

Schlüsselwörter

Kärnten
Villacher Alpe
Hydrogeologie
Entwässerungsmechanismus
Gefährdungspotentiale
Schutz von Karstwässern

Untersuchungen zur Speicherung und zum Schutz von Karstwässern der Villacher Alpe (Kärnten)

WALTER POLTNIG, GERHARD PROBST & HANS ZOJER*

8 Abbildungen, 4 Tabellen

Inhalt

Zusammenfassung	75
Abstract	76
1. Naturgegebener Hintergrund	76
1.1. Geologie, Tektonik und Morphologie	76
1.2. Niederschlag und Abfluß	77
2. Einzugsgebiet und Speicherverhalten von Quellen	77
2.1. Hydrochemische Untersuchungen	80
2.2. Isotopenmessungen	81
2.2.1. Tritiumuntersuchungen	81
2.2.2. Sauerstoff-18-Messungen	82
2.3. Kombiniertes Markierungsversuch	84
3. Detailuntersuchungen an der Thomas- und Unionquelle	86
3.1. Berechnung der Speicherkapazität	86
3.2. Bewertung der Gefährdungspotentiale	88
4. Schlußfolgerungen	88
Dank	88
Literatur	90

Zusammenfassung

Die Villacher Alpe, die transgressiv dem Gailtalkristallin auflagert, wird hauptsächlich aus triassischen Karbonatgesteinen aufgebaut. Die starke tektonische Zerlegung des Gebirgsstockes bietet eine hervorragende Voraussetzung für eine intensive Verkarstung.

Wie in den meisten Karstmassiven ist auch an der Villacher Alpe der Gegensatz zwischen der trockenen Hochfläche und den Großquellen am Fuße des Gebirgsstockes augenscheinlich. Die bedeutendsten Wasseraustritte liegen im N, NE und E: Nötschbachquelle, Thomas- und Unionquelle, Kalt- und Warmwasserbezirk von Warmbad Villach. Einer mittleren Schüttung der Union- und Thomasquelle von annähernd 400 l/s steht beim Warmbach ein Minimalabfluß von 50 l/s gegenüber, bei Starkregen und bei der Schneeschmelze können allerdings mehrere 100 l/s abfließen. Die wasserwirtschaftlich bedeutende Nötschbachquelle – sie ist jedoch kaum meßbar – kann bei Hochwasserbedingungen über 1 m³/s Wasser abführen.

Mit Hilfe hydrochemischer und isotopehydrologischer Untersuchungen ist es möglich, Hinweise auf Einzugsgebiet und unterirdische Speicherung zu geben. So können bei Kenntnis der lithologischen Verhältnisse die Quellen im NW (u.a. V 8, V 14) einem vornehmlich dolomitischen Einzugsgebiet zugeordnet werden. Tritiummessungen eignen sich vorwiegend für die Anschätzung und Berechnung der mittleren Verweildauer unterirdischer Wässer. Unter der Voraussetzung einer gesicherten Anwendung des Exponentialmodells kann das mittlere Alter der Karstwässer von Nötschbach-, Union- und Thomasquelle mit 3–6 Jahren angegeben werden. Da die ³H-Werte der Warmbader Thermalwässer eindeutig unter jenen des Niederschlages liegen, muß man von einem Mischwasser ausgehen: Die Heißwasserkomponente ist wahrscheinlich tritiumfrei, die Kaltwasserkomponente nur kurzzeitig im Untergrund gespeichert, etwa ähnlich jener des Kaltbaches.

Auch der ¹⁸O-Gehalt kann hinsichtlich der unterirdischen Verweilzeit ausgewertet werden, wenn bei Vorliegen einer längeren Meßreihe die Dämpfung der Jahresganglinie für das Exponentialmodell herangezogen werden kann. So weist die große Schwankungsamplitude bei der Römer- und Reßmannquelle auf eine geringe unterirdische Speicherung hin. Aufgrund des Höheneffektes von ¹⁸O ist die vertikale Gliederung von Quelleinzugsgebieten möglich: Der Nötschbachquelle ist das höchstliegende Einzugsgebiet eigen, während die Thermalwässer von Warmbad Villach nicht von den Hochregionen der Villacher Alpe angereichert werden.

Die Lage von Quelleinzugsgebieten wurde durch einen kombinierten Markierungsversuch noch genauer abgegrenzt. So zeigte es sich, daß nicht kontrollierte touristische Aktivitäten im Bereich der Roßtratte schwerwiegende Auswirkungen auf die Qualität der Trinkwasserversorgung der Stadt Villach nach sich ziehen. Die durchwegs in Dolinen und Naturschächten eingegebenen Farbtracer traten bei einzelnen Quellen schnell wieder aus, oft bereits nach wenigen Tagen. Bei der Unionquelle wurde bereits nach einer Woche der Peak des Farbdurchganges (Eosin von der Roßtratte) erreicht. Da der Tracer in bevorzugte unterirdische Wasserbahnen eingegeben und damit nur ein ganz geringer Teil des Speichers markiert wurde, ergibt sich daraus gegenüber der Berechnung des mittleren Wasseralters aus Isotopenmessungen (ca. 5 Jahre) nur ein scheinbarer Widerspruch, der auf unterschiedlich lang gespeicherte Komponenten des Quellwassers zurückzuführen ist.

*) Anschrift der Verfasser: Dr. WALTER POLTNIG, Mag. rer. nat. GERHARD PROBST, Univ.-Prof. Dr. HANS ZOJER, Institut für Hydrogeologie und Geothermie, Joanneum Research, Elisabethstraße 16/II, A-8010 Graz.

Eine Komponententrennung des Basis- und des Direktabflusses wurde bei der Unionquelle während der Schneeschmelze im Frühjahr 1988 auf Grundlage der Ionen Natrium und Magnesium durchgeführt. Es zeigt sich deutlich, daß zu Beginn des Schmelzwasseranstieges älteres Wasser herausgedrückt wird. Der Basisabfluß (länger gespeicherte Komponente) verbleibt auch in der nachfolgenden Zeit zwischen 30 und 50 % des Gesamtabflusses, was auf eine hohe Speicherkapazität der Quelle schließen läßt.

Alle hydrogeologischen Untersuchungen führen in synoptischer Weise zu einer flächenbezogenen Ausweisung von Gefahrenpotentialen für das Trinkwasser, die letztlich maßgebend für die Ausweisung von Quellschutz- und Schongebieten sind. Aufgrund der Kenntnis unterirdischer Fließwege kann eine diesbezügliche Prioritätengliederung vorgenommen werden.

Investigations on Storage and Protection of Karst Waters of Villacher Alpe (Carinthia)

Abstract

The Villacher Alpe massif consists predominantly of Triassic carbonate rocks. Intensive tectonics favours karstification. Compared to other karst regions there exists a contrast between the water scarce plateau and the big karst springs at the foothills of the massif. The main outlets are located at the N, NE and E, named Nötschbach, Union and Thomas spring and the cold water and thermal district of Warmbad Villach respectively. The latter is subjected to an own differentiated drainage system. The mean discharge of Thomas and Union spring – used for water supply of the Villach region – ranges together almost 400 l/s, the same amount can be reached by the thermal outlets, but only as a seasonal maximum. The Nötschbach spring exceeds 1 m³/s at flood conditions.

Hydrochemical and isotopical investigations can gather important indications of recharge areas and subsurface storage of karst water. By means of Ca/Mg ratio it could clearly determined whether the springs are recharged in dolomite or limestone formations, provided that the lithology of the strata is known. Tritium measurements are highly suitable for the calculation of the mean residence time of subsurface waters. Applying the exponential model the mean water age of Nötschbach, Union and Thomas spring ranges between 3 and 6 years. The thermal water of Warmbad Villach must be considered as a mixed water of different components: The hot water part probably is free of tritium, the cold water component on the other hand is stored subsurface only for a short time, similar to the cold water springs in the vicinity around.

Long term measurements of ¹⁸O can also be applied for the detection of the mean residence time of karst water. The large seasonal fluctuations at several springs (Römerquelle, Rössmannquelle) indicate a very limited underground storage of water. The main hydrogeological use of ¹⁸O data is reflected to the vertical distribution of recharge areas taking into account the altitude effect of the stable isotope. Thus, the Nötschbach spring recharges from the uppermost part of the massif, the catchment area of the thermal springs on the other hand is located at the lower plateaus of the Eastern Villacher Alpe.

Furthermore the delimitation of recharge areas was defined by a combined tracing experiment. It has been proved that summer and winter tourism in a special area without control affects to a high extent the quality of drinking water at Union and Thomas spring. However, the different tracers have been injected in dolines, which represent preferential subsurface flow paths. Therefore it was not surprising that the tracers reappear very quickly, within a few days only, at several springs.

A hydrograph separation was carried out at Union spring using the natural ions Na⁺ and Mg⁺⁺. It results that even at high outflow conditions during a melting period in spring 1988 30–50 % of the total discharge originate from base flow (longer stored component), which suggests a reasonable storage capacity of spring water. All hydrogeological investigations show in a synoptic way a clearly indicated risk potential for the drinking water around the karst massif of Villacher Alpe. Because of the knowledge of subsurface flow paths different priorities for the karst water protection can be worked out.

1. Naturgebener Hintergrund

1.1. Geologie, Tektonik und Morphologie
















Die Villacher Alpe^{*)}, ein nahezu allseitig durch Störungen von seiner Umgebung abgesetzter Bergstock, wird aus einer permotriadischen Schichtfolge aufgebaut, welche transgressiv über dem Gailtalkristallin sowie dem Karbon von Nötsch abgelagert wurde. Eine ausführliche Beschreibung der permotriadischen Schichtfolge, welche mit Permoskythsandsteinen einsetzt und gegen das Hangende von Werfener Schichten, Alpinem Muschelkalk, mitteltriadischen Buntkalke und Vulkaniten, Wettersteinkalk und -dolomit, Raibler Schichten und als Hangendstes von Hauptdolomit gefolgt wird, findet sich bei COLINS & NACHTMANN (1974). Durch die starke S–N-gerichtete Einengung erfolgte eine Verfaltung des Gesteinsstapels mit W–E-gerichteten Faltenachsen, die im weiteren zur Ausbildung von zwei Synklinalen führte. Durch fortschreitende Einengung kam es zur Anlage steil Nord fallender Aufschiebungen und Verstellung einzelner Gesteinsblöcke, welche im Zuge des Einbruches des Villacher Beckens die Ausbildung der gegen Osten abgetreppten Hochflächen bewirkten. In diesem Zusammenhang müssen auch die NE–SW-streichende Waagtal- und Teufelsgrabenstörung gesehen werden, welche die Villacher Alpe in Großblöcke zerteilen. Entlang dieser Störungen und dazu parallelen ist eine bevorzugte Wasserwegigkeit

