeckten Karst (Abb.30) ist die Schöcklkalkmulde als Sammelbecken von untergeordneter Bedeutung, da hier die Entwässerung rasch und vielfach über isolierte Karstschläuche abläuft. Ein Beispiel dafür ist die Entwässerung des Zetzgebietes.

Für das liegende Karstwasserstockwerk jedoch, speziell für die Dynamik seiner Wässer, ist der Bau der Schöcklkalkmulde ausschlaggebend. Sie fungiert sicherlich als Sammelbecken. Aus diesem Reservoir dringen z.B. in der Fladerer Q. (Nr.11) Wässer an die Oberfläche, die eine mittlere Verweilzeit von 12 bis 17 Jahren haben, sauerstoffarm sind und deren Wassertemperatur weit über dem Jahresmittel der Lufttemperatur im Einzugsgebiet liegt.

Der Einfluß der Muldenachse auf die Karstwasserzirkulation konnte nicht geklärt werden.

Die allseitig geschlossene Schöcklkalkmulde ist zwar Realität, die Annahme einer ausschließlich innerhalb der Synklinale ablaufenden und nur auf das Raab-Weizbach-Regime ausgerichteten unterirdischen Entwässerung entspricht jedoch nicht der Tatsache. Wie der Tracerdurchgang in den beiden Quellen (Nr. 123 u. 124) im Naintschgraben beweist, reicht deren Einzugsgebiet und damit die hydrographische Wasserscheide des Feistritzregimes weit in das Zetz- und Patscha-Massiv. Von dieser Anzapfung des Karstwasserkörpers ist letzten Endes aber auch der Wasserhaushalt des Synklynal-Regimes betroffen (quantitativ).

Auch der Versuch, eine Verbindung zwischen dem Karstterrain westlich der Raab (Garracher Wald) und dem Entwässerungssystem zu den Hauptquellen östlich der Raab nachzuweisen, brachte ein negatives Ergebnis, was gegen die Existenz einer vollkommen geschlossenen und zusammenhängenden Entwässerung in der Schöcklkalkmulde spricht.

Der im Zuge der Markierungsversuche erbrachte Nachweis verhältnismäßig langsamer Fließgeschwindigkeiten im geschlossenen Kluftsystem des Tiefenkarstes unterstreicht die mit Hilfe der Isotopenuntersuchungen (Tritium) ermittelten Angaben über das beachtliche "Alter" (12 - 17 Jahre) der Tiefenkarstwässer aus den tieferen Anteilen der Synklinale.

Eine Frage, die seit Beginn der Forschungsarbeiten immer wieder auftrat, befaßte sich mit den Auswirkungen der Dolomit-Schieferserie im Hangenden der Schöcklkalkmulde auf die Entwässerung des überdeckten Karstes.

Auswirkungen gibt es mit Sicherheit deren vier:

1)
Oberflächenwässer von den west- und nordexponierten Hängen des Stroß alimentieren den Karstwasserkörper zum Teil über perennierende Schwinden. Auf diese Weise wird das hydrologische Einzugsgebiet über die lithologische Grenze hinaus erweitert. Ein ähnlicher Fall der Karstalimentation durch allochtone Wässer konnte am Nordrand des Weizer Berglandes im unteren Talgraben nachgewiesen werden.

2)

Auf diesem Wege gelangt feinklastisches Verwitterungsmaterial in den Karstkörper. Das in den Karsthohlräumen akkumulierte feinklastische Verwitterungsmaterial hatte negative Folgen für einen Teil der eingesetzten Markierungsstoffe (Sorptions- und Fäulnis von Rhodamin und Sporen). Für die Sicherung der Trinkwasserqualität ist der Nachweis eines derartigen "Filters" allerdings von größter Wichtigkeit und Nutzen.

3)

Die Korrosion wird auch unter dem Schieferkern, zumindest in den Bereichen, wo die Mächtigkeit der Überdeckung abnimmt, wirksam sein. Sowohl die Sickerwässer als auch die oszillierenden unterirdischen Wasserläufe arbeiten durch Korrosion und Erosion ständig an der Weiterentwicklung des Karstes.

