

Vergleiche von Ergebnissen der Anwendung von Isotopenmethoden in alpinen Karstgebieten

Von H. ZOJER (Graz)

1. Problemstellung

Die Alpen, im besonderen die Ostalpen, sind durch eine N-S-Gliederung gekennzeichnet, wobei die Nördlichen und die Südlichen Kalkalpen den zentralen im allgemeinen kristallinen Hauptkamm einschließen.

Während im westlichen Bereich der *Nördlichen Kalkalpen* (Rätikon, Lechtaler Alpen, Allgäuer Alpen, Wettersteingebirge, Karwendel) der Kettengebirgstyp mit meist sehr steil stehenden Karbonatgesteinsschichten vorherrscht, herrscht östlich der Saalach der Plateautyp vor. Hier bewirken mächtige Folgen von Wetterstein- und Dachsteinkalk eindrucksvolle, einzelnstehende Kalkmassive, wie z. B. den Hochkönig, das Tennengebirge, den Dachstein, das Tote Gebirge, den Hochschwab, die Schneealpe, die Raxalpe und den Schneeberg.

Die Verkarstung in den Kalkstöcken der Nördlichen Kalkalpen setzte mit den ersten Hebungsphasen im mittleren Tertiär ein. Ausgedehnte Höhlensysteme in verschiedenen Höhenlagen weisen auf einen Stockwerkbau hin, der sich auch in karst-hydrologischer Hinsicht äußert.

Demgegenüber kann man im östlichen Abschnitt der *Südlichen Kalkalpen* den Gebirgsbau als Falten- und Deckentyp klassifizieren. So unterscheidet P. PÖLSLER (1967) im Bereich des Plöckenpasses in den Karnischen Alpen fünf parallel zur W-E verlaufenden Gebirgslängsachse streichende tektonische Einheiten, die aus einer Abfolge von Tonschiefern und Kalken bestehen und dadurch auch hydrologisch unterschiedliche Eigenheiten zeigen.

Die Karstmassive der Nördlichen Kalkalpen bestehen vorwiegend aus triassischen Kalken und Dolomiten, wobei örtlich die wasserstauenden Werfener Schichten die lokale Erosionsbasis bilden. Im Süden, in den paläozoischen Karnischen Alpen, ist dagegen eine stärkere Gliederung schon durch den mit dem Deckenbau verbundenen Wechsel karbonatischer und nichtkarbonatischer Schichtfolgen gegeben.

Im folgenden sollen die hydrogeologischen Verhältnisse der relativ einheitlich gebauten Kalkmassive im Norden den differenzierten gewässerkundlichen Bedingungen innerhalb der Kettengebirge im Süden gegenübergestellt werden, wobei der Anwendung von Isotopenmethoden eine entscheidende Bedeutung zukommt. T. DINCER et al. (1972) haben das Tote Gebirge als Entwässerungstyp der Karstmassive aufgrund von Isotopenmessungen charakterisiert. Diese Arbeit kann gegenwärtig sowohl methodisch als auch bezüglich ihrer regionalen Anwendung als richtungweisende Studie für die Nördlichen Kalkalpen bezeichnet werden.

2. Das Tote Gebirge

Das Tote Gebirge ist mit einer Fläche von über 590 km² das größte Karstmassiv der Nördlichen Kalkalpen (J. ZÖTL, 1961). Es stellt einen geschlossenen Stock dar und wird zum überwiegenden Teil von Dachsteinkalken aufgebaut. Den wasserstauenden

Gesteinen kommt hydrologisch nur im Süden eine gewisse Bedeutung zu, wesentlich mehr Einfluß auf die Wasserzirkulation haben die jungen Bruchstörungen. Dies zeigen sowohl die Lage der größeren Quellbezirke als auch die Ergebnisse verschiedener Markierungsversuche (V. MAURIN & J. ZÖTL, 1964).

2.1. Die hydrogeologische Gliederung

Im Plateaubereich des Toten Gebirges liegen in Karstwannen örtlich Moränenreste, deren dichtende Wirkung an manchen Stellen zur Bildung von kleinen Seen geführt hat. Die Seen am Südrand des Massivs hingegen, im Bereich der Tauplitzalm, sind an eingeschaltete nichtverkarstungsfähige Gesteine (Werfener Schiefer, Cardita-Schichten) gebunden. Im übrigen besteht auch im Toten Gebirge der Gegensatz zwischen den wasserlosen Hochflächen und den großen Karstquellen am Fuß des Massivs.

Bezüglich der Wasseraustritte selbst besteht eine Differenzierung chemischer Art. Die direkt aus dem Kalk entspringenden Wässer sind relativ weich (Fig. 1: Nr. 1, 2, 4, 5, 6, 9, 32, 33, 34, 45), ihre Karbonathärte liegt unter 6° dH (J. ZÖTL, 1961). Ihrem unterirdischen Reservoir kommt keine größere längerfristige Speicherung zu, die Quellen reagieren sehr rasch auf Regenfälle und Schneeschmelze. Dies wiederum bewirkt eine nur begrenzte Aufnahme gelöster Stoffe durch die Wässer. Demgegenüber treten besonders im nördlichen Teil Wässer mit einer relativ hohen Karbonathärte aus. Die Quellen um die Ödseen und den Almsee (Fig. 1: Nr. 12, 14, 15, 17) stoßen als Waller aus den die Kalke überlagernden Moränen auf, sie können durch längeres Verweilen im Aquifer mehr gelöste Stoffe aufnehmen. Hingegen wird die hohe Karbonat-