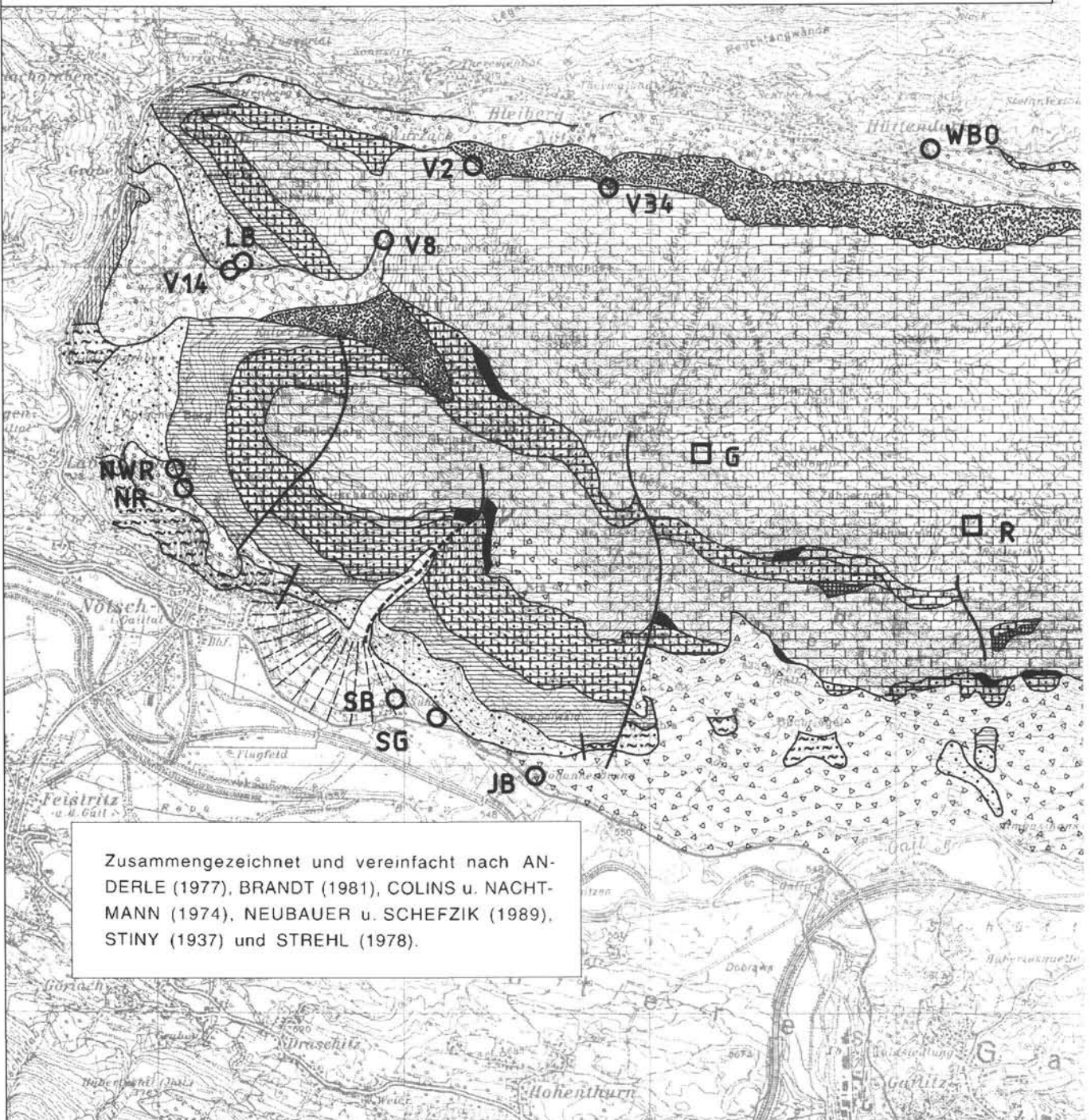
anzunehmen, wie die Ausbildung zahlreicher Dolinenreihen belegt (NEUBAUER & SCHEFZIK, 1989). Hauptgesteinsbildner der Villacher Alpe sind der Wettersteinkalk und -dolomit. Die tieferen Anteile (Permoskyth–Anis) finden sich an der Süd- und Südwestseite. Im Nordosten lagern im Bereich der Heiligengeister Mulde dem Wettersteinkalk die Raibler Schichten und Hauptdolomit auf. Eine zum Teil mächtige quartäre Bedeckung erstreckt sich über die gesamte Heiligengeister Mulde bis Villach im Osten, sowie auf Teile des Pungarts und andere Hochflächen bis 1600 m Seehöhe (Abb. 1).

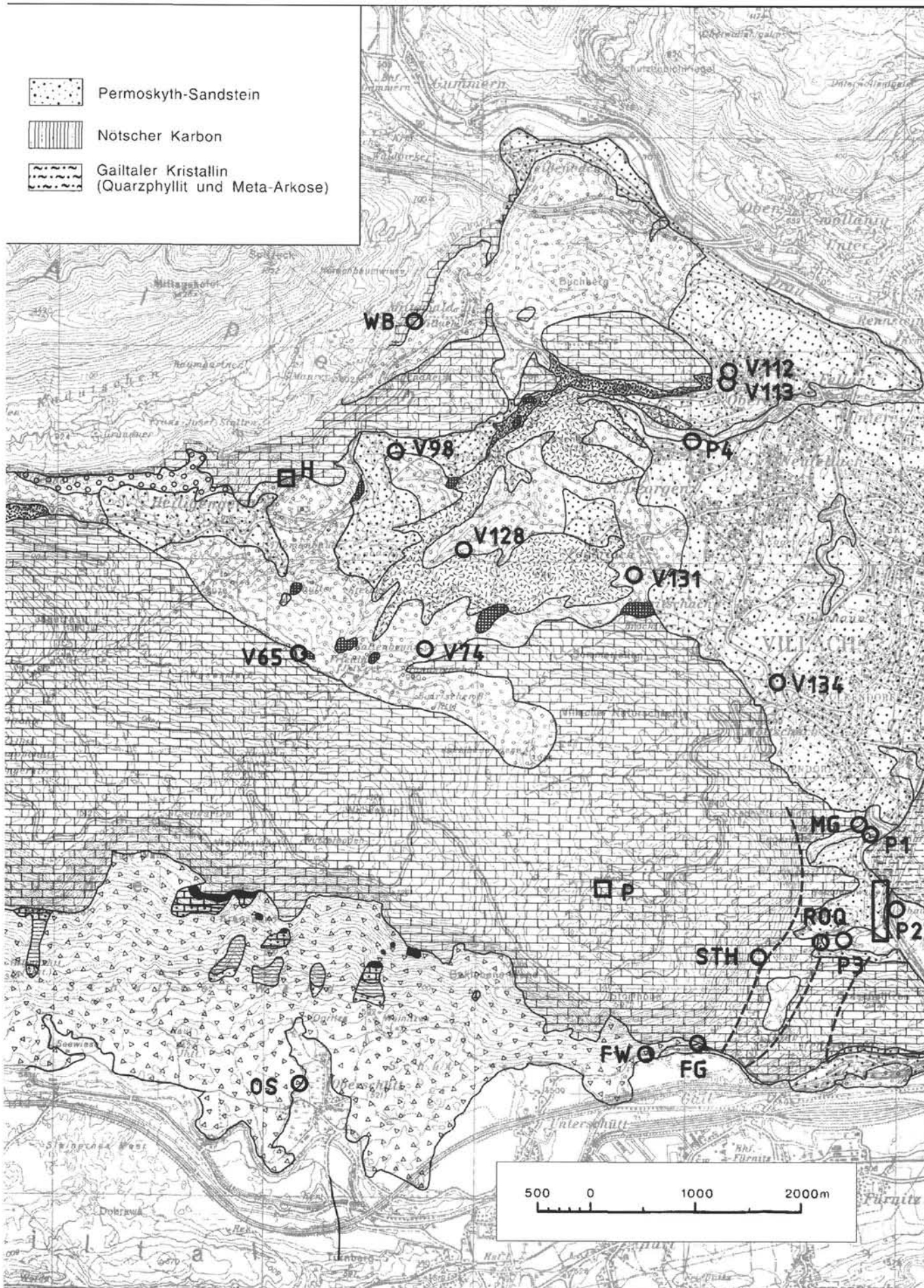
Von Bedeutung für die Abgrenzung der Einzugsgebiete der Thomas-, Union- und Nötschbachquelle sind vor allem die Verbreitung wasserstauer Schichten (z.B. Raibler Schichten) sowie das Vorhandensein zusammenhängender Karstsysteme. Letztere sind nach Kenntnissen aus den Geländearbeiten vor allem im Wettersteinkalk deutlich ausgebildet (NEUBAUER & SCHEFZIK, 1989). Die staffelförmig gegen Osten abgetreppten Hochflächen der Villacher Alpe, welche durchwegs aus Wettersteinkalk und -dolomit aufgebaut sind, zeigen eine Fülle von Karstformen, wobei die auffallenden Trichterdolinen Durchmesser bis 100 m und Tiefen bis 30 m erreichen können.

Neben den Dolinen als Großformen treten auch Sekundärdolinen, Schächte und Höhlen auf. An kleinförmigen Karstformen findet man Rillen-, Rinnen- und Kluffkarren. Die Karsterscheinungsformen haben ihr Hauptverbreitungsgebiet am Pungart und seinen Abhängen, am

*) Ortsnamen und topographische Bezeichnungen entstammen der Österreichischen Karte 1 : 50.000, Blatt 200 Arnoldstein.

	Alluvionen		Bändertone		Wettersteinkalk und -dolomit (Ladin)
	Schwemmkegel		Moränen		Vulkanit (Anis / Ladin)
	Hangschutt		Bleiberger Konglomerat		Mitteltriadische Buntkalke (Anis)
	Bergsturz		Hauptdolomit (Nor)		Alpiner Muschelkalk (Unter-Anis)
	Terrassen		Raibler Schichten (Karn)		Werfener Schichten (Skyth)





raum Villach mit Trinkwasser. Die Nötschbachquelle, ein bedeutender Wasseraustritt im Bleiberger Tal, zeigt eine niedrige elektrolytische Leitfähigkeit und eine geringe Wassertemperatur. Andere Quellen weisen entsprechend ihrer Durchströmung verschiedener lithologischer Einheiten differenzierte Eigenschaften auf.

2.1. Hydrochemische Untersuchungen

Nach Abschluß der hydrologischen Kartierung wurde an 16 ausgewählten Quellen und an einer Bohrung eine Langzeituntersuchung im Monatsrhythmus durchgeführt, um Rückschlüsse auf die Einzugsgebiete und die Speicherfähigkeit im Untergrund zu erhalten (PROBST & ZOJER, 1988). Auswahlkriterien waren in erster Linie die Größe des Dargebotes, die Nutzung zur Trinkwasserversorgung und nicht zuletzt die Entwässerung aus verschiedenen hydrogeologischen Einheiten. In weiterer Folge sollten diese Ergebnisse auch der Planung eines großen Markierungsversuches dienen. Die in Tab. 2 angeführten Quellen wurden für die Beobachtung ausgewählt (Tab. 2; topographische Lage in Abb. 1).

Tabelle. 2.
Ausgewählte Wasserspenden für die physikalisch-chemische und isotopenhydrologische Dauerbeobachtung im Untersuchungsgebiet der Villacher Alpe.

Kürzel	Quellbezeichnung	Kürzel	Quellbezeichnung
V 2	Leininger Quelle	ROQ	Römerquelle
V 8	Torquelle	STH	Studencahöhle
V 14	Lerchbachquelle	HBQ	Hallenbadquelle
V 34	Nötschbachquelle	FBQ	Freibadquelle
V 65	Schachenquelle	NQ	Neue Quelle
V 112	Unionquelle	ZBQ	Zillerbadquelle
V 113	Thomasquelle	TQ	Tschamerquelle
V 131	Ressmannquelle	TBO	Tiefbohrung 1/81
V 134	Quelle Möltlach		

Von den aus der Dauerbeobachtung gewonnenen Daten wurden vorerst die Gesamtmineralisation, das Ca/Mg-Verhältnis, dessen Jahresschwankung und Auffälligkeiten anderer physikalisch-chemischer Parameter (z.B. Temperatur, Schüttung, Jahresgang von Calcium und Magnesium, Nitrat, Sulfat) für eine Interpretation herangezogen (PROBST & ZOJER, 1988).