4)

Die den Schöcklkalken auflagernden Kalkschiefer bilden (wie das Beispiel Boarquelle zeigt) offensichtlich keine Barriere gegen die aufstoßenden Karstwässer von Patscha und Zetz. In umgekehrter Richtung, also vom Kalkschiefer in den überdeckten Karst oder vom Dolomit in den überdeckten Karst, müßten demnach Verbindungen möglich sein.

Diese Vorgänge wurden auch tatsächlich nachgewiesen. Nach der Markierung des Patschaloches mit Uranin konnten nämlich Verbindungen zu den Quellen im Norden, Osten, Süden und Westen belegt werden. Und das, obwohl die Schöcklkalke im Bereich des Patschaloches zwischen Ton-Kalkschieferfolgen eingeklemt sind. Eine derartige hydrologische Einheit zwischen Kalken und Schieferen wurde überraschenderweise auch mit dem Uranindurchgang in den Quellaustritten des oberen Pötzl- und Steingrabens nachgewiesen. Markierte Wässer aus dem Patschamassiv flossen nach NE bzw. E und traten aus den Kalkbändern jener Schieferserie aus, die an den nordostexponierten Hängen des Naintschgrabens anstehen.

Die häufig mit Sicherheit aufgestellte Behauptung, Weizbach- und Raabwässer würden im Bereich der Klammabschnitte in den Kalkuntergrund versinken, konnte durch zahlreiche Abflußmessungen bei Mittel- bis Niederwasserführung nicht nachgewiesen werden.

Zuletzt soll in diesem Kapitel noch zu den Punkten Stellung genommen werden, die die Wasserwirtschaft besonders interessieren.

Die Frage, ob der Weizer Karst tatsächlich ein beachtliches Defizit im unterirdischen Abfluß aufweist, kann nun nach Vorlage der Ergebnisse aus dem kombinierten Markierungsversuch eindeutig beantwortet werden. Dieser hat klargestellt, welche Quellen ihr Einzugsgebiet im Sattelberg/Patscha/Zetz-Massiv haben. Dadurch ist erstmals die genaue Berechnung des gesamten unterirdischen Abflusses aus dem Weizer Karst östlich der Raab möglich.

Setzt man die bekannten Werte in die Formel

$$N = A_u + A_o + ET \quad ;$$

wobei $N = 1025$ mm (Niederschlag)
 $A_u = 415,2$ mm (316 l/s registrierter unterirdischer Abfluß)
 $ET = 400$ mm (Evapotranspiration)
 $F = 24$ km² (Fläche des Untersuchungsgebietes)

so erhält man für $A_o = 209,8$ mm.

In Prozenten ausgedrückt entfallen somit 40,5 % des Gesamtniederschlages auf den unterirdischen Abfluß (gleichzeitig auch als Infiltrationsrate anzusehen), und 20,5 % auf den oberirdischen Abfluß, was 160 l/s entspricht. Wenn man bedenkt, daß dieser oberirdische Abfluß ausschließlich nach Starkniederschlägen zustande kommt, so erscheint die Größenordnung dieses gemittelten Wertes als durchaus reell. Ein bedeutendes unterirdisches Abflußdefizit für den Sattelberg/Patscha/Zetz-Bereich ist somit nicht gegeben.

Es darf nochmals betont werden: Die beiden Abflußwerte müssen dem Absolutwert sehr nahe kommen: Da im Gebiet der Quellgruppen nördlich von Weiz und Oberdorf bestimmt einige Sekundenliter direkt in das Porengrundwasser der Talfüllungen überwechseln, ebenso unerkannte Abflüsse die Vorfluter direkt erreichen (wie die Abflußmessungen zeigten müssen diese bescheiden sein), wird sich der A_o - Wert noch geringfügig (um etwa 30 bis 40 l/s) verringern

Setzt man den neuen A_u - Wert in die schon bekannte Formel

$$V_{sp} = A_u \times T_o$$

wobei $A_u = 9,97 \times 10^6$ m³
und $T_o = 2$ Jahre,

so ergibt sich für das ständig mit Wasser gefüllte Reservoir ("oberes und unteres Stockwerk) ein Volumen von 20 Millionen m³.