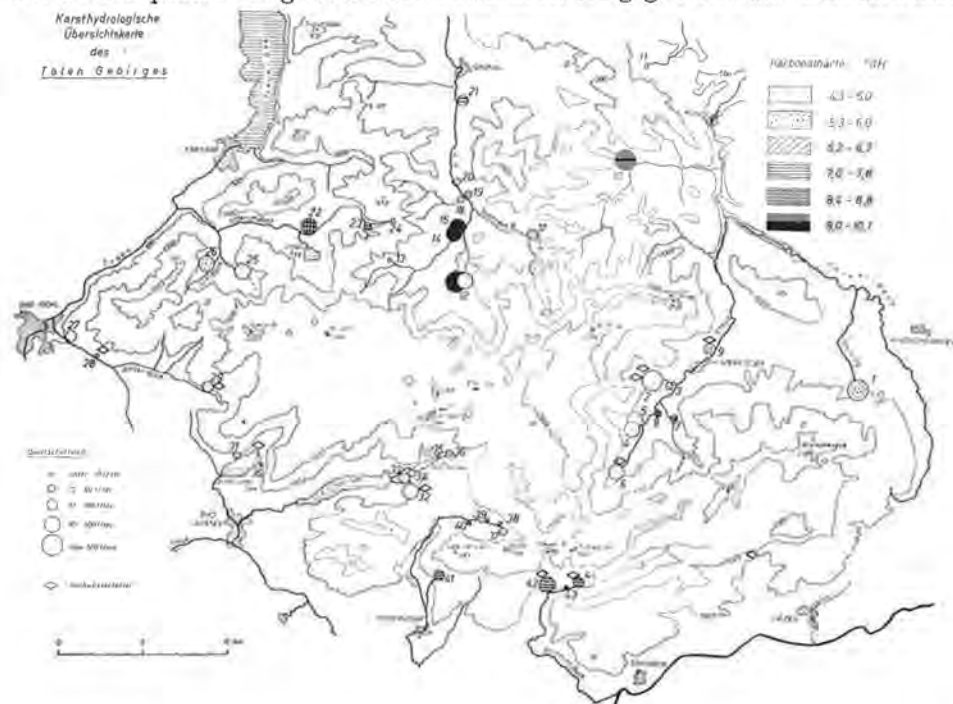


Fig. 1: Die Karbonathärte (in °dH) von Quellwässern aus dem Toten Gebirge (nach J. ZÖTL, 1961).

härte bei den Offenseequellen (Nr. 22) durch die Lage des Reservoirs im Dolomit bewirkt, der Austritt der Quelle erfolgt direkt aus dem anstehenden Gestein. Dies ist ein typisches Beispiel dafür, daß die engmaschige Zerbrechung der Dolomite ein feineres Karstwassersystem zur Folge hat und damit im Gegensatz zu den weitscharig geklüfteten Kalken steht, in denen sich meist großlumige Karstschläuche entwickeln. Daraus läßt sich auch die unterschiedliche Lösungsmöglichkeit des Gesteins durch das benetzende Wasser erklären.

2.2. Isotopenuntersuchungen

Der Studie von T. DINCER et al. (1972) liegen mehrmalige Probennahmen von Quell- und Oberflächenwässern zwischen September 1968 und Februar 1971 zur Bestimmung von Tritium, Deuterium und Sauerstoff-18 zugrunde. Während durch Schüttungsuntersuchungen der Quellen lediglich die aktive Speicherung, d. i. die Speicherung über dem Quellenaustritt, erfaßt werden kann, schließt die Interpretation von Isotopenmessungen schon durch die Trennung und zeitliche Eingliederung von Schnee und Regen die Wasserzirkulation im gesamten Aquifer ein, wodurch eine deutliche Unterscheidung zwischen Seichtem und Tiefem Karst möglich ist.

Das herbstliche Niederwasser trägt generell alle Charakteristika von Niederschlägen aus dem vorangegangenen Sommer, die Schneeschmelzkomponente ist nicht mehr vorhanden. Hingegen führen die großen Karstquellen im Frühsommer ausschließlich Schmelzwasser von der Plateauoberfläche. So ergaben die Isotopenwerte vom Juli 1970 – im Winter vorher war außerordentlich viel Schnee gefallen –, daß der Schmelzwasseranteil bei den großen, direkt aus dem Kalk austretenden Quellen fast 100% der Gesamtschüttung entsprach.

Somit brachte die Studie von T. DINCER et al. (1972) die Erkenntnis, daß im Karststock des Toten Gebirges keine nennenswerte längerfristige Speicherung erfolgt. Überdies gelang durch die Isotopenuntersuchungen der Beweis, daß das gesamte unterirdische Reservoir über der absoluten Höhe der Quellaustritte (= lokale Erosionsbasis) liegt und man daher sowohl von einer aktiven Speicherung als auch von einem Seichten Karst sprechen kann.

Diese generelle Beurteilung der Wasserzirkulation im Toten Gebirge schließt nicht aus, daß lokale Modifikationen in der Speicherfähigkeit einzelner Gesteinsbereiche vorliegen. Eine Untersuchung betreffend Gebiete örtlicher Sonderstellung wurde im Anschluß an die Arbeit von T. DINCER et al. (1972) in den Jahren 1975 und 1976 durchgeführt.