Erste Schlüsse erlaubt die Betrachtung der Gesamtmineralisierung, die in guter Übereinstimmung mit der elektrolytischen Leitfähigkeit steht. Aus dieser Beobachtung ergeben sich Quellgruppen, deren Einzugsgebiete sich Gesteinen mit unterschiedlicher Lithologie zuordnen lassen. Die Menge der gelösten Stoffe kann unter Umständen innerhalb gleicher geologischer Einheiten Hinweise auf die Speicherung des Wassers im Untergrund geben.

Die Quelle Möltlach weist die höchste Gesamtmineralisierung (im Mittel 15,5 meV/l) der untersuchten Quellen auf, die teils auf das Durchströmen der eiszeitlichen Ablagerungen im Einzugsgebiet der Quelle und teils auch auf anthropogene Verschmutzungen zurückzuführen ist. Die Lösungsmöglichkeit ist in den eiszeitlichen Ablagerungen aufgrund der größeren Kontaktfläche des Wassers mit dem Gestein wesentlich besser als im karbonatisch ausgebildeten Festgestein. Auffällig sind erhöhte Werte an Kalium, Nitrat, Sulfat und Chlorid, die Anzeiger für mögliche anthropogene Verunreinigungen sein können. Die Flächen im Einzugsgebiet werden intensiv landwirtschaftlich genutzt.

Eine Gruppe mit einer Gesamtmineralisierung zwischen 7,63 und 9,50 meV/l umfaßt die Quellen V 8, V 65, V 131 und V 14. In ihrem Einzugsgebiet überwiegen dolomitische Gesteine, die üblicherweise weniger zur Verkarstung neigen und daher das Wasser besser zu speichern vermögen. Der Leiningerquelle (V 2) ist aufgrund ihrer Lage ein orographisches Einzugsgebiet in den Wettersteinkalken und -dolomiten zuzuweisen.

Obwohl die Thomas- und Unionquelle im NE des Untersuchungsgebietes mit den größten Schüttungen ins Auge stechen, die auch ein entsprechendes Einzugsgebiet und eine gewisse Speicherung im Untergrund erfordern, zeigen sie doch eine verhältnismäßig geringe Gesamtmineralisierung (im Mittel 6,60 bzw. 6,46 meV/l). Diese Tatsache erweist sich als typisch für Karstquellen, deren Abflußdynamik durch schnelle Reaktionen auf starke Niederschlagsereignisse oder auf Schneeschmelzperioden gekennzeichnet ist. Die Römerquelle und die Studencahöhle zeigen in dieser Hinsicht ein noch extremeres Verhalten, wobei die höher gelegene Studencahöhle als Karstüberlauf fungiert und nur episodisch wasserführend ist.

Die niedrigste Gesamtmineralisierung aller Quellen (im Mittel 4,36 meV/l) ist der Nötschbachquelle eigen, die am Nordabfall der Villacher Alpe oberhalb von Bad Bleiberg austritt. Die kurze Verweilzeit des Wassers dieser Quelle im Untergrund äußert sich in starken Schüttungsschwankungen nach Niederschlagsereignissen und Schneeschmelzen. Dies zeugt von einer intensiven Verkarstung im Einzugsgebiet.

Das Ca/Mg-Verhältnis gibt Auskunft über Kalk- oder Dolomitdominanz im Einzugsgebiet einer Quelle und spiegelt so geologische Verhältnisse wider. Die im Untergrund fließenden Wässer erreichen unter Lösung von Calcium- und Magnesiumcarbonat zuerst die Calcitsättigung und steuern je nach ihrer Umgebung und Speicherung der Dolomitsättigung zu. Daraus kann unter Berücksichtigung der geologischen Gegebenheiten ein Bezug zu guter oder weniger guter Speicherfähigkeit einer Quelle hergestellt werden. Da die Gesteine, die die Villacher Alpe aufbauen überwiegend arm an Natrium und Kalium sind, stellen die Erdalkalien Calcium und Magnesium bei fast allen Quellen die Summe der Kationen dar. Demzufolge kann eine Charakterisierung der Wässer mit dem Ca/Mg-Verhältnis vorgenommen werden.

Die niedrigsten Werte zeigen jene Quellen, deren Einzugsgebiet im Wettersteindolomit bzw. Hauptdolomit liegt. Dazu gehören vor allem die Quellen V 2, V 8, V 14 und V 131, deren Verhältniszahlen unter 2 liegen. Quellen mit einem Ca/Mg-Verhältnis zwischen 2 und 3 lassen bereits auf ein Überwiegen von kalkigen Komponenten in ihren Einzugsgebieten schließen. So hat z.B. die Nötschbachquelle (V 34) ihr Einzugsgebiet in den Wetterstein- und Riffkalken, die die Gipfel der Villacher Alpe aufbauen. Eine eindeutige Dominanz von kalkigen Komponenten in ihrem Einzugsgebiet bezeugen Quellen, deren Ca/Mg-Verhältnis über 3 liegt. Dazu zählen die beiden großen Quellen im NE, die Union- und Thomasquelle, die Römerquelle und die episodisch schüttende Studenca sowie die Thermalwasseraustritte von Warmbad Villach, die durch die längere Verweilzeit im Untergrund eine entsprechend höhere Gesamtmineralisierung aufweisen (Abb. 2).

Der Jahresgang der Sulfatkonzentration ist bei den meisten Quellen im Untersuchungsraum von konstantem Verlauf. Eine Ausnahme bildet die Quellgruppe Lerchbach im W des Untersuchungsgebietes, wo aufgrund der höheren Konzentrationen auch größere Schwankungen auftreten können. Während es zur Zeit der Schneeschmelzperiode durch die vermehrte Infiltration zu einem Verdünnungseffekt

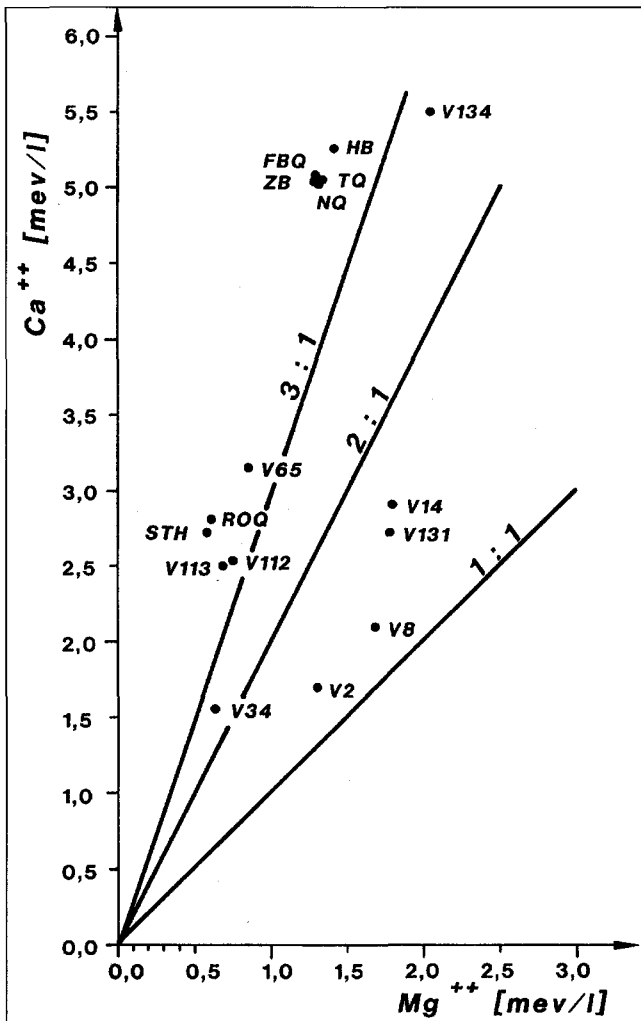


Abb. 2. Ca/Mg-Verhältniss von Quellwässern berechnet aus den Mittelwerten der Dauerbeobachtung in meV/l.

kommt, der bei den meisten Ionen zu einer Konzentrationsabnahme führt, tritt beim Sulfat ein gegenteiliger Effekt auf, der sich in einer Konzentrationszunahme äußert. Da Gips relativ leicht löslich ist, kommt es durch die vermehrte Wassermenge zu einem Prozeß der „Auswaschung“, sodaß der SO₄²⁻-Gehalt zunimmt. Dies trifft mit Ausnahme der Quellen V 14 und V 65 für alle anderen untersuchten Quellen zu.

Die Thermalquellen des Warmbader Bezirkes müssen aufgrund ihrer Genese einer gesonderten Betrachtungsweise unterzogen werden. Sie sind durchwegs von einem Calcium (Magnesium)-Hydrogencarbonattyp und weisen im allgemeinen keine großen Unterschiede in ihrem Chemismus auf. Die mittlere Ca/Mg-Relation zwischen 3,69 und 3,84 läßt ein Einzugsgebiet in kalkhaltigen Gesteinen vermuten (Abb. 2).

Generell reagieren alle Thermalwasseraustritte, am wenigsten noch die Hallenbadquelle, auf Einflüsse durch rezente kalte Wässer, die nach längeren heftigen Niederschlagsereignissen dem aus der Tiefe kommenden warmen Wasser beigemischt werden. Diese Zumischung erfolgt im südlichen Bereich der Kadischen Allee in Tiefen unterhalb von 300 m, wie die Abteufung der Bohrung 1/81 zeigte.

Die Schneeschmelze zeigt unterschiedliche Auswirkungen in zeitlicher Hinsicht, sie wird unter anderem durch ein Fallen der Wassertemperatur, besonders bei den Quellen mit geringer Schüttung, dokumentiert.

2.2. Isotopenmessungen

Die Bestimmung der Umweltisotope des Wassermoleküls ist eines der bedeutendsten Hilfsmittel für die Lösung hydrogeologischer Probleme:

- Die Art und Dämpfung der jahreszeitlichen Schwankungen geben Auskunft über das Speicherverhalten im Aquifer.
- Langzeitige Mittelwerte der stabilen Isotope führen zu einer höhenmäßigen Gliederung von Quelleinzugsgebieten.

Von Wässern der Villacher Alpe liegen Reihenuntersuchungen aus zwei Zeiträumen vor: Tritiummessungen von 1970-1976 und ¹⁸O-Messungen aus dem Zeitraum 1986/87.

2.2.1. Tritiumuntersuchungen

Die Interpretation der Meßwerte gibt Auskunft über das Speicherverhalten im Untergrund. Dabei muß man von den Inputverhältnissen ausgehen, dem Tritiumgehalt des Niederschlages. Tritium gelangt über den Austausch Stratosphäre - Atmosphäre in den Wasserkreislauf. Diese Konzentration im Niederschlag liegt generell unter 10 TU.

Durch Nukleartests in der Atmosphäre wurde in hohem Maße Tritium frei und gelangte bis zu einem tausendfachen Betrag in den Wasserkreislauf. Nach dem Ende der atmosphärischen Atomversuche kam es zur einer deutlichen Konzentrationsverminderung im Niederschlag. Dieser Verlauf der Tritiumkonzentration im Niederschlag ist in Abb. 3 durch mittlere Halbjahreswerte der Station Wien gekennzeichnet. Zwischen 1965 und 1973 fiel der Tritiumgehalt von 900 auf etwa 100 TU. Dieser Abfall vollzog sich nicht streng kontinuierlich, sondern ist als langfristiger Trend zu verstehen. Im einzelnen treten auch jahreszeitliche Schwankungen auf, was in Abb. 3 klar zum Ausdruck kommt. Überdies war der Tritiumgehalt 1973/74 generell etwas höher als im Jahr vorher und in den Jahren nachher, bedingt durch Nuklearversuche in Zentralasien.