Das kurzzeitige Speichervermögen dieses Reservoirs (besonders das des oberen Stockwerkes) kann dieses Volumen allerdings um ein Vielfaches übertreffen.

8. LITERATUR

- ATKINSON T. C., 1977 - Carbon Dioxide in the Atmosphere of the Unsaturated Zone: An Important Control of Groundwater Hardness in Limestones. *Journal of Hydrology*, 35, 111 - 123.
- BIZEK P., 1974: Vergleich der verschiedenen Berechnungsmethoden der Verdunstung mit dem Ziel, Verdunstungskarten für Österreich zu erstellen. Diss. Phil. Fak., Univ. Wien, 144 S., 18 Ktn.
- BOCK H., 1913 - Charakter des mittelsteierischen Karstes. *Mitteilungen für Höhlenkunde*, 6, (4), Graz, 5 - 19.
- CLAR C., 1874: Kurze Übersicht der geotektonischen Verhältnisse der Grazer Devonformation. *Verh. geol. Reichsanst.*, Wien S 62 - 65.
- EBNER F. et al., 1984 - Naturführer Weiztal. Veröffentl. d. Forschungsstätte Raabklamm, IX/X, Weiz, 144 S.
- FLÜGEL H. u. V. MAURIN, 1958 - Geologische Karte des Weizer Berglandes, Geologische Bundesanstalt, Wien (Beilage zu FLÜGEL & MAURIN, 1959)
- FLÜGEL H. u. V. MAURIN, 1959 - Geologische Wanderungen im Weizer Bergland. Weiz - Geschichte und Landschaft in Einzeldarstellungen, 6, Weiz, 51 S., Tab., 1 geol. Karte.
- FLÜGEL, H., 1961 - Die Geologie des Grazer Berglandes. *Mitteilungen des Museums f. Bergbau, Geologie und Technik*, Mitteilungsheft 23, 212 S.
- FLÜGEL H.W., 1975 - Die Geologie des Grazer Berglandes. *Mitteilungen der Abteilung für Geologie, Paläontologie und Bergbau am Landesmuseum Joanneum*, Sh. 1, 2. Aufl., Graz, 288 S.
- FORD T. D., CULLINGFORD C. H. D. (ed), 1976 - *The Science of Speleology*. London - New York - San Francisco, XIV, 593 S.
- FUCHS G., 1974 (a) - Die Höhlen am Ostufer der Weizklamm, I u. II. *Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk.*, 3, (2), Graz, 136 - 143, 149 - 156, 179 - 185.
- FUCHS G., 1975 - Die Höhlen am Ostufer der Weizklamm. IV. Die Höhlen nördlich vom Nordgrat. *Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk.*, 4, (3), Graz, 47 - 50.
- FUCHS G., 1976 - Die Höhlen am Ostufer der Weizklamm. V. Die Höhlen südlich vom Torbogengrat. *Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk.*, 5, (1), Graz, 38 - 43.
- FUCHS G., 1983 - Der Karst am Ostufer der Weizklamm. *Berichte d. wasserwirtsch. Rahmenpl., Amt d. Steierm. LR*, Graz, 50 S.