Für derartige Studien eignen sich besonders die stabilen Isotope, da ihre Temperaturabhängigkeit ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der jahreszeitlichen Verteilung von Infiltrationswässern darstellt. So wurden die Sauerstoff-18-Werte eines herbstlichen Niederwassers (September 1968) und eines frühsommerlichen Schmelzwassers (Juni 1969) miteinander verglichen (Fig. 2), wobei der verschieden hohe ^{18}O -Konzentrationsabfall bei den Quellwässern zwischen Herbst 1968 und Frühsommer 1969 gültige Schlüsse über die unterschiedliche Speicherfähigkeit einzelner Gesteinsbereiche zuläßt. Diese Differenzierung ist teils geologisch-stratigraphisch (Wechsel von Dolomit und Kalk), teils durch Überlagerung jüngerer Sedimente (Moränen) bedingt.

Die größte Sauerstoff-18-Differenz ergibt sich bei jenen Quellwässern, die im Sommer eine außerordentlich hohe Schmelzwasserkomponente führen, während geringere ^{18}O -Sprünge dort auftreten, wo dem unterirdischen Einzugsgebiet der Quellen eine gewisse Speicherfähigkeit zukommt. Die größte Schwankung (1,7–2,2 ‰) ist daher den Quellgruppen Nr. 4, 5, 13 und 17 eigen (Fig. 2), die schon aus den Unter-

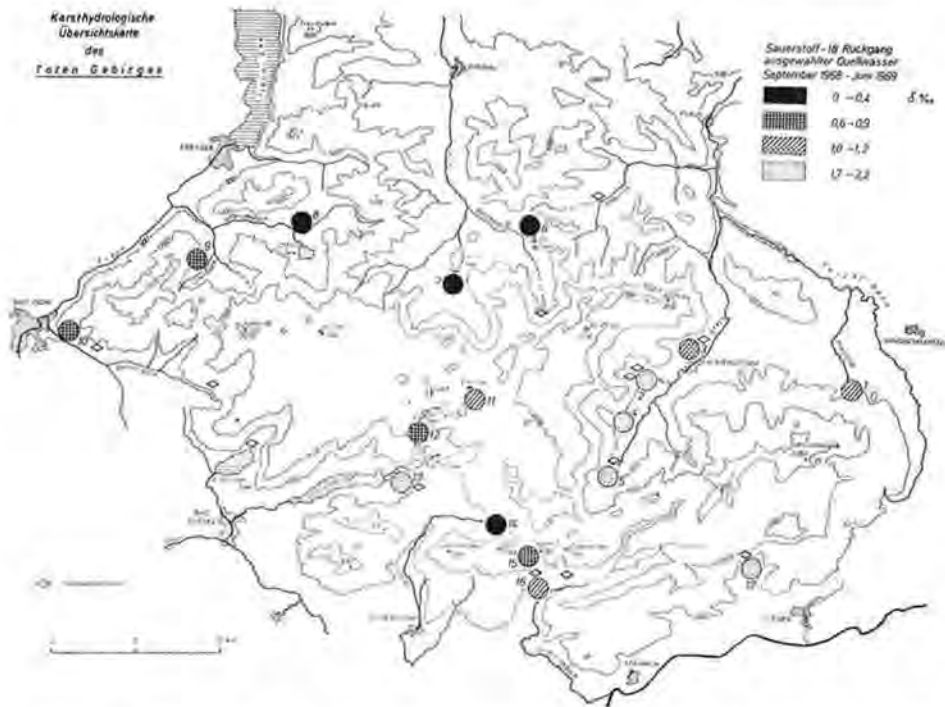


Fig. 2: Die Sauerstoff-18-Differenz ausgewählter Quellwässer zwischen September 1968 und Juni 1969 aus dem Toten Gebirge.

suchungen von T. DINCER et al. (1972) durch rasch auslaufende Karstwasserreservoirs gekennzeichnet sind. Diesen Gruppen stehen als anderes Extrem die Quellbezirke Nr. 6, 7, 14 und unter gewissen Bedingungen auch Nr. 8 gegenüber, bei denen sich der ^{18}O -Gehalt in der angeführten Zeitspanne fast nicht geändert hat. Diese Quellen weisen daher nur eine geringe Schmelzwasserbeimengung auf. Ihre Schüttung reagiert auch nicht so rasch auf exzessive hydrometeorologische Bedingungen. So berichtet J. ZÖTL (1961) von einem Starkregen aus dem Sommer 1959, der beim Sagtümpel (Nr. 16) und bei den Strimitzbachquellen (Nr. 13) bereits nach wenigen Stunden zu Schüttungsspitzen führte, während der maximale Abfluß bei den Salzaquellen (Nr. 14) erst etwa 4 Tage später und in einer abgeschwächten Form erreicht wurde.

Diese Ergebnisse laufen parallel mit einer guten Übereinstimmung des ^{18}O -Gefälles (Fig. 2) zu den Karbonathärten der Wässer (Fig. 1). Die Quellgruppen mit einer geringen Sauerstoff-18-Differenz und einer hohen Karbonathärte stimmen nahezu überein: Sie sind vornehmlich im nördlichen Gebiet des Toten Gebirges verbreitet. Beide Kriterien sind Zeugnis eines längeren Verweilens des Wassers im Reservoir, im Gegensatz zu dem überaus schnellen Durchströmen der Aquifer bei den Quellgruppen mit umgekehrten chemisch-isotopischen Parametern (niedrige Karbonathärte, hohe ^{18}O -Differenz).

Diese Modifikationen in der Entwässerung des Toten Gebirges als Beispiel für die Karstmassive der Nördlichen Kalkalpen dürfen aber nicht über die gesamtheitlich betrachtete schnelle Entleerung des Karstsystems hinwegtäuschen, da auch in den günstigsten Fällen eine Speicherung über eine längere Zeitspanne nicht anzunehmen ist.