Im Gegensatz zu den stabilen Isotopen kann beim Tritium nicht nur die Dämpfung der jahreszeitlichen Schwankungen Auskunft über das Speicherverhalten geben, sondern auch der generelle Trend der fallenden Konzentration. Umgelegt auf die vorliegenden Daten 1971-1976 läßt sich daraus folgender Schluß ziehen:

Wässer mit höheren Tritiumgehalten und steilem Konzentrationsabfall weisen auf eine längerfristige Speicherung des Wassers im Aquifer hin. Zieht man jene Quellen in Betracht, von denen Tritium-Langzeitreihen vorliegen, muß der Thomas- und Unionquelle das beste Speicherverhalten zugesprochen werden (Abb. 3). Einen deutlich flacheren Verlauf des Konzentrationsabfalles der Tritiumgehalte zeigt die Nötschbachquelle, was auf eine geringere Verweilzeit gegenüber der Thomas- und Unionquelle hinweist (Abb. 3). Die Tschamer- und Hallenbadquelle liegen in ihrem Tritiumgehalt hingegen deutlich unter jenem des Niederschlages der Villacher Alpe (Abb. 3). Bei den Thermalwässern von Warmbad Villach muß man überhaupt von einer Mischung aus unterschiedlicher Herkunft ausgehen: ein altes, wahrscheinlich tritiumfreies Wasser (Heißwasserkomponente) und ein kurzfristig gespeichertes Wasser mit Tritiumkonzentrationen möglicherweise ähnlich denen anderer Karstwässer (Kaltwasserkomponente) der Villacher Alpe.

Als orientierende Interpretationsmöglichkeit kann die Häufigkeitsverteilung des Tritiumgehaltes von zeitlich vergleichbaren Wässern angesehen werden (ZOJER, 1980). Bei der Thermalquelle in Warmbad Villach streut der Tritium-

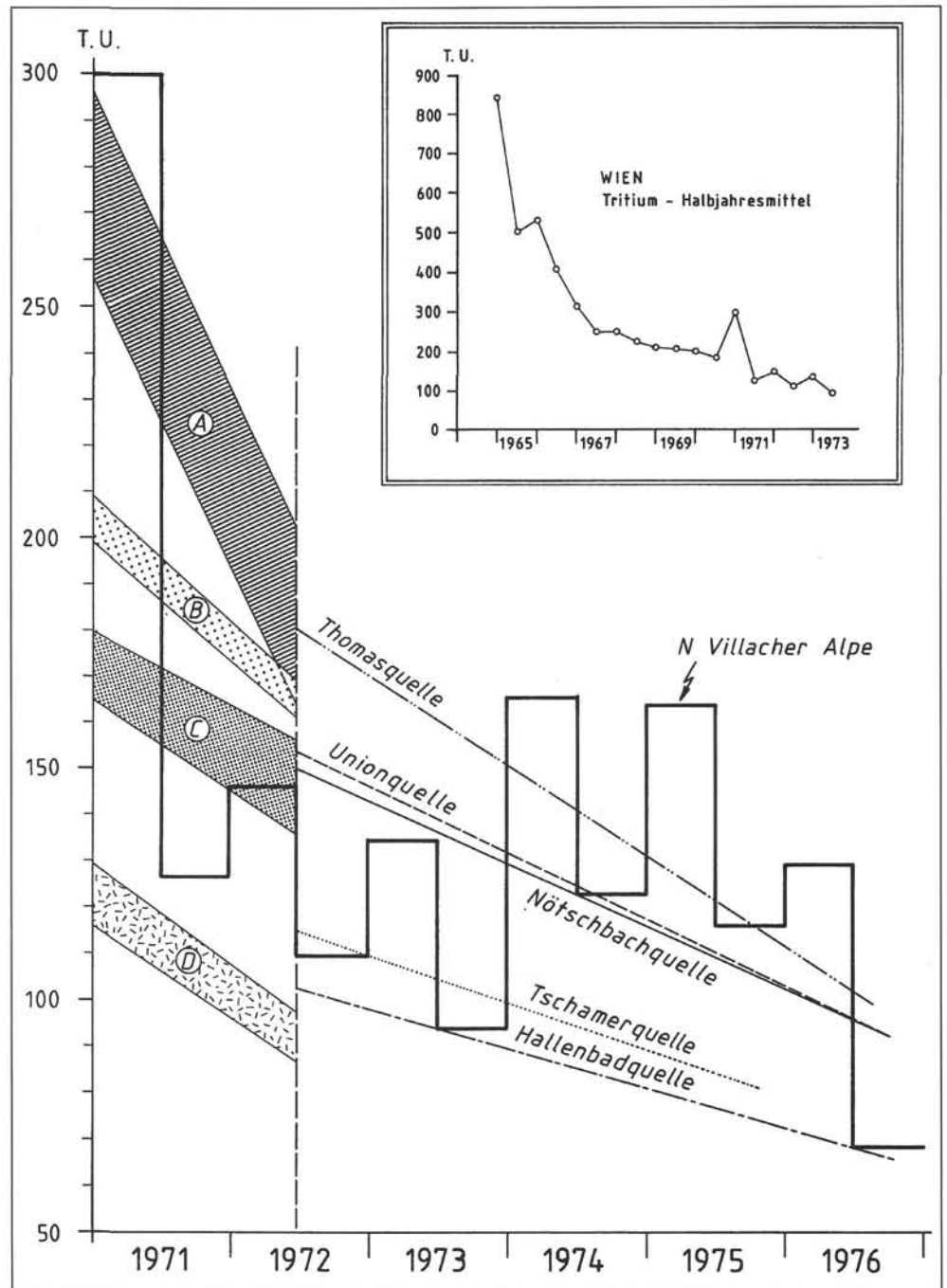
Abb. 3. Ganglinie der mittleren Halbjahreswerte des Tritiumgehaltes des Beobachtungspunktes Wien von 1965 bis 1973 und Trends des Tritiumgehaltes verschiedener Quellwässer im Untersuchungsgebiet aus Messungen in der Zeit von 1971 bis 1976 (weitere Erläuterungen im Text).

gehalt 1971–76 zwischen 50 und 130 TU. Etwas unterschiedlich in der ^3H -Frequenz sind die Nötschbach- und Unionquelle.

Letztere weist die größte Anhäufung von Meßwerten zwischen 140 und 170 TU auf, während sie bei der Nötschbachquelle bei ungefähr 120 TU liegt. Dies kann so interpretiert werden, daß das Wasser der Unionquelle länger im Untergrund gespeichert wird als jenes der Nötschbachquelle. Abb. 3 enthält auch Tritium-Trends von solchen Quellen, die lediglich bis Mitte 1972 beprobt wurden. Obwohl verschieden lange Zeitreihen nicht unmittelbar vergleichbar sind, läßt die Beobachtung 1971/72 zumindest eine relative Beurteilung des Speicherverhaltens zu.

Die besten Speichereigenschaften sind der Lerchbachquelle (V 14) und den Quellen im S (bei Förk und am Rande der Schütt) eigen (Abb. 3, Gruppe A). Es fällt dabei auf, daß es sich jeweils um Quellen handelt, deren Einzugsgebiete vornehmlich in anisichen Dolomiten liegen, wo das unterirdische Wasser aufgrund der eingeschränkten Verkarstung vorwiegend einem Kluftaquifer entstammt. Im Gegensatz dazu ist die Speicherfähigkeit im Einzugsgebiet des Kaltbaches gering (Abb. 3, Gruppe C), der niedrige Tritiumgehalt verweist auf ein schnelles Durchströmen des Karstkörpers.

Zwischen diesen beiden Gruppen (Abb. 3, Gruppe B) liegen die Quellen im Raum Heiligengeist (z.B. V 65), deren Austritt durch die Lage der Moränen bedingt ist. Hier dürfte keine tiefreichende Entwässerung vorliegen. Wiederum herausfallend sind die Warmbader Thermalquellen (Abb. 3, Gruppe D), deren Tritiumkonzentrationen deutlich unter jenen des Niederschlages liegen. Dies muß wiederum als Indiz verstanden werden, daß länger gespeichertes, möglicherweise tritiumfreies Wasser mit einer jüngeren Kaltwasserkomponente gemischt wird.



2.2.2. Sauerstoff-18-Messungen

Die stabilen Isotope Deuterium und ^{18}O unterliegen verschiedenen Effekten. Für die gegebene Fragestellung von Bedeutung ist der Temperatureffekt, der auch infolge der Konzentrationsabnahme von ^2H und ^{18}O mit der Verminderung der Kondensationstemperatur im Zuge der Temperaturabnahme mit der Seehöhe als Höheneffekt wirksam werden kann.

Unter der Voraussetzung von Serienuntersuchungen, die eine gesicherte Mittelbildung zulassen, kann dieser Höheneffekt für die Berechnung der mittleren Höhe von Quelleinzugsgebieten verwendet werden.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind zumindest relative Angaben über Höhenlage von Einzugsgebieten und unterirdische Speicherung möglich. Ein Beispiel dafür ist die Schwankungsbreite des jahreszeitlichen ^{18}O -Ganges, wie sie im oberen Abschnitt von Abb. 4 dem mittleren Isotopen-

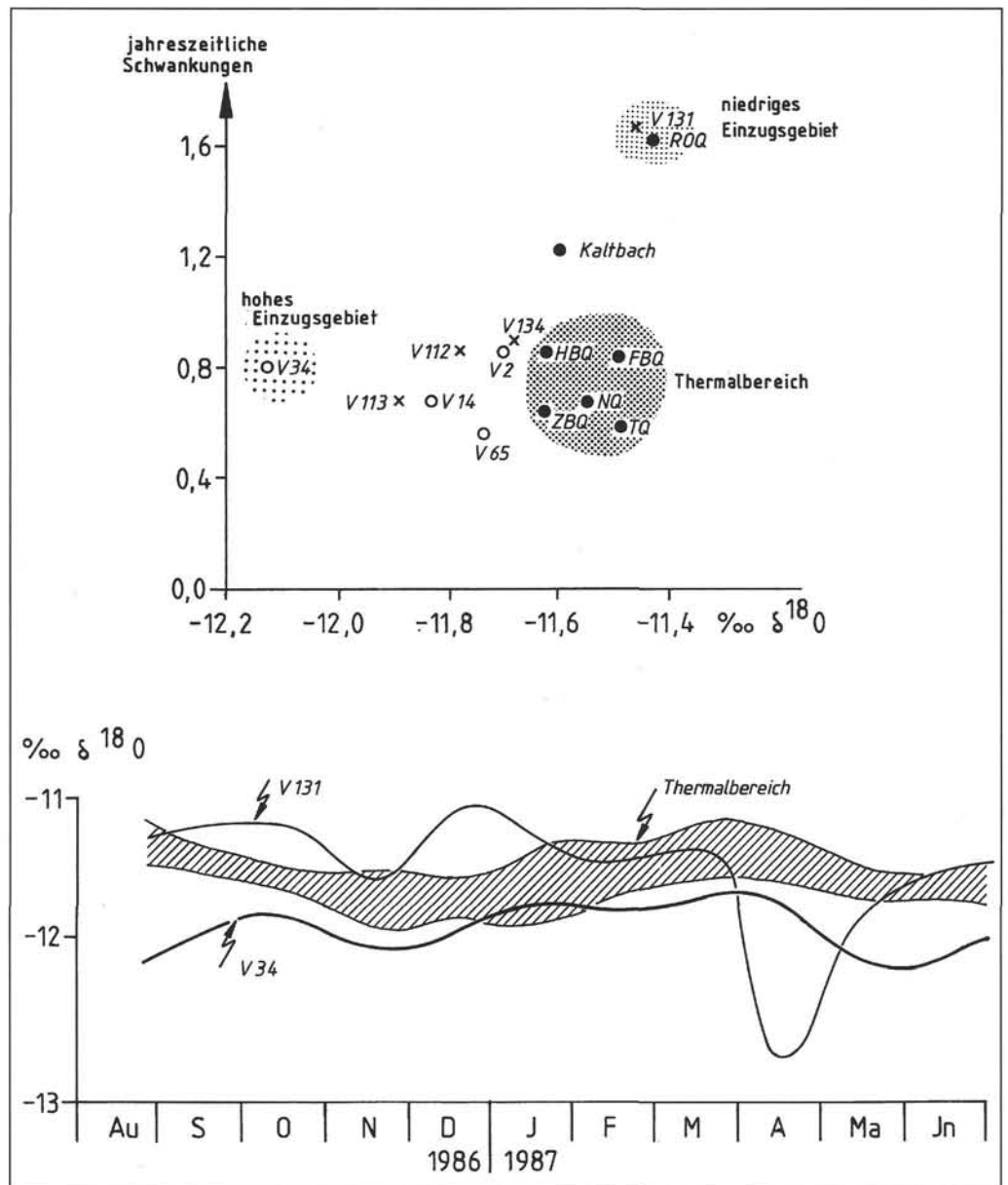
Abb. 4. Mittelwerte und Schwankungsverhalten des ^{18}O -gehaltes von Wässern der Villacher Alpe aus dem Beobachtungszeitraum von 1986 und 1987.

