

Einflüsse von CO₂-Exhalationen aus dem Bereich der Periadriatischen Naht auf Karstwässer des Hochobirmassivs (Karawanken, Kärnten)

*Influence of CO₂-exhalations from the Periadriatic Lineament on the karstic waters
of the Hochobir-massif (Karawanks, Carinthia)*

W. POLTNIG & E. STROBL¹⁾

Inhalt

	Seite
1. Einleitung	145
2. Geologischer Überblick	146
3. Hydrogeologischer Überblick	148
4. Die Quellvorkommen an der Periadriatischen Naht	149
5. Hydrochemische Beeinflussung der Quellwässer des Hochobirmassivs durch die Nahelage zur Periadriatischen Naht	149
5.1. Spurenelemente und radioaktive Elemente	151
5.2. Umweltisotope	152
5.2.1. Untersuchungen des ¹⁸ O-Gehaltes	152
5.2.2. Untersuchungen des Tritiumgehaltes	153
5.2.3. Untersuchungen des ¹³ C-Gehaltes	154
6. Schlußfolgerungen	156
Zusammenfassung	157
Literatur	157
Summary	158

1. Einleitung

Im Zuge regionaler hydrogeologischer Studien über Entwässerungsmechanismen in den Karawanken wurden zahlreiche Quellen im Bereich des Hochobirmassivs untersucht (W. POLTNIG & E. STROBL, 1994). Das Hochobirmassiv besteht aus einer triasischen Schichtfolge, welche große Anteile von verkarsteten Wettersteinkalken aufweist. Die größten konzentrierten Quellaustritte liegen im Vellachtal (Fig. 1) und weisen eine Gesamtschüttung von etwa 350 l/s auf. Zum Zwecke der Eignungsbeurteilung

¹⁾ Dr. W. POLTNIG & Mag. Dr. E. STROBL, Institut für Hydrogeologie und Geothermie, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Elisabethstraße 16/II, A-8010 Graz.

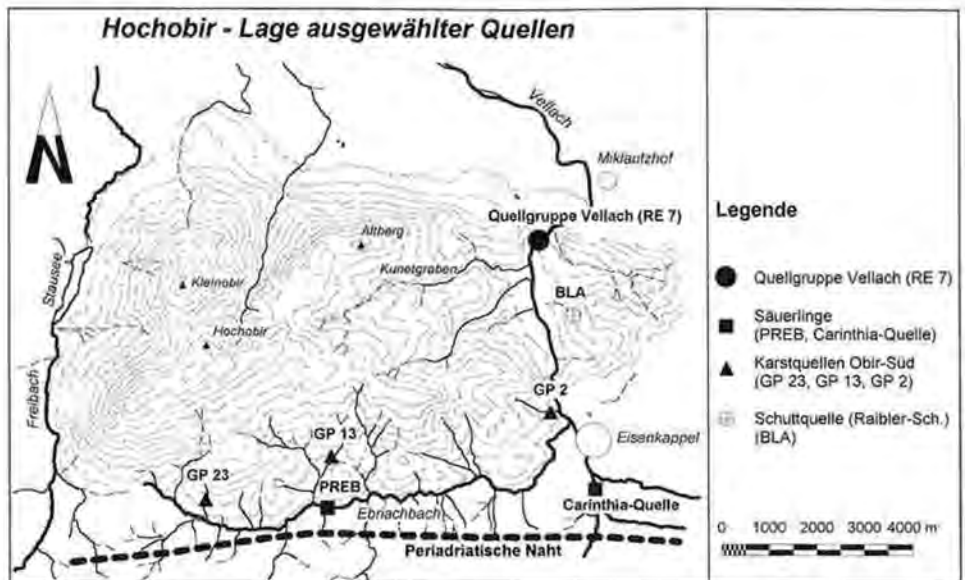


Fig. 1: Lage ausgewählter Quellen im Hochobirgebiet.
Observation network – selected sampling points in the Hochobir-massif.

für eine Trinkwassernutzung dieser Quellen sollte die Herkunft dieser Wässer untersucht werden. Im Zuge dieser Untersuchungen zeigte es sich, daß die für Karstwässer untypisch hohe Karbonathärte dieser Quellaustritte an der Vellach einen CO_2 -Eintrag in das Karstsystem erfordert, der über den durch versickernde Niederschläge erfolgenden CO_2 -Eintrag hinausgeht. Durch vergleichende hydrochemische und isotopehydrologische Untersuchungen wurde der Klärung der CO_2 -Zufuhr besonderes Augenmerk geschenkt.

2. Geologischer Überblick

Das Hochobirmassiv ist Teil des Oststammes der Karawankennordkette und weist mit dem Hochobirgipfel (2139 m) die höchste Erhebung der Ostkarawanken auf. Die verwendeten Ortsbezeichnungen sind der ÖK 1 : 50 000 (BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN, 1982, 1991, 1992) zu entnehmen. Dem Hochobir sind im N der Kleinobir und der Minichoutz–Altbergzug vorgelagert. Das sich aus dem Vorland der Karawanken mit steilen Nordflanken erhebende Massiv wird durch zwei markante N-S-Täler – Freibachtal im W und Vellachtal im E – begrenzt. Im S trennt das E-W-verlaufende Ebnachtal das Hochobirmassiv von der Karawankensüdkette. Markante Steilabfälle und Felswände prägen den Nord- und Westteil des Massivs, während gegen E und SE sanftere morphologische Geländeformen vorherrschen.

Der geologische Aufbau des Untersuchungsgebietes wird von vorwiegend W-E-streichenden Gesteinseinheiten geprägt. Von S gegen N herrscht folgender genereller Gebirgsbau vor: Die Periadriatische Naht, welche als große geologische Störungszone die Nordkarawanken von den südalpinen Gesteinseinheiten trennt, verläuft südlich des

Ebriachtales in W-E-Richtung. Unmittelbar anschließend findet sich der langgestreckte, schmale und steil stehende Granitzug von Eisenkappel mit kristallinen Hüllschiefern. Dem Granit vorgelagert folgen steil gegen S einfallende paläozoische Gesteine, die den Südfuß des Hochobirmassivs aufbauen und auf die nördlich anschließende Triasfolge aufgeschoben sind. Es handelt sich hierbei im wesentlichen um Tonschiefer, basische Tuffite und Diabase (Fig. 2).

Die Triasfolge des Hochobirgebietes beginnt im S mit tektonisch ausgedünnten Resten von Permoskythsandsteinen, Werfener Schichten und anisichen Gesteinen mit steilem Südeinfallen. Den Großteil des geologischen Aufbaues machen jedoch Wettersteinkalk und Wettersteindolomit aus, welcher von Raibler Schichten und Hauptdolomit überlagert wird. Der Wettersteinkalk liegt im W als große Antiklinalstruktur vor, der Scheitelpunkt liegt zwischen Hochobir und Kleinobir. Der Kleinobir fällt demnach gegen N ein, der Hochobir gegen S, wobei der südlich anschließende Kuhberg an seinem Südrand gegen N überfaltet ist. Die Wettersteinkalkstruktur sinkt gegen E allmählich ab, sodaß im zentralen Anteil die jüngere Bedeckung von Raibler Schichten und Hauptdolomit große Flächen einnimmt.

