

Carinthia II	170./90. Jahrgang	S. 161–180	Klagenfurt 1980
--------------	-------------------	------------	-----------------

Karsthydrologische Kartierung der Petzen, Kärnten, Österreich

Von Andreas BRANDT und Clemens v. HÜTSCHLER

(Mit 3 Abbildungen und 4 Tafeln)

Herrn Univ.-Prof. Hofrat Dr. Franz KÄHLER
zur Vollendung des achtzigsten Lebensjahres gewidmet

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser Arbeit wurden im Gebiet der Petzen die geologischen und tektonischen Verhältnisse sowie die Karstwasserchemie und der Wasserhaushalt untersucht.

Die vorkommenden Wässer gehören zum Typ des hydrogenkarbonatischen Wassers, wobei der Chemismus typisch auf das Verhalten des Karstwasserspeichers reagiert.

Bedingt durch die kurze Beobachtungszeit, zeichnen sich bei den Quellschüttungen nur Trendwerte ab, die darauf schließen lassen, daß die Petzen über einen größeren Karstwasserspeicher verfügt.

SUMMARY

This study in the Petzen-area tries an analysis of the geological and tectonic problems as well as the karst-water-chemistry and the water balance.

The Petzen-waters belong to the type of the hydrogencarbonatic water. The chemistry shows a typical reaction in relation to the karstic-water-reservoir.

Because of the short time of spring-supervision the results of the water-discharge give trend-datas, which lead to the conclusion, that a karstic-water-reservoir exists in the Petzen-area.

VORWORT

Diese Arbeit wurde im Rahmen zweier Diplomarbeiten – vom Geol. Pal. Institut der Universität Hamburg – von den beiden Autoren in den Jahren 1976/77 durchgeführt.

Vergeben wurde die Arbeit vom Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 15, in Klagenfurt.

Unser Dank gilt dem Landesgeologen, Herrn OR. Dr. HERZOG, sowie Herrn Prof. Dr. THIEDIG (Geol. Pal. Institut der Universität Hamburg) für die ständige Betreuung der Arbeit.

Für die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit möchten wir den folgenden Herren danken:

Dr. STRAYLE, Dr. VILLINGER vom Geol. Landesamt in Freiburg, Dr. LÖHNERT, Dr. PALUSKA vom Geol. Landesamt in Hamburg, Dr. HÜBEL (BBU), Dr. TROSCHL (Wetteramt in Klagenfurt), Dr. STRUCL (Mežica, Jugoslawien), Dr. KEMPE (Geol. Pal. Inst. d. Universität Hamburg) sowie allen Kommilitonen im 12. Stock des Geomatikum.

Diese Arbeit bildet die Voruntersuchung für einen Großversuch, der zu einem späteren Zeitpunkt vom Institut für Geothermie und Hydrologie in Graz (Doz. Dr. ZOJER) durchgeführt werden soll.

EINLEITUNG

Die meisten Ortschaften in der Umgebung der Petzen erhalten ihr Trinkwasser aus den Karstquellen des Berges. Durch den ansteigenden Fremdenverkehr sowie durch die steigenden Bevölkerungszahlen steigt der Wasserbedarf ständig. Dadurch sind einige Quellen an den Rand ihrer Leistungsfähigkeit gelangt.

Die Tabelle zeigt, welche Quellen für die Wasserversorgung genutzt werden (Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 18, Hydrographie):

Bachsystem	Quelle	Ortschaften
Kanauf	Podrietschnig	Stadtgemeinde Bleiburg
Rischbergbach	St. Georgen	Stadtgemeinde Bleiburg
Feistritz	Feistritz	Privat (Familie Krauth) z. T. Feistritz
Dolintschitschach	Wasserstollen	Feistritz, Penk, Pirkdorf, Gonowetz, St. Michael, Lettenstätten
Wackendorfer Bach	Wasserstollen	Eberndorf, St. Kanzian, Globasnitz, Völkermarkt
Globasnitzbach	Neuberschquelle	Globasnitz, Völkermarkt

Hauptaufgabe dieser Arbeit war es deshalb, die gesamte hydrologische Situation zu analysieren. Gleichzeitig soll die Arbeit die Grundlage für einen Markierungsversuch sein, der zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden soll.

1.1. Lage des Arbeitsgebietes

Das Arbeitsgebiet liegt im südöstlichen Teil der Nordkarawanken, ca. 40 km südöstlich Klagenfurts, an der Staatsgrenze Österreich-Jugoslawien. Das Gebiet hat eine Größe von 81 km². Die größte Erhebung bildet die Petzen, 2114 m, NN.

1.2. Geologischer und morphologischer Überblick

Die Petzen besteht aus mehreren großen und kleineren Kalkeinheiten, die durch Störungen voneinander getrennt sind. Die östliche Grenze wird von einer Störung, dem sogenannten Petzenverwerfer (STRUCL, 1970), gebildet; die westliche Grenze ist der Einschnitt des Globasnitzbaches.

Die ältesten Gesteine sind die anchimetamorphen Tonschiefer der Magdalensbergserie. Die Hauptschichtglieder werden von triadischen Kalk- und Dolomitgesteinen eingenommen.

Eine lückenlose Abfolge vom Skyth bis zum Nor ist im Arbeitsgebiet aufgeschlossen. Hauptfelsbildner ist der Wettersteinkalk mit Mächtigkeiten zwischen 1200 und 1500 m.

Der hangende Wettersteinkalk hatte durch seine Pb/Zn-Vererzung wirtschaftliche Bedeutung. Aus diesem Grunde sind im Petzengebiet Schächte und Stollen mit einer Gesamtlänge von ca. 30 km vorhanden. Jurakalke sind im Gebiet des Rischbergbaches zu finden.

Das Tertiär bildet an der Überschiebungsgrenze der Karawanken auf das Vorland einen wasserstauenden Horizont.

Quartäre Ablagerungen glazigenen Charakters beschränken sich im wesentlichen auf Bereiche ehemaliger Kargletscher sowie auf einige Bereiche am Rischbergbach.

1.3. Karstmorphologie

Im Bereich zwischen Hochpetzen und Feuersberger Spitze liegt eine ca. 2 km² große, nach SW geneigte Karsthochfläche. Vom Knieps bis zum NW-Ende des Plateaus zieht sich eine lange Reihe von Dolinen in SE-NW-Richtung. Man findet ungefähr 20 Dolinen unterschiedlicher Größe. Die meisten haben einen Durchmesser von 3 bis 4 Metern und lassen sich z. T. einige Meter nach unten verfolgen.

Besonders im SW-Bereich des Plateaus lassen sich sehr unterschiedliche Korrosionsformen beobachten: kleine unregelmäßige Dolinen, Schächte,

die nach unten verstopft sind, und Spalten. Die Wände und Böden der Dolinen sind meist verlehmt. Der Lehm enthält Augensteine, selten Bohnerze.

Nach BAUER (1973) können die Augensteine ins Ober-Pannon gestellt werden. Sie entsprechen damit altersmäßig dem Barentalkonglomerat.

Zwischen Kniepsattel und Kordeschkogel liegen weitere Flächen mit Dolinen.

Die Karsthochfläche der Petzen muß älter sein als die Augensteinüberschüttung. Man kann davon ausgehen, daß es sich um eine alte Landoberfläche aus dem Miozän handelt, deren Schotterbedeckung zerstört worden ist und nur noch als Rest in Dolinen erhalten blieb.

Nach KAHLER (1941) erfolgte die Verschüttung der nördlichen Karawankenkette mit Flußablagerungen von Norden her und erreichte die südliche Karawankenkette nicht.

Die Verkippung der Karsthochfläche ist nach BAUER (1973) auf jungtertiäre Hebungen zurückzuführen. Dafür sprechen die zu einem Konglomerat verfestigten Tertiärgerölle, die als Kluftfüllungen auf den Hochflächen auftreten.

1.4. Unterirdischer Karst

Als einzige unterirdische Karsterscheinung fanden wir eine Höhle, deren Mundloch in 1070 m Höhe in der Stiege oberhalb Wackendorfs liegt. Sie ist auf 8 bis 9 m Länge befahrbar und zieht sich mit leichter Neigung in östlicher Richtung am Fuße einer Felswand in den Berg hinein. Der Gang von knapp 1 m Höhe und 0,5 m Breite weist an einigen Stellen auf halber Höhe einen Sintersims auf.

2. DIE TEKTONIK DES PETZENGEBIETS

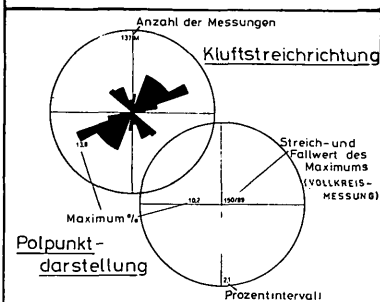
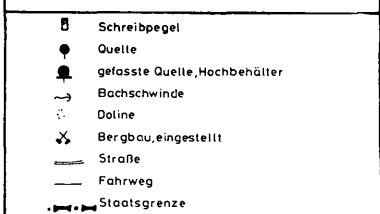
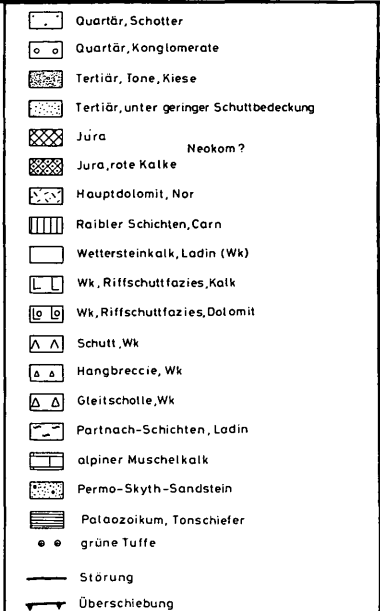
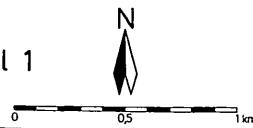
(Tafel 1: Geologische und klufttektonische Karte mit Quellschüttungen)

Die Wasserführung erfolgt in Kalkstein, der nahezu wasserundurchlässig ist, ausschließlich über die Klüfte. Aus diesem Grund wurde das Arbeitsgebiet klufttektonisch vermessen. Die gewonnenen Daten wurden mit einem Computerprogramm, welches das Streichen und Fallen der Klüfte in der stereographischen Projektion darstellt, bearbeitet. Die Gesamtkluftrose zeigt zwei Hauptkluftrichtungen: NE-SW und NW-SW. Daneben sind noch alle anderen Richtungen vertreten, was auf eine starke tektonische Beanspruchung des Petzengebietes hinweist. Das versickernde Wasser kann hier leicht durch die korrosiv erweiterten Klüfte in den tieferen Untergrund abfließen.