gehalt der Quellwässer gegenübergestellt ist. Wie zu erwarten, ist das höchstliegende Einzugsgebiet der Nötschbachquelle (V 34) eigen, am niedrigsten liegen die Einzugsgebiete der Reßmannquelle von Pogöriach (V 131) und der Römerquelle. Die starke tektonische Zerlegung der Villacher Alpe läßt zusammen mit dem niedrigen ^{18}O -Gehalt ein Zurückreichen des Einzugsgebietes der Nötschbachquelle bis in die Hochregionen des Massivs vermuten. Die Reßmannquelle hingegen dürfte ausschließlich den Hauptdolomit in der Heiligengeister Mulde entwässern, ihr Einzugsgebiet dürfte nicht in höhere Regionen reichen, sodaß ihr Einzugsgebiet auf die unteren Hangbereiche am Nordostabfall des Gebirgsstockes beschränkt ist.

Morphologisch gut abgegrenzt dürfte auch das Einzugsgebiet der Römerquelle sein, die aus der Pungart-Scholle entwässert. Schwierig einzustufen sind die Thermalquellen von Warmbad Villach, da die beiden Mischungskomponenten (Heiß- und Kaltwasser) in ihren Einzeleigenschaften noch zu wenig bekannt sind.

Ähnlich wie für die mittlere Höhenlage von Quelleinzugsgebieten können Hinweise auch auf die unterirdische Speicherung – in diesem Fall durch das Ausmaß und die Art der jahreszeitlich Schwankungen – gegeben werden. Betrachtet man vorerst lediglich die Schwankungsamplitude (Abb. 4), so liegt der größte Teil der Quellen zwischen 0,6 und 1,0 ‰. Interessant ist dabei, daß auch die Warmbader Thermalquellen Schwankungen im ^{18}O -Gehalt unterworfen sind. Dies würde eine zeitlich unterschiedliche Kaltwasserbeimengung widerspiegeln, wenn man davon ausgeht, daß der Kaltwasseranteil aus dem seichten Karst stammt. Diese dynamischen Vorgänge dürften wohl die Isotopenkonzentration beeinflussen, weniger aber die Wassertemperatur.

Die große Schwankungsamplitude bei der Römer- und Reßmannquelle weist auf eine geringe unterirdische Speicherung hin. Die starke Verkarstung des Hinterlandes der Römerquelle (Pungart) bewirkt eine schnelles Abströmen



von Infiltrationswässern, im Einzugsgebiet der Reßmannquelle sind die wasserwegigen Zonen nur geringfügig überlagert, sodaß sich Oberflächeneinflüsse rasch auswirken können. Die Schneeschmelze ist zweifellos ein wichtiger Faktor für die Aussagekraft hydrologischer Parameter im Hinblick auf das Speicherverhalten von Aquiferen. Dies trifft im besonderen für die Interpretation von ^{18}O -Ganglinien zu, weil hier die Auswirkungen noch durch den Temperatureffekt verstärkt werden. Der untere Abschnitt der Abb. 4 bietet die Darstellung von einigen diesbezüglichen Beispielen. Die ^{18}O -Bandbreite der Thermalwässer von Warmbad Villach läßt erahnen, daß es wohl kleine Unterschiede in der Alimention einzelner Quellen gibt, die Auswirkungen der Schneeschmelze aber sehr spät auftreten und überdies nur schwach angedeutet sind (Oktober–Dezember 1986). Bei der Nötschbachquelle wirkt sich die Schneeschmelze in den Hochlagen erst im Mai/Juni aus, in einer Zeit, wo die Schüttung der Quelle ihre Spitze bereits längst überschritten hat. Sehr markant, kurzzeitig und bereits im April erreichen die Schneeschmelzwässer die Reßmannquelle, was neben der schlechten Speicherung auch als Hinweis für ein Einzugsgebiet zu werten ist, das am Ostabfall der unteren Flanken der Villacher Alpe liegt.

Tabelle 3.
Einspeisungsprotokoll zum kombinierten Markierungsversuch auf der Villacher Alpe.

Eingabestelle	Vorspülung	Tracer	Nachspülung
Gipfelbereich (G)	500 l Wasser	5 kg Uranin	1200 l Wasser
Roßtratte (R)	1500 l Wasser	5 kg Eosin	5000 l Wasser
Pungart (P)	2000 l Wasser	10 kg Pyranin	5000 l Wasser
Heiligengeist(H)	2600 l Wasser	4,87 kg Amidorhodamin G	4200 l Wasser

2.3. Kombiniertes Markierungsversuch

Aufgrund der ersten Ergebnisse der Langzeituntersuchungen wurden vier Einspeisungsstellen so ausgewählt, daß im Hinblick auf die wichtigsten Trinkwasserquellen weitere Erkenntnisse für die Abgrenzung ihrer Einzugsgebiete erhalten werden konnten (PROBST et al. 1989). Die Lage dieser Eingabestellen ist Abb. 1 und 5 zu entnehmen: Im Gipfelbereich wurde unterhalb des Ludwig-Walter-Hauses eine Doline für die Tracereingabe ausgewählt, eine weitere auf der Verebnung der Roßtratte. Im östlichen Bereich der Pungart-Hochfläche bot sich ein Naturschacht für die Einspeisung an, während im Gebiet von Heiligengeist eine Pinge für die Eingabe ausgewählt wurde. Da keine von den Einspeisungsstellen einen natürlichen Zufluß aufwies, mußte jeweils mit Wasser vor- und nachgespült werden.

Am 17. Juni 1987 wurden die Tracer eingespeist, die Eingabemengen sind aus Tab. 3 ersichtlich.

Die Ergebnisse bestätigen die rasche Abflußdynamik der Karstquellen, die im Hinblick auf mögliche Schutz- und Schongebiete für die Trinkwasserquellen von Bedeutung ist (Tab. 4). Abb. 5 gibt neben den Eingabestellen eine Übersicht über die nachgewiesenen Verbindungen durch den kombinierten Tracerversuch.

Die beiden großen, am Ostfuß des Buchberges gelegenen Quellen, die Union- und Thomasquelle, zeigen eine Verbindung mit der Eingabestelle auf der Roßtratte, wobei das nach unten hin abgedichtete Tal der Fellach unterströmt oder im nordwestlichen Bereich umströmt wird. Die Römerquelle und Studencahöhle werden aus dem Bereich des Pungart alimentiert, wobei die Studencahöhle nur als episodischer Überlauf aktiv wird. Die Nötschbachquelle weist eine Verbindung mit der Eingabestelle im Gipfelbereich der Villacher Alpe auf. Für die Quellen V 2, V 14, V 128, V 131 und V 134 konnte kein Nachweis eines Tracerdurchganges erbracht werden, was wenig verwunderlich erscheint, da diese Quellen ihre Einzugsgebiete in den dolomitisch aufgebauten Gesteinseinheiten haben. Diese Ergebnisse werden durch die durchgeführten chemischen und isotopehydrologischen Langzeituntersuchungen unterstützt (PROBST et al., 1989).

Meßstelle	Luftlinie Eingabestelle zur Quelle	Erstauftreten des Tracers	Tracer maximum	Tracer schwerpunkt	Tracer mittel
V 112	9500 m	144 St. (6 T)	192 St. (8 T)	288 St. (12 T)	Eosin
V 113	9500 m	144 St. (6 T)	168 St. (7 T)	288 St. (12 T)	Eosin
V 34	2500 m	48 St. (2 T)	48 St. (2 T)	360 St. (15 T)	Uranin
ROQ	1600 m	48 St. (2 T)	72 St. (3 T)	-	Pyranin
STH	2000 m	48 St. (2 T)	72 St. (3 T)	-	Pyranin

Nach den Ergebnissen des Markierungsversuches lassen sich aufgrund des eindeutigen Tracernachweises von verschiedenen Einspeisungsstellen in bestimmten Quellen, dazugehörige Einzugsgebiete klar abgrenzen. Die Union- und Thomasquelle entwässern einen Großteil der Nordostflanke der Villacher Alpe. Der Bereich dehnt sich zumindest bis zur Roßtratte aus, von wo eine gesicherte Verbindung nachgewiesen werden konnte, wobei durch die dominante Waagtalstörung die Hauptentwässerungsrichtung tektonisch vorgezeichnet ist. Die laterale Ausdehnung des Aquifers kann insofern abgegrenzt werden, als weder im Weißenbach noch in der Fellach Spuren des auf der Roßtratte eingespeisten Tracers aufgetreten sind, sodaß diese beiden Gerinne als Vorfluter nicht in Frage kommen (Abb. 1, 5).

Bei den Quellen zwischen Heiligengeist und dem Hundsmarhof, die an den Kontakt Wettersteinkalk/Carditaschichten gebunden sind, traten keine Tracer aus dem Bereich der Roßtratte aus, sodaß diesen, wie auch die Langzeituntersuchungen mit Hilfe der chemischen und isotopehydrologischen Analysen dokumentieren, ein lokales Einzugsgebiet zwischen Kasermaiß und Wabenkopf zugeschrieben werden kann.

Das Einzugsgebiet der Nötschbachquelle reicht bis in die Gipfelregionen der Villacher Alpe, wobei eine gesicherte Verbindung mit der Einspeisungsstelle östlich des Ludwig-Walter-Hauses besteht. In der etwas weiter westlich austretenden Leiningerquelle dagegen konnte dieser Tracer nicht nachgewiesen werden. Das Einzugsgebiet dieser Quelle liegt großteils in dem dort aufgeschlossenen Wettersteindolomit.

Die Quellen im W und S der Villacher Alpe zeigen keine Verbindungen zu den Einspeisungsstellen, sodaß ihre lokalen Einzugsgebiete in den Randbereichen, im S vor allem in den Lockermassen an den Flanken der Villacher Alpe zu suchen sind.