An der Nordseite des Gebirges finden sich am Fuß des Kleinobirs, Altberges, Sittersdorfer Berges und Jegartkogels Gesteine des Rhät, Jura und der Unterkreide, die vom Wettersteinkalk und am Jegartkogel von Hauptdolomit überschoben sind. Diese nach J. STINI (1938) benannte „Sockeldecke“ dürfte der Rest von größeren Gleitschollen sein, die beim Nordschub der Karawanken abgeglitten sind und von den Wettersteinkalken überfahren wurde. Die Überschiebungsbahn auf die Gesteine der „Sockeldecke“ fällt von W nach E bis zur Vellach ab und steigt gegen E zum Jegartkogel wieder um an.

Nördlich der „Sockeldecke“ finden sich noch einige Triasgleitschollen, die in tertiäre Sedimente eingebettet sind. Das Tertiär des Vorlandes ist im W aufgeschlossen, am

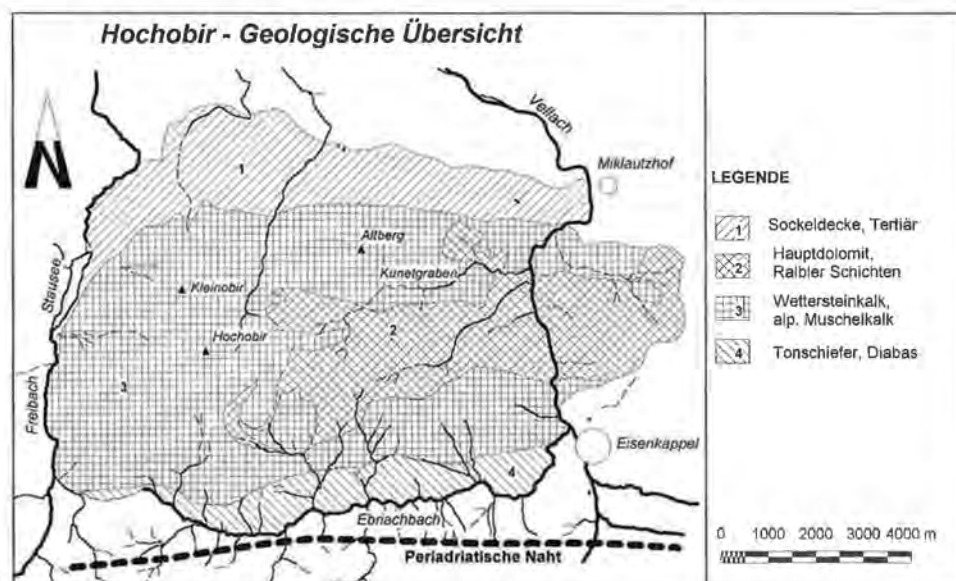


Fig. 2: Geologische Übersicht über das Hochobirgebiet.
Hochobir-massif - simplified geological overview.

unmittelbaren Karawankennordfuß jedoch von Hangschuttmassen und glazialen Sedimenten bedeckt. Hier wurde es im Zuge einer Tiefbohrung an der Vellach (Drabunashach) mit einer Mächtigkeit von mehreren hundert Metern im Untergrund nachgewiesen (M. VINZENZ, 1988).

Glaziale Sedimente haben im Arbeitsgebiet ihre Hauptverbreitung im Vorland. Innerhalb des Untersuchungsgebietes treten mächtigere Glazialablagerungen nur im Vellachtal zwischen Eisenkappel und Rechberg auf.

3. Hydrogeologischer Überblick

Die Entwässerung des Hochobirgebietes wird maßgeblich vom geologischen Bau geprägt (Fig. 2).

Die südlichen und südwestlichen Anteile entwässern gegen S Richtung Ebriachtal. Für die unterirdische Entwässerung stellen die den Südfuß aufbauenden Diabase, basischen Tuffite und Tonschiefer den Wasserstauer dar. An die Grenze zu den überlagernden Triasgesteinen sind zahlreiche Quellaustritte gebunden. Im SE treten lokale Entwässerungssysteme auf, die an anisische und ladinische Dolomite gebunden sind. Aufgrund der Höhenlage des Stauers (Grenze von paläozoischen Grüngesteinen zu Triasgesteinen auf etwa 900–1000 m Seehöhe) konnte sich hier nur eine seichte Verkarstung ausbilden. Die gegen S abfließende unterirdische Wassermenge entspricht etwa 50 % des gesamten Karstwasserabflusses des Hochobirmassivs.

Der nordwestliche Teil des Hochobirmassivs (Bereich Kleinobir) entwässert über den Wildensteinerbach nach N (ca. 5 % des Gesamtabflusses), wobei die von der Trias überschobenen Jura- und Unterkreidegesteine den Wasserstauer und somit die Karstbasis bilden.

Die Hauptentwässerung des Hochobirmassivs erfolgt nach E zum Vorfluter Vellach, wo auf engem Raum im Bereich der ehemaligen Papierfabrik Rechberg zahlreiche große Quellen konzentriert sind. Hier durchbricht die Vellach die als weitgehend dicht anzusehenden Schichten der „Sockeldecke“, sodaß dieser Bereich auch zugleich die tiefste mögliche Vorflut für die Karstwässer des Hochobirmassivs darstellt. Sowohl westlich der Vellach (Rechberg bis Freibach) als auch im E (Sittersdorfer Berg bis Jergartkogel) ist ein Ausfließen von Karstwässern des Hochobirmassivs gegen das Karawankenvorland wegen der hochgelegenen Gesteine der „Sockeldecke“ nicht möglich. Die Gesteine der „Sockeldecke“ sind ihrerseits wiederum auf das Tertiär des Karawankenvorlandes aufgeschoben, welches aus Konglomeraten und Schiefertönen des Jungtertiärs aufgebaut wird. Aufgrund von bekannten Aufschlüssen im Tertiär des Karawankenvorlandes und der großen Überlagerung im Bereich der Überschiebung (P. STEINHAUSER et al., 1980, M. VINZENZ, 1988) ist mit geringen Porositäten und daher auch schlechten Wasserwegigkeiten in diesen Gesteinen zu rechnen.

Das gesamte Gebiet östlich des Hochobirgipfels bis zum Vellachtal weist keine nennenswerte Oberflächenwasserführung auf. Der Kunetgraben ist in seinem Unterlauf infolge der Versickerung seines Baches in den Wettersteinkalk die meiste Zeit trocken, der südlich gelegene Zauchengraben verliert sein Wasser ebenfalls vor Erreichen des Vellachtales.