3. Das Plöckengebiet in den Karnischen Alpen

Der Bereich der Karnischen Hauptkette östlich des Plöckpasses wird durch eine Reihe tektonischer Decken untergliedert, die im allgemeinen W-E streichen und ziemlich steil nach Süden einfallen. Diese Abfolge von wasserführenden Karbonatgesteinen und minder wasseraufnahmefähigen Schiefen wird durch den Stollen der transalpinen Ölleitung Triest–Ingolstadt (TAL) gut aufgeschlossen (Fig. 3). Der Stollen selbst übt im Nordteil die Funktion einer Drainage aus, ein Stollengerinne am Nordturm (Nr. 7) weist darauf hin. Die Basis der einzelnen Schichten, sowohl der Kalke als auch der Schiefer, ist nicht bekannt. Für die hydrogeologischen Verhältnisse zusätzlich von Bedeutung ist eine tektonische Zerrüttungszone, die das Gailtal unmittelbar an seiner Südflanke begleitet.

Die für die Isotopenuntersuchungen ausgewählten Quellen sind hydrogeologisch leicht zu typisieren. Der größte Teil tritt an den Gesteinsgrenzen in Form von Überfallquellen aus (Fig. 3: Nr. 1, 2, 3, 6, 10 und 11), die Quellen Nr. 3 und 9 entspringen direkt aus dem Kalk in sehr steilem Gelände ohne gesteinsbedingte Ursache. Die Wasseraustritte Nr. 5 und 8 liegen im Bereich der oben angeführten Zerrüttungszone, als ihre Erosionsbasis wirkt nach wie vor eine alte Hochterrasse des Gailtales. Ebenso diesem Störungsbereich gehört die Quelle Nr. 4 an, doch tritt sie wesentlich tiefer, in einer Klamm, in unmittelbarer Nähe des oberirdischen Vorfluters aus. Die sehr steil stehenden Kalke haben die Arbeit der unterirdischen Erosion – die immer der oberirdischen nachfolgt – stark begünstigt.

3.1. Tritiummessungen

Zwischen November 1972 und Dezember 1973 wurden die Wasseraustritte Nr. 1, 5, 7 und 9 zusammen mit dem Niederschlag in Laas bei Kötschach (im Norden) und Timau (im Süden) monatlich auf ihren Tritiumgehalt untersucht, von den übrigen in Fig. 3 markierten Quellen erfolgten zweimalige Konzentrationsbestimmungen.

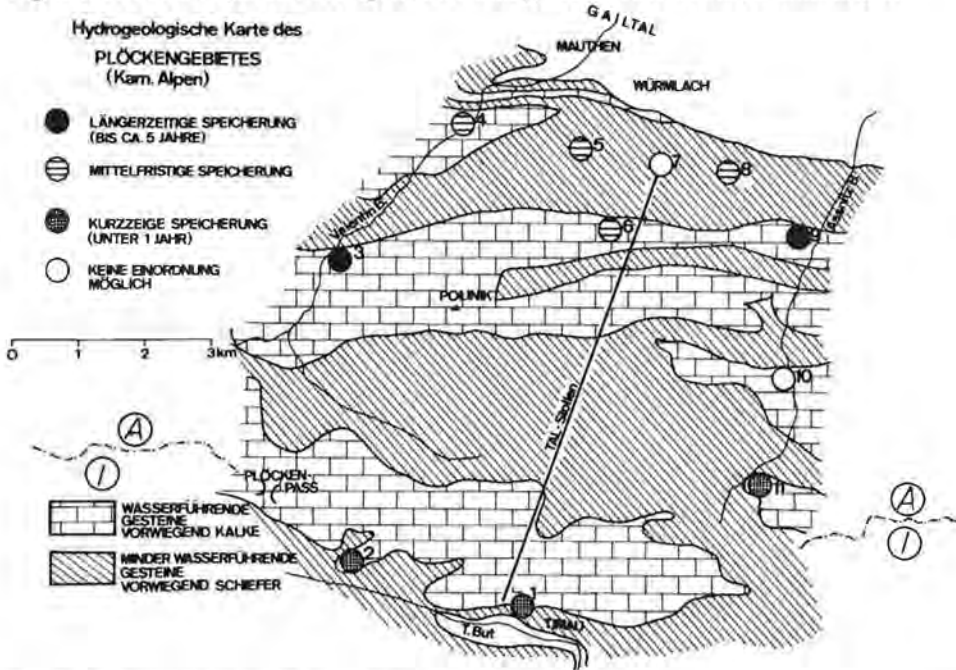


Fig. 3: Hydrogeologische Übersichtskarte des Plöckengebietes.

Während die Häufigkeitsdiagramme bei den Niederschlagsstationen keine Differenzierung brachte, ergaben die Diagramme der Wasseraustritte sehr wohl deutliche Unterschiede (Fig. 4). Die eindeutig niedrigsten Werte wurden bei der S. Fontanone (Nr. 1) gemessen, die den größten Teil des entlang der österreichisch-italienischen Grenze führenden Kalkzuges entwässert (s. Fig. 3). Die rasche Durchflutung in diesem Karstwasserkörper wird durch den Verlauf der Tritiumganglinie unterstrichen. So folgte der tiefste bei der S. Fontanone gemessene Tritiumwert (97 T.U.) einem Starkregen Ende September 1973, was eine rasche Durchströmung des Systems voraussetzt. Diese Aussagen werden auch durch den Abflußgang der Quelle (Q zwischen 0,5 und 3 m³/s) untermauert (H. ZOJER & J. ZÖTL, 1975).