Klar definiert ist das Einzugsgebiet der Römerquelle und des Karstüberlaufes der Studencahöhle, die die Hochfläche des Pungart entwässern. Da die Schüttung der Römerquelle und der nur zeitweise aktiven Studencahöhle

Tabelle 4.
Erstauftreten, Maximal- und Schwerpunktsdurchgang der Markierungsmittel in den Beobachtungsstellen nach Stunden, errechnet aus der Direktbeobachtung. In Klammer ist das Auftreten der Tracer in den Quellen in Tagen nach der Einspeisung angegeben.

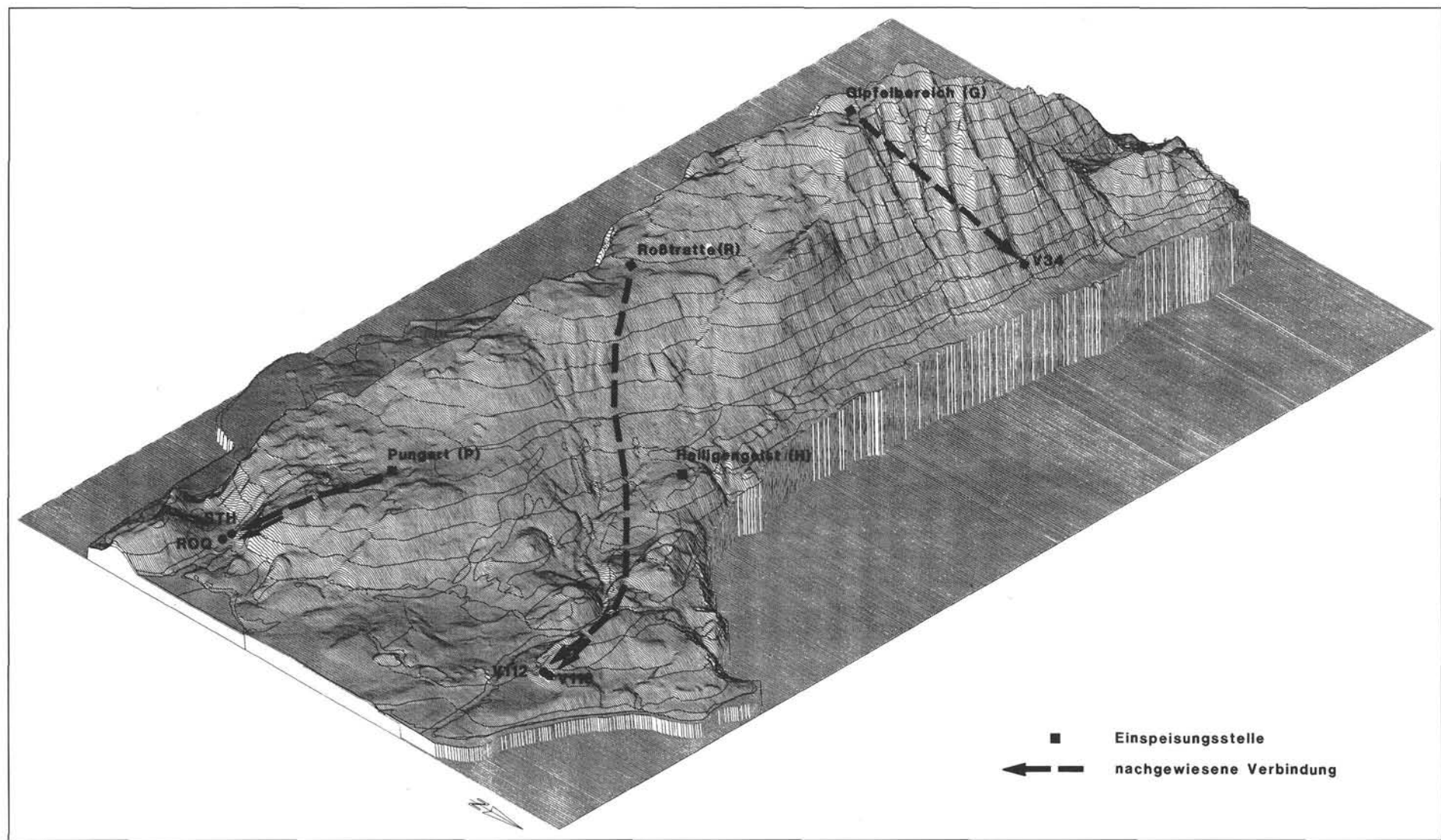


Abb. 5.
Topographisches Höhenmodell als Skizze mit Ergebnissen des kombinierten Tracerversuches an der Villacher Alpe im Jahre 1988.
Topographische Kartengrundlage: ÖK 25V Bl. Nr. 200 Arnoldstein; Höhenmodell: RDT M-11 Task: P3DVI EW, Viewing Direction From South-East; Ground Height: 400.000; Maxium Height: 2157.116;
Alpha: 30.00; Beta: 150.00; Height Scale: 1 : 15000; Visibility Exactness: 0.0100 cm; Left Bottom Corner: 21.250,00, 157.700; Right Top Corner: 38.350,00, 168.300,00; Scaling: 1 : 35.000;
Created on 15-Feb-1989.

allein für das orographische Einzugsgebiet viel zu gering ist und überdies von der Eingabestelle am Pungart keine Verbindung zu den großen Quellen im NE nachgewiesen werden konnte, ist anzunehmen, daß ein Großteil des dort infiltrierenden Wassers in große Tiefen gelangt und später als Thermalwasser in den warmen Quellen des Warmbader Bezirkes wieder zutage tritt.

Eine aufgrund der topographischen Lage erwartete Teilanreicherung der Quelle Mölttschach aus der Hochfläche des Pungart fand durch den Markierungsversuch keine Bestätigung. Vielmehr ist ihr Einzugsgebiet in den hier sehr mächtigen quartären Ablagerungen zu suchen. Dieses Ergebnis wird durch einige chemische Parameter der Quelle unterstützt, welche auf die landwirtschaftliche Nutzung der Flächen im Einzugsgebiet zurückzuführen sind.

Das aus den Langzeituntersuchungen bereits klar definierte Einzugsgebiet der Reßmannquelle in dem dort aufgeschlossenen Hauptdolomit ist auch durch den Markierungsversuch insofern bestätigt, als dort keiner der eingespeisten Tracer auftauchte.

3. Detailuntersuchungen an der Thomas- und Unionquelle

3.1. Berechnung der Speicherkapazität

Jedes Karstsystem ist durch eine ausgeprägte Heterogenität der Durchlässigkeit charakterisiert und ist als ein System von Blöcken und Kanälen zu verstehen. Ebenso verschieden sind die Inputbedingungen, wobei ein Teil des Niederschlages die großlumigen Öffnungen des Karstkörpers schnell erreicht, während ein anderer Teil länger im feinen Kluftnetz verbleibt. Die diesem Modell entsprechenden schnell und langsam fließenden Komponenten widerspiegeln sich in den physikalisch-chemischen Parametern am Quellaustritt. Zur Zeit der Schneeschmelze oder durch länger andauernde Niederschlagsereignisse kommt es im allgemeinen zu einer Verminderung der Ionenkonzentrationen durch die rasch fließenden Komponenten, während in Trockenperioden höher mineralisiertes Wasser aus den Blöcken angeliefert wird. Mit Beginn der Schneeschmelze tritt ein „Piston-Effekt“ auf, der sich in einer Zunahme der Ionenkonzentration äußert. Eine mögliche Erklärung dieses „Piston-Effektes“ ist das Ausfließen stärker mineralisierten älteren Wassers infolge des starken Anstieges des hydraulischen Druckes. Der Verlauf der Ganglinien des Calciums und des Magnesiums dokumentieren einen deutlichen Verdünnungseffekt des Quellwassers durch frisches Infiltrat, allerdings tritt diese Verdünnung mit einer Verzögerung gegenüber der Schüttungszunahme auf.

Eine vom direkt zu beobachtenden Abflußgeschehen unabhängige, begründbare Abtrennung des Basisabflusses vom Direktabfluß ist bei kombinierter Beobachtung des Abflußvorganges am Quellaustritt und geochemischen Analysen des Niederschlagswassers und des am Quellaustritt ausfließenden Wassers möglich. Voraussetzung dafür sind „Markierungsstoffe“, die nicht oder nur unwesentlich durch chemische Prozesse im Untergrund beeinflußt werden. Neben den stabilen Sauerstoff- und Wasserstoff-Isotopen kann auch das relativ stabile Kation Natrium für solche Berechnungen herangezogen werden. Aufgrund der schnellen Reaktion der Unionquelle auf die Schneeschmelze oder auf entsprechende Niederschlagsereignisse, kann auch die Magnesiumkonzentration für solche Berechnungen dienen, da durch den raschen Durchfluß wenig Zeit für Lösungsvorgänge bleibt und daher der Verdünnungseffekt ausgenützt werden kann.

Für die Ganglinie des Abflußereignisses an der Unionquelle können daraus zwei Massenbilanzgleichungen für den Abfluß und für die Konzentration der chemischen Parameter am Quellaustritt zur Zeit t formuliert werden:

$$Q_G = Q_1 + Q_2$$

und

$$Q_G \cdot C_G = Q_1 \cdot C_1 + Q_2 \cdot C_2$$

mit Q_G = Gesamtabfluß am Quellaustritt (l/s)

C_G = Gesamtkonzentration am Quellaustritt (mg/l)

Q_1 = Basisabfluß (l/s)

C_1 = Konzentration des Basisabflusses (mg/l)

Q_2 = Direktabfluß (l/s)

C_2 = Konzentration des Niederschlagswassers (mg/l)

Durch die Kombination beider Gleichungen ergibt sich

$$Q_2 = Q_G (C_G - C_1) / (C_2 - C_1)$$

Damit ist es möglich, durch Messung des Abflusses und der Konzentration des Niederschlages und des Abflusses am Quellaustritt, den Beitrag des Niederschlagswassers bzw. des Schneeschmelzwassers von den anderen Abflußkomponenten in der Abflußganglinie zu unterscheiden.

Die Berechnungen wurden mit dem Gehalt der beiden Kationen Natrium und Magnesium durchgeführt (PROBST et al., 1989). Die Ergebnisse aus der Natriumkonzentration (Abb. 6) zeigen am Beginn des Hydrogrammes einen Frischwasseranteil von rund 20 %, während das Schüttungsminimum nur mehr aus dem Basisabfluß bestritten wird. Dieselbe Auswertung mit dem Magnesiumgehalt ergibt geringere Frischwasseranteile, die bis zum Schüttungsminimum hin immer mehr abnehmen (Abb. 7). Der Grund für diesen Unterschied könnte in der unterschiedlichen Lösungsfähigkeit dieser Mineralbestandteile liegen, allenfalls sind auch gewisse Meßgenauigkeitsgrenzen zu berücksichtigen.

Beide Ionen zeigen hingegen konform einen Anstieg des Basisabflusses gleichzeitig mit der Zunahme des Direktabflusses am Beginn der Schneeschmelze – ein Hinweis, daß mit steigender Schüttung zuerst ein älteres, hochmineralisiertes Wasser herausgedrückt wird. Danach nimmt der Anteil am Direktabfluß rasch zu und erreicht bei der Berechnung mit Hilfe der Magnesiumkonzentration knapp 50 % des Gesamtabflusses, während sich mittels Natriumkonzentration nahezu 70 % im Schüttungsmaximum ergeben. Der Anteil des Basisabflusses zu dieser Zeit (etwa 30 %) ist immer noch relativ hoch – ein weiterer Hinweis auf eine entsprechende Speicherkapazität der Quelle.