Im Gegensatz zur Südseite des Hochobirmassivs ist durch die tiefe Lage des Vorfluters Vellach eine tieferreichendere Verkarstung ermöglicht worden, die unter das heutige Vellachniveau reicht. Dies zeigen die Untersuchungen an den Quellaustritten an

der Vellach. Die hier auf etwa 500 m Seehöhe austretenden Karstwässer weisen erhöhte Wassertemperaturen zwischen 10 und 11,7° C auf (Tiefenzirkulation), wobei das jahreszeitliche Schwankungsverhalten der Wassertemperaturen der einzelnen Quellaustritte äußerst gering ist.

Ein anlässlich eines Markierungsversuches in den Kunitgraben westlich der Vellach eingebrachter Fluoreszenztracer konnte in Spuren nach 30 Tagen sowohl an den Quellaustritten westlich aber auch östlich der Vellach nachgewiesen werden (R. BENISCHKE & W. POLTNIK, 1993). Dies zeigt ebenfalls, daß die Karstentwässerung des Hochobirmassivs in diesem Bereich unter das heutige Talniveau reicht.

4. Die Quellvorkommen an der Periadriatischen Naht

Im Bereich von Eisenkappel sind zahlreiche Sauerlinge und CO₂-Gasaustritte bekannt, die im Zusammenhang mit der hier durchstreichenden Periadriatischen Naht stehen. Die Periadriatische Naht ist eine bedeutende, tiefreichende Störungszone, welche den Südstamm der Karawanken vom Nordstamm trennt. In dieser Störungszone treten tektonisch ausgedünnte Lamellen von Intrusiva (Granit, Tonalit) auf, die zum Teil in Kontakt mit paläozoischen Diabasen und Tonschiefern stehen.

Die bekanntesten Quellen sind die Carinthia-Quellen in Eisenkappel, die Paulitsch-Quelle im Vellachtal südlich von Eisenkappel, der ehemalige Versandsauerling in Ebriach, die Kohlsäuerlinge von Bad Vellach, die Muri-Quellen im südlichen Vellachtal sowie die CO₂-Gas-Mofette an der Seeberg-Bundesstraße (F. KAHLER, 1978).

Allen diesen Quellen sind hohe Gehalte an freier Kohlensäure eigen. Die hohe Mineralisierung der einzelnen Quellen ist nicht auf den Aufstieg hochmineralisierter flüchtiger Phasen zurückzuführen. Die Mineralisierung erfolgt im Kontaktbereich des Grundwassers mit den aufsteigenden CO₂-Gasen, wobei das unmittelbare Wirtsgestein bzw. dessen Mineralphasen gelöst werden. Daher sind die Quellwassertemperaturen mit 7–8,5° C durchwegs niedrig und zeigen keinerlei Hinweise auf tiefreichendere Wasserzirkulation. In Bereichen, wo kein Grundwasser zur Verfügung steht, können reine CO₂-Gasaustritte vorliegen (Gasmofette Seeberg-Bundesstraße).

Die chemischen Unterschiede bei den oben genannten Quellen zeigen sich bei durchwegs hohen Natriumgehalten (Zersetzung Na-reicher Feldspäte) vor allem im Chloridgehalt, welcher bei Kontakt der Quellwässer mit basischen Gesteinen gegenüber denen mit Graniten deutlich zunimmt. Erhöhte Eisengehalte sind auf Ankeritvorkommen bzw. paläozoische Schiefer im Bereich der Austritte zurückzuführen. Die hochmineralisierten Quellvorkommen im Raum Bad Vellach sind offenbar an eine von der Periadriatischen Naht gegen SW abzweigende, gaswegige Störungszone gebunden, die auch auf slowenischem Staatsgebiet südwestlich des Seebergsattels ihre Fortsetzung findet, da auch dort hochmineralisierte Quellen mit hohen freien CO₂-Gehalten nachgewiesen sind.

5. Hydrochemische Beeinflussung der Quellwässer des Hochobirmassivs durch die Nahelage zur Periadriatischen Naht

Im Hochobir lassen sich die Quellen an der Südseite des Hochobirmassivs von denen an der Vellach hinsichtlich ihres Chemismus deutlich unterscheiden.

Die Quellaustritte im S des Hochobir (Ca-Mg-HCO₃-Wässer) haben einen unauffälligen Chemismus, wobei Gesamtmineralisierung und Ionenzusammensetzung je nach lithologischem Einzugsgebiet (Kalk- und Dolomitverteilung) variieren (Tab. 1). Die Mineralisierung dieser Quellen kann durch das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht, das sich aufgrund des CO₂-Dargebotes in der Bodenluft im Wasser einstellt, erklärt werden. Das Einzugsgebiet dieser Quellen liegt überwiegend in den Wettersteinkalken und -dolomiten der Hochobirsüdabdachung. Die elektrische Leitfähigkeit dieser Quellen liegt zwischen 250 und 340 µS/cm (komp. 25° C), die Karbonathärte zwischen 7° und 12° dH.

Deutlich höhere Mineralisierung weisen hingegen die Quellen an der Vellach auf. Auch hier handelt es sich um Ca-Mg-HCO₃-Wässer, deren elektrische Leitfähigkeit liegt jedoch zwischen 500 und 640 µS/cm (komp. 25° C), deren Karbonathärte zwischen 15° und 20° dH. Diese deutlich höhere Karbonathärte kann nur durch einen höheren Eintrag von CO₂ bedingt sein. Da sich jedoch die Lithologie und Höhenlage der Einzugsgebiete der Quellgruppe Vellach (Hochobir-Ostseite) und der obengenannten Quellen (Hochobir-Südseite) nicht wesentlich unterscheidet, wäre ein vergleichbarer CO₂-Eintrag aus dem Niederschlag und der Bodenluft in das Karstsystem zu erwarten. Die Berechnung der thermodynamischen Gleichgewichte aus Serienanalysen zeigt für die Quellgruppe Vellach hingegen deutlich erhöhte CO₂-Partialdrucke (Fig. 5). Innerhalb der Quellgruppe Vellach zeigen die rechtsufrig der Vellach austretenden Quellen (RE 7) die höchste Mineralisierung (Tab. 1) und CO₂-Partialdruck.

Tab. 1: Analyseergebnisse ausgewählter Quellwässer im Bereich des Hochobirmassivs (n. a. = nicht analysiert; Hauptionen: Angabe in Mittelwerten).

Analyses of selected springwater from the Hochobir-massif (n. a. = not analysed; major ions: datas in mean values).