Zur weiteren Untersuchung wurden dann neun Meßbereiche festgelegt, die sich aus den durch große Störungen getrennten Bereichen ergaben. Für jeden Meßbereich existiert eine Kluftrose und ein Polpunktogramm (siehe Karte).

Karsthydrologische Kartierung der Petzen südlich Bleiburg, Kärnten, Österreich Geologie, Klufttektonik

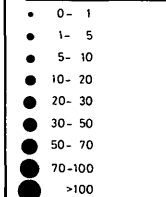
Tafel 1



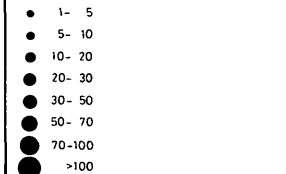
Meßbereiche

- Hochpetzen
- Petzenstraße
- Muschenik
- Dickenberg
- Wackendorferstr. N
- Forststr. Wackend. S
- Globasnitzstr.
- Turm
- Luscha Alm

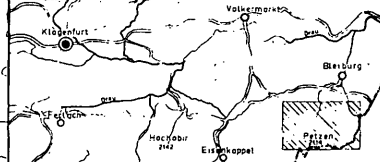
Quellschüttung (l/sec)



IV1 Nr. der Quelle



Lage des Gebietes in Kärnten, Österreich



Anhand der Klüftrosen und der Polpunktdiagramme läßt sich ersehen, daß jeder Meßbereich seine eigene Klüfttektonik aufweist. Die Klüfte stehen mit durchschnittlich 85° sehr steil, was dem Wasser den direkten Weg in die Tiefe erleichtert.

3. DER WASSERHAUSHALT

Die wichtigste Aufgabe bei der Erstellung einer Wasserbilanz besteht darin, kontinuierlich Abflußmessungen durchzuführen. Im Frühjahr 1976 wurden dafür vier Schreibpegel an den Hauptabflüssen der Petzen errichtet:

Rischbergbach:	am südlichen Ortsende von St. Georgen
Feistritz:	an der alten Schmelz
Wackendorfer Bach:	in der Ortschaft Wackendorf
Globasnitzbach:	südlich Globasnitz, an der alten Mühle

Außerdem wurden zwei Niederschlagsstationen am Zollhaus Rischberg (640 m, NN) und auf Siebenhütten (1480 m NN) eingerichtet. Eine Regenmeßstation existiert schon seit längerem am Postamt in St. Michael.

Die Schreibpegel erfassen immer den Abfluß des gesamten Baches. Die beste Lage in bezug auf die Quellen haben die Pegel von Feistritz und Wackendorf. Doch hier werden nur die Überläufe der Quelfassungen erfaßt, da beide Quellen zur Trinkwasserversorgung genutzt werden.

Beim Globasnitzbach stammt die Hauptwassermenge aus der Neubersch-Quelle, aber es setzen ihm noch eine Reihe von Quellen zu, die außerhalb des Arbeitsgebietes liegen.

Im Rahmen der Wasseruntersuchungen wurde bei der Probennahme von Mai bis September 1976 die Schüttung der einzelnen Quellen gemessen.

3.1. Abfluß- und Niederschlagsmengen

(Tafel 2: Abfluß- und Niederschlagsmengen des Petzengebietes)

Die Abfluß- und Niederschlagsmengen für die Monate Mai bis September 1976 sind in einem Diagramm dargestellt: Auf der Ordinate wurde der Niederschlag in cm bzw. der Abfluß in l/sec gegen die Zeit aufgetragen.

Der Schüttungscharakter einer Quelle kann durch das Verhältnis zwischen niedrigster und höchster Schüttung wiedergegeben werden (NQ:HQ).

HQ = höchster bekanntester Schüttungswert innerhalb eines Jahres

NQ = niedrigster bekanntester Schüttungswert innerhalb eines Jahres

MQ = mittlerster bekanntester Schüttungswert innerhalb eines Jahres

Derartige Schwankungsziffern beinhalten aber einen großen Fehler, da sie stark von den Extremwerten beeinflusst sind. Günstiger ist es deswegen, zum Vergleich den Schüttungscharakter nach der von MEINZER entwickelten Formel zu bestimmen. Diese Methode wurde erfolgreich von VILLINGER (1972) im Gebiet der Schwäbischen Alb angewandt. Nach MEINZER

kann über einen sogenannten Variabilitätsfaktor eine Karstquelle eingestuft werden. Dieser Faktor V wird nach folgender Formel berechnet:

$$V = \frac{a-b}{c} \times 100 \text{ l/sec}$$

a = HQ, b = NQ, c = MQ

Allgemein gilt: Je größer V, desto nervöser ist die Karstquelle in ihrem Schüttungsverhalten. In der folgenden Tabelle, Abb. 2, wird der Schüttungscharakter nach beiden Verfahren bestimmt:

Aufgrund dieser Berechnungen kann eine Klassifizierung der Quellen vorgenommen werden. Das konstanteste Verhalten hat die Feistritz, dann folgen der Globasnitzbach, der Rischbergbach und der Wackendorfer Bach.

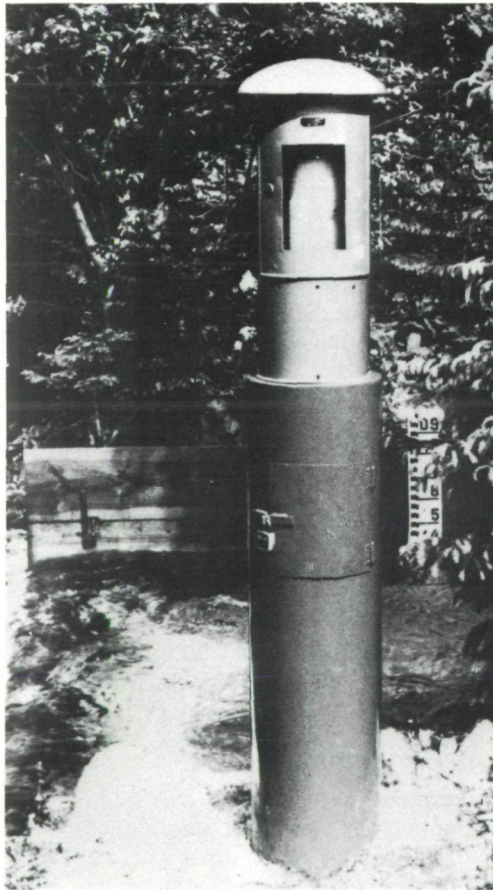
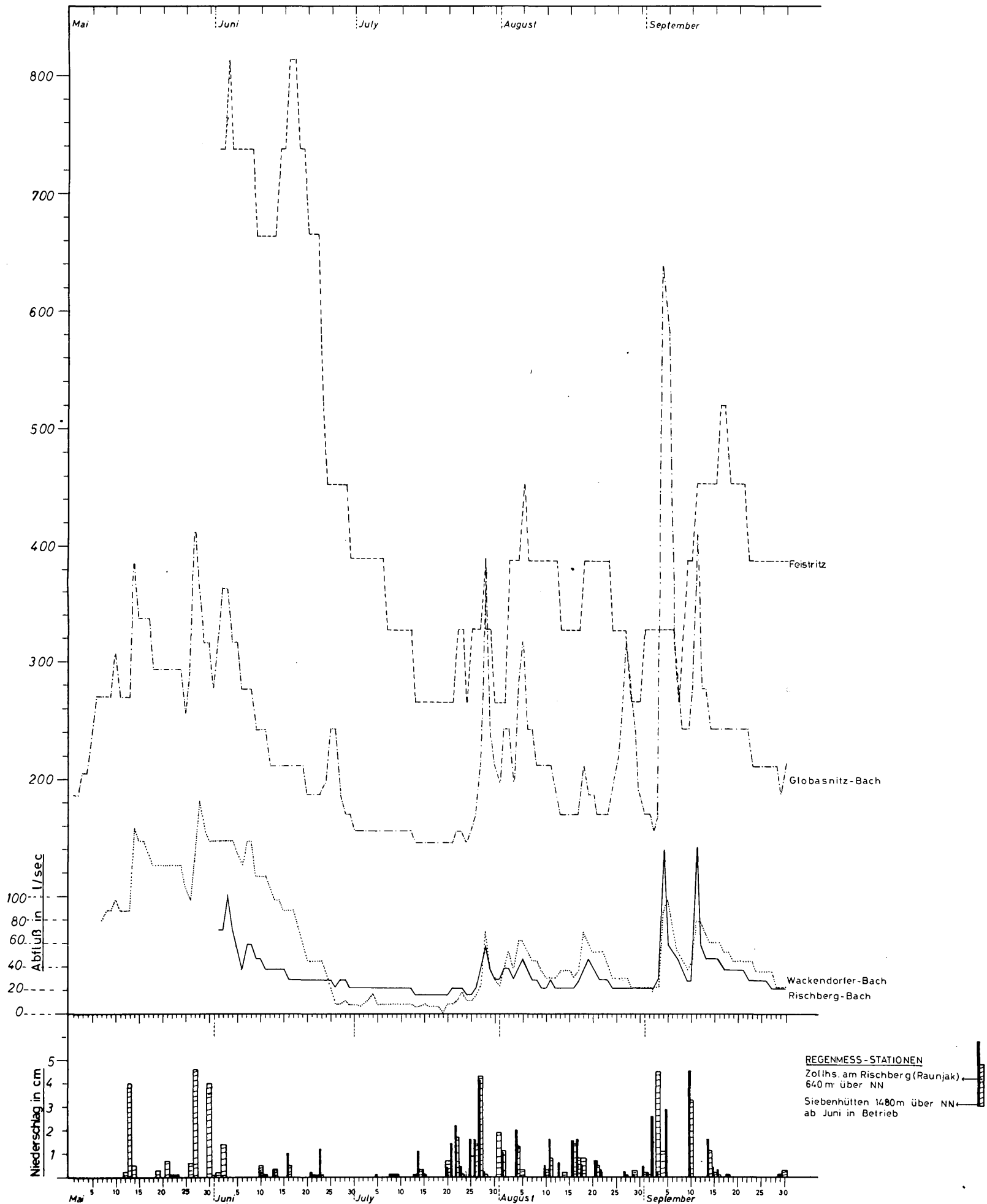


Abb. 1: Pegelschreiber an der Feistritz.