Einen deutlich höheren Tritiumgehalt weisen die Quellen Nr. 5 (Wasserversorgung Würmlach) und 9 (Mühlenquelle) auf, die sich nur im Kurvenverlauf etwas unterscheiden, sicher ein Maß für die verschiedene Durchmischung ihrer Systeme.

Dem Häufigkeitsdiagramm nach zu schließen, nehmen die Wässer des TAL-Stollens (Nr. 7) eine Zwischenstellung ein. Es ist das typische Beispiel eines Mischwassers, das aus wesentlich tiefer im Berg liegenden Bereichen stammt, wodurch die Schneeschmelze erst um Monate verzögert wirksam wird. Trotzdem ist die Speichermöglichkeit ihres unterirdischen Einzugsgebietes im Verhältnis zu den Wasseraustritten Nr. 5 und 9 gering.

Neben der Interpretation von T-Ganglinien und der Häufigkeitsverteilung gibt vor allem der langzeitige Tritiumabfall der Quellwässer einen Aufschluß über die unterschiedlichen Speichermöglichkeiten der einzelnen geologischen Bereiche. Eine Stütze zur Interpretation bildet der Tritiumgang des Niederschlages von Wien der

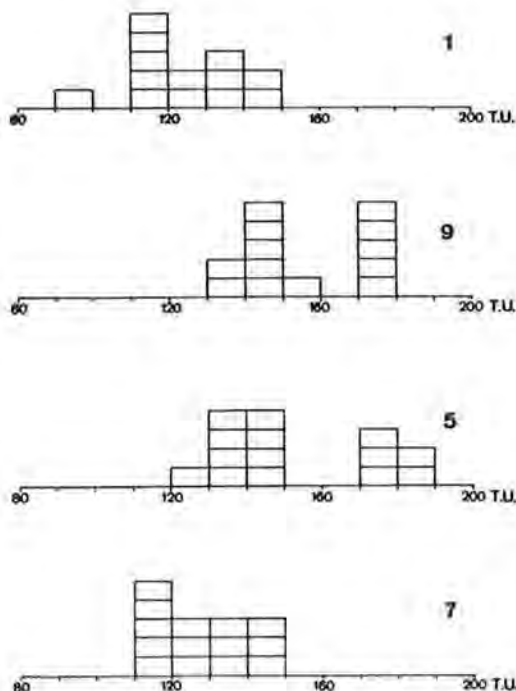


Fig. 4: Häufigkeitsdiagramm des Tritiumgehaltes ausgewählter Quellwässer aus dem Plöckengebiet. 1, 5, 7, 9 = Quellnummern Fig. 3.

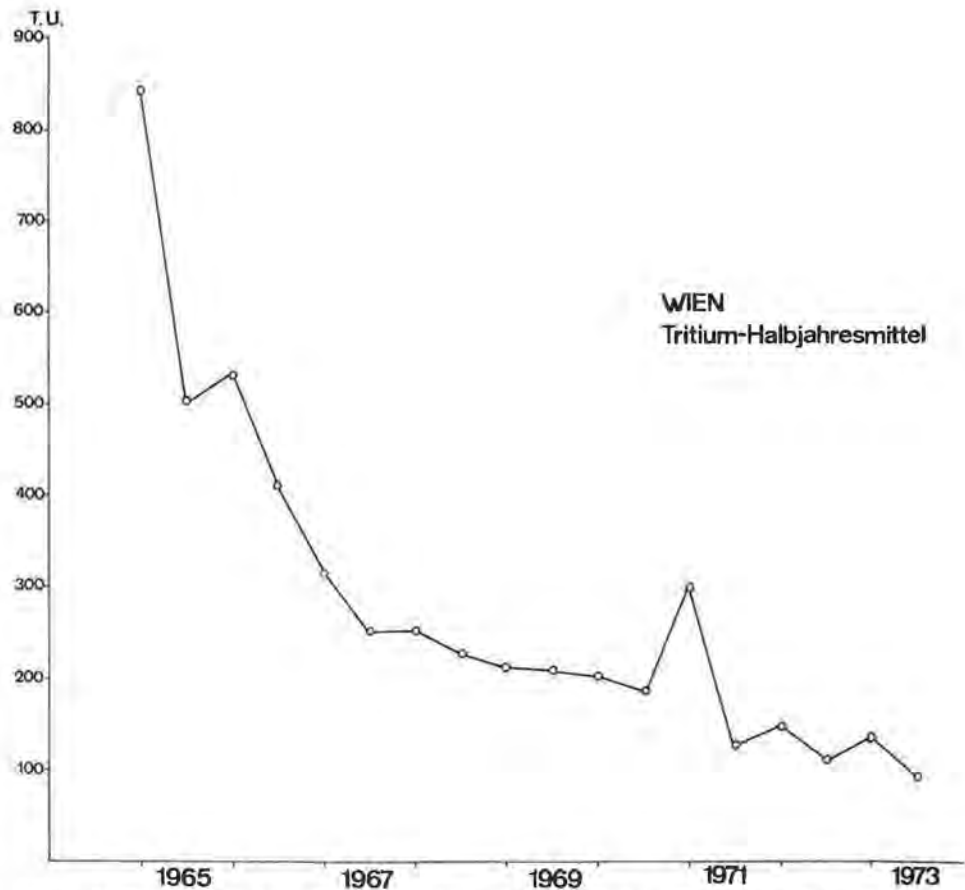


Fig. 5: Halbjahresmittel der Tritiumkonzentration des Niederschlages von Wien (1965-1973).

letzten Jahre (Fig. 5) und dabei vor allem der Umstand, daß sich 1971 ein kleiner Tritiumpeak abzeichnete. Ein ähnlicher Verlauf der T-Niederschlagskurven ist südlich der Alpen (Station Genua) zu verfolgen. Anhand dieses nuklearen Ausstoßes ist es möglich, 3 Gruppierungen von Quellen zu treffen, die sowohl aufgrund des absoluten Tritiumgehaltes als auch des Konzentrationsabfalles charakterisiert werden können. In dieser Hinsicht eignen sich die Quellen Nr.1, 5 und 9 als sogenannte Leitwässer, da von ihnen der gesamte Kurvenverlauf vorliegt (Fig. 6).

a) Nr. 3 und 9:

hoher Tritiumgehalt,
flache Konzentrationsabfallkurve,
geringe Schwankungen (bei Nr. 9).