Meßstelle	Entnahmedatum	B [mg/l]	F [mg/l]	Ni ²⁺ [mg/l]	Zn ²⁺ [mg/l]	Mn ²⁺ [mg/l]	Ba ²⁺ [mg/l]	Li ⁺ [mg/l]	Sr ²⁺ [mg/l]	Rn-222 [Bq/l]
BLA	28-02-1994	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	2,30	1198	n. a.
GP 13	20-12-1993	<0,02	0,230	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	0,54	162	n. a.
GP 2	20-12-1993	<0,02	0,090	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	0,59	100	n. a.
GP 2	19-04-1994	<0,02	0,080	<0,001	0,020	<0,003	49,2	2,90	100	6,5
GP23	20-12-1993	<0,02	0,060	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	0,68	32	n. a.
GP23	19-04-1994	<0,02	0,030	<0,001	<0,010	<0,003	70,1	1,00	33	2,5
PREB	20-01-1994	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	233,00	591	n. a.
PREB	19-04-1994	0,830	0,280	0,040	0,060	0,164	66,7	460,00	816	23,2
RE7	20-12-1993	0,040	0,340	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	6,20	845	n. a.
RE7	19-04-1994	0,040	0,280	<0,001	0,010	<0,003	28,5	11,40	830	10,8
RE7	20-07-1994	0,030	0,260	0,004	0,020	<0,003	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
Meßstelle	Anzahl Analysen	Na ⁺ [mg/l]		K ⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]
BLA	4	1,3	2,9	24,5	88,8	366,8	1,0	6,1	17,2	
GP 13	7	0,3	0,4	15,7	50,0	214,4	0,0	1,8	8,8	
GP 2	8	0,3	0,4	20,9	53,4	250,1	0,0	1,2	9,6	
GP 23	7	0,2	0,3	10,2	40,3	161,0	0,0	1,7	6,8	
PREB	2	262,0	5,4	61,4	167,0	1467,0	10,7	4,2	22,3	
RE 7	14	1,8	1,1	27,0	96,3	390,5	1,3	1,6	29,4	

Aufgrund der bekannten CO_2 -Austritte im Bereich der Periadriatischen Naht erscheint eine CO_2 -Zufuhr in das tieferliegende Karstsystem des Hochobirmassivs möglich. Zur Klärung dieser Frage wurden weiterführende hydrochemische Vergleichsuntersuchungen (Spurenelemente, radioaktive Elemente und Umweltisotope) durchgeführt. Beprobte wurden ausgewählte Quellen im Hochobirmassiv bzw. im Quellbereich Vellach und ein zugänglicher Austritt im Bereich des bekannten Versandsäuerlings in Ebriach (PREB). Von diesem Austritt ist bekannt, daß er durch im Granit an der Periadriatischen Naht aufsteigende CO_2 -Gase beeinflusst ist. Hydrochemisch unterscheidet sich der Quellaustritt PREB deutlich von allen anderen Wässern des Hochobirmassivs (Tab. 1). Es handelt sich hier um ein Na-Ca- HCO_3 -Wasser mit hoher elektrischer Leitfähigkeit (1625 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und großer Karbonathärte (36,3° dH). Aufgrund der aus der Literatur bekannten Analysen der Säuerlinge in diesem Gebiet (F. KAHLER, 1978, J. G. ZÖTL & J. E. GOLDBRUNNER, 1993) wurden Spurenelemente und radioaktive Elemente für die vergleichende Analytik ausgewählt, die für die Säuerlinge im Bereich der Periadriatischen Naht charakteristisch sind (Tab. 1). Für die Differenzierung der Herkunft der CO_2 -Spezies wurden ^{13}C -Bestimmungen des Hydrogenkarbonats durchgeführt.

5.1. Spurenelemente und radioaktive Elemente

Die Quelle PREB, welche unmittelbar am Südrand des Untersuchungsgebietes gelegen ist, weist nach älteren Untersuchungen (F. KAHLER, 1978) eine eindeutige Beeinflussung durch aufsteigende Gase an der Periadriatischen Naht auf. Da der ursprüngliche Quellaustritt (Ebriacher Versandsäuerling) nicht mehr zugänglich ist, wurde ein Grundwasseraustritt im Bereich der ehemaligen Abfüllanlage, der sich durch eine deutlich höhere elektrische Leitfähigkeit und sichtbare Gasaustritte auszeichnet, neu beprobt. Wie die Tab. 1 zeigt, sind vor allem die Parameter Na^+ , Ca^{2+} und HCO_3^- deutlich erhöht. Während die hohen Kalzium- und Hydrogenkarbonatgehalte auf die Lösung von Karbonatgesteinen (Talfüllung) zurückgeführt werden können, spricht der hohe Natriumgehalt für die Lösung von Na-Feldspäten (Eisenkappler Granit). Die Bor-, Lithium- und Strontiumgehalte sind ähnlich anderen – an die Periadriatische Naht gebundenen – Quellen erhöht (z. B. Carinthia-Lithion-Quelle in Eisenkappel; siehe F. KAHLER, 1978, J. G. ZÖTL & J. E. GOLDBRUNNER, 1993). Der hohe Radongehalt ist auf die Gaswegigkeit entlang tieferreichender Störungen zurückzuführen.

Vergleicht man die Spurenelementanalysen der anderen untersuchten Quellen mit denen der Quelle PREB, so zeigt sich, daß Spurenelemente für die Charakterisierung der Wechselbeziehung Wasser-Gas-Gestein allein nicht ausreichen. So zeigt beispielsweise die Quelle BLA (Blasnitzenquelle) – wie auch die Quelle PREB – hohe Strontiumgehalte. Während bei der Quelle PREB diese auf granitische Gesteine zurückgeführt werden können, ist bei der Quelle BLA das Vorliegen von Raibler Schichten (Flachwassersedimente) im Einzugsgebiet dafür verantwortlich. Ebenso dürften lithologiebezogene Unterschiede in den Einzugsgebieten der einzelnen Quellen für die Unterschiede im Bariumgehalt verantwortlich sein.

Nachweisbare Borgehalte konnten neben der Quelle PREB nur im Quellvorkommen Vellach (RE 7) analysiert werden. Die Quelle RE 7 weist außerdem gegenüber den anderen Quellen an der Südseite des Hochobirmassivs (GP 2, GP 13, GP 23) erhöhte Gehalte an Fluorid, Nickel, Lithium, Strontium und Radon-222 auf. Da die Quelle RE 7 der Quellgruppe Vellach eine ähnliche Spurenelementverteilung – wenn auch mit

weit geringeren Gehalten – wie die Quelle PREB aufweist, zeigt sie eine engere Beziehung zu den Wässern der Periadriatischen Naht als die nähergelegenen Austritte an der Südseite des Hochobirs. Diese Hinweise werden durch isopenhydrologische Untersuchungen in Verbindung mit Berechnungen von Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichten bestätigt.

5.2. Umweltisotope

Zur besseren Differenzierung der Einzugsgebiete und der mittleren Verweildauer der einzelnen Quellwässer wurden an 14 ausgewählten Quell- und Oberflächenwässern isopenhydrologische Untersuchungen über einen Zeitraum von einem Jahr durchgeführt.

5.2.1. Untersuchungen des ^{18}O -Gehaltes

Die geringsten ^{18}O -Gehalte aller untersuchten Quellen weist die Quelle RE 7 der Quellgruppe Vellach, deren Einzugsgebiet in die hochgelegenen Bereiche des Hochobir und des Altberges reicht, auf (Tab. 2). Ebenfalls geringe ^{18}O -Werte finden sich bei den Quellaustritten an der Südseite des Hochobirs (GP 2, GP 13, GP 23), da auch deren Einzugsgebiete im Bereich der Südabdachung des Hochobirs gelegen sind. Gemeinsam ist diesen Quellen das jahreszeitlich sehr geringe Schwankungsverhalten der ^{18}O -Gehalte, was auf eine durchwegs gute Speicherung im Untergrund hinweist. Lediglich ein Ereignis im Dezember 1993 führte bei fast allen Meßstellen zu einem kurzzeitig wirksamen Anstieg des ^{18}O -Gehaltes (Fig. 3).