Tafel 2

ABFLUSS- und NIEDERSCHLAGSMENGEN des Petzengebietes/Kärnten, 1976



Es ist aber für dieses Gebiet unzureichend, die Karstwässer nur nach den eben beschriebenen Verfahren zu beurteilen. Die Schreibpegel sind größtenteils nicht ideal plaziert, daher wollen wir die Bachsysteme im einzelnen betrachten.

Feistritz

Wie die Abflußganglinie der Feistritz in der Zeit von Juni bis September 1976 zeigt, erreicht sie mit einem durchschnittlichen HQ von 544 l/sec bei weitem die größte Schüttung aller Quellen des Petzengebietes. Die mittlere Schüttung liegt bei 430 l/sec. Ein Teil des Wassers wird schon im Quellstollen über ein Druckrohr nach Feistritz abgeleitet. Die tatsächliche Quellschüttung ist also noch erheblich größer.

Die Abflußganglinie zeigt einen charakteristischen treppenförmigen Verlauf. Ähnliche Treppen in der Ganglinie sind bei der Aachquelle der Donau zu beobachten. ERB (1952) führt dies auf „stufenweise zum Füllen bzw. Entleeren gebrachte Speicherterrassen im Gebirgsinnern“ zurück. Das bedeutet, daß Quellen mit treppenförmigen Ganglinien über einen Speicher verfügen. Bestätigt wird diese Annahme bei der Feistritz durch die relativ konstante Temperatur von ca. 5,5°C sowie durch das niedrige Schüttungsverhältnis. Diese niedrigen Schüttungsverhältnisse sind nur bei einem ausgeglichenen Schüttungsgang möglich; ein ausgeglichener Schüttungsgang ist wiederum nur bei einem großen Speicher möglich.

Rischbergbach		Juni	Juli	Aug	Sept
l/sec	NQ	22	16	22	22
	MQ	41	23	29	44
	HQ	102	59	47	102
	NQ:HQ	1:4,6	1:3,6	1:2,1	1:4,6
v		195	186	86	181

Globasnitz-		Juni	Juli	Aug	Sept
Bach	NQ	156	146	170	156
	MQ	235	167	212	263
	HQ	362	362	317	640
	NQ:HQ	1:2,3	1:2,4	1:1,8	1:4,1
v		87	129	69	184

Wackendorfer-		Juni	Juli	Aug	Sept
Bach	NQ	8	1	23	23
	MQ	82	13	40	49
	HQ	148	70	70	97
	NQ:HQ	1:18,5	1:70	1:3,0	1:4,2
v		170	530	117	151

Feistritz		Juni	Juli	Aug	Sept
l/sec	NQ	390	267	267	267
	MQ	648	318	356	399
	HQ	813	390	453	522
	NQ:HQ	1:2	1:1,4	1:1,6	1:1,9
v		65	38	52	63

Abb. 2: Schüttungscharakter von vier Karstwässern des Petzengebietes, Kärnten.

Globasnitzbach

Die Schwierigkeit bei der Beurteilung der Abflußganglinie dieses Baches liegt darin, daß zwar die Hauptwassermenge aus dem Überlauf der Neuberschquelle stammt, aber außerdem noch weitere Quellen, die im Rahmen dieser Arbeit nicht erfaßt sind, dem Bach zusetzen. Die Neuberschquelle wird für die Trinkwasserversorgung genutzt, und nur der Überlauf fließt in den Bach. Die tatsächliche Schüttung des Baches liegt also höher.

Auch hier sind von Mai bis Mitte Juni und im August/September treppenförmige Abstufungen in der Abflußganglinie zu beobachten. Das läßt ebenfalls auf einen vorhandenen Speicher schließen. Auf länger anhaltende Niederschläge reagiert der Bach mit ein bis zwei Tagen Verzögerung. Die Maxima in der Ganglinie gehen in diesen Fällen abrupt nach oben. Besonders auffallend ist dies Ende Juli und Anfang August nach einer längeren Trockenperiode. Das ist zweifellos auf die vielen kleinen Karstquellen zurückzuführen, die dem Bach im Oberlauf zusetzen.

Wackendorfer Bach

Der Schreibpegel in Wackendorf reagiert ausschließlich auf den Überlauf des Hochbehälters des Wackendorfer Quellstollens der WV-Anlage von Wackendorf. Schon aus der Abflußganglinie kann man sehen, daß die vorhandene Quellschüttung in Minimazeiten nicht ausreicht, um den Bedarf zu decken. Am 19. 7. 1976, während extremer Trockenheit, ging der Überlauf auf Null zurück. Der registrierte Anstieg in der Ganglinie ist auf die Zuleitung von Wasser aus einer anderen Quelle zurückzuführen. Das Zupumpen wurde am 1. 8. 1976 wiederholt. Die Temperatur der Quelle schwankt zwischen 6,5 und 7,5°C, ist also relativ konstant.

Die Abflußganglinie zeigt von Mai bis Mitte Juni Ansätze eines treppenförmigen Verlaufs. Die Quelle brauchte dann einen ganzen Monat, von Mitte Juli bis Mitte August, um sich von der Trockenperiode wieder zu erholen. Erst nach dieser Phase sind wieder die Treppen in der Ganglinie zu sehen.

Rischbergbach

Der Rischbergbach wird von einer Vielzahl von kleinen Quellen gespeist. Die größte ist die St.-Georgen-Quelle, die auch zur Trinkwasserversorgung genutzt wird. Sie schüttet durchschnittlich 3 l/sec. Die entnommene Wassermenge übersteigt noch nicht die Kapazität der Quelle. Die Entnahme darf aber nicht größer werden, da der Überlauf schon während der Beobachtungszeit nie tätig war. Die Schüttungsverhältnisse zeigen einen unausgebalancierten Schüttungsgang. Die Abflußganglinie reagiert auf Niederschläge mit einem Tag Verzögerung. Dabei stehen die Maxima immer in einem charakteristischen Verhältnis zur Niederschlagsmenge. Das läßt

darauf schließen, daß die Quellen sehr stark auf Oberflächenwasser reagieren. Die hohe Lage des tertiären Lehms führt hier zu einer Versumpfung und läßt eine Speicherung des Wassers nicht zu.

Schlußfolgerung

Die Beurteilung von Karstquellen nur aufgrund der Schüttungsquotienten ist nicht ausreichend. Das würde genauso wie die isoliert betrachteten Abflußganglinien das Bild verfälschen.

Es hat sich gezeigt, daß die Schreibpegel in den meisten Fällen nicht ideal plziert worden sind. Günstiger ist es, Meßstationen an den Quellen direkt einzurichten.

Aufgrund der bis jetzt vorliegenden Daten ist es auf jeden Fall empfehlenswert, weitere Quellen, wie Kanauf und Feistritz, für die Wasserversorgung zu nutzen, um den steigenden Bedarf zu decken.

3.2. Ermittlung der Karstwasserspeicherung

(Tafel 3: Semilogarithmische Darstellung von 4 Abflüssen)

Neben der Quellschüttungsganglinie und dem Schüttungsquotienten lassen sich aus dem Abflußverhalten bei Trockenwetter wichtige hydrologische Schlüsse ziehen.

Die Quellschüttung in niederschlagsfreien Zeiten führt zur Verminderung des Karstwasserkörpers, was gesetzmäßig vor sich gehen kann.

Aus jeder Abflußganglinie läßt sich die Trockenwetterabflußganglinie = TWL konstruieren (NATERMANN, 1951).

Die TWL während niederschlagsfreier Perioden wird aus den fallenden Kurvenstücken der Abflußganglinie konstruiert. Aus der Form der TWL ist es nun möglich, Rückschlüsse auf das Speichervermögen zu ziehen.

Allgemein läßt sich sagen, daß sich bei steil abfallenden Kurven der Karstwasserspeicher schnell entleert. Im Verlauf der TWL treten häufig Gefälleänderungen auf. Diese Erscheinung läßt sich mit den Begriffen „kurzfristiges“ und „langfristiges Karstwasser“ näher erklären (VILLINGER, 1969). Die Konstruktion der TWL nach NATERMANN (1951) führt zu einer Fallkurve, die sich asymptotisch der Null-Linie nähert. Da aber die Witterungsbedingungen von aufeinanderfolgenden Trockenzeiten niemals übereinstimmen, ist die so konstruierte Kurve nur idealisiert. Außerdem nimmt die Ablesegenauigkeit in dem flachen Kurvenstück erheblich ab. Nach STRAYLE (1970) ist es deswegen von vornherein besser, den Schüttungsabfall in Form einer Geraden darzustellen: Die Quellschüttung Q geht während einer Trockenzeit um αQ zurück. α nimmt einen Wert zwischen 0 und 1 an. Dann beträgt die Schüttungsabnahme in beliebig kleinen Zeitabschnitten dt .

$$\frac{dQ}{dt} = -\alpha Q$$

$$\text{durch Umformen folgt: } \frac{dQ}{Q} = -\alpha dt$$

Diese letzte Gleichung ist zu lösen, wenn Q_0 die Anfangsschüttung zum Zeitpunkt $t = 0$ und Q die Endschüttung zum Zeitpunkt t ist.