- GOSPODARIC R. u. J. G. ZÖTL, 1976 - Markierung unterirdischer Wasser (Untersuchungen in Slowenien 1972 - 1975). Steir. Beiträge z. Hydrogeologie, 28, Graz, 7 - 258..
- GÖTZINGER G., 1925 - Hydrogeologische Beobachtungen im Weizer Karst. Wasserversorgung des Marktes Weiz. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 75, Wien, 301 - 330.
- HACKER P., 1973 - Bericht über Hydrogeologische Untersuchungen im Weizer Bergland. Mskr., Graz, 7 S., 1 Karte.
- HACKER P., 1974 - Beiträge zur Hydrologie des Passailer Beckens und seiner Umrahmung. Dissertationen der Universität Graz, 25, Wien, 1974.
- HACKER P. & SPENDLINGWIMMER R. 1989 - Karstwasservorkommen Oberes Erlaufthal. NÖ Schriften 24 - Wissenschaft, 36 S, 1 Tafel.
- JAKUCS L., 1977 - Morphogenetics of Karst Regions. Budapest - Bristol, 284 S.
- KINDERMANN J. C., 1779 - Historischer und geographischer Abriß des Herzogthums Steyermark. 1. Aufl., Grätz.
- KROPATSCH O., 1925 - Eine neue Höhle in der Weizklamm Wochenblatt für den politischen Bezirk Weiz, 7, (40), Weiz, 3. Oktober 1925.
- KUNTSCHNIG A., 1927 - Das Bergland von Weiz, Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark, 63, Graz, 9 - 110, geol. Karte, geol. Profile.
- LAZAR R., 1979 - Lokalklimatische Besonderheiten des Passailer Beckens und der Raabklamm. Veröffentlichungen der "Forschungsstätte Raabklamm", 5, Graz, 16 S.
- MARINIC H., 1968 - Morphologische Betrachtungen im Raabdurchbruch - in Hinblick auf eine neue zeitliche Festlegung der landschaftlichen Morphogenese. Jahresbericht des Bundesgymnasiums und Bundesrealgymnasiums Gleisdorf, 3, Gleisdorf, 11 - 18.
- MAURER W., 1968 - Die Hopfenbuche (*Ostrya carpinifolia*) bei Weiz, Weiz - Geschichte und Landschaft in Einzeldarstellungen, 9/I, Graz, 5 - 14.
- MAURIN V., 1958: Die hydrogeologischen Verhältnisse des Garracher Waldes u. seines nördlichen Vorlandes, Steir. Beitr. z. Hydrogeol., Graz, S 52 - 71.
- MAURIN V., ZÖTL, J., 1959 - Die Untersuchungen der Zusammenhänge unterirdischer Wasser mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse, Steir. Beitr. z. Hydrogeol., Graz, 184 S.

- MAURIN V., 1961 - Hydrogeologie u. Verkarstung. Geologie des Grazer Berglandes, Graz, S 173 - 190.
- MAURIN V. u. J. G. ZÖTL et al, 1967 - Fachtagung über die Anwendung von Markierungsstoffen zur Verfolgung unterirdischer Wässer in Graz vom 28. März bis 1 April 1966, 1966/67, Steir. Beiträge z. Hydrogeol. Graz, 413 S.
- MAURIN V. u. J. ZÖTL, 1973 - Kartenblatt 10: Hydrogeologie und Verkarstung der Steiermark. Kartenblatt 11: Hauptverkarstungsgebiete der Steiermark. Erläuterungen zum Atlas der Steiermark, Graz, 57 - 77.
- MAURIN V., 1958 - Die Hydrogeologischen Verhältnisse im Raum des Garracher Waldes und seines nördlichen Vorlandes (Oststeiermark). Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 8/9, Graz, 52 - 71, hydrogeol. Karte.
- MORAWETZ S., 1963 - Die Umgebung von Weiz. Ein länderkundliche Darstellung. Das Weizer Land. Weiz - Geschichte und Landschaft in Einzeldarstellungen, 7, Weiz, 3 - 34.
- NOVOTNY A., 1941 - Eine Höhlenstation in der Weizklamm, Oststeirerblatt, 7, (4), Weiz, 25. Jänner 1941, 7.
- PASCHINGER H. - Steiermark. Sammlung Geographischer Führer, 10, 8 - 11, 14, 15, 22 -27, 32,33, 100 - 107.
- PRATL F., 1970 - Erläuterungen zur Vegetationskarte des Weizer Berg- und Hügellandes. Weiz - Geschichte und Landschaft in Einzeldarstellungen, 9/II, Graz, 25 - 36, Vegetationskarte 1 : 25.000.
- RIEDL H., 1966 - Neue Beiträge zum Problem: Raxlanschaft - Augensteinlandschaft. Mitteilungen der österreichischen Geographischen Gesellschaft, 108, Wien, 98 - 109.
- SEELMEIER H., 1942 - Trink- u. Nutzwasserversorgung von Deutsch-Feistritz durch Quellwasser. Zeitschr. prakt. Geol., 50, Halle/Saale, S 144 - 147.
- SIEGENTHALER U., 1971: Sauerstoff-18, Deuterium u. Tritium im Wasserkreislauf. Beiträge zur Meßtechnik, Modellrechnung und Anwendung. Diss. Univ. Bern.
- SPIEGLER A., 1971 - Die Strukturkarren. Die Höhle, 22, (1), Wien, 4 - 7.
- STUNDL K., 1958 - Das Ergebnis der chemischen Untersuchungen von Wasserproben aus dem Gebiet des Garracher Waldes. Steir. Beitr. z. Hydrogeol. 1958, S 72 - 76, Graz.
- TOURENBUCH des Vereines für Höhlenkunde Weiz, 1922 - 1948, 101 S. (Archiv des Landesvereines für Höhlenkunde i. d. Stmk.)