Tab. 2: Schwankungsbreite und Mittelwerte des Sauerstoff-18-Gehaltes.
Seasonal variation and mean value of oxygen-18 content.

Meßstelle	Seehöhe [m. ü. A.]	Schwankungs- breite [$\delta\%$]	Anzahl Meßwerte	Mittelwert [$\delta\%$]
BLA	740	0,46	4	-10,21
GP 13	800	0,40	8	-10,64
GP 2	580	0,39	8	-10,65
GP 23	900	0,56	8	-10,30
PREB	680	1,26	3	- 9,91
RE 7	500	0,68	13	-10,87

Quellaustritte, welche nicht dem Karstsystem des Hochobirmassivs zugerechnet werden können, sind die Quelle PREB (ehemaliger Versandsäuerling in Ebriach) und die Blasnitzenquelle (BLA), welche ein an Raibler Schichten des Blasnitzenberges gestauter lokaler Quellaustritt östlich des Vellachtales ist. Leider liegen von diesen beiden Quelle nicht genügend Analysen vor, um das jahreszeitliche Schwankungsverhalten und deren Speicherung im Untergrund beurteilen zu können. Es zeigen jedoch auch die wenigen vorliegenden Meßwerte, daß es sich bei diesen Wässern um kurz gespeicherte Wässer handelt, da die vorliegenden Einzelmessungen deutlichen Schwankungen unterliegen. Die Quelle PREB, welche ein mit Talgrundwasser vermengter Quellaustritt ist, weist den für kurz gespeicherte Talgrundwässer typischen Abfall der ^{18}O -Werte zur Zeit der Schneeschmelze im Frühjahr 1994 sowie die schwersten ^{18}O -Werte

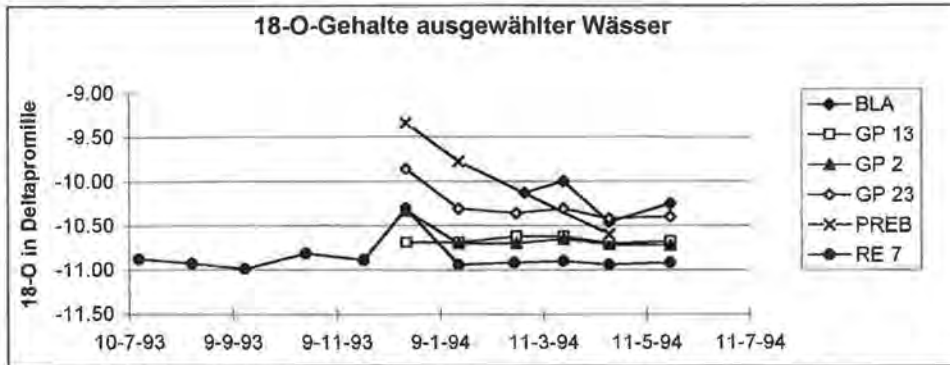


Fig. 3: Jahreszeitliche Schwankungen der ^{18}O -Gehalte.
Seasonal variation of the ^{18}O -content.

aufgrund der Tallage auf (Fig. 3). Die Quelle BLA, welche ein lokales Einzugsgebiet im Hangschutt des Blasnitzenberges entwässert, weist wegen der geringeren Einzugsgebietshöhe gegenüber den Karstquellen des Hochobirmassivs ebenfalls höhere ^{18}O -Gehalte auf (Fig. 3).

5.2.2. Untersuchungen des Tritiumgehaltes

Der Niederschlag in Kärnten (Meßwerte Villacher Alpe und Klagenfurt) weist im Jahre 1992 einen durchschnittlichen Tritiumgehalt von 10,2 TU gegenüber 1991 von ca. 13 TU auf (UMWELTBUNDESAMT, 1992). Junge und kurz gespeicherte Wässer müssen demnach einen geringen Tritiumgehalt um 10–15 TU aufweisen und nur für den Fall, daß keine Mischung verschiedener Alterskomponenten vorliegt. Vergleicht man die gemessenen Tritiumgehalte an den Quellen im Obirgebiet (Tab. 3) mit den Tritiumgehalten der Niederschläge in Kärnten, so kann man deutlich unterschiedlich alte Quellwässer differenzieren.

Tab. 3: Mittelwerte des Tritiumgehaltes.
Mean values of the tritium content.

Name	Anzahl	Minimum	am	Maximum	am	Ampl.	Mittelw.
BLA	3	7,8	19-04-94	11,6	28-02-94	3,8	9,8
GP 13	5	16,2	23-02-94	20,1	20-12-93	3,9	17,8
GP 2	5	25,6	23-02-94	30,7	20-12-93	5,1	27,7
GP 23	5	15,9	25-05-94	19,9	20-12-93	4,0	17,3
PREB	3	10,2	20-12-93	10,4	20-01-94	0,2	10,3
RE 7	9	19,5	22-02-94	21,6	16-09-93	2,1	20,6

Die jüngsten Wässer wären demnach die Basnitzenquelle (BLA) und die Quelle PREB. Die Quelle PREB ist ein mit Grundwasser vermengter Austritt, was das junge Wasseralter wahrscheinlich macht, die Blasnitzenquelle ist ein an Raibler Schichten gestauter, lokaler Quellaustritt.

Bereits deutlich älter (mittleres Wasseralter, mehrere Jahre) sind die Quellen an der Südseite des Hochobir GP 13 und GP 23 und die Wässer der Quellgruppe Vellach, von

denen wiederum die Quelle RE 7 mit dem höchsten Tritiumwert das höchste mittlere Wasseralter aufweist.

Den höchsten Tritiumgehalt von den beprobten Quellen hat die aus dem Wettersteindolomit austretende Quelle GP 2 mit einem Jahresmittelwert von 27,7 TU, was bedeutet, daß deren Wasser von den untersuchten Quellen nach den Ergebnissen der Tritiumuntersuchungen das älteste ist.

5.2.3. Untersuchungen des ^{13}C -Gehaltes

Die isotopische Zusammensetzung der im Wasser gelösten Karbonate wird von deren Herkunft und durch Wasser-Gesteins-Reaktionen gesteuert. Das im Grundwasser gelöste CO_2 leitet seine Herkunft einerseits aus dem CO_2 der Atmosphäre, und zum größeren Teil – während der Passage durch die Bodenzone – aus dem Bodengas her. Der CO_2 -Gehalt des Bodengases ist durch Pflanzenaktivität und -zerfall bedingt und wesentlich höher als in der Atmosphäre. Das CO_2 der Bodenzone unterscheidet sich hinsichtlich seiner isotopischen Zusammensetzung deutlich vom CO_2 der Atmosphäre. Dieser Unterschied zeigt sich vor allem im ^{13}C -Gehalt, der im Boden- CO_2 stark abgereichert ist und aufgrund seiner Herkunft von Pflanzenatmung und -zerfall dem des pflanzlichen CO_2 entspricht.