Durch Integration folgt:

$$\int \frac{dQ}{Q} = - \int \alpha dt + c, \text{ da}$$

$$\int \frac{dx}{x} = \ln x + c, \text{ wenn } x > 0$$

- (1) $\ln Q = -\alpha t + c$ bei $t = 0$ ist die Schüttung Q_0 ,
 $\ln Q = c$ dieser Ausdruck wird in (1) eingesetzt:
- (2) $\ln Q = \ln Q_0 - \alpha t$ durch Logarithmieren folgt:
 $\ln Q = \ln Q_0 - \alpha t$
- (3) $Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$

Q ist der Abfluß nach der Zeit t , die verstrichen ist, seit der Abfluß Q_0 gemessen wurde.

Die Gleichung (3) ist schon von MAILLET (1905) beschrieben worden. Der Faktor α in dieser Gleichung stellt für jede Quelle einen spezifischen Koeffizienten dar.

Nach STRAYLE (1970) kann α wie folgt ermittelt werden: Gleichung (2) braucht nur in dekadischen Logarithmen ausgedrückt zu werden.

$$\begin{aligned} \ln Q_t &= \ln Q_0 - \alpha t \\ \lg Q_t &= \lg (Q_0 \cdot e^{-\alpha t}) \\ &= \lg Q_0 + \lg e^{-\alpha t} \\ &= \lg Q_0 - 0,4343 \cdot \alpha t \end{aligned}$$

Die in der Literatur angegebenen α -Werte schwanken zwischen 0,0025 und 0,05. Für das Gebiet der Petzen war es schwierig, α zu bestimmen, da die Beobachtungszeit nur 5 Monate betrug.

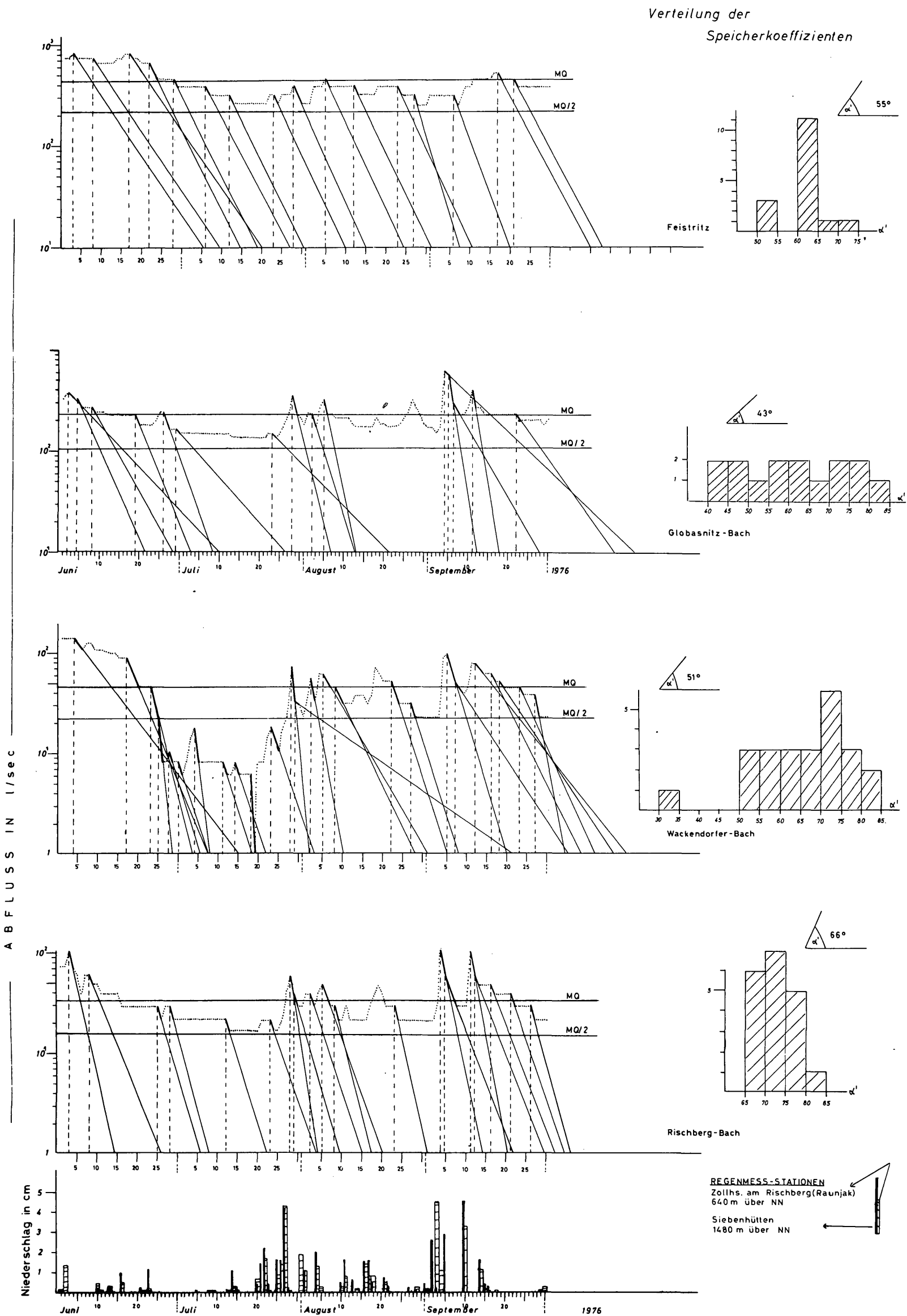
Da man aber davon ausgehen kann, daß im Petzengebiet ein einheitlicher Grundwasserkörper im Wettersteinkalk besteht, ist es möglich, die Speicherdauer graphisch mit der semilogarithmischen Darstellung zu ermitteln. Diese Methode wurde mit Erfolg von STRAYLE (1970) auf der Ebinger Alb praktiziert.

Die vier durch Schreibpegel kontrollierten Abflüsse werden dabei wie folgt dargestellt:

Auf den Ordinaten sind die Abflüsse in l/sec logarithmisch gegen die Tage aufgetragen. Ganz unten sind die Niederschläge dargestellt. Die fetten Linien in den Abflußganglinien sind die TWL. Sie wurden auf die Basislinie 10 l/sec bzw. 1 l/sec verlängert und schließen so mit dieser den Winkel α' ein. Der Winkel ist zum Speicherkoeffizienten proportional, da er sich in der selben Weise ändert.

SEMILOGARITHMISCHE DARSTELLUNG von 4 ABFLÜSSEN
aus dem PETZENGEBIET / KÄRNTEN, 1976

Tafel 3



Die Speicherdauer kann auf der Basislinie direkt aus der Differenz zwischen dem Lot Q_0 der jeweiligen TWL auf die Basislinie und der verlängerten TWL abgelesen werden.

Zunächst ist auffallend, daß die Steigungsgeraden innerhalb eines Einzugsgebietes z. T. stark variieren. Deswegen erweist es sich als zweckmäßig, ein Verteilungsdiagramm der α' -Winkel für jede Abflußganglinie aufzustellen. Es wurden die α' -Winkel gegen die absoluten Häufigkeiten für 5°-Intervallbereiche aufgetragen.

Die Maxima von α' zeigen bei allen Quellen hohe Werte. Kleine Werte für α' lassen auf ein großes Speichervermögen schließen (STRAYLE, 1970).

Da diese Aussage zunächst im Widerspruch zu den Ergebnissen des vorigen Kapitels steht, soll α rechnerisch nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$\alpha = \frac{\lg Q_0 - \lg Q_t}{0,4343 \cdot t}$$

α wurde jetzt für jede Meßreihe aus markanten Q_0 - bzw. Q_t -Werten bestimmt:

Feistritz:	$Q_0 = 665 \text{ l/sec}$ $Q_t = 453 \text{ l/sec}$ $t = 3$	$\alpha = 0,130$
Globasnitzbach:	$Q_0 = 640 \text{ l/sec}$ $Q_t = 243 \text{ l/sec}$ $t = 4$	$\alpha = 0,242$
Wackendorfer Bach:	$Q_0 = 97 \text{ l/sec}$ $Q_t = 37 \text{ l/sec}$ $t = 5$	$\alpha = 0,19$
Rischbergbach:	$Q_0 = 102 \text{ l/sec}$ $Q_t = 28 \text{ l/sec}$ $t = 5$	$\alpha = 0,25$

Der so ermittelte α -Wert ist charakteristisch für jede Quelle und gibt im übertragenen Sinn die Steilheit der TWL an (STRAYLE, 1970). Doch auch diese rechnerisch bestimmten Werte liegen höher als die in der Literatur zu findenden Werte für klüftige Kalksteine.

Wir nehmen an, daß es sich hierbei um ausgesprochene Extremwerte handelt, die sich nach längerer Beobachtungszeit eventuell revidieren lassen. Andererseits muß auch in diesem Fall die Auswertung der Daten im Zusammenhang mit der speziellen Situation der Petzenquellen gesehen werden. Es soll deswegen die TWL der Karstbäche näher betrachtet werden.

Feistritz

Die Speicherdauer schwankt zwischen 33 und 12 Tagen, die durchschnittliche Speicherdauer beträgt 21 Tage. Das Maximum von α' liegt zwischen 60° und 65°, der kleinste α' -Winkel beträgt 55°. Das läßt auf ein Reservoir

schließen, das in der Feistritzquelle seinen Überlauf hat. Der Abflußmechanismus könnte wie folgt erklärt werden:

Der minimale Karstwasserspiegel liegt in Höhe der Quellöffnung. Reichlicher Niederschlag führt zu einer Auffüllung des Reservoirs zum maximalen Karstwasserspiegel. Bei der gegebenen Schüttung dauert es nun entsprechend lange, bis der Karstwasserspiegel wieder seinen minimalen Stand erreicht hat. Dabei spielen die Geometrie der Hohlräume sowie die Abflußöffnung für die Größe von α' eine Rolle. Große Hohlräume und große Öffnungen führen zu einer Vergrößerung von α' . Dies scheint bei der Feistritzquelle der Fall zu sein.