- TRIMMEL H. (Ges. Red.), 1965 - Speläologisches Fachwörterbuch, Wien, 109.S.
- TRIMMEL H., 1968 - Höhlenkunde. Braunschweig, VIII, 300 S.
- TRIMMEL H., o. J. - Altersbestimmungen an Tropfsteinen aus dem Rablloch (Höhlenkataster Nr. 2834/8). Mskr., Wien, 1 S. (Archiv des Landesvereines für Höhlenkunde i. d. Stmk.)
- TURC L. et al., 1963 - Cartes d'evapotranspiration potentiel, interpretation et utilisation. Bulletin technique du genie Rural n° 60, C. R. E. G. R., Antony.
- UNTERSWEIG T., 1979 - Morphologie des Schöcklgebietes. Diss. Univ. Graz, 315 S., 7 Beil. + Taf.
- VORMAIR F., 1938 - Studien im Mittelsteirischen Karst. Die Oberflächenformen. Diss. Univ. Graz.
- WAKONIGG H., 1965: Zur Witterungsklimatologie des Südostrandes der Alpen. Wetter und Leben, Wien 1965, 335 S.
- WEISSENSTEINER V., 1978 - Das Rablloch. Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk., 7 (4), Graz. 124 - 150.
- WINKLER-HERMADEN A., 1955 - Ergebnisse und Probleme der quartären Entwicklungsgeschichte am östlichen Alpensaum außerhalb der Vereisungsgebiete. Denkschriften d. mathem. - naturwiss. Kl. d. österr. Akad. d. Wiss., 110, (1), Wien, 180 S., 3 Taf., 1 Tab.
- WINKLER-HERMADEN A., 1957 - Geologisches Kräftespiel und Landformung, Wien 822 S.
- WOCHENBLATT für den politischen Bezirk Weiz, 5, (38), Weiz, 15. Dezember 1923. Gründende Versammlung des Vereines für Höhlenkunde, Ortsgruppe Weiz.
- WOCHENBLATT für den politischen Bezirk Weiz, 9, (14), Weiz, 2. April 1927. Verein für Höhlenkunde.
- ZÖTL J. G., 1960 - Zur Frage der Niveaugebundenheit von Karstquellen und Höhlen. Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Bd. 2, Berlin, 100 - 102.
- ZÖTL J. G., 1974 - Karsthydrogeologie, Springer Verlag, Wien - New York, X, 291 S., 2 Taf.