Aufgrund dieser Tatsachen müssen die Wässer aus der Zeit vor dem Tritiumpeak 1971 stammen, es ist daher mit einem gut durchmischten Reservoir zu rechnen.

b) Nr. 4, 5, 6 und 8:

hoher Tritiumgehalt,
steile Konzentrationsabfallkurve,
relativ starke Schwankungen (bei Nr. 5).

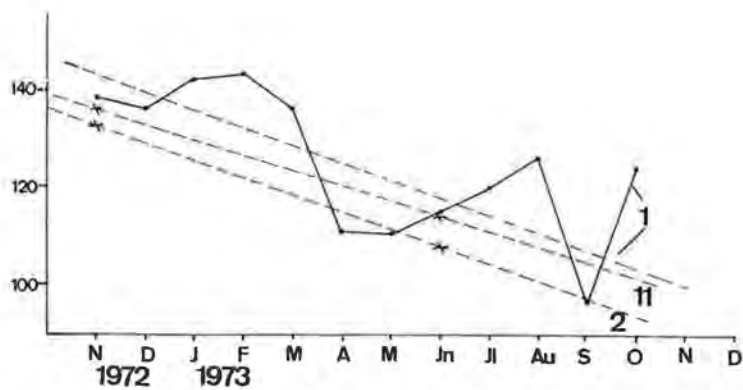
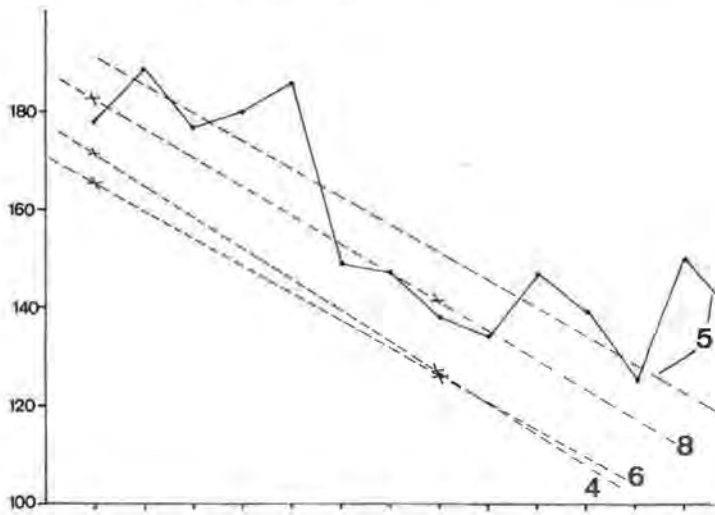
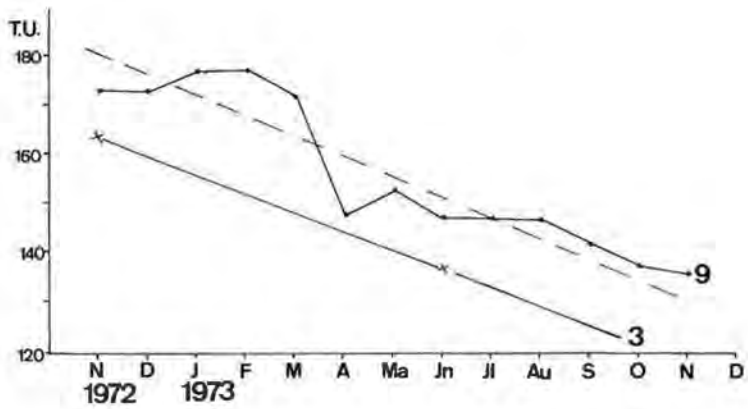


Fig. 6: Der jahreszeitliche Verlauf des Tritiumgehaltes ausgewählter Quellwässer aus dem Plöckengebiet. Lage der Quellen s. Fig. 3.

Diese Wässer sind dem Abfall des Tritiumpeaks 1971 zuzurechnen, wobei die Schwankungsbreite des Tritiumgehaltes (Nr. 5) als Kriterium gegen eine Zuordnung zu den Niederschlagswässern etwa der Jahre 1966/67 aufgefaßt werden muß.

c) Nr. 1, 2 und 11:

- niedriger Tritiumgehalt,
- flache Konzentrationsabfallkurve,
- starke Schwankungen (bei Nr. 1).

Diese Wässer haben nur kurze Zeit im Karstsystem verweilt. Das Wintermaximum 1972/73 der S. Fontanone (Nr. 1) entspricht dem Sommermaximum 1972 des Niederschlages von Timau.

3.2. Die Messung der stabilen Isotope

Den Untersuchungen des stabilen Isotops Deuterium liegen dieselben Meßreihen zugrunde wie dem oben untersuchten Tritium.