Die ^{13}C -Gehalte des CO_2 der Bodenzone liegen bei -25% Abweichung vom PDB Standard, während die der Atmosphäre bei -7% Abweichung vom PDB Standard zu liegen kommen (P. DEINES, 1980, F. PEARSON, 1991). Beim Durchsickern der Bodenzone steigt der CO_2 -Gehalt im Sickerwasser bei gleichzeitiger Abnahme des ^{13}C -Gehaltes an. Nach erfolgter Wasser-Gesteins-Reaktion steigt der ^{13}C -Gehalt wegen des hohen ^{13}C -Gehaltes des Gesteins wiederum an. Wässer, welche in Gebieten geringmächtiger Bodenbedeckung infiltrieren, werden sich daher gegenüber Wässern, die durch Zonen höherer Wurzelaktivität sickern, durch höhere ^{13}C -Gehalte ausweisen. Es ist in diesem Fall der ^{13}C -Gehalt von der Vegetation und damit indirekt von der Höhenlage der Infiltrationsgebiete abhängig.

Gestört wird diese Abhängigkeit durch weitere CO_2 -Zufuhr in den Aquifer, wenn das verbrauchte CO_2 ergänzt wird und es zu weiterer Gesteinslösung kommt. Die hohe Karbonathärte des Quellvorkommens Vellach (RE 7) zeigt, daß dem System neben dem CO_2 der Bodenzone zusätzliches CO_2 zugeführt wird. Die Zufuhr von CO_2 bewirkt, daß mehr Karbonat aus dem Gestein gelöst wird und die ^{13}C -Werte daher schwerer werden (siehe Tab. 4; ^{13}C -Gehalt von RE 7 bei $-6,8\%$). Die CO_2 -Zufuhr erfolgt

Tab. 4: Mittelwerte des ^{13}C -Gehaltes.
Mean values of the ^{13}C -content.

Name	Minimum	am	Maximum	am	Ampl.	Mittelw.
BLA	-14,5	19-04-94	-12,8	28-02-94	1,7	-14,0
GP 13	-10,6	20-01-94	-10,2	19-04-94	0,4	-10,4
GP 2	-11,8	20-12-93	-11,1	23-02-94	0,7	-11,5
GP 23	- 9,5	19-04-94	- 8,9	23-02-94	0,7	- 9,1
PREB	- 2,5	20-12-93	- 2,3	20-01-94	0,1	- 2,4
RE7	- 7,4	23-03-94	- 6,2	16-09-93	1,2	- 6,8

in das System dieser Karstquellen über Zufuhr von CO_2 -Gasen aus dem Bereich der Periadriatischen Naht, von wo bereits zahlreiche CO_2 -Ausstritte in Form von Säuerlingen und Gasmofetten bekannt sind. Quellwässer, welche nicht durch Entgasungs-

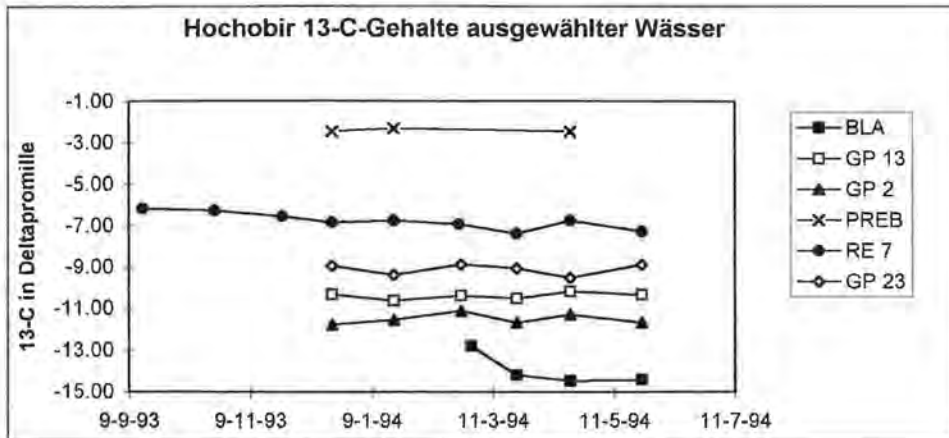


Fig. 4: Jahreszeitliche Schwankungen der ^{13}C -Gehalte.
Seasonal variation of the ^{13}C -content.

vorgänge an der Periadriatischen Naht beeinflusst sind, beziehen ihr CO_2 aus ver-
sickernden Niederschlägen, die das CO_2 aus der Atmosphäre und Bodenluft aufneh-
men. Diese Quellwässer zeichnen sich durch geringe ^{13}C -Gehalte aus, die aus dem Gleich-
gewichtszustand von Wasser-Gesteins-Reaktionen stammen und zwischen -15 und
 -9 ‰ liegen (siehe Tab. 4 und Fig. 4; GP 2, GP 13, GP 23 und BLA). Die unterschied-
lichen ^{13}C -Gehalte dieser Wässer dürften auf Vegetationsunterschiede in deren Ein-
zugsgebieten zurückzuführen sein.

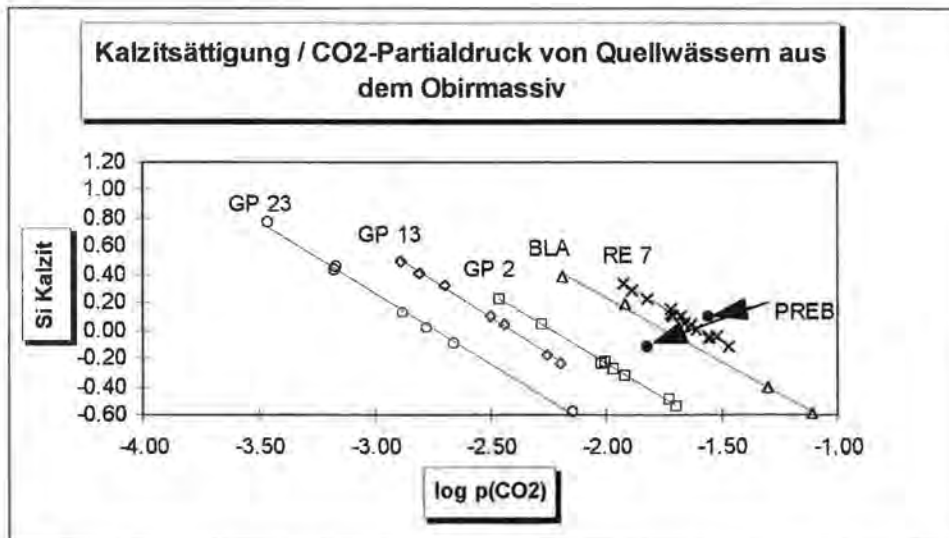


Fig. 5: Verhältnis von CO_2 -Partialdruck (in atm) zu Kalzitsättigungsindex ausgewählter Quellwässer des Hochobirmassivs.
Relationship of CO_2 partial pressure (in atm) to calcite saturation index from selected springs of the Hochobir-massif.