VERZEICHNIS DER BISHER ERSCHIENENEN BÄNDE

Band	1	VORTRAGSREIHE ABFALLBESEITIGUNG, 18. April 1964 Neuaufgabe 1968, von W.Tronko, B.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	GEWASSERSCHUTZ 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 ZUSAMMEN- FASSENDEN 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 WASSERWIRTSCHAFT- LICHE RAHMENPLANUNG IM FLUSSGEBIET DER MÜRZ, von H.Wengert, E.Hillebrand, K.Freisitzer, 1967.	S 131,--
Band	12	HYDROLOGIE DER MURTALES, von N.Anderle, 1969.	S 131,--
Band	13	10 JAHRE GEWASSERGÜTEAUFSICHT IN DER STEIERMARK 1959 - 1969, von L.Bernhart, H.Sölkner, H.Ertl, W.Popp, M.Noë, 1969.	S 112,--
Band	14	GEWASSERSCHUTZMASSNAHMEN IM SCHWERPUNKTGEBIETEN - STEIERMARKS, 1970 (DAS VORLÄUFIGE SCHWERPUNKTPRO- GRAMM 1964 UND DAS SCHWERPUNKTPROGRAMM 1966), von F.Schönbeck, L.Bernhart, E.Gangl, H.Ertl.	S 66,--

Band 15	INDUSTRIELLER ABWASSERKATASTER STEIERMARKS, von L.Bernhart, 1970.	S 157,--
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 ZELL- STROFFABRIKEN, 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 165,--
Band 21	UNTERSUCHUNG AN ARTESISCHEN WASSERN IN DER NÖRDLICHEN OSTSTEIERMARK, von L.Bernhart, J.Zötl, H.Zetinigg, 1972.	S 122,--
Band 22	GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM SÜDÖSTLICHEN GRAZERFELD, von L.Bernhart, H.Zetinigg, J.Novak, W.Popp, 1973.	S 90,--
Band 23	GRUNDWASSERUNTERSUCHUNGEN IM NORDÖSTLICHEN LEIBNITZER- FELD, von L.Bernhart, E.Fabiani, M.Eisenhut, F.Weber, E.P. Nemecek, Th.Glanz, W.Wessiak, H.Ertl, H.Schwing- hammer, 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	GERNALPLAN DER WASSERVERSORGUNG STEIERMARKS, ENTWURFS- STAND 1973, von L.Bernhart, E.Fabiani, E.Kauderer, H.Zetinigg, J.Zötl, 1974.	S 400,--
Band 30	GRUNDLAGEN FÜR WASSERVERSORGUNGSWIRTSCHAFTLICHE PLA- NUNGEN 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 SÜDWESTSTEIEMARK, 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 OSTSTEIEMARK, 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 WASSERVERBAND UMLANDES - 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 SÜDOSTSTEIEMARK, von L.Bernhart, 1978.	S 140,--
Band 38	ZENTRALWASSERVERSORGUNG FÜR DIE SÜDOSTSTEIEMARK, 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 SÜDWESTSTEIEMARK, 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 SÜDWESTSTEIEMARK, 4. TEIL, GRUNDWASSERERSCHLIESSUNGEN IM TALE DER LASSNITZ, SULM UN 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 GRUNDWASSER, 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 HOCHSCHWAB- GEBIET, TEIL II, DIE UNTERSUCHUNGEN: GESCHICHTE - DURCHFÜHRUNG - METHODIK, von E.Fabiani, 1980.	S 80,--
Band 46	GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWAB- GEBIET, 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 HOCHSCHWAB- GEBIET, TEIL IV, DIE UNTERSUCHUNGEN IM TRAGÖSSTAL, von E.Fabiani, 1980.	S 200,--
Band 48	GRUND- UND KARSTWASSERUNTERSUCHUNGEN IM HOCHSCHWAB- GEBIET, TEIL V, UNTERSUCHUNGEN IN DEN SÜDLICHEN HOCHSCHWABTÄLERN (ILGENER TAL 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, BE- MÜHUNGEN 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 HOCH- SCHWAB - SÜD 1971 - 1981", von L.Bernhart, R.Burg- staller, 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 Ein- führung von L.Bernhart, 1983.	S 200,--
Band 62	DIE MESSUNGEN DER FLIESSGESCHWINDIGKEITEN DES GRUNDWASSERS 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, 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 GRUNDWASSER 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 - Schippeck, Ch.Kaiser, 1990.	S 200,--
Band 71	KARSTHYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM WEIZER BERGLAND, P.Hacker, 1991.	S 200,--