Während die Tritiumbestimmungen keine Unterschiede des Niederschlages bei den Stationen Laas und Timau ergaben, streuen die Deuteriumwerte bei diesen beiden Stationen doch einigermaßen. Die Ursache dafür liegt in witterungsklimatischen Aspekten. Das Gailtal ist großklimatisch eine sehr labile Zone, die zwischen den Einflußsphären der mediterranen und ozeanischen Wetterlagen schwankt. Der Karnischen Hauptkette kommt dabei zeitweise ein gewisser Stauereffekt hinsichtlich der Regenbringer aus dem Süden zu, die vor allem in den Monaten September bis November bis in das Gailtal vordringen und ein herbstliches Niederschlagsmaximum bewirken (H. ZOJER, 1975).

Diesem Umstand entsprechen auch die Deuteriumganglinien des Niederschlages von Laas und Timau (Fig. 7). Im allgemeinen liegen die Werte von Timau über jenen von Laas, was in Anbetracht der südexponierten Lage ersterer Station und des ganzjährigen Einflusses mediterraner Wetterlagen (höhere Lufttemperatur) nicht überrascht, weil daher dort auch der Niederschlag isotopisch schwerer ist. Lediglich zwischen Juli und Oktober 1973, also in einer Zeit, wo die Mittelmeertiefdruckgebiete über die Karnischen Alpen bis in das Gailtal vordringen, ergeben sich bei beiden Stationen annähernd gleiche Werte, während die Wintermonate wieder deutliche Unterschiede aufweisen.

Diese Wechselhaftigkeit zeigt, daß das Plöckengebiet durch das Ineinandergreifen von Wetterlagen verschiedensten Ursprungs gekennzeichnet ist. Es ist daher die Bestimmung der Einzugsgebiete von Quellen mit Hilfe des Höheneffektes kaum durchführbar. Der Durchschnitt der Deuteriumwerte bei der S. Fontanone (Nr. 1) liegt bei -68 ‰ , während er bei den drei Wasseraustritten auf der Nordseite (Nr. 5, 7 und 9) bedeutend tiefer ist (-74 bis -73 ‰). Es wird daher die S. Fontanone ausschließlich von Niederschlägen aus dem mediterranen Raum alimentiert. Die Wässer der Wasserversorgung Würmlach, des TAL-Stollens und der Mühlenquelle können als Mischtypus mit vorwiegend aus dem Nordwesten stammenden Infiltrationswässern bezeichnet werden. Die oben angegebenen Werte enthalten keine Höhenkorrektur, das Einzugsgebiet der S. Fontanone (Nr. 1) liegt – trotz des hohen Deuteriumgehaltes – eher höher als das der übrigen Wasseraustritte.

Die ^2H -Ganglinien der vier Quellwässer (Nr. 7) weisen einen sehr unterschiedlichen Verlauf auf. Die große Schwankungsbreite bei Nr. 1 – vor allem das deutliche Hervortreten des winterlichen Minimums – entspricht der Typisierung dieser Quelle anhand der Tritiummessungen.

Etwas komplizierter ist die Beiordnung der Deuteriumkurven der Wasserversorgung Würmlach (Nr. 5) und der Mühlenquellen (Nr. 9) zu den Ergebnissen aus den

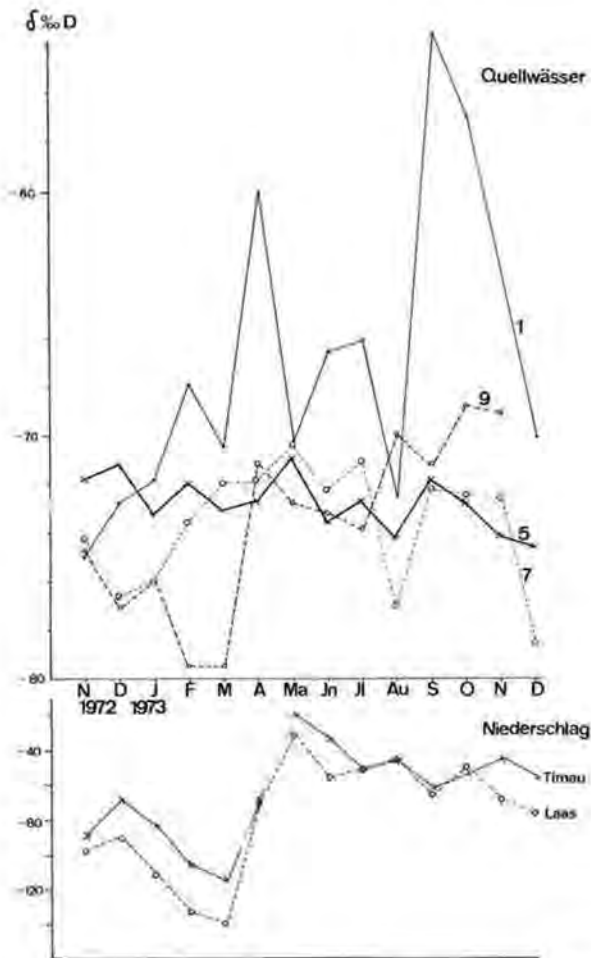


Fig. 7: Der jahreszeitliche Verlauf des Deuteriumgehaltes ausgewählter Wässer aus dem Plöckengebiet. Lage der Quellen s. Fig. 3.

Tritiumbestimmungen. Wohl sind die Schwankungen des Deuteriumgehaltes bei Nr. 5 relativ gering, doch zeigen sich in den Schwankungen unverkennbare Parallelen zu den Tritiumwerten desselben Meßzeitraumes. Zur Charakterisierung des Aquifers selbst sei noch festgehalten, daß das Infiltrationsgebiet aufgrund der lokalen hydrogeologischen Verhältnisse ziemlich weit von der Quelle entfernt ist und daher Niederschlagswässer aus der unmittelbaren Umgebung des Wasseraustrittes für die Deuteriumzusammensetzung des Quellwassers von untergeordneter Bedeutung sind.