Schwere ^{13}C -Werte können zwar auch eine Folge von geringem Boden- CO_2 -Anteil sein, in diesem Fall weisen derartige Wässer aber einen geringen CO_2 -Partialdruck und eine geringere Karbonathärte auf. Die Quelle RE 7 hat jedoch den höchsten CO_2 -Partialdruck bei definierter Kalzitsättigung (Fig. 5), was bedeutet, daß sie nicht mit dem atmosphärischen CO_2 , welches ebenfalls schwere ^{13}C -Gehalte aufweist, im Gleichgewicht ist. Noch höhere CO_2 -Partialdrucke wären bei der Quelle PREB zu erwarten, die beiden berechneten Werte zeigen aber, daß Mischungsvorgänge mit dem Grundwasser vorliegen, weshalb – bezogen auf die Kalzitsättigung – stark schwankende Werte vorliegen. Leider ist dieser Austritt aufgrund von Grundwasserspiegelschwankungen (Trockenfallen der Quelle) nur selten beprobbbar, sodaß eine nähere Untersuchung dieses interessanten Mischungsverhaltens im Untersuchungszeitraum nicht möglich war. Die ^{13}C -Gehalte der Quelle PREB zeigen aber jedenfalls den zu erwartenden hohen ^{13}C -Wert (Tab. 4, Fig. 4), was eindeutig auf die Zumischung von schwerem ^{13}C aus Exhalationsvorgängen an der Periadriatischen Naht zurückzuführen ist. Die ^{13}C -Gehalte und die CO_2 -Partialdrucke bei definierter Kalzitsättigung der Quelle RE 7 weisen für diese Quelle trotz ihrer großen Entfernung zur Periadriatischen Naht auf eine Beeinflussung durch CO_2 -Exhalationen aus dieser Störungszone in das Karstsystem des Hochobirs hin.

6. Schlußfolgerungen

Der geologisch-tektonische Bau der Karawanken mit der Periadriatischen Naht bedingt das Auftreten von Säuerlingen und Gasauftrieben. Der Gasaufstieg erfolgt entlang von Störungszonen, einerseits an der E-W-streichenden Periadriatischen Naht selbst, aber auch an quer zu dieser streichenden Störungen. Hinweise dafür gibt es im südlichen Vellachtal, wo etwa in NE-SW-Richtung Mineralwasser- und Gasaustritte bis auf slowenisches Staatsgebiet nachgewiesen sind. Obwohl bisher nördlich der Periadriatischen Naht keine ähnlichen Vorkommen beschrieben wurden, ist es denkbar, daß über gaswegige Querstörungen eine CO_2 -Verfrachtung nach N ins Vellachtal erfolgen kann.

Die vergleichenden Untersuchungen von Spurenelementen konnten Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von Säuerlingen an der Naht und den Wässern des Quellvorkommens Vellach liefern (Lithium, Bor, Radon). Die Spurenelementuntersuchungen waren als Einzelmethode aber nicht geeignet, eine tatsächliche Beeinflussung aus dem Bereich der Periadriatischen Naht nachzuweisen.

Die unterschiedliche isotopische Zusammensetzung des Hydrogenkarbonates bezüglich des $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -Verhältnisses gibt Hinweise auf die Herkunft des CO_2 . Im Vergleich mit der durch CO_2 -Entgasungsvorgänge an der Periadriatischen Naht beeinflussten Quelle PREB weist das Quellvorkommen Vellach – abgesehen von der Quelle PREB – die schwersten ^{13}C -Gehalte der untersuchten Quellen auf. Die Berechnungen der jeweiligen thermodynamischen Gleichgewichte bezüglich Kalzitsättigung und CO_2 -Partialdruck zeigen auch, daß das Quellvorkommen Vellach nicht mit dem atmosphärischen CO_2 im Gleichgewicht steht. Die schweren ^{13}C -Werte der Quellgruppe Vellach müssen daher aus der vermehrten Lösung von schwerem, ^{13}C -haltigem Gesteinskarbonat erklärt werden. Dies ist durch die chemische Zusammensetzung dieses Wassers auch belegt und bedingt eine für die Gesteinslösung erforderliche zusätzliche Zufuhr von CO_2 . Die zusätzliche CO_2 -Aufnahme erfolgt aber nicht über versickernde Niederschläge durch die Aufnahme von CO_2 aus der Bodenzone oder der Atmosphäre.

CO₂-Aufnahme aus der Atmosphäre bzw. der Bodenluft weisen die anderen Quellen des Untersuchungsgebietes auf, deren ¹³C-Gehalte zwischen -14 und -9 ‰ liegen und einen erreichten Gleichgewichtszustand zwischen dem CO₂ der Bodenluft und dem gelösten Gesteinskarbonat anzeigen. Für das Quellvorkommen Vellach muß eine zusätzliche Zufuhr von CO₂ angenommen werden, die bei Berücksichtigung aller Untersuchungsergebnisse (Geologie, Hydrochemie, Isotopenhydrologie) auf Entgasungsvorgänge aus dem Bereich der Periadriatischen Naht zurückgeführt werden kann.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß die Kombination der gewählten Untersuchungsmethoden zur Unterscheidung von CO₂-Einträgen sowohl aus der Atmosphäre bzw. der Bodenluft als auch aus postmagmatischen Entgasungsvorgängen geeignet erscheint. Die Anwendbarkeit dieser Methodik wäre unter anderem bei der Klärung der Genese von CO₂-Gasaustritten und Mineralwasservorkommen gegeben.

Zusammenfassung

Im Zuge regionaler hydrogeologischer Untersuchungen über Entwässerungsmechanismen in den Karawanken wurden zahlreiche Quellen des Hochobirmassivs untersucht.

Das Untersuchungsgebiet liegt im Nordstamm der Karawanken, welcher durch die Periadriatische Naht von den südalpinen Gesteinseinheiten getrennt ist. Die Entwässerung des Südteils des Hochobirgebietes erfolgt über ein seichtes Karstsystem zum Ebriachbach. Ein tieferes Karstsystem konnte sich in Ostteil des Gebirges ausbilden, wo die Vellach den Vorfluter bildet. Hier treten im Quellvorkommen Vellach die größten Karstwasseraustritte konzentriert auf. Diese Quellwässer unterscheiden sich von den übrigen Karstwässern durch eine deutlich erhöhte Mineralisierung und Karbonathärte. Die chemische Zusammensetzung dieses Wassers bedingt eine – neben dem CO₂ aus der Atmosphäre und der Bodenluft – für die Gesteinslösung erforderliche zusätzliche Zufuhr von CO₂. CO₂-Quellen sind aus dem Bereich der Periadriatischen Naht in Form zahlreicher Säuerlinge und Gasaustritte bekannt.