Globasnitzbach

Anfang September tritt eine doppelt geknickte TWL auf: Sehr starke Niederschläge, in diesem Fall 5 cm innerhalb eines Tages, erhöhen den Anteil des Oberflächenwassers ganz erheblich. Nachdem dieses Oberflächenwasser abgeflossen ist, ist es möglich, anhand des zweiten Knicks in der TWL zwischen kurzfristigem und langfristigem Karstwasser zu unterscheiden. Das kurzfristige Karstwasser führt zu einer steileren TWL und damit zu kurzen Speicherzeiten.

In diesem Fall sind dies 7 Tage gegenüber 21 Tagen, die das langfristige Karstwasser braucht, um aus den Klüften auszusickern. Wesentlich ist auf jeden Fall, daß dieser doppelte Knick nicht in der TWL zu beobachten gewesen wäre, wenn direkt am Quellmund gemessen worden wäre. Bei einer derartigen Position wäre das Oberflächenwasser nicht mit erfaßt worden. Die kleinen α' -Werte sind auf die Schüttung der Neuberschquelle zurückzuführen und lassen bei dieser auf einen Speicher schließen.

Wackendorfer Bach

Auch hier ist eine Unterscheidung zwischen kurzfristigem und langfristigem Karstwasser möglich. Das Oberflächenwasser macht sich nicht bemerkbar, da die TWL nur einen Knick aufweist. Der Ablauf des kurzfristigen Karstwassers dauert ca. 2 Tage. Die Speicherdauer variiert sehr stark und zeigt eine große Abhängigkeit vom Niederschlag. Wegen der intensiven Nutzung der Quelle ist es nicht möglich, hier eine Beurteilung der α' -Werte vorzunehmen.

Rischbergbach

Dieser Bach wird durch eine Vielzahl von kleinen Quellen gespeist. Merkwürdigerweise treten hier keine zweimal geknickten TWL auf. Eine Erklärung könnten die folgenden Punkte geben:

1. Niederschläge könnten von der üppigen Vegetationsdecke, die hier existiert, aufgefangen werden.

2. Ein großer Teil des Einzugsgebietes ist mit Hangschutt bedeckt. Niederschläge können so direkt in den Untergrund versickern und werden nicht dem Bach zugeführt, sondern speisen andere Quellen, wie z. B. Arnold und Podrietschnig.

Niederschläge mit ca. 20 mm pro Tag führen zu einer erhöhten Schüttung (= kurzfristiges Karstwasser), die dann gleichmäßig wieder abgegeben wird. Die α '-Winkel liegen zwischen 65° und 80° . Damit liegt eine geringe, aber nahezu gleichmäßige Speicherdauer von durchschnittlich 11 Tagen vor.

3.3. Versuch einer Schätzung der gespeicherten Karstwassermenge zum Zeitpunkt t

Nach LILLICH & RICHTER (1975) ist es möglich, bei Kenntnis von α die gespeicherte Karstwassermenge V zum Zeitpunkt t abzuschätzen. Q_1 sei die Schüttung zum Zeitpunkt t_1 , wobei t_1 der Anfangspunkt der Zeitspanne ist, in der die gespeicherte Wassermenge abfließt, d. h. $t_1 = 0$.

$$V = \int_{t_1}^{\infty} Q \cdot dt \quad \left[\frac{l/sec}{sec} \right], \text{ mit } Q = Q_1 \cdot e^{-\alpha t}$$

$$(4) \quad V = \frac{Q_1}{\alpha}$$

Aufgrund der Gleichung (4) ist es möglich, Q_1 jeweils in den Anfangspunkt der TWL zu legen, um dann die gespeicherte Karstwassermenge vorauszuberechnen.

Da bei der kurzen Beobachtungszeit noch keine repräsentativen α -Werte zur Verfügung stehen, wurden für die Berechnung die in der Literatur angegebenen kleinsten bzw. größten α -Werte verwendet. Von jedem Schreibpegel wurde dann der 3. Juni 1976 als Beispielwert genommen, um die Ergebnisse vergleichen zu können.

Folgende Werte wurden berechnet:

	Q des 3. 6. 76	V bei 0,0025	V bei 0,05
Feistritz	813 l/sec	325200 l	16260 l
Globasnitzbach	362 l/sec	144800 l	7240 l
Wackendorfer Bach	16 l/sec	6400 l	320 l
Rischbergbach	102 l/sec	40800 l	2040 l

Das tatsächliche V für das Gebiet der Petzen wird irgendwo zwischen diesen beiden Extremwerten liegen und erst nach längerer Beobachtungszeit exakt berechnet werden können.

3.4. Versuch einer Karstwasserbilanz

Durch die Aufstellung einer Wasserbilanz kann die jeweilig neugebildete Wassermenge bestimmt werden. Dabei müssen die folgenden drei Größen

bestimmt werden: 1. Verdunstungsmenge, 2. Niederschlagsmenge, 3. Abfluß.

Aus technischen Gründen ist es unmöglich, bei diesen drei Größen exakte Meßwerte zu erhalten. Zu viele Faktoren beeinflussen sie, so daß die gewonnenen Daten immer nur Näherungswerte darstellen. Karstwasserbilanzen liefern immer spekulative Ergebnisse.

Ein beträchtlicher Teil der Niederschläge geht in den gemäßigten Klimabereichen in Verdunstung über. Verdunstung findet dann statt, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

1. Es muß eine Fläche vorliegen, von der Wasser verdunsten kann.
2. Die Atmosphäre muß Wasserdampf aufnehmen können.
3. In den bodennahen Luftschichten müssen Turbulenzen herrschen, die den Dampftransport bewirken.

Die Verdunstung D ist die Differenz zwischen Niederschlag N und Abfluß Q : $D = N - Q$

Diese Beziehung liefert jedoch nur bei langjähriger Beobachtung exakte Ergebnisse und berücksichtigt nicht die unterschiedlichen Verdunstungsarten.

Günstiger ist es deswegen, die sogenannte potentielle Evapotranspiration (ET_{pot} , RICHTER & LILLICH, 1975) zu bestimmen. Man versteht darunter die größtmögliche Verdunstung eines Gebietes (= Gebietsverdunstung).

4. MODELL ZUR BERECHNUNG DER POTENTIELLEN EVAPOTRANSPIRATION

Von den existierenden Formeln zur Berechnung von ET_{pot} schien die HAUDE-Formel (1955) für das Arbeitsgebiet am meisten geeignet:

$$ET_{pot} = x \cdot P_{14} \left(1 - \frac{F_{14}}{100} \right)$$

F_{14} = rel. Luftfeuchtigkeit um 14^{00h} in %

P_{14} = Sättigungsdampfdruck bei der Lufttemperatur um 14^{00h}

x = Monatskoeffizienten: Juni = 0,37
 Juli = 0,35
 Aug. = 0,33

P_{14} läßt sich sowohl rechnerisch als auch aus vorhandenen Tabellen bestimmen.

$$P_{14} = 4,525 \cdot 10 \left(\frac{7,4475 \cdot t}{234,67 + t} \right) \text{ (mm Hg)}$$

Tabellen: LANDOLT-BÖRNSTEIN (1967)

Dabei muß jedoch die Abnahme des Dampfdrucks mit steigender Höhe im Gebirge berücksichtigt werden. Sie beträgt zwischen 1000 und 2000 m, NN etwa 0,58 mm Hg.

Für die drei Monate ergibt sich für das Petzengebiet folgendes Bild:

	Niederschlag in mm	ET _{pot} in mm P ₁₄ n. Formel	ET _{pot} in mm P ₁₄ n. Tabelle
Juni	34,2	158,7	107,6
Juli	143,6	160,1	114,5
August	98,5	99,4	63,8

Die erforderlichen Meßdaten stammen aus St. Michael ob Bleiburg. Die Niederschlagsmengen stammen von den Meßstationen Rischberg und Siebenhütten.

Die Problematik, die sich bei der Interpretation dieser Ergebnisse ergibt, soll kurz erläutert werden:

1. Den nach der Formel berechneten Werten ist sicherlich ein größerer Wert beizumessen als den Tabellenwerten. Die Tabellenwerte stellen nur allgemeine Durchschnittswerte dar. In den Monaten Juni und Juli ist die Verdunstung größer als der Niederschlag. Im August entspricht die Verdunstung ungefähr dem Niederschlag. Wie die Messungen zeigen, herrscht während der Sommermonate immer eine hohe Luftfeuchtigkeit, Niederschlag wird also weitgehend in Wasserdampf überführt.
2. Die Verhältnisse im Karst sind aber viel differenzierter als in karstfreien Gebieten. Nach STRAYLE (1970) kann die Gebietsverdunstung der Karsthochflächen nicht mit ET_{pot} gleichgesetzt werden. Niederschläge versickern trotz Vegetationsdecke auf den Karstflächen mit ihren vertikalen Abflußwegen ausgesprochen schnell. Deshalb ist Grundwasser niemals im Verdunstungsbereich zu finden. Der Karstwasserspiegel liegt immer mehrere Zehnermeter – im Petzengebiet sicherlich mehrere hundert Meter – unter der Geländeoberfläche.

Anhand dieses Phänomens konnte STRAYLE (1970) im Gebiet der Ebinger Alb nachweisen, daß Sommerniederschläge auch der Karstwasserneubildung zu gute kommen.

3. Die HAUDE-Formel berücksichtigt keine Vegetationsformen. Ein großer Teil des Gebietes besteht aber aus Wald, wodurch hohe Verdunstungswerte erzielt werden (THURNER, 1967).