Die Union- und Thomasquelle wurden auch in Hinsicht auf eine Abflußbilanz und auf ihr Speichervermögen untersucht. Die Berechnungen erfolgten über die MAILLET'sche Funktion, die ausgehend von der Trockenwetterlinie eine Klassifizierung des Speichervermögens über den Auslaufkoeffizienten zuläßt. Die Berechnungen erfolgen über die Funktion

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{t \times \log e}$$

Bei seiner Kenntnis ist die zu einem bestimmten Zeitpunkt im Quelleinzugsgebiet noch abflußfähige Grundwassermenge annähernd nach folgender Beziehung zu errechnen:

$$M_1 = Q_t / \alpha (m^3)$$

$$M_2 = Q_0 / \alpha (m^3)$$

Q_t = Schüttung nach t (Tagen), die seit der Messung von

Q_0 = maximaler Schüttung zur Zeit (t_0) verstrichen ist

e = Basis des Lg. naturalis (2,718)

α = Auslaufkoeffizient

M_1 = Speichervolumen zur Zeit t_0

M_2 = Speichervolumen zur Zeit t

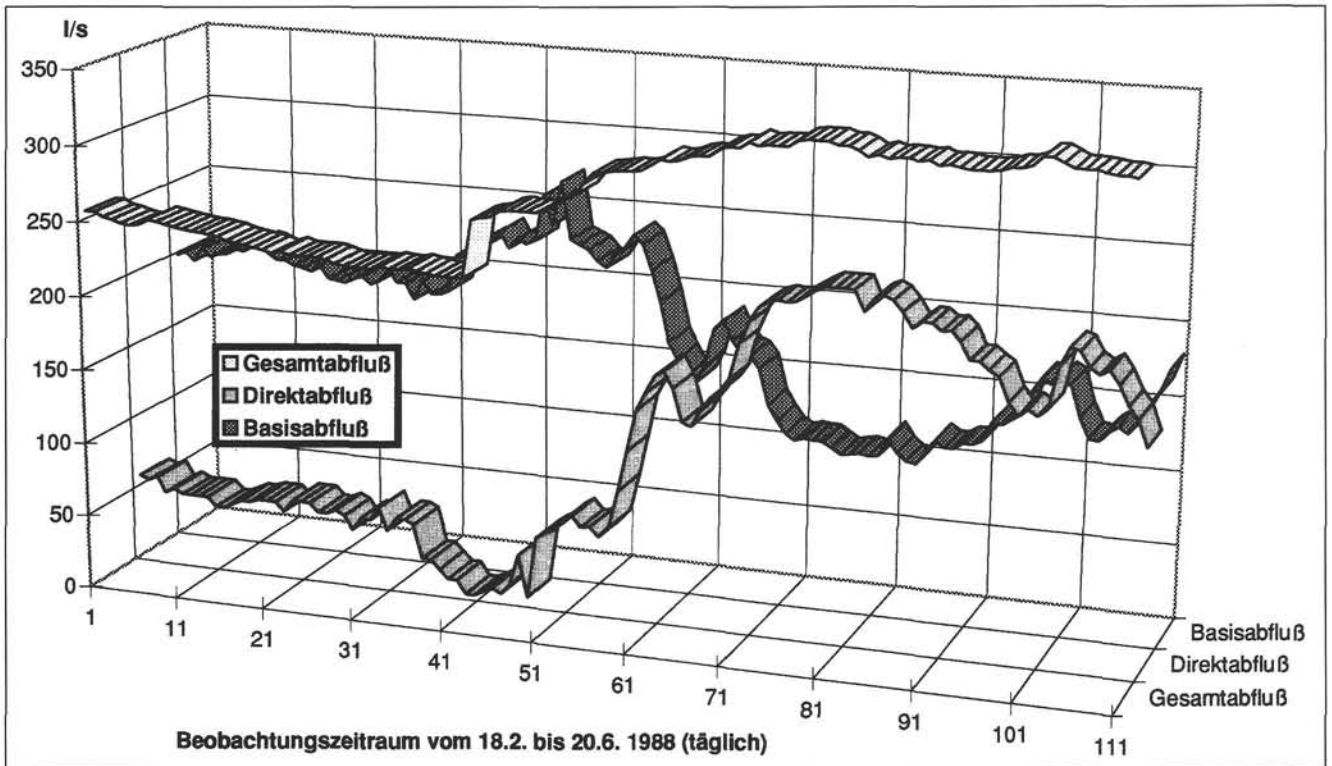


Abb. 6. Abflußseparation bei der Unionquelle während einer Schneeschmelzperiode (Frühjahr 1988) berechnet aus der Natriumkonzentration des Quellwassers.

Daraus ergibt sich für die Unionquelle ein α -Wert von $0,7 \cdot 10^{-3}$ und eine diesem Auslaufkoeffizienten entsprechende Speicherkapazität von ca. 50 Mio m^3 . Da für die Thomasquelle annähernd 60 % der Schüttung der Unionquelle angenommen werden kann, ergibt sich eine gesamte

Speichermenge von ca. 80 Mio m^3 Wasser für diese beiden Quellen. Aufgrund der geologischen Kartierung und der Ergebnisse aus dem Markierungsversuch konnte eine Abgrenzung zweier möglicher Speicherräume getroffen werden. Daraus läßt sich ein Speichervolumen von 2,81 km^3

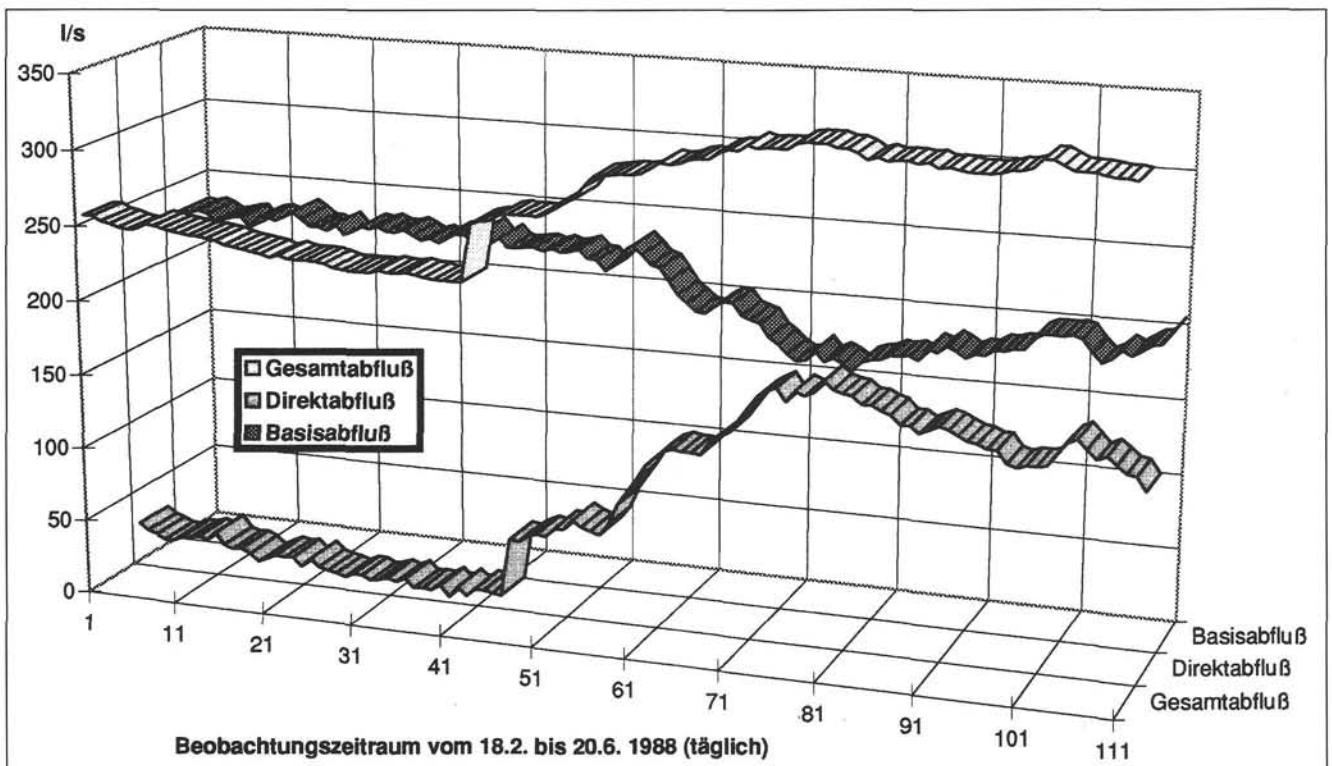


Abb. 7. Abflußseparation bei der Unionquelle während einer Schneeschmelzperiode (Frühjahr 1988) berechnet aus der Magnesiumkonzentration des Quellwassers.

und ein weiteres von 3,55 km³ errechnen. Für diese beiden Speichergößen ergeben sich bei der Annahme, daß die Wassermenge des Reservoirs für die Wasserversorgung Villach 80 Mio. m³ umfaßt, folgende Klufftanteile (K):

$$K1 = 100/2,81 \cdot 0,08 = 2,85 \%$$

$$K2 = 100/3,55 \cdot 0,08 = 2,26 \%$$

Dieser Klufftanteil erscheint realistisch, stellt aber nur den wasserdurchflossenen Teil dar. Es ist anzunehmen, daß auch an Kleinklüfte gebundenes Wasser vorhanden ist, welches langsamer von der Niederschlagsinputstelle in das Karstwasser übergeht (PROBST et al., 1989).

3.2. Bewertung der Gefährdungspotentiale

Die großen für die Trinkwasserversorgung genutzten Quellen an der Villacher Alpe, aber auch beigemengte Kaltwasseranteile von Warmbad Villach, entstammen dem Karstsystem der Villacher Alpe. Da sich unterirdische Karsteinzugsgebiete nicht auf orographische Einzugsgebiete übertragen lassen, muß bei einer Bewertung von Flächen mit unterschiedlichem Kontaminationsrisiko auf geologische und tektonische Gegebenheiten Rücksicht genommen werden.

Für die größten Quellen des Gebietes (Union- und Thomasquelle) bedeutet deren große Wasserführung, daß sie ein ausgedehntes Einzugsgebiet haben müssen, welches nach den Ergebnissen des Markierungsversuches zumindest bis zur Roßtratte reichen muß.

Flächen mit einem hohen Kontaminationsrisiko für diese Quellen liegen im Wettersteinkalk, welcher im Untersuchungsgebiet als Hauptträger der Verkarstung angesehen werden kann und in welchem das versickernde Niederschlagswasser sehr rasch entlang von Klüften und Spalten den Karstaquifer erreichen kann. Innerhalb der Wettersteinkalkvorkommen müssen der Bereich der Roßtratte und das Waagtal als mit besonders hohem Kontaminationsrisiko behaftete Flächen angesehen werden, da einerseits von der Roßtratte eine gute und rasche Karstverbindung zur Union- und Thomasquelle nachgewiesen ist und andererseits die Ausbildung dieser weitreichenden Karstverbindung mit der Lage und Streichrichtung der Waagtalstörung in Zusammenhang stehen dürfte (Abb. 8).

Das Kontaminationsrisiko ist für den Karstaquifer im Raum Heiligengeist geringer einzuschätzen als in den oben besprochenen Gebieten. Die Gründe dafür sind in der Überlagerung des Wettersteinkalkes bzw. -dolomites mit Quartärsedimenten zu finden.