Es wurden daher hydrochemische und isotopenhydrologische Vergleichsuntersuchungen von Karstwässern des Hochobirs mit denen der Periadriatischen Naht durchgeführt. Sowohl die Spurenelementuntersuchungen als auch die Differenzierung der CO₂-Herkunft mittels ¹³C-Untersuchungen geben Hinweise, daß die Quellgruppe Vellach durch CO₂-Exhalationen aus dem Bereich der Periadriatischen Naht beeinflusst wird. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß die Kombination der gewählten Untersuchungsmethoden zur Unterscheidung von CO₂-Einträgen sowohl aus der Atmosphäre bzw. der Bodenluft als auch aus postmagmatischen Entgasungsvorgängen geeignet erscheint.

Literatur

- BENISCHKE, R. & W. POLTNIK (1993): Ergebnisse des Markierungsversuches an der Vellach und im Kunetgraben (Rechberg, Marktgem. Eisenkappel). – Unveröff. Bericht, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, 13 S., Graz.
- BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN (Hrsg., 1982): Österreichische Karte 1 : 50 000. Blatt 212 (Vellach), Blatt 213 (Eisenkappel). – Wien.

- BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN (Hrsg., 1991): Österreichische Karte 1 : 50 000. Blatt 203 (Maria Saal).– Wien.
- BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN (Hrsg., 1992): Österreichische Karte 1 : 50 000. Blatt 204 (Völkermarkt).– Wien.
- DEINES, P. (1980): The isotopic composition of reduced organic carbon.– In: FRITZ, P. & J. Ch. FONTES (Hrsg., 1980): Handbook of Environmental Isotope Geochemistry.– Vol. 1, 329–406, Amsterdam (Elsevier).
- KAHLER, F. (1978): Die natürlichen Heilvorkommen Kärntens.– Raumordnung in Kärnten, Bd. 10, 134 S., Klagenfurt.
- PEARSON, F. J. Jr. (1991): Overview of Groundwater Carbonate Evolution.– In: PEARSON, F. J. Jr., W. BALDERER, H. H. LOOSLI, B. E. LEHMANN, A. MATTER, T. J. PETERS, H. SCHASSMANN & A. GAUTSCHI (Hrsg., 1991): Applied Isotope Hydrogeology - A Case Study in Northern Switzerland.– 175–203, Amsterdam (Elsevier).
- POLTNIG, W. & E. STROBL (1994): Hydrogeologische Untersuchung der Entwässerung des Hochobir-Massivs. Mit besonderer Berücksichtigung der Jakobsquelle (Marktgemeinde Eisenkappel).– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, 82 S., 2 Kartenbeilagen, Graz.
- STEINHAUSER, P., W. SEIBERL, D. ZYCH & D. RUESS (1980): Bestimmung des Bouguer-Schwerefeldes der Karawanken und der Sattnitz.– Mitt. österr. Geol. Ges., 71/72, 299–306, Wien.
- STINI, J. (1938): Zur Geologie der Umgebung von Miklauthof (Jauntal).– Carinthia II, 48 (128), 34–50, Klagenfurt.
- UMWELTBUNDESAMT (1993): Jahresbericht 1992 UBA – Tritiummeßnetz Österreich.– Wien.
- VINZENZ, M. (1988): Strukturbohrung Vellach Müllnerbrücke (Klagenfurter Becken).– Unveröff. Bericht, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, 21 S., Leoben.
- ZÖTL, J. G. & J. E. GOLDBRUNNER (1993): Die Mineral- und Heilwässer Österreichs – Geologische Grundlagen und Spurenelemente.– 324 S., Wien (Springer).

Summary

A great number of springs were investigated with the aim of determining the mechanism of drainage in the Hochobir massif in the northern part of the Eastern Karawanks. This investigation area (Hochobir massif) is separated from the southalpine geological units by the Periadriatic Lineament.

The southern part of the Hochobir massif is drained by a shallow karstified aquifer to the Ebriach valley and the eastern part by a deeper karst-system to the Vellach river, where the biggest springs in the whole investigation area are situated. High mineralization and a high carbonatic hardness are typical for these springs, compared to the water of the other springs in the investigation area. One of the main focus of the study was to determine the causes for this strikingly higher mineralization. Besides CO₂-input from the atmosphere and the soil air, additional CO₂-input is necessary to reach such degree of mineralization. Acidic springs and gas exhalations are common along the Periadriatic Lineament.

Therefore hydrochemical analysis and isotopic determination were carried out to compare the springs from the Hochobir massif with the springs influenced by the Periadriatic Lineament. The results from trace elements as well as ¹³C-investigations showed that the springs in the Vellach valley are influenced by CO₂-exhalations originating from the Periadriatic Lineament. The results of the investigation work show that combination of different methods is very useful for the differentiation of the CO₂-input that could originate from the atmosphere, the soil air or postmagmatic exhalations.

Druckfehlerberichtigung:

Tabelle 1 auf Seite 150 ist durch vorliegende Tabelle zu ersetzen

Correction of printing error:

Table 1 on page 150 has to be replaced with this one.

Tab. 1: Analyseergebnisse ausgewählter Quellwässer im Bereich des Hochobirmassivs (n.a. = nicht analysiert; Hauptionen: Angabe in Mittelwerten).

Tab.1: Analyses of selected springwaters from the Hochobirmassif (n.a. = not analysed; major ions: data in mean values).

Meßstelle	Entnahme- datum	B [mg/l]	F ⁻ [mg/l]	Ni ²⁺ [mg/l]	Zn ²⁺ [mg/l]	Mn ²⁺ [mg/l]	Ba ²⁺ [µg/l]	Li ⁺ [µg/l]	Sr ²⁺ [µg/l]	Rn-222 [Bq/l]
BLA	28-02-1994	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2.30	1198	n.a.
GP 13	20-12-1993	<0.02	0.230	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.54	162	n.a.
GP 2	20-12-1993	<0.02	0.090	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.59	100	n.a.
GP 2	19-04-1994	<0.02	0.080	<0.001	0.020	<0.003	49.2	2.90	100	6.5
GP23	19-04-1994	<0.02	0.030	<0.001	<0.01	<0.003	70.1	1.00	33	2.5
PREB	20-01-1994	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	233.00	591	n.a.
PREB	19-04-1994	0.830	0.280	0.040	0.060	0.164	66.7	460.00	816	23.2
RE7	20-12-1993	0.040	0.340	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	6.20	845	n.a.
RE7	19-04-1994	0.040	0.280	<0.001	0.010	<0.003	28.5	11.40	830	10.8
RE7	20-07-1994	0.030	0.260	0.004	0.020	<0.003	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Meßstelle	Anzahl Analysen	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l
BLA	4	1.3	2.9	24.5	88.8	366.8	1.0	6.1	17.2
GP 13	7	0.3	0.4	15.7	50.0	214.4	0.0	1.8	8.8
GP 2	8	0.3	0.4	20.9	53.4	250.1	0.0	1.2	9.6
GP 23	7	0.2	0.3	10.2	40.3	161.0	0.0	1.7	6.8
PREB	2	262.0	5.4	61.4	167.0	1467.0	10.7	4.2	22.3
RE 7	14	1.8	1.1	27.0	96.3	390.5	1.3	1.6	29.4