Aufgrund unserer Oberflächenberechnungen (Computer-Programm G806: Flächenberechnung auf der Grundlage eines aus Rasterelementen bestehenden Reliefs) berechneten wir die Größe folgender Vegetationsflächen:

- a) Wiesen, Sträucher, Latschen (= Karsthochfläche des Hauptkammes)
3 km²
- b) Wald 45 km²
- c) nacktes Gestein 1 km²

Die Größe des gesamten Gebietes beträgt 49 km². 91 % sind also mit Wald bedeckt.

Die hohen Verdunstungswerte der HAUDE-Formel scheinen also eine gewisse Berechtigung zu haben.

Es wird sich aber zeigen, ob es nach der Auswertung der Ergebnisse einer längeren Beobachtungszeit überhaupt möglich ist, realistische Ergebnisse zu erzielen.

4.2. Vergleich zwischen der Niederschlagsmenge und der Quellschüttung

Nach THURNER (1967) ist es möglich, die Gesamtniederschlagsmenge zu berechnen:

$$Q = F \cdot N, \text{ wobei } \begin{array}{l} Q = \text{Niederschlagsmenge} \\ F = \text{Einzugsgebiet in m}^2 \\ N = \text{Niederschläge in mm, } 1 \text{ mm Niederschlag} \triangleq 1 \text{ l/m}^2 \end{array}$$

Die Größe des Einzugsgebietes wurde mit dem vorhin erwähnten Rechenprogramm ermittelt. Da bei diesem Verfahren das Relief mit berücksichtigt wird, erhält man eine exakte Angabe über die Gebietsgröße. Das ist eine wesentliche Verbesserung gegenüber dem von THURNER (1967) vorgeschlagenen Berechnungsverfahren. Das Arbeitsgebiet hat eine Fläche von 81 km². Das Einzugsgebiet der Quellen hat eine Fläche von 49 km². Es wurden folgende Werte ermittelt:

	Q in l/sec	Quellschüttung in l/sec	
Juni	646,5	30679	Q = berechnete Niederschlagsmenge Quellschüttung: gemessen
Juli	262,7	16669	
August	1802,0	19747	

Es muß noch jene Schüttungsmenge berücksichtigt werden, die nicht von den Pegelschreibern erfaßt wird, sowie der Abfluß nach Süden, auf jugoslawischer Seite. Diese Daten wurden uns freundlicherweise von Dr. STRUCL aus Mežica zur Verfügung gestellt. Sie betrugen im Durchschnitt 1300 l/sec.

Die Gesamtschüttung der Quellen, die nicht von den Pegelschreibern erfaßt werden, beträgt schätzungsweise 200 l/sec.

Die Ergebnisse zeigen eine viel höhere Quellschüttung, als Niederschlag gefallen ist. Dabei wurde die Verdunstung nicht einmal berücksichtigt. Des weiteren handelt es sich dabei noch um Daten, die aus einer niederschlagsarmen Zeit stammen. Für dieses Phänomen gibt es nur eine Erklärung:

Die Petzen verfügt über einen großen Karstwasserspeicher. Damit werden die bei der Interpretation der einzelnen Bachsysteme gewonnenen Erkenntnisse bestätigt. Der Speicher wird besonders während der Schneeschmelze und der regenreichen Jahreszeiten gefüllt. Dann haben wir das ganze Jahr über eine mehr oder weniger ausgeglichene Quellschüttung. Problematisch wird der Wasserhaushalt nur bei mangelndem Schneefall und sehr langen regenfreien Perioden.

5. DIE WASSERCHEMIE

5.1. Probennahme

Die Probennahme zur Bestimmung der chemischen Parameter der Wässer wurde in folgenden Zeitabständen durchgeführt:

1. Eine Probenreihe (22 Quellen) wurde im August 1975 genommen. Die Analysen wurden von der LANDWIRTSCHAFTLICH-CHEMISCHEN VERSUCHS- UND LEBENSMITTEL-UNTERSUCHUNGSANSTALT FÜR KÄRNTEN in Klagenfurt durchgeführt.
2. Zwei Probenreihen wurden im Mai und August 1976 genommen. Die Analysen führten wir selbst durch.
3. In der Zeit von Mai bis August 1976 wurden dann zweiwöchentlich Proben genommen und auf Temperatur, pH-Wert, Gesamthärte und Alkalinität untersucht.

Da die Proben später in Hamburg auf weitere Ionen untersucht werden sollten, wurden sie mit Quecksilberchlorid versetzt, um Veränderungen durch organische Prozesse zu verhindern. Die Quelltemperatur wurde mit einem geeichten Thermometer (1/10°-Teilung) gemessen.

Die pH-Messungen erfolgten mit einem temperaturkompensierten Feldmeßgerät (Schrack, 74 FM).

5.2. Analysenmethoden

Die Gesamthärte GH und die Alkalinität wurden noch am Tage der Probennahme bestimmt. (GH: komplexometrisch mit Titriplexlösung B und Indikator – Puffertabletten von Merck; Alkalinität: durch Titration mit HCL gegen Methylorange als Indikator)

Nach diesen Bestimmungen wurden die Proben eingefroren und in tiefgekühltem Zustand nach Hamburg transportiert. Am Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Hamburg wurden dann mit einem Atom-Absorptions-Analysator Bestimmungen auf Ca, Mg, Na, K, Pb, Fe und Zn durchgeführt.

Die Leitfähigkeit wurde ebenfalls erst in Hamburg gemessen. Zur Umrechnung der Analysendaten wurde ein Rechenprogramm (KEMPE, 1975) benutzt. Außer Standardumrechnungen (mg/l in mval/l etc.) ermittelt das Programm den $p\text{PCO}_2$, die Ionenstärke und die Sättigungsindizes in bezug auf Kalzit, Dolomit und Gips.

$p\text{PCO}_2$ = negativ dekadischer Logarithmus des CO_2 -Partialdruckes.
(Bei $p\text{PCO}_2 = 3.52$ herrscht Gleichgewicht mit der Luft.)

5.3. Gesamtchemismus

Wegen der kurzen Beobachtungszeit ist eine Beurteilung der chemischen Eigenschaften der Petzenwässer relativ schwierig. Die Schwankungen im

Chemismus lassen erst nach längerer Beobachtungszeit weitergehende Schlüsse auf den Bau des verkarsteten Gebietes zu.

Allgemein kann man sagen, daß die im Gebiet der Petzen auftretenden Wässer vom Typ des hydrogenkarbonatischen Wassers sind. Die Konzentrationen an Hydrogenkarbonationen liegen bei 2–5 mval/l, was nach MATTHESS (1973) einem normalkarbonatischen Wasser entspricht.

Die Nichtkarbonathärte wurde als Gehalt an Sulfationen interpretiert, weil die Chloridkonzentrationen (1 mval/l) fast ausschließlich durch die Zugabe von HgCl_2 (s. o.) zustande kommen.

Außerdem liegen die Werte für Na^+ und K^+ , die auf die Chloridkonzentration schließen lassen, alle unter 0,05 mval/l. Die Nichtkarbonathärte liegt bei Werten um 0,5 mval/l. Da im Untersuchungsgebiet keine ausgesprochenen Sulfatgesteine zu finden sind, kann der Sulfatgehalt, außer durch im Wettersteinkalk in kleinen Mengen vorhandenen Sulfaten, durch biologische Prozesse im Boden zustande kommen (MATTHESS, 1973). Daneben enthalten Niederschlagswässer Sulfate in der Größenordnung bis zu einigen mg/l.

Den Hauptanteil an Kationen machen die Ionenkonzentration von Ca und Mg aus. Nach den Ca/Mg-Verhältnissen von 3:1 bis 10:1 handelt es sich fast ausschließlich um Kalkwässer. Nur einen einzigen Fall (XVII) kann man als Dolomitwasser bezeichnen (1,3:1). Man kann aber deutlich sehen, daß Wässer in der Nähe dolomitischer Gesteine einen höheren Anteil an Mg haben, Abb. 3.

Da sich im Petzengebiet umfangreiche stillgelegte Bergbaue auf Blei und Zink befinden, wurde das Wasser auf diese Ionen hin untersucht. Dabei lagen die Werte für Blei bei allen Proben unter der Nachweisgrenze, die bei der angewandten Methode unter 0,01 mg/l liegt. Zink ist in geringen Konzentrationen vorhanden. Eisen konnte nicht nachgewiesen werden.

5.4. Das chemische Verhalten der Quellwässer

(Tafel 4: Quellbeobachtung vom Mai–August 1976)