In den wasserungesättigten Quartärsedimenten ist eine langsamere Sickergeschwindigkeit zu erwarten als in den verkarsteten Wettersteinkalken und es ist überdies damit zu rechnen, daß innerhalb der Quartärbedeckung Schichten auftreten, die die Sickerbewegung zu hemmen imstande sind. Es wären dies schluffreiche Grundmoränen, welche östlich des Schießplatzes in Aufschlüssen nachzuweisen sind, aber auch die an mehreren Stellen aufgeschlossenen glazialen Bänderschluße.

Obwohl räumlich der Union- und Thomasquelle nahe, geht von der Hauptdolomitmulde östlich von Heiligengeist keine Gefahr für die erwähnten Quellen aus. Der Hauptdolomit neigt weniger zur Verkarstung und entwässert gegen Osten. Der westliche Teil der Hauptdolomitmulde, begrenzt durch die Ausbißlinien der Raibler Schichten, wird hier vom Fellbach oberflächlich entwässert. Die östlichen Anteile entwässern gegen E, was sich im Chemismus der Reßmannquelle (V 131) deutlich ausdrückt.

Das Einzugsgebiet der Nötschbachquelle reicht bis zum Gipfelbereich der Villacher Alpe. Dies ergaben sowohl der Markierungsversuch als auch die Isotopenuntersuchung. Der gesamte Bereich wird hier aus Wettersteinkalken aufgebaut.

Da wegen der Verkarstung des Wettersteinkalkes versickernde Schadstoffe die Nötschbachquelle sehr rasch erreichen können, ist der gesamte Gipfel- und Hangbereich zur Quelle mit einem sehr hohen Kontaminationsrisiko behaftet. Da überdies eine Abgrenzung des unterirdischen Einzugsgebietes der Nötschbachquelle von dem der Union- und Thomasquelle nicht möglich ist, muß der gesamte Gipfel und Hangbereich gegen das Bleiberger Tal zwischen Tor (1140 m) im W und Kaserin (1400 m) im E als das Einzugsgebiet der genannten Quellen in Betracht gezogen werden.

Die stark verkarstete Hochfläche des Pungart liegt bereits außerhalb des Einzugsgebietes der Union- und Thomasquelle. Dieser Raum entwässert gegen E und reichert im Raum Warmbad Villach als Kaltwasserkomponente das aufsteigende Warmwasser an und muß daher als besonders sensibler Bereich für die Erhaltung der Wasserqualität von Warmbad Villach angesehen werden (PROBST et al., 1989).

4. Schlußfolgerungen

Die Villacher Alpe ist ein Bergstock, dessen Verkarstung durch massige karbonatische Ablagerungen begünstigt ist. Der aus geologisch-tektonischer Sicht komplizierte Bau der Villacher Alpe mit der Abtreppung gegen Osten hin bedingt ein differenziertes Entwässerungssystem, das zum einen durch das Auftreten großer Karstquellen im Nordosten und zum anderen durch thermale Wasseraustritte im Bereich Warmbad Villach dokumentiert ist.

Eine synoptische Betrachtung der mit unterschiedlichen hydrogeologischen Methoden durchgeführten Untersuchungen an der Villacher Alpe zeigt Ergebnisse und Erkenntnisse, die im Hinblick auf eine längerfristig gesicherte Nutzung von Wässern für die Trinkwasserversorgung und die Trinkwasserversorgung sowie die balneologische Nutzung des thermalen Wassers von Warmbad Villach von großer Bedeutung sind. So war es möglich Einzugsgebiete von Quellen zu differenzieren und abzugrenzen, Bereiche als besondere Gefahrenpotentiale für das Trinkwasser auszuweisen und somit Grundlagen für die Ausweisung von Schutz- und Schongebieten zu schaffen.

Generell muß in Anbetracht der Tatsache, daß die Villacher Alpe ein Trinkwasserreservoir darstellt, davon ausgegangen werden, daß jegliche Erweiterung von touristischen Einrichtungen und Nutzungen zu einer weiteren Belastung und dadurch zu einer Erhöhung des Gefahrenpotentials der Region führt.

Dank

Die vorliegenden Untersuchungen entstammen dem Forschungsprogramm „Karstwasserreserven der Villacher Alpe“, das im Rahmen der Bund-Bundesländer-Kooperation ausgearbeitet wurde. Die Autoren sind diesbezüglich Herrn Dr. U. HERZOG für die weitsichtige Koordination dankbar.

Für die örtliche Unterstützung, vor allem im Zuge des Tracerversuches, danken wir dem Wasserwerk Villach (Dir. Ing. H. STERNIG). Unser Kollege Dr. P. RAMSPACHER unterstützte die Arbeiten im Gelände. Die Sauerstoff-18-Werte stammen vom Labor des GSF-Institutes für Hydrologie München. Herrn Dipl.-Phys. W. STICHLER danken wir für die fachliche Betreuung.

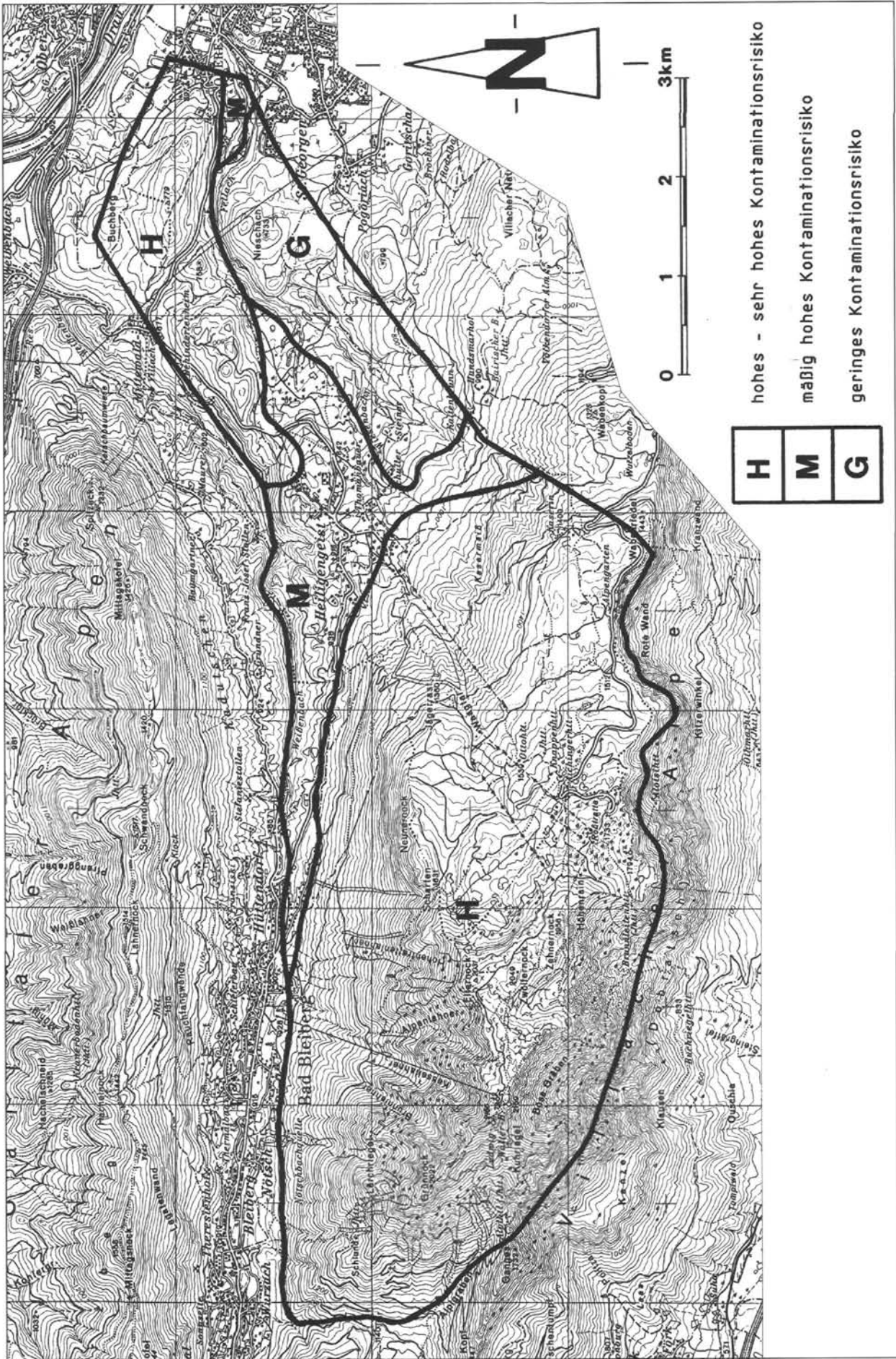


Abb. 8. Darstellung des Kontaminationsrisikos für die Karstwässer im Einzugsgebiet der Union- und Thomasquelle sowie der Nötschbachquelle.

Literatur

- ANDERLE, N. 1977: Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50.000, Blatt 200 Arnoldstein. – Wien (Geol. B.-A.).
- BRANDT, H. (1981): Gefahrenzonenkartierung Dobratsch. Teil II. Die Bergstürze an der Villacher Alpe (Dobratsch), Kärnten. Untersuchungen zur Ursache und Mechanik der Bergstürze. – Unveröff. Diplomarbeit, 103 S., 1 geol. Karte 1 : 25.000, Hamburg.
- COLINS E. & W. NACHTMANN 1974: Die permotriadische Schichtfolge der Villacher Alpe (Dobratsch), Kärnten. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 46/2, S. 1–43, Innsbruck.
- NEUBAUER E.A.K. & G. SCHEFZIK 1989: Karstkartierung Villacher Alpe 1988. – Unveröff. Ber., 54 S., Forschungsges. Joanneum, Graz.
- PROBST, G. & H. ZOJER, 1988: Karstwasserreserven der Villacher Alpe, KA-24B/Teil II. – Unveröff. Endbericht, 49 S., Anhang, Graz.
- PROBST, G., W. POLTNIK, E.A.K. NEUBAUER, G. SCHEFZIK & H. ZOJER, 1989: Karstwasserreserven der Villacher Alpe, KA-24B/Teil III. – Unveröff. Endbericht, 59 S., Anhang, Graz.
- REMY, E., 1971: Thermalquellen Warmbad Villach, Meßergebnisse 1970. – Unveröff. Bericht, Klagenfurt.
- STINY, J. 1937: Zur Geologie der Umgebung von Warmbad Villach. – Jb. Geol. B.-A., **87**, 57–110, 1 geol. Karte, Wien.
- STREHL, E. 1978: Zur Geologie der Südseite des Dobratsch (Villacher Alpe), Kärnten. – Carinthia II, **88** (168), 135–142, 4 Abb., Klagenfurt.
- ZOJER, H. 1980: Beitrag zur Kenntnis der Thermalwässer von Warmbad Villach. – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **32**, 153–170, Graz.
- ZOJER, H., LEDITZKY, H., RAMSPACHER, P. & RIEPLER, F., 1983: Hydrogeologische Untersuchungen im Rahmen des Projektes "Ermittlung des Naturraumpotentials ausgewählter Landschaften: Unteres Gailtal/Kärnten" (KC 11). Unveröff. Bericht, 74 S., Anhang, Graz.
- ZOJER, H. & H. HAIDER, 1986: Karstwasserreserven der Villacher Alpe, KA-24B/Teil I. – Unveröff. Endbericht, 71 S., Graz.

Manuskript eingegangen am: 9. 9. 1993 ●

Revidierte Version eingegangen am: 12. 4. 1995 ●

Manuskript akzeptiert am: 27. 6. 1995 ●