Umgekehrt verhält es sich bei Quelle Nr. 9. Der Aquifer hat eine ausgeprägte W-E-Ausdehnung und liegt zur Gänze im Kalk, wie auch der Wasseraustritt selbst. Hier beeinflussen die in unmittelbarer Nähe infiltrierten Niederschlagswässer sehr wohl die Deuteriumkonzentration des Quellwassers. In diesem Sinn sind auch die größeren Deuteriumschwankungen zu verstehen, die aber trotzdem mit der aus den Tritiumwerten interpretierten guten Durchmischung des gesamten Aquifers in Einklang gebracht werden können.

Somit widersprechen die Ergebnisse aus den Deuteriumuntersuchungen in keiner Weise der durch die Tritiumbestimmungen gegebenen Dreiteilung der Quellen.

Das Ineinandergreifen verschiedener niederschlagbringender Wetterlagen und die – wenn man vom südlichen Teil absieht – im allgemeinen gute Durchmischung der Bergwasserreservoirs widerspiegelt sich in einem klaren $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ -Verhältnis

$$\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$$

4. Zusammenfassung

Der Unterschied im Entwässerungsmechanismus der beiden Untersuchungsgebiete tritt einwandfrei hervor. Dem Toten Gebirge ist im wesentlichen nur eine kurzfristige Speicherung mit geringen lokalen Modifikationen eigen. Hingegen bringt der differenziertere geologische Aufbau der Karnischen Alpen schon in sich stark unterschiedliche Entwässerungsverhältnisse mit sich. Während sich der Karstwasserkörper im Süden (Quellen Nr. 1 und 2) nach der Schneeschmelze und nach Starkregen sehr rasch entleert und gewisse Parallelen zum Toten Gebirge zeigt, zirkuliert das Wasser in den zwischen Schiefen eingefalteten Kalkzügen im zentralen und nördlichen Bereich sehr tiefreichend. Die Folge davon ist eine gute Durchmischung der Aquifer und eine unterirdische Verweildauer der Wässer, die z. B. im Gebiet der Quelle Nr. 9 über Jahre hinausgeht (ca. 3–4 Jahre). Zusätzlich kommt auch noch der Zerrüttungszone innerhalb der Schiefer am Nordrand gegen das Gailtal hin eine hydrogeologische Bedeutung zu, die sich besonders in den Charakteristika von Quelle Nr. 5 äußert.

Dieser Untersuchung lag sowohl im Toten Gebirge als auch in den Karnischen Alpen eine hydrogeologische Gliederung durch konventionelle Untersuchungsmethoden zugrunde. Erst die auf diese Basis aufbauenden Isotopenuntersuchungen brachten gültige Schlüsse über den verschiedenen Entwässerungsmechanismus mit sich, wobei die gesamte Arbeit ein Beispiel darstellen soll, welche große Aussagekraft Isotopenuntersuchungen mit einem hydrogeologisch fundierten Hintergrund zukommt.

Literatur

- DINCER, T., B. R. PAYNE, C. K. YEN & J. ZÖTL: Das Tote Gebirge als Entwässerungstypus der Karstmassive der nordöstlichen Kalkhochalpen (Ergebnisse von Isotopenmessungen). Steir. Beitr. Hydrogeol., 24, Graz 1972.
- MAURIN, V., & J. ZÖTL: Karsthydrologische Untersuchungen im Toten Gebirge. ÖWW, 16, Wien 1964.
- PÖLSLER, P.: Geologie des Plöckentunnels der Ölleitung Triest–Ingolstadt. Car. II, 77, Klagenfurt 1967.
- ZOJER, H.: Beitrag zu den Niederschlags- und Abflußverhältnissen in den Karnischen Alpen. Car. II, 85, Klagenfurt 1975.
- ZOJER, H., & J. ZÖTL: Isotopenmessungen an Wässern des Plöckengebietes. Unveröff. Bericht, 10 S., Graz 1975.
- ZÖTL, J.: Die Hydrographie des nordostalpinen Karstes. Steir. Beitr. Hydrogeol., 13, Graz 1961.

Summary

The difference in recharge and discharge characteristics of both districts, Totes Gebirge and Plöcken area, must be clearly defined. The karst groundwater in the Totes Gebirge normally is except for a few smaller local modifications stored in the underground only for a short time. The differentiated geological structure of the Plöcken area, however, produces different drainage systems. The karst water body in the south (springs number 1 and 2) depletes itself soon after the snow melt and heavy rainfalls, and thus shows similarities with the discharge characteristics of the Totes Gebirge. In contrast to this, in the limestone layers, folded between shist strata, the groundwater percolates very deep down into the rock. This effects a good mixture of the water in the aquifers and a mean subsurface residence time of some years (spring number 9 about 3-4 y). Additionally, the fault section within the shist area in the northern part towards the Gail valley gains some hydrogeological importance, which lies in the drainage characteristics of spring number 5.

These investigations in the areas of the Totes Gebirge as well as of the Plöcken are based on a hydrogeological classification by conventional methods. In any case, isotope measurements, started on this basis, guaranteed applicable conclusions concerning to the different drainage systems. This should be an example to what extent isotope investigations on the basis of a well defined hydrogeological background can supply valuable statements.

Anschrift des Verfassers: Dr. Hans ZOJER, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Forschungszentrum Graz, Elisabethstraße 16, A-8010 Graz.