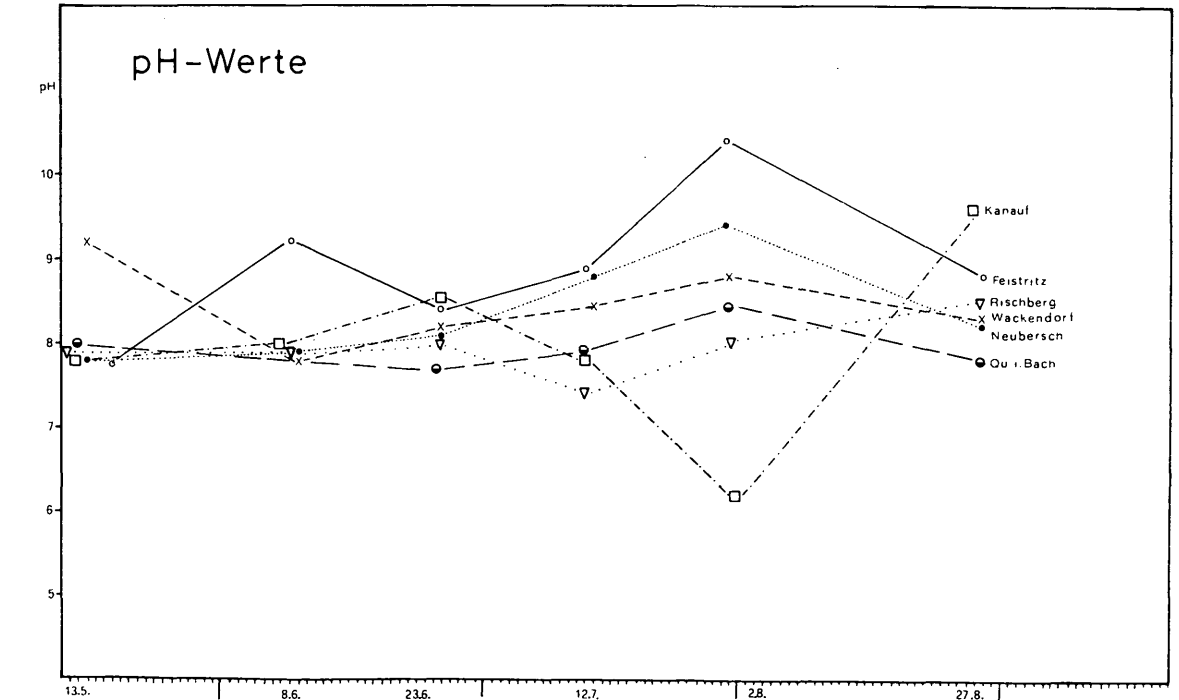
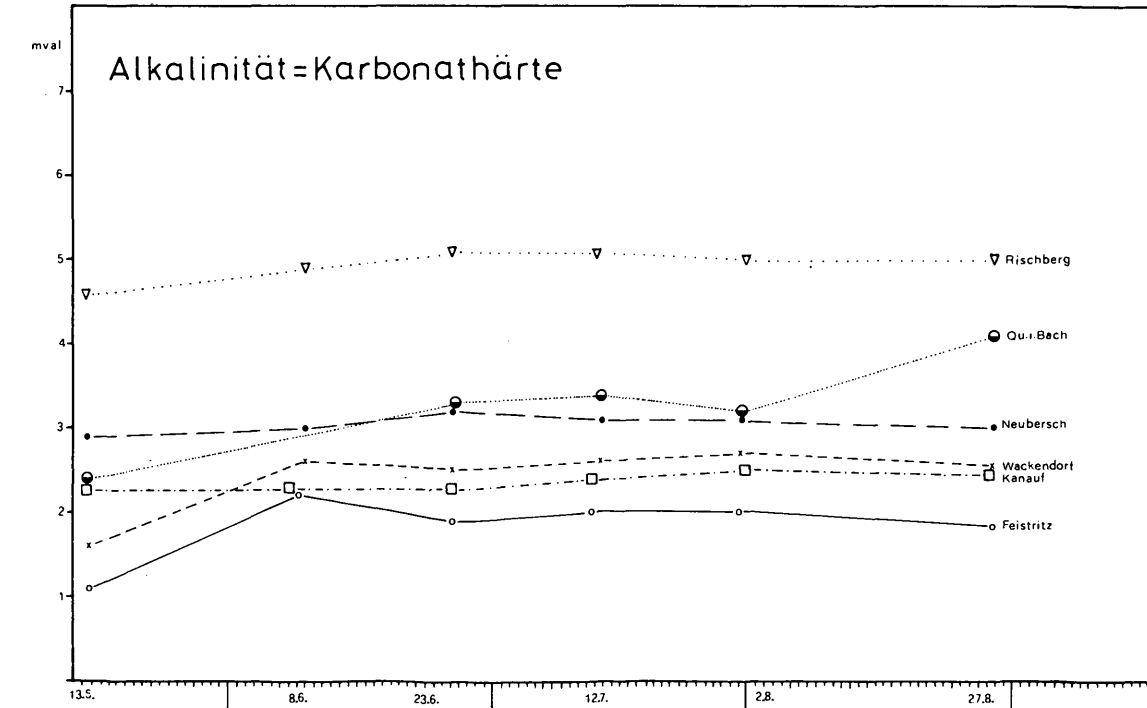
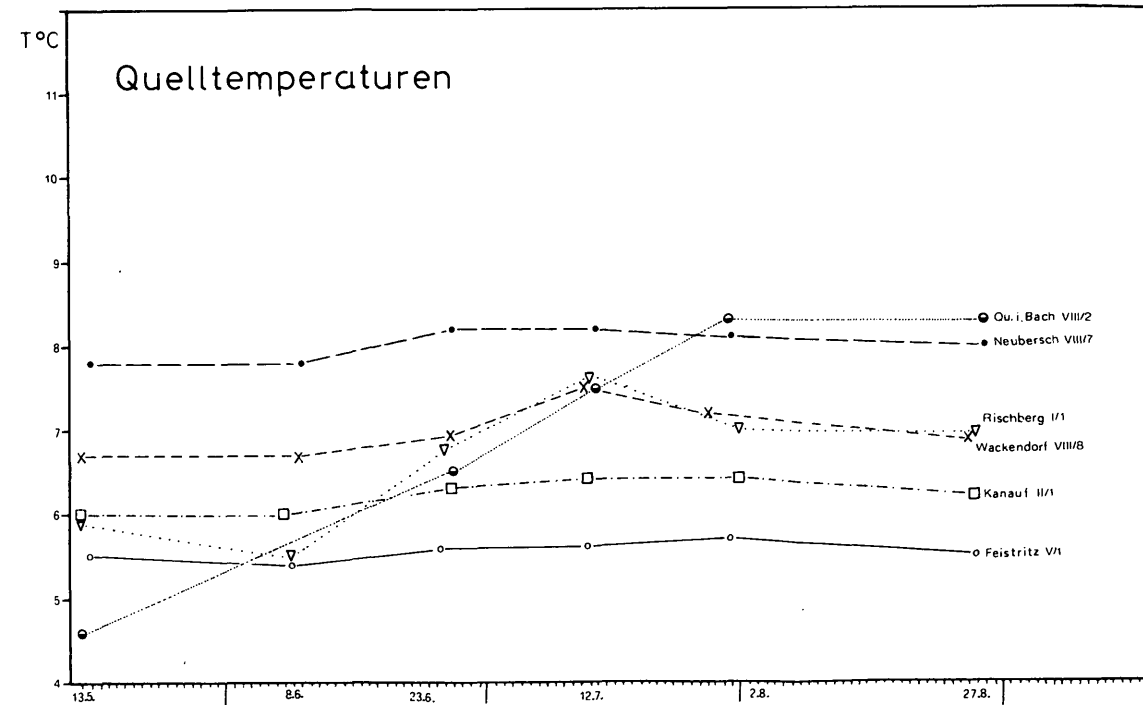
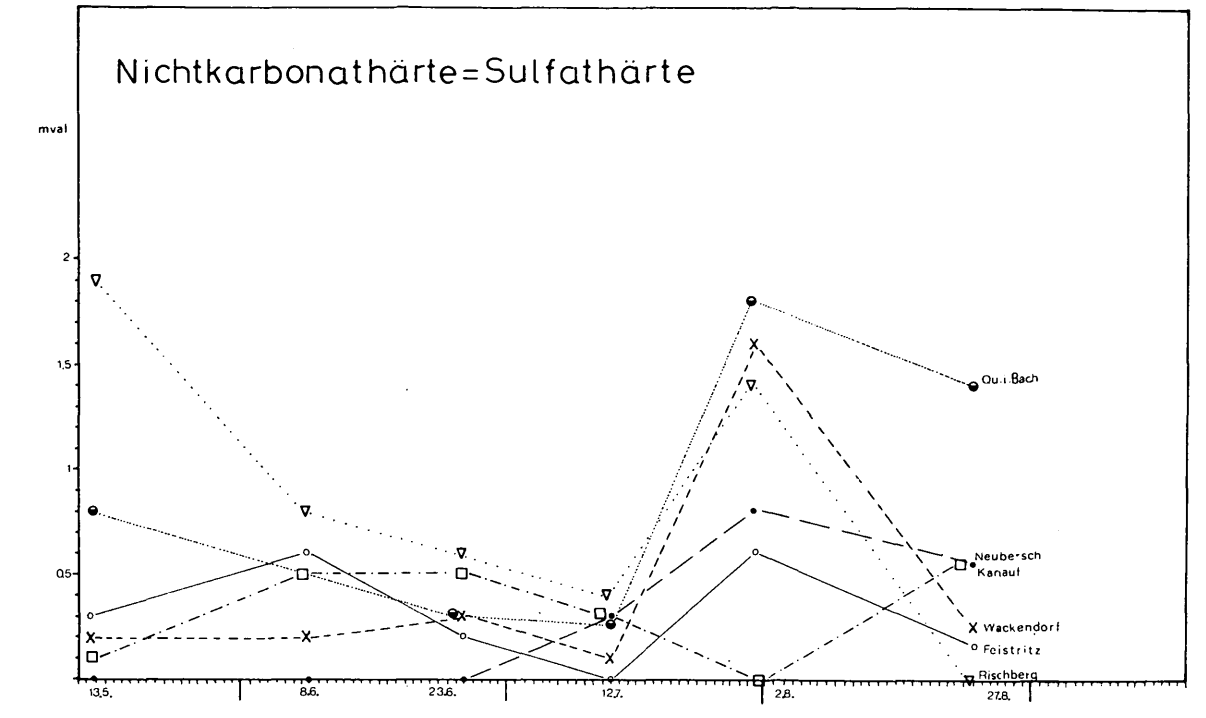
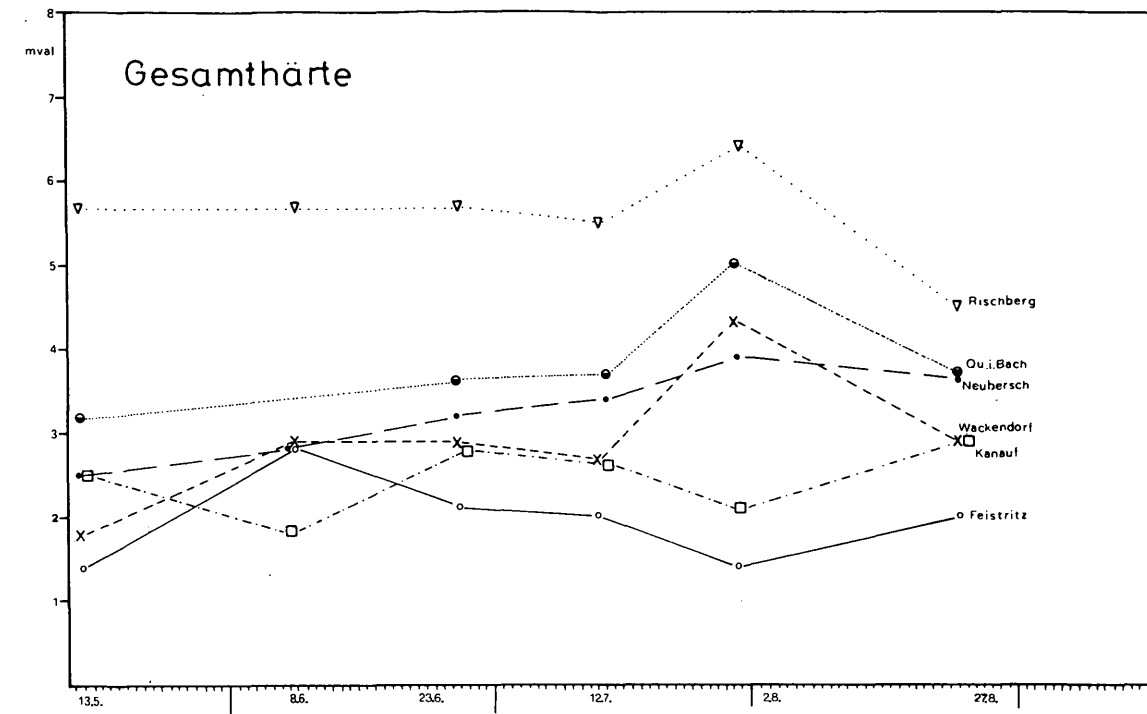
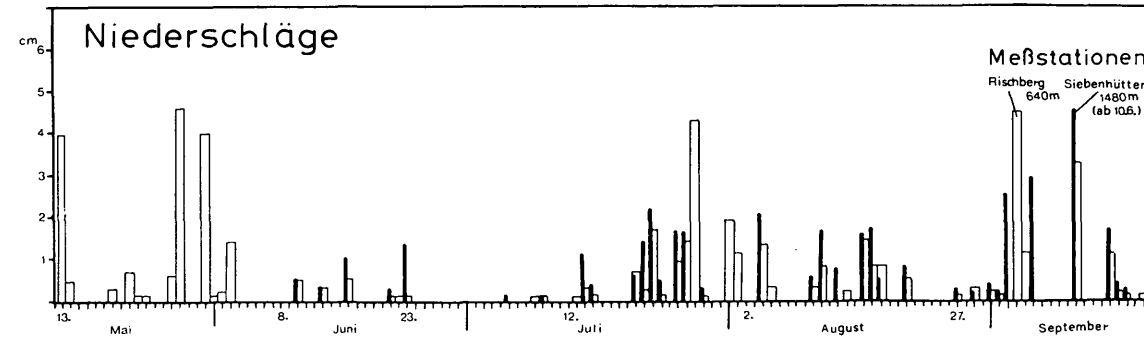
Bei allen Quellen im Petzengebiet lag das Schüttungsminimum 1976 in der Mitte des Monats Juli. Etwa 10 Tage später, die Schüttung ist durch Regenfälle Ende Juli wieder angestiegen, erfolgen markante Änderungen im Chemismus der Quellwässer. Bei allen Quellen steigt die Gesamthärte und – wahrscheinlich durch einen höheren Sättigungsgrad an Kalzit – der pH-Wert. Bei der Feistritz sinkt die GH kontinuierlich ab Anfang Juni und steigt erst Ende August wieder an. Gleichzeitig steigt der pH-Wert bis Ende Juli.

Bei der Kanaufquelle gehen GH und pH-Wert gegen Ende Juli stark zurück.

Im Mai, zu einer Zeit, in der die Quellschüttung durch Schneeschmelze und Restfeuchtigkeit aus dem Winter noch relativ hoch ist, liegt die GH für alle

Quellbeobachtungen Mai–August 1976 14-tägliche Probennahme

Tafel 4



Quellen niedrig. Sie steigt dann bis Ende Juli an. Die einzige Ausnahme bildet die Kanaufquelle, deren GH im Mai hoch liegt, Anfang Juni absinkt, Ende Juni ansteigt, und Ende Juli wieder einen niedrigen Wert erreicht. Die Karbonathärte ist bei allen Quellen ziemlich konstant. Entsprechend der GH, steigt die Nichtkarbonathärte allgemein zu Ende des Juli an.

Da die Quellen im Petzengebiet überwiegend aus Speichern gespeist werden, schütten sie in Trockenzeiten nur aus ihrem Reservoir, und zwar z. T. erhebliche Mengen. Auch bei andauernder Trockenheit verringert sich die Schüttung nur langsam und stufenweise. Ein Nachlassen der Niederschläge wirkt sich in einer Erhöhung der Gesamthärte aus. Die Geschwindigkeit des Einsickerns verringert sich, und damit erhöht sich die Zeit des Aufenthalts des Wassers in den Karstwasserwegen. Das könnte ein intensiveres Anlösen des Gesteins bewirken.

Die gleichzeitig mit der GH steigenden pH-Werte weisen auf größere Sättigungskoeffizienten von Kalzit hin. Da durch den CO_2 -Gehalt des

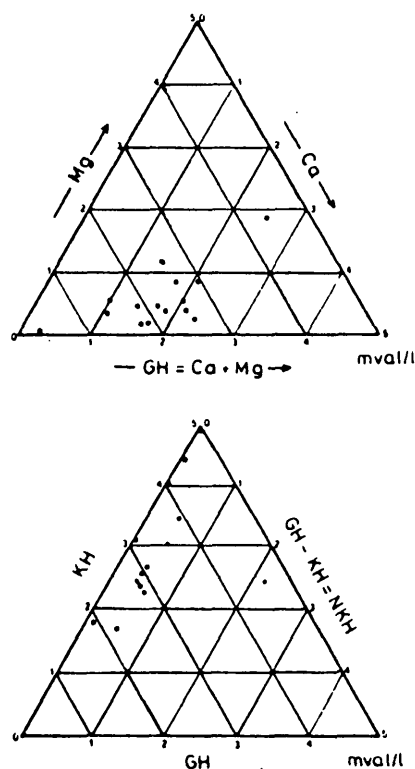


Abb. 3: Darstellung der Härte im Härteredieck.

Wassers der Lösung von Kalk eine Grenze gesetzt ist, steigt die Karbonathärte nur leicht an, während die Lösung der Bildner der Nichtkarbonathärte, hier überwiegend Sulfate, nur von der Zeit und den aufeinander wirkenden Sättigungskoeffizienten der verschiedenen Lösungsgeossen abhängig ist.

LITERATURVERZEICHNIS

- BAUER, F. K. (1973): Ein Beitrag zur Geologie der Ost-Karawanken. – Festschr. Heißel, Veröff. d. Universität Innsbruck, 86:1–25, Innsbruck.
- ERB, L. (1948–52): Über den Mechanismus der Donauversickerung und der Aachquelle. – Mitt. Bad. Landesver. Naturkd. und Naturschutz, N. F. 5:1–13, Freiburg i. Br.
- HAUDE, W. (1955): Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. – Mitt. d. dt. Wetterdienstes, 8:3–2, Bad Kissingen.
- KAHLER, F. (1941): Bohnerze und Augensteinfelder in Kärnten. – Carinthia II, 131/51:63–69.
- KEMPE, St. (1975): A computer program for hydrochemical problems in karstic water. – Ann. Speleol., 1975, 30(4):699–702.
- LANDOLT-BÖRNSTEIN (1967): Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie und Astronomie, Geophysik, Technik. – Bd. IV, Technik, 4. Teil Wärmetechnik. Berlin (Springer).
- LILLICH, W., & RICHTER, W. (1975): Abriß der Hydrogeologie. – 281 S., Stuttgart (Schweizerbart'sche)
- MAILLET, F. (1905): Essais d'hydraulique souterraine & fluviale. – 218 S., Paris (Hermann).
- MATTHESS, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers. – Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. II, 324 S., Stuttgart (Gebr. Borntraeger).
- NATERMANN, E. (1951): Die Linie des langfristigen Grundwassers (AuL) und die Trockenwetterabflußlinie (TWL). – Die Wasserwirtschaft, Sonderh. Vorträge d. Gewässerkd. Tagung 1950 München, Stuttgart.
- STRAYLE, G. (1970): Karsthydrologische Untersuchungen auf der Ebingen Alb (Schwäbische Jura). – Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 12:109–206, Freiburg i. Br.
- STRUCL, I. (1970): Stratigraphie und Tektonik der östlichen Teile der Nordkarawanken. – Geologija, 13:18–20, Ljubljana.
- TURNER, A. (1967): Hydrogeologie. – 350 S., Wien, New York (Springer Verlag).
- VILLINGER, E. (1969): Karsthydrologische Untersuchungen auf der Reutlinger Alp (Schwäbische Jura). – Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 11:201–277, Freiburg i. Br.
- (1972): Seichter Karst und Tiefer Karst in der Schwäbischen Alp. – Geol. Jb. C2:153–188, Hannover.

Anschrift der Verfasser: Dipl.-Geol. Andreas BRANDT, Dipl.-Geol. Clemens v. HÜTSCHLER, Geol. Pal. Inst. d. Univers. Hamburg, Bundesstraße 55, D-2000 Hamburg 13.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carinthia II](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [170_90](#)

Autor(en)/Author(s): Brandt Andres, von Hütschler Clemens

Artikel/Article: [Karsthydrologische Kartierung der Petzen, Kärnten, Österreich \(Mit 3 Abbildungen und 4 Tafeln\) 161-180